Université de Paris (Paris-Diderot)

École Doctorale 382 : Économie, Espaces, Sociétés, Civilisation (E.E.S.C)

Thèse de doctorat en géographie

Spécialité : Géographie de l'environnement

Les risques d'origine torrentielle et gravitaire dans la haute vallée du Guil (Queyras, Alpes du Sud, France)

Présenté par Benoît Carlier

Sous la direction de Gilles Arnaud-Fassetta

Thèse de doctorat en géographie préparée au sein de l'UMR 8586 PRODIG

Soutenue le 29/11/2019

MEMBRES DU JURY

Gilles Arnaud-Fassetta	Professeur à l'université de Paris (Directeur)
Bérengère Charnay	Responsable Eau, prévention et risques naturels au PNR Queyras (Invitée)
Monique Fort	Professeure émérite à l'université de Paris (Examinatrice)
Gilles Grandjean	Directeur adjoint à la Direction des Risques et de la Prévention au BRGM (Examinateur)
Frédéric Liébault	Chargé de recherche, IRSTEA/ETNA (Rapporteur)
Patrick Pigeon	Professeur à l'université de Savoie (Rapporteur)
Anne Puissant	Professeure à l'université de Strasbourg (Examinatrice)

Mes sommets étaient à ma taille

J'ai roulé dans tous mes ravins

Et je suis bien certain que ma vie est banale

Mes amours ont poussé dans un jardin commun

Mes vérités et mes erreurs

J'ai pu les peser comme on pèse

Le blé qui double le soleil

Ou bien celui qui manque aux granges

J'ai donné à ma soif l'ombre d'un gouffre lourd

J'ai donné à ma joie de comprendre la forme

D'une jarre parfaite.

Paul Éluard – Sérénité

Remerciements

Ce travail de thèse m'aura pris six ans ! Durant ces six années, j'ai eu l'occasion de travailler et d'apprendre au contact de nombreuses personnes. Ce sont ces personnes, mais aussi toutes celles qui m'ont apporté leur aide et leur soutien que je souhaite remercier ici. Cette thèse est à bien des égards, aussi la leur, et je ne saurais l'oublier. Rendons donc à Caesar ce qui appartient à Caesar.

Dans un premier temps je souhaiterais remercier mes collègues proches, appartenant au laboratoire PRODIG (UMR 8586, CNRS) ou faisant partie des membres de la l'université Paris-Diderot.

Je tiens ainsi tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, M. Gilles Arnaud-Fassetta, pour m'avoir fourni l'occasion de travailler sur ce projet et d'y faire mes preuves en tant que jeune chercheur. Il m'avait promis, il y a bien longtemps, de m'emmener jusqu'au bout – à condition que je soigne mon orthographe – et il a tenu parole. Je le remercie donc encore une fois car sans lui, je n'aurais jamais pu admirer les paysages du Queyras ni mener ce projet à bout.

Mes pensées vont ensuite à la professeure Monique Fort. Si, sur le papier, elle n'a pu être ma codirectrice, en revanche elle l'aura été dans les faits et dans les cœurs. Elle a assumé pleinement ce rôle et j'ai beaucoup appris auprès d'elle. Ses initiatives et ses nombreux contacts m'ont permis de mieux appréhender le terrain et le monde de la recherche et d'y faire de très belles rencontres. Enfin et surtout, elle a su me défendre et me remonter le moral dans les moments difficiles et pour cela, je ne saurai jamais assez l'en remercier.

Au titre des personnes qui m'ont énormément aidé, je tiens également à remercier chaleureusement mes collègues Candide Lissak et Vincent Viel. Ce sont des gens bien, et j'en suis persuadé, d'excellents enseignants-chercheurs. Nous avons beaucoup travaillé ensemble et ils ont su se montrer patients et pédagogues à mon égard. Ils m'ont aidé à surmonter de nombreux obstacles d'ordre tant méthodologique que conceptuel et ils ont toujours fait plus que leur part du travail. Ils m'ont toujours traité avec bienveillance et respect et ce fut un réel plaisir que de travailler avec eux.

J'aimerais également remercier les autres membres de l'équipe de PRODIG Paris Diderot, Mme Malika Madelin, M. François Bétard et M. Etienne Cossart pour leur aide et leurs contributions à ce travail de thèse. Par extension, ces remerciements vont à tous les collègues qui m'ont aidé, de près ou de loin, à préparer mes cours et/ou mes interventions.

Mes remerciements vont ensuite aux doctorants qui ont, par leurs conseils ou par leur simple présence, ont contribué au bon déroulement de la thèse. Ils sont nombreux à être passés par le bureau 777, mais je souhaite tout particulièrement remercier ceux avec qui j'ai passé le plus clair de mon temps : Romain Perrier, Quentin Hennaf, Laurent Bruckmann, Rémi De Matos Machado, Luc Michler, Guillaume Brousse, Mathilde Resch et Henry Ullon.

Dans le même état d'esprit, je voudrais remercier les étudiants de master de Paris-Diderot avec lesquels j'ai eu l'occasion de travailler. Ils m'ont été d'une grande aide et d'une agréable compagnie tant sur le terrain qu'en dehors. Kévin Graff, Constance Dujarric, Louise Roulleau, Nikita Frisson Bruno et Magalie Pattedoie, encore merci à vous.

Je souhaiterais également remercier le personnel administratif et technique de l'université Paris-Diderot pour m'avoir permis de travailler dans de bonnes conditions tout au long de ce travail de thèse. Nombreuses sont les personnes qui m'ont aidé dans ce cadre et c'est pour moi une évidence autant qu'un devoir que de les remercier.

Dans un second temps, je souhaiterais remercier tous les membres du programme ANR SAMCO (ANR-12-SENV-0004 ; Society Adaptation for coping with Mountain risks in a global change COntext) pour leurs considérables apports à ce travail de thèse.

Ce programme m'a fourni son aide financière. Sans sa contribution, je n'aurais pas eu la chance de faire autant de terrain, de participer à des colloques internationaux ou de publier mes travaux.

Je souhaite remercier tout particulièrement nos partenaires de l'Université de Strasbourg (UMR 7362, LIVE, CNRS) et de l'EOST pour l'aide qu'ils m'ont fourni durant les cinq ans qu'à durer le projet. Je tiens ainsi à remercier chaleureusement la professeure Anne Puissant pour sa formation à la méthode PDI, son aide pour la production des scénarios SAMCO, sa collaboration à la rédaction d'un article et, d'une manière générale, pour tous ses conseils avisés. À ce titre, je souhaite également remercier Nicolas Débonnaire qui m'a apporté une aide appréciable lors du processus de modélisation des scénarios SAMCO. Je souhaite, de même, remercier Jean-Philippe Malet et ses collaborateurs Julien Gance et Floriane Provost pour leur aide et leur patience à mon égard lors de l'acquisition et le traitement des données de tomographie sismique réalisés dans le bassin du Peynin. Je remercie Pierrick Bornemann, Alexandre Remaître, Gaelle Rigoudy et Juliette Trautmann qui ont également contribué à ces travaux.

Je tiens aussi à remercier nos partenaires du BRGM, Gilles Grandjean et Séverine Bernardie pour leur accueil et leur implication dans la bonne gestion du programme ANR SAMCO. En tant que gestionnaires du projet, ils ont su initier des synergies entre les différentes équipes et nous inciter à mener à terme les travaux engagés.

De même, je souhaite remercier nos partenaires du bureau d'étude GEO-HYD, Daniel Pierre, Axel Aurouet et Loïc Thomas pour la construction du démonstrateur SAMCO et la mise en ligne de nos données. Composer avec les exigences et les attendus de nombreuses équipes n'est pas évident.

Je voudrais aussi remercier nos autres partenaires du laboratoire GEODE (UMR 7302, CNRS) et de l'IRSTEA pour leur participation active dans le projet SAMCO.

Enfin, dans un troisième temps, je tiens à remercier chaleureusement toutes les personnes qui m'ont aidé tout en étant en dehors du cadre de ces institutions.

Je souhaite ainsi remercier M. Mathieu Fressard du laboratoire EVS (UMR 5600, CNRS), pour son aide dans la modélisation de la susceptibilité aux glissements de terrain. J'ai mis sa patience à rude épreuve et je lui sais gré de m'avoir, malgré tout, aidé.

Je voudrais remercier également Bérengère Charnay et Xavier Bletterie, du Parc Naturel Régional du Queyras (PNRQ) pour l'accueil qu'ils nous ont fait, pour la documentation qu'ils nous ont fournie et plus largement, pour l'intérêt qu'ils ont porté à nos travaux dans le Queyras. Malgré des emplois du temps très chargés, ils ont toujours fait l'effort de nous recevoir, de nous écouter et de prendre en considération nos suggestions. Grâce à leur aide, nous avons pu travailler en synergie avec d'autres acteurs comme les bureaux d'étude Sépia Conseil et ETRM ou les services de la RTM de Gap. Ils nous ont donc, de fait, intégré à la gestion des risques dans le Queyras et nous leur sommes gré de leur confiance.

Dans le même état d'esprit, je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers les élus et les employés municipaux des six communes du Queyras. Durant les cinq années du projet SAMCO, ils ont su se montrer à la hauteur de la confiance que leur ont accordée les Queyrassins. Ils nous ont tous reçus à plusieurs reprises et ils se sont enquis régulièrement de l'avancement de nos travaux. Ils nous ont fourni leur aide sous de multiples formes, que ce soit en nous faisant part de leur connaissance et leur expérience du terrain, en nous fournissant de la documentation scientifique et technique, en nous indiquant les personnes à consulter et en mettant à notre disposition des terrains et des moyens logistiques pour mener à bien nos travaux. Je tiens, par ailleurs à les remercier personnellement et chaleureusement pour l'accueil qu'ils ont fait aux étudiants qui ont travaillé avec nous dans le Queyras.

J'aimerais également remercier les services de la RTM de Gap pour nous avoir reçus, pour l'intérêt qu'ils ont porté à nos travaux et pour les rapports et les contacts qu'ils nous ont communiqués.

Bien entendu, je souhaite remercier tous les Queyrassins qui m'ont, de près ou de loin, apporté leur concours ou leur aide. À ce titre, j'aimerais remercier toutes les personnes qui ont accepté de répondre à notre questionnaire. Nous sommes conscients qu'il était un peu long, et nous vous remercions pour le temps que vous nous avez consacré. Plus largement, je souhaite remercier toutes les personnes qui ont bien voulu partager avec nous leur vécu des risques, mais aussi l'histoire et la culture queyrassines.

À titre plus personnel, je souhaite remercier les commerçants et les habitants d'Aiguilles pour leur bienveillance et leur gentillesse à notre égard mais aussi pour leur intérêt pour nos travaux. Ils ont contribué à rendre nos séjours vraiment agréables et nous ont appris à aimer le Queyras.

Mes derniers mots vont aux membres de ma famille. Durant ces six années, ils m'ont non seulement soutenu et encouragé, mais ils ont également beaucoup contribué à mes travaux de recherche. À leurs innombrables relectures, s'ajoutent leurs conseils scientifiques et techniques, leur participation aux travaux de terrain, d'analyse des données et de rédaction d'articles. Ils ont su m'inspirer la fibre scientifique et m'ont aidé à affuter mes compétences de chercheur. Sans eux je n'en serais pas là.

Résumé de la thèse

Résultante d'un certain nombre de facteurs prédisposants (lithologie fournissant des matériaux en abondance, opposition structurale des versants, modification de l'occupation du sol) et déclenchants (retours d'est), le Queyras est particulièrement exposé aux aléas d'origine torrentiel et gravitaire (crues torrentielles, glissements de terrain et avalanches). Suites aux événements catastrophiques de 1957, 1978, 2000, 2002 et 2008, un certain nombre de mesures (travaux d'ingénierie, normes de construction, exercices d'évacuation) a été pris pour réduire l'exposition des enjeux aux risques. Néanmoins, face à la modification programmée du climat, à une pression foncière accrue et à une obsolescence manifeste des mesures de protection, il était devenu essentiel de réévaluer l'exposition aux risques de ce territoire. Aussi, dans le cadre du projet ANR SAMCO visant à évaluer la résilience des communautés montagnardes dans un contexte de changement global (c. à. d. climatique et socio-économique), une étude se voulant systémique a été menée sur cet espace. Combinant l'étude des aléas et l'évaluation de la vulnérabilité, cette analyse a été menée à différentes échelles spatiales afin de se conformer aux attentes des gestionnaires du risque. Ce travail de recherche est divisé en cinq parties.

La première partie (chapitres 1 et 2) est consacrée à l'analyse des facteurs pouvant prédisposer le bassin du Haut-Guil au déclenchement d'aléas d'origine torrentielle et gravitaire. Le premier chapitre se focalise sur les caractéristiques géologiques, géomorphologiques et anthropiques du bassin tandis que le second s'intéresse au contexte hydroclimatique dans lequel s'inscrit le bassin-versant du Haut-Guil. Il s'articule autour d'une rétrospective des principales catastrophes qui ont frappé le Queyras par le passé. Ces travaux ont permis d'identifier les principaux risques et de mettre en avant le rôle des transferts sédimentaires et des phénomènes de retour d'est dans la genèse des risques.

La deuxième partie (chapitres 3 et 4) se focalise sur l'un des sous-bassins les plus actifs du bassin-versant du Haut-Guil en matière de transferts sédimentaires : le Peynin. L'objectif de cette partie était d'évaluer, à travers une analyse par le budget sédimentaire, le rôle des sédiments dans la genèse des aléas notamment de ceux des crues torrentielles. Dans le chapitre 3, on s'est intéressé à la caractérisation et la quantification des stocks sédimentaires du Peynin. Dans le chapitre 4, nous avons procédé à une quantification des transferts sédimentaires, à l'établissement d'un budget sédimentaire sur 20 ans et à l'analyse de la connectivité fonctionnelle du bassin du Peynin. Ces travaux ont permis de formaliser la cascade sédimentaire du Peynin et de mettre en avant le rôle fondamental des laves torrentielles dans la recharge des stocks intermédiaires. Ces travaux ont aussi mis en lumière la nécessité d'une recharge des stocks sédimentaires comme condition au déclenchement de crues catastrophiques.

Dans la troisième partie (chapitre 5) sont exposées les cartes produites pour chacun des aléas pris en compte : les crues torrentielles, les glissements de terrain et les avalanches. L'aléa « crue torrentielle » a été cartographié par diachronie pour les événements passés (juin 1957 et juin 2000) et à l'aide d'une modélisation hydraulique pour les aléas à venir. Quatre scénarios de crues ont été modélisés : décennale, trentennale-cinquantennale, centennale et supra-centennale. L'aléa « glissement de terrain » a été cartographié suite à une modélisation de la susceptibilité aux glissements de terrain. L'aléa avalancheux a été cartographié à partir des cartes de la CLPA complétées. Ces travaux ont mis en évidence la forte exposition des communes de la Haute-Vallée du Guil aux aléas torrentiels et gravitaires. En comparaison, l'exposition des communes du bas-Queyras et des vallées des Aigues est moindre.

Dans la quatrième partie (chapitres 6, 7 et 8), nous nous sommes intéressés à la composante vulnérabilité du risque. Cette dernière a été évaluée dans ses dimensions « biophysique » et « sociale », d'abord séparément puis conjointement afin de donner un aperçu de la vulnérabilité globale du territoire queyrassin. Dans le chapitre 6, on a ainsi procédé à l'évaluation des conséquences potentielles des différents aléas sur l'ensemble des enjeux bio-physiques du Queyras (bâti, réseaux et occupation du sol). Dans le chapitre 7, sont exposés les résultats de l'enquête de perception des risques menée auprès des Queyrassins. Dans le chapitre 8, nous proposons une méthode innovante visant à évaluer ensemble les aspects biophysiques et socio-économiques de la vulnérabilité. Sur l'aspect biophysique, ce sont les communes de la haute-vallée du Guil qui apparaissent les plus vulnérables. Eu égard à leur exposition moindre aux aléas, les enjeux des communes des vallées des Aigues présentent de faibles conséquences potentielles. Sur le volet social, la tendance est inverse. Les communes de la haute-vallée du Guil, régulièrement impactées par les aléas, ont une population disposant d'une plus grande expérience des risques que dans le reste du Queyras. Cette expérience s'accompagne non seulement d'une meilleure appréciation des risques et de leurs dangers mais aussi d'une plus grande confiance envers les acteurs et gestionnaires locaux des risques.

Dans la cinquième (chapitres 9 et 10), nous avons procédé à l'analyse des risques et de leurs évolutions possibles dans un contexte de changement global. Dans le chapitre 9, sont exposés les travaux relatifs à notre analyse des risques dans le Queyras. Ces travaux s'articulent autour des cartes de risque produites par croisement matriciel des cartes d'aléas et de vulnérabilités présentées dans les chapitres précédents. Ils s'accompagnent d'une réflexion sur la résilience des communautés queyrassines et sur les modalités de la gestion des risques à l'échelle du bassin-versant et de la commune. Dans le chapitre 10, quatre scénarios d'évolution de l'occupation du sol aux horizons 2050 et 2100 sont présentés. Ces scénarios simulent les évolutions possibles du territoire face à différents contextes socio-économiques. L'objectif était de fournir aux gestionnaires locaux les moyens d'une réflexion prospective sur l'avenir des risques et de leur gestion dans le Queyras. D'une manière générale, les risques sont très importants dans le Queyras. Ceux liés aux crues torrentielles sont très présents dans la vallée du Guil, et en particulier dans sa partie amont. Les risques liés aux glissements de terrains sont présents sur l'ensemble du Queyras mais sont plus marqués dans la haute-vallée du Guil et dans les vallées des Aigues. Les risques liés aux avalanches sont également très présents sur ces deux secteurs. Face à ces risques, les gestionnaires queyrassins ont su mettre en place une gestion innovante des risques qui tend vers des modes de gestion intégrées. En dépit d'une forte exposition aux risques, les commutées queyrassines montrent ainsi des signes évidents de résiliences.

Sommaire

Introduction 13

Introduction générale 14

1. – Cadre épistémologique 15

2. – Les milieux alpins, des espaces soumis aux risques ? 19

3. – Changements globaux et impacts probables sur les risques 25

4. – Cadre scientifique et méthodologique 34

1ere Partie – Le bassin-versant du Haut-Guil : Un système prédisposé aux événements catastrophiques ? 39

Chapitre 1 – Les risques dans le Queyras, 240 millions d'années de préparation 41

Chapitre 2 – Un contexte hydroclimatique propice aux catastrophes 56

2eme Partie – Budget sédimentaire du bassin-versant du Peynin, affluent de rive gauche du Haut-Guil 79

Chapitre 3 – Caractérisation et quantification des stocks sédimentaires dans le bassin du Peynin 82

Chapitre 4 – Analyse des transferts sédimentaires, établissement d'un budget sédimentaire sur 20 ans et analyse de la connectivité fonctionnelle du bassin du Peynin 105

3eme Partie – Cartographie des aléas torrentiels et gravitaires 134

Chapitre 5 – Cartographie des aléas torrentiels et gravitaires 135

4eme Partie – Évaluation et analyse des vulnérabilités 176

Chapitre 6 – Évaluation et cartographie de la vulnérabilité biophysique dans le Queyras ... 179

Chapitre 7 – Évaluation de la vulnérabilité sociale dans le Queyras 258

Chapitre 8 – Évaluation conjointe des vulnérabilités biophysiques et sociales 330

5eme Partie – Évaluation et gestion des risques 353

Chapitre 9 – Évaluation et cartographie des risques dans le Queyras 355

Chapitre 10 – Prospectives en matière de risques dans le Queyras 439

Conclusion générale 465

- Introduction -

Introduction générale

Les domaines alpins sont des systèmes complexes, en constant déséquilibre. Leurs caractéristiques intrinsèques – altitudes élevées et fortes pentes – associées à la rudesse de leurs climats, en font des espaces très dynamiques, propices aux aléas d'origine torrentielle et gravitaire (crues et laves torrentielles, avalanches, glissements de terrains, chutes de blocs etc.). Or, en raison des contraintes liées à la topographie (espace, planéité et accessibilité), les communautés alpines se sont, de longue date, implantées dans des espaces soumis à ces aléas, comme les cônes, les fonds de vallées ou les replats topographiques hérités d'anciens glissements. Les bouleversements démographiques et socio-économiques qu'ont subis ces milieux durant la seconde moitié du XX^{e} s. (déclin du pastoralisme et émergence du tourisme), n'ont fait que renforcer cette tendance. L'abandon des pratiques agro-pastorales et l'urbanisation des versants et des fonds de vallées ont, de fait, contribué à transformer les dynamiques naturelles et à accroître l'exposition des sociétés aux risques. Si, pour les communautés alpines, les risques ont toujours fait partie intégrante de la vie quotidienne, la multiplication des catastrophes dans les dernières décennies a soulevé la nécessité de mieux appréhender le fonctionnement de ces milieux. Dans un contexte de changement global (c. à. d. climatique et socio-économique), les prédictions du GIEC, pour les Alpes, suggèrent un renforcement des aléas doublé d'un accroissement des enjeux biophysiques. Face à ce constat, évaluer les risques et anticiper leurs changements futurs sont devenus cruciaux pour définir des stratégies d'adaptation à la mesure du défi qui se profile.

Dans le cadre du programme ANR SAMCO (*Society Adaptation for coping with Mountain risks in a global change COntext*), une étude, qui se veut systémique et pluridisciplinaire, a été engagée en vue d'évaluer les risques et leurs évolutions futures dans les domaines de haute montagne français. La présente thèse s'inscrit dans ce projet et y contribue à travers l'évaluation et l'analyse des risques passés, présents et futurs dans la Haute-Vallée du Guil (Queyras, Hautes-Alpes). Ce territoire des Alpes du Sud présente toutes les caractéristiques physiques et socio-économiques des hautes vallées alpines. Enclavé, peu peuplé et très dépendant des activités touristiques, il présente des caractéristiques physiques (lithologie fournissant des matériaux en abondance, opposition structurale des versants, importance des retours d'est, etc.) qui le prédisposent à un certain nombre d'aléas. C'est un espace qui fait figure d'exemple, tant par le nombre que par l'ampleur des catastrophes qui s'y sont déroulées. Au cours de la décennie 2000, il a été le théâtre de multiples épisodes catastrophiques en lien avec les crues torrentielles, les avalanches et les glissements de terrain. Véritable laboratoire des risques, il est également sujet à des jeux d'acteurs parfois complexes qui vont de plus en plus dans le sens d'une gestion intégrée des risques.

À travers l'exemple queyrassin, cette thèse explore la thématique des risques et de leurs gestions en domaine montagnard. Cette thématique, nous avons choisi de l'aborder selon différents prismes. D'abord, sous l'angle historique, à travers une analyse rétrospective des risques visant à identifier les facteurs de prédisposition et de déclenchement à l'origine des catastrophes. Ensuite, sous l'angle physique, *via* l'analyse de ces facteurs et la cartographie de trois types différents d'aléas : les crues torrentielles, les glissements de terrain et les avalanches. Puis, sous l'angle de la vulnérabilité physique, avec l'analyse des conséquences potentielles des aléas sur les enjeux biophysiques (bâti, réseaux et occupation du sol), et enfin, sous l'angle social, avec l'étude des perceptions et des représentations que se font les Queyrassins des risques. Une fois cette tâche effectuée, les risques et leurs gestions seront analysés à différentes échelles (locale et régionale). Pour finir, des scénarios prospectifs aux horizons 2050 et 2100 seront proposés en vue d'illustrer les évolutions probables des risques en lien avec différentes trajectoires de développements socio-économiques.

1. Cadre épistémologique

La présente thèse se revendique de ce qu'il convient d'appeler la « géographie des risques » (D'Ercole et Pigeon, 1999 ; Pigeon, 2002 ; Lévy et Lussault, 2003). Ce domaine de recherche dispose d'un vocabulaire propre dont la clé de voûte est sans conteste la notion de risque. En géographie, cette notion est étroitement liée à l'appréhension des interactions entre sociétés humaines et milieux naturels (D'Ercole et *al.*, 1994 ; Leone et Vinet, 2006 ; Antoine *et al.*, 2010 ; Barroca *et al.*, 2013). C'est donc par nature un thème transversal qui nécessite de mobiliser de concert les composantes naturalistes et sociales de la discipline (Pigeon, 2002 ; Leone et Vinet, 2006 ; Donze, 2007 ; Provitolo et Dauphiné, 2007). Pour ce faire, nous aborderons ici la thématique des risques sous l'angle des systèmes et de la transdisciplinarité. L'approche systémique permet l'identification et la représentation des interactions entre les différents facteurs concourant à créer le risque (D'Ercole *et al.*, 1994 ; Pigeon, 2002 ; Wisner *et al.*, 2004 ; Provitolo et Dauphiné, 2007). Or, appréhender ces interactions requiert l'usage de compétences spécifiques, d'où la nécessité de faire appel à la transdisciplinarité (Dacharry et Laganier, 2001 ; Pigeon, 2005 ; Veyret et Reghezza, 2005). Pour mener à bien l'analyse des risques dans le bassin du Haut Guil, nous serons amenés à mobiliser un certain nombre de concepts issus pour partie des sciences physiques et pour partie des sciences humaines. Expliciter ces concepts, même de manière non-exhaustive, est capital pour cerner le positionnement qui sera le nôtre tout au long de ce travail.

1. 1. Les mots du risque

Avant d'entrer dans le vif du sujet, il convient de distinguer ce qui relève du risque de ce qui relève de la catastrophe. Dans la littérature, ces termes sont couramment interchangés alors même que leur signification est très différente. Ainsi, si une catastrophe implique nécessairement la présence d'un risque, l'inverse n'est pas vrai. Une catastrophe est avant tout un risque matérialisé (Thouret et D'Ercole, 1996 ; Leone et Vinet, 2006). En d'autres termes, c'est une « *rupture grave du fonctionnement d'une communauté ou d'une société impliquant d'importants impacts et pertes humaines, matérielles, économiques ou environnementales que la communauté ou la société affectée ne peut surmonter avec ses seules ressources* » (UNISDR, 2009).

Le risque est bien plus complexe à définir, car situé à la croisée du danger et de sa probabilité (Schneiderbauer et Ehrlich, 2004 ; Metzger et D'Ercole, 2011). S'il n'existe pas à l'heure actuelle de consensus clair sur sa définition (Villagràn De León, 2006a), la grande majorité des auteurs et institutions s'accordent sur l'importance fondamentale du couple aléa / vulnérabilité (UNDRO, 1979 ; Alexander, 2000 ; Villagràn De León, 2001 ; Hahn, 2003 ; Dilley *et al.*, 2005 ; Leone et Vinet, 2006). De ce constat en découle un autre, à savoir que le risque dépend au premier chef de ce que l'on intègre dans les termes d'aléa et de vulnérabilité.

Dans le domaine des risques naturels, le terme d'aléa est bien balisé et ne pose donc guère de problèmes sur le plan épistémologique. Un aléa est un *« processus ou phénomène naturel qui peut causer des pertes de vies humaines, des blessures ou d'autres effets sur la santé, des dommages aux biens, la perte de moyens de subsistance et de services, des perturbations socio-économiques, ou des dommages à l'environnement* » (UNISDR, 2009). Il représente tout ce qui relève du « naturel » renvoyant par la même à une perturbation extérieure aux sociétés humaines. Il est ainsi souvent considéré comme la face « externe » du risque par opposition à la vulnérabilité qui en serait la face « interne » (Quenault, 2015).

La notion de vulnérabilité fait appel à divers champs sémantiques et présente une multitude de définitions. C'est une notion complexe, à la fois polysémique, multiscalaire et multidimensionnelle (Fabiani et Theys, 1987 ; Pigeon, 2005 ; Léone, 2007 ; Fuchs *et al*., 2007 ; 2009 ; Birkmann *et al*., 2013 ; Papathoma-Köhle *et al*., 2017). Selon le champ d'étude dans lequel elle s'inscrit, sa définition peut varier considérablement (Ayral, 2002 ; Cutter, 2003 ; Liegeois, 2005). Dans le seul champ des sciences sociales, Becerra (2012) identifie ainsi non moins de 25 définitions différentes ! Le nombre même des différentes composantes de la vulnérabilité – biophysique, économique, sociale, institutionnelle, environnementale, patrimoniale, etc. – fait encore l'objet d'un débat au sein de la communauté scientifique (Tapsell *et al*., 2010 ; Ciurean *et al*., 2013). En géographie des risques, deux courants dominent néanmoins : l'approche dite « biophysique » et l'approche dite « sociale » (Fuchs *et al*., 2007, Fuchs, 2009 ; Barroca *et al*., 2013 ; Birkmann *et al*., 2013 ; Papathoma-Köhle *et al*., 2017).

La vulnérabilité biophysique se rattache au champ des sciences physiques et ingénieuriales (UNDRO, 1979 ; Alexander, 1993 ; Quenault, 2015). Cette forme spécifique de vulnérabilité reflète « *l´importance de la perte subie par un élément ou une série d'éléments exposés à la suite de la survenue d'un phénomène d'une ampleur déterminée* » (UNDRO, 1979). La vulnérabilité biophysique renvoie donc à un degré d'endommagement potentiel sur des enjeux matériels et humains soumis à un ou plusieurs aléas (Fuchs *et al*., 2007 ; Uzielli *et al*., 2008 ; Holub *et al*., 2012 ; Puissant *et al*., 2013 ; Totschnig et Fuchs, 2013 ; Quenault, 2015). La vulnérabilité biophysique est donc déterminée avant tout par la nature et la probabilité d'occurrence de l'aléa ainsi que par l'exposition et les caractéristiques intrinsèques des enjeux (Wisner *et al*., 2004 ; Douglas, 2007 ; Mazzorana *et al*., 2012 ; Barroca *et al*., 2013 ; Kang et Kim, 2016 ; Papathoma-Köhle *et al*., 2017). Cette forme de vulnérabilité est donc par définition, aléa-centrée.

La vulnérabilité sociale se rattache davantage au champ des sciences humaines. Elle renvoie aux « *caractéristiques d'une personne ou d'un groupe de personnes en terme de capacité à anticiper, affronter, résister et récupérer des impacts d'un aléa* » (Blaikie *et al*., 1994). Selon cette définition, le degré de vulnérabilité relève de l'absence de l'une ou l'autre de ces capacités (Glade, 2003 ; Veyret et Reghezza, 2005). La vulnérabilité sociale laisse généralement de côté le temps de l'aléa pour se concentrer sur les facteurs socio-économiques et démographiques préexistants pouvant affecter la résilience des sociétés évoluant sur un territoire donné (Clark *et al*., 1998 ; Wu *et al*., 2002 ; Cutter *et al*., 2003 ; Chakraborty *et al*., 2005 ; Birkmann, 2006a ; Steinführer *et al*., 2009 ; Flanagan *et al*., 2012).

Combiner ces deux approches est primordial pour dépasser le traditionnel clivage entre vulnérabilité biophysique et vulnérabilité sociale (Fuchs, 2009 ; Birkmann *et al*., 2013 ; Carlier *et al*., 2018a). Dès les années 1990, D'Ercole *et al.* (1994) pointaient du doigt la nécessité d'appréhender la vulnérabilité sous l'angle des systèmes. Avec le renforcement des craintes concernant les impacts des changements globaux (c.à.d. climatiques et socio-économiques) sur les risques « naturels », cette aspiration est devenue plus présente à l'heure actuelle (Hellequin *et al*., 2013 ; Quenault, 2015 ; Delaître *et al*., 2017). Durant la dernière décennie, plusieurs auteurs ont proposé des travaux allant dans le sens d'une approche globale de la vulnérabilité. Ebert *et al.* (2009) et Müller *et al*. (2011) ont élaboré une méthode permettant de combiner des indicateurs de vulnérabilité sociale avec des critères physiques dérivés d'imagerie aérienne et de bases de données SIG (Système d'Information Géographique). Armas et Gavris (2013) puis Armas *et al.* (2017) ont combiné des indicateurs sociaux et économiques avec des critères relatifs à la qualité de l'habitat. Koks *et al.* (2015) ont proposé un modèle pour évaluer les impacts directs et indirects de divers scénarios de crue aux Pays-Bas en combinant aléa, exposition des enjeux et indicateurs socio-économiques. Dans le même esprit, Chang *et al.* (2015) ont élaboré un indice de vulnérabilité prenant en compte aussi bien les aspects économiques et sociaux que le capital bâti et les milieux naturels. Karagiorgos *et al.* (2016) ont combiné des courbes de vulnérabilité avec des

variables socio-économiques afin d'estimer la vulnérabilité physique et la vulnérabilité sociale d'enjeux exposés au risque d'une crue éclair dans l'est de l'Attique en Grèce. Enfin, Eidsvig *et al.* (2017) ont employé conjointement des indicateurs de vulnérabilité biophysique et social pour estimer les impacts induits par divers aléas sur des infrastructures de réseau en Norvège.

Le concept de vulnérabilité systémique a longtemps souffert de son manque d'opérationnalité, notamment en raison de la difficulté à combiner les diverses approches de la vulnérabilité. S'il a pu un temps être perçu comme un idéal à atteindre plutôt qu'un moyen efficace de lutter contre la vulnérabilité, c'est désormais un concept incontournable de la gestion des risques. Dans le travail de thèse présenté ici, je me suis efforcé d'adopter ce point de vue car il apparaît comme un moyen adapté pour appréhender la vulnérabilité dans toute sa complexité.

1. 2. Le risque, concepts et définition

Le risque est un objet complexe résultant du croisement de deux éléments principaux, l'aléa et la vulnérabilité. Ces termes ayant été clarifiés (cf. *supra*), il convient désormais de se recentrer sur la définition même du risque. Selon le point de vue adopté et l'importance accordée à l'une ou l'autre de ces composantes, la définition du risque peut varier considérablement.

Dans son expression la plus courante, le risque est défini comme « *la combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences négatives* » (UNDP, 2004 ; UNISDR, 2009). Cette définition est couramment exprimée sous la forme de ce que l'on appelle l'équation du risque (Wisner *et al*., 2004) :

Risque = Aléa x Vulnérabilité

Si cette définition illustre en partie les interactions entre société et milieu naturel, elle présente le désavantage d'être trop « aléa-centrée » (Bolin et Stanford, 1998 ; Cartier *et al*., 2009 ; Coanus *et al*., 2010) et de renvoyer directement à une confrontation entre nature et société humaine (Pigeon, 2005 ; Metzger et D'Ercole, 2011). Cette vision oppose bien souvent un aléa « actif » à une vulnérabilité perçue davantage comme « passive ». De ce fait, elle tend à privilégier les stratégies d'évitement de l'aléa plutôt qu'une action sur l'ensemble du « système risque ». Dès lors, cette approche du risque peut avoir des effets pervers en accroissant, au lieu de la réduire, la vulnérabilité des individus et des sociétés (Pigeon 2006).

Avec les « révolutions conceptuelles » des années 1970-1980, puis de la décennie 2000, la vulnérabilité occupe une place de plus en plus importante dans la définition du risque (D'Ercole, 2014). Pendant les années 1979-1980, la vulnérabilité acquiert une consonance plus sociale, donc plus « active » (Fabiani et Theys, 1986 ; Wisner, 2004). Dans la décennie 2000, les enjeux et la vulnérabilité se retrouvent au cœur de la définition du risque en lieu et place de l'aléa (Alexander, 2000 ; Demoraes, 2004 ; Maquaire *et al*., 2004 ; Fell *et al*., 2005 ; Malet *et al*., 2006).

Dans la définition de l'UNDRO (1979) reprise par Kron (2002) et Dilley *et al.* (2005), le risque est défini à travers la combinaison de trois éléments : l'aléa, la vulnérabilité et l'exposition. La vulnérabilité y est perçue comme une caractéristique intrinsèque des populations, des infrastructures (bâti et réseaux) et de l'occupation du sol à vocation économique et/ou environnementale ; l'aléa caractérise la magnitude, la durée et l'emprise spatiale de l'événement naturel. Cette relation peut être représentée par l'équation suivante :

Risque = Aléa x Vulnérabilité x Exposition

Partant de cette définition, Alexander (2000) définit le risque total comme « *la probabilité qu'un certain niveau de perte soit supporté par une série d'éléments exposés à un niveau d'aléa donnée* ». Le risque total représenterait donc la somme prévisible des impacts corporels, structurels et fonctionnels pouvant affecter une société humaine. Cette définition, centrée sur les enjeux humains et matériels, peut être représentée par l'équation suivante :

Risque Total = Aléa x Vulnérabilité x (∑ des éléments exposés)

Fell *et al.* (2005), tout en restant centrés sur les éléments exposés, insistent sur leur dimension économique. La définition du risque qu'ils donnent peut être synthétisée de la façon suivante :

Risque = Aléa x Vulnérabilité x Valeur des éléments exposés au risque

Ces trois définitions du risque accordent une place centrale à la composante vulnérabilité via l'étude des enjeux exposés. Néanmoins selon ces définitions l'aspect « social » du risque est négligé au profit de sa seule dimension « physique ».

Tout autre est la vision de Villagràn De León (2001, 2006b). Davantage portée sur l'aspect social du risque, il introduit la notion de « défaut de préparation » dans sa définition. Ce concept fait appel à l'ensemble des conditions qui peuvent affecter négativement la réaction des institutions et des pouvoirs publics en cas de catastrophe. Le défaut de préparation intègre aussi bien l'absence de plan d'évacuation que le manque de systèmes d'alerte ou l'absence de gestion intégrée des risques. La nouvelle équation du risque qui en découle est la suivante :

Risque = Aléa x Vulnérabilité x Défaut de préparation

Cette définition du risque intègre les composantes socio-économiques et institutionnelles de la vulnérabilité mais fait cependant peu de cas des capacités de résistance et d'adaptation des sociétés confrontées au risque. La définition de Hahn *et al.* (2003) compense en partie ce manque via l'ajout de la notion de « capacité d'adaptation » (« *coping capacities* » dans la littérature anglo-saxonne). La capacité d'adaptation désigne ici la faculté qu'ont les sociétés ou les milieux naturels à s'adapter, à tirer profit ou à affronter les conséquences d'un événement ou d'une situation particulière. Cette notion a suscité un certain engouement et a donné lieu à une nouvelle représentation du risque :

Risque = (Aléa x Vulnérabilité) / Capacité d'adaptation

Depuis 2005, avec la démocratisation, du terme de résilience, la notion de capacité d'adaptation s'est peu à peu effacée des discours sur le risque (Vale et Campanella, 2005 ; Barroca *et al*., 2012 ; 2013 ; Reghezza-Zitt, *et al*., 2013). Face aux menaces posées par les impacts des changements globaux (c.à.d. climatiques et socio-économiques) sur les risques naturels, la vision qui prévaut est désormais la suivante :

Risque = (Aléa x Vulnérabilité) / Résilience

À l'image de la vulnérabilité ou du risque, la résilience est multi-facette et renvoie simultanément à plusieurs notions. Une connaissance exhaustive de ce concept est difficile en raison de la diversité de ses aspects (Djament-Tran et Reghezza, 2012 ; Serre *et al*., 2012 ; Barroca *et al*., 2013). Apparu dans le domaine de la psychologie (Werner *et al*., 1971 ; Garmezy *et al*., 1984), ce concept a remporté un vif succès dans de nombreuses autres disciplines scientifiques (économie, médecine, écologie, géographie des risques, etc.). En peu de temps, le concept a évolué au point de devenir un des termes centraux de la gestion des risques (Aschan Leygonie, 2000 ; Barroca *et al*., 2013 ; Reghezza-Zitt, *et al*., 2013). D'après Van der Leeuw et Aschan Leygonie (2000), la résilience est « *un concept intégrateur, bien adapté à la gestion de risques possédant une double dimension physique et sociale* ».

Le premier à employer la notion de résilience dans un contexte géographique (écologie) est Holling (1973). Il l'utilise pour qualifier « *l'importance d'une perturbation qu'un écosystème peut encaisser sans changer de structure* ». Dès son apparition en géographie, le terme de résilience est donc rattaché au concept de système et à la notion de résistance. Issu des sciences économiques, Paquet (1999) lui adjoint la notion de capacité à retrouver un « état d'équilibre ». Cet ajout suggère que le système en question était initialement à l'état d'équilibre, ce qui est rarement le cas dans les faits. Aussi, Dauphiné et Provitolo (2003, 2007) ont préféré la définir comme l'habilité à recouvrer rapidement un « état de fonctionnement acceptable ». Plus tard, Provitolo (2009) y intègre les notions de capacité de résistance et de capacité de récupération. Vale et Campanella (2005) insistent quant à eux sur un autre aspect de la résilience, à savoir l'apprentissage et la mémoire des risques. Barroca *et al.* (2012) rattachent la notion de résilience au domaine de la vulnérabilité institutionnelle en la redéfinissant comme la capacité à résister et à se doter d'organisations territoriales « adaptées ». Serre (2011) puis Lhomme (2012) agrègent ces différentes idées pour définir la résilience comme la somme des capacités de résistance, de récupération et d'absorption d'une société.

In fine, le concept de risque a considérablement évolué au cours des deux dernières décennies. Cette évolution s'explique en grande partie par le développement des études sur la vulnérabilité et par l'émergence de la notion de résilience en géographie des risques. Dans les travaux présentés ci-après, je me suis efforcé d'aborder la thématique des risques selon une approche systémique. Ce faisant, j'ai opté pour une définition du risque intégrant l'ensemble des sphères composant le « système risque », à savoir celle intégrant la notion de résilience sous sa forme la plus récente (Lhomme, 2012).

2. Les milieux alpins, des espaces soumis aux risques ?

En raison de caractéristiques inhérentes à leurs environnements physiques et socio-économiques, les communautés alpines d'Europe sont particulièrement exposées aux risques dits « naturels » (Zingari et Fiebiger, 2002 ; Hewitt et Mehta, 2012 ; Fuchs *et al.*, 2013 ; 2017 ; Carlier *et al.*, 2018b). Dresser un tableau même succinct de ces caractéristiques est important pour bien saisir le cadre général dans lequel s'inscrit ce travail.

2. 1. Un milieu physique propice au déclenchement d'aléas multiples

Sur le plan physique, les milieux alpins présentent nombre de spécificités propre aux espaces de moyenne (1000-2500 m) et haute (> 2500 m) montagnes (Slaymaker et Embleton-Hamann, 2009) : forte énergie du relief, roches propices à l'érosion différentielle, tectonique active et climat changeant (Veyret et Laganier, 2013).

2. 1. 1. L'altitude

Le relief, dont l'altitude et les pentes sont les éléments principaux, a un rôle essentiel dans la genèse des aléas naturels en montagne (Chardon, 1989 ; Slaymaker et Embleton-Hamann, 2009). L'altitude (Fig. 0. 1.) influe ainsi sur de nombreux facteurs climatiques. Dans les massifs alpins, la température diminue avec l'altitude d'environ 0,5 à 0,6°C par tranche de 100 m de dénivelé (Douguedroit et De Saintignon, 1970 ; Panini et Amandier, 2005 ; Körner, 2007 ; Kollas *et al.*, 2014). Ce gradient thermique altitudinal a un effet considérable sur l'étagement de la végétation (Douguedroit, 1984 ; Körner, 2007 ; Kollas *et al.*, 2014) de même que sur la fréquence et l'intensité des événements de gel/dégel (Védie, 2008). De par son influence sur le couvert végétal et l'érosion, l'altitude s'impose comme l'un des principaux facteurs contrôlant la production sédimentaire primaire (Francou, 1988). Or, la disponibilité en sédiments est un paramètre essentiel au déclenchement de nombreux aléas hydrologiques (crues) et hydro-gravitaires (laves torrentielles ; Ohmori et Shimazu, 1994 ; Remaître,

2006 ; Cavalli *et al*., 2013 ; Heckmann et Schwanghart, 2013 ; Cossart *et al.*, 2017). *Via* la température et les effets orographiques (effet barrière/effet de foehn), l'altitude contrôle également la nature (ratio neige/pluie) et l'intensité des précipitations (Slaymaker et Embleton-Hamann, 2009 ; Naaim-Bouvet *et al.*, 2012).

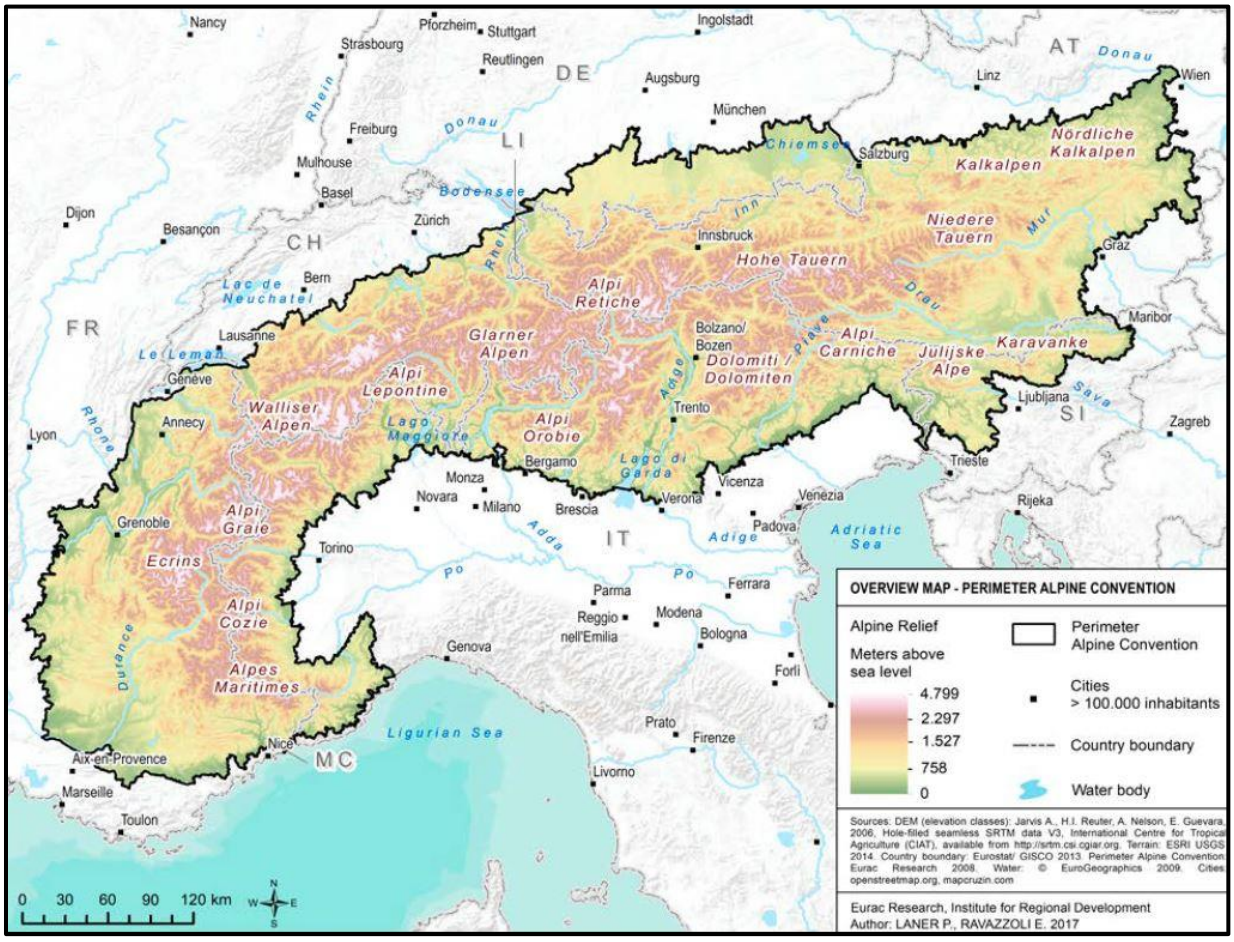


Figure 0. 1. : Le relief alpin (tiré de « The Alps in 25 maps », Alpine convention, 2017).

2. 1. 2. Pentes et formes des versants

La forme des versants (Fig. 0. 2.) et les pentes sont le deuxième paramètre essentiel à prendre en compte. Ils conditionnent les forces gravitationnelles qui déterminent la vitesse de propagation, l'énergie cinétique, donc l'intensité et l'emprise spatiale des phénomènes gravitaires (Varnes, 1978 ; Francou, 1988 ; Chardon, 1989 ; Crozier, 1989 ; Flageollet, 1989). La forme des versants et les pentes ont une incidence sur la réception des radiations solaires et des précipitations et contribuent à déterminer la direction et le régime des vents (Escourrou, 1981 ; Lhotellier, 2005 ; Naaim-Bouvet *et al*., 2012). Les effets du relief sur les vents ont des répercussions fortes sur la répartition et l'importance des dépôts neigeux et ont donc un rôle important dans l'occurrence des phénomènes avalancheux (Mases *et al*., 1995 ; Naaim-Bouvet *et al*., 2012 ; Vionet, 2012). Altitude et pentes se conjuguent pour renforcer l'impact des précipitations et donner aux écoulements un caractère torrentiel (Chardon, 1989). Elles entraînent une concentration rapide des eaux pluviales ou nivales (eau de fonte) et une vitesse élevée des flux hydriques tout en permettant un transport solide considérable (Mizuyama, 1977 ; Lenzi *et al*., 2004). Dans les petits bassins supérieurs où les flux hydriques arrivent très rapidement jusqu'aux talwegs, les débits spécifiques peuvent atteindre des valeurs impressionnantes et contribuer à produire des crues à caractère catastrophique (Brochot et Meunier, 1996 ; Fort *et al*., 2002).

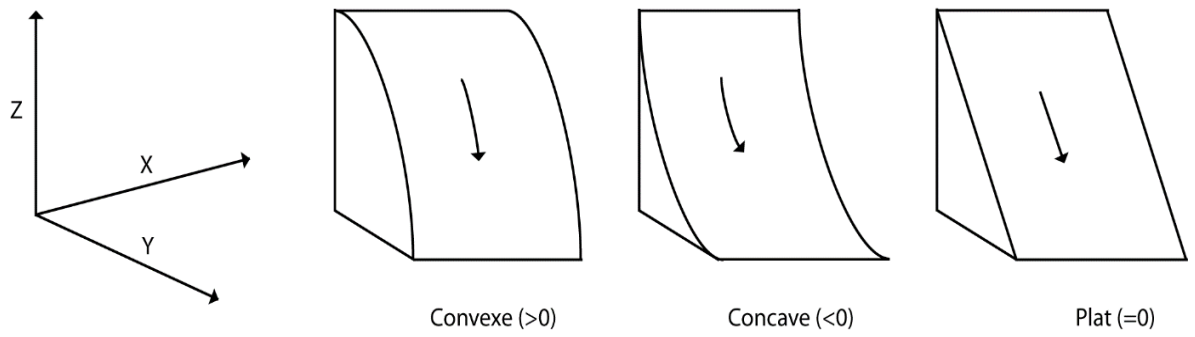


Figure 0. 2. : La forme des versants (d'après Florinsky, 1996).

2. 1. 3. Les facteurs déclenchants : tectonique et climat

Le relief, via l'altitude, les pentes et la forme des versants, constitue le principal facteur prédisposant pour de nombreux aléas. En revanche, le déclenchement de ces derniers résulte généralement de précipitations intenses et/ou de l'activité sismique (Varnes, 1978 ; Alexander, 1993 ; Cruden et Varnes 1996 ; Martins-Campina, 2005 Wu *et al*., 2018). Il convient de rappeler brièvement la nature de l'aléa sismique dans les Alpes (Fig. 0. 3.). Le bassin méditerranéen est le lieu de rencontre de deux grandes plaques continentales : Afrique et Eurasie. Cet affrontement induit une poussée de la microplaque Adriatique sur l'ouest de l'Europe dont la chaîne alpine est le produit (Nocquet, 2002 ; Terrier, 2007). Les déformations qui résultent de cet affrontement continental engendrent de nombreux séismes d'intensité variable. Si ces séismes ne provoquent pas nécessairement de dégâts, ils peuvent à l'occasion perturber l'équilibre des forces à l'œuvre au sein du milieu physique alpin. Le rôle des séismes est ainsi prépondérant dans le déclenchement des aléas gravitaires (chute de blocs, glissements de terrains, avalanches, etc.). Du fait de leurs caractéristiques physiques, les milieux alpins sont donc le théâtre de processus dynamiques qui peuvent donner lieu à divers aléas géodynamiques (séismes), morphodynamiques (glissements de terrain, éboulements, chutes de blocs, etc.) et hydroclimatiques (crues et laves torrentielles, inondation, avalanches, etc. ; Arnaud-Fassetta, 2013). Une des particularités des milieux alpins réside dans la combinaison fréquente de plusieurs aléas qui, par un effet domino, peuvent engendrer des perturbations pouvant affecter l'ensemble du système considéré (Papathoma-Köhle *et al*., 2011 ; Fuchs *et al*., 2013 ; Keiler et Fuchs, 2016).

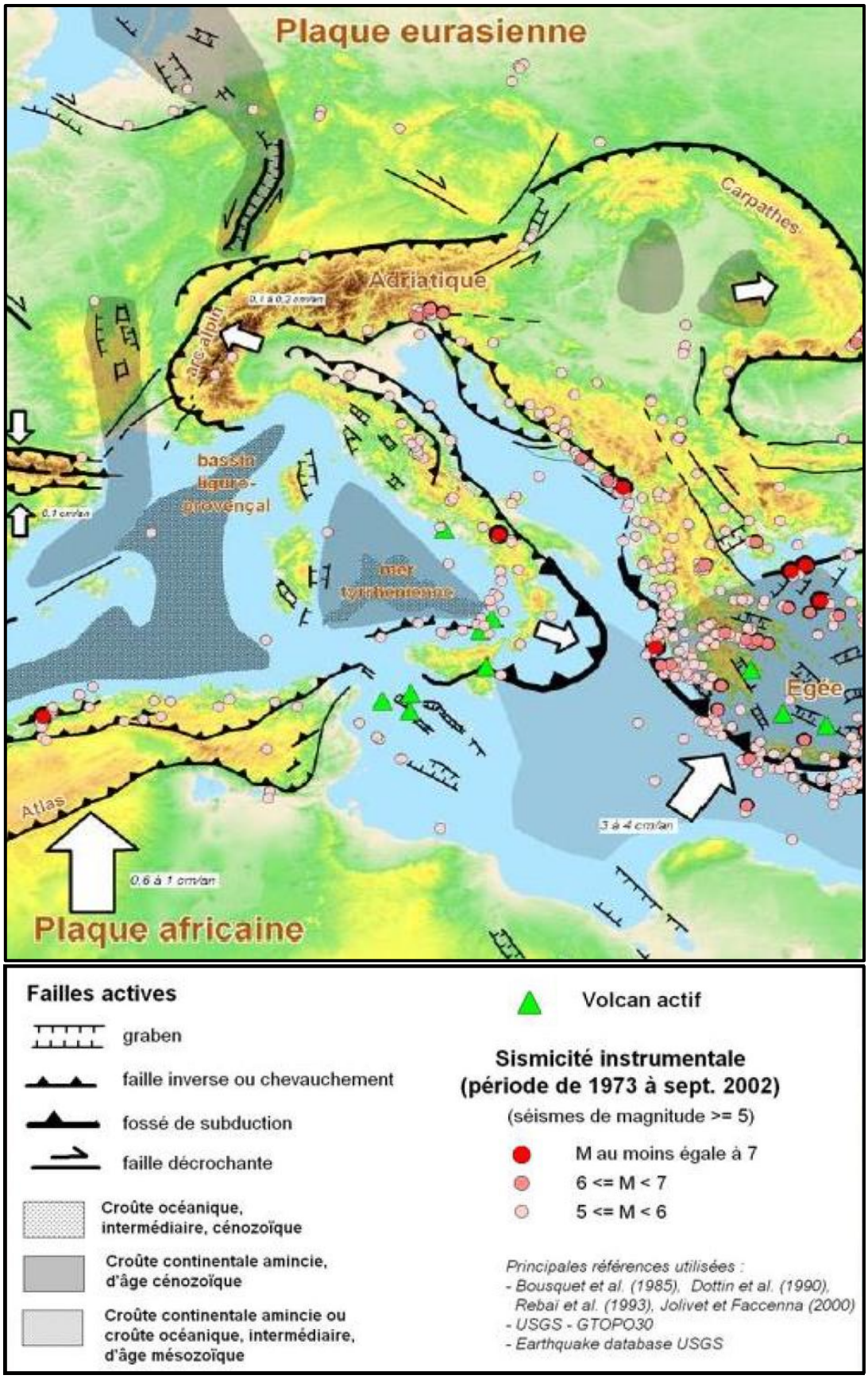


Figure 0. 3. : Schéma sismotectonique de la Méditerranée et de ses bordures (sources : BRGM, 2003).

2. 2. Les communautés alpines, des sociétés vulnérables ?

En l'absence de personnes ou de biens exposés à un aléa, il n'y a pas de risque (Metzger et D'Ercole, 2011). À cette égard, les communautés alpines se distinguent par un degré de vulnérabilité élevé qui relève pour partie des contraintes exercées par la topographie et le relief sur l'implantation humaine et pour partie de l'évolution récente des modèles de développement socio-économiques mis en place dans ces milieux spécifiques (Zingari et Fiebiger, 2002 ; Herrera, 2010 ; Hewitt et Metha, 2012).

2. 2. 1. Des sociétés exposées à de multiples aléas

En milieu montagnard, la topographie et le relief imposent de fortes contraintes de place qui limitent l'accessibilité et rendent difficile une extension continue et sûre de l'urbanisation (Billet, 2003 ; Arnaud-Fassetta *et al*., 2005). Les communautés locales disposent généralement de peu de réserve foncière et elles ont (ou ont eu tendance à) implanter du bâti et des infrastructures dans des espaces fortement exposés aux aléas d'origine naturelle (cônes de déjection, plaines d'inondation, terrains instables, etc. ; Arnaud-Fassetta *et al*., 2005 ; Herrera, 2010). Si cette problématique est valable pour l'ensemble des Alpes, elle concerne au premier chef les vallées étroites et partiellement enclavées des Alpes internes. Dans ces espaces, les points d'accès sont peu nombreux et les réseaux s'articulent le plus souvent autour d'une unique route située en fond de vallée (Mestre-Gonguet, 2002 ; Arnaud-Fassetta *et al*., 2005). La dépendance élevée à ces réseaux essentiels (« *lifeline* » dans la littérature anglo-saxonne) entraîne une forte vulnérabilité des territoires concernés (Leone *et al*., 2014 ; Mattsson et Jenelius, 2015). De fait, de tels réseaux sont fréquemment bloqués et/ou endommagés à cause des variations de température (alternance gel/dégel ; Mauduit *et al*., 2013), des intempéries (pluie et neige ; Bernier, 2004) ou des aléas naturels (mouvements de terrain, chutes de blocs, laves torrentielles, avalanches, etc. ; Keiler *et al*., 2006 ; Boudières *et al*., 2010 ; Leone *et al*., 2014 ; Rupi *et al*., 2015 ; Utasse *et al*., 2016). L'isolation due à une coupure de réseau peut entraîner de graves conséquences en termes d'accès aux secours et de gestion des personnes (ravitaillement, évacuation, etc. ; Bernier, 2003 ; Boudière, 2008 ; Leone *et al*., 2014 ; Mattsson et Jenelius, 2015). C'est un problème auquel il est difficile de remédier dans la mesure où l'implantation de nouvelles infrastructures est contrainte par la topographie et entraîne irrémédiablement des coûts élevés de mise en place et d'exploitation (Santarelli, 1974 ; Spindler, 2005). Ces formes de vulnérabilité dites « physiques » (c.à.d. corporelle, structurelle et fonctionnelle ; Puissant *et al*., 2013), liées à une exposition forte des enjeux humains aux aléas naturels, se doublent d'une vulnérabilité dite « sociale » relevant davantage des caractéristiques démographiques, économiques et socio-historiques des milieux alpins (Metzger et D'Ercole, 2011 ; Hewitt et Metha, 2012).

2. 2. 2. Mutations socio-économiques et émergence de nouvelles formes de vulnérabilité

Les milieux montagnards alpins font souvent figure d'espaces marginaux (Perlik, 1996, 2015 ; Sega, 2017) ou périphériques face aux grands centres urbains des Préalpes et du Piémont (Lyon, Chambéry, Genève, Milan, Turin, Vienne, Munich, etc.). De fait, les communautés montagnardes alpines se caractérisent généralement par une population clairsemée et des ressources limitées et éparpillées dans l'espace (Zingari et Fiebiger, 2002 ; Hewitt et Metha, 2012). Cette marginalité est avant tout le fruit de politiques de développement territorial auxquelles les Alpes ont été soumises (Raffestin et Crivelli 1985 ; Sega, 2017). Deux périodes ont fortement contribué à façonner les sociétés alpines actuelles : 1) la déprise agro-pastorale de l'après-guerre et 2) l'émergence dans les années 1960-1970 du tourisme de masse.

Suite de l'effondrement dans les années 1950-1960 des économies traditionnelles fondées sur l'exploitation agropastorale et sylvicole – en partie liées aux inondations catastrophiques de la fin de la décennie 1950 –, les milieux alpins ont subi de profonds bouleversements socio-économiques (Gumuchian *et al*., 1980 ; David *et al*., 1986 ; MacDonald *et al*., 2000 ; Garde *et al*., 2014). Cette crise a entraîné une pénurie de travail et a forcé de nombreuses personnes à l'émigration, participant par la même à l'accélération du déclin des centres urbains traditionnels (Perlik, 1996 ; Bätzing, 2003 ; Perlik, 2015). Les conséquences en ont été une dégradation des paysages agricoles, un morcellement du foncier, une paupérisation des populations permanentes ainsi qu'un vieillissement de la population et un retrait progressif des institutions et des services publics (Gumuchian *et al*., 1980 ; Courtot et De Reparaz, 1982 ; David *et al*., 1986 ; Mériaudeau, 1989 ; De Reparaz, 1992 ; Taulelle, 2012). Cette crise a contribué à de fortes inégalités au sein du massif alpin et a durablement fragilisé les sociétés qui y évoluent. Les stigmates de cette crise sont encore très présents (Hilal *et al*., 2011). En France, les espaces de montagne éloignés des centres urbains ont des taux de chômages plus élevés que la moyenne nationale et un niveau de vie globalement plus faible (Hilal *et al*., 2011).

Pour faire face à la désertification et à l'appauvrissement de leur population, les communautés montagnardes se sont massivement tournées vers l'économie du tourisme (Herbin, 1984 ; Amourous, 2000). Déjà présent de manière marginale depuis la fin du XIX^{e} s., le tourisme alpin a pris une autre dimension en 1960 avec l'adoption en France du « Plan neige ». Ce dernier a entraîné le développement de nombreuses stations de sport d'hiver en moyenne et haute montagnes, en particulier dans les Alpes (Amourous, 2000). Dans un premier temps, l'émergence du tourisme de masse a permis de redynamiser des espaces montagnards autrefois dépréciés (Préau, 1984). Dans un second temps, il a favorisé l'apparition de nouvelles formes de vulnérabilité et de risque (Reyt, 2000). Le développement du tourisme en montagne relève du principe de « *modernité réflexive* » énoncé par Beck (2001) dans « *La société du risque* ». Les développements socio-économiques qu'il a induits ont produit des conséquences non intentionnelles et insoupçonnées par les sociétés montagnardes, qui ont paradoxalement multiplié les perturbations et provoqué de nouveaux risques (Fuchs *et al*., 2013). Ainsi, le tourisme a considérablement accru la pression urbanistique et a occasionné une dégradation des milieux naturels et une multiplication des enjeux dans des espaces exposés aux aléas (Pigeon, 1998). L'afflux massif et ponctuel – la population de certaines communes pouvant être multipliée par plus de 20 ! (Butler, 1998 ; INSEE, 2006) – de populations peu ou pas éduquées à la problématique des risques a posé et pose encore des problèmes en matière de prévention et de gestion des risques. Si les habitants permanents ont une culture du risque généralement bien ancrée, il n'en va pas de même concernant les touristes ou les néo-ruraux attirés par la qualité de vie ou la manne touristique (Reyt, 2000 ; Peltier, 2005 ; Fuchs *et al*., 2013). Dans le but de préserver l'image touristique de leur territoire, les acteurs locaux (gestionnaires, commerçants etc.) ont aussi parfois tendance à freiner la communication dans le domaine des risques naturels (Douvinet *et al*., 2011). En outre, avec le développement du tourisme hivernal, on a assisté à une hyper-spécialisation de nombreuses vallées alpines (Butler, 1998 ; Elsasser et Bürki 2002 ; Muhar *et al*., 2007). Cette mono-activité implique une forte dépendance aux conditions météorologiques locales et au contexte économique global. Or une population financièrement dépendante d'une activité aussi inégale que le tourisme est plus fragile, donc moins apte à récupérer après un événement inattendu tel qu'une catastrophe naturelle. Perçu initialement comme un idéal de développement, le tourisme pose aujourd'hui de sérieux problèmes en termes de vulnérabilité biophysique et socio-économique, donc de résilience.

3. Changements globaux et impacts probables sur les risques

Les changements globaux (*Global Change*) sont constitutifs du changement climatique global, des mutations socio-économiques, des évolutions politico-institutionnelles mais aussi et surtout de leurs interactions, dans un sens comme dans l'autre. Face à ces changements en cours et à venir, les préoccupations liées à la gestion des risques en milieu alpin vont croissantes (Pachauri *et al*., 2007 ; Papathoma-Köhle *et al*., 2011 ; Aitsi-Selmi *et al*., 2015 ; Alcántara-Ayala *et al*., 2015 ; Papathoma-Köhle *et al*., 2016). Il est désormais certain que le changement climatique global aura une incidence sur la fréquence, la cinétique, l'ampleur et l'emprise des aléas tandis que les changements socio-économiques, notamment démographiques, influeront sur la vulnérabilité et l'exposition des sociétés (GIEC, 2014 ; Gobiet *et al*., 2014 ; Kohler *et al*., 2014 ; Gallina *et al*., 2016). En raison des spécificités évoquées précédemment (cf. 2. 1. et 2. 2.), les milieux alpins risquent d'être particulièrement impactés par ces changements (Schoeneich et De Jong, 2008 ; Slaymaker et Embleton, 2009 ; Keiler *et al*., 2010 ; Lafaysse, 2011 ; Ravanel, 2011 ; GIEC, 2014 ; Seneviratne *et al*., 2012 ; Einhorn *et al*., 2015 ; Fort, 2015 ; Papathoma-Köhle *et al*., 2016 ; Romano et Zullo, 2016 ; Einhorn *et al*., 2017).

3. 1. Changement climatique et impacts probables sur les risques d'origine torrentielle et gravitaire

3. 1. 1. Impacts probables du changement climatique sur les milieux alpins

En raison des caractéristiques inhérentes à leur environnement physique, les milieux alpins s'avèrent particulièrement sensibles aux changements climatiques (cf. *supra*, 2. 1.). Depuis le milieu des années 1980, on estime ainsi que la température moyenne dans les Alpes européennes a augmenté trois fois plus vite que dans le reste du globe (Beniston, 2005a ; Ceppi *et al*., 2012 ; Gilbert et Vincent ; 2013). Aux modifications des températures moyennes (Fig. 0. 4.) s'ajoutent le constat de changements dans la fréquence des épisodes de températures extrêmes (Beniston, 2005b, 2007 ; Nemec *et al*., 2013).

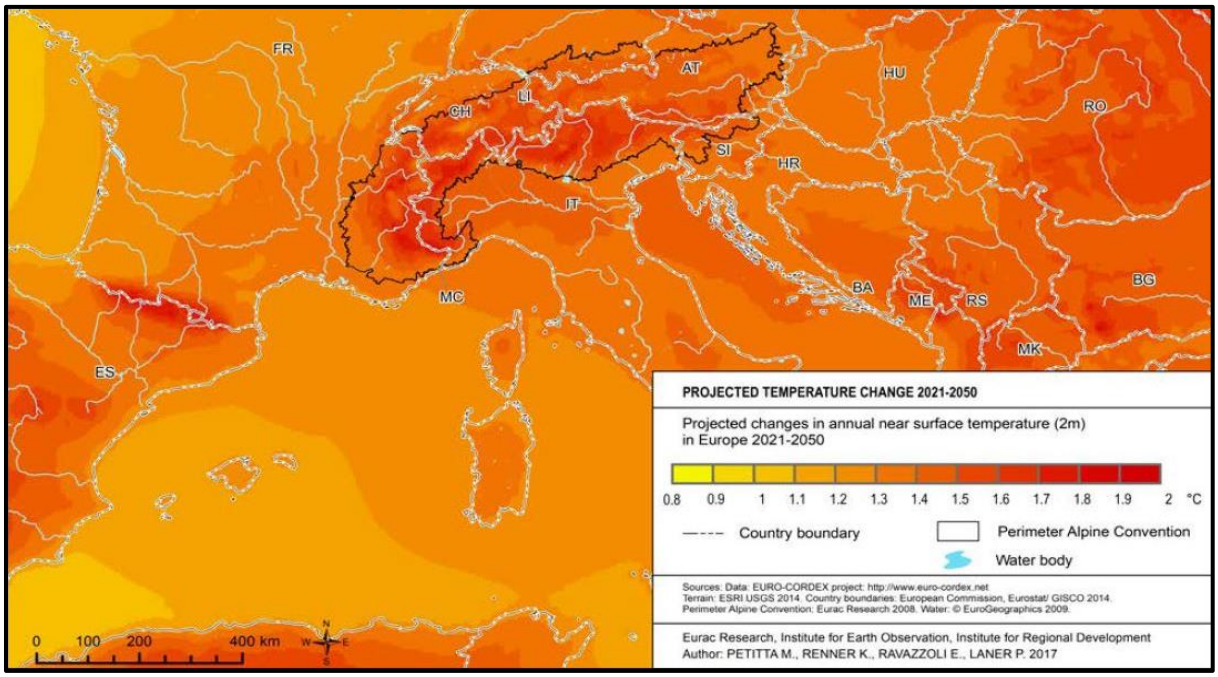


Figure 0. 4. : Augmentation probable des températures dans le massif alpin (tiré de « The Alps in 25 maps », Alpine convention, 2017).

Les travaux réalisés dans le cadre de l'ANR SCAMPEI montrent une tendance nette à l'augmentation du nombre de journées de canicule (plus de 5 jours d'affilé où la température est 5°C au-dessus de la normale) et à la diminution du nombre de jours de gel en hiver (SCAMPEI, 2012). Cette hausse des températures a notamment une incidence directe sur la nature du manteau neigeux, la durée de la période d'enneigement et le volume des glaciers. Nonobstant une forte variabilité interannuelle, on observe une forte diminution du manteau neigeux alpin et une réduction de la période d'enneigement en deçà de 2500 m d'altitude depuis les années 1980 (Etchevers et Martin, 2002 ; Durand *et al*., 2009 ; Beniston *et al*., 2012 ; SCAMPEI, 2012). L'augmentation des températures va accroître le retrait des glaciers déjà constaté sur l'ensemble du massif alpin (Springer *et al*., 2013 ; Diolaiuti *et al*., 2011). Une étude menée dans les Alpes suisses prévoit une disparition quasi-totale des glaciers alpins d'ici la fin du siècle pour le scénario climatique A1B (CH2014-Impacts, 2014). En lien avec ces phénomènes, certaines études évoquent un basculement probable du régime des écoulements, évoluant de glacio-nival ou nivo-pluvial à pluvial (Etchevers et Martin, 2002 ; CH2011, 2011 ; Lafaysse, 2011 ; Köplin *et al*., 2014). Outre les températures, on observe également une modification du régime des précipitations en lien avec le changement climatique (Beniston, 2005a ; Lafaysse, 2011 ; SCAMPEI, 2012 ; Strauss *et al*., 2012). Selon les rapports du GIEC (Le Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat), une augmentation des précipitations de l'ordre de 5 à 10 % est à prévoir dans les moyennes latitudes de l'hémisphère nord (GIEC, 2007, 2012). Dans les Alpes européennes, cette augmentation est variable (Fig. 0. 5.) et devrait s'avérer plutôt modeste (Francou et Vincent, 2007 ; Durand *et al*., 2009 ; Ravanel et Deline, 2011).

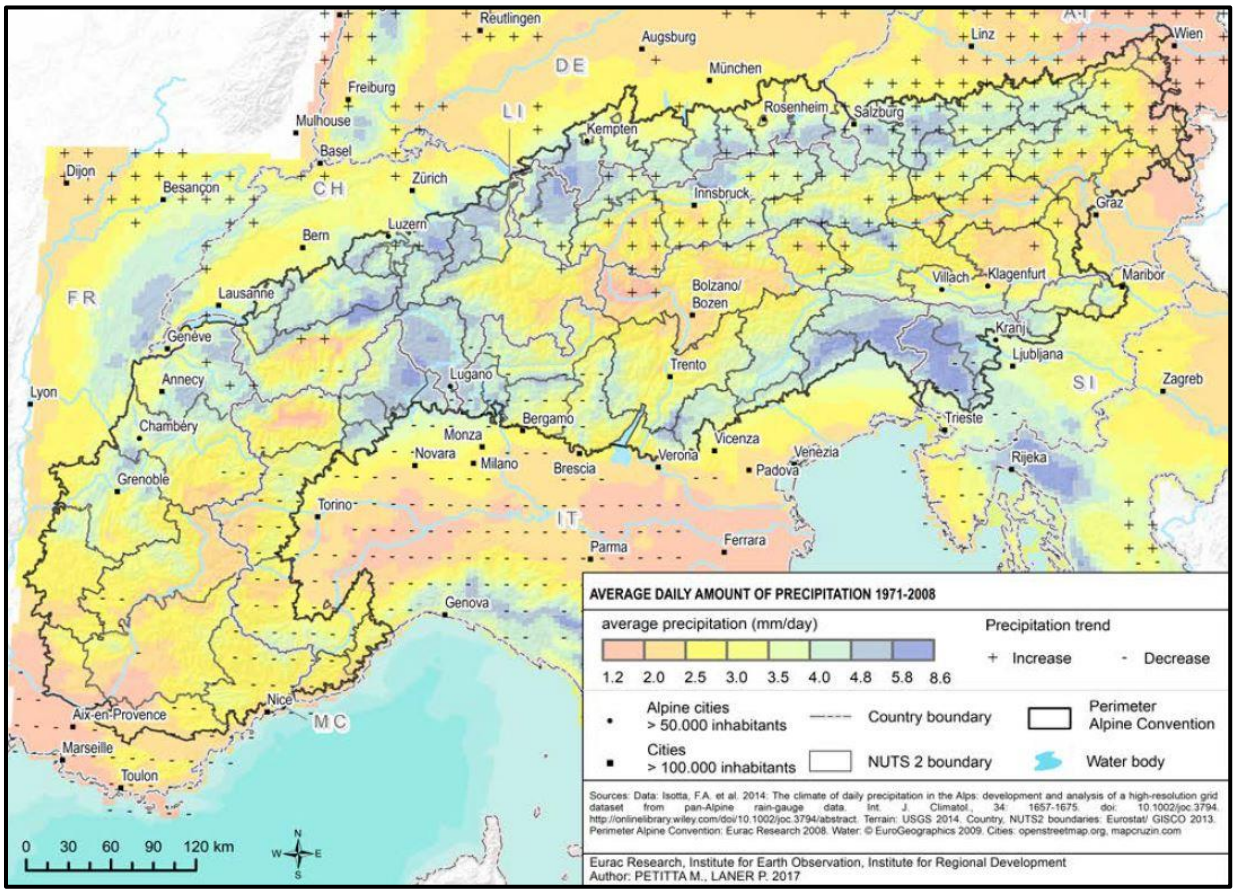


Figure 0. 5. : Précipitations journalières moyennes dans les Alpes et évolution probable (tiré de « The Alps in 25 maps », Alpine convention, 2017).

En revanche, un transfert saisonnier des précipitations devrait s'opérer à plus ou moins brève échéance. On observe d'ores et déjà une diminution des précipitations estivales et une augmentation des précipitations hivernales (Schmidli et Frei, 2005 ; Malet *et al*., 2007 ; Koscielny, 2008). Cette modification dans la saisonnalité des précipitations devrait s'accompagner d'une augmentation des précipitations extrêmes, notamment sur la période hivernale (Koscielny, 2008 ; Rajczak *et al*., 2013 ; Blanchet *et al*., 2016). Les changements dans la répartition et la variabilité des précipitations vont probablement augmenter l'irrégularité des débits, entraînant une augmentation des événements extrêmes de basses eaux en été et de crues en hiver (CH2011, 2011 ; Köplin *et al*., 2014). Les données d'observation et de modélisation existantes ne permettent pas d'établir de liens formels entre réchauffement climatique et renforcement des aléas naturels dans les Alpes (Einhorn *et al*., 2015). Néanmoins, plusieurs auteurs ont avancé l'hypothèse d'une intensification des aléas par l'action combinés de l'augmentation des températures et de la modification du régime des précipitations (Malet *et al*., 2007 ; Koscielny, 2008 ; Gobiet *et al*., 2014 ; Pavlova *et al*., 2014 ; Ravanel et Deline, 2015).

3. 1. 2. Risques d'origine glaciaire et périglaciaire

C'est vraisemblablement dans les espaces de haute altitude que les impacts du changement climatique sur les aléas seront les plus sensibles. De nombreux travaux indiquent un accroissement probable des risques liés à l'accélération du retrait glaciaire et à la dégradation du permafrost (Frey *et al*., 2010 ; Werder *et al*., 2010 ; Dalban Canassy *et al*., 2011 ; Ravanel et Deline, 2011 ; 2015 ; Bodin *et al*., 2015 ; Duvillard *et al*., 2015). La fonte accélérée des glaciers et les conséquences qui en résulteraient (décompression, déstabilisation des versants, augmentation des flux hydriques, etc.) pourraient avoir des répercussions sur le déclenchement des mouvements de masse tels que les glissements de terrain, les chutes de blocs, les éboulements/écroulements, les avalanches de roches, etc. (Dalban Canassy *et al*., 2011 ; Ravanel et Deline, 2011). Le retrait glaciaire risque également d'entraîner la formation de nombreux lacs ou poches d'eau susceptibles de se vidanger brutalement et de provoquer des crues à caractère catastrophique (Frey *et al*., 2010 ; Werder *et al*., 2010). De même, la dégradation du permafrost et la fonte de la glace interstitielle impliqueront, de toute évidence, une déstabilisation accrue des glaciers rocheux et des parties hautes des versants. Cette dégradation devrait, là encore, favoriser le déclenchement d'aléas gravitaires (chutes de blocs, éboulements, écroulements) et hydro-gravitaires (glissements de terrain, coulées de débris et laves torrentielles ; Huggel, 2009 ; Delaloye *et al*., 2012 ; Huggel *et al*., 2012 ; Bodin *et al*., 2015 ; Ravanel et Deline, 2015 ; Schoeneich *et al*., 2015). La dégradation du permafrost et la modification des cycles de gel/dégel pourraient avoir des conséquences sur l'intensité, la fréquence, la saisonnalité et la localisation des phénomènes de chute de pierres et d'éboulement/écroulement (Ravanel et Deline, 2011 ; 2015). Il est prévu une augmentation de leur fréquence dans les zones de permafrost (notamment en été), qui s'accompagnerait d'une remontée en altitude des zones de départ, donc d'une augmentation de leur intensité (via une augmentation des volumes et des distances d'arrêt ; Einhorn *et al*., 2015). Notons cependant que dans une optique de réchauffement climatique, il est probable que la remontée de la limite des forêts (« *treeline* ») puisse atténuer les risques liés à l'accroissement de ces phénomènes gravitaires (Stoffel et Beniston 2006 ; Lenoir *et al*., 2008 ; Courbaud *et al*., 2010 ; Berger *et al*., 2013).

3. 1. 3. Avalanches

Les impacts du changement climatique sur le manteau neigeux et la durée de la période d'enneigement devraient se traduire par une modification de la fréquence, de l'intensité, de la saisonnalité et de l'emprise spatiale des avalanches (Keiler *et al*., 2010 ; SCAMPEI, 2012 ; Eckert *et al*., 2013 ; Pielmeier *et al*., 2013 ; Einhorn *et al*., 2015 ; Naaim *et al*., 2016). Sur les trente dernières années, une diminution du nombre moyen d'avalanches et une augmentation des altitudes d'arrêt ont été observées (Eckert *et al*., 2013 ; Naaim *et al*., 2016). Les études menées actuellement tendent à

montrer un renforcement futur de ces tendances, et ce, quel que soit le scénario climatique envisagé. Dans les Alpes françaises, la diminution de l'activité avalancheuse envisagée est de 20 à 30 % d'ici la fin du XXI^{e} s. (Castebrunet *et al*., 2014). Cette diminution de l'activité avalancheuse concerne en premier lieu les espaces de basse altitude (SCAMPEI, 2012 ; Einhorn *et al*., 2015). En haute altitude (> 2500 m), cette diminution ne sera visiblement pas effective tant que le manteau neigeux restera substantiel (Naaim *et al*., 2016). Selon toute vraisemblance, le risque avalancheux devrait donc diminuer significativement au cours du XXI^{e} s. (Eckert *et al*., 2013 ; Einhorn *et al*., 2015 ; Naaim *et al*., 2016). Cependant, la réduction du nombre d'avalanches devrait surtout concerner les avalanches avec aérosols (Eckert *et al*., 2013 ; Naaim *et al*., 2016). Dans les Alpes, l'augmentation de la température devrait augmenter la proportion d'avalanches de neige humide par rapport aux avalanches de neige sèche (Mitterer et Schweizer, 2013 ; Pielmeier *et al*., 2013, Naaim *et al*., 2016). Or les avalanches de neige humide sont particulièrement dangereuses dans la mesure où elles peuvent parcourir de plus grandes distances et ont des pressions d'impact généralement plus élevées que les autres types d'avalanche (Naaim *et al*., 2016).

3. 1. 4. Glissements de terrain

L'accroissement des précipitations intenses et la hausse des températures pourraient provoquer une recrudescence des glissements de terrain superficiels et profonds (Malet *et al*., 2007 ; Huggel *et al*., 2012 ; Gobiet *et al*., 2014 ; Gariano et Guzzetti, 2016). Plusieurs études pointent le risque d'une augmentation des glissements superficiels de type coulée en raison du caractère érosif des précipitations extrêmes et de la plus grande disponibilité en matériaux dues au retrait glaciaire et à la dégradation du permafrost (Huggel *et al*., 2012 ; Gobiet *et al*., 2014 ; Haeberli *et al*., 2017). La fréquence des glissements superficiels pourrait être augmenté indirectement *via* une modification du couvert végétal (changement d'espèces et recrudescence des feux de forêts ; Lindner *et al*., 2010 ; Promper *et al*., 2014 ; Einhorn *et al*., 2015). Une modification marquée des températures et des conditions pluviométriques (précipitations annuelles, précipitations extrêmes, humidité des sols, etc.) pourrait entraîner une réactivation des anciens glissements profonds et une accélération des glissements profonds actuels (Malet *et al*., 2007 ; Lopez-Saez *et al*., 2013 ; Stoffel *et al*., 2014 ; Wood *et al*., 2016 ; Peruccacci *et al*., 2017). Néanmoins, rien n'est moins sûr car ces réactivations et/ou accélérations sont influencées par d'autres paramètres liés à des effets de site tels que l'activité sismique, la topographie, la géologie ou la nature du couvert végétal (Malet *et al*., 2007 ; Fressard, 2013 ; Einhorn *et al*., 2015). La (re)végétalisation progressive des versants pourrait par exemple diminuer la fréquence des instabilités dans certains secteurs en améliorant la cohésion des matériaux (Courbaud *et al*., 2010).

3. 1. 5. Laves torrentielles

Dans le cadre du changement climatique, on pourrait assister à une modification de l'intensité, de la fréquence, de la saisonnalité et de la localisation des laves torrentielles (Stoffel *et al*., 2005 ; Jomelli *et al*., 2009, 2011 ; Stoffel *et al*., 2011 ; Stoffel et Huggel, 2012 ; Stoffel *et al*., 2014 ; Beniston et Stoffel, 2016 ; Turkington *et al*., 2016 ; Stoffel et Huggel, 2017 ; Beniston *et al*., 2018). Jusqu'à présent, aucune tendance claire n'a cependant pu être observée à l'échelle du massif alpin (Einhorn *et al*., 2015). La fréquence des laves torrentielles pourrait augmenter dans certaines régions et diminuer dans d'autres selon les caractéristiques physiques locales (altitude, présence de permafrost… ; Jomelli *et al*., 2011). Une chose est certaine, le changement climatique a (et aura) des impacts sur les variables contrôlant le déclenchement des laves torrentielles, à savoir les précipitations intenses et/ou abondantes sur la durée, les températures estivales et la disponibilité en matériaux (Jomelli *et al*., 2009 ; Pavlova *et al*., 2014 ; Stoffel *et al*., 2014). Jomelli *et al.* (2011) montrent qu'une hausse des températures pourrait entraîner une diminution du nombre de laves torrentielles à basse et moyenne altitudes (< 2200 m) et une augmentation de l'occurrence de ces phénomènes au-delà du seuil des 2200 m. En effet, les zones de

retrait glaciaire et de dégradation des permafrosts sont supposées fournir des volumes considérables de matériaux mobilisables pour les futurs événements (Ravanel et Deline, 2011). À cela s'ajoute un accroissement probable des phénomènes orageux dans les zones amonts des bassins-versants, ce qui entraînerait davantage de précipitations intenses (Hall *et al*., 2014 ; Beniston et Stoffel, 2016 ; Kaitna *et al*., 2017). Dans les Alpes, les espaces de haute montagne pourraient donc être plus propices aux laves torrentielles que par le passé (Lugon et Stoffel, 2010 ; Baer *et al*., 2017 ; Stoffel et Huggel, 2017). D'après Stoffel *et al.* (2014) et Turkington *et al.* (2016), les changements dans la fréquence globale des laves torrentielles devraient cependant peu évoluer d'ici à 2050. Dans la seconde moitié du XXI^{e} s., le nombre de jours avec des conditions favorables au déclenchement de laves torrentielles pourrait diminuer, notamment durant la période estivale (Stoffel *et al*., 2014 ; Stoffel et Huggel, 2017). Selon ces mêmes auteurs, on devrait s'attendre en revanche à une augmentation de l'intensité des laves torrentielles du fait d'une augmentation des précipitations extrêmes et d'un accroissement de la disponibilité en sédiment. Par ailleurs, la hausse des températures aura une incidence sur la saisonnalité des laves torrentielles. Stoffel *et al.* (2014) ont avancé l'hypothèse selon laquelle l'évolution des températures pourrait engendrer une prolongation de la saison des laves torrentielles. À moyen terme (2050), la saison des laves torrentielles pourrait s'étendre à la fin des mois d'avril et d'octobre ; à long terme, elle pourrait commencer plus tôt, dès le début des mois d'avril et de novembre.

3. 1. 6. Crues torrentielles

En réponse aux changements climatiques dans les Alpes, de nombreuses études avancent une modification de la fréquence, de la magnitude et de la saisonnalité des crues torrentielles (Etchevers et Martin, 2002 ; Allamano *et al*., 2009 ; Beniston, 2012 ; Dobler *et al*., 2012 ; Vanham, 2012 ; Köplin *et al*., 2014 ; Bard *et al*., 2015 ; Einhorn *et al*., 2015 ; Majone *et al*., 2016). Les facteurs clés de ces modifications résideraient dans la hausse des températures et dans la modification du régime des précipitations et des écoulements (Beniston *et al*., 2011 ; Dobler *et al*., 2012 ; Bard *et al*., 2015). Dans les milieux alpins, la saisonnalité des débits liquides est très sensible au réchauffement climatique. Les températures y déterminent la nature des précipitations (liquide/solide), la vitesse de fonte du couvert neigeux et des glaciers, donc l'importance du ruissellement (Etchevers et Martin, 2002 ; Marty, 2008 ; Beniston *et al*., 2011). Une hausse des températures entraînerait une augmentation de la part des précipitations liquides durant la période hivernale et un avancement des hauts débits liés à la fonte du couvert neigeux (Etchevers et Martin, 2002 ; Beniston *et al*., 2012 ; Dobler *et al*., 2012 ; Bard *et al*., 2015). Plusieurs études tendent à montrer une augmentation des écoulements en hiver et au début du printemps et une réduction de ceux-ci entre le début de l'été à la fin de l'automne (Beniston *et al*., 2011, 2012 ; Vanham, 2012). Avec une fonte avancée du manteau neigeux, le pic des écoulements devrait en effet se dérouler plus tôt dans l'année (passant de juillet à juin) tout en étant moins important en termes de volume (Vanham, 2012 ; Majone *et al*., 2016). La hausse des températures impliquera donc une transition des régimes d'écoulement glacio-nivaux, nivaux ou nivo-pluviaux à essentiellement pluviaux (CH2011, 2011 ; Lafaysse, 2011 ; Köplin *et al*., 2014). Concernant les précipitations annuelles, les projections actuelles indiquent une tendance à l'augmentation (+2% à +6%) qui s'accompagnerait cependant d'une plus forte variabilité saisonnière (Vanham, 2012). Sur la période printanière et hivernale, les précipitations devraient considérablement augmenter tandis que durant les périodes estivales et automnales, elles devraient fortement diminuer (Vanham, 2012 ; Majone *et al*., 2016). Par ailleurs, l'ensemble des modèles climatiques s'accordent sur un accroissement des précipitations extrêmes (Vanham, 2012 ; Köplin *et al*., 2014). Selon Ban *et al.* (2015), le nombre de jour de précipitations extrêmes (> 30 mm) devrait augmenter à un rythme d'environ 6-7 % par degré de réchauffement. Si ces précipitations extrêmes coïncident avec une période de fonte ou font suite à une période de sécheresse, le risque d'inondation sera considérablement renforcé (Wilhelm *et al*., 2012 ; Köplin *et al*., 2014). La hausse des températures et les changements dans la temporalité, l'intensité et la

nature des précipitations devraient diminuer l'intensité moyenne des crues à l'échelle annuelle (-15 %), notamment durant la période estivale (-25 %). En revanche, l'intensité des crues hivernales devrait fortement augmenter (+50 %). La fréquence des crues devrait s'en trouver modifiée. Certains travaux mettent en avant une légère diminution de la fréquence des crues décennales (Renard, 2006). Pour les événements extrêmes, les prévisions restent incertaines (Renard, 2006 ; Dobler *et al*., 2012). Les travaux d'Allamano *et al*. (2009) montrent cependant qu'avec une augmentation de la température de 2°C et un accroissement de l'intensité des précipitations de 10 %, les crues centennales devraient voir leur période de retour s'abaisser à une vingtaine d'années. Dobler *et al*. (2012) indiquent une augmentation probable de la période pendant laquelle une crue importante peut se produire au cours de l'année. Cette période passerait d'environ 7 mois à l'heure actuelle à 12 mois (soit toute l'année) dans un futur lointain (2070-2100). Ces éléments doivent cependant être pris avec circonspection. À l'échelle du massif alpin, il existe des indications, mais aucune preuve, d'un lien entre augmentation de la fréquence des inondations et les changements climatiques (Hirsch et Ryberg, 2012 ; Kundzewicz *et al*., 2013). Les liens de causalité entre hausse des températures et fréquence des inondations font encore débat au sein de la communauté scientifique (Koutsoyiannis *et al*., 2009 ; Köplin *et al*., 2014). Il est en effet très difficile de discerner un signal climatique clair dans les séries hydrologiques en raison du manque d'homogénéité et de la très forte variabilité des données, notamment pour ce qui est des événements extrêmes, peu fréquents par nature (Renard, 2006 ; Wilby *et al*., 2008).

3. 2. Évolution du contexte socio-économique et institutionnel et impact sur les risques

3. 2. 1. Démographie et modification de l'occupation et de l'usage des sols

De nos jours, la démographie européenne se caractérise par des taux de natalité faibles et un vieillissement généralisé de la population. Ce sont désormais les flux migratoires qui constituent le principal moteur de la croissance démographique (Fig. 0. 6.). Le massif alpin ne fait pas exception à la règle. Hormis quelques régions dynamiques (Alpes françaises du Nord, Suisse italienne, ouest de l'Autriche), le solde démographique naturel est négatif dans l'ensemble de l'arc alpin (Hilal *et al*., 2011 ; Bender *et al*., 2011 ; Alpine Convention, 2017). À l'échelle des Alpes, les migrations sont motivées non seulement par des raisons économiques mais également par la volonté d'évoluer dans un meilleur cadre de vie (périurbanisation et migrations d'agréments ; Bourdeau *et al*., 2012). Ces migrations ne sont pas réparties de façon uniforme, ce qui tend à creuser des disparités déjà existantes entre régions attractives (franges de l'arc alpin, agglomérations et principales stations de sports d'hiver) et espaces périphériques (espaces à dominante rurale et/ou enclavés ; Tappeiner *et al*., 2008 ; Alpine Convention, 2017). Dans les espaces peu attractifs, le solde migratoire est généralement négatif, ce qui accroît le processus de désertification engagé au XX^{e} s. (Perlik, 1996). Cela se traduit souvent par une détérioration du bâti et des infrastructures et par la raréfaction des offres de services. Poussé à l'extrême, ce processus peut aboutir à une destruction du tissu social et à l'abandon de villages entiers. Ce déclin s'accompagne souvent d'une dégradation des espaces à vocation agropastorale, qui se traduit par une fermeture des paysages, une recolonisation forestière et la perte de services écosystémiques (Devaux, 2016). Si la réduction du nombre d'habitants minimise les enjeux, donc l'exposition aux risques, elle entraîne en parallèle un accroissement significatif de la vulnérabilité des populations qui persistent à vivre dans ces espaces. À l'inverse, dans les espaces attractifs, le solde migratoire positif amplifie le processus d'urbanisation (Alpine Convention, 2017). La multiplication des enjeux qui en découle entraîne une augmentation de l'exposition aux aléas naturels, donc une hausse du coût des impacts potentiels d'un épisode catastrophique. À ces coûts viennent s'ajouter ceux liés à la prévention des risques et à la protection des personnes (Vaccaro et Beltran 2009). Ces charges supplémentaires peuvent peser lourdement sur les budgets des communes les plus modestes et ainsi freiner leur développement socio-économique (Barroca *et al*., 2005). C'est particulièrement vrai dans les espaces à vocation

touristique où l'on assiste à un accaparement du foncier et à une urbanisation croissante du paysage à des fins de consommation (Vaccaro et Beltran, 2009). Le bâti ancien y est rénové et de nouvelles résidences sont construites pour proposer aux citadins des lieux de villégiature (Bender *et al*., 2011). En outre, l'urbanisation se traduit par une imperméabilisation des sols et une dégradation de l'environnement qui peut perturber le fonctionnement du milieu physique et constituer un facteur aggravant face à l'occurrence d'un aléa (Chocat, 1997). Elle peut être à l'origine de conflit d'usage quant à l'utilisation des sols et/ou des ressources naturelles (eau, bois énergie, électricité, etc.). Ces tendances vont probablement se maintenir, voire s'accélérer du fait de la dégradation des conditions de vie en milieu urbain, du développement de la périurbanisation et de l'accroissement des migrations d'agrément liés au vieillissement de la population (Bender *et al*., 2011 ; Bourdeau *et al*., 2012 ; Alpine Convention, 2017 ; Sega, 2017).

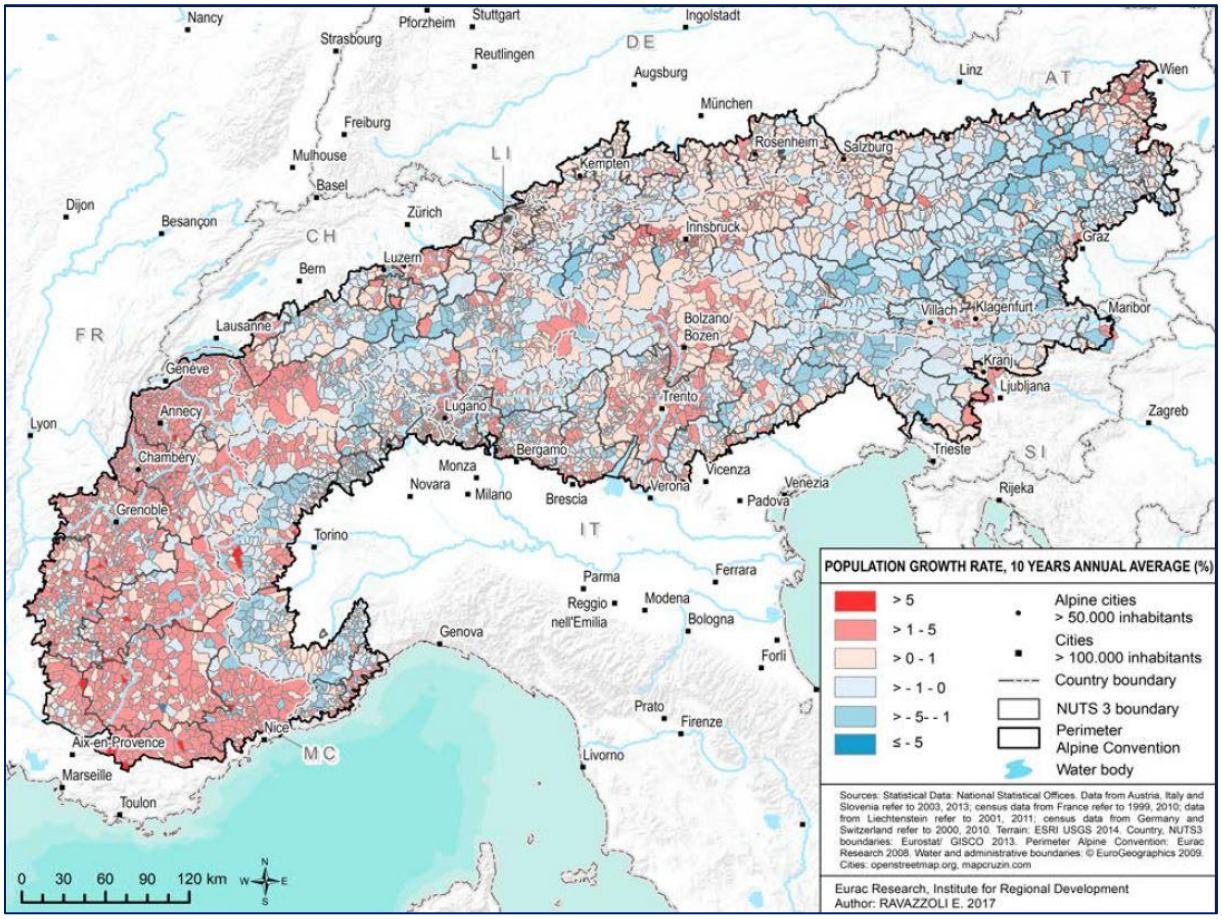


Figure 0. 6. : Croissance démographique dans les Alpes pour la période (2001-2011). La croissance la plus importante concerne la partie française des Alpes (tiré de « The Alps in 25 maps », Alpine convention, 2017).

3. 2. 2. Évolution du contexte politico-institutionnel et conséquences sur la gestion des risques et l'aménagement des territoires de montagne

Un aspect des changements globaux réside dans les mutations du cadre politico-institutionnel lié à l'aménagement du territoire et à la gestion des risques naturels (Boudière *et al*., 2014).

Il est communément admis que les territoires de montagne sont confrontés à une ambigüité constante entre développent économique et prévention des risques (Boudières, 2007 ; Richard, 2014). Cette ambiguïté résulte en partie de la multiplicité des acteurs, de leurs logiques d'intervention souvent contradictoires et de l'échelle à laquelle elles sont mises en place (Boudière *et al*., 2014). La prise en compte des risques en termes d'action publique conjugue ainsi plusieurs niveaux d'intervention, par des acteurs publics (État, collectivités territoriales, services décentralisés) mais aussi privés (aménageurs, hébergeurs, gestionnaires de remontées mécaniques, etc.). En France, c'est au couple État/commune qu'incombe l'essentiel des compétences liées à la gestion des risques naturels.

L'État, par l'intermédiaire du préfet de département, a ainsi le devoir d'informer les collectivités des risques majeurs présents sur le territoire en vertu du « Porter à Connaissance » (PAC) (www.legifrance.gouv.fr). Pour ce faire, il peut s'appuyer sur les PPRN (Plan de Prévention des Risques Naturels) produits à l'échelle locale par ses services déconcentrés. En cas de catastrophe majeure, l'État a également le devoir d'intervenir sur le temps de la crise et sur celui de la reconstruction. L'application de ces prérogatives revient aux ministères de l'Environnement (chargé de la prévention et de la protection) et au ministère de l'Intérieur (en charge de la gestion de crise).

Le relais s'effectue ensuite vers les communes qui sont dans l'obligation de prendre en compte ces risques dans leurs documents d'urbanisme et dans leur schéma de développement (PLU, SCOT, carte communale). Les maires, en tant que représentants de leurs communes, restent à ce jour les principaux acteurs de la gestion des risques. En sa qualité de chef de la police municipale, le maire a une forte responsabilité en matière de protection civile (www.irma-grenoble.com). À ce titre, il est en charge de l'information préventive et de la planification des secours. Il peut ainsi interdire la circulation sur une route, ordonner une évacuation des zones menacées ou prononcer une interdiction d'habiter (dans les zones rouges ou noires des PPR). Il a également la main mise sur les aménagements et a la possibilité de prescrire ou de faire exécuter des travaux de protection. Les communes disposent par ailleurs de compétences importantes en matière d'urbanisme et d'aménagement territoriale via les PLU et SCOT (Fig. 0. 7.). En outre, les communes possèdent une compétence de contrôle sur la mise en œuvre des opérations d'aménagement touristique. Cependant, il arrive souvent qu'elles exercent cette compétence en contractualisant avec des opérateurs privés touristiques, ce qui implique des négociations pouvant aller à l'encontre d'une gestion optimale des risques (Boudière, 2007).

En sus des acteurs privés, divers acteurs publics viennent se greffer au traditionnel binôme État/commune (www.interieur.gouv.fr ; Fig. 0. 7.). Les collectivités territoriales (régions, départements et intercommunalités) sont de plus en plus impliquées dans la gestion des risques. Les régions ont vu leurs compétences en matière de gestion des risques se renforcer sous l'impulsion des lois de décentralisation (Act II, 2004) et des lois Grenelles I et II de 2009-2010 (www.legifrance.gouv.fr). La Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL), instituée en 2009, a rapidement obtenu des prérogatives en matière de prévention et de suivi des risques naturels (notamment des risques dits « majeurs »). La région peut user d'autres leviers pour agir indirectement dans le domaine des risques à travers ses financements et ses compétences en matière d'urbanisme (www.cepri.net). Les lois précédemment évoquées ont, paradoxalement, fait des départements des acteurs incontournables de la gestion des risques. Leurs compétences en matière de gestion des risques sur les réseaux routiers ont été renforcées avec la création en 2010 de la DDT (Direction Départementale

des Territoires, ex Direction Départementale des Équipements). Au travers des services départementalisés de la RTM (Restauration des Terrain de Montagne) de l'IRSTEA (Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture) et de l'ONF (Office National des Forêts), le département a également récupéré des compétences en termes d'ingénierie forestière et de génie civil (ouvrages de protections ; Arnould *et al*., 2016). Depuis le 27 janvier 2014 (loi de modernisation de l'action publique territoriale), les EPCI (Établissements Publics de Coopération Intercommunale) à fiscalité propre ont étendu leurs compétences au domaine de la gestion des milieux aquatiques et de la prévention des inondations. Elles ont désormais la possibilité d'agir sur les risques via la maîtrise du foncier et de l'occupation du sol.

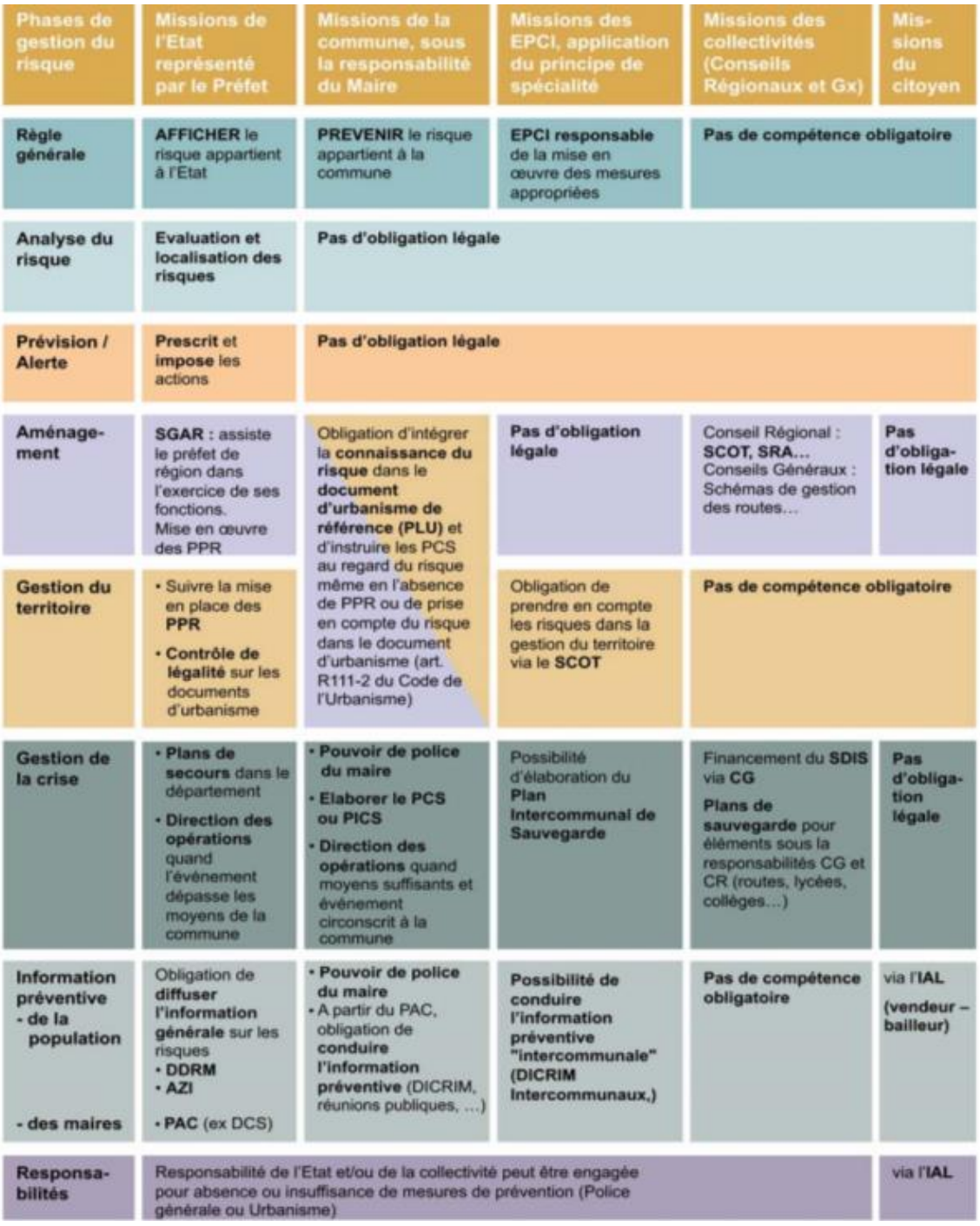


Figure 0. 7. : Tableau présentant les obligations légales des différentes collectivités territoriales françaises en matière de gestion des risques (d'après le Guide à l'usage des élus de la région PACA).

Les lois de décentralisation de janvier 2014 et août 2015 leur ont ainsi confié la compétence GEMAPI (GEstion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations), leur octroyant la possibilité de gérer, entretenir et réhabiliter les digues et autres ouvrages de protection contre les crues. Les EPCI disposent de la possibilité d'élaborer des plans intercommunaux de sauvegarde (PICS). Toutes ces entités ont des politiques de prévention qui leur sont propres, avec des actions ciblées visant à accompagner les communes dans la prise en compte des risques. Il en résulte une fragmentation gestionnaire importante, qui peut entraîner une concurrence voire des conflits entre des entités dont les logiques, les objectifs et les temporalités peuvent être bien différentes (Meschinet De Richemond, 2010). Ce « mille-feuille institutionnel », sensé accompagner le développement des territoires de montagnes, peut donc constituer un important facteur de vulnérabilité (Boudières, 2007). D'autant que cet enchevêtrement d'acteur transparaît également dans les outils réglementaires mis en place par ces différents acteurs (PPR, SDAGE, PAPI, GEMAPI, etc. ; Meschinet De Richemond, 2010). En France, les diverses réformes territoriales tendent à favoriser l'échelle de l'intercommunalité pour la planification. Pourtant, en pratique, les documents de gestion des risques naturels restent encore à l'échelle communale (PPR, SCOT, PCS…). Or cette échelle communale ne semble plus toujours la plus appropriée pour avoir une vision globale des risques. Cette forme spécifique de vulnérabilité est complexe car elle touche non seulement au volet politico-institutionnel mais aussi à l'aspect organisationnel et transdisciplinaire de la gestion des risques (Boudière, 2007 ; Meschinet De Richemond, 2010 ; Vinet, 2010). En France, si des efforts ont été réalisés, via notamment le renforcement des EPCI, l'articulation et la coopération entre les différentes entités en charge de la prévention et de la gestion des risques en est encore à ses premiers balbutiements (Vinet, 2010). Dans un contexte de changement climatique global, on s'attend pourtant à ce qu'il y ait davantage d'événements difficiles à gérer. Or ce n'est qu'au travers d'une gestion plus intégrée des risques que l'on pourrait être en mesure de relever ce défi (Alcaud *et al*., 2010).

Les changements globaux posent de multiples défis en matière de gestion des risques dans les milieux alpins. En dépit de nombreuses incertitudes, les impacts conjugués des changements climatiques et de la modification de l'occupation du sol vont avoir des conséquences sur le fonctionnement du milieu physique. S'adapter à ces changements présuppose de bien connaître les modalités de ces changements et de mettre en place une démarche plus intégrée de la gestion des risques. Dans le cadre du projet ANR SAMCO (Agence National de la Recherche ; Society Adaptation for coping with Mountain risks in a global change COntext) on s'est intéressé de près à ces problématiques à travers l'exemple du Queyras.

4. Cadre scientifique et méthodologique

4. 1. Présentation du projet ANR SAMCO

La présente thèse s'inscrit dans le cadre du projet **ANR SAMCO** (ANR-12-SENV-0004 ; Society Adaptation for coping with Mountain risks in a global change COntext). Ce programme de recherche, d'une durée de 5 ans (2013-2017), avait pour objectif premier la mise en place d'une **analyse systémique et pluridisciplinaire** des impacts des risques torrentiels et gravitaires sur les sociétés montagnardes (Grandjean *et al*., 2013 ; www.anr-samco.com, 2017). Fondamentalement, cette étude résultait de la volonté d'**identifier les principaux facteurs de résilience** des communautés montagnardes ainsi que les traits caractéristiques de ces **fluctuations dans le temps** et de leur **dépendance vis-à-vis des facteurs physiques, socio-économiques et institutionnels**.

Afin de proposer des stratégies de gestion des risques adaptées aux impacts possibles des changements globaux, les différents partenaires du projet ont cherché à développer un ensemble d'outils méthodologiques visant à améliorer la résilience des sociétés montagnardes soumises aux impacts des risques naturels. Pour ce faire, ils se sont appuyés sur un cadre conceptuel et méthodologique élaboré en réunissant des avis d'experts en sciences naturelles et en sciences sociales (Fig. 0. 8.).

Dans ce contexte pluridisciplinaire incluant sciences sociales et sciences naturelles, plusieurs équipes de recherches ont été associées au projet : le **BRGM** (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) ; l'**AFB** (Agence Française pour la Biodiversité) ; l'**IPGS** (Institut de Physique du Globe de Strasbourg) ; le bureau d'étude **GÉO-HYD** ; le laboratoire **GÉODE** (GÉOgraphie De l'Environnement, UMR 5602 ; université de Toulouse, Jean Jaurès) ; le laboratoire **LIVE** (Laboratoire Image, Ville, Environnement, UMR 7362, université de Strasbourg) ; le laboratoire **PRODIG** (Pôle de Recherche pour l'Organisation et la Diffusion de l'Information Géographique, UMR 8586, université Paris 7, Diderot).

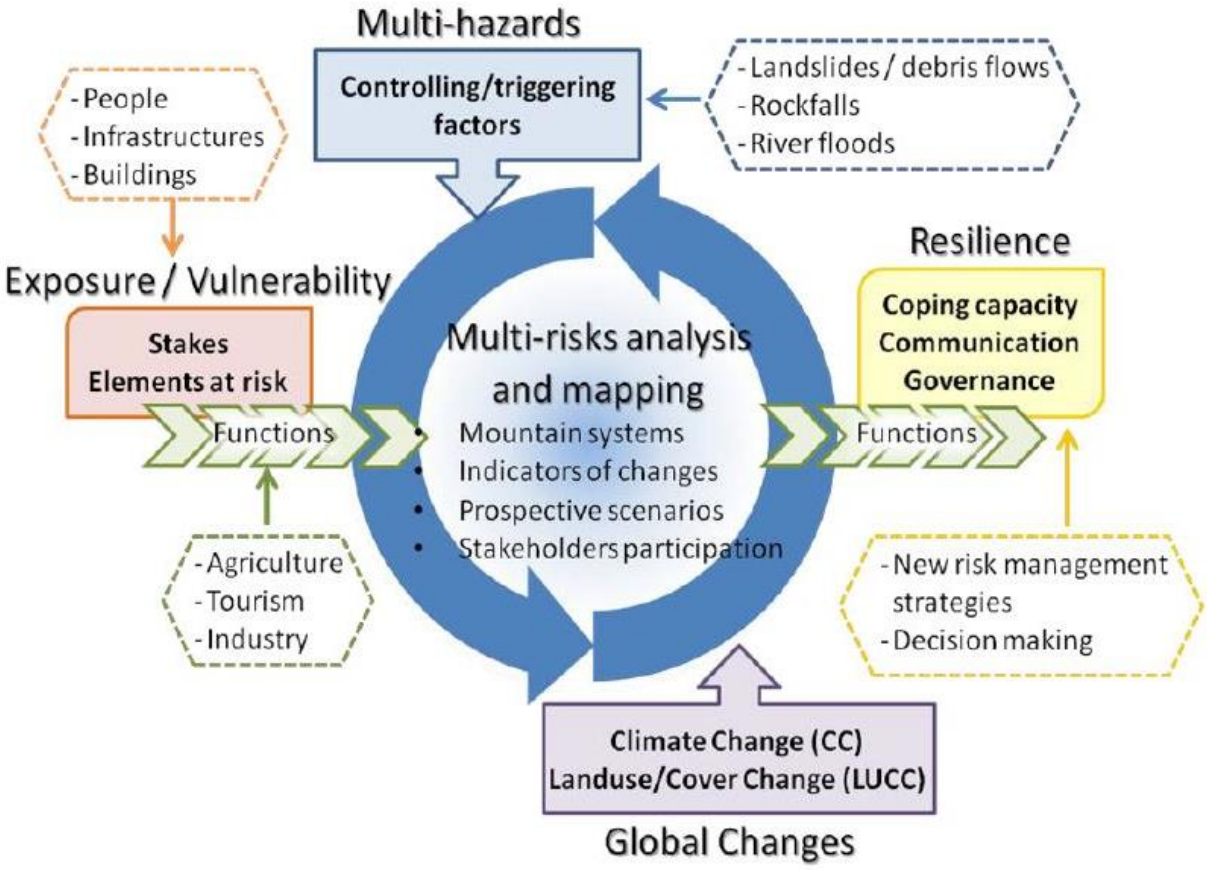


Figure 0. 8. : Cadre conceptuel élaboré dans le cadre du projet ANR SAMCO (Grandjean et al.*, 2013).*

La réunion de ces chercheurs, universitaires et professionnels du risque, a permis d'identifier 3 grands axes de recherche répartis en 6 tâches bien distinctes (Fig. 0. 9.) :

(1) **Définition des impacts potentiels des changements globaux** (changement climatique, occupation du sol, systèmes socio-économiques et politico-institutionnels) sur les aléas torrentiels et gravitaires ;

(2) **Analyse de ces conséquences en termes de vulnérabilité** (changements de localisation ou des caractéristiques des zones à risque, niveau de leur perturbation, perception des risques) ;

(3) **Mise au point et application d'une méthodologie globale pour estimer et cartographier quantitativement les indicateurs de vulnérabilité** des versants et des fonds de vallée exposés à de multiples aléas (torrentiels et gravitaires), l'ensemble des résultats produits devant être intégrés au sein d'une **plateforme SIG servant de démonstrateur** pour les acteurs locaux de la gestion des risques.

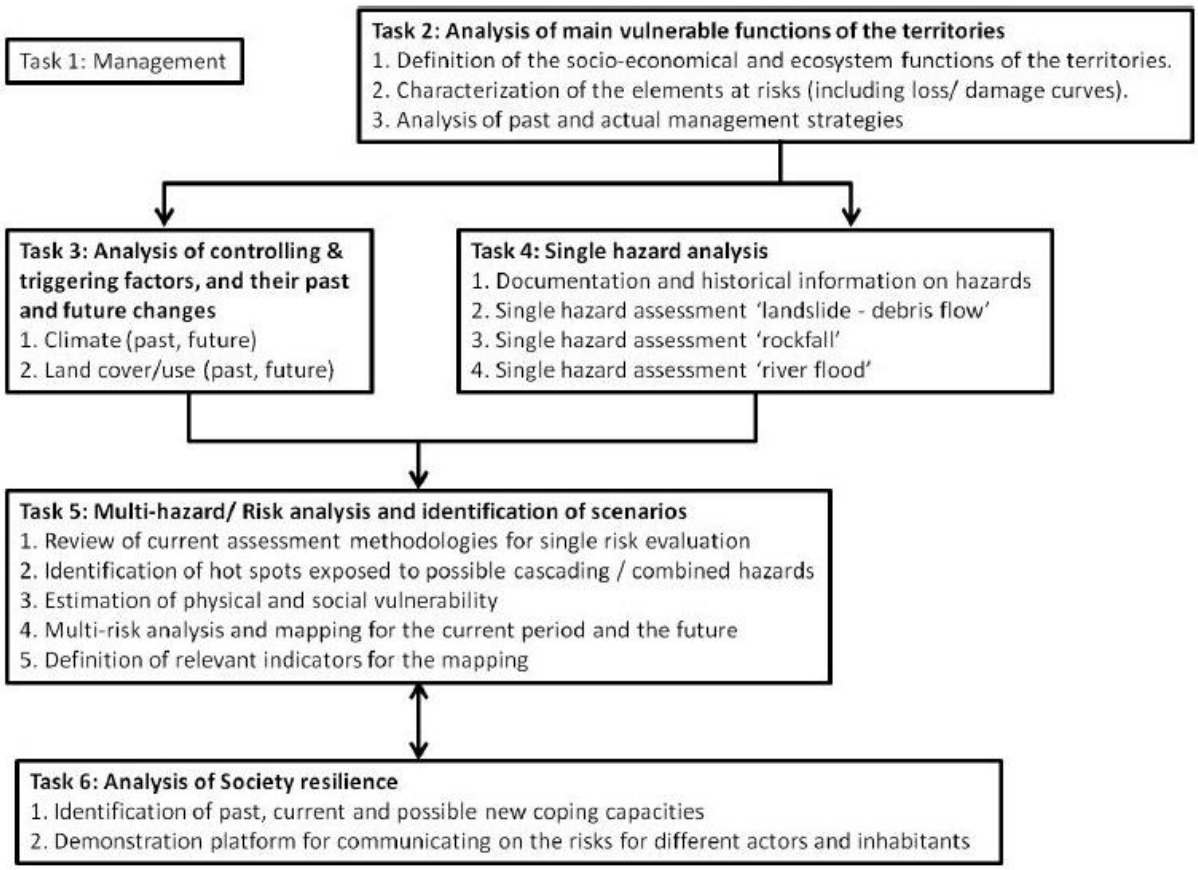


Figure 0. 9. : Les principales tâches accomplis dans le cadre du projet SAMCO (Grandjean et al.*, 2013).*

Pour ancrer spatialement cette analyse, le choix a été fait de sélectionner des territoires offrant une grande variété de situation en termes à la fois d'aléa, de vulnérabilité, de risque et de trajectoire de développement sur le dernier siècle (déforestation, déprise agricole, développement touristique et/ou industriel). *In fine*, 3 sites ont été sélectionnés (Fig. 0. 10.) :

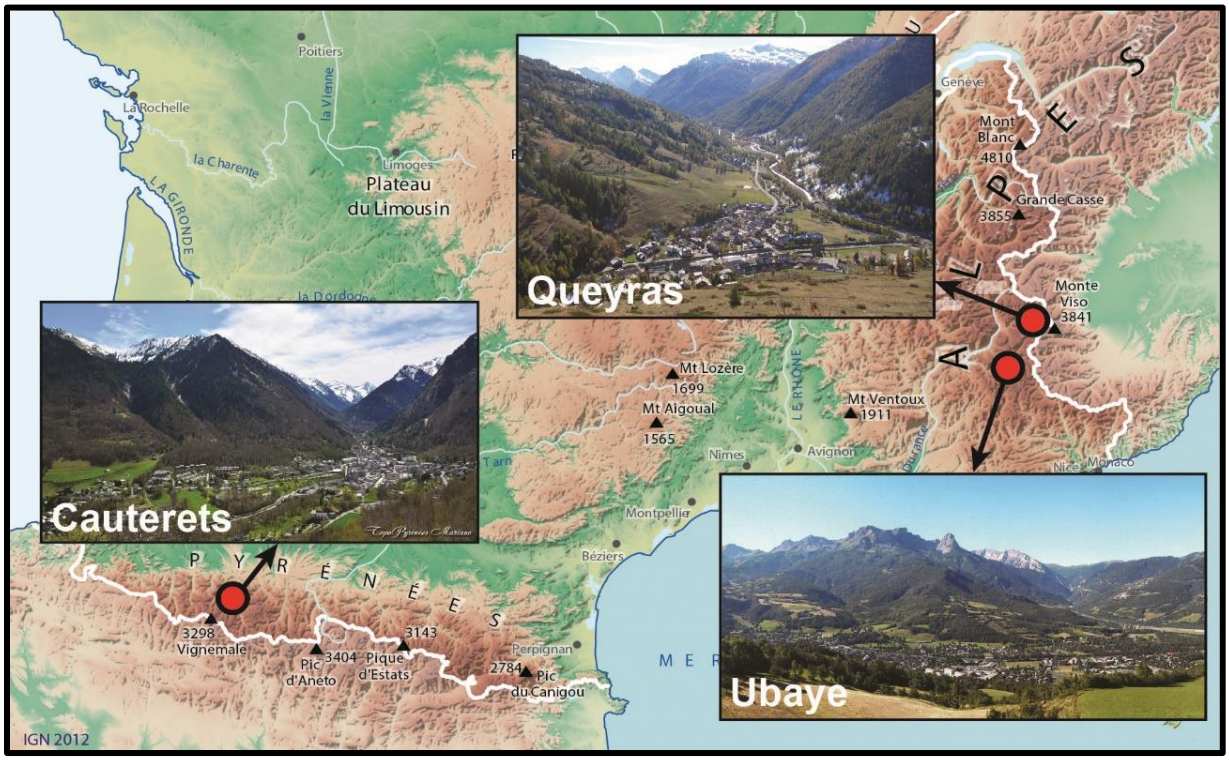


Figure 0. 10. : Localisation des secteurs étudiés dans le projet SAMCO (source : B. Carlier).

1) La Haute vallée du Guil, dans les Alpes du Sud, soumise à de nombreux risques d'origine torrentielle (laves et crues torrentielles) et gravitaire (chute de blocs, glissements de terrain et avalanches) ;

2) Le bassin-versant de l'Ubaye, dans les Alpes du Sud, connu pour ses marnes noires et les nombreux glissements de terrain affectant ces formations ;

3) La vallée de Cauterets, dans les Pyrénées, particulièrement exposée aux chutes de blocs.

4. 2. Évaluation des risques d'origine torrentielle et gravitaire dans le Queyras

La thèse présentée ici a pour objet d'étude la Haute vallée du Guil dans les Alpes du Sud. Cet espace correspondant, peu ou prou, au territoire historique du Queyras, on utilisera souvent ce terme pour des questions de simplicité et de lisibilité.

L'objectif de ce travail était d'évaluer, selon une approche systémique et transdisciplinaire, les risques d'origine torrentielle et gravitaire, leurs gestions à l'échelle locale ainsi que leurs évolutions probables dans un contexte de changements globaux (c.à.d. climatique et socio-économique). Sans traiter le sujet de manière exhaustive, cette thèse apporte néanmoins un certain nombre d'éléments qui, je l'espère, s'avèreront utiles aux gestionnaires des risques queyrassins et aux membres de la communauté scientifique qui seraient intéressés par la thématique des risques en montagne.

La première partie de cette thèse (chapitres 1 et 2) sera consacrée à la description du Queyras en tant que système complexe. Y seront abordées les propriétés du milieu physique (géologie, géomorphologie, topographie, climatologie, etc.) mais également les caractéristiques socio-

économiques (démographie, enjeux économiques, urbanisation, etc.) qui font de cet espace un lieu propice au déclenchement d'événements catastrophiques. À travers une approche socio-historique, on décrira également les grandes catastrophes (crues de 1957 et 2000, épisodes avalancheux de 1978 et 2008, etc.) qui nous ont fait sélectionner ce secteur pour mener à bien notre analyse des risques.

La seconde partie de cette thèse (chapitres 3 et 4) sera consacré à l'étude du fonctionnement du milieu physique queyrassin. Dans cette section, nous nous intéresserons en détail à l'un des sous-bassins versant les plus actifs du Guil : le Peynin. Ce bassin, nous allons l'étudier selon une approche par le budget sédimentaire. L'objectif est ici de caractériser et de quantifier la production, le stockage et le déstockage des sédiments par les différents processus et relais de processus œuvrant dans le Queyras.

La troisième partie de la thèse (chapitres 5) sera dédiée à la cartographie des aléas (crues, glissements de terrain et avalanches). Y seront explicitées les données employées, les différentes méthodes utilisées (études diachroniques, modélisation hydraulique et cartographie de susceptibilité) ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Dans la quatrième partie de la thèse (chapitres 6, 7 et 8), on se concentrera sur la composante vulnérabilité du risque. Cette dernière sera abordée selon plusieurs prismes. En premier lieu, on s'attèlera à décrire les différents enjeux (individus, bâti, infrastructures et occupation du sol) présents sur le territoire queyrassin. Puis on étudiera les impacts potentiels des aléas en termes de vulnérabilité physique (corporelle, structurelle et fonctionnelle) sur les enjeux. La vulnérabilité sera ensuite évaluée dans sa dimension sociale au travers des résultats d'une enquête de perception des risques menée auprès de la population résidente. Enfin, on proposera une méthode innovante pour synthétiser les résultats obtenus via l'analyse des vulnérabilités physique et sociale, le tout dans une perspective opérationnelle.

La cinquième partie de la thèse (chapitres 9 et 10) sera consacrée à l'analyse des risques et de leur gestion à différentes échelles (locale et régionale). À travers un ensemble de cartes seront notamment mis en lumière les « *hot-spot* » des risques dans le Queyras. Seront aussi discutés les temporalités du risque et les effets en cascade que pourraient impliquer les aléas concernés. Dans cette partie, on s'intéressera également à caractériser les évolutions possibles des risques dans le Queyras dans un contexte de changements globaux. Différents scénarios, élaborés de concert avec nos partenaires de SAMCO, feront la lumière sur le rôle respectif des facteurs climatiques et anthropiques dans la genèse future des risques.

En conclusion, nous remettrons en perspective l'ensemble des travaux précédemment réalisés pour dresser un bilan de la résilience des communautés queyrassines.

- Partie 1 -
Le bassin-versant du Haut-Guil :
Un système prédisposé aux événements catastrophiques ?

Introduction

Le bassin-versant du Haut-Guil présente toutes les caractéristiques physiques des milieux de haute montagne (cf. *supra*, introduction, 2.). Sa topographie marquée, ses fortes pentes et son climat d'influence montagnarde en font, en tout état de cause, un milieu dynamique, propice aux mouvements gravitaires et à l'activité torrentielle. Néanmoins, ces propriétés sont-elles suffisantes pour affirmer de manière péremptoire que le bassin-versant du Haut-Guil est un système prédisposé aux risques ? Bien entendu, la réponse n'est pas aussi simple, sans quoi ce questionnement n'aurait pas lieu d'être. Dans cette première partie de la thèse nous nous efforcerons de répondre à cette question en explorant les spécificités physiques du Queyras.

Le premier chapitre de ce manuscrit sera consacré à l'analyse des facteurs pouvant prédisposer le bassin du Haut-Guil au déclenchement d'aléas d'origine torrentielle et gravitaire. Afin de procéder selon une approche systémique, plusieurs volets seront abordés ici. Nous nous intéresserons tout d'abord au contexte géologique régional et à son rôle dans la mise en place des reliefs actuels du bassin-versant. Cela étant, nous entrerons plus dans le détail en décrivant les caractéristiques lithologiques et structurales du bassin et leurs influences sur la localisation et la genèse des aléas. Nous analyserons ensuite les conséquences de la dynamique glaciaire pléistocène et des réajustements morpho-sédimentaires holocènes sur le fonctionnement géomorphologique actuel du bassin du Haut-Guil. Enfin, nous verrons en quoi les actions anthropiques ont modifié le milieu physique du bassin et contribué à faire émerger du risque.

Dans le second chapitre, nous analyserons en détail le contexte hydroclimatique dans lequel s'inscrit le bassin-versant du Haut-Guil. Ce dernier, on le verra, constitue le principal facteur président au déclenchement des aléas torrentiels et gravitaires. Pour illustrer ce fait, on procédera à une rétrospective historique des principaux épisodes catastrophiques ayant affecté le Queyras. Y seront évoqués, les principaux épisodes de crues torrentielles : les inondations catastrophiques de juin 1957 et de juin et octobre 2000, mais également celles, moindres de juillet 2002, septembre 2008 et septembre 2012. De même, nous nous intéresserons aux principaux épisodes relatifs aux mouvements gravitaires. Nous évoquerons ainsi les épisodes avalancheux qui ont frappé l'ensemble du Queyras en mars 1946, janvier 1978 et décembre 2008. Pour finir nous évoquerons la réactivation récente du glissement de terrain du Pas de l'Ours entre les villages d'Abriès et Aiguilles.

L'analyse des facteurs prédisposant et déclenchant constitue bien souvent la première étape dans une analyse systémique des risques. Associée à une rétrospective historique des risques, elle permet de mieux appréhender le fonctionnement du milieu physique et de dégager les espaces les plus exposés aux aléas.

Chapitre 1 : Les risques dans le Queyras, 240 millions d'années de préparation

La Haute vallée du Guil couvre une superficie de 370 km². Elle est située dans les Alpes du Sud, dans le département des Hautes-Alpes, en région PACA (Fig. 1. 1.). C'est un territoire enclavé ne comportant qu'un seul point d'accès fonctionnel tout au long de l'année : la D 902 empruntant les gorges du Guil pour rejoindre Guillestre. Les deux autres points de passage sont les cols de l'Izoard (2360 m d'altitude) et de l'Agnelles (2744 m d'altitude) en direction de Briançon et de l'Italie (Fig. 1. 1.).

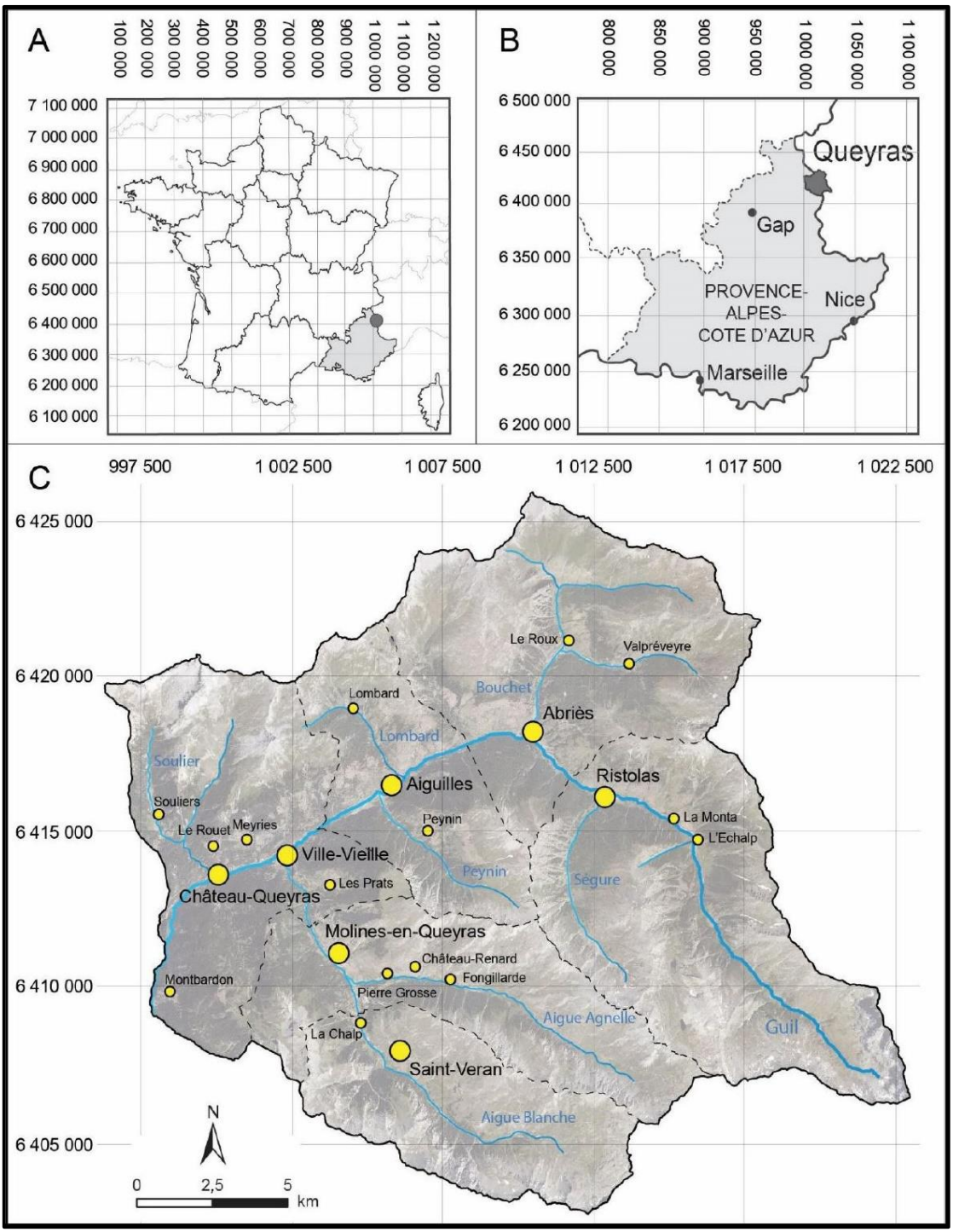


Figure 1. 1. : La haute-vallée du Guil, ses six communes et ses principaux cours d'eau.

C'est un espace typique de la haute montagne, avec des vallées étroites et des sommets escarpés. Ses altitudes varient entre 1250 m en aval du verrou de Château-Queyras et 3302 m au niveau du sommet du Bric Froid. Ce territoire intègre la Haut-vallée du Guil et les vallées de l'Aigue Blanche et de l'Aigue Agnelle. Ces vallées habitées sont parmi les plus élevées d'Europe. Historiquement, cet espace compte six communes : Ristolas, Abriès, Aiguilles, Château-Ville-Vieille, Molines-en-Queyras et Saint-Véran. Le village le plus bas, Château-Queyras, est situé à 1350 m d'altitude et le village le plus haut, Saint-Véran est situé à 2040 m d'altitude. En raison d'un certain nombre de facteurs prédisposants (topographie marquée, lithologie fournissant, en abondance, des matériaux meubles facilement mobilisables, opposition structurale des versants, modification de l'occupation du sol) et déclenchants (retours d'est, activité sismique), le Queyras s'avère particulièrement exposé aux aléas torrentiels et gravitaires (crues et laves torrentielles, avalanches, glissements de terrain). Décrire et analyser ces facteurs est essentiel pour bien appréhender la genèse des risques dans le Queyras.

1. Un contexte géologique prédisposant aux risques

Le contexte géologique tient un rôle important dans la prédisposition et le déclenchement des aléas torrentiels et gravitaires en cela qu'il conditionne l'orientation et la forme des versants, les modalités de l'érosion, la fourniture et la disponibilité en sédiments ainsi que la nature des sols.

1. 1. La zone d'étude dans le contexte géologique alpin

Le bassin-versant du Guil se situe dans la zone interne de l'arc alpin occidental (zone interne pennique ; Fig. 1. 2.) dans un espace d'affrontement entre les plaques eurasiatique et africaine (Tricart, 2003). À ce titre, il expose une géologie complexe fruit d'une histoire longue de plus de 240 millions d'années (Carron *et al*., 1973 ; Tricart, 1975 ; Tricart, 2003 ; Tricart et Schwartz, 2006).



Figure 1. 2. : Subdivisions structurales du massif alpin (source : www.homoalpinus.com).

Au Jurassique inférieur, la divergence entre les plaques engendre la création d'un rift continental qui, au Jurassique moyen, va se traduire par l'ouverture d'un océan : la Téthys ligure. Au cours du Crétacé supérieur, la convergence alpine entraîne la fermeture progressive de cet océan et la collision des continents qui le bordent (Tricart, 2003). Les roches qui composent le bassin-versant du Guil proviennent essentiellement des marges de cet ancien océan (unités briançonnaise et piémontaise).

1. 2. Lithologie

On y trouve des roches issues à la fois de la partie basse distale de la marge continentale européenne (zone briançonnaise), et des roches issues des dépôts océaniques téthysiens (zone piémontaise). Dans le bassin-versant du Guil, les roches de ces deux zones définissent des ensembles relativement homogènes sur le plan lithologique : à l'ouest, un ensemble à dominance calcaire correspondant aux dépôts de la zone briançonnaise et, à l'est, un ensemble schisteux issu des sédiments de la zone piémontaise (Fig. 1. 3.).

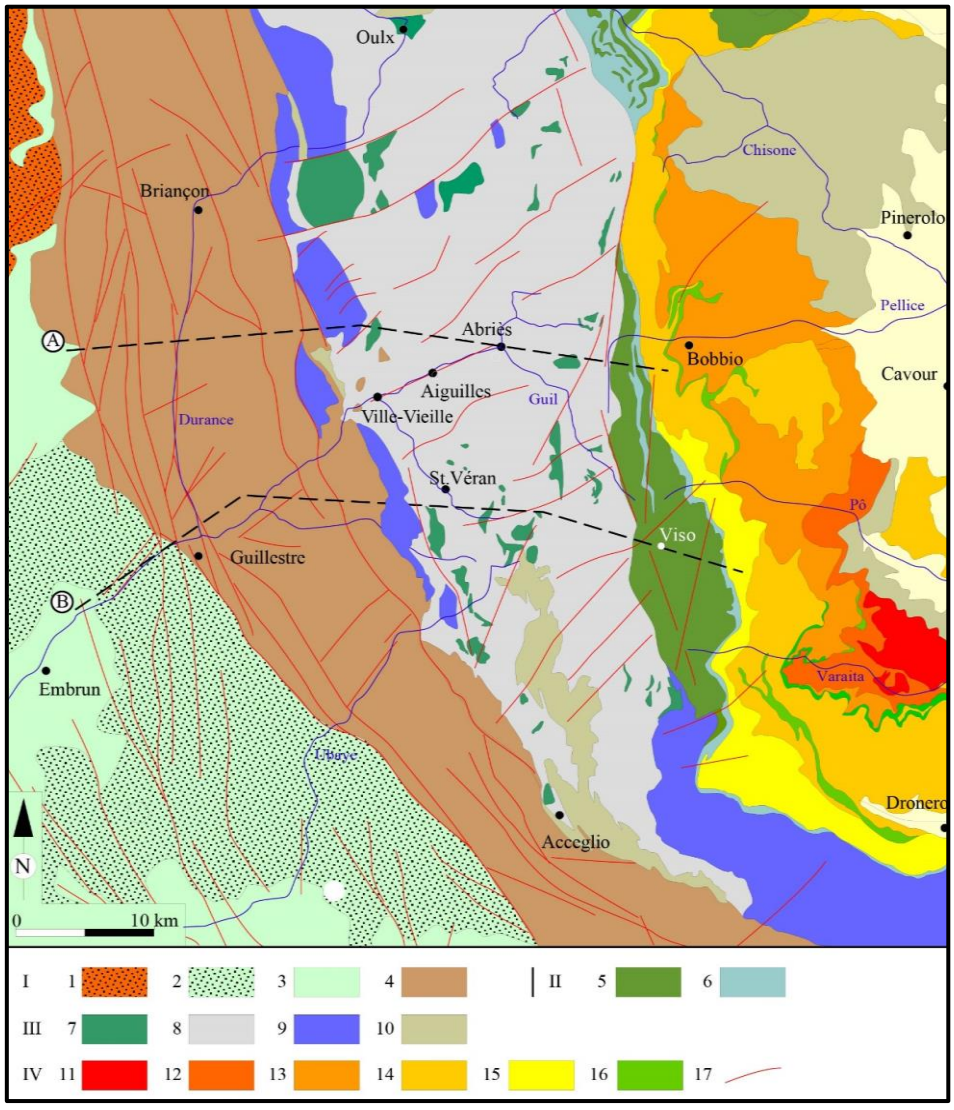
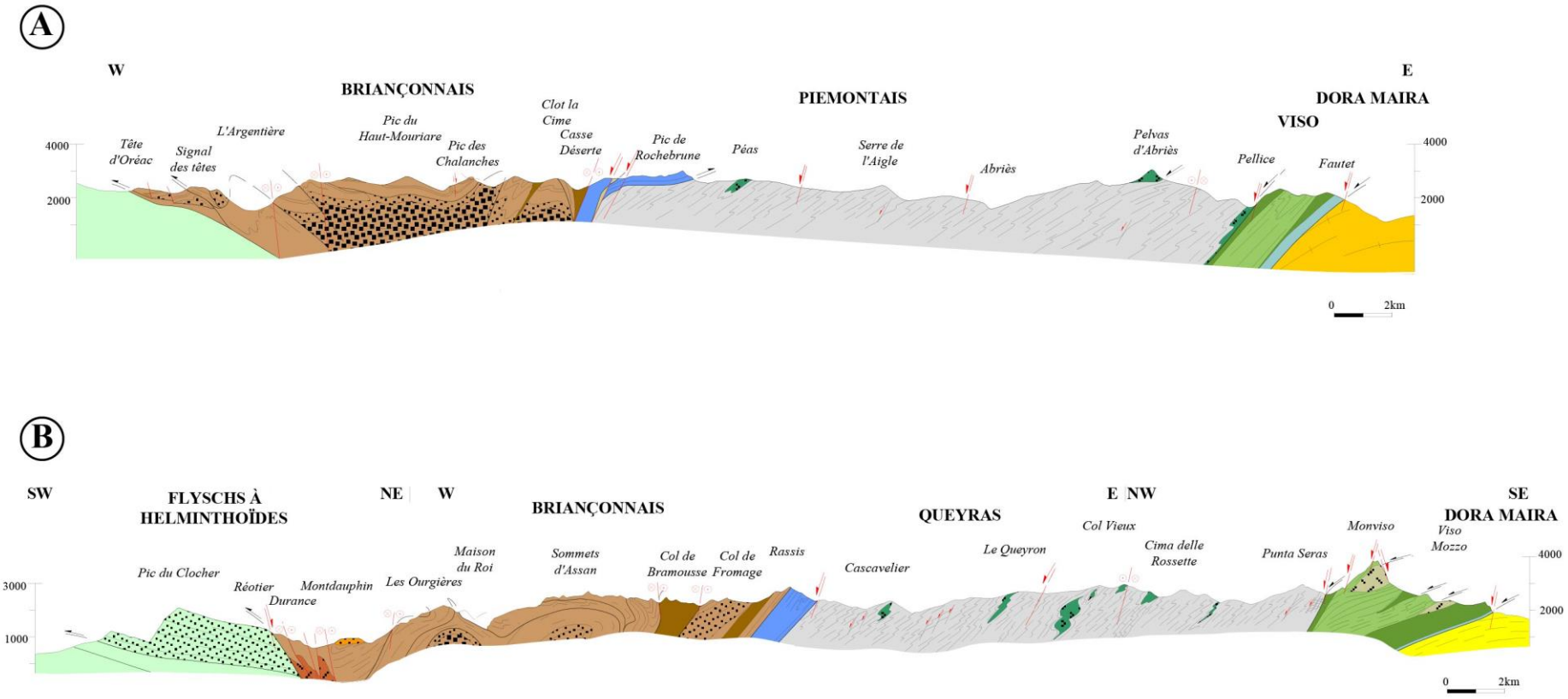


Figure 1. 3. : Carte et coupe géologique de la partie sud des Alpes occidentales (d'après Schwartz, 2002). I – croûte continentale, 1 – massif du Pelvoux, 2 – nappe des flyschs à helmintoïdes, 3 – chaîne subalpine, 4 – zone briançonnaise ; II – domaine éclogitique Viso-Rocciavré, 5 – ophiolites, 6 – schistes lustrés ; III – zone piémontaise à schistes bleus, 7 – ophiolites, 8 – schistes lustrés, 9 – piémontais de marge, 10 – Ambin, zone d'Acceglio, unité de Pinerolo-Sanfront ; IV – Massif de Dora-Maira, 11 – unité I, 12 – unité II, 13 – unité III, 14 – unité de Dronero-Sampeyre, 15 – couverture de Dronero, 16 – ophiolites et calcshistes ; 17 – failles tardives.


A
W
E
BRIANÇONNAIS
PIEMONTAIS
DORA MAIRA
VISO
4000
2000
Tête d'Oréac
Signal des têtes
L'Argentière
Pic du Haut-Mouriare
Pic des Chalanches
Clot la Cime
Casse Déserte
Pic de Rochebrune
Péas
Serre de l'Aigle
Abriès
Pelvas d'Abriès
Pellice
Fautet
0
2km
B
SW
NE
W
E
NW
SE
FLYSCHS À HELMINTHOÏDES
BRIANÇONNAIS
QUEYRAS
DORA MAIRA
3000
1000
4000
2000
Pic du Clocher
Réotier
Durance
Montdauphin
Les Ourgières
Maison du Roi
Sommets d'Assan
Col de Bramousse
Col de Fromage
Rassis
Cascavelier
Le Queyron
Col Vieux
Cima delle Rossette
Punta Seras
Monviso
Viso Mozzo
0
2km

Le premier ensemble (Queyras calcaire) est essentiellement composé de calcaires, calcaires dolomitiques, dolomies et grès (Tricart, 2003). Le second ensemble (Queyras schisteux) est composé en majorité de schistes et de calcschistes très replissés (« schistes lustrés » ; Fort *et al.*, 2002 ; Arnaud-Fassetta et Fort, 2004). Parmi cet ensemble schisteux émergent des morceaux de roches vertes dérivant du métamorphisme de basaltes, gabbros, péridotites, etc. (série ophiolitique ; Tricart, 2003 ; Tricart et Schwartz, 2006). En raison de plissements successifs, cet ensemble est aujourd'hui inversé. Les roches la composant affleurent désormais au niveau des crêtes et des sommets (Bric Bouchet, Pelvas, Taillante, etc.). L'apparente monotonie litho-structurale du Queyras schisteux occulte des différences importantes en termes de résistance à l'érosion. Dans le contexte climatique actuel, les formations pauvres en carbonates et/ou riches en silice – schistes noirs et calcschistes grésifiés – constituent des roches relativement résistantes. À l'inverse, les roches plus riches en carbonates – calcschistes non siliceuses – se révèlent particulièrement sensibles aux effets de la météorisation. Elles ont tendance à se déliter facilement (Photo 1. 1.), fournissant une grande quantité de débris sous forme de plaquettes décimétriques et de fines particules argileuses (Fort *et al.*, 2002 ; Arnaud-Fassetta et Fort, 2004).

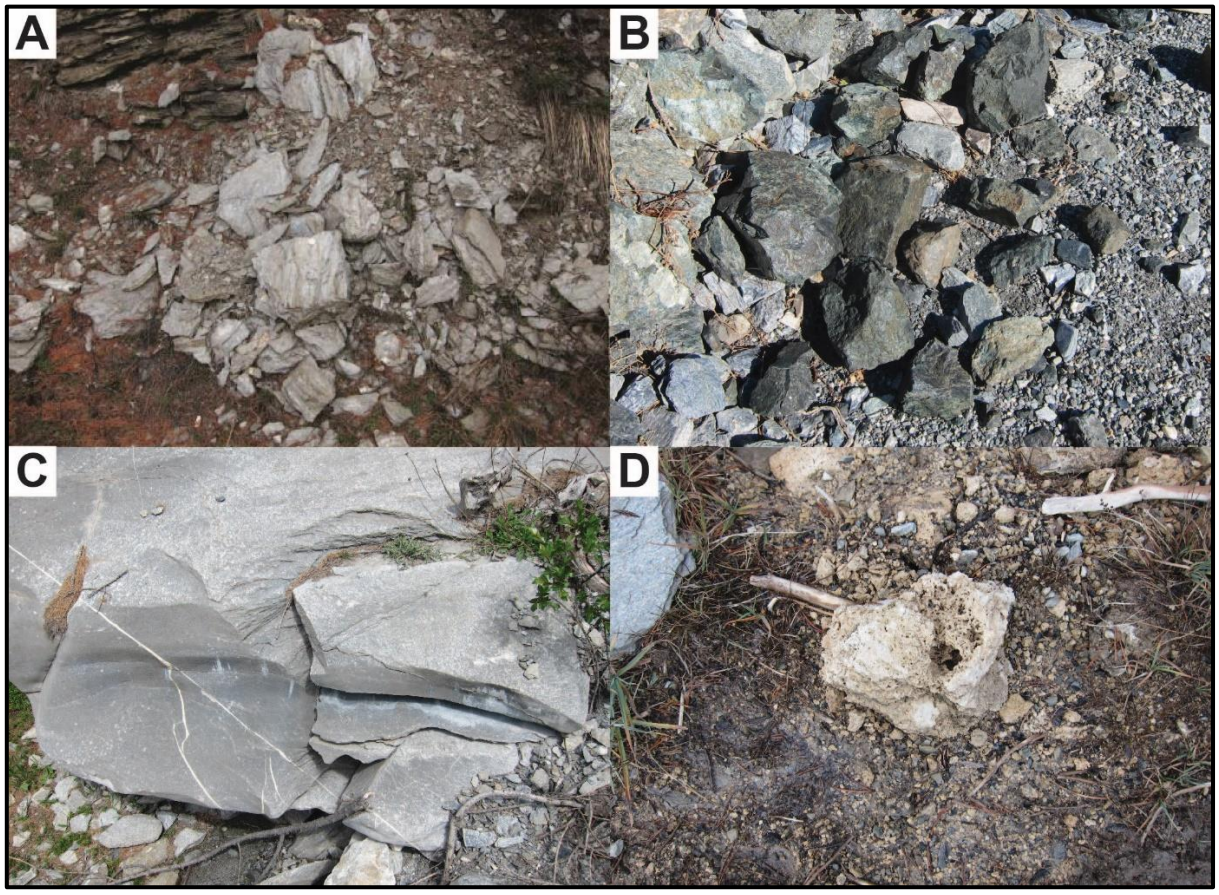


Photo 1. 1. : Les principales roches du Queyras (Carlier, 2014). A – Schistes lustrés, B – Ophiolites (métagabbros, péridotites serpentinisées, métabasaltes etc.), C – Calcaire gris massif, D – Travertins (tufs calcaires).

L'opposition lithologique entre partie est et ouest du bassin a des répercussions sur le cheminement et la disponibilité en eau. Dans le Queyras calcaire, les sols sont perméables. Superficiellement, c'est la partie la plus sèche du bassin. En revanche, en profondeur, une multitude de galeries convergent vers des nappes phréatiques. Le Queyras schisteux se caractérise, lui, par une grande imperméabilité des sols qui peut conduire à un ruissellement conséquent en cas de fortes précipitations (Einhorn, 2003).

1. 3. Disposition structurale des ensembles géologiques et conséquences sur le relief

Le bassin-versant du Guil se distingue par un contexte morpho-structural le prédisposant aux aléas torrentiels et gravitaires (Carlier *et al.*, 2018a ; Viel *et al.*, 2018). Le bassin-versant du Guil se caractérise ainsi par une opposition structurale de ses versants (Fort *et al.*, 2002 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005). Les versants orientés vers l'ouest/sud-ouest sont le plus souvent conformes au pendage général des schistes (≈30°), ce qui tend à favoriser les glissements translationnels le long des plans de schistosité. Les versants orientés vers le nord/nord-est sont, quant à eux, à contre-pendage (Photo 1. 2.). Leurs parois, plus abruptes, les prédisposent à l'éboulisation et aux écoulements gravitaires de type avalanches et laves torrentielles (Fort *et al.*, 2002 ; Graff *et al.*, 2018). L'opposition des versants se traduit par une dissymétrie marquée du bassin. Les versants de rive droite ont des pentes relativement modérées, de l'ordre de 30°. Les versants de rive gauche sont beaucoup plus raides, avec des pentes moyennes comprises entre 45° et 50° (70° à proximité des sommets ; Photo 1. 2.).

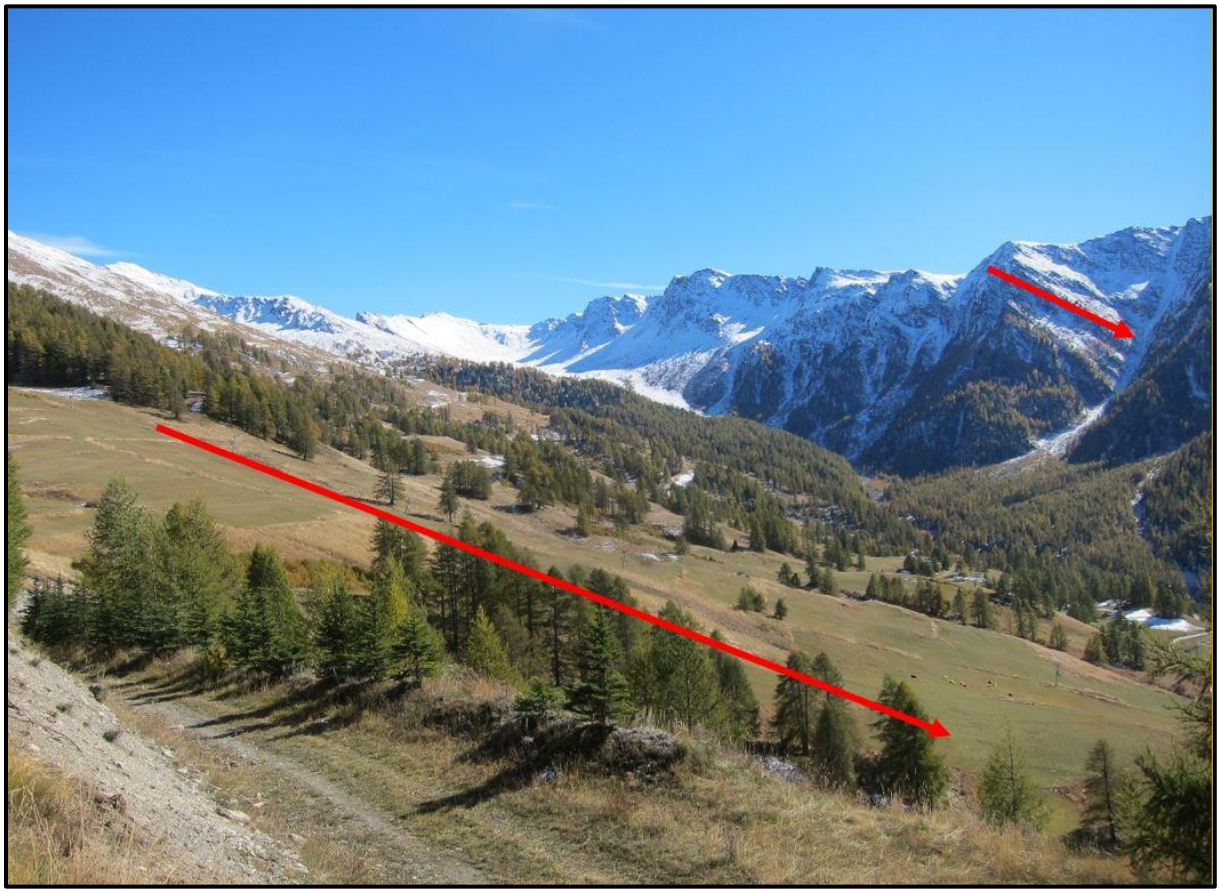


Photo 1. 2. : Opposition structurale des versants dans le sous-bassin-versant du Peynin (photo : B. Carlier, 2016).

En outre, les déformations tertiaires successives ont engendré un système de failles normales raides et le plus souvent orientées ENE/WSW et NNW/SSE, qui ont eu un double effet sur l'organisation du bassin : (1) En créant des zones de faiblesse propices à l'érosion, ce système a conditionné l'organisation spatiale du réseau hydrographique (Photo 1. 3.) ; (2) Les failles ont favorisé le développement de tassements rocheux et de glissements de terrain sur les versants conformes au pendage des schistes en réduisant la résistance mécanique des couches géologiques supérieures et en compartimentant d'importants volumes rocheux (Tricart, 2003).

Le contexte géologique dans lequel s'inscrit le bassin-versant du Guil constitue un facteur prédisposant pour de nombreux processus et dynamiques morphologiques récentes. La lithologie du

bassin, majoritairement schisteuse, tend à favoriser le déclenchement de mouvements de masses et de crues et laves torrentielles tandis que les failles qui strient le bassin ont constitué des zones préférentielles au développement de la torrentialité pendant le Quaternaire récent. La mise en perspective des héritages quaternaires et holocènes devrait permettre de mieux appréhender les dynamiques actuelles.



Photo 1. 3. : Ravins d'origine tectonique (failles) dans le sous-bassin-versant du Peynin (Carlier, 2015).

2. Dynamique glaciaire pléistocène et réajustements morpho-sédimentaires holocènes

Si les grands épisodes de la géologie locale ont conduit à la mise en place des reliefs, la morphologie actuelle du bassin-versant du Guil est en grande partie héritée des dynamiques quaternaires. Divers facteurs sont en causes : la dynamique glaciaire, la torrentialité et l'impact anthropique.

2. 1. Érosion et accumulation d'origine glaciaire

L'englacement de la haute vallée du Queyras a duré jusqu'aux alentours de 18000 BP (Brotto, 1983 ; Cossart *et al.*, 2011). Lors du Dernier Maximum Glaciaire, vers 25000 BP, le glacier du Guil aurait atteint une épaisseur de 600 m au niveau du verrou de Château-Queyras (Cossart *et al.*, 2011). Selon toute vraisemblance, le glacier principal et ces affluents ont fortement contribué au façonnement des modelés actuels du bassin (Koulinski, 2000 ; Tricart, 2003). Les héritages glaciaires demeurent visibles au travers de quelques formes d'érosion et d'accumulation : vallées en auge, cirques glaciaires, gorges de raccordement, verrous et ombilics glaciaires (Rocher de l'Ange, Fort Queyras, Belvédère du Viso etc.), brous et épaulements (col de la Crêche, sommet Bucher), plaquages morainiques, blocs erratiques et « demoiselles coiffées » (Photo 1. 4.). Les formes d'érosion bien conservées sont

néanmoins peu nombreuses dans la mesure où les schistes lustrés sont peu propices à la conservation des modelés et des formes d'érosion glaciaire (Carlier *et al.*, 2018a).

2. 2. Réajustements post-glaciaires

La déglaciation totale de la vallée serait intervenue aux alentours de 7000-8000 BP avec la fonte des derniers glaciers de cirque (Cossart *et al.*, 2011). Ce retrait a vraisemblablement entraîné un regain de l'activité torrentielle et des processus de versant (Jorda et Rosique, 1994). Cet élément est confirmé par la découverte d'un tronc de mélèze fossilisé daté à ± 4065 BP dans les dépôts de laves torrentielles du cône de la Peyronnelle (Fort *et al.*, 2002). Cette activité paraglaciaire s'est traduite par la mise en place de nombreux stocks sédimentaires sur les versants et dans les fonds de vallée du bassin-versant du Guil. Sur les versants conformes au pendage des schistes, d'importants stocks sédimentaires perdurent sous la forme de vastes complexes de glissements de terrains (Photo 1. 5. ; Tricart, 2003).

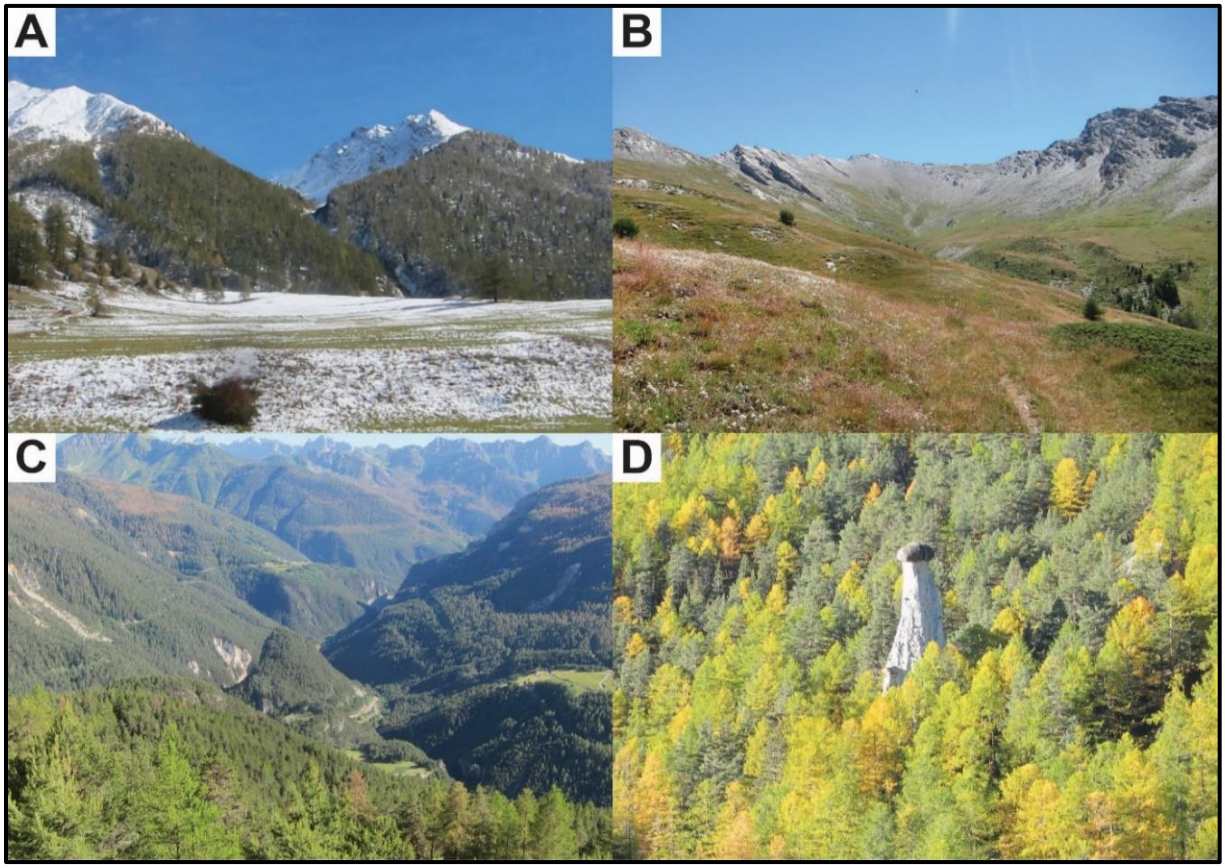


Photo 1. 4. : Formes d'érosion et d'accumulation glaciaire (Carlier, 2014-2015-2016) : A – Vallée perchée du Nalbert et gorge de raccordement sous-glaciaire (Ristolas), B – Cirque glaciaire du Fond de Peynin (Aiguilles), C – Verrou glaciaire de l'Ange Gardien (Château-Queyras), D – demoiselle coiffée (Molines-en-Queyras).

En contrebas des ravins torrentiels et à l'exutoire des sous-bassins se sont développés de vastes cônes de déjection (Photo 1. 5. ; Fort *et al.*, 2002). Ces stocks sédimentaires exercent aujourd'hui d'importantes contraintes latérales sur les cours d'eau modifiant leurs tracés en de nombreux endroits. Ces contraintes, associées à la présence de gorges étroites à l'aval des sous-bassins, expliquent en partie la permanence d'importants volumes de sédiments piégés sur les versants et dans les fonds de vallée.

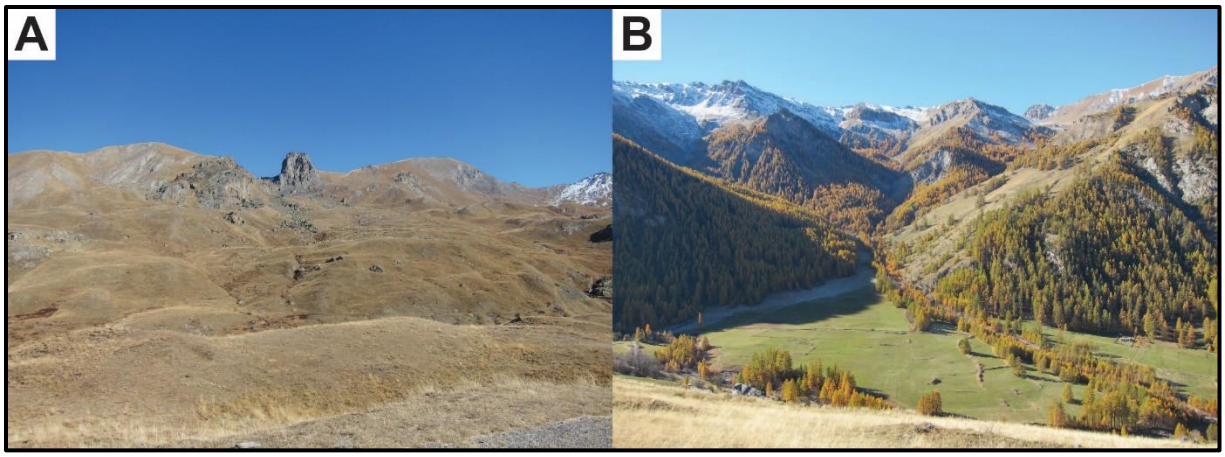


Photo 1. 5. : Formes d'accumulation liées aux réajustements postglaciaire (Carlier, 2016) : A – complexe de glissements de terrain dans la vallée de l'Aigue Blanche (colluvions et dépôts morainiques remaniés), B – cône torrentiel du Pré La Chalp (Saint-Véran).

3. Les actions anthropiques sur le milieu physique

En dépit de son isolement géographique, la haute vallée du Guil a été peuplée de longue date par l'homme (Blanchard, 1922 ; Walsh *et al*., 2006 ; Carozza *et al*., 2013). On estime que l'implantation humaine a démarré une fois la vallée du Guil entièrement déglacée, vers 9000 BP. Les quelques recherches archéologiques menées autour de la mine de cuivre de Saint-Véran et dans les alpages d'Urine et du Mont Viso (Ristolas) attestent d'une occupation humaine dès le Néolithique (Walsh *et al*., 2006 ; Carozza *et al*., 2013). Depuis lors, le Queyras a toujours été habité et les activités humaines ont fortement contribués à en modifier le milieu physique.

3. 1. Un paysage largement façonné par les activités agro-pastorales et sylvicoles

Du Néolithique jusqu'au milieu du XX^{e} s., le territoire du Queyras a été essentiellement tourné vers l'exploitation sylvicole et agro-pastorale (Blanchard, 1922). Cet usage des sols a imprimé de profondes marques dans le paysage queyrassin. Tous les espaces susceptibles d'être employés à cet effet l'ont été. Cette expansion s'est accélérée à la fin du Petit Âge Glaciaire du fait de la tendance à la contraction des bandes actives des cours d'eau et à la réduction des aléas torrentiels (Arnaud-Fassetta et Fort, 2004). Ces modifications du milieu physique ont incité les populations locales à occuper plus largement les fonds de vallée et les cônes torrentiels. Du XVI^{e} au XVIII^{e} s., le Queyras est à son « plein démographique ». Le défrichement et la mise en culture des sols atteignent leur paroxysme. Sur les versants, les adrets bien exposés et peu pentus, sont quasi-intégralement défrichés pour les besoins de l'agriculture (Blanchard, 1922). Des terrasses sont aménagées pour optimiser l'espace et augmenter la production sur les versants. En parallèle, des canaux sont installés pour l'irrigation et le drainage des eaux pluviales (canal de Rouchas Frach, canaux des adrets d'Abriès et de Saint-Véran, etc.). Les ubacs et les prairies situés au-dessus de la limite des cultures (alpages) ont été largement valorisés pour l'élevage et la production fourragère. Seules les forêts situées sur les ubacs – des mélézins pour la plupart – ont été épargnées en raison de leur relative inaccessibilité. Cette dichotomie inter-versants est encore largement perceptible dans le paysage queyrassin (Photo 1. 6.). Si les cultures ont presque disparu de la vallée du Guil suite à la crue de 1957, la vocation agricole des vallées de l'Aigue Agnelle, de l'Aigue Blanche et du Soulier est encore nettement discernable (Photos 1. 5., B et 1. 6.).

L'aspect agricole du territoire tend néanmoins à s'effacer. Au cours du XIX^{e} et XX^{e} s., la déprise agro-pastorale et l'exode rural ont entraîné une nette diminution de la population. Cette dernière s'est traduite par un morcellement du foncier, une réduction des surfaces cultivées et un abandon des parcelles

les moins rentables. Désormais, les canaux ont cessé d'être entretenus, les prairies sont de moins en moins souvent fauchées et les hameaux et chalets d'estive ont pour la plupart été abandonnés. Les troupeaux, moins nombreux qu'auparavant, n'effectuent plus leur rôle d'entretien des pelouses. La forêt tend donc à progresser, entraînant une fermeture rapide des paysages (Fig. 1. 4.).



Photo 1. 6. : Vue sur le village de Molines-en-Queyras et la vallée des Aigues depuis le col du Bucher.

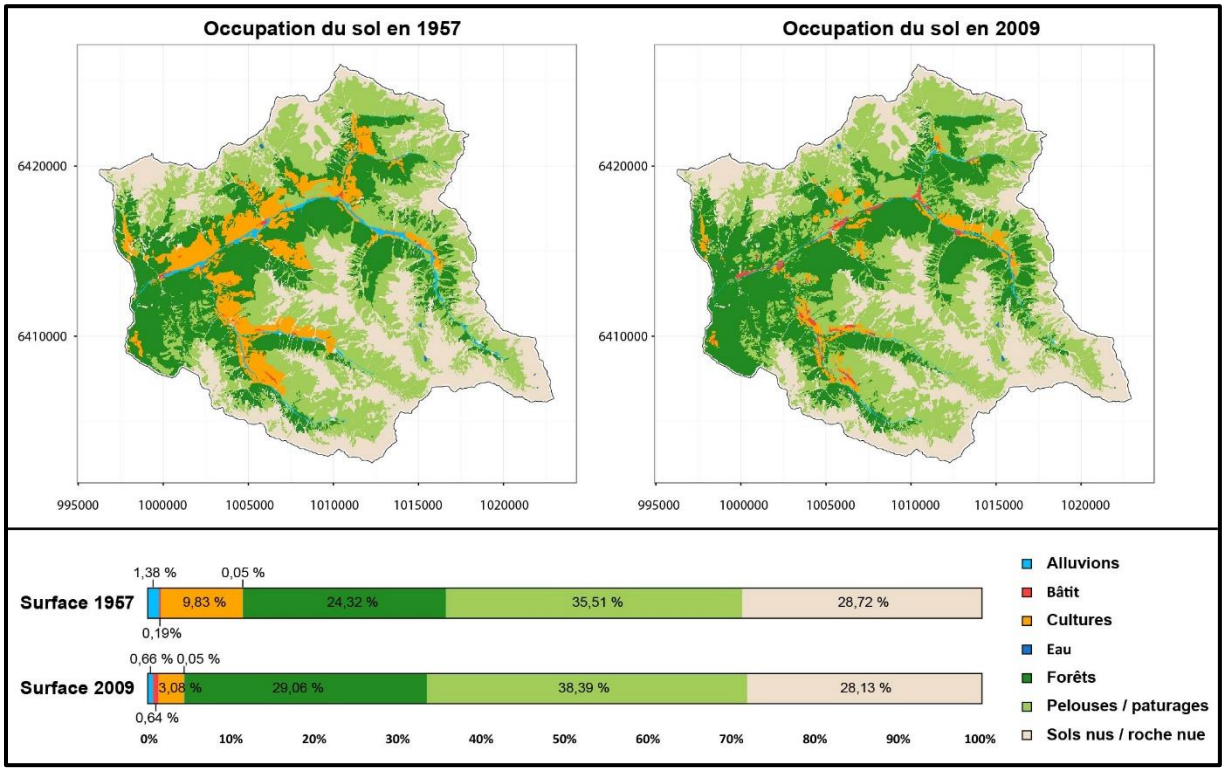


Figure 1. 4. : Changement d'occupation du sol entre 1957 et 2009 (source : Benoît Carlier).

3. 2. Déprise agro-pastorale et basculement vers une économie touristique

Face au déclin de leurs économies traditionnelles, les vallées du Queyras se sont tournées vers le tourisme estival puis hivernal. Elles ont su s'appuyer sur une culture touristique entamée au début du XX^{e} s. pour valoriser leur riche patrimoine culturel et paysager (Blanchard, 1909 ; Mouthon, 2001 ; Dao-Léna, 2012). Dès le début du siècle, des hôtels et résidences secondaires voient le jour, d'abord à Aiguilles et Abriès puis dans l'ensemble du Queyras. Durant cette période, le tourisme est encore essentiellement estival et n'entraîne que peu de modifications du milieu physique. En 1937, les premières stations de ski voient le jour à Aiguilles, Abriès et Saint-Véran (www.remontees-mecaniques.net). Ce sont parmi les premières de France à être installées, témoignant de l'image de marque dont jouit le territoire. En 1972, les communes du Queyras candidatent pour la création d'un parc régional naturel. Celui-ci voit le jour en 1977 sous la dénomination de Parc Naturel Régional du Queyras (PNRQ). La labélisation du territoire lui offre plus de visibilité et accélère le développement de l'économie touristique. Dans les décennies 1970-1980, chaque village du Queyras se dote de sa propre station de sport d'hiver ou étend son domaine skiable (Photo 1. 7., A et B). L'aménagement des pistes et des remontées mécaniques entraînent un remaniement des versants dans plusieurs des sous-bassins affluents du Guil (coupes de bois, travaux de terrassement, installation d'équipements, etc.). En 2008, dans le cadre d'un plan de restructuration des domaines skiables du Queyras (lié au déficit financier chronique des « remontées mécaniques du Queyras »), les téléskis de Château-Ville-Vieille, d'Aiguilles et de Ristolas cessent leur activité. Seule subsistent les stations d'Abriès et Molines-Saint-Véran. Les communes ayant perdu leur station ont reçu des compensations financières qu'elles ont réinvesties pour développer des infrastructures de loisir (Photo 1. 7., C et D).



Photo 1. 7. : Les activités touristiques hivernales dans le Queyras : A – Station de Moline – Saint-Véran (www.queyras-passion.com), B – Station d'Abriès (www.queyras-passion.com), C – Piste de ski de fond en amont de Ristolas (www.queyras-passion.com), D – Vue sur l'Espace Ludique d'Aiguilles et la zone artisanale du Peynin (B. Carlier).

Face au déclin annoncé du ski alpin, le Queyras cherche désormais à diversifier son économie et à moderniser ses infrastructures touristiques. Il est ainsi devenu le premier domaine en termes de ski de fond et de randonnées en raquettes. Nombre de chemins et routes du Queyras ont désormais un double usage : voie de communication et/ou chemin de VTT l'été et piste de ski nordique ou de ski de fond l'hiver (Photo 1. 7., C et D). En outre, sous l'égide du PNRQ, le Queyras a entamé une transition vers un développement touristique en accord avec la charte du développement durable de l'Union Européenne (PNRQ, 2010).

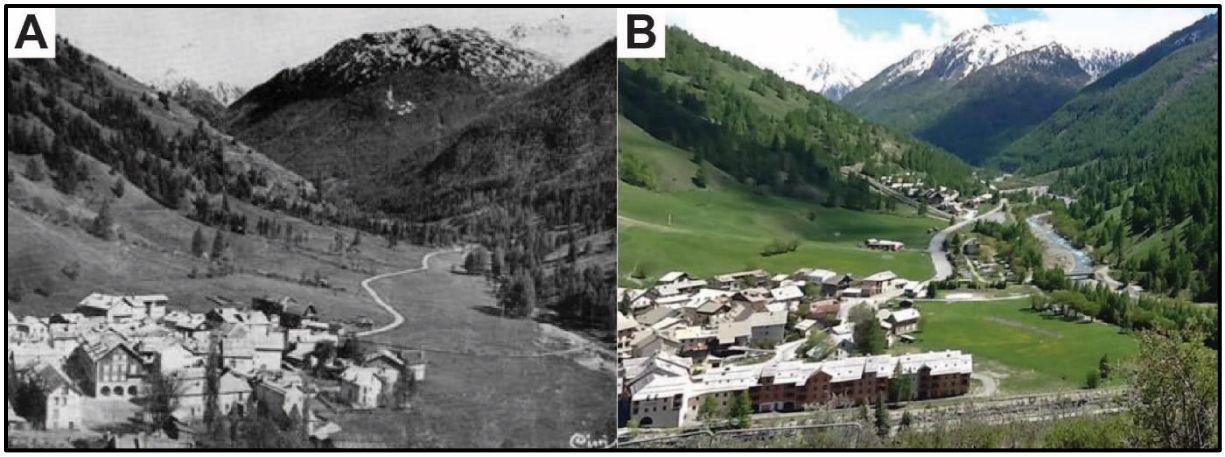


Photo 1. 8. : Vue du village d'Abriès pris en : A – 1957, avant la crue de la mi-juin (www.geneanet.org) et B – en 2014 (B. Carlier). Notez l'accroissement des enjeux dans la plaine alluviale entre les deux dates.

À l'échelle du XX^{e} s., le développement du tourisme a engendré une hausse de la demande en logements secondaires et en infrastructures (Photo 1. 8.). Cette demande s'est traduite par une extension des villages et la création *ex-nihilo* de nouvelles zones résidentielles : hameau de Château Renard, quartier du Clôt-La-Chalp, de La Chalp, de La Garcine, etc. (Fig. 1. 5. et 1. 6.). À cette extension s'ajoute la réoccupation progressive – mais encore souvent saisonnière – des hameaux dépeuplés pour cause de risques naturels (La Monta, l'Échalp) ou d'abandon des pratiques agricoles (hameaux de Mériès, du Rouet, de Peynin, du Lombard, du Roux, de Valpréveyre, etc.). Faute de place, les quartiers résidentiels et les zones d'activités ont été implantés pour la plupart en fond de vallée alors que, traditionnellement, les villages étaient implantés en hauteur ou sur les cônes de déjection pour s'affranchir des crues du Guil (Fig. 1. 5. et 1. 6. ; Photo 1. 8.). Cette occupation des fonds de vallée s'explique aussi probablement par un sentiment de sécurité résultant des très nombreux aménagements réalisés dans les cours d'eau.

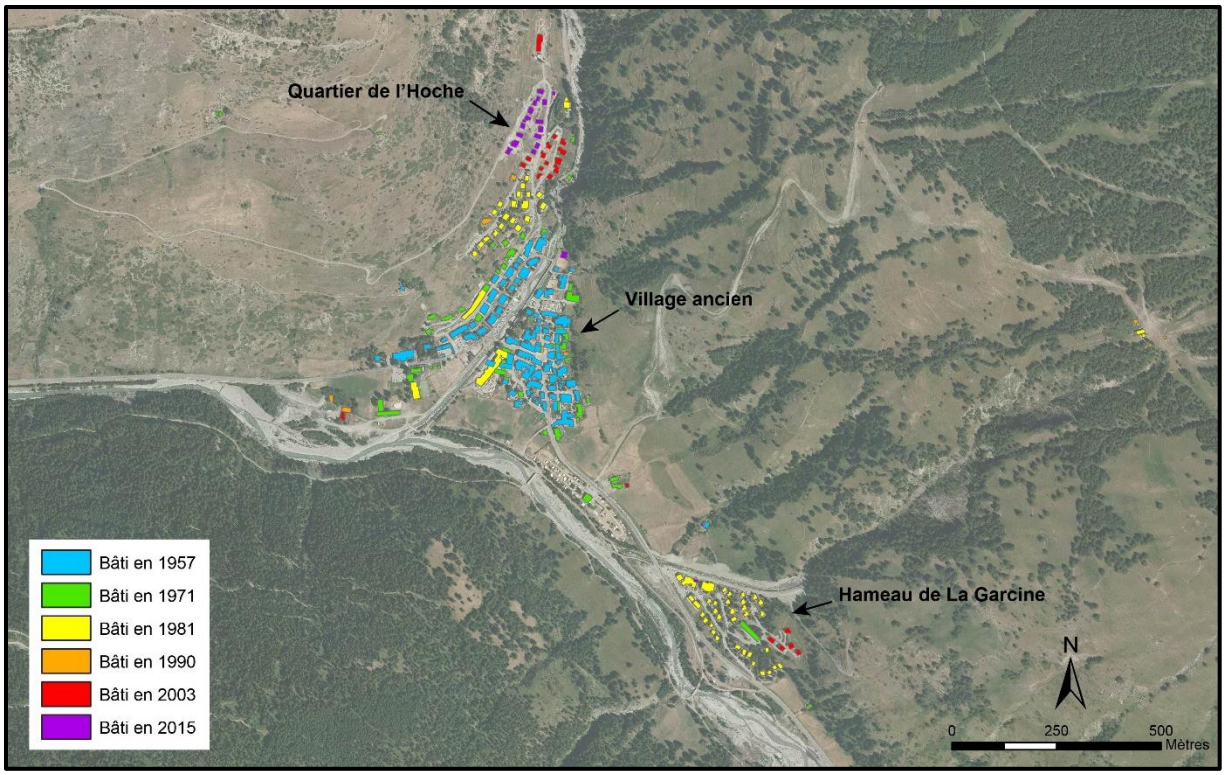


Figure 1. 5. : Date de construction du bâti dans le village d'Abriès (cartographie B. Carlier).

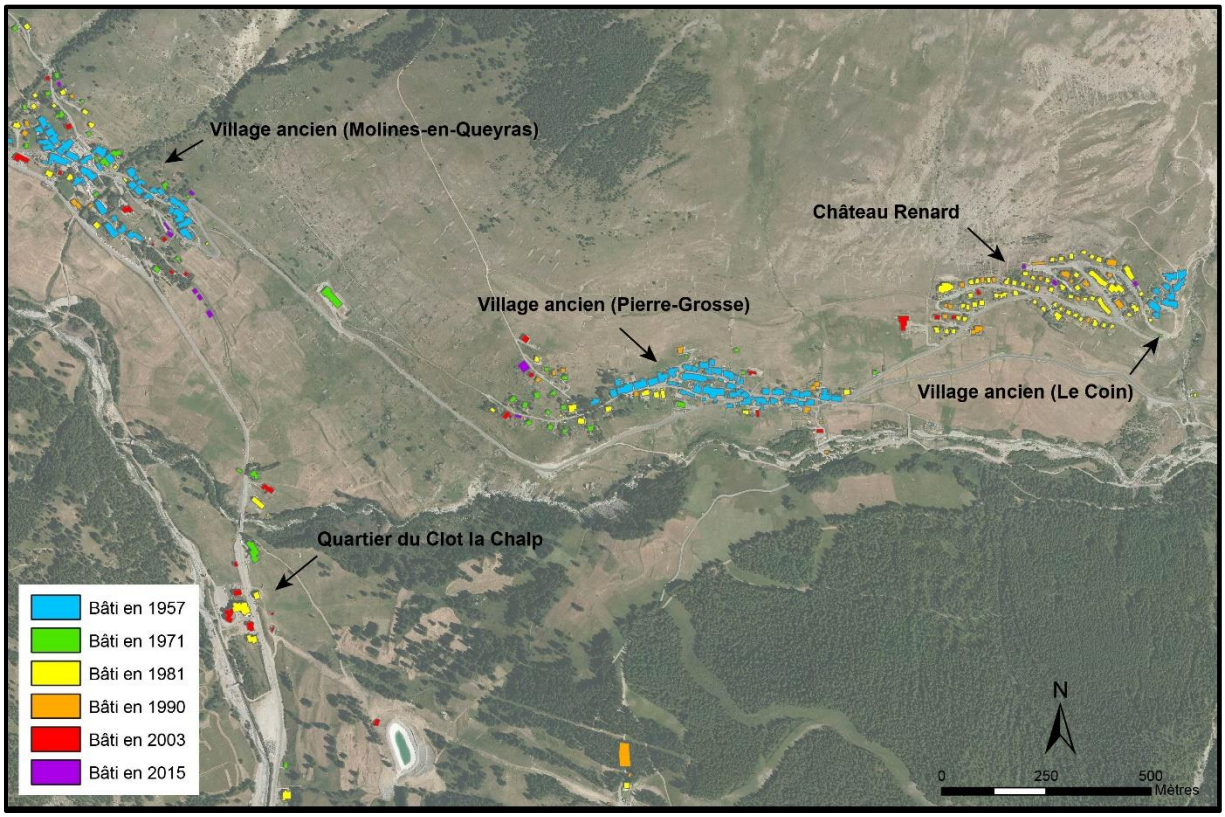


Figure 1. 6. : Date de construction du bâti dans la commune de Molines-en-Queyras (hors Fongillarde et La Rua), (cartographie B. Carlier).

3. 3. Vers une artificialisation du milieu physique naturel

Les cours d'eau du Queyras sont fortement anthropisés. Le territoire compte un grand nombre d'ouvrages de protection, dont une grande partie est située sur, ou le long, du Guil. La plupart de ces aménagements ont été réalisés suite à la crue catastrophique de 1957 (récurrence > 100 ans), qui a complétement bouleversé le fond de vallée (cf. *supra*, 2. 2.). Ce dispositif de protection relativement lourd comporte des digues maçonnées ou bétonnées, des enrochements et des batteries de seuils torrentiels. Aux confluents du Guil et de ses principaux affluents (à l'exception notable du Peynin), ces ouvrages sont complétés par des canaux de dérivation maçonnés et garnis de seuils (Photo 1. 9.).

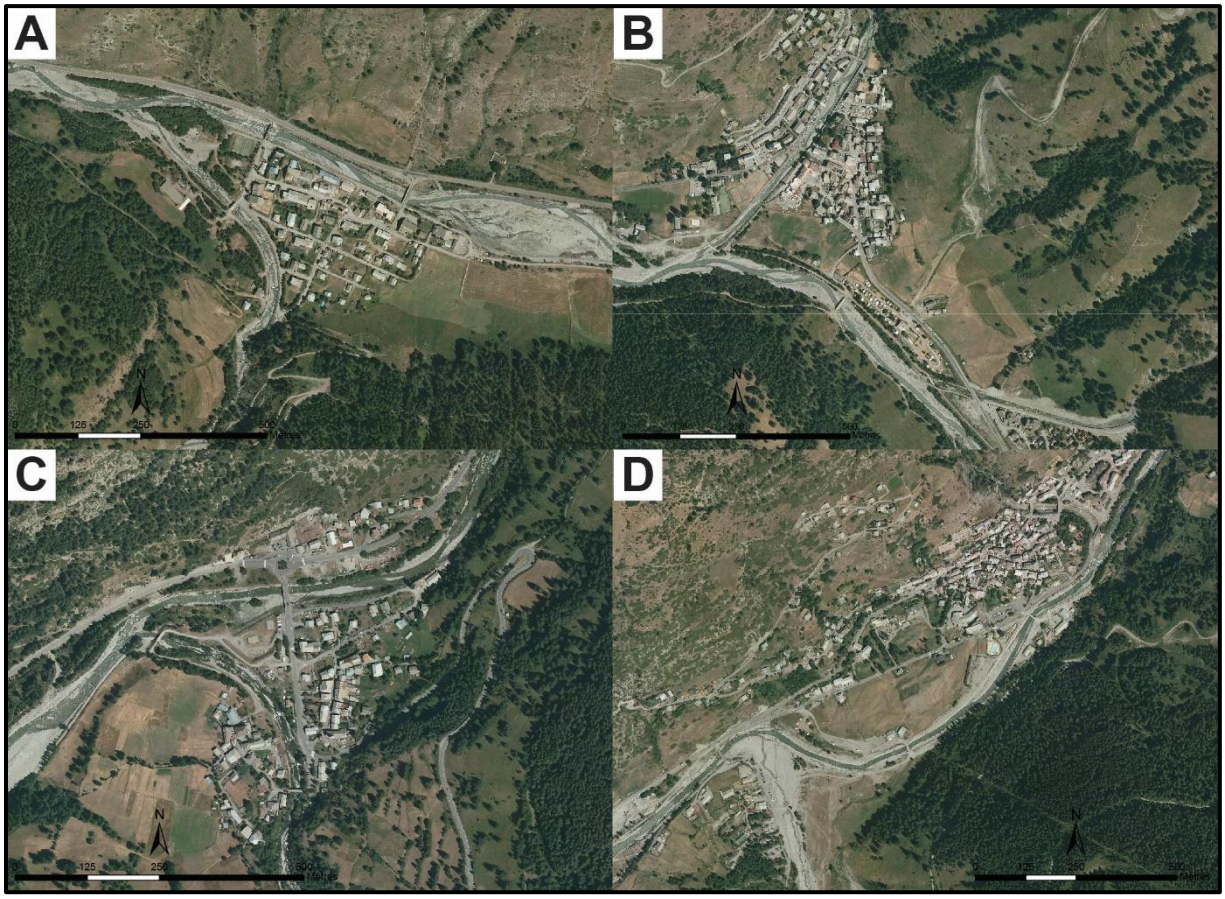


Photo 1. 9. : Endiguement et rectification des principaux cours d'eau du Queyras (source : IGN, 2009) : A – Endiguement du Guil et rectification du torrent de Ségure à Ristolas, B – Endiguement du Guil et rectification des torrents de Bouchet et de La Garcine à Abriès, C – Endiguement du Guil et rectification du torrent des Aigues à Ville-Vieille, D – Endiguement du Guil et rectification du torrent de Lombard à Aiguilles ; notez l'absence d'ouvrage lourd de protection sur le torrent de Peynin.

Bien qu'admirablement construits, ces ouvrages de protection présentent aujourd'hui des dangers faute d'entretiens suite aux crues successives (Photo 1. 10.). Seul un tiers des ouvrages est dans un état jugé satisfaisant (PNRQ, 2014). L'endiguement de la vallée du Guil s'est fait au détriment de l'espace de liberté des cours d'eau. Sur les versants, des aménagements ont également été réalisés pour protéger les enjeux (bâti, réseaux, occupation et usage du sol) des effets néfastes des laves torrentielles, avalanches et chutes de blocs. Ces multiples aménagements ont entraîné une modification profonde des dynamiques naturelles (accélération des flux hydriques, possibilité d'embâcles, dégradation de la ripisylve, etc.). Réalisés initialement dans un but de protections, le mauvais état de ces aménagements constitue aujourd'hui un facteur de vulnérabilité supplémentaire.

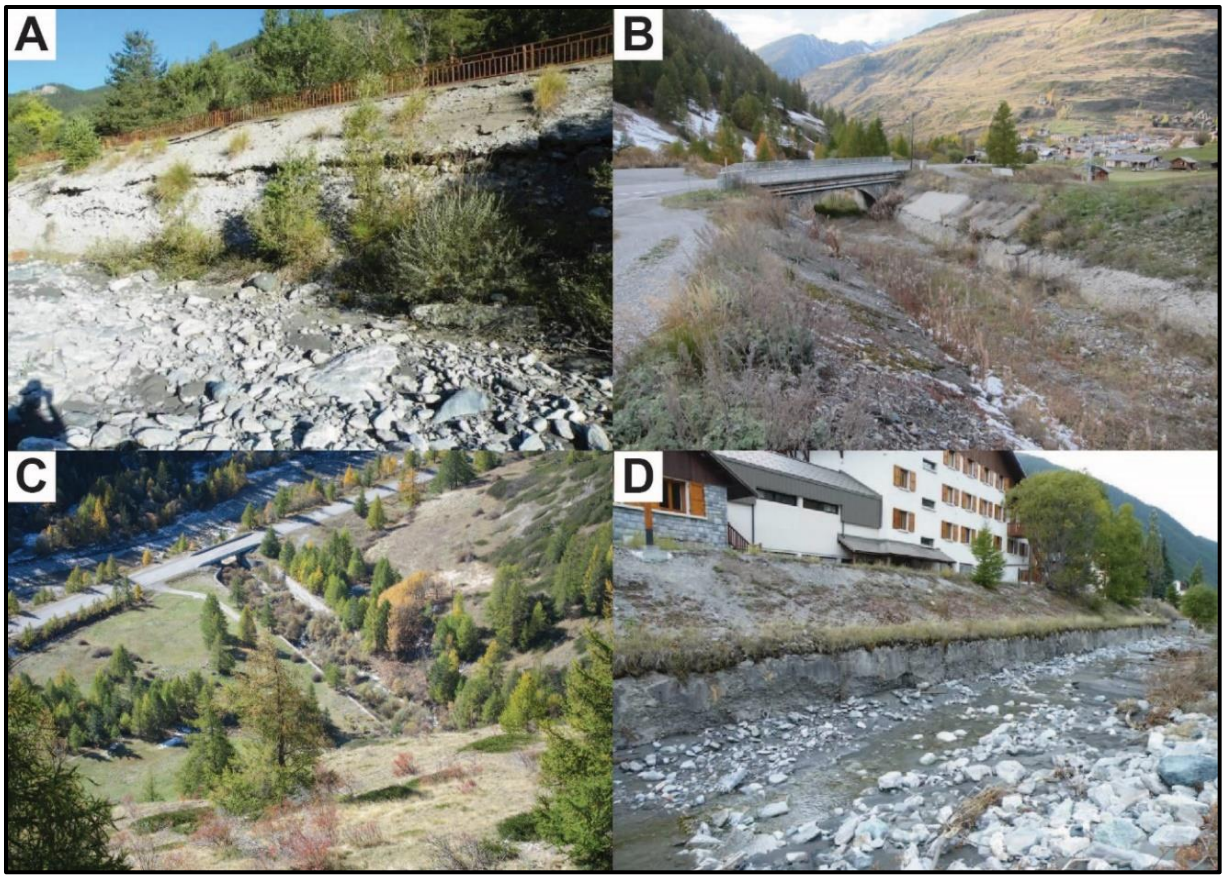


Photo 1. 10. : Des ouvrages de protection souvent en mauvais état : A – digue endommagée le long du Guil à Château-Queyras (PNRQ 2014), B – ouvrages endommagées dans le chenal de la Garcine à Abriès ; notez le pont sous-calibré en arrière-plan, C – colonisation végétale dans le chenal du torrent de Malrif en aval d'Abriès, D – digues endommagées le long du Guil dans sa traversée de Ristolas.

Conclusion

En raison d'un certain nombre de facteurs prédisposants (topographie marquée, lithologie fournissant, en abondance, des matériaux meubles facilement mobilisables, opposition structurale des versants, modification de l'occupation du sol) le Queyras s'avère particulièrement exposé aux aléas torrentiels et gravitaires (crues et laves torrentielles, avalanches, glissements de terrain). En dépit de son aspect naturel et authentique, le Queyras est aujourd'hui un territoire anthropisé. L'économie agro-pastorale et sylvicole puis touristique a engendré de profondes modifications dans l'occupation et l'usage des sols. L'anthropisation a joué un rôle certain dans la production et le transit sédimentaire via la déforestation et la mise en culture des terrains ou l'aménagement des cours d'eau. Les aménagements liés au tourisme et l'artisanat ont accru l'exposition du territoire aux risques en multipliant les enjeux et en favorisant le ruissellement sur les versants et dans les fonds de vallée. Pour protéger ces enjeux, les gestionnaires et aménageurs ont largement artificialisé le milieu naturel, notamment les cours d'eau.

Chapitre 2 : Un contexte hydroclimatique propice aux catastrophes

Si le Queyras s'avère prédisposé aux risques naturels du fait de ses caractéristiques géologiques et topographiques et des modifications apportées par l'homme au milieu naturel, c'est dans son climat particulier qu'il faut chercher la cause première des catastrophes l'ayant affecté.

1. Contexte climatique du Queyras

1. 1. Présentation générale du climat queyrassin

Le Queyras bénéficie d'un climat méridional sec à influence méditerranéenne et à tendance continentale (Touflan *et al.*, 2010 ; Fig. 2. 1.). En raison de sa situation, à l'est du massif des Écrins, le Queyras bénéficie d'un régime « sous le vent » à l'abri des courants d'ouest. Ce faisant, il est épargné par les perturbations en provenance de l'Atlantique. Il dispose d'un remarquable ensoleillement, qui lui a valu le surnom de « carré bleu du Queyras » (www.meteofrance.com ; Dao Lena, 2012). En été, ce territoire se distingue par un climat plutôt sec, d'où l'absence de crue dites « ordinaires » (Fig. 2. 1.). Les précipitations moyennes annuelles dépassent rarement 800 mm contre près de 1400 mm pour le massif des Écrins (Tricart, 1958 ; Koulinski, 2000 ; Fort *et al.*, 2002 ; Fouquet, 2007).

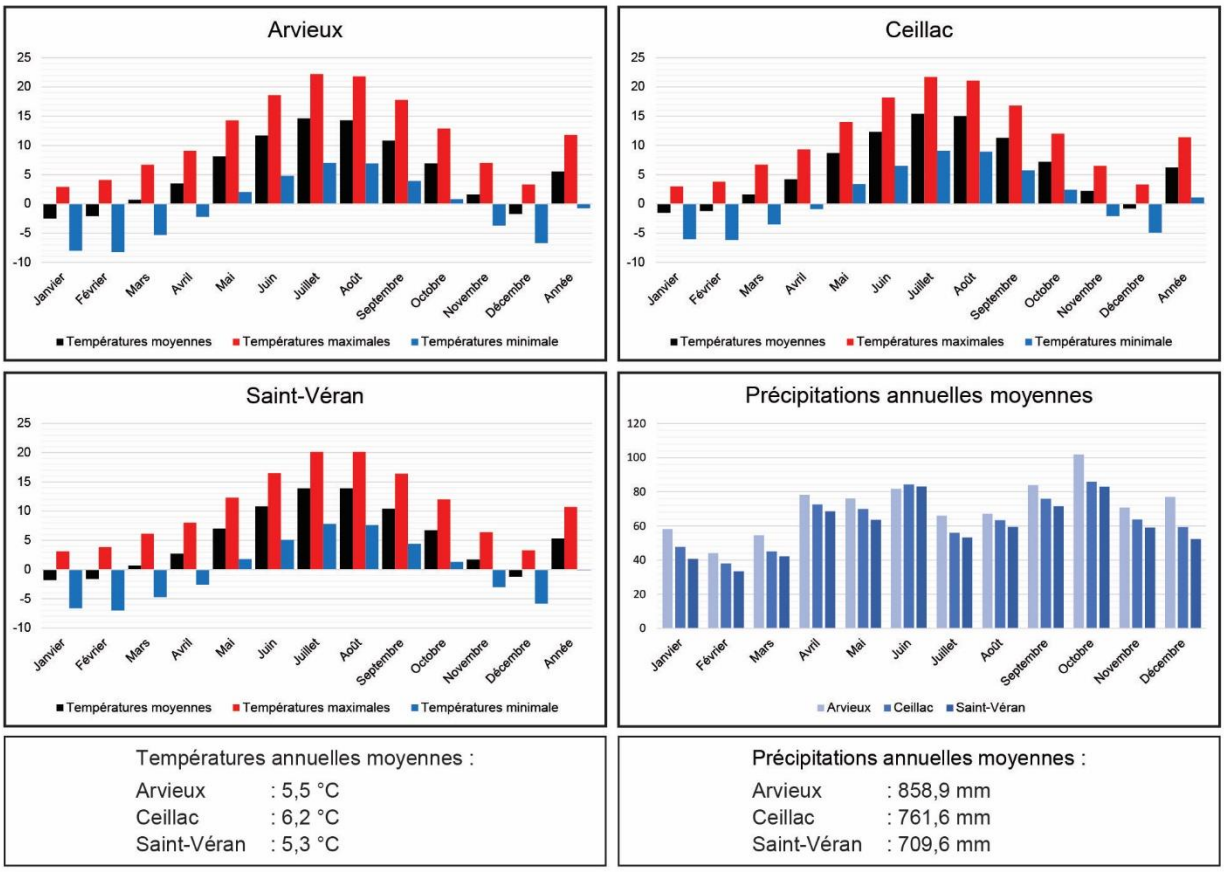


Figure 2. 1. : Températures annuelles moyennes, Min, Max et hauteurs de précipitations annuelles moyennes pour les stations climatiques d'Arvieux, Ceillac et Saint-Véran sur la période 1981-2010. Arvieux : indicatif n°05007001, alt : 1690 m, lat : 44°46'48"N, long : 06°44'12"E ; Ceillac : Indicatif n°05026001, alt : 1665 m, lat : 44°40'12"N, long : 06°46'30"E ; Saint-Véran : Indicatif n°05157001, alt : 2006 m, lat : 44°41'54"N, long : 06°52'12"E (source : Météo-France, 2017).

S'il n'est que peu affecté par les précipitations provenant de l'ouest, le Queyras est en revanche soumis aux phénomènes de retours d'est (aussi appelés « coups de Lombarde »). Le phénomène de

lombarde se fait par l'advection de masses d'air humides se dirigeant vers le nord (Fig. 2. 2.). Ils se produisent lorsqu'une dépression se creuse sur le golfe de Gênes et remonte la plaine du Pô. Les masses d'air, chargées d'humidité durant leur parcours maritime, causent des précipitations orographiques intenses quand elles atteignent les Alpes. Dans le Queyras, les effets des coups de Lombarde sont à leur maximum à proximité du Mont-Viso et le long de la ligne de crête marquant la frontière avec l'Italie (Tricart, 1958 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2004 ; www.pluiesextremes.meteo.fr).

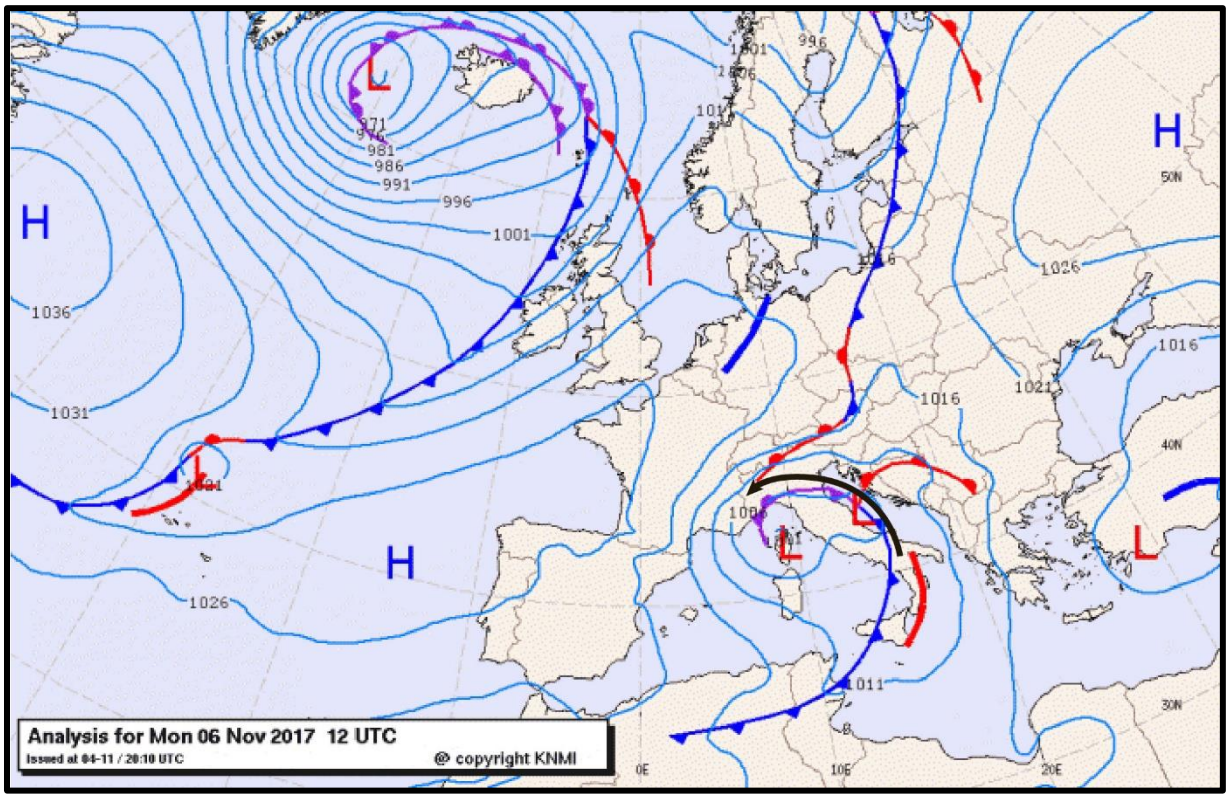


Figure 2. 2. : Situation de retour d'est du 6 novembre 2017 : Un retour d'est se forme quand de l'air froid provenant du nord parvient à s'insérer jusqu'au golfe de Gênes. L'air polaire entre alors en collision avec l'air chaud de la Méditerranée. Se forme une dépression sur le Golf de Gènes. Dans le cas d'une dépression, le vent tourne à l'envers des aiguilles d'une montre et, par conséquent, un flux d'est se crée dans la plaine du Pô. La flèche noire montre la direction de ce flux aussi appelé « retour d'est » ou « coup de Lombarde » (source : www.meteo-chamonix.org).

1. 2. Les retours d'est

Les retours d'est ont une fréquence qui ne dépasse guère une à deux fois par an. En dépit de cela, ils participent pour beaucoup aux cumuls des précipitations annuelles. Durant les épisodes de juin 1957 et mai 2008, des cumuls de précipitations voisins de 300 mm ont ainsi été enregistrés dans le Queyras. Lorsque les retours d'est entraînent des précipitations sous forme liquide – au printemps ou à l'automne – ils peuvent être à l'origine de crues particulièrement destructrices. S'ils se conjuguent avec une période de fonte printanière, ils entraînent le gonflement des débits des torrents et rivières torrentielles. Lors de tels événements, les cours d'eau sont susceptibles de subir des évolutions plus importantes en quelques heures que sur plusieurs décennies (Koulinski, 2000 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2004 ; PNRQ, 2004). Les crues catastrophiques de juin 1957, juin et octobre 2000 et juin 2008 en sont de bons exemples (cf. *supra*, 2. 2.). Dans les sous-bassins-versants du Guil, les orages occasionnés par les retours d'est constituent le principal facteur déclenchant des aléas hydro-gravitaires type laves torrentielles ou coulées boueuses (Koulinski, 2000 ; Fort *et al.*, 2002 ; Graff *et al.*, 2018). Les

précipitations intenses dues aux retours d'est ont également un rôle considérable dans le déclenchement ou l'accélération des glissements de terrain. Ces effets peuvent se conjuguer pour engendrer des aléas en cascade. Par exemple, les laves torrentielles peuvent apporter des volumes considérables de matériaux aux torrents en crues, qui vont eux même déstabiliser les versants en sapant les berges des cours d'eau, déclenchant par là même des glissements de terrain (Koulinski, 2000 ; Fort *et al.*, 2002).

En hiver, les retours d'est coïncident généralement avec le pic d'enneigement (www.meteofrance.com). Dans les communes du Queyras, il n'est pas rare de voir tomber plus de 2 m de neige en l'espace d'un seul épisode de lombarde (Photo 2. 1.). En janvier 1978 et décembre 2008, ont été ainsi relevés près de 3 m de neige à Ristolas et Saint-Véran ! À ces occasions, le Queyras a connu une activité avalancheuse exceptionnelle qui a entraîné de nombreuses coupures de réseaux et engendré d'importants dégâts sur le bâti. En raison de son enclavement et de sa faible densité de routes, les coupures de réseaux conduisent fréquemment à l'isolement de tout ou partie du territoire. C'est particulièrement vrai pour les villages et hameaux situés en fond de vallée (l'Échalp, La Monta, Ristolas, Le Roux d'Abriès et Fongillarde). Malgré les désagréments qu'ils peuvent engendrer, les retours d'est hivernaux sont plutôt bien perçus par les Queyrassins car ils assurent un enneigement favorable aux activités de sports d'hiver.



Photo 2. 1. : Importantes chutes de neige du retour d'est de décembre 2008 sur la commune d'Abriès (photos : Le Dauphiné Libéré, Y. Gavoille et www.pluiesextremes.meteo.fr).

Le climat queyrassin est très influencé par les retours d'est. Or, ceux-ci constituent le facteur déclenchant de nombreux aléas torrentiels et gravitaires. Sans surprise, ces phénomènes sont donc à l'origine des épisodes catastrophiques les plus dramatiques qu'ont connus les vallées du Queyras. Les catastrophes les plus emblématiques restent à ce jour les crues de 1957, 2000 et 2008 et les épisodes avalancheux de 1978 et 2008.

2. Des crues fréquentes et destructrices

En raison des dommages considérables qu'elles peuvent engendrer, les crues torrentielles constituent l'un des principaux vecteurs de risque pour les communautés alpines. À ce titre, la haute vallée du Guil fait figure d'exemple tant par le nombre que par l'ampleur des crues catastrophiques observées depuis moins d'un siècle (Fig. 2. 3.). Les épisodes les plus emblématiques et les mieux documentés à ce jour sont ceux de juin 1957 (période de retour > 100 ans, ≈15 millions d'euros de dommages ; Tricart, 1958), juin et octobre 2000 (période de retour de 30 à 50 ans, ≈4,6 millions d'euros de dommages ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005) et, plus récemment, celles de juin 2002 et mai 2008 (période de retour de 10 ans, peu de dégâts ; PPRN Ristolas).

2. 1. La crue catastrophique de la mi-juin 1957

La crue de la mi-juin 1957 (du 7 au 14 juin) est la crue la plus violente qu'ait connue le Queyras à ce jour. Avec une période de retour estimée à plus de 100 ans, elle est considérée comme la crue de référence pour le Queyras (Tricart, 1958 ; Koulinski, 2000 ; Fort *et al.*, 2002 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005 ; PNRQ, 2014). Le caractère catastrophique de ce qui était à l'origine une banale crue de printemps, résulte avant tout d'une conjonction malencontreuse de facteurs prédisposants (saturation préalable des sols en eau, permanence d'un couvert neigeux important fin mai), déclenchants (précipitations intenses liées à un phénomène de retours d'est) et aggravants (sous calibration des ponts ayant entraîné la formation d'embâcles ; Tricart, 1958, 1960).

Quand démarre l'épisode climatique de la mi-juin 1957, la situation de la haute vallée du Guil est déjà propice au déclenchement d'une crue. Le mois précédent, le Queyras a reçu des précipitations supérieures à la moyenne, notamment dans ses bassins amont. Ces précipitations ont gorgé en eau les sols qui allaient recevoir, par la suite, les abats d'eau les plus intenses (Tricart, 1958). De plus, le mois de mai 1957 a été marqué par des températures inférieures aux moyennes de saison. Ce froid tardif a eu pour effet de retarder la fusion du manteau neigeux. Les faibles températures, couplées aux précipitations ont même contribué à engraisser ce dernier *via* l'apport de précipitations neigeuses (Tricart, 1960). Lorsque survient le retour d'est exceptionnel de la mi-juin, l'ensemble du bassin du Guil est donc prêt à réagir de manière rapide et simultanée au forçage climatique.

Entre le 7 et le 14 juin, des précipitations orageuses d'intensités croissantes s'abattent sur le Queyras (Tab. 2. 1.). À Abriès, on comptera jusqu'à 202 mm de précipitations le 14 juin (Fig. 2. 4.), soit le quart des précipitations annuelles moyennes ! Ces pluies sont réparties principalement sur les versants nord du Queyras du fait de vents puissants en provenance du sud et du sud-est (Tricart, 1958). Les précipitations, plaquées sur les pentes les plus abruptes, entraînent un ruissellement quasi-instantané sur les versants. Ce phénomène est aggravé par la rapide saturation des sols déjà gorgés en eau depuis le mois de mai. La conjonction de précipitations intenses avec une hausse des températures va conduire à une fusion rapide du manteau neigeux (Tricart, 1958 ; 1960). Les eaux de fontes vont venir gonfler les débits des torrents et des rivières queyrassines, entraînant une crue généralisée à l'ensemble du bassin-versant du Guil. L'addition des ondes de crue des différents torrents a engendré des débits extraordinaires. Pour le Guil, Tricart (1958 ; 1960) avance un débit de crue de 1000 m^3/s à Guillestre ! Dans le Queyras, ce débit devrait être plus proche des 700-800 m^3/s (Tab. 2. 2.).

Année	Moi / jour	Cours d'eaux affectés	Villages impactés
1332	-	GU	CVV
1370	-	GU	CVV
1408	-	**GU, SE, BO, LO**	**RIS, ABR, AIG, CVV**
1409	-	GU	AIG, CVV
1412	-	GU	AIG, CVV
1419	-	GU	AIG, CVV
1431	**4 au 24 juin**	**GU, SE, BO, LO**	**RIS, ABR, AIG, CVV**
1469	23 mai	GU, SE	RIS
1475		BO	ABR
1651	10 au 24 janvier	AA	MOL
1629	23 août	SE	RI
1704	-	LO	AIG
1728	19 au 20 mai	GU, BO, LO	ABR, AIG, CVV
1733	24 mai	BO, UR	ABR
1739	3 au 5 décembre	AA	-
1788	7 septembre	GU	AIG, CVV
1790	9 octobre	BO	ABR
1791	**9 au 11 octobre**	**GU et ses affluents**	**RIS, ABR, AIG**
1792	1 juin	BO	ABR
1810	16 janvier	GU	ECH, RIS
1810	**13 septembre (ou octobre?)**	**GU et ses affluents**	**RIS, ABR, AIG, CVV**
1852	5 août	AA	CVV
1858	-	GU	-
1897	juillet	GU	AIG
1914	24 juin	BO	ABR
1920	19 au 25 septembre	GU, BO	ABR
1941	22 juin	BR	CVV
1946	29 août	BR	CVV
1947	12 août	BR, BO	ABR, CVV
1948	**12 au 15 mai**	**GU, BO**	**ABR, LER, AIG, CVV**
1952	24 juillet	BR	CVV
1953	8 juin	GU, BO, PE	LER, ABR, AIG
1953	29 septembre	GU	AIG
1954	21 août	BR	CVV
1957	**13 au 15 juin**	**GU, SE, BO, LO, PE, AA**	**RIS, ABR, LER, AIG, CVV**
1973	printemps	AA	RI, ABR, AIG
1994	26 juin	AA	CVV
2000	**10 au 14 juin**	**GU, BO, PE, AA**	**ECH, RIS, ABR, LER, AIG, CVV**
2000	11 au 15 octobre	GU, BO	RIS, ABR, LER, AIG, CVV
2002	13 au 16 juillet	GU, SE, BO, AA	ECH, ABR, GOU
2008	28 au 23 mai	GU, BO, AA	ECH, RIS, ABR, AIG, CVV, MOL
2011	1er au 3 juin	GU	RIS
2012	2 au 4 septembre	GU	ECH, RIS,

Figure 2. 3. : Crues historiques du Queyras (source : Veyret, 1948 ; Arnaud-Fassetta et al.*, 2005, PPR Ristolas et Abriès). Les dates en gras correspondent aux événements de grande ampleur.* ***Cours d'eau*** *: GU = Guil, SE = Ségure, BO = Bouchet, LO = Lombard, PE = Peynin, AA = Aigue Agnelle, UR = Urine, BR = Brasq.* ***Villages et hameaux*** *: CVV = Château-Ville-vieille, RIS = Ristolas, ABR = Abriès, AIG = Aiguilles, MOL = Molines-en-Queyras, ECH = Échalp, LER = Le Roux, GOU = le Gouret.*

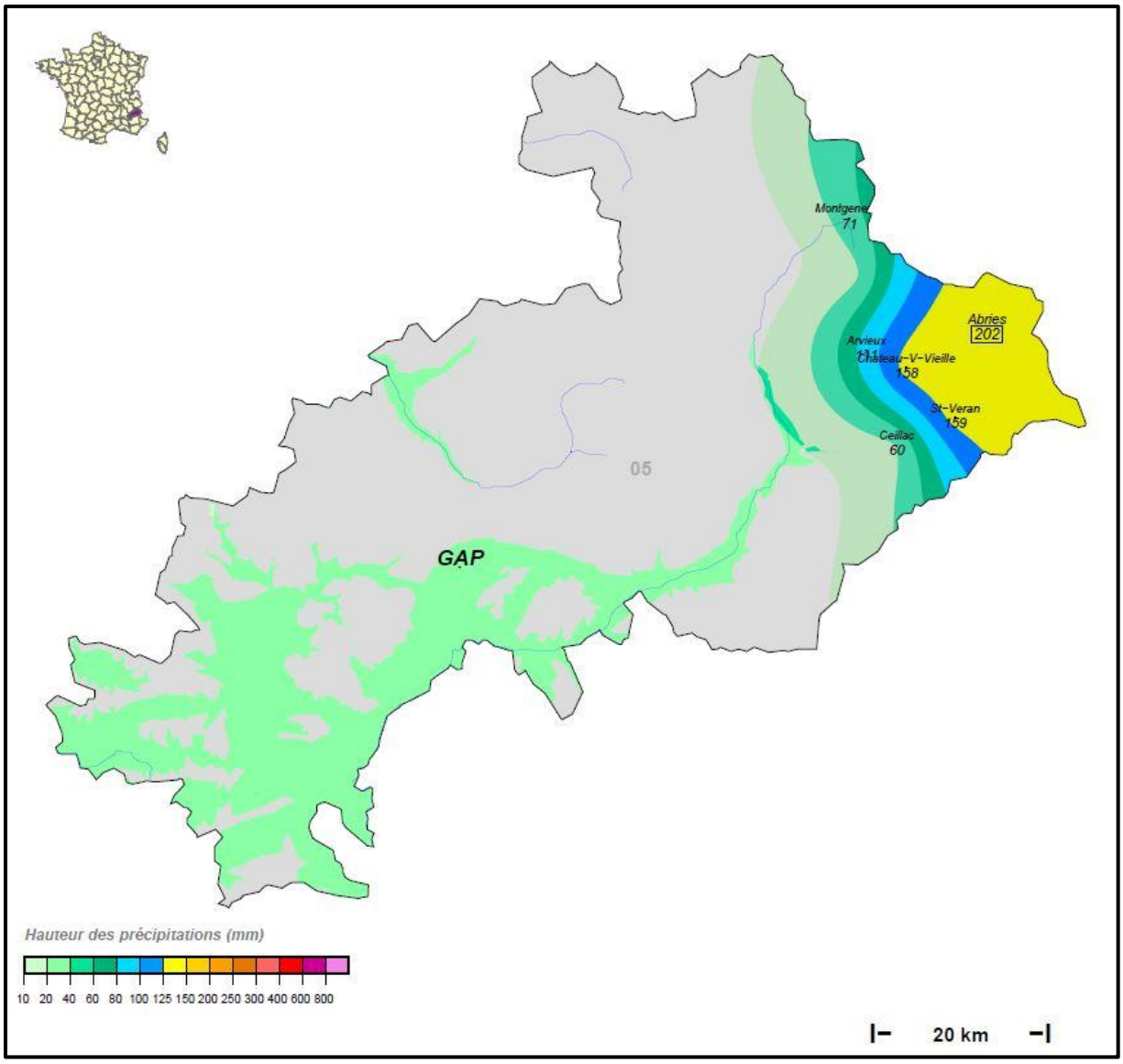


Figure 2. 4. : Répartition et cumuls des précipitations dans les Hautes-Alpes pour la journée du 13 juin 1957 (source : Météo-France, 2016).

Date / Station	2 / 3	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Total
Abriès	24	22	22	3,5	1,2	0,7	79	202	11	Données manquantes			**337**
Arvieux	12	12	11,6	0,5	7,7	4,1	28,5	111	6,5	2,8	3,9	3,9	**204,3**
Ceillac	13	14	13,9	0	7,8	4	23	Données manquantes					**75,7**
Château-Queyras	17	9	9,4	D.m.		9,2	32,7	158	9,7	D.m.	3,6	D.m.	**248,1**
Saint-Véran	12	8	7,7	0,4	7	7	46,5	159	11,4	9,1	8,3	3,8	**280,5**

Tableau 2. 1. : Précipitations relevées dans, et à proximité, du Queyras en juin 1957 (source, PNRQ, 2014).

Type de crue	Débit de pointe en m³/s	Volumes solide en m³
Crue je juin 1957	700 / 800	270 000
Crue centennale	600	215 000
Crue décennale	200	55 000

Tableau 2. 2. : Débits liquides et débits solides du Guil dans le Queyras pour la crue de juin 1957 et pour des crues centennale et décennale (source, Tricart, 1958 ; PNRQ, 2014).

L'épisode climatique de juin 1957 a donné lieu à une action morphogénétique intense, tant dans les sous-bassins affluents du Guil que dans la vallée principale. Dans les sous-bassins, la disparition du couvert neigeux associée aux précipitations extrêmes ont favorisé le ravinement et le déclenchement de multiples glissements, coulées boueuses et laves torrentielles. Ce faisant, les torrents qui drainaient ces bassins ont disposé d'une charge solide considérable qui a envahi les vallées principales partout où leur pente était modérée (Tricart, 1958 ; Tab. 2. 2.).

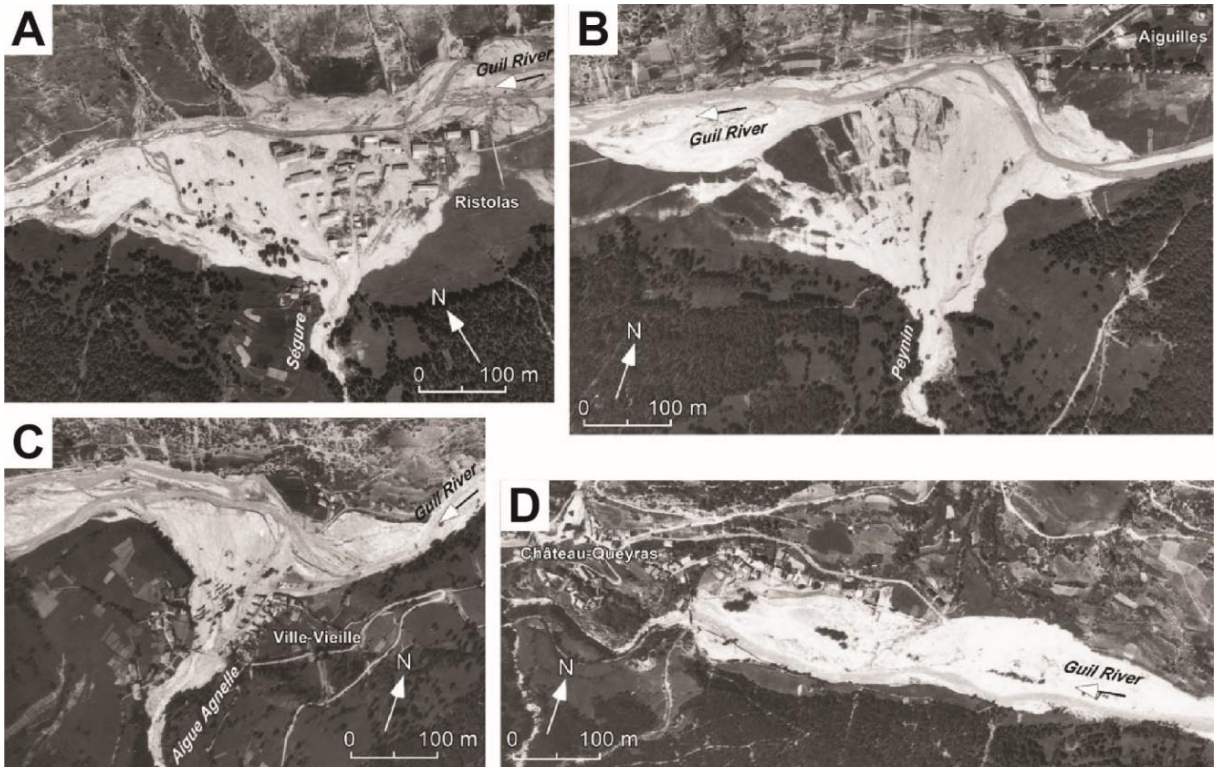


Photo 2. 2. : Photos aériennes prises à la suite de la crue de 1957 (repris de Arnaud-Fassetta et al.*, 2005) : A – Cône du Ségure à Ristolas ; B – Cône du Peynin à Aiguilles, C – Cône des Aigues à Ville-Vieille. D – Alluvions déposées par le Guil en amont du verrou de Château-Queyras.*

Le bassin-versant du Peynin (≈15 km²) a été le principal contributeur en sédiments avec près de 100 000 m³ exportés (Tricart, 1958 ; Koulinski, 2000). Dans les vallées principales (vallée du Guil, vallée des Aigues), les divagations des cours d'eau ont généré une importante déstabilisation des versants (par sapement), ce qui a contribué à accroître encore davantage leur charge solide. L'engravement qui en a résulté a rendu la vallée du Guil méconnaissable (Tricart, 1958 ; Arnaud-Fassetta et Fort, 2014) (Photo 2. 2.). L'essentiel des fonds de vallée et des cônes de déjection a été recouvert par les matériaux transportés par le Guil et ses principaux affluents (Photo 2. 2.). Ces engravements ont provoqué des destructions considérables : prairies et cultures engravés, villages partiellement détruits, pont et routes

emportés (Tab. 2. 3.). Seules les gorges du Guil, trop étroites et trop inclinées, ont échappé à cet alluvionnement généralisé.

Dans la vallée du Guil, les transferts sédimentaires ont été aggravés par la formation de nombreux embâcles en amont des verrous, des ponts et des cônes de déjection des torrents les plus actifs. La formation d'embâcles a été favorisée par la grande quantité de blocs et de troncs de mélèze charriés par les flots. En cédant, ces bouchons temporaires ont engendré des vagues en pulsation qui ont rendu la crue encore plus morphogène (Tricart, 1958). La cause de ces embâcles / débâcles est en partie liée à l'homme. De fait, aucun des ponts présents dans la vallée du Guil n'était calibré pour laisser passer de telles quantités de matériaux. L'impressionnant engravement entre Château-Queyras et Ville-vieille résulte d'un embâcle qui s'est développé contre le vieux pont de Château-Queyras. Le pont n'ayant pas cédé, la montée des eaux, chargées en matériaux, a été bien plus conséquente qu'elle n'aurait dû l'être.

Typologie des dommages	Détail	Ristolas	Aiguilles	Château-Ville-Vieille	Arvieux	Ceillac	Guillestre	Total
Inondation / apport de matériaux	Bâtiments touchés uniquement par les eaux	-	-	2	-	1	-	3
	Bâtiments engravés ou ensablés	2	-	5	-	30	7	44
Dommages structurels	Bâtiments ayant subi des dommages mineurs	3	-	1	-	-	4	8
	Bâtiments ayant subi des dommages majeurs (fondations)	-	-	-	-	2	8	10
	Bâtiments partiellement ou totalement détruits	2	1	19	2	2	-	26

Tableau 2. 3. : Typologie des dommages enregistrés dans le bassin-versant du Guil lors de la crue de juin 1957.

Cette crue a été vécue comme un véritable traumatisme par de nombreux Queyrassins en raison des importantes destructions qu'elle a causées et de l'isolement total du territoire qui en a résulté durant plusieurs semaines (Tricart, 1958 ; 1960). Les bouleversements qu'elle a engendrés ont entraîné un réaménagement complet de la vallée du Guil et des cônes de déjection de ses affluents principaux.

2. 2. Les crues de juin et octobre 2000

Les crues de juin et octobre 2000 sont les premières fortes crues à s'être déroulées dans le Queyras depuis celle de 1957 (Koulinski, 2000 ; Fort *et al.*, 2002 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2004 ; 2005 ; Arnaud-Fassetta et Fort, 2014 ; PNRQ, 2014). À l'image de la crue de 1957, les crues de 2000 sont dues à des épisodes de retours d'est ayant entraîné de forts abats d'eau. Leur récurrence, estimée entre 30 et 50 ans, en font des crues d'importance (Arnaud-Fassetta *et al.*, 2004, 2005). Les deux crues de 2000 sont assez semblables dans leur déroulement. À l'inverse de l'épisode de la mi-juin 1957, les précipitations sont restées assez localisées, diminuant fortement avec l'éloignement à la crête frontalière. En juin comme en octobre, elles ont été élevées à Abriès et Saint-Véran mais relativement modestes sur le reste du bassin-versant.

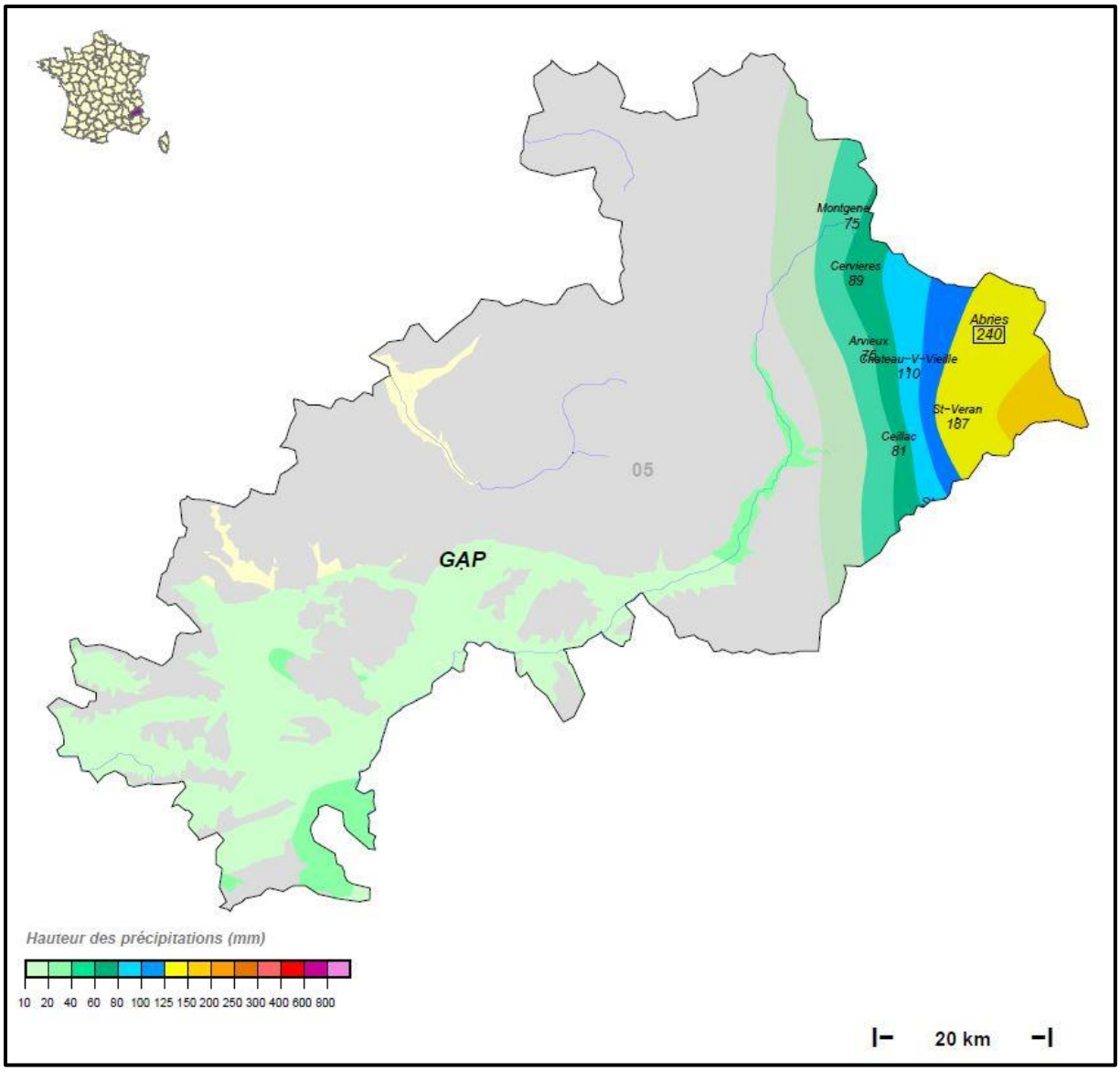


Figure 2. 5. : Répartition et cumuls des précipitations dans les Hautes-Alpes pour les journées du 10 au 13 juin 2000 (source : Météo-France, 2016).

Date / Station	10	11	12	13	14	Total
Abriès	90	61	12	13	14	268
Arvieux	21	23	31	9	1	84
Ceillac	23	28	30	14	1	95
Château-Queyras	25	36	49	12	18	122
Saint-Véran	51	49	87	13	2	200

Tableau 2. 4. : Précipitations relevées dans, et à proximité du Queyras en Juin 2000 (source, PNRQ, 2014).

La crue de juin 2000 a sévèrement impacté la vallée du Guil et, dans une moindre mesure, la vallée des Aigues (Fort *et al.*, 2002 ; PNRQ, 2014). Du 10 au 14 juin, les bassins du Haut-Guil, du Maloqueste, du Peynin et de l'Aigue Agnelle ont reçu de fortes précipitations (Fig. 2. 5.). Les précipitations journalières ont été bien plus faibles qu'en 1957 mais leur étalement sur 4 jours a permis d'obtenir des cumuls proches de ceux de 1957 : 268 mm à Abriès, 200 mm à Saint-Véran et 122 mm à Château-Queyras (Tab. 2. 4.).

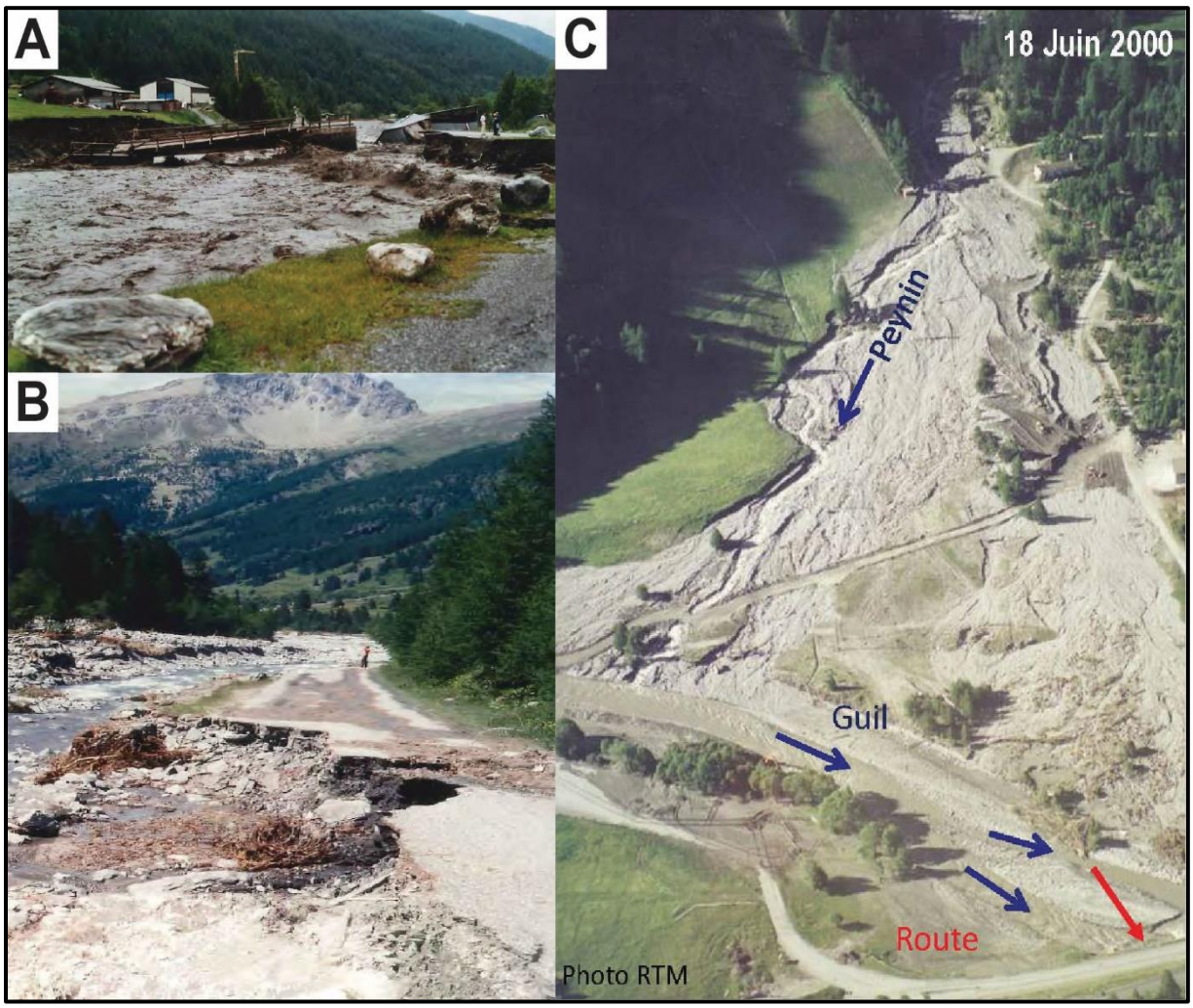


Photo 2. 3. : Les impacts de la crue de juin 2000 : A – Le pont de la zone artisanale d'Aiguilles (source : PNRQ), B – Destruction de la route entre l'Échalp et Ristolas (source : PNRQ), C – Dépôts d'alluvions sur le cône du Peynin et endommagement de la D 947 (source, RTM, Arnaud-Fassetta et al.*, 2005).*

De même qu'en 1957, les plus fortes précipitations ont été relevées à la fin de la crue, une fois les terrains saturés en eau. Ces conditions ont provoqué le gonflement progressif du Guil et de ses affluents de rive gauche (Fort *et al.*, 2002). Le 11, le Maloqueste et les autres torrents du Haut-Guil débordent, menaçant le hameau de l'Échalp (Ristolas). Le 12, le Guil, en crue, déborde au niveau du camping du Gouret, en amont d'Aiguilles. Le 13, les torrents de Ségure, du Peynin et de l'Aigue Agnelle entrent à leur tour en crue. Ce sont ces torrents affluents du Guil qui vont provoquer les destructions les plus importantes. À lui seul, le Peynin délivre près de 82 000 m^3 d'alluvions sur son cône de déjection (Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005). Ces apports ont bloqué les écoulements du Guil contribuant à détruire un tronçon de la principale route de la vallée (D 947) et à engraver la plaine des Ribes et la zone artisanale d'Aiguilles (Photo 2. 3.). Pour cette crue, les débits du Guil ont été estimés à près de 120 m^3/s à Abriès, 180 m^3/s à Aiguilles et 280 m^3/s à Château-Queyras (Koulinski, 2000 ; Fort *et al.*, 2002 ; Arnaud-

Fassetta *et al.*, 2004 ; 2005). Comme lors de l'épisode de 1957, cette crue a été particulièrement morphogène. Dans les sous bassins-versants du Guil, les fortes précipitations ont provoqué du ravinement et conduit au déclenchement de nombreuses laves torrentielles (Koulinski, 2000 ; Fort *et al.*, 2002 ; Einhorn, 2003 ; Graff *et al.*, 2018). Dans la vallée principale, les divagations du Guil ont contribué à éroder la base des versants, déclenchant de nombreux glissements qui sont venus alimenter la rivière en matériaux (sédiments et troncs d'arbres), augmentant la densité des flots, leur compétence et favorisant la formation d'embâcles en amont des ouvrages d'art (Fort *et al.*, 2002 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005 ; PNRQ, 2014).

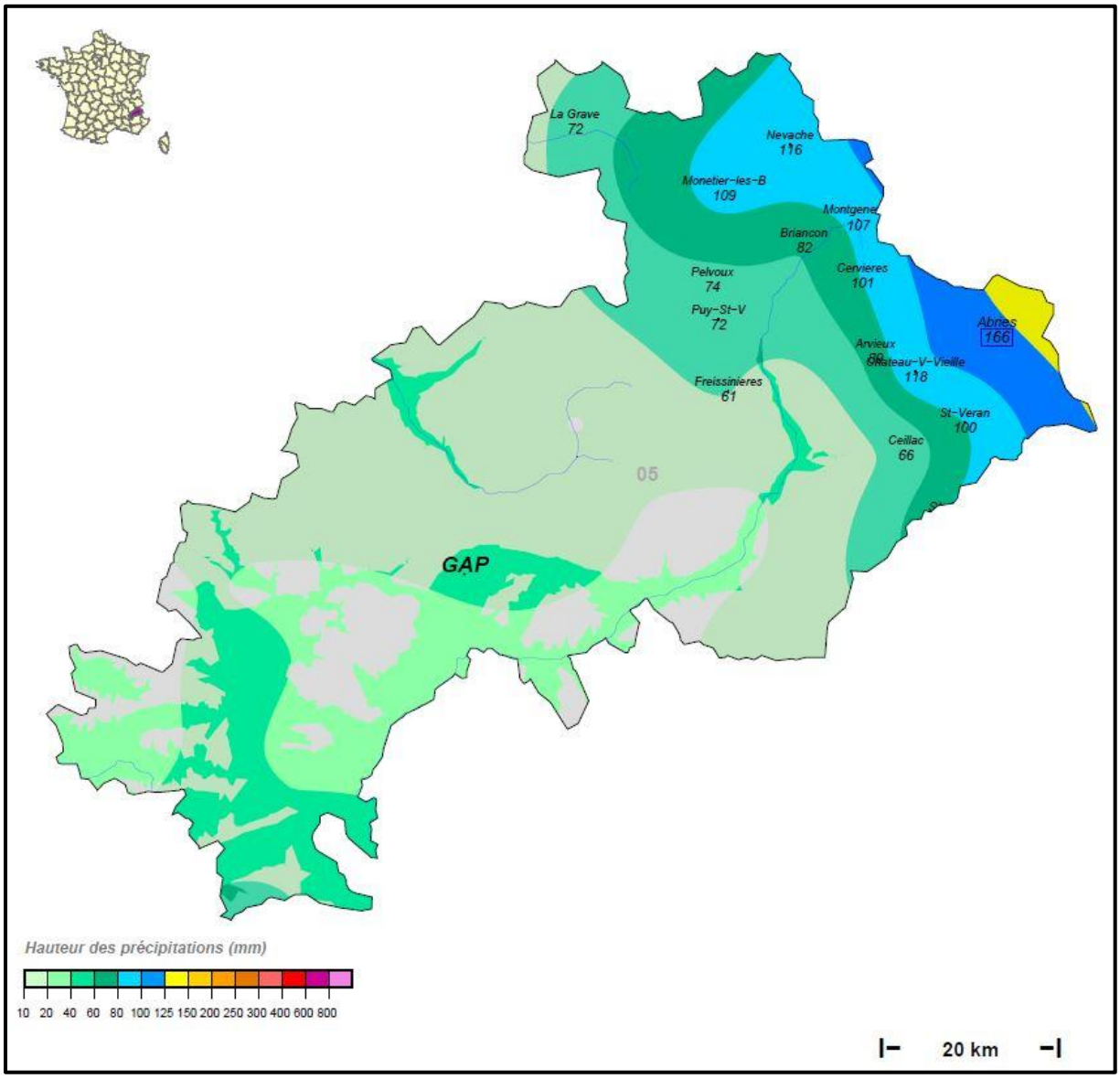


Figure 2. 6. : Répartition et cumuls des précipitations dans les Hautes-Alpes pour les journées du 14 et du 15 octobre 2000 (source : Météo-France, 2016).

La crue d'octobre 2000 (du 11 au 15) s'est déroulée, peu ou prou, de la même façon que celle de juin 2000. Les précipitations ont été légèrement plus faibles mais leur répartition l'a été plus nettement encore et concentrée sur le bassin du Haut-Guil et à proximité des crêtes frontalières (Fig. 2. 6). Les précipitations ont été particulièrement importantes dans le bassin-versant du Bouchet, notamment dans le vallon de Valpréveyre. Comme en juin, ce sont les stations d'Abriès et de Saint-

Véran qui ont enregistré les plus forts cumuls de précipitations avec respectivement 220 mm et 181 mm (www.pluiesextremes.meteo.fr).

Date / Station	11	12	13	14	15	Total
Abriès	34,3	10	11	82,3	82	219,6
Arvieux	44	14	3	41	48	150
Ceillac	34	15	3	33	32	117
Saint-Véran	36,9	10,8	11,8	88,5	33	181

Tableau 2. 5. : Précipitations relevées dans et à proximité du Queyras en octobre 2000 (source, PNRQ, 2014).

La crue s'est déroulée en deux phases : une phase initiale, le 11 octobre, avec un cumul de 30 à 40 mm ; et une phase intense en fin d'épisode les 14 et 15 octobre avec des cumuls très importants de 60 mm à plus de 160 mm (Tab. 2. 5.). Comme en juin, c'est donc à la fin de l'épisode que les crues ont été les plus destructrices. Déjà mis à mal par la crue de juin 2000, certains ouvrages de protection n'ont pas résisté, en particulier dans le Haut-Queyras. Moins conséquents qu'en juin, les dégâts liés à cette crue n'en demeurent pas moins importants sur les communes de Ristolas, Abriès et Aiguilles (Photo 2. 4.). Sur la commune de Ristolas, la route de la Roche Écroulée et la D 947 (entre l'Échalp et Ristolas) ont été en partie emportées. Le pont de Ristolas a également été détruit. Sur la commune d'Abriès, de nombreuses destructions ont été causées par le torrent de Bouchet : engravement du camping de Valpréveyre, endommagement du pont au confluent du Bouchet et du torrent de la Montette et destruction des deux ponts plus en aval ; la D 441 et la route de Valpréveyre ont été détruites en plusieurs points isolant les hameaux du Roux et de Valpréveyre. Le chalet d'accueil du camping d'Abriès et le pont sur le torrent du Bouchet ont été emportés (PPRN, Abriès ; PNRQ, 2014). Enfin, à Aiguilles, la plaine des Ribes a été engravée, endommageant les infrastructures qui s'y trouvaient.

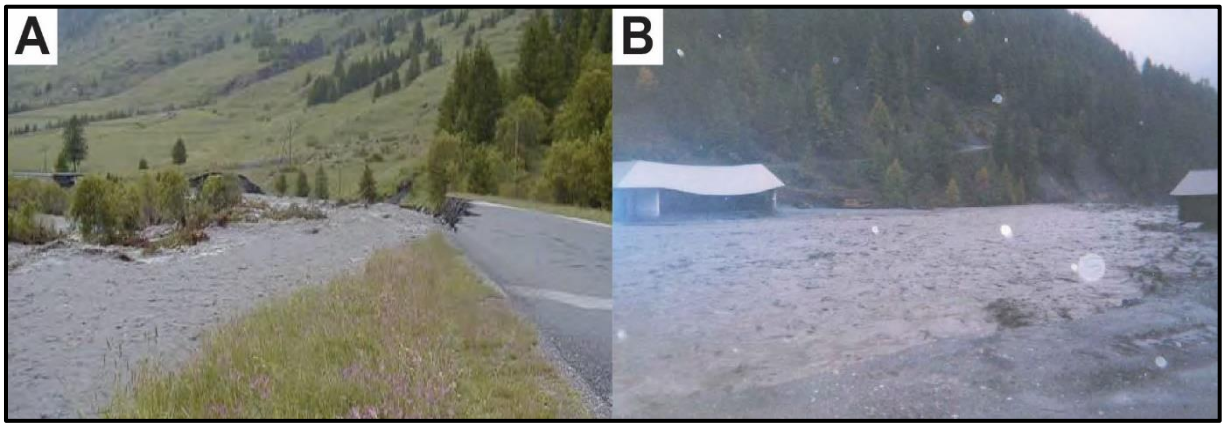


Photo 2. 4. : Les impacts de la crue d'octobre 2000 : A – Destruction de la route entre l'Échalp et Ristolas (source : PNRQ), B – Inondation de la plaine du Guil sur la commune d'Aiguilles (source, source : PNRQ).

Un demi-siècle après la crue catastrophique de 1957, les événements de juin et octobre 2000 ont durement rappelé aux Queyrassins qu'ils n'étaient pas à l'abri du risque lié aux crues. Pour ceux d'entre eux qui n'avaient pas vécu la crue de 1957, les épisodes de 2000 ont constitué une première et désagréable expérience de catastrophe. Fort heureusement, la plupart des ouvrages de protection réalisés post-1957 ont rempli leur rôle, ce qui explique les dommages relativement faibles dans les villages alors même que le territoire s'était fortement urbanisé entre les deux dates.

2. 3. Les crues de 2002, 2008 et 2012

Les crues de 2002, 2008 et 2012 constituent une série de crues de récurrence décennale ayant affecté principalement le Haut-Queyras (PNRQ, 2014). Ces crues sont liées à des épisodes de retour d'est ayant occasionné de violents orages. Ces crues ont principalement affectée le haut-Queyras, entraînant des destructions localisées principalement sur les communes de Ristolas et d'Abriès.

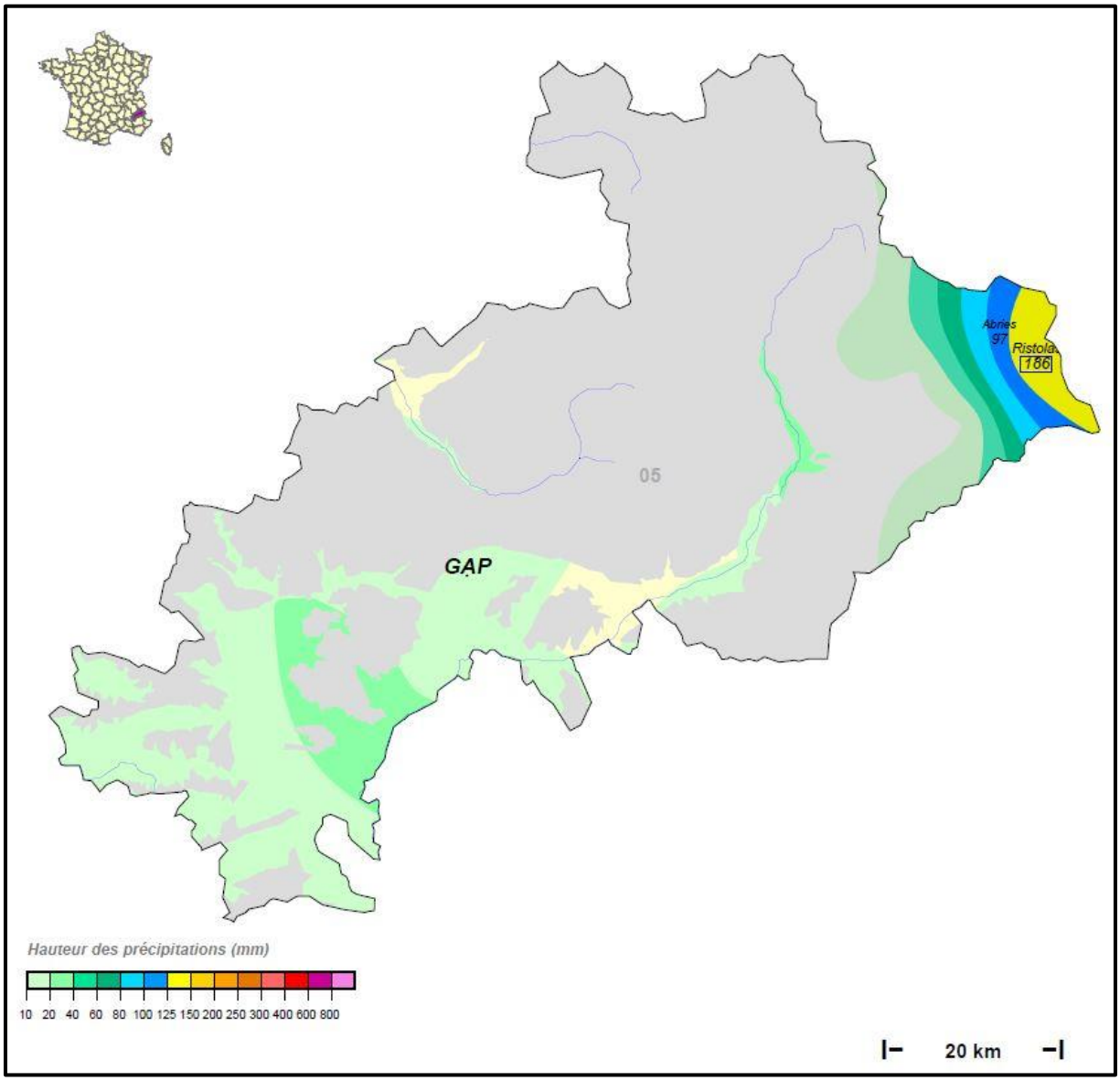


Figure 2. 7. : Répartition et cumuls des précipitations dans les Hautes-Alpes pour la journée du 28 mai 2008 (source : Météo-France, 2016).

La crue de juillet 2002 (du 13 au 16) a principalement affecté le bassin du Haut-Guil en amont de Ristolas. Faute de station de mesure sur la commune de Ristolas, on ne dispose pas d'indications précises concernant l'intensité et le cumul des précipitations. Les stations situées à proximité permettent néanmoins d'avoir une idée de la pluviométrie liée à cet épisode : 101 mm cumulés à Abriès et 111,8 mm à Saint-Véran, principalement enregistrés les 14 et 15 juillet. Lors de cet épisode, les destructions ont été concentrés à l'amont de Ristolas. La route permettant l'accès à la Roche Ecroulée a été détruite de même que les parkings de la Roche Écroulée et de l'Échalp ; une maison a également été endommagée à l'Échalp. Sur la commune d'Abriès, le plan d'eau de La Garcine a été détruit et il a fallu

évacuer en urgence le camping de Valpréveyre face au risque de montée des eaux. Cet événement a donné lieu à d'importants sapements de berge et dépôts dans le lit du Guil (PNRQ, 2014 ; PPRN, Abriès et Ristolas).

La crue de mai 2008 est liée à un phénomène de retour d'est qui s'est mis en place durant la nuit du 28 au 29 et a perduré jusqu'au 30 en début de matinée. Les nuages venus d'Italie, poussés par un vent de sud-est puis d'est assez fort en altitude, ont débordé de la chaîne frontalière et affecté principalement le secteur du Haut-Guil et du Viso. Au cours de l'épisode, la lame d'eau sur le Queyras a été comprise entre 50 mm à l'ouest et jusqu'à plus de 220 mm à l'extrême est (www.pluiesextremes.meteo.fr). Comme en 1957, le retour d'est a été précédé par des précipitations modérées qui ont contribué à gorger les terrains en eau et à augmenter les cumuls de précipitations. Ainsi, sur la période du 24 au 30 mai, Ristolas a reçu 299,1 mm de précipitation et Abriès 166,1 mm (Fig. 2. 7.). La journée du 28 mai a été particulièrement pluvieuse puisqu'il est tombé 185,9 mm à Ristolas (en 24 h), soit près des deux tiers des précipitations totales de l'année. Dès le 28, le Guil est en crue, provoquant affouillements et dépôts à Ristolas, Abriès, Aiguilles et Château-Ville-Vieille (PNRQ, 2014). C'est sur la commune d'Abriès que les dommages sont les plus importants (PPRN, Abriès). À Valpréveyre, la route d'accès est quasiment coupée sur 15 m et la passerelle à l'entrée du hameau est submergée. Plus en aval, la Chapelle Saint-Bernardin est à demi-détruite par les flots du Bouchet et la D 441 est emportée sur plusieurs centaines de mètres, isolant le hameau du Roux (Photo 2. 5.). À Abriès même, des dépôts importants sont mis en place à la confluence avec le Guil.

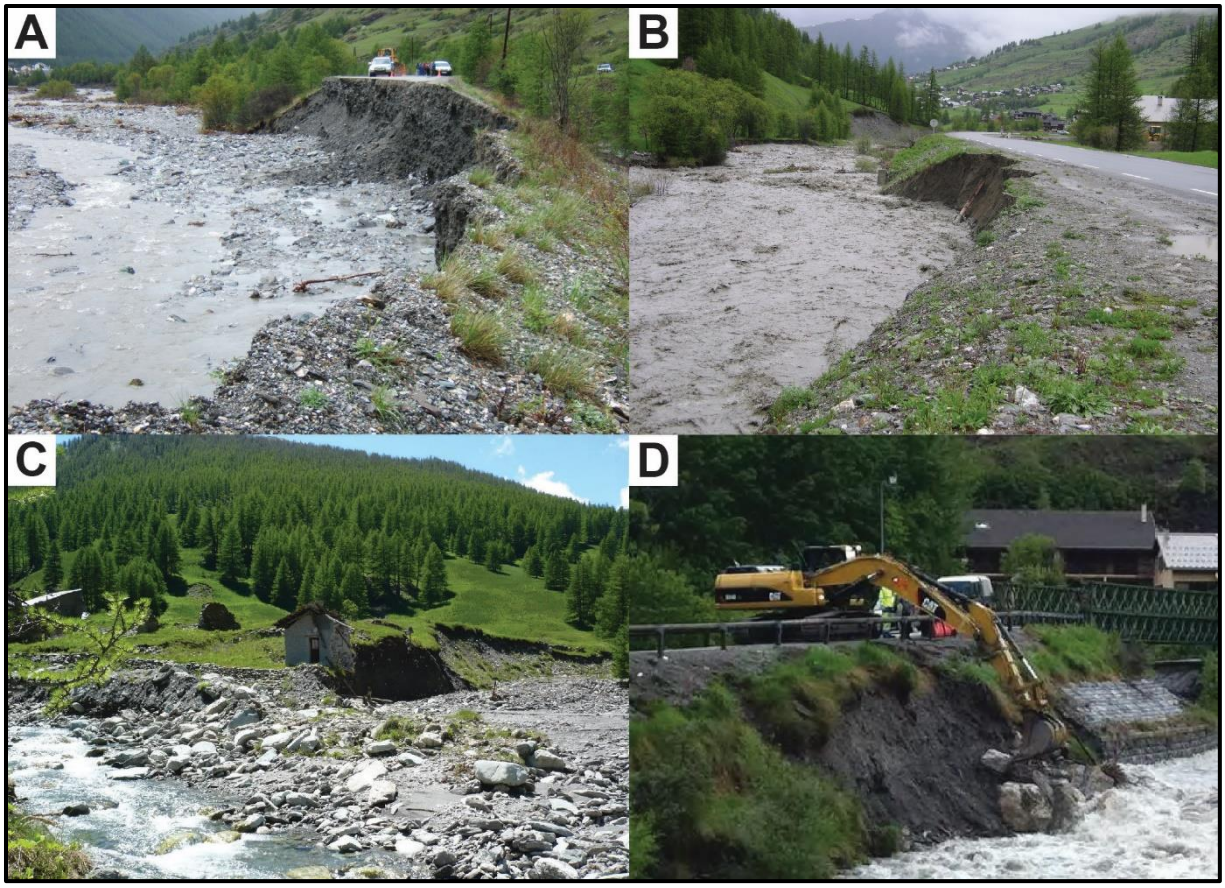


Photo 2. 5. : Les impacts de la crue de mai 2008 : A – Destruction de la route entre l'Échalp et Ristolas (source : Mairie de Ristolas), B – Endommagement de la route du Clôt-La-Chalpe (source, Mairie de Molines-en-Queyras), C – Destruction partielle de la chapelle Bernardin à Valpréveyre (source : Queyras Passion), D – Travaux d'urgence en aval du pont du Lombard à Aiguilles (source : PNRQ).

La crue de septembre 2012 est la dernière crue à avoir provoqué d'importants dégâts matériels. Elle s'est étalée sur 3 jours, du 2 au 4 septembre, et n'a engendré des dommages que sur la commune de Ristolas (PNRQ, 2014 ; PPRN, Ristolas et Abriès). À l'image des crues précédentes, elle résulte d'un retour d'est ayant donné lieu à des précipitations extrêmement localisées (70 cm de neige sur le secteur du Mont-Viso), (www.pluiesextremes.meteo.fr). Les débits mesurés au niveau du pont de La Chapelue (en l'aval de Château-Queyras) indiquent un pic de crue le 3 septembre estimé à 125 m³/s. Ce chiffre semble indiquer que la crue a été d'une récurrence supérieure à 10 ans au niveau de la commune de Ristolas (www.pluiesextremes.meteo.fr). Comme les crues précédentes, elle a entraîné la mobilisation d'importants volumes de matériaux et provoqué de multiples affouillements et dépôts. En amont de la Roche Écroulée, des prairies ont été engravées. Le passage busée permettant l'accès au parking a été emporté. De la Roche Écroulée à L'Échalp, la piste en rive droite a été entamée sur 170 m. En rive gauche, la piste a été entièrement détruite sur plus de 900 m. La passerelle « fusible » de l'Échalp a également été emportée. Enfin, de l'Échalp à Ristolas, la berge de rive gauche a été attaquée sur 80 m. Ces dégâts font suite à de nombreuses autres destructions du même ordre au cours des 15 années précédentes. Face à l'appel à l'aide du maire de Ristolas, dont la commune est très endettée suite aux crues de la décennie 2000, le gouvernement a décrété l'état de catastrophe naturelle pour le bassin du Guil (Fig. 2. 8.).



Figure 2. 8. : L'appel à l'aide du Maire de Ristolas (source : Le Dauphiné Libéré).

Le Queyras est fréquemment affecté par des crues torrentielles ; les exemples présentés ci-dessus en témoignent. Si ces crues disposent toutes de caractéristiques qui leur sont propres (bassins affectés, ampleur des précipitations, durée de l'épisode, etc.), il est cependant possible de dégager quelques traits communs. Le plus évident est que toutes ces crues sont liées à des épisodes de retours d'est. Ces crues présentent toutes un fort gradient est-ouest. Plus l'épisode climatique est long, plus son emprise spatiale est forte. Les crues de juin 1957 et juin 2000 ont atteint la vallée des Aigue tandis que les crues ultérieures sont restées limitées au Haut-Queyras. La plupart des épisodes cités présentent une durée totale de l'ordre de 4 ou 5 jours avec des journées particulièrement intenses et d'autres relativement calmes. Les intensités de pluies sont fortes mais pas extrêmes (rarement plus de 35 mm/h). Néanmoins, les cumuls de précipitations sont toujours très élevés (> 200 mm), du moins dans les bassins-versants proches des crêtes frontalières. Enfin, les destructions sont principalement dues aux importants volumes de matériaux transportés par les flots. Se pose alors la question des processus de stockage/déstockage de ces sédiments dans les bassins versants affluents du Guil.

3. Des mouvements gravitaires

Outre les crues torrentielles, le Queyras est soumis à de nombreux aléas hydro-gravitaires qui ont pu entraîner à certaines occasions des dommages comparables à ceux engendrés par les crues. La fourniture sédimentaire et l'occurrence de retours d'est ne sont pas étrangères à leur déclenchement. Dans les faits, une part considérable du Queyras est soit soumise aux avalanches et aux mouvements de terrains, soit susceptible de l'être. Décrire tous les épisodes relatifs à ces aléas ne présente pas un grand intérêt, d'autant qu'ils sont nombreux. Aussi l'on se concentrera sur les épisodes des XX^{e} et XXI^{e} s. qui peuvent être qualifiés de catastrophe ou de catastrophe en devenir. Seront notamment évoqués ici les épisodes avalancheux de mars 1946, janvier 1978 et décembre 2008 ainsi que les mouvements de terrain de grande ampleur, tel le glissement du Pas de l'Ours qui s'est réactivé récemment.

3. 1 Les épisodes avalancheux

Les avalanches sont fréquentes dans le Queyras (Fig. 2. 9.). Elles surviennent le plus souvent à l'occasion de retours d'est hivernaux ou lors de la fonte printanière. Si au cours des dernières années, elles se sont montrées peu meurtrières, elles ont en revanche fréquemment causé des dégâts. Tous les ans ou presque, elles ont entraîné des coupures sur les réseaux et isolé les villages et hameaux situés dans les fonds de vallée (L'Échalp, La Monta, Ristolas, Le Roux, Valpréveyre, etc.). Aux XX^{e} et XXI^{e} s, trois épisodes ont particulièrement marqué les esprits : l'avalanche meurtrière de l'Échalp en mars 1946 et les crises avalancheuses de janvier 1978 et décembre 2008.

3. 1. 1. L'avalanche mortelle de l'Échalp du 10 mars 1946

Le couloir avalancheux de l'Échalp est l'un des plus dangereux du Queyras (Corrona *et al.*, 2012). Depuis le XV^{e} s., on y a recensé pas moins de 12 événements ayant occasionné des morts ou des destructions (Fig. 2. 9.). Le dernier événement en date est celui du 10 mars 1946. À cette occasion, une puissante avalanche descend du ravin du torrent des Orts et engloutit le hameau, tuant 4 personnes et détruisant 4 maisons ainsi que le canal d'irrigation et la chapelle du hameau (Tivollier et Isnel, 1938 ; Le Gallou et Guignard, 2011 ; Dao Lena, 2012 ; Corrona *et al.*, 2012). Comme souvent dans le Queyras, cet événement est lié à un épisode de retour d'est particulièrement intense. D'après les chroniques d'époque (Rousset, 1947 ; Sanson, 1948), l'avalanche de l'Échalp aurait fait suite à plus de 10 jours de fortes chutes de neige sur la haute-vallée du Guil (entre le 1er et le 10 mars). Sur cette période, plus de 3 m de neige auraient été déversés sur la haute vallée du Guil (3,245 m à Abriès). Cette avalanche catastrophique a conduit à l'abandon du hameau et à la relocalisation de ses résidents sur Ristolas (Dao Lena, 2012). Si des rénovations ont été effectuées depuis, le hameau garde encore les stigmates de cet

épisode (Photo 2. 6.). Par mesure de précaution, le hameau est d'ailleurs interdit à la villégiature durant une bonne partie de l'hiver et du printemps.

Date	Lieu	Commune impactés	Pertes humaines	Pertes matériels
1408	L'Echalp	RIS	18 morts	20 maisons détruites
1487	L'Echalp	RIS	12 morts	18 maisons détruites
1681	**L'Echalp, Ristolas, la Grange, les Traverses, Pierre Grosse**	**ECH, RIS, ABR, MOL**	**15 morts**	**76 maisons détruites**
1706	**L'Echalp, Serre, Costreroux, la Chenal, Prat-Haut**	**RIS, MOL, CVV**	**> 14 morts**	**> 9 maisons détruites**
1788	**Costeroux, la Chenal**	**MOL**	**21 morts**	**43 maisons détruites**
1791	L'Echalp, le Tranchet, Pierre Grosse,	RIS, MOL	3 morts	16 maisons endommagées
1792	L'Echalp, le Tranchet	RIS	1 mort	5 maisons détruites
1793	Montette	ABR	10	maisons détruite (?)
1803	Costeroux, la Chenal	MOL	-	11 maisons détruites
1804	Molines-en-Queyras	MOL	4 morts	-
1855	L'Echalp	RIS	6 morts	5 maisons détruites
1861	L'Echalp	RIS	-	6 maisons détruites
1885	L'Echalp, la Monta	RIS	6 morts	5 maisons détruites et 14 autres endommagées
1889	L'Echalp	RIS	-	12 maisons détruites
1895	L'Echalp	RIS	-	6 maisons endommagées
1930	Refuge Napoléon	RIS	-	Refuge Napoléon détruit
1946	L'Echalp	RIS	4 morts	4 maisons et 1 chapelle détruites
1957	Ristolas	RIS	-	Maisons soufflées
1972	Abriès, Château Renard	ABR, MOL	2 morts	Dégâts sur les remontées mécaniques
1978	**Ristolas,Peynin, Ville-Vieille, la Chalp, Saint-Véran, Château Renard**	**RIS, AIG, CVV, MOL, SV**	**-**	**2 chalets détruits, plusieurs bâtiments endommagées, routes coupées**
1979	Vallon de Clausis	MOL	1 mort	-
1983	Saint-Véran	SV	2 morts	-
1991	Saint-Véran	SV	1 mort	-
1993	Le Coin	MOL	-	Maisons endommagées
1999	Saint-Véran	SV	1 mort	-
2002	Valpréveyre	ABR	1 mort	-
2008	**Haut-Guil, vallée des Aigues**	**RIS, ABR, AIG, MOL**	**-**	**Plusieurs bâtiments endommagés (La Garcine, l'Hoche, Valpréveyre, Peynin, Château Renard), routes coupées**

Figure 2. 9. : Avalanches et épisodes avalancheux historiques du Queyras (source : Coronna et al.*, 2012 ; IRSTEA, 2016 ; PPR Ristolas et Abriès). Les dates en gras correspondent aux événements de grande ampleur. Villages : RIS = Ristolas, ABR = Abriès, MOL = Molines-en-Queyras, CVV = Château-Ville-vieille, AIG = Aiguilles.*

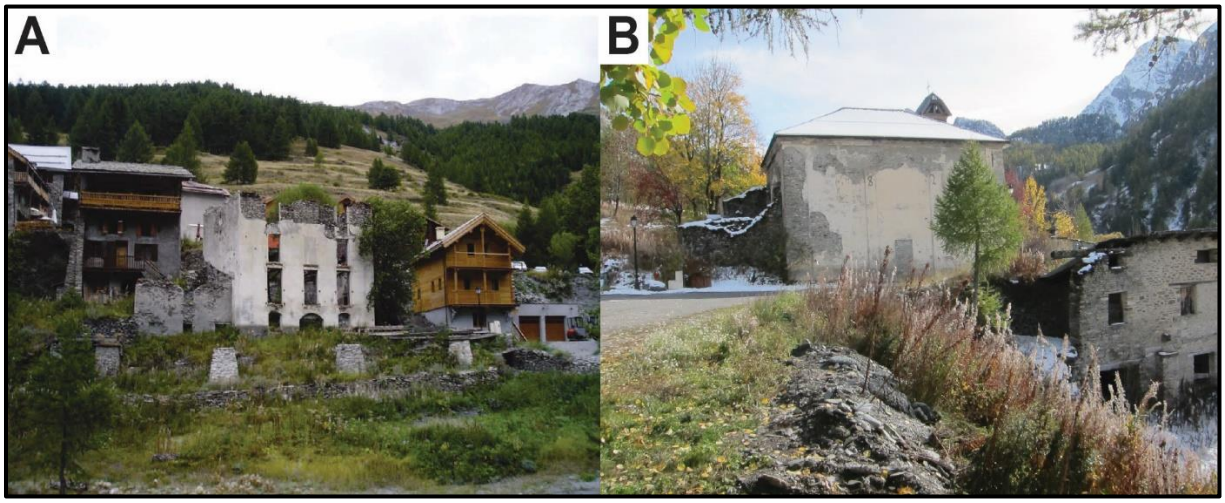


Photo 2. 6. : Les stigmates de l'avalanche de 1946 sur le hameau de l'Échalp : A – Vue de face du hameau (Coronna et al.*, 2012), B – Vue sur la chapelle détruite (B. Carlier, 2016).*

3. 1. 2. L'épisode avalancheux de janvier 1978

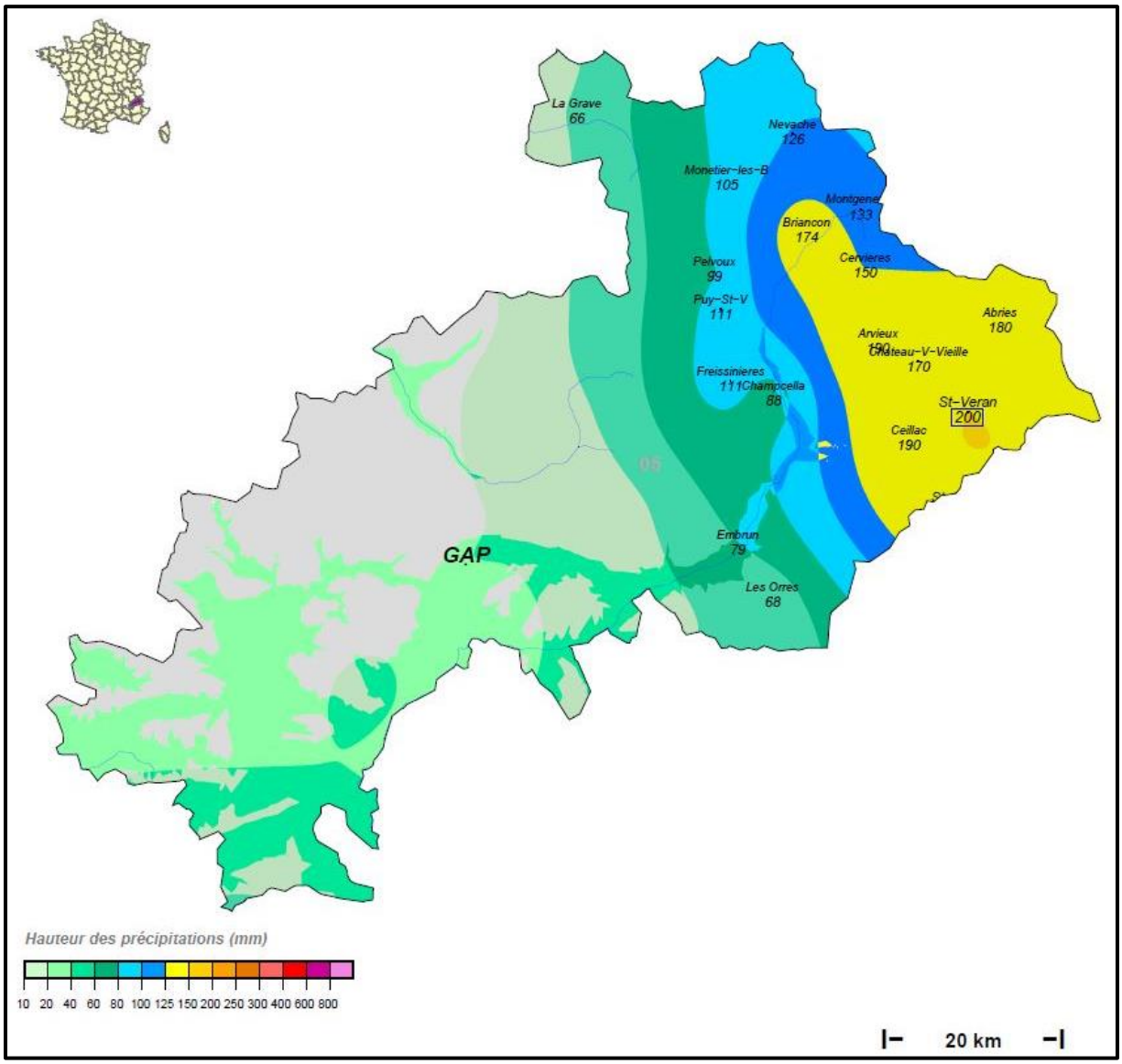


Figure 2. 10. : Répartition et cumuls des précipitations neigeuses dans les Hautes-Alpes pour les journées du 11 au 15 janvier 1978 (source : Météo-France, 2016).

Du 11 au 16 janvier 1978, le Queyras connaît un enneigement sans précédent qui va rapidement s'imposer comme situation de référence (Clément *et al*., 1979 ; IRSTEA, 2016). Sur cette période, le Queyras reçoit le retour d'est le plus spectaculaire jamais enregistré depuis que des mesures nivo-météorologiques sont organisées (IRSTEA, 2016) (Fig. 2. 10.). À Ristolas, l'épaisseur du manteau neigeux, qui n'est que de 15 cm le 11 janvier, passe à 1,85 m le 14 pour culminer à 3,05 m le 16. Le cumul de neige fraîche associée n'a pas pu être mesuré correctement mais se situe certainement à près de 4 m ! Du 14 au 17 janvier 1978, le Queyras connaît une crise avalancheuse généralisée avec de nombreux écoulements de type aérosol avec dépôt mouillé (PPR, Abriès, Ristolas). En raison de la succession rapide des épisodes neigeux et de la diversité des courants les accompagnant, les avalanches se déclenchent souvent dans des couloirs inhabituels, voire sur des versants où elles détruisent une végétation de type arboré, qui indiquait l'absence d'avalanches depuis plus de 50 ans (Clément *et al*., 1979). Dans la haute vallée du Guil, presque tous les couloirs d'avalanche – souvent des ravins torrentiels – ont fonctionné. Naturellement, les routes et voies d'accès sont coupées en de multiples

endroits, isolant les villages et hameaux du Queyras. Le ski a été alors le seul moyen efficace de se déplacer d'un village à l'autre, et ce pendant plusieurs semaines. Malgré d'importantes destructions (routes, lignes téléphoniques et remontées mécaniques endommagées, maisons ensevelies, forêts emportées, etc.), il n'y a fort heureusement pas eu de victimes à déplorer lors de cet épisode.

3. 1. 3. L'épisode avalancheux de décembre 2008

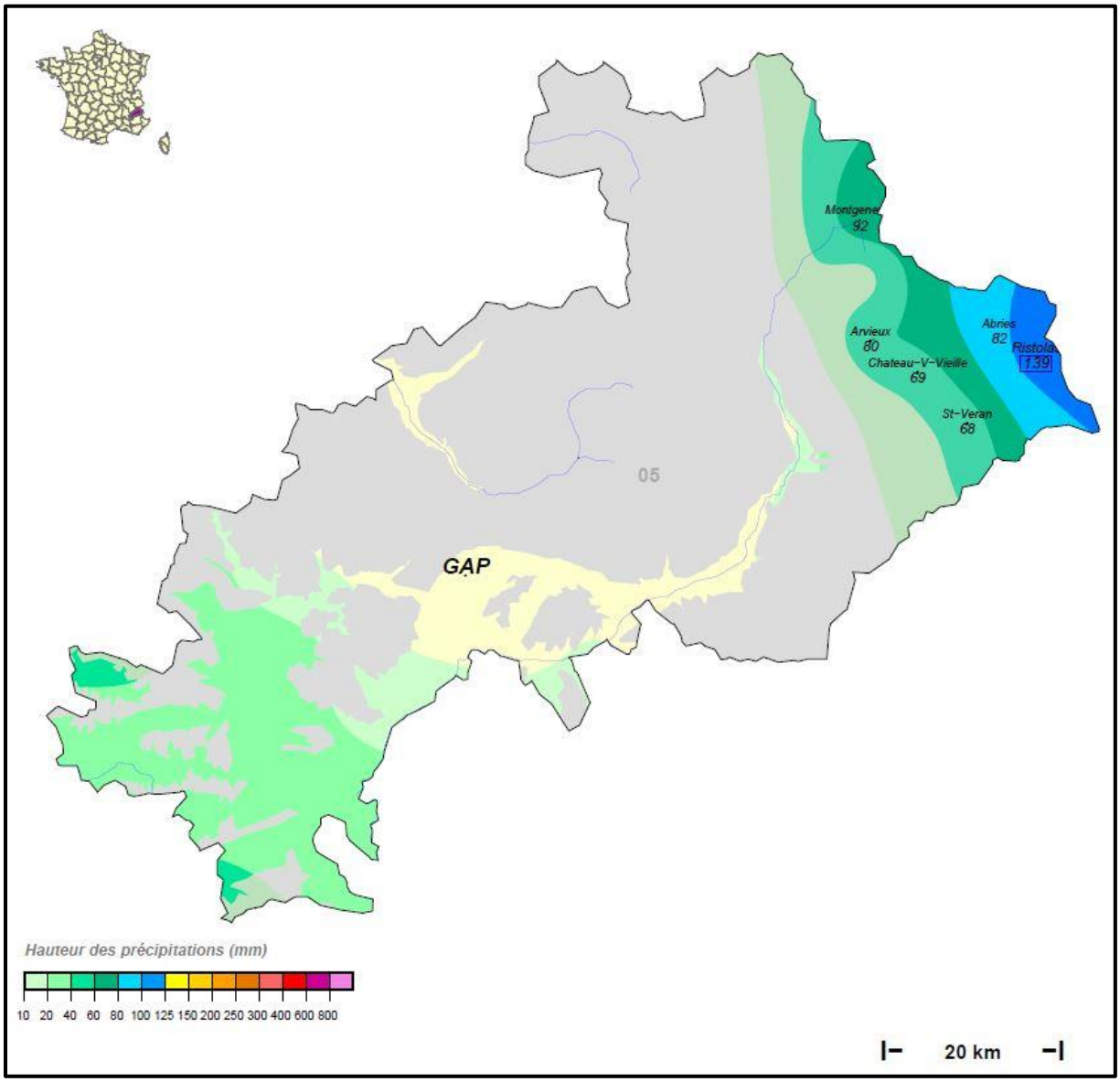
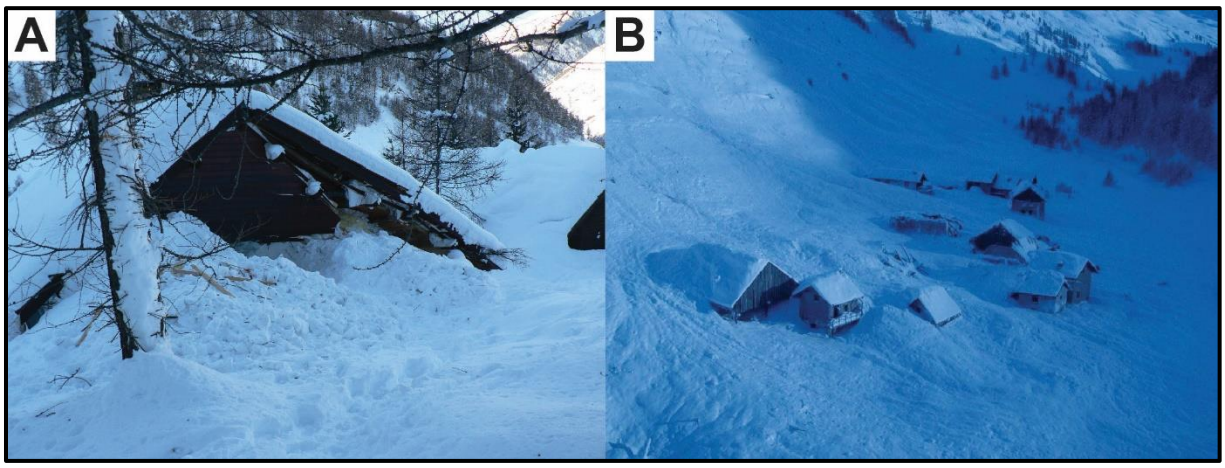


Figure 2. 11. : Répartition et cumuls des précipitations neigeuses dans les Hautes-Alpes pour les journées du 14 au 17 décembre 2008 (source : Météo-France, 2016).

L'épisode avalancheux de décembre 2008 est sensiblement identique à celui de janvier 1978 (Eckert *et al.*, 2010). Du 14 au 17 décembre 2008, un coup de Lombarde remarquable se produit, entraînant des cumuls de neige fraîche de plus de 2 m sur le secteur du Haut-Guil et du Mont Viso, en particulier à Ristolas (Fig. 2. 11.). Pendant la journée du 16, il est tombé près de 20 cm de neige par heure ! L'épaisseur de neige au sol relevée le 18, 2,3 m, a été la plus forte jamais enregistrée (record précédent 2,05 m le 15 janvier 1978 ; Eckert *et al.*, 2010 ; IRSTEA, 2016). Les hauteurs de neige accumulée ont entraîné de nombreuses avalanches en aérosol de grande ampleur (IRSTEA, 2016). Les trajectoires et les dépôts ont souvent dépassé les emprises précédemment connues (34 cas répertoriés),

(Gaucher *et al*., 2009 ; 2010 ; Le Gallou et Guignard, 2011 ; IRSTEA, 2016). Certaines de ces avalanches ont été particulièrement destructrices. À Ristolas, une avalanche a atteint le village, endommageant 5 bâtiments et ensevelissant 3 personnes sous la neige (PPR, Ristolas). À Abriès, une avalanche de neige froide a traversé les pistes de ski puis emprunté le ravin de la Garcine. Deux téléskis ont été endommagés sur les pistes (rendant impossible l'exploitation d'une partie du domaine skiable) et un chalet a été soufflé dans le hameau de La Garcine (PPR, Abriès ; Photo 2. 7.).



Phono 7 : Dommages liés à l'épisode avalancheux de décembre 2008 : A – Chalet le Foraineant, en partie soufflé par l'avalanche de La Garcine (source : G. Lagier), B – Le hameau de Valpréveyre enseveli sous l'avalanche de décembre 2008 (source : RTM).

Une seconde coulée s'est produite à La Garcine. Elle a impacté trois chalets, ce qui a obligé les autorités à évacuer le hameau. Toujours à Abriès, une avalanche de neige froide a atteint plusieurs maisons dans le quartier de l'Hoche, sans pour autant provoquer de dégâts sérieux. Entre Abriès et Le Roux, une avalanche a détruit le hangar stockage de bois d'un artisan menuisier. À Valpréveyre, une série de coulées a endommagé plusieurs habitations et détruit le clocher historique de la chapelle Saint-Roch (pourtant fraîchement rénovée ; Le Gallou et Guignard, 2011 ; Photo 2. 7.). Comme en 1946, l'avalanche de la Fourche a conduit à des dépôts si épais qu'il a fallu, une fois encore, creuser un tunnel à l'intérieur pour permettre la circulation. L'ensemble du secteur d'Abriès et de Ristolas a été totalement isolé durant plusieurs jours, avec routes, réseaux électriques et téléphoniques coupés. Leur évacuation n'a été possible que par le recours au ski de randonnée (IRSTEA, 2016).

On retiendra des événements de 1978 et 2008 que les enjeux touchés étaient souvent assez récents. Si l'on excepte les dommages enregistrés sur le hameau de Valpréveyre, tous les dégâts ont concerné le bâti construit dans les années 1960 à 1980 (lotissements de La Garcine et des Hoches à Abries, village de Ristolas, quartier de La Chalp à Aiguilles, etc.). Dans le cas de l'avalanche de la Garcine, l'aménagement des pistes de ski d'Abriès est en partie responsable des dégâts occasionnés. Dans ce cas précis, le changement d'occupation du sol a contribué à accroître la vulnérabilité des enjeux situés en contre-bas.

3. 2. Le glissement de terrain du Pas de l'Ours

De par sa topographie, sa lithologie et ses conditions climatiques particulières, le Queyras est prédisposé aux mouvements de terrain (cf. *supra* 1.1, 1.2 et 1.3), par ailleurs bien visibles dans le modelé à travers les nombreuses traces d'anciens glissements holocènes de grande ampleur et de glissements superficiels le long des cours d'eau (Photo 2. 8.).

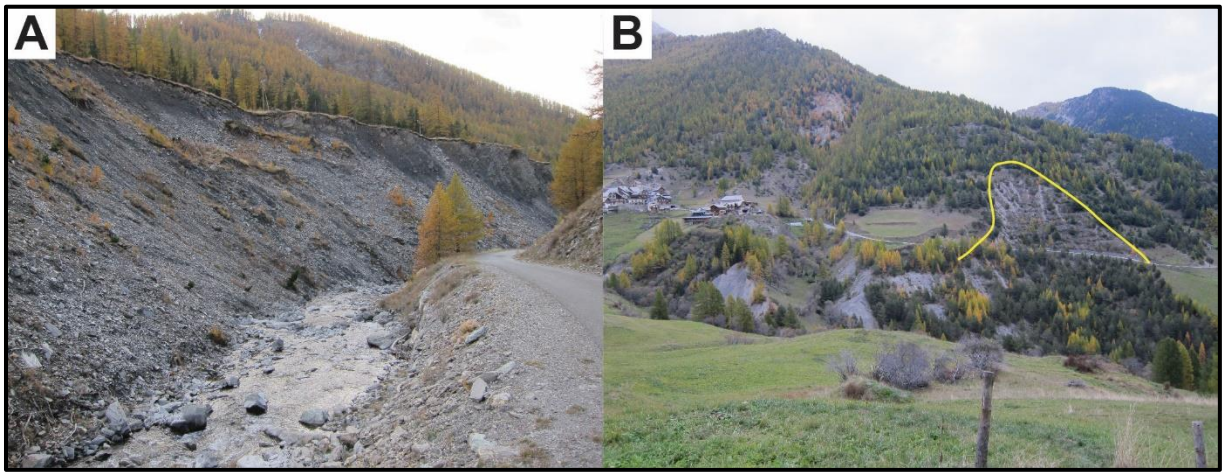


Photo 2. 8. : Glissements de terrain dans le Queyras : A – Glissements arrachements de bas de versant sur la route entre Valpréveyre et Le Roux d'Abriès (source : B. Carlier), B – Glissement rotationnel ancien dans la vallée de Soulier sur la commune de Château-Ville-Vieille (source : B. Carlier).

Pourtant, de mémoire d'homme, le Queyras a jusqu'à présent été relativement épargné par ces phénomènes. Depuis peu cependant, un important glissement s'est réactivé suite à des précipitations abondantes liées à un retour d'est et peut-être également en raison d'une fonte tardive du couvert neigeux. Le glissement en question, dit du « Pas de l'Ours », est situé entre Abriès et Aiguilles, à proximité de la route du Lombard (Photo 2. 9, A et B). L'enjeu est de taille car les masses mises en mouvement ont détruit la principale artère de la vallée (D 947) et peuvent à terme bloquer le cours du Guil, ce qui pourrait provoquer une montée des eaux en amont puis une crue destructrice en aval (Fort, 2000 ; Cossart et Fort, 2008 ; Fort *et al*., 2010). Ce glissement est connue (et suivi) depuis de nombreuses années – au moins depuis 1992 – mais n'avait, jusqu'à présent, montré aucun signe de réactivation. En avril 2017, de nombreux éboulements et déformations sur la route ont alerté les pouvoirs publics, entraînant un regain d'intérêt de la part des scientifiques et gestionnaires du risque.

Après estimation, il s'avère que les volumes mis en mouvement sont de l'ordre de 15 millions de m^3. Le glissement s'étend sur une surface de 18 ha pour une longueur de 2 km et une largeur d'1 km, ce qui en fait un des plus vastes glissements actifs des Alpes françaises. Il est développé dans un mélange de schistes lustrés et de colluvions composés d'anciens dépôts morainiques remaniés. Les mesures effectuées par l'université de Strasbourg indiquent un déplacement rapide mais discontinu, de l'ordre de 4 à 10 cm par jour ! (www.blogs.agu.org ; Fig. 2. 12.). Depuis février 2018, la situation s'est aggravée et après plusieurs coupures temporaires de la route départementale, les autorités se sont résolues à engager des travaux pour ouvrir une voie d'accès parallèle sur le versant faisant face au glissement (Photo 2. 10.).

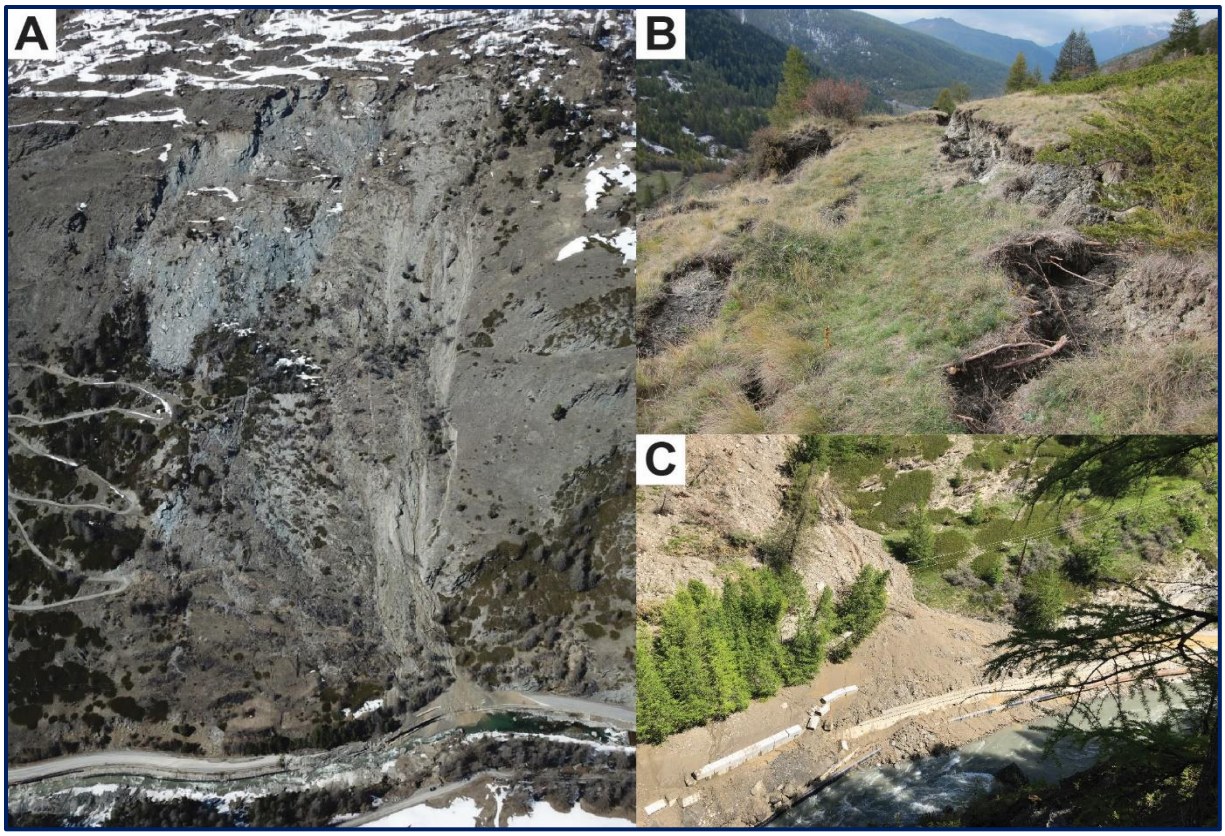


Photo 2. 9. : Le glissement du Pas de l'Ours entre Aiguilles et Abriès : A – Vue aérienne du glissement en avril 2018 (source : www.pnr-queyras.fr), B – Fissures et déformations sur le glissement dès l'année 2014 (source : B. Carlier), C – La D 947 détruite par le glissement en mai 2018 (source : G. Arnaud-Fassetta).

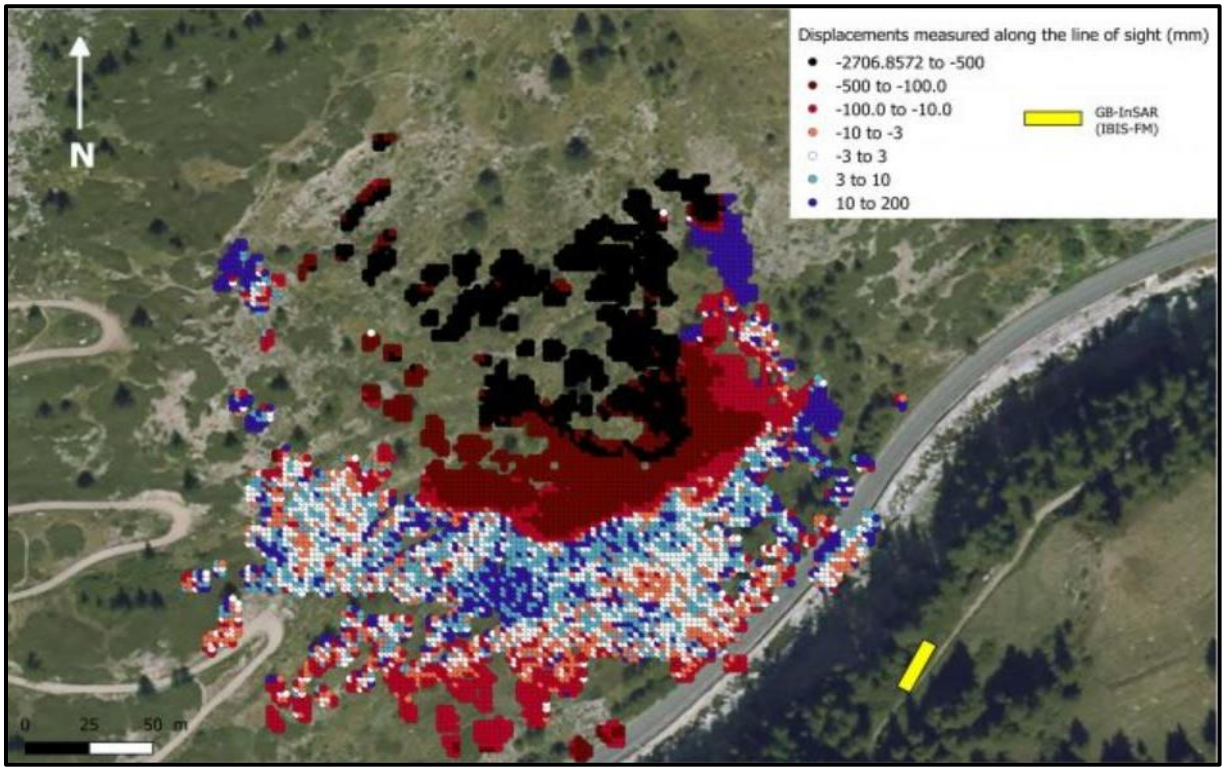


Figure 2. 12. : Déplacements mesurés par la méthode GB-InSAR entre le 05/05/2017 et le 08/05/2017 (source, C. Hibert).

Grand bien leur en a pris car en avril, le glissement a été le théâtre de nombreuses coulées boueuses qui ont totalement emporté la route départementale (Photo 2. 9., C). Une solution pérenne, c'est-à-dire une route définitive, devrait voir le jour avec la réalisation de deux ouvrages d'art sur plus de 2 km (travaux échelonnés entre 2018 et 2020). Le département va mobiliser 25 millions d'euros pour ce chantier. Notons cependant que le versant qui fait face au glissement, et sur lequel devrait être aménagé la route, présente les mêmes caractéristiques géologiques et géomorphologiques que ce dernier (ancien glissement holocène développée dans des schistes lustrés). Se pose alors la question de savoir si cette nouvelle route peut être ou non qualifiée de pérenne…



Photo 2. 10. : Vue sur la route de dérivation mise en place face au glissement ; notez les marques d'instabilité du versant (source : M. Fort).

Conclusion

Le Queyras est non seulement prédisposé mais aussi exposé à de multiples risques : crues et laves torrentielles, avalanches, glissements de terrain, etc. Les événements les plus marquants, ceux de 1957, 1978, 2000, 2008 et 2017, ont tous un lien avec les fameux retours d'est. Quand bien même les dégâts ne sont pas toujours conséquents, ils engendrent, par leur répétition, des coûts importants pour les communes queyrassines. D'autant qu'à ces coûts s'ajoutent ceux engagés pour l'entretien des cours d'eau et des ouvrages de protection. Pour des communes à budgets restreints, car comptant peu d'habitants permanents, les risques représentent donc une menace constante sur leur économie. En termes de coûts et d'impacts psychologiques, ce sont les crues du Guil et de ses principaux affluents qui représentent la plus grande menace. Les observations réalisées pendant et après ces événements ont montré que les endommagements étaient davantage liés aux matériaux transportés par les cours d'eau que par les flots eux-mêmes (cf. *supra*, Chapitre 2, 2.). Elles ont également montré que pour des forçages climatiques similaires les crues n'avaient pas forcément la même ampleur (ex : juin 2000 / octobre 2000). Ces constats soulèvent plusieurs questions quant à la maturation des stocks sédimentaires et aux relais de processus qui conditionnent leur déstockage. Ces réflexions sont prégnantes pour les sous-bassins affluents du Guil dans la mesure où ce sont eux qui ont le plus contribué aux apports de matériaux lors des crues les plus importantes.

- Partie 2 -
Budget sédimentaire du bassin-versant du Peynin, affluent de rive gauche du Haut-Guil

Introduction

Les dommages enregistrés lors des crues sont davantage liés à la charge solide des cours d'eau (engravement, sapements du bâti, formation d'embâcles) qu'à leur débit liquide (Tricart, 1958, 1960 ; Fort *et al.*, 2002). Or, dans le Queyras, ce sont les petits bassins versants torrentiels (< 50 km²) qui ont le plus contribué aux apports en sédiments fins et grossiers lors des précédentes crues (Tricart, 1958 ; Koulinski 2000 ; Fort *et al.*, 2002 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005). Dans ce contexte, il nous est apparu intéressant d'étudier plus en détail l'origine et la nature des sédiments ainsi que les modalités pouvant conduire à leur exportation vers la vallée du Guil. Pour ce faire, nous avons opté pour une approche par le « budget sédimentaire ». Réaliser un budget sédimentaire consiste à décrire les entrées, le transport, les stockages ainsi que les sorties en sédiments au sein d'un système géomorphologique donné (Ried et Dunne, 2003). Aborder les risques sous l'angle des sédiments constitue l'une des singularités du travail de l'équipe PRODIG au sein du projet SAMCO. Une approche par le budget sédimentaire étant quelque peu délicate à réaliser à l'échelle de l'ensemble du bassin-versant du Haut-Guil, nous avons choisi de nous concentrer sur l'un de ses sous-bassins les plus représentatifs, à savoir le bassin-versant du Peynin (Fig. 3. 1.). C'est un petit bassin-versant de forme ovoïde d'environ 15 km² ; son altitude est comprise entre 2912 m au sommet du Pic du Fond de Peynin et 1492 m à la sortie des gorges du Peynin.

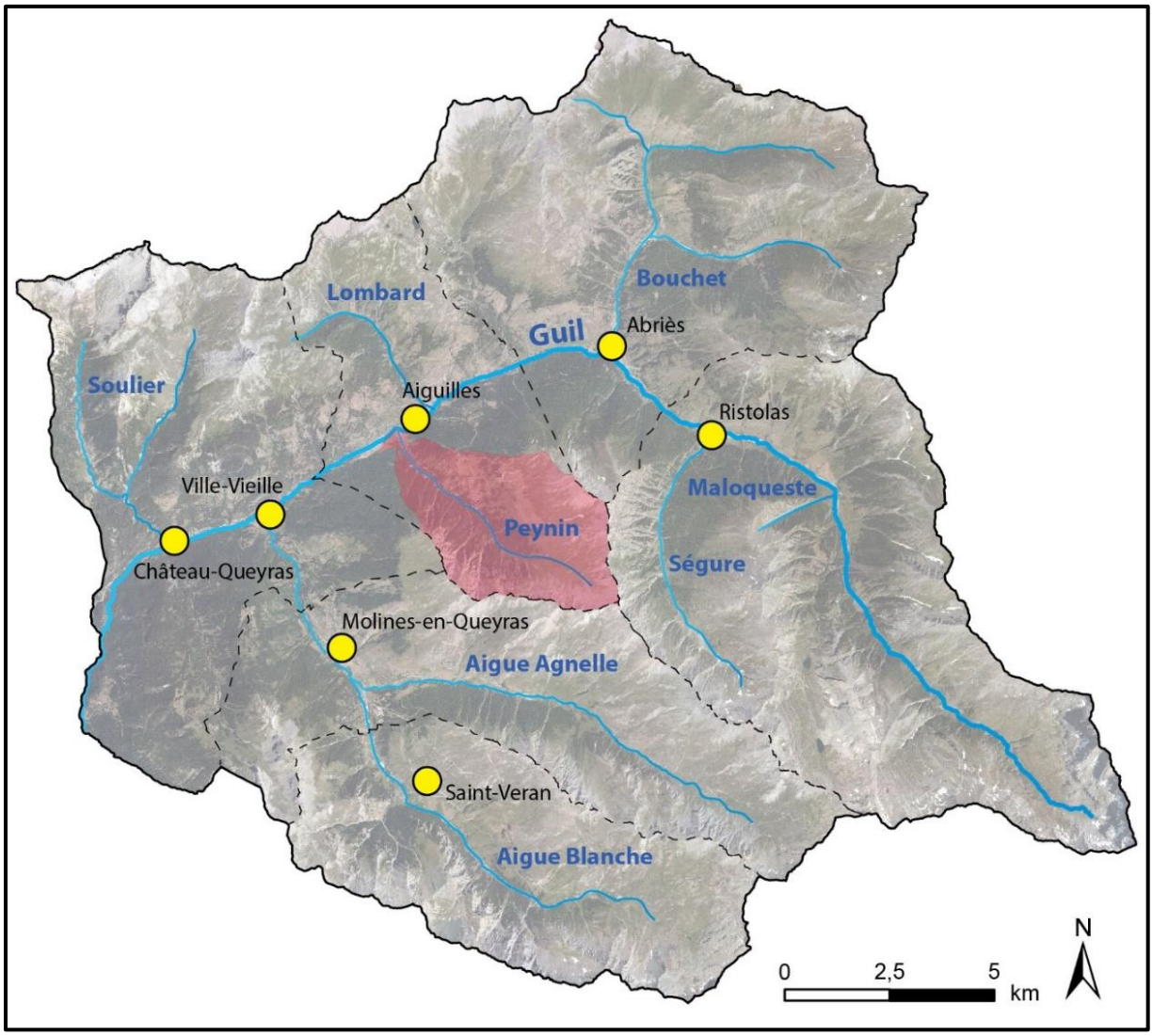


Figure 3. 1. : Localisation du sous-bassin-versant du Peynin dans le bassin-versant du Haut-Guil.

Plusieurs volets seront abordés dans cette partie : (1) la caractérisation et la quantification des stocks sédimentaires du Peynin (Fort *et al.*, 2015 ; Carlier *et al.*, 2018a) ; (2) la formalisation de la cascade sédimentaire (Carlier *et al.*, 2018a) ; (3) l'évaluation et la quantification des transferts sédimentaires (Graff *et al.*, 2018 ; Viel *et al.*, 2018) ; (4) l'établissement d'un budget sédimentaire sur une période de 20 ans (Viel *et al.*, 2018) ; (5) l'analyse de la connectivité fonctionnelle visant à mesurer l'efficience de la cascade sédimentaire et à quantifier des seuils de maturation des stocks sédimentaires (Cossart *et al.*, 2017).

Chapitre 3 : Caractérisation et quantification des stocks sédimentaires dans le bassin du Peynin

Des investigations géomorphologiques, géologiques et géophysiques ont été réalisées afin de localiser et estimer les volumes sédimentaires stockés dans le bassin du Peynin. Suite à un travail de terrain et de cartographie ayant permis l'identification et la caractérisation des stocks sédimentaires, deux modélisations statistiques des épaisseurs de sédiment sont proposées. La première modélisation repose sur l'estimation du toit supposé du substrat rocheux à l'aide de fonctions polynomiales. La seconde modélisation s'appuie sur les observations de terrain par l'analyse de 46 coupes stratigraphiques transversales et longitudinales couplées à une expertise géologique et géomorphologique des formations superficielles et des couches sous-jacentes. Pour contraindre les deux modèles, des mesures géophysiques (profils de sismique réfraction), réalisées durant l'été 2014, ont été intégrées pour caler et valider les modèles d'épaisseur.

1. Analyse géologique et géomorphologique

Situé en rive gauche du Guil, le bassin du Peynin présente toutes les caractéristiques (litho-structurales et morphologiques) des hauts bassins du Queyras schisteux (Fig. 3. 1.). Dans cette partie, nous décrirons brièvement ces caractéristiques car elles jouent un rôle essentiel dans la nature, les volumes et la répartition des stocks sédimentaires.

1. 1. Une lithologie propice à la production et à l'accumulation des sédiments

Le bassin du Peynin s'inscrit dans le complexe des schistes lustrés piémontais issus des séries ophiolitiques et supra-ophiolitiques (Tricart, 2003). Les roches les plus résistantes affleurent en tête de bassin sont les calcaires blancs jurassiques issus des dépôts océaniques téthysiens (Fig. 3. 2.). Souvent associées à des métabasaltes schistosés, ces roches sont sujettes à la gélifraction et ont contribué à la formation de vastes tabliers et cônes d'éboulis dans la partie amont du bassin. Le reste du bassin est essentiellement développé dans une alternance de schistes et de calcschistes crétacés très replissés provenant de l'accumulation de sédiments à dominante argilo-marneuse (Tricart, 2003 ; Tricart et Schwartz, 2006). Cette apparente monotonie litho-structurale occulte d'importantes différences en termes de résistance à l'érosion (Fig. 3. 3.). Dans le contexte climatique actuel, les formations pauvres en carbonates et/ou riches en silice – schistes noirs et calcschistes grésifiés – constituent des roches relativement résistantes. À l'inverse, les roches les plus riches en carbonates, principalement situées sur les adrets du bassin, se révèlent particulièrement sensibles aux effets de la météorisation. Elles ont tendance à se déliter facilement, fournissant une grande quantité de débris sous forme de plaquettes décimétriques et de fines particules argileuses (Fort *et al.*, 2002 ; Arnaud-Fassetta et Fort, 2004).

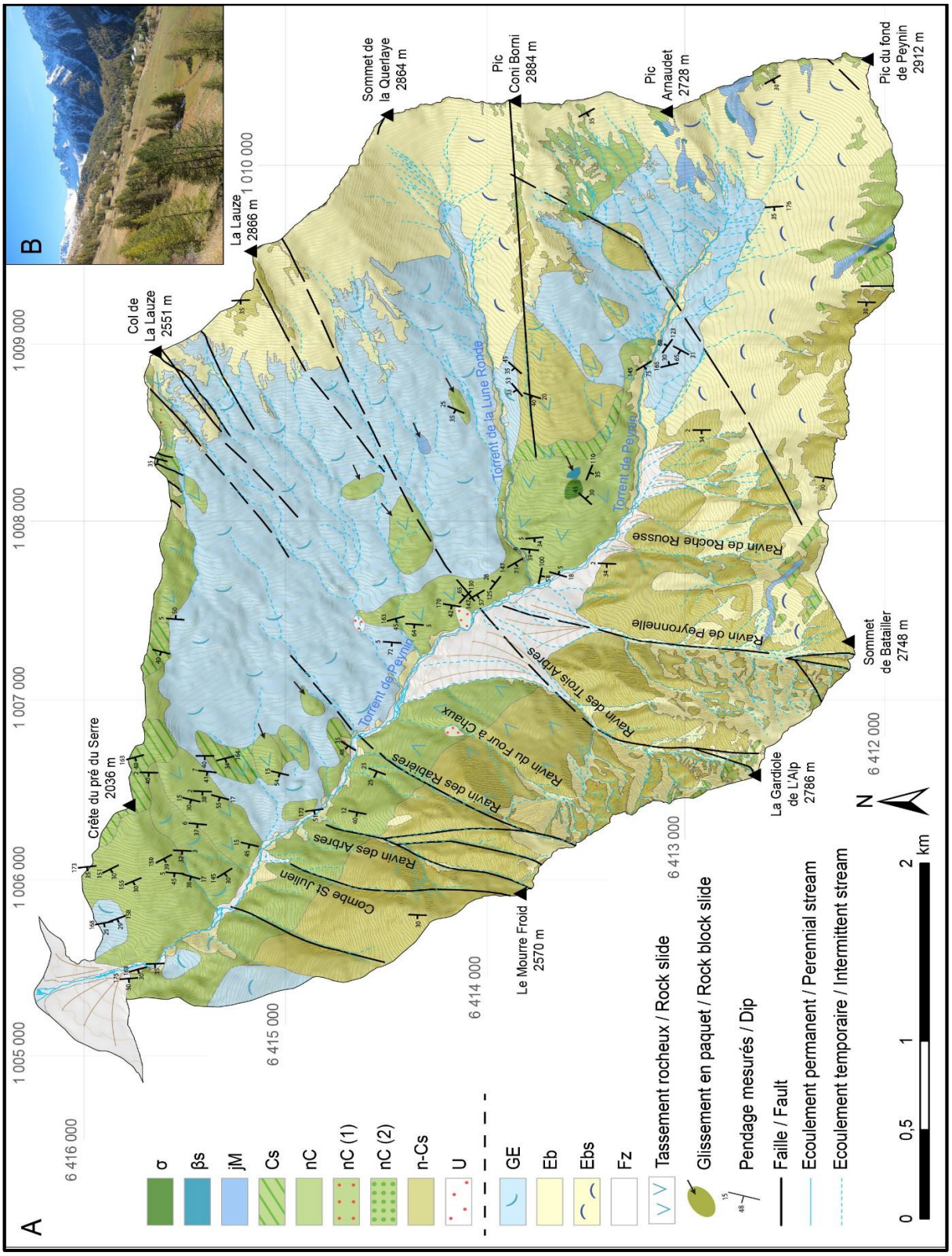


Figure. 3. 2. : A – Carte géologique du Peynin (Carlier et al.*, 2018a), d'après Tricart (2003). σ : péridotites serpentinisées ; βs : métabasaltes schistosés, « prasinites » ; jM : calcaires blancs ; Cs : schistes noirs non-calcaires ; nC : alternance schisto-calcaire, (1) intercalation massive de quartzites, (2) intercalation détritique d'origine ophiolitique ; n-Cs : calcschistes ; U : tufs calcaires ; GE : formations de versant composites (éboulis et moraines) solifluées ; Eb : éboulis, Ebs : éboulis soliflués ; Fz : alluvions et cônes de déjection. B – Vue du Peynin prise depuis la crête du Pré du Serre. Les coordonnées géographiques de la carte sont exprimées en Lambert 93.*

1. 2. Un contexte morpho-structural favorable au développement des formes d'accumulation

Le Peynin se caractérise par une opposition structurale des versants (Fort *et al*., 2002 ; Arnaud-Fassetta *et al*., 2005). Les versants de rive droite, orientés vers l'ouest/sud-ouest, sont conformes au pendage des schistes (≈30°), ce qui tend à favoriser les glissements translationnels le long des plans de schistosité. Les versants de rive gauche, orientés vers le nord-est, sont à contre-pendage. Leurs parois abruptes les prédisposent à l'éboulisation et aux écoulements gravitaires de type avalanches et laves torrentielles. L'opposition de versants se traduit par une dissymétrie marquée du bassin. Les versants de rive droite ont des pentes relativement modérées, de l'ordre de 30°. Les versants de rive gauche sont beaucoup plus raides, avec des pentes moyennes comprises entre 45° et 50° (70° à proximité des sommets). Les déformations tertiaires successives ont engendré un système de failles normales raides le plus souvent orientées ENE/WSW et NNW/SSE, qui ont eu un double effet sur l'organisation du bassin : (1) En créant des zones de faiblesse propices à l'érosion, ce système a conditionné l'organisation spatiale du réseau hydrographique. L'essentiel des affluents du torrent de Peynin provient de sa rive gauche, là où les failles ont contrôlé la formation de ravins très raides (ravins de Roche Rousse, de la Peyronnelle, des Trois Arbres et du Four à Chaux ; Fig. 3. 2.). En rive droite, le seul affluent notable, le torrent de la Lune Ronde, a lui aussi un tracé contrôlé par la tectonique ; (2) Les failles ont favorisé le développement de tassements rocheux et de glissements de terrain sur le versant de rive droite en réduisant la résistance mécanique des couches géologiques supérieures et en compartimentant d'importants volumes rocheux (Tricart, 2003).

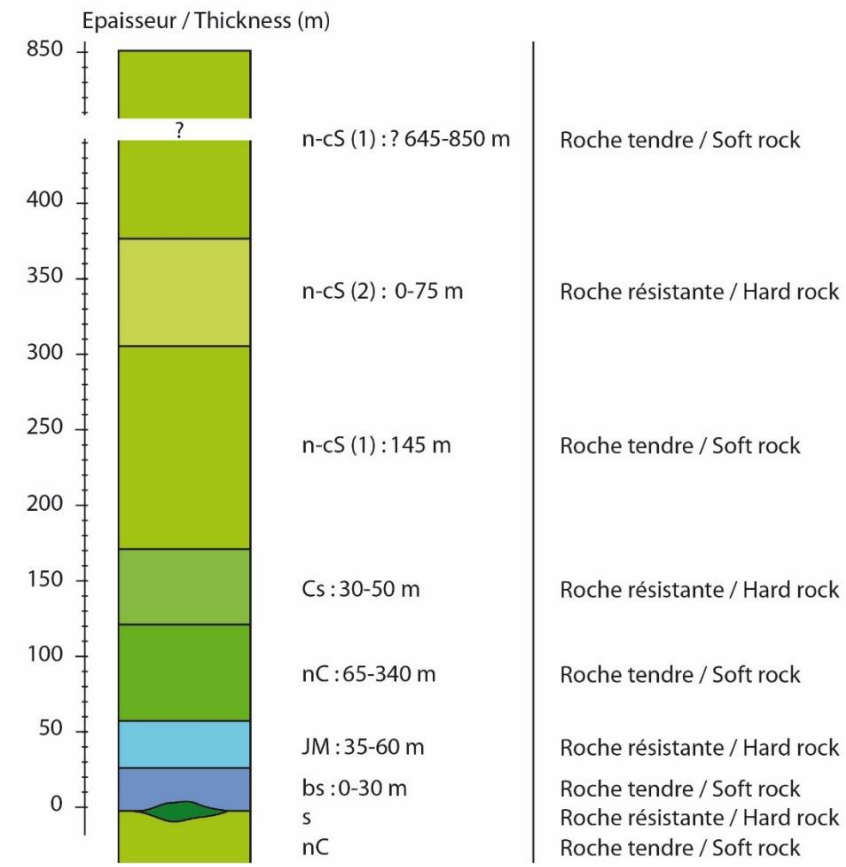


Figure 3. 3. : Litho-séquence du bassin-versant du Peynin. n-cS (1) : calcschistes avec micaschistes et marbres (marnes pélagiques) ; n-cS (2) : quartzites albitiques riches en mica (grès) ; Cs : micaschistes (schistes noirs) ; nC : calcschistes et marbres (marnes et calcaires pélagiques) ; JM : calcaires blancs (marbres pélagiques) ; bs : basaltes métamorphisés en prasinites ; s : serpentinites (péridotites serpentinisées).

1.3. Érosion glaciaire pléistocène et réajustement morpho-sédimentaire holocène

Les héritages glaciaires sont peu nombreux dans le Peynin. Ils restent visibles au travers du cirque du Fond de Peynin, creusé à l'amont du bassin dans les calcaires jurassiques, et de la gorge de raccordement sous-glaciaire creusée à son aval. Le versant de rive gauche, à contre-pendage, présente une forme concave qui pourrait s'apparenter à une demi-parabole d'origine glaciaire. Le versant de rive droite, lui, ne présente aucun signe visible d'érosion glaciaire. Pourtant, d'après Koulinski (2000) et Tricart (2003), les matériaux stockés sur ce versant seraient constitués en partie d'anciens dépôts de till remaniés. Dans le bassin du Peynin les réajustements post glaciaires se sont traduits par la mise en place de stocks sédimentaires sur les versants et dans le fond de vallée. Les complexes de glissements de terrain en rive droite du Peynin (Tricart, 2003) et les cônes de déjection au pied des ravins de la Peyronnelle et des Trois Arbres datent de cette époque (Fort *et al.*, 2002). Ils représentent des stocks considérables de débris qui ont exercé d'importantes contraintes latérales sur le cours d'eau et modifié son tracé en plusieurs endroits (Fig. 3. 2.). Ces contraintes latérales, associées à la présence de gorges étroites à l'aval du bassin, expliquent la permanence d'importants volumes de sédiments piégés dans le bassin.

2. Identification et cartographie des stocks sédimentaires

Les caractéristiques géologiques et géomorphologiques du Peynin ont un rôle essentiel dans la nature et la répartition des stocks sédimentaires du Peynin (cf. *supra* 1.). Pour compléter l'analyse des stocks sédimentaires du Peynin, il est capital de décrire et de localiser finement ces stocks. Surfaciquement, les principaux stocks sédimentaires du Peynin sont constitués par les vastes complexes de glissements de terrain en rive droite du Peynin (44 %) et les éboulis situés au niveau des crêtes (28 %). Viennent ensuite les dépôts d'éboulement (4 %), les cônes de déjection (4 %) et enfin, les surfaces d'accumulation torrentielles (1 % ; Fig. 3. 4.). Les complexes de glissements de terrain dominent l'adret du Peynin en raison du pendage des schistes et de la présence de niveaux argileux (Fig. 3. 2. ; Photo 3. 1., A). Ces complexes associent des glissements translationnels et des glissements rotationnels de moindre ampleur, emboîtés dans les précédents (Tricart, 2003 ; Carlier *et al.*, 2018a).

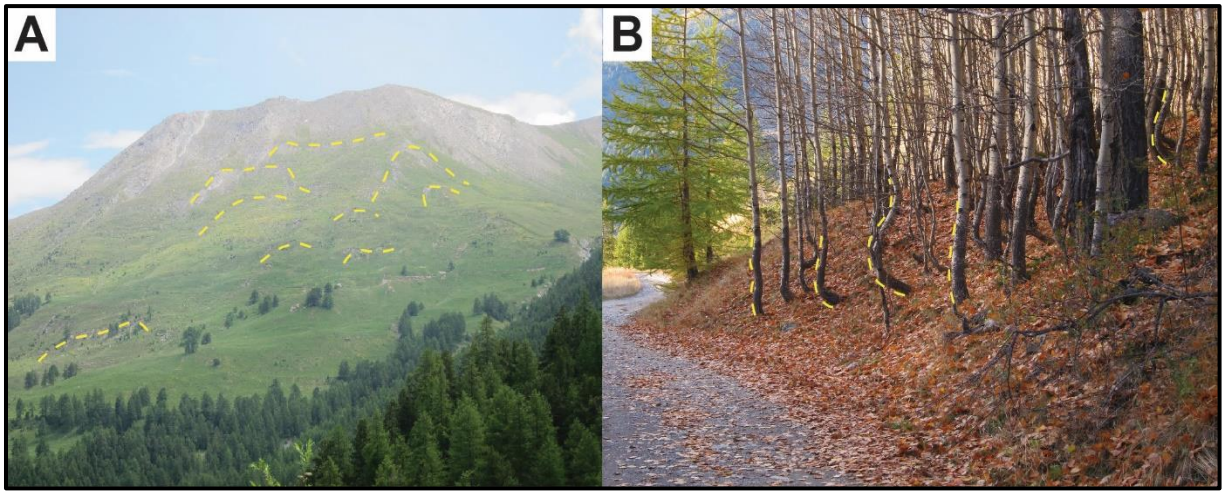


Photo 3. 1. : L'Adret du Peynin dominé par de vastes complexes de glissements de terrain : A – vue sur le versant de rive droite du Peynin prise depuis l'apex du cône de la Peyronnelle. Notez les nombreuses cicatrices d'arrachements dues aux glissements de terrains. B – « Forêt ivre » à la sortie du hameau de Peynin. Notez la forme des arbres témoignant d'une solifluxion active des couches superficielles.

Ces ensembles glissés sont drapés par une couverture peu épaisse mais continue d'éboulis, de régolithes et de dépôts morainiques remaniés, soumis à une solifluxion active (Fig. 3. 4. ; Photo 3. 1., B). De cet emboîtement morpho-sédimentaire résulte une instabilité potentielle de l'ensemble du versant (Tricart, 2003). Les tabliers et les cônes d'éboulis, en très grande partie hérités des réajustements postglaciaires, occupent presque toute la surface amont du bassin (Fig. 3. 2. et 3. 4. ; Photo 3. 2., A). Ils sont en partie végétalisés d'où d'un découplage partiel avec le système géomorphologique actuel.

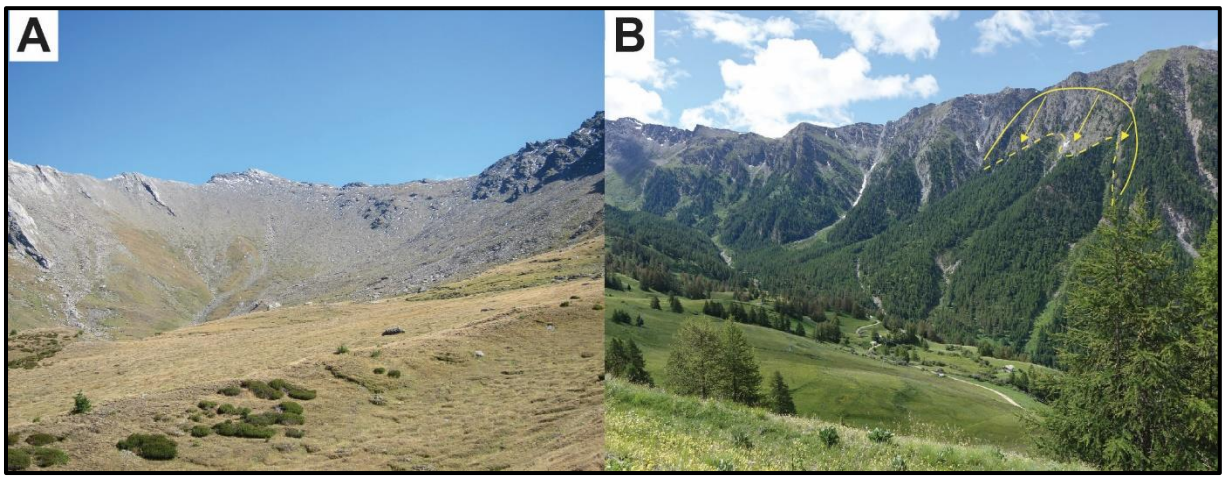


Photo 3. 2. : A – tabliers d'éboulis actifs et végétalisés dans le cirque glaciaire du Fond de Peynin. B – dépôts d'éboulement/écroulement sur le versant de rive gauche du Peynin.

Par comparaison, les dépôts d'éboulement occupent des surfaces plus restreintes. Le plus important de ces dépôts est situé en rive gauche du Peynin, en contrebas de la crête du Mourre Froid (Fig. 3. 2. ; Photo 3. 2., B). La zone de rupture nette au niveau du cirque alimentant le ravin du Four à Chaux suggère un événement rapide (Fig. 3. 4. ; Photo 3. 2., B). Les masses rocheuses déplacées ont conservé une résistance à l'érosion proche de leur état initial (en place).

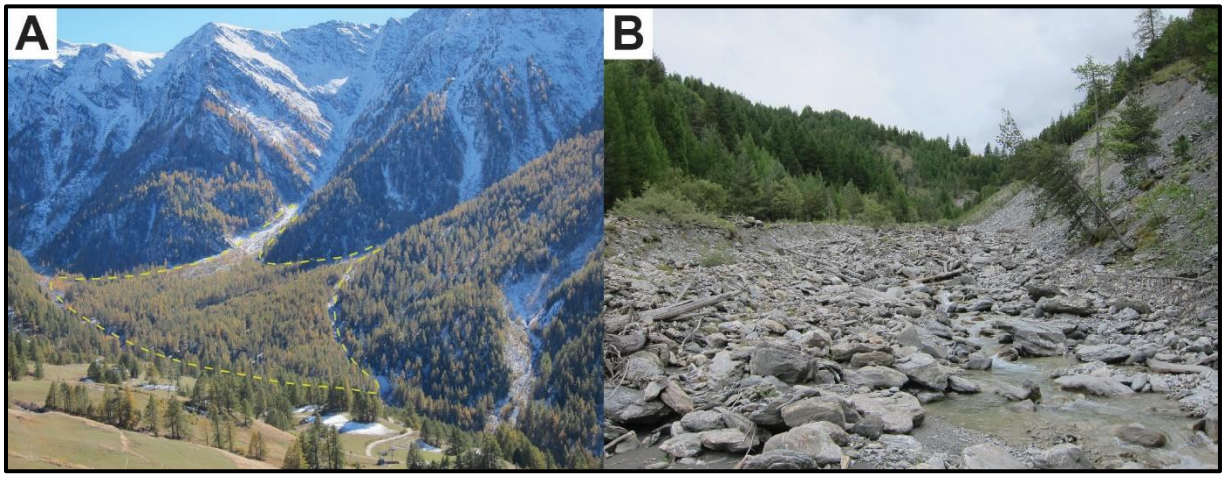


Photo 3. 3. : Les formes d'accumulation torrentielle. A – Cônes coalescents de la Peyronnelle et des Trois Arbres dans la partie centrale du bassin du Peynin. B – Bande active en amont des gorges du Peynin.

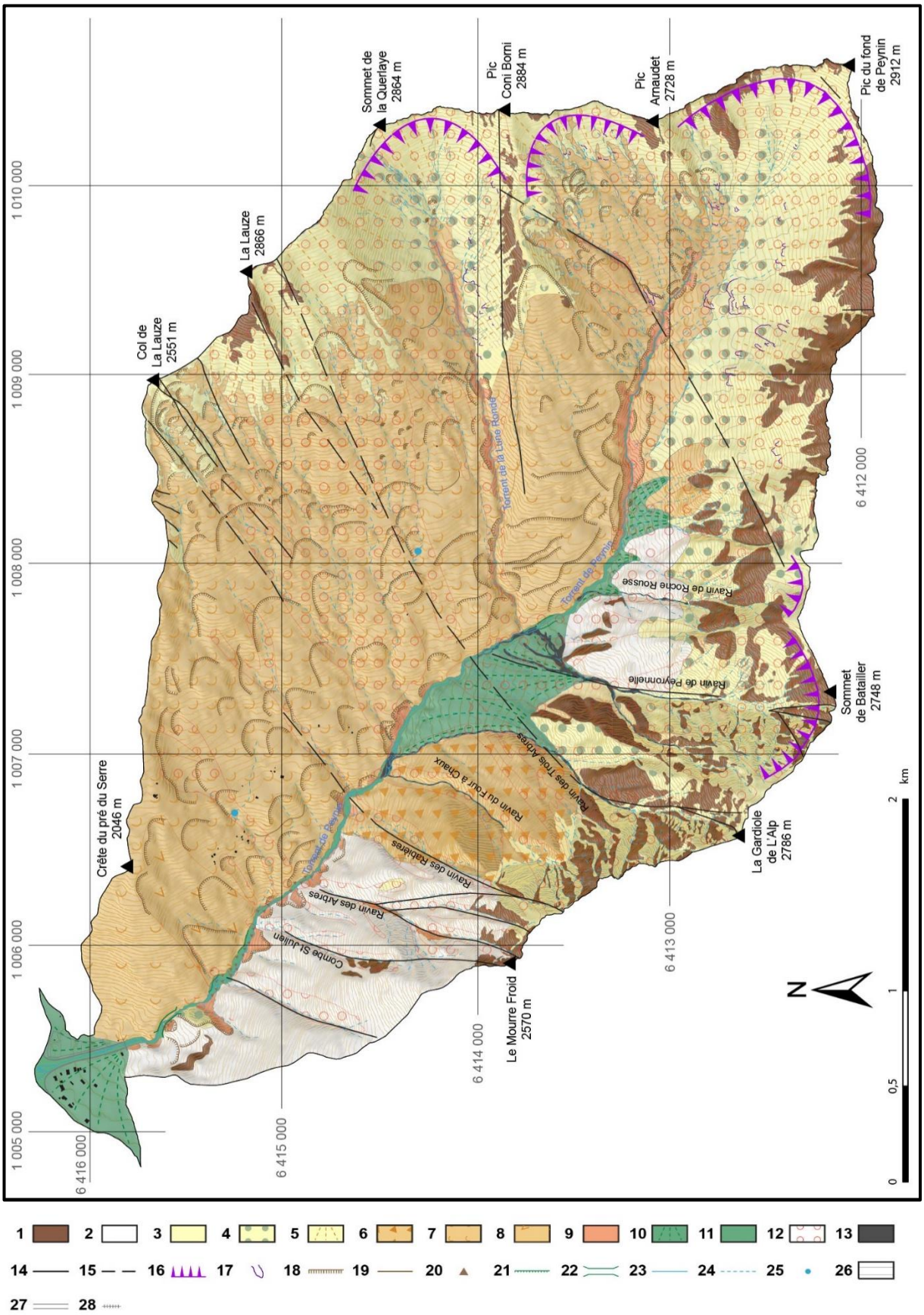


Figure 3. 4. : Carte géomorphologique du Peynin (Carlier et al.*, 2018a), d'après des figurés inspirés de la légende de l'UNIL (Schoeneich, 1993). (1) affleurements rocheux ; (2) absence de formation superficielle ; (3) éboulis ; (4) éboulis végétalisés ; (5) tabliers d'éboulis actifs ; (6) dépôts d'éboulement ; (7) terrains glissés ; (8) tassements*

rocheux ; (9) glissements–arrachements de bas de versant ; (10) cônes torrentiels ; (11) surface d'accumulation torrentielle ; (12) emprises des avalanches ; (13) dépôts de laves torrentielles de 2000 et 2015 ; (14) failles ; (15) failles supposées ; (16) cirques glaciaires ; (17) loupes de solifluxion ; (18) niches d'arrachement ; (19) fronts de glissements ; (20) blocs éboulés ; (21) rebords de terrasse - crue de 1957 ; (22) gorges ; (23) cours d'eau ; (24) cours d'eau temporaires ; (25) sources ; (26) espace ludique d'Aiguilles - piste de luge, terrain de snowboard et VTT, remontée mécanique etc. ; (27) digues non maçonnées ; (28) seuil temporaire. Les coordonnées géographiques de la carte sont exprimées en Lambert 93.

En contrebas des ravins qui strient le versant de rive gauche du Peynin se sont développés de nombreux cônes de déjection (Fig. 3. 4. ; Photo 3. 3., A). Les cônes coalescents de la Peyronnelle et des Trois Arbres sont les plus importants en surface (≈ 57 000 m²). En raison du fort encaissement, il y a peu de plaines d'accumulation dans le bassin (Fig. 3. 4. ; Photo 3. 3., B). Il n'y a en fait que deux zones propices à l'aggradation. La première est située en amont des grands cônes de la Peyronnelle et des Trois Arbres (Fig. 3. 4.). La seconde plaine d'accumulation se situe à l'aval du bassin, en amont des gorges de raccordement sous-glaciaires (Fig. 3. 4. ; Photo 3. 4. A). En bordure de cette seconde plaine, on observe des lambeaux reliques de la terrasse de la crue torrentielle de 1957 (Fig. 3. 4. ; Photo 3. 4., B). Ces dépôts n'excèdent guère 2 à 3 m d'épaisseur.

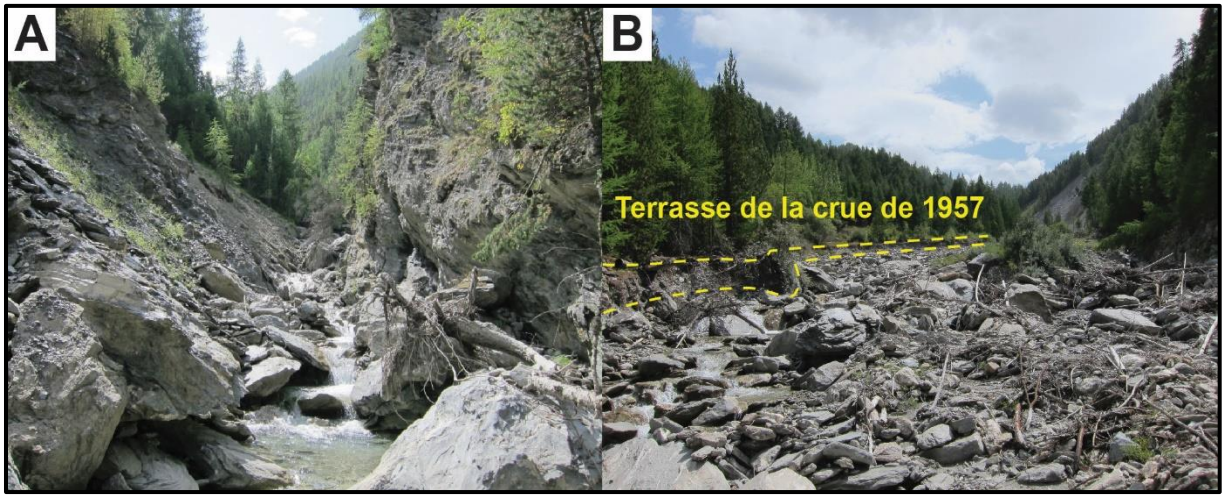


Photo 3. 4. : A – Gorges sous-glaciaires à l'aval du bassin du Peynin, B – Terrasse de la crue de 1957 en amont des gorges du Peynin.

3. Estimation des volumes de sédiments stockés dans le bassin-versant

Introduction

Les méthodes couramment utilisées pour estimer des volumes de sédiments dans les bassins versants reposent sur l'analyse puis l'interpolation de résultats issus de sondages directs (forages, carottages) et/ou de profils géophysiques (tomographie sismique, géoradar, résistivité électrique ; Woodward, 1985 ; Besson *et al.*, 1991 ; Pfiffner *et al.*, 1997 ; Schrott et Sass, 2008 ; Götz *et al.*, 2013). Ces méthodes sont coûteuses et difficiles à mettre en œuvre dans les bassins-versants montagnards difficiles d'accès (Hoffmann et Schrott, 2002 ; Otto *et al.*, 2008). En l'absence de données directes, certains auteurs préconisent l'usage de la morphométrie pour obtenir une estimation des volumes recherchés. Les travaux de Shroder et al. (1999), repris par Campbell et Church (2003) puis Cossart et Fort (2008), ont démontré que la plupart des modelés d'accumulation (tabliers, talus, cônes, terrasses, terrains glissés) pouvaient être assimilés à des formes géométriques simples afin de faciliter l'estimation des volumes sédimentaires (Fig. 3. 5.). Ces mêmes principes ont été appliqués pour l'évaluation des

remblaiements de fond de vallée contemporains ou postérieurs aux glaciations. Selon Svensson (1959) et Graf (1970), la morphologie des vallées glaciaires s'apparente, en effet, à une parabole (Fig. 3. 6.).

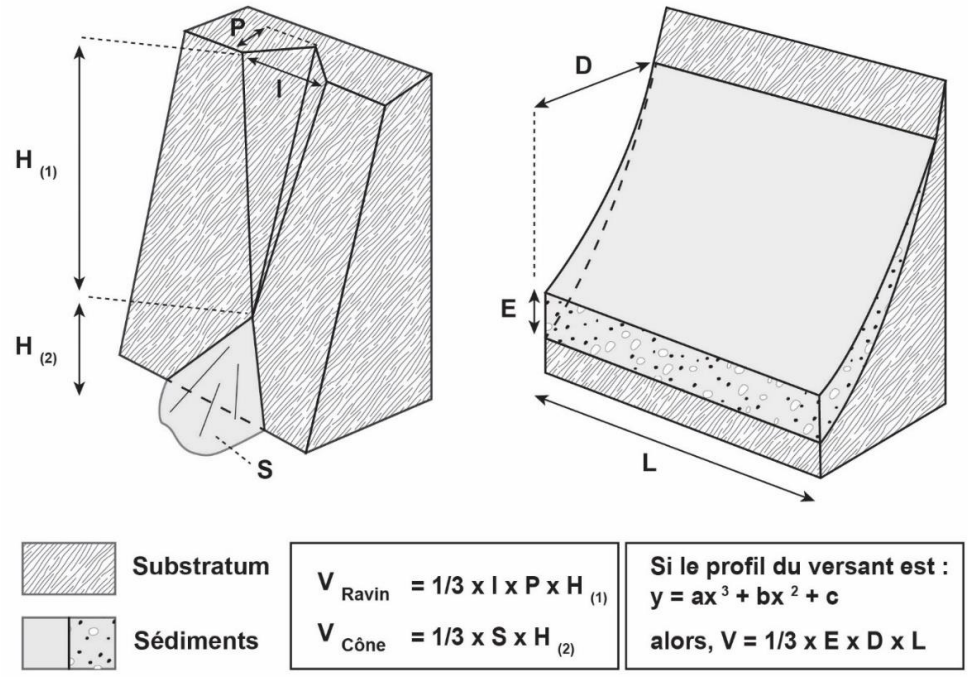


Figure 3. 5. : Calculs volumétriques de formes simples par morphométrie (d'après Cossart et Fort, 2008). L = longueur ; l = largeur ; P = profondeur ; H = hauteur; S = surface ; D = distance; E = épaisseur.

Le profil en travers d'un versant d'une vallée glaciaire peut donc être décrit à l'aide de lois de puissance (Svensson, 1959 ; Graf, 1970 ; King, 1974 ; Hirano et Aniya, 1988 ; Harbor et Wheeler, 1992) :

$$y = ax^b$$

***x** est la distance horizontale des points décrits comme étant le substratum ;*
***y** est la distance verticale des points décrits comme étant le substratum ;*
***a** est un coefficient obtenu à l'aide de la méthode des moindres carrés ;*
***b** correspond à la courbure du profil (**b = 2** dans le cas d'une parabole).*

Par extension, les profils des vallées glaciaires peuvent être décrits à l'aide de fonctions polynomiales (Svensson, 1959 ; Wheeler, 1984 ; Augustinius, 1992 ; James, 1996 ; Li *et al.*, 2001) :

$$y = a + bx + cx^2$$

***x** est la distance horizontale des points décrits comme étant le substratum ;*
***y** est la distance verticale des points décrits comme étant le substratum ;*
***a**, **b** et **c** sont les coefficients déterminés par la méthode des moindres carrés.*

En utilisant un nombre suffisant de profils transversaux, il est possible de modéliser la forme probable d'une vallée glaciaire lors du Dernier Maximum Glaciaire (Hoffmann et Schrott, 2002). En soustrayant le modèle de substratum ainsi produit au modèle de la surface topographique actuelle, on obtient une estimation de l'épaisseur des sédiments stockés sur les versants et dans les fonds de vallée (Hoffmann et Schrott, 2002 ; Schrott et Adams, 2002 ; Schrott *et al.*, 2003 ; Jaboyedoff et Deron, 2005).

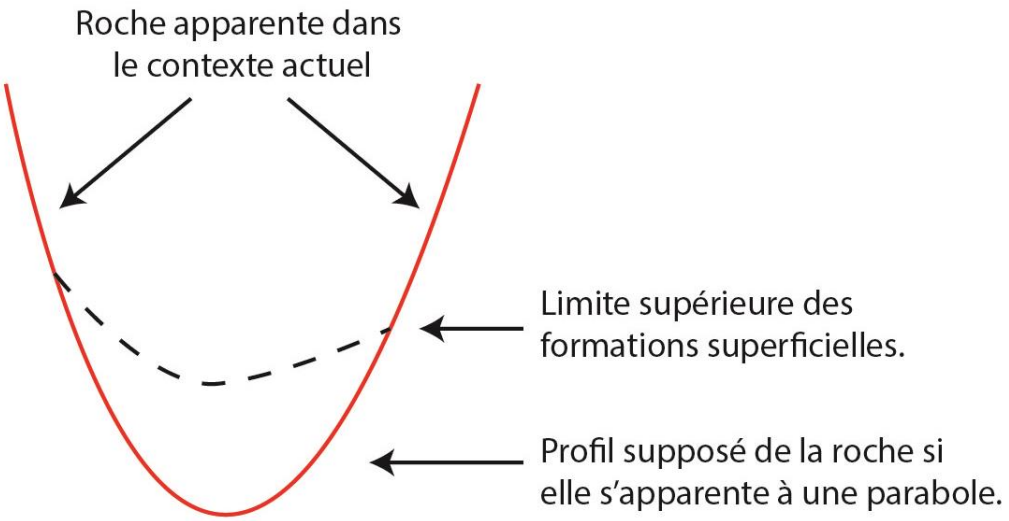


Figure 3. 6. : Schéma figurant le profil théorique d'une vallée d'origine glaciaire.

La quantification des volumes sédimentaires par des méthodes indirectes laisse une place importante à l'interprétation des données. Partant de ce constat, deux méthodes différentes sont proposées pour évaluer les volumes de sédiments stockés dans le bassin du Peynin. L'objectif annoncé est de proposer un intervalle de confiance aux volumes calculés plutôt qu'une valeur unique. Les deux méthodes employées reposent sur la production de modèles d'épaisseur de sédiments par des moyens indirects combinant analyse morphométrique et modélisation géomatique. Pour contraindre les deux modélisations, 3 profils de sismique réfraction réalisés durant l'été 2014 ont été analysés.

3. 1. Détermination de la profondeur du toit du substratum par tomographie de sismique réfraction

Trois profils de sismique réfraction ont été réalisés à l'été 2014 afin d'estimer la profondeur du toit du substratum et l'épaisseur des formations superficielles sur le versant de rive droite du Peynin (Fig. 3. 7.). La localisation des profils a été guidée par la volonté de caractériser l'ensemble du versant (Fig. 3. 8.) et par les contraintes d'accessibilité. Le profil n° 1 a été effectué au sommet du versant (altitude max. : 2051 m ; altitude min. : 2036 m), sur la crête du Pré du Serre, où l'épaisseur des formations superficielles (colluvions et glissements superficiels) était *a priori* la plus faible (Fig. 3. 9.). Le profil n° 2 a été réalisé à mi-versant (altitude max. : 1942 m ; altitude min. : 1913 m) dans une zone affectée par des glissements translationnels et rotationnels (Fig. 3. 10.). Le profil n° 3 a été réalisé en pied de versant (altitude max. : 1632 m ; altitude min. : 1589 m) où les dépôts issus des glissements translationnels sont supposés être les plus épais (Fig. 3. 11.). Les positions des profils et des couples sources-récepteurs ont été déterminées par GPS différentiel. Chaque profil a été réalisé à l'aide d'un dispositif comportant 24 géophones-1C de fréquence 10 Hz avec un inter-trace de 5 m (Photo 3. 5., A). Le numériseur est un système d'acquisition ABEM DaqLink avec

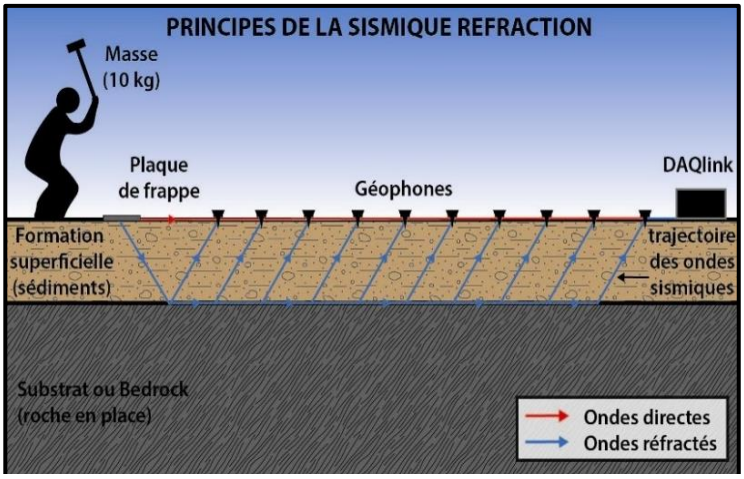


Figure 3. 7. : Principe de la tomographie par sismique réfraction.

une fréquence d'échantillonnage de 1000 Hz (Photo 3. 5., B). Les sources sismiques ont été une masse de 5 kg et un fusil chargé avec des balles à blanc (Photo 3. 5., C et D). Les sources sismiques ont été localisées tous les 5 m et les signaux cumulés 4 fois afin d'augmenter le rapport signal-sur-bruit. Un traitement en tomographie sismique a été réalisé sous MATLAB® pour obtenir une image en 2D des variations de vitesse du sous-sol. Les temps de premières arrivées des ondes sismiques (onde de compression P) ont été déterminés suivant la méthode proposée par Gance *et al*. (2012) et Gance (2014). Les vitesses des ondes P (*Vp*) ont été inversées par une approche Quasi-Newton qui utilise les volumes de Fresnel comme approximation du gradient (Gance *et al*., 2012). Certains profils ont été réalisés pour partie sur le substratum affleurant en surface afin de contraindre les vitesses sismiques dans la roche. Bien que l'on ait essayé de contraindre au maximum la marge d'erreur, l'interprétation des vitesses *Vp* ne peut être entièrement confirmée dans la mesure où aucune observation directe par sondage n'a pu être réalisée pour caler les profils. Faute de sondages géotechniques disponibles à proximité immédiate de la zone d'étude, les interprétations géophysiques fournies ci-après reposent essentiellement sur la littérature et les estimations de terrain. En sub-surface, les vitesses de propagation des ondes de compression (*Vp*) dans les marnes et les schistes non altérés sont communément admises entre 2000 et 4500 m/s (Carris et Van Asch, 1991 ; Malet, 2003 ; Grandjean *et al*., 2006 ; Hibert, 2008 ; Plumelle, 2013 ; Vulliet *et al*., 2016).

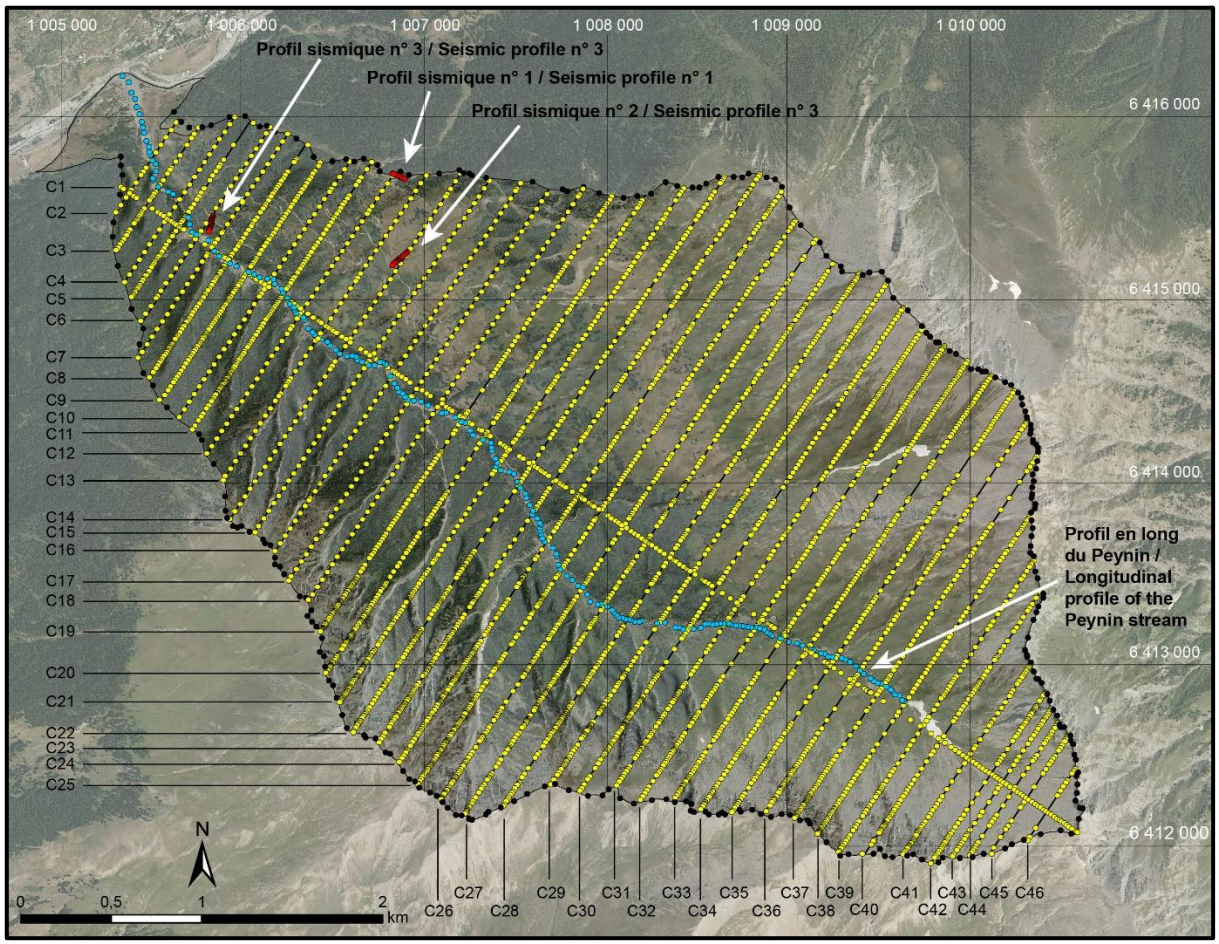


Figure 3. 8. : Carte de localisation des profils topographiques et des points utilisés pour modéliser l'épaisseur des sédiments stockés dans le bassin-versant du Peynin (Carlier et al.*, 2018a). Les coordonnées géographiques de la carte sont exprimées en Lambert 93.*

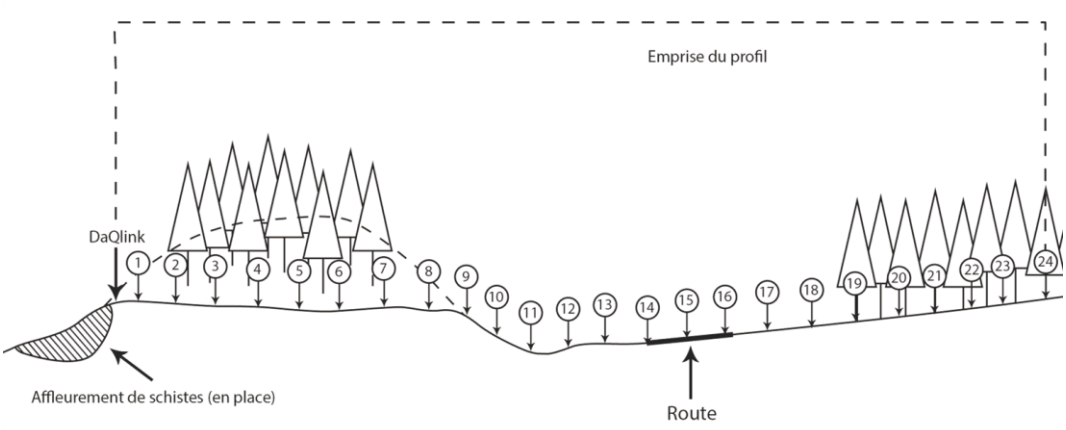


Figure 3. 9. : Topographie et organisation du dispositif de mesure pour le profil sismique n°1.

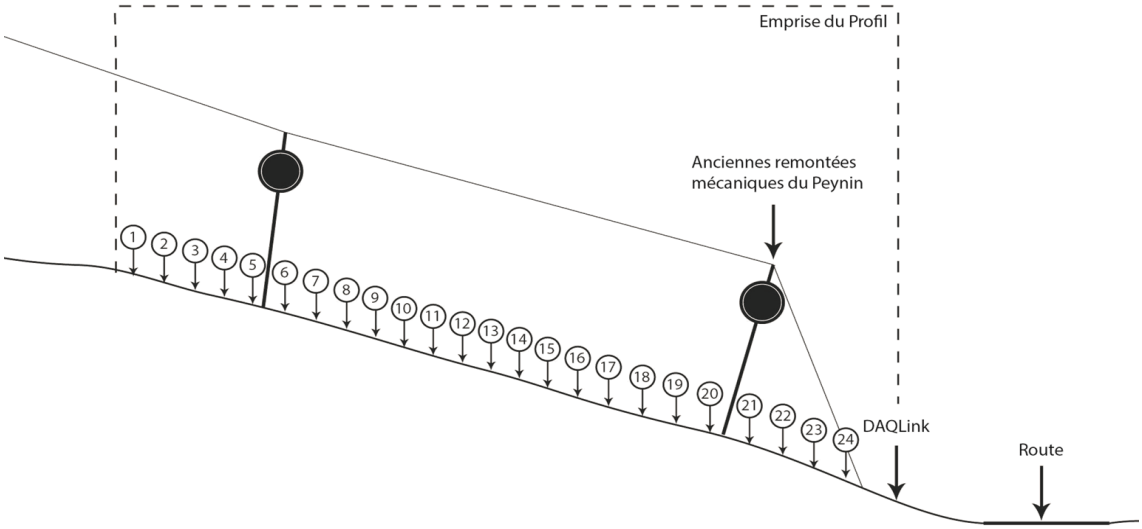


Figure 3. 10. : Topographie et organisation du dispositif de mesure pour le profil sismique n°2.

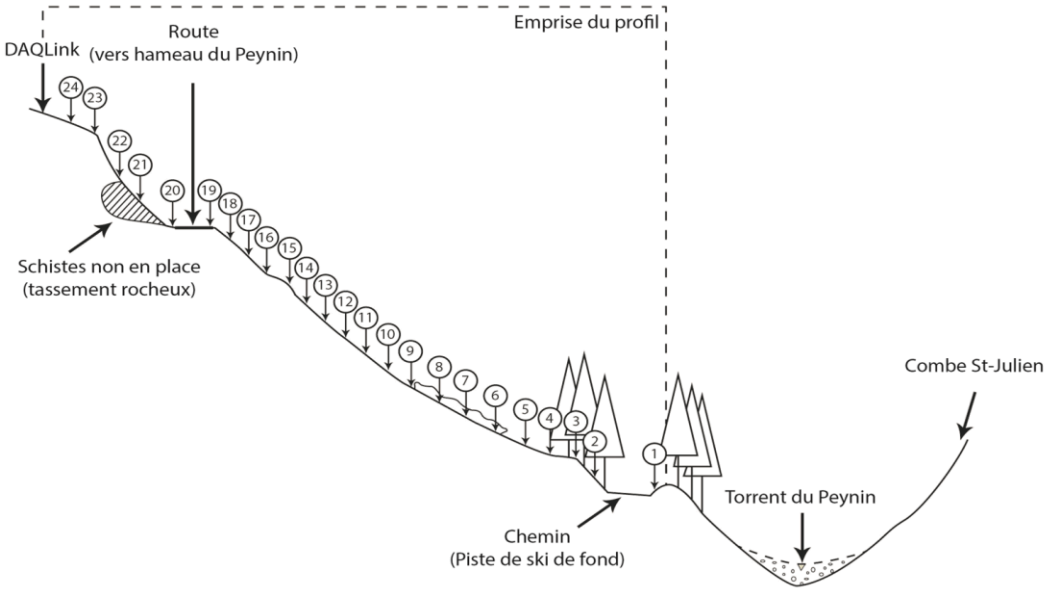


Figure 3. 11. : Topographie et organisation du dispositif de mesure pour le profil sismique n°3.

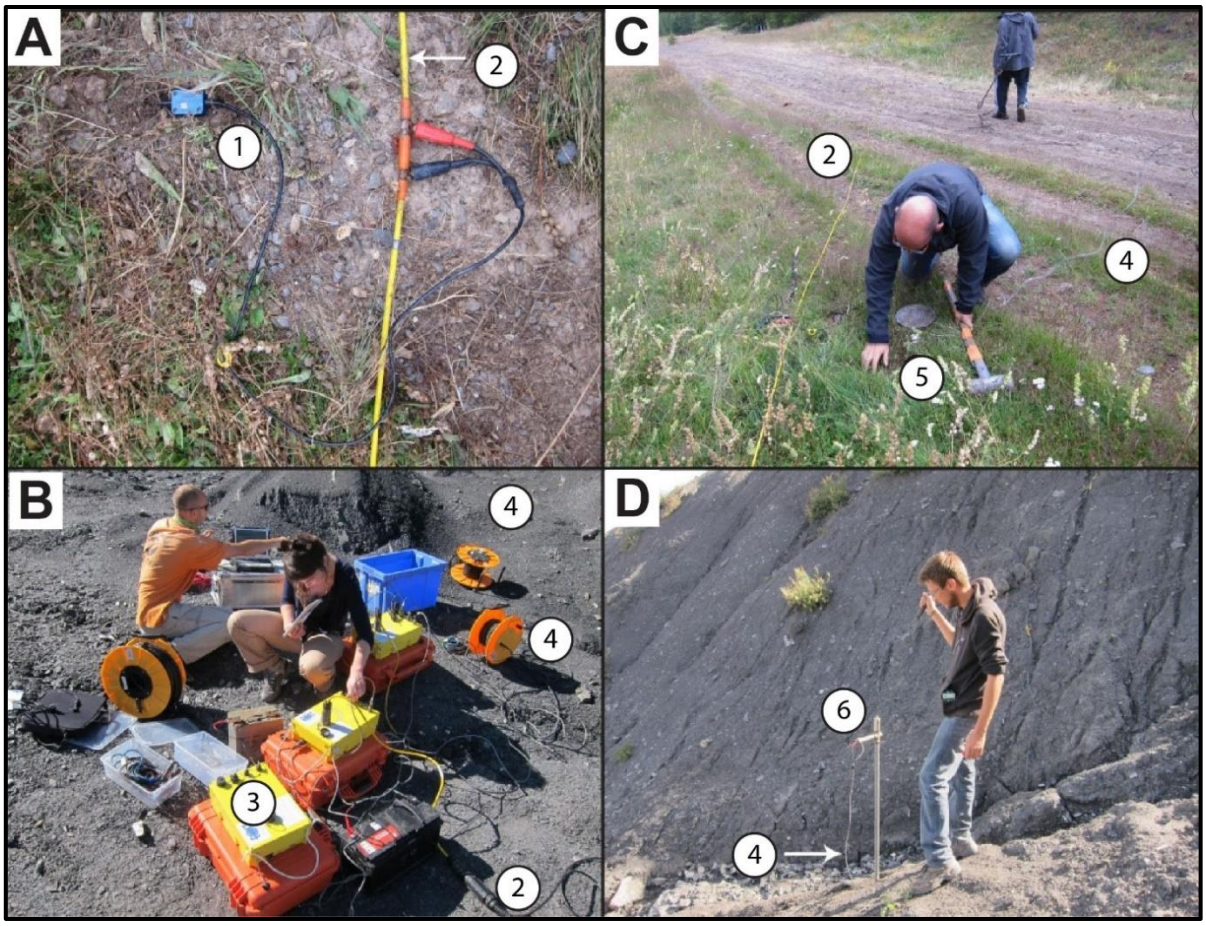


Photo 3. 5. : Appareillage utilisé pour la prospection géophysique par tomographie sismique : géophone (1) relié à une flûte sismique (2), elle-même reliée à une DaqLink (3) ; d'où part un trigger (4) relié soit à une masse munie d'un accéléromètre (5), soit à un fusil sismique (6).

Pour des schistes altérés, ces vitesses sont plutôt de l'ordre de 500 m/s à 2000 m/s, comme elles ont été observées sur la commune d'Aiguilles en versant de rive droite du Guil. Dans le cas du Peynin, les roches en place appartiennent à la série des schistes lustrés piémontais, qui sont des roches très replissées, fortement tectonisées et dont le faciès bleuté s'explique par une composition riche en micas. Issues des domaines de hautes pressions, ces roches tendent à se fracturer une fois portées à l'affleurement. La rétromorphose qui en a résulté puis la décompression post-glaciaire ont aggravé ce phénomène. Les vitesses de propagation des ondes sismiques (*Vp*) dans les schistes « sains » du Peynin sont donc vraisemblablement plus proches de la fourchette basse des 2000 m/s que de celle des 4500 m/s. Les vitesses des ondes P enregistrées dans le Peynin sont d'ailleurs comprises entre 300 m/s et 2500 m/s (Fig. 3. 12.).

Sur les profils réalisés, quatre couches de vitesse apparaissent : une première, assez fine, avec des vitesses comprises entre 300 m/s et 600 m/s ; une deuxième, plus épaisse, avec des vitesses comprises entre 600 m/s à 1500 m/s ; une troisième avec des vitesses mesurées entre 1500 m/s et 2000 m/s ; une quatrième avec des vitesses supérieures à 2000 m/s (Fig. 3. 12.). La première couche, proche de la surface, semble constituée de matériaux fortement remaniés, peu consolidés et très perméables. La deuxième couche semble également constituée de matériaux remaniés mais cette fois plus cohérents, donc moins perméables. La troisième couche semble correspondre à de la roche en place fracturée et la quatrième au substratum schisteux « sain ». Si l'on suit ce raisonnement, le substratum a vraisemblablement été atteint pour le profil n° 1 à une profondeur de 7,5 m (Fig. 3. 12., A).

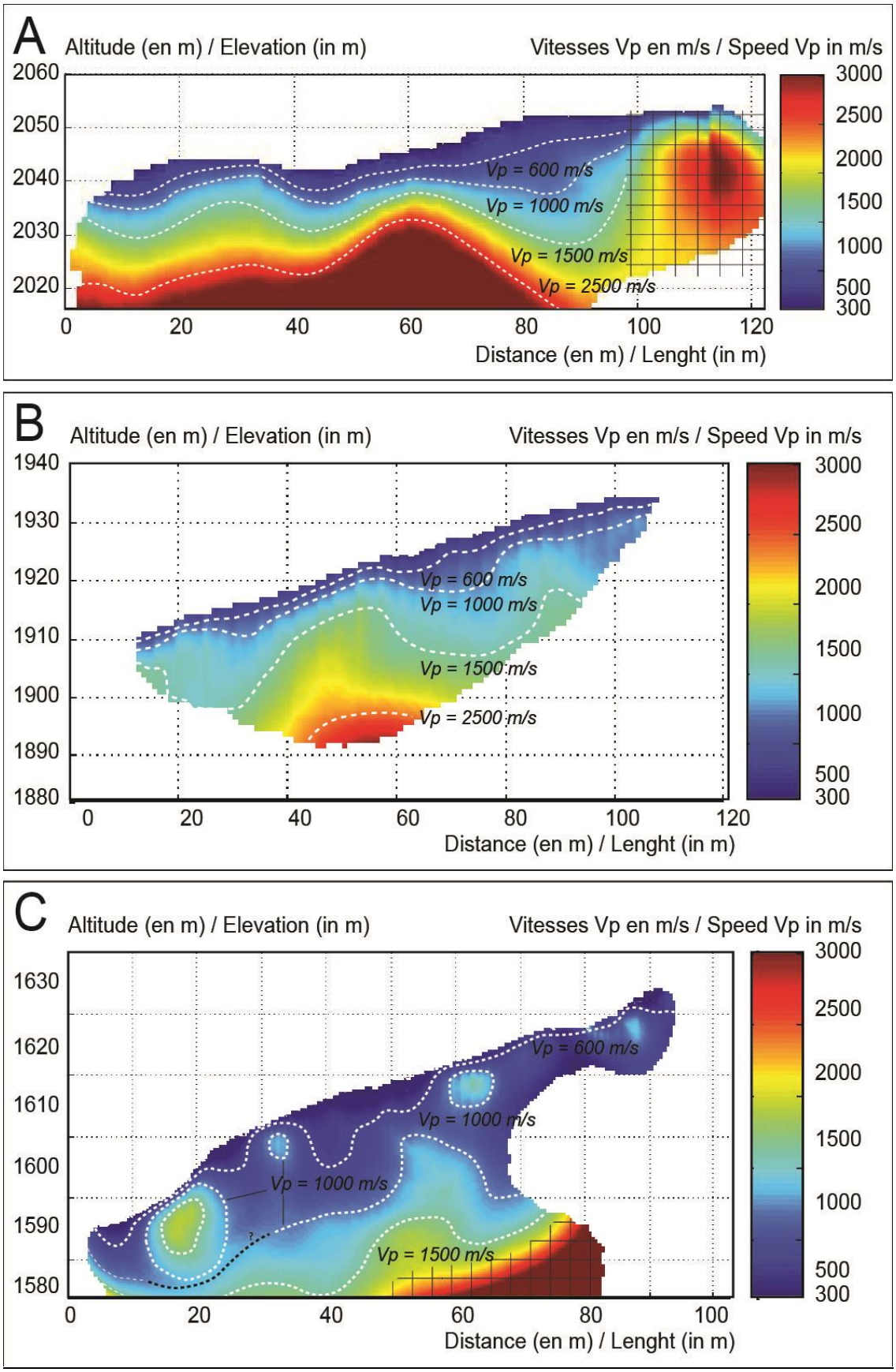


Figure 3. 12. : Résultats de l'inversion des vitesses (Vp) acquises par sismique réfraction dans le bassin du Peynin (algorithme Q-N), (Carlier et al., 2018a). Les zones hachurées correspondent aux valeurs exclues de l'analyse en raison de leur poids de Fresnel. A : Profil sismique n°1 ; B : Profil sismique n°2 ; C : Profil sismique n°3.

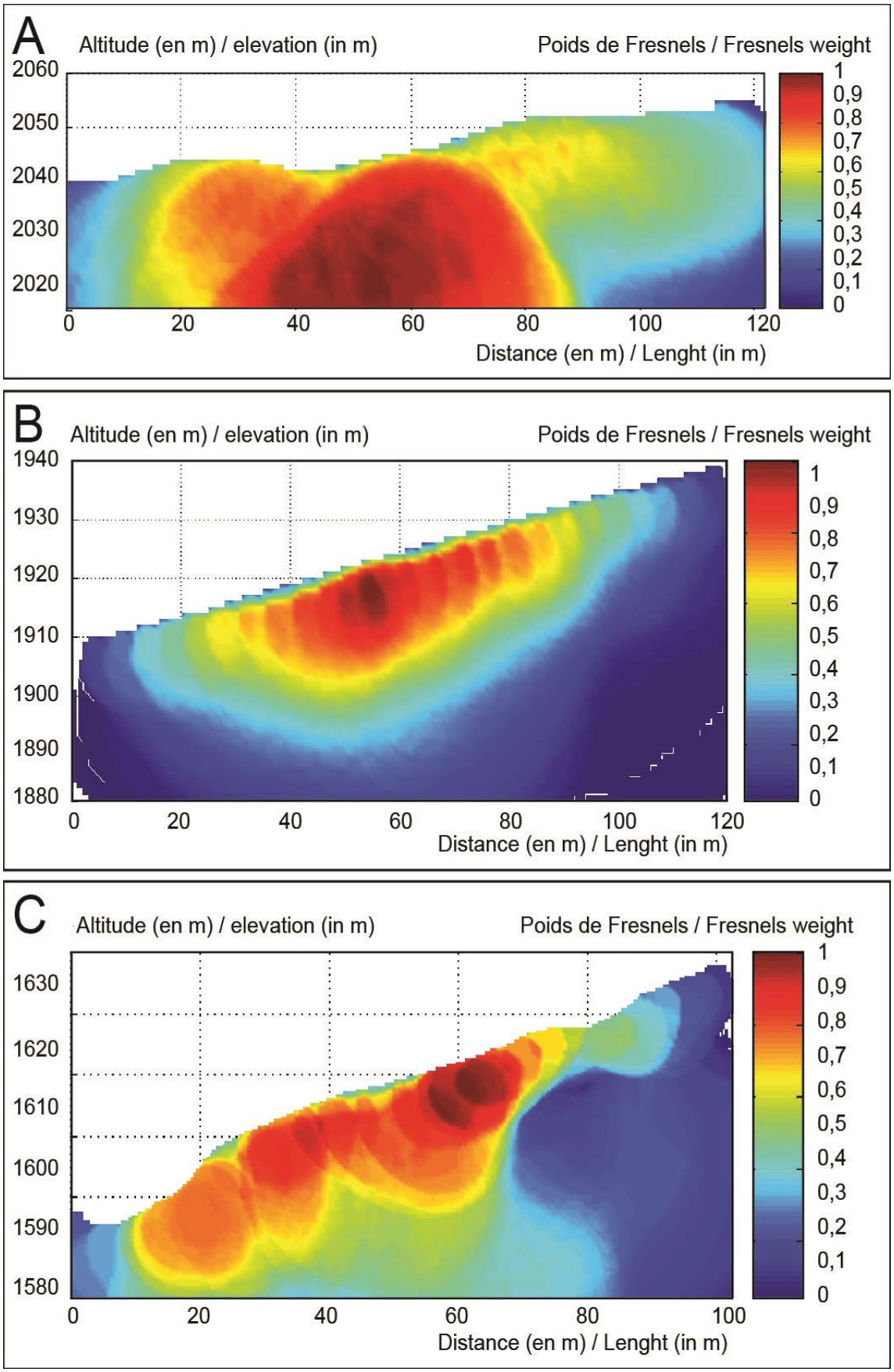


Figure 3. 13. : Volumes de Fresnel calculés pour les profils de sismique réfraction inversés, (Carlier et al.*, 2018a). A : Profil sismique n°1 ; B : Profil sismique n°2 ; C : Profil sismique n°3.*

Pour le profil n° 2 (Fig. 3. 12., B), celui-ci serait atteint à environ 11 m de profondeur. En revanche, pour le profil n° 3 (Fig. 3. 12., C), le substratum ne semble pas atteint. Les sensibilités calculées dans la partie supérieure du profil n° 1 (Fig. 3. 12., A) et dans la partie inférieure du profil n° 3 (Fig. 3. 12., C) sont faibles et ne permettent pas de disposer de résultats fiables pouvant être pris en compte dans l'interprétation (Fig. 13, A et C). Sur le profil n° 2, l'organisation verticale des vitesses sismiques peut être associée à la structure en marches d'escalier d'un glissement rotationnel (Fig. 3. 12., B), ce que tend à confirmer les observations de terrain. Sur le profil n° 3 (Fig. 3. 12., C), les noyaux de *Vp* plus élevés, inclus dans la seconde couche, pourraient s'expliquer par la présence de blocs issus de tassements rocheux (Fig. 3. 4.).

3. 2. Cartographie des épaisseurs de sédiment par modélisation du toit supposé du substratum rocheux

La première méthode utilisée pour estimer l'épaisseur des sédiments stockés dans le bassin du Peynin repose sur la modélisation statistique du toit du substratum à l'aide de fonctions polynomiales d'ordre 2 à 5. Cette méthode est directement inspirée de Hoffmann et Schrott (2002), Schrott et Adams (2002) et Schrott *et al.* (2003). Le produit de cette méthode s'exprime sous la forme d'un MNT (*i.e.*, « MNT bedrock ») qui, une fois soustrait au MNT actuel, permet d'obtenir une cartographie des épaisseurs de sédiment.

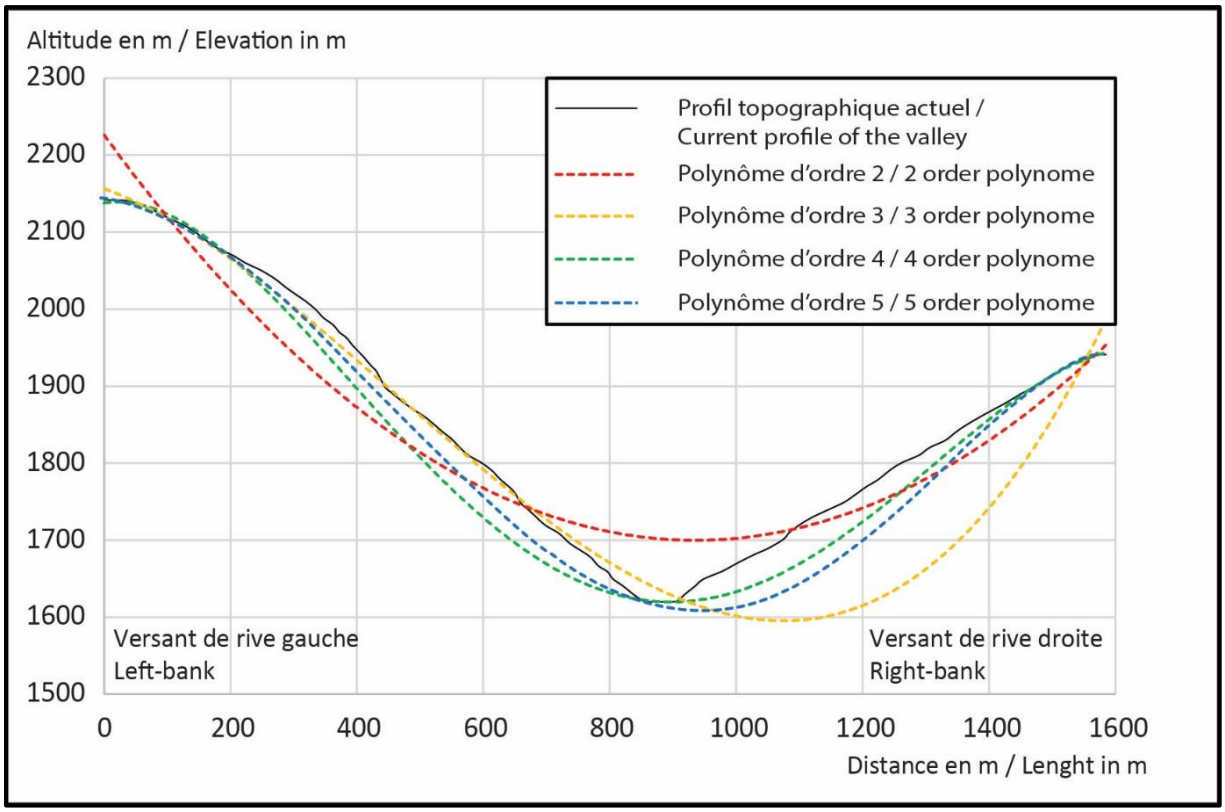


Figure 3. 14. : Principe et exemple d'application de la méthode basée sur l'interpolation de polynômes d'ordre 1 à 5 (Carlier et al.*, 2018a). Le profil représenté correspond au profil topographique n° 9 (noté C9 sur la Figure 3. 5.). Dans cet exemple, c'est le polynôme d'ordre 4 qui semble le plus plausible. Il a été obtenu à l'aide la formule : « $y = -0.00000000098906329442981 7x^4 + 0.0000033659212518404x^3 - 0.00300624528435378x^2 + 0.124725599206613x + 2137.86098140484$ » avec $R^2 = 0.999232516445872$. Notons toutefois que le polynôme d'ordre 5 est également vraisemblable.*

Pour chacun des 45 profils transversaux extraits du MNT (Fig. 3. 8.), des fonctions polynomiales d'ordre 2 à 5 ont été calculées sur Excel® à partir des points correspondant aux affleurements rocheux. Parmi les 4 polynômes calculés, seul le plus probable, car au plus proche de la réalité topographique, a été conservé (Fig. 3. 14.). Les nouveaux profils ont été importés ensuite dans ArcGIS® afin de servir de support à la modélisation d'un MNT figurant le toit supposé du substratrum (Fig. 3. 15.) Les épaisseurs résultant de l'interprétation des 3 profils sismiques ont été intégrées dans le processus de modélisation afin de contraindre l'interprétation des épaisseurs. L'espace entre les profils a ensuite été interpolé sur ArcGIS® en utilisant la méthode d'échantillonnage « krigeage ». Le krigeage a été sélectionné car c'est la méthode d'estimation optimale, au sens statistique du terme (Gratton, 2002). Le MNT produit a ensuite été soustrait au MNT actuel afin d'obtenir un raster figurant l'épaisseur des sédiments stockés dans le bassin. Des volumes ont ensuite été calculés à partir de cette carte en rapportant la surface du bassin aux épaisseurs calculées.

PT	PR	PT	PR	PT	PR	PT	PR
C2	3	C13	4	C24	3	C35	4
C3	2	C14	3	C25	3	C36	3
C4	4	C15	4	C26	3	C37	3
C5	2	C16	4	C27	3	C38	4
C6	4	C17	4	C28	4	C39	4
C7	4	C18	4	C29	3	C40	4
C8	4	C19	4	C30	2	C41	3
C9	4	C20	3	C31	4	C42	4
C10	4	C21	4	C32	3	C43	3
C11	4	C22	4	C33	2	C44	2
C12	4	C23	4	C34	3	C45	4
						C46	2

Tableau 3. 1. : Polynômes retenus pour l'analyse morphométrique des épaisseurs de sédiment. PT : Profil topographique ; PR : Polynôme retenu.

Pour chaque profil extrait du MNT actuel, 4 courbes polynomiales d'ordre 2 à 5 ont été calculées. Seules les courbes polynomiales les plus proches de la topographie actuelle du bassin ont été retenues pour la suite de l'analyse (Tab. 3. 1.). Avec l'outil krigeage d'ArcGIS®, un « MNT bedrock » (Fig.3. 15., A et B) a été produit par interpolation des valeurs altitudinales et longitudinales des 45 courbes polynomiales validées. Après soustraction du « MNT bedrock » au MNT actuel, une première cartographie des épaisseurs de sédiment a été établie (Fig. 3. 15., A et B). Elle affiche des résultats contrastés. Les valeurs d'épaisseur de sédiment obtenues sont comprises entre 0 et 217,7 m, avec une moyenne de 30,2 m. L'essentiel des sédiments apparaît stocké sur le versant de rive droite du Peynin (Fig. 3. 15., B). Les valeurs d'épaisseur les plus importantes (> 150 m) sont situées sur ce versant à hauteur des profils 22, 23, 24 et 28 (Fig. 3. 15., A). Sur le versant de rive gauche du Peynin, les valeurs d'épaisseur les plus fortes ont été calculées entre les profils 8 à 13 et 16 à 22 (Fig. 3. 15., A et B). Les épaisseurs calculées ont permis une première estimation des volumes totaux de sédiments stockés dans le bassin du Peynin à ≈0,460 km^3. Si l'on se réfère aux entités délimitées par la carte géomorphologique (Fig. 3. 4.), on obtient la répartition suivante (Tab. 3. 1.) : 78,88 % des sédiments sont stockés dans le complexe de glissements de terrain sur le versant de rive droite du Peynin et 6,86 % des sédiments sont stockés dans les dépôts d'éboulement sur le versant de rive gauche du Peynin. Près de 4,95 % des sédiments sont stockés au sein des tabliers d'éboulis dans les parties amont du versant et ≈2 % dans les cônes de déjection en contrebas des ravins torrentiels.

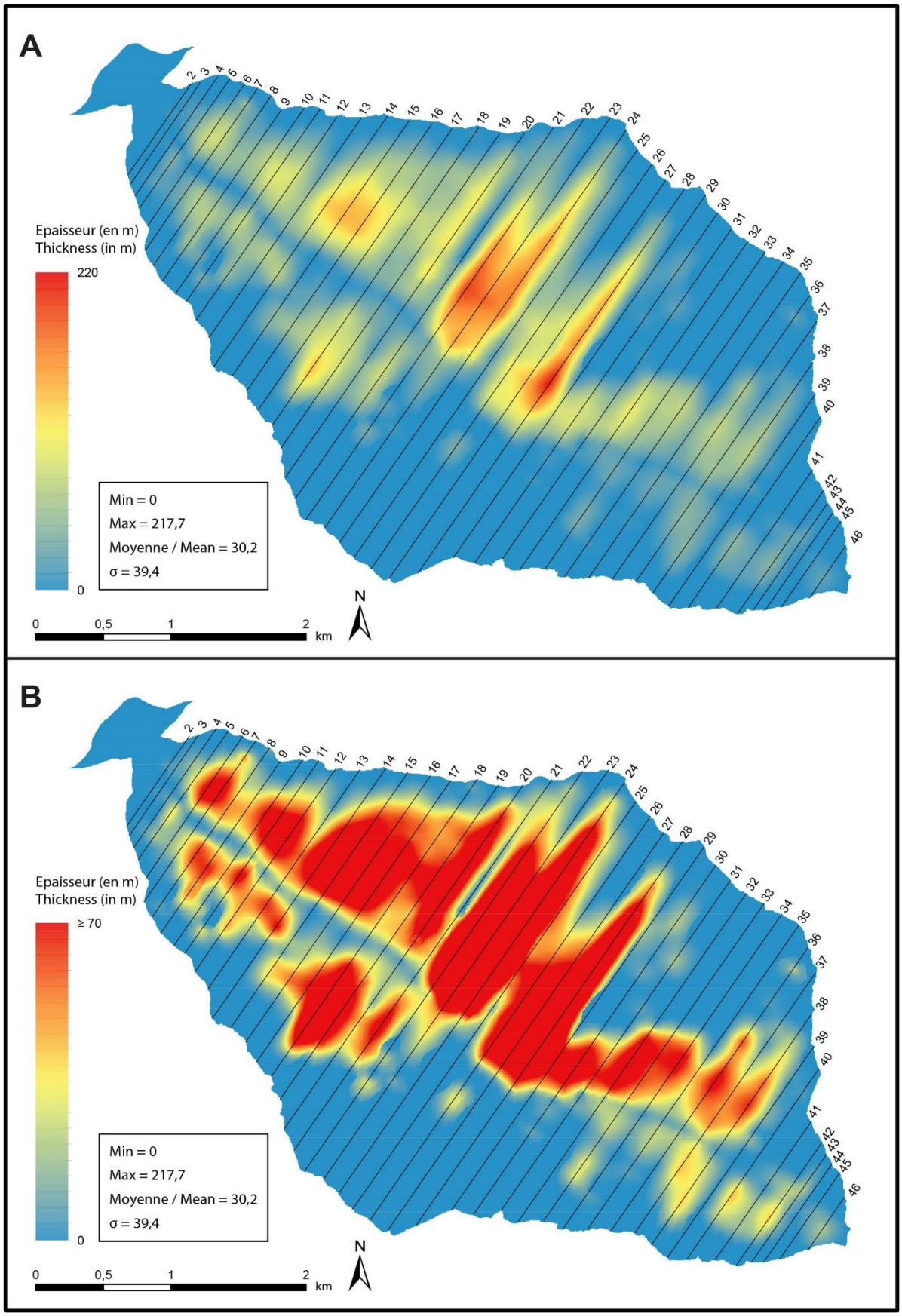


Figure 3. 15. : Cartographie des épaisseurs de sédiment modélisées d'après l'interpolation des 45 courbes polynomiales (méthode « Krigeage » ; Carlier et al.*, 2018a). A – sur une échelle de 0 à 220 m d'épaisseur ; B – sur une échelle de 0 à 80 m.*

3. 3. Cartographie de l'épaisseur des sédiments par analyse géologique et interprétation géomorphologique des formations superficielles

La seconde méthode s'appuie sur les observations de terrain. Elle est basée sur l'interprétation géologique et géomorphologique des 46 profils transversaux et longitudinaux extraits du MNT (Fig. 3. 8.). À partir des cartes géologiques (Fig. 3. 2.) et géomorphologiques (Fig. 3. 4.), des épaisseurs de sédiment probables ont été appliquées à l'ensemble des points figurant les profils extraits du MNT.

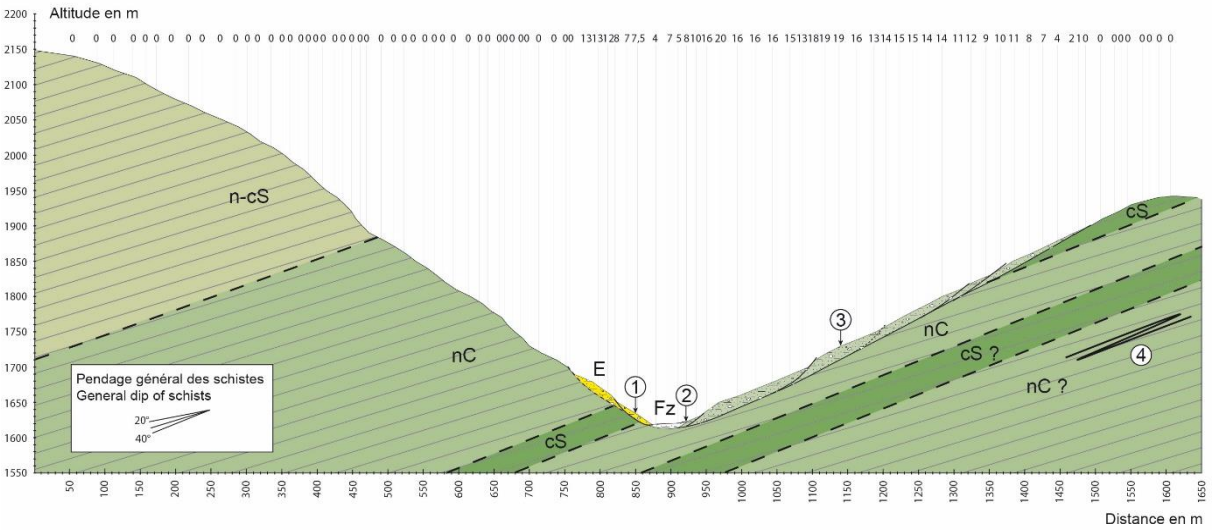


Figure 3. 16. : Principe et exemple d'application de la méthode basée sur l'interprétation géologique et géomorphologique de profils topographiques transversaux, (Carlier et al., 2018a) : n-Cs : calcschistes ; cS : schistes noirs ; nC : alternance schisto–calcaire ; GE : formations de pente composites (éboulis et moraines remaniées) ; Fz : alluvions ; (1) glissement–arrachement de bas de versant ; (2) terrasse de la crue de 1957 ; (3) glissement translationnel ; (4) alternance probable de nC et de Cs due au plissement de ces formations lors de l'orogenèse alpine.

Les épaisseurs ont été estimées en accord avec la structure géologique et la lithologie des formations en place ainsi qu'en tenant compte des caractéristiques des stocks sédimentaires. Des coupes géologiques sériées ont été réalisées afin de prolonger les couches géologiques affleurantes et de définir une profondeur maximale du substratum (Fig. 3. 12.). Une attention particulière a été portée à la lithologie afin de déterminer les couches géologiques susceptibles de se fracturer et/ou de glisser. Quand cela était possible, les plans de glissement ont été dégagés (niveaux plus argileux) afin d'obtenir des indications sur l'épaisseur des formations superficielles. En l'absence de ces niveaux repères, les épaisseurs ont été estimées à l'aide des formules géométriques décrites par Cossart et Fort (2008). Pour les grands complexes de glissements de terrain en rive droite du Peynin (glissements rotationnels superficiels emboîtés dans des glissements translationnels profonds), l'application des épaisseurs a été précédée d'une analyse minutieuse des talus et des lobes latéraux et frontaux (prolongement, calcul des différences altitudinales). Enfin, pour estimer l'épaisseur des sédiments stockés dans le fond de vallée, une analyse détaillée du profil en long du Peynin a été réalisée durant l'été 2016 (Fig. 3. 8.). Cette dernière a été menée en prenant en compte les contraintes liées à la nature et à la résistance des roches ainsi que les contraintes latérales exercées sur le chenal du Peynin par les cônes de déjection, les glissements de terrain et les tassements rocheux. Au total, 5058 indications d'épaisseur ont été renseignées sous la forme de points sur ArcGIS® (Fig. 3. 8.). Ces points ont permis de produire un raster figurant les épaisseurs de sédiment *via* l'utilisation de l'outil « krigeage » d'ArcGIS®. Les épaisseurs résultant de l'interprétation des trois profils sismiques ont été intégrées dans le processus de modélisation afin de contraindre l'interprétation des épaisseurs.

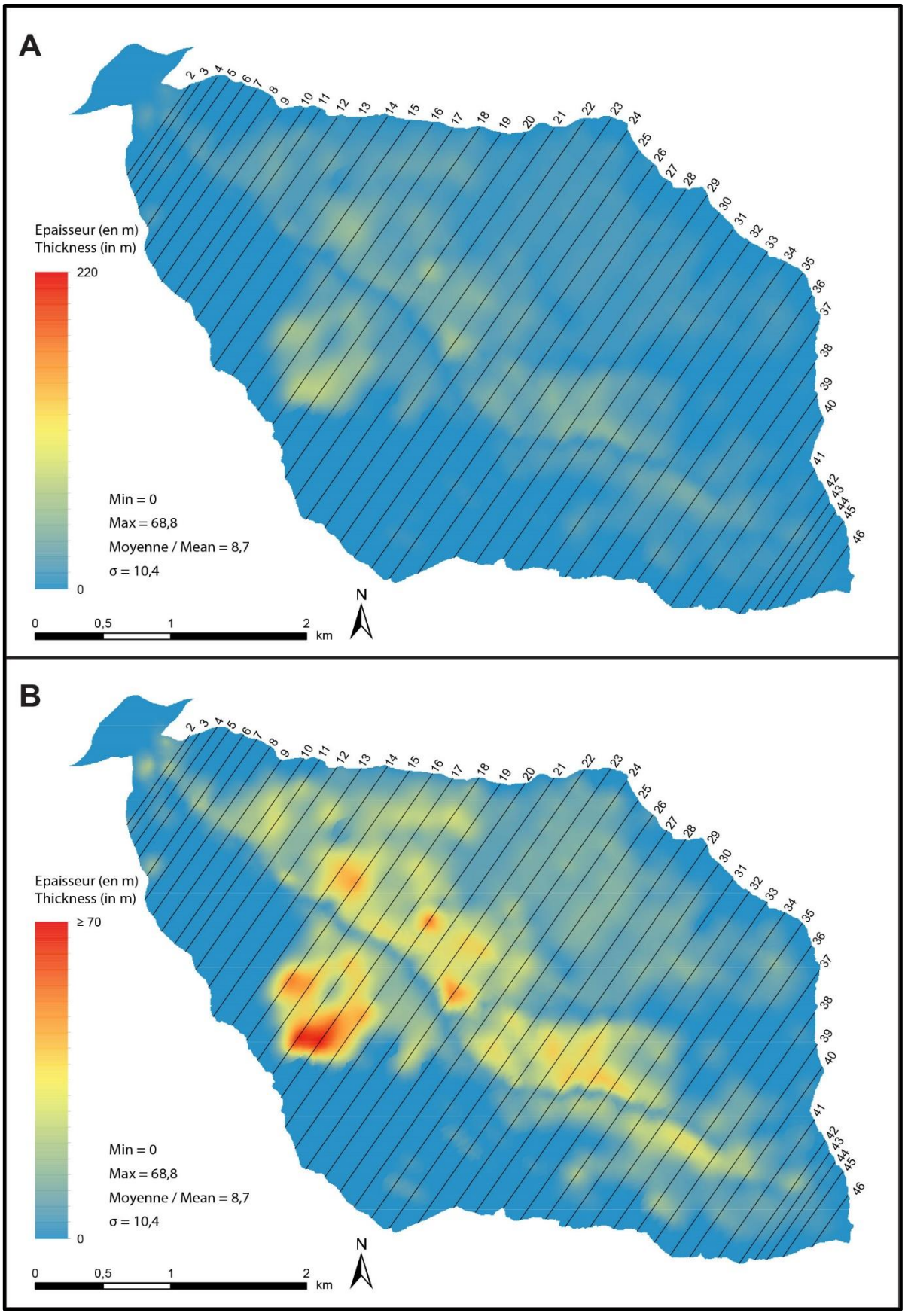


Figure 3. 17. : Cartographie des épaisseurs de sédiment modélisées d'après l'interprétation géologique et géomorphologique des 46 profils topographiques transversaux et longitudinaux (méthode « Krigeage »), (Carlier et al., *2018a). A – sur une échelle de 0 à 220 m d'épaisseur ; B – sur une échelle de 0 à 80 m.*

4870 valeurs d'épaisseur ont été mesurées suite à l'interprétation géologique et géomorphologique des profils extraits du MNT actuel (Fig. 3. 8.). Ces valeurs, interpolées avec l'outil « krigeage » d'ArcGIS®, ont permis de produire une seconde carte de l'épaisseur des sédiments stockés dans le bassin (Fig. 3. 18., A et B). Les valeurs d'épaisseur sont comprises entre 0 et 68,8 m pour une moyenne de 8,7 m. Leur répartition permet de dégager deux ensembles : (1) dans la partie centrale du versant de rive gauche, entre les profils 15 et 23 et (2) dans la partie inférieure du versant de rive droite, entre les profils 9 et 33 (Fig. 3. 18., B). Le premier ensemble représente les matériaux issus de l'éboulement et ceux stockés dans les cônes de déjection de la Peyronnelle et des Trois Arbres (Fig. 3. 4.). On observe les valeurs d'épaisseur les plus élevées (> 50 m) du modèle dans les dépôts d'éboulement. Le second ensemble illustre les matériaux glissés du versant de rive droite, plus épais en pied de versant qu'à proximité des crêtes (Fig. 3. 4.). Le volume total des sédiments stockés dans le bassin est estimé à ≈0,135 km^3 (Fig. 3. 18., A et B). Si l'on se réfère aux entités délimitées par la carte géomorphologique (Fig. 3. 4.), on obtient la répartition suivante : 67,22 % des sédiments sont stockés dans le complexe de glissements de terrain sur le versant de rive droite du Peynin ; 15,86 % des sédiments sont stockés dans les dépôts d'éboulement sur le versant de rive droite du Peynin ; 9,06 % des sédiments sont stockés au sein des tabliers d'éboulis dans les parties amont du versant ; 3,52 % des sédiments sont stockés dans les cônes de déjection, en contrebas des ravins torrentiels.

3. 4. Analyse comparative et discussion des résultats

Les deux modèles produits affichent des résultats contrastés en termes d'amplitude et de répartition des valeurs d'épaisseurs calculées. Les épaisseurs moyennes et maximales obtenues *via* la modélisation du toit supposé du substratum rocheux sont 3 fois supérieures aux valeurs obtenues par l'analyse géologique et l'interprétation géomorphologique des formations superficielles (Fig. 3. 15 et 3. 17.). Ces écarts se répercutent sur les estimations des volumes totaux de sédiments stockés dans le bassin. Selon la méthode employée, les volumes calculés varient du simple au triple.

La répartition des épaisseurs de sédiment suggère certaines similitudes entre les deux modèles. Dans les deux cas, l'essentiel des sédiments apparaît stocké dans les dépôts glissés du versant de rive droite et dans les dépôts d'éboulement du versant de rive gauche (Fig. 3. 4., 3. 15. et 3. 17.). À l'échelle du versant, les logiques de répartition sont pourtant très différentes. Les espaces où le modèle géostatistique indique des épaisseurs de sédiment élevées (> 50 m) coïncident avec les espaces où les différences entre les deux modèles sont les plus fortes (Fig. 3. 18.). Les différences d'épaisseur sont importantes sur la quasi-totalité du versant de rive droite et sur la partie aval du versant de rive gauche (Fig. 3. 18.). Ces différences sont maximales dans les parties hautes du versant de rive droite (Fig. 3. 19.). La comparaison entre les deux modèles montre une répartition plus cohérente des épaisseurs de sédiment dans le cas du modèle géomorphologique (Fig. 3. 18. et 3. 19.). Les écarts types calculés montrent une forte dispersion des valeurs d'épaisseur pour les deux modèles (Fig. 3. 15. et 3. 17.) mais, avec un écart type de 10,4 (contre 39,4 pour le modèle géostatistique), le modèle géomorphologique apparaît statistiquement plus homogène (Fig. 3. 15. et 3. 17.). Les grands ensembles glissés du versant de rive droite y apparaissent plus nettement, de même que les dépôts éboulés du versant de rive gauche et les cônes coalescents de la Peyronnelle et des Trois Arbres.

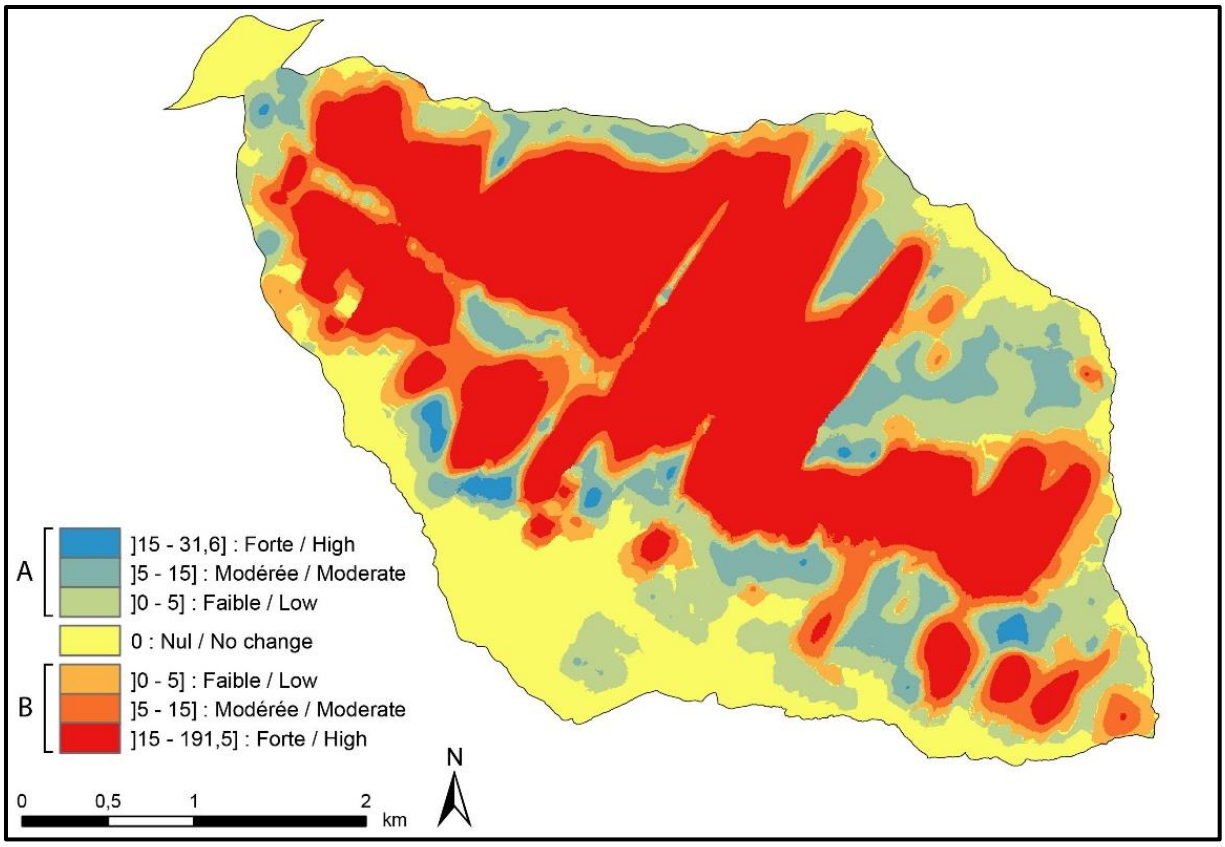


Figure 3. 18. : Comparaison des épaisseurs de sédiment obtenues à l'aide des méthodes géostatistiques et géomorphologiques (Carlier et al.*, 2018a). A – Zones où le modèle géomorphologique présente des épaisseurs supérieures au modèle géostatistique et différences d'épaisseur en mètres ; B – Zones où le modèle géostatistique présente des épaisseurs supérieures au modèle géomorphologique et différences d'épaisseur en mètres.*

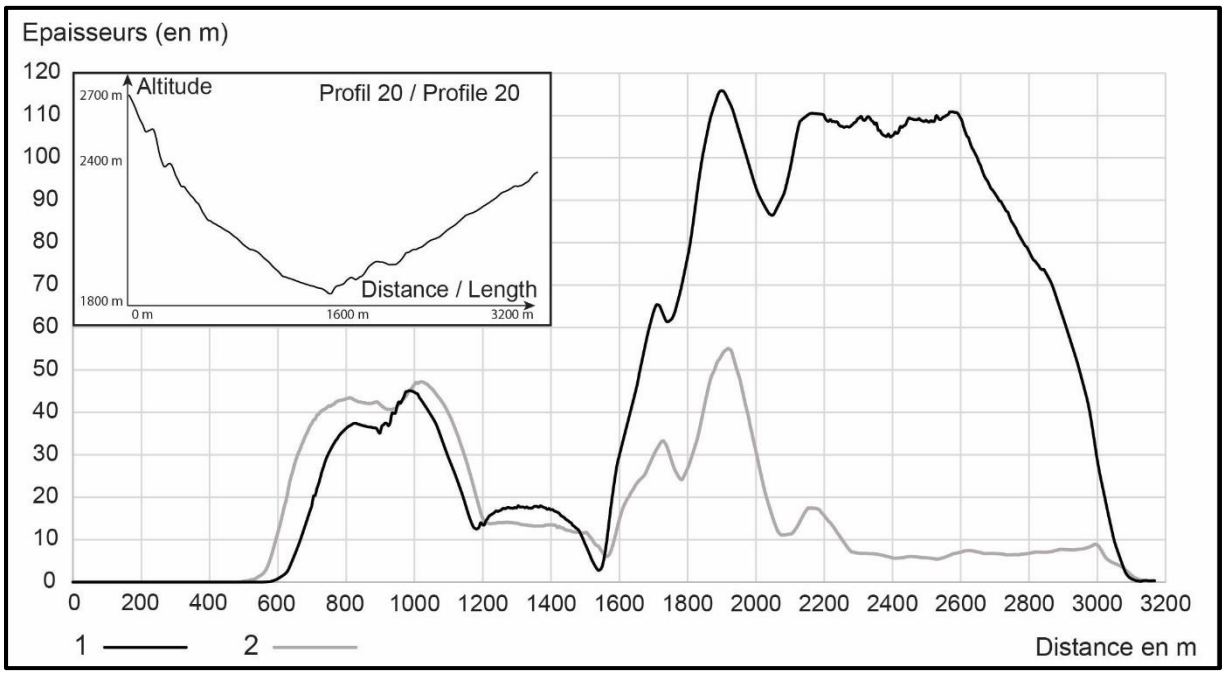


Figure 3. 19. : Confrontation sur un même profil des épaisseurs de sédiment estimées à l'aide des deux modèles. 1 : épaisseurs calculées par modélisation du toit supposé du substratum, épaisseurs calculées par interprétation géomorphologique et géologique.

La modélisation résultant de l'interpolation des courbes polynomiales montre des valeurs d'épaisseurs élevées en comparaison avec celles obtenues par l'approche géomorphologique (Fig. 3. 18. et 3. 19.). Au vu des connaissances accumulées sur la géologie du Peynin, les fortes épaisseurs modélisées sur le versant de rive droite (> 100 m) apparaissent peu vraisemblables (Fig. 3. 15.). L'orientation de la vallée du Peynin est perpendiculaire au pendage des schistes et les pendages mesurés sur le versant de rive droite présentent des similitudes avec ceux mesurés dans les roches en place (Fig. 3. 2 et 3. 4.). Dans ces conditions, la présence d'une couche épaisse de matériaux détritiques en rive droite du Peynin est à exclure. L'hypothèse selon laquelle le bassin présente une morphologie typiquement glaciaire, masquée en rive droite par les formations superficielles, ne semble donc pas se confirmer. Les fortes valeurs d'épaisseur relevées sur le versant de rive droite apparaissent influencées par seulement quelques profils (15, 20, 22, 23, 24, 28 ; Fig. 3. 15.). Les valeurs extrêmes sont donc liées avant tout aux polynômes sélectionnés (Tab. 3. 1.). Des incertitudes de même nature ont été observées par Shroder *et al*. (1999), Schrott *et al*. (2003) et Otto *et al*. (2008). Dans le cas du Peynin, on peut interpréter les fortes épaisseurs sur le versant de rive droite comme des surestimations dues au manque d'affleurements géologiques sur lesquels appuyer l'interpolation des polynômes. Si la méthode des polynômes semble efficace pour représenter le versant de rive gauche du Peynin, elle apparaît peu adaptée pour représenter le versant de rive droite, faute de points de calage.

Stocks sédimentaires	Surface (en m²)	Surface (en %)	Volume (en m³) (1)	Volume (en %) (1)	Volume (en m³) (2)	Volume (en %) (2)
Terrains glissés (dont glissements-arrachements)	6740100	44,2	372700217	84,1	89786178	67,9
Éboulis actifs	3222757	21,1	20480088	4,6	10631498	8,0
Éboulis végétalisés	1109665	7,3	7922562	1,8	5411156	4,1
Dépôts d'éboulement	661877	4,3	31511649	7,1	21025218	15,9
Cônes torrentiels	589272	3,9	9202563	2,1	4718787	3,6
Surfaces d'accumulation torrentielles (hors cônes)	133529	0,9	1256056	0,3	615745	0,5

Tableau 3. 2. : Répartition des volumes de sédiments stockés dans le bassin-versant du Peynin. 1 : Volumes calculés d'après l'interpolation des 45 courbes polynomiales ; 2 : Volumes calculés d'après l'interprétation géologique et géomorphologique des 46 profils topographiques transversaux et longitudinaux.

La modélisation résultant de l'interprétation géologique et géomorphologique des 46 profils topographiques semble plus réaliste (Fig. 3. 17. et 3. 19.). Les résultats montrent une distribution des épaisseurs conforme avec les formes identifiées sur la carte géomorphologique (Fig. 3. 4. et 3. 17.). La répartition des épaisseurs à l'échelle du bassin est plus homogène (Fig. 3. 18.) et permet une réduction des artéfacts liés à l'interpolation des valeurs d'épaisseurs (puits et valeurs aberrantes). En contrepartie, cette méthode présente des limites. Elle est ainsi nettement plus longue à mettre en œuvre que la méthode des polynômes. Plusieurs étapes ne peuvent être automatisées : cartographie géologique et géomorphologique, interprétation des profils, mesures des épaisseurs, homogénéisation des résultats et implantation des valeurs d'épaisseur dans un SIG. Par ailleurs, l'utilisation de cette méthode nécessite une connaissance approfondie du terrain d'étude afin de limiter les incertitudes liées à la méthodologie. Cette méthode relève de l'approche experte et s'appuie sur des postulats pas toujours faciles à vérifier. Sur le versant de rive droite affecté par de vastes glissements de terrain, il a parfois été difficile d'estimer précisément l'épaisseur des formations superficielles. Il est donc possible qu'une partie des épaisseurs évaluées soit sous-estimée. Les épaisseurs moyennes estimées pour le Peynin sont du même ordre de grandeur que celles calculées pour la vallée du Rheintal par Schrott *et al*. (2003) et Otto (2006) Otto *et*

al. (2009). En l'état, les deux méthodes utilisées restent cependant difficiles à valider. Il était donc préférable de donner un intervalle plutôt qu'une valeur unique. On retiendra comme borne supérieure de cet intervalle les résultats obtenus à travers l'interpolation des courbes polynomiales, et comme borne inférieure les résultats obtenus par interprétation géologique et géomorphologique. Des modifications d'ordre méthodologique pourraient permettre une représentation plus fidèle de la morphologie du bassin du Peynin. Les travaux futurs s'orienteront vers l'élaboration d'un modèle géostatistique hybride présentant une forme hyperbolique en rive gauche et une forme rectiligne en rive droite (avec un angle conforme au pendage des schistes). De plus, les profils réalisés dans cette étude suivent un échantillonnage spatial homogène et rectiligne (profils parallèles). Or, dans le cas du Peynin, il semble que les processus géomorphologiques (*via* le relais de processus d'érosion, transfert et accumulation) s'organisent préférentiellement selon une logique amont/aval. L'analyse de profils réalisés dans le sens de la plus grande pente, plutôt que découlant d'un découpage arbitraire, devrait permettre de préciser la géométrie du sous-sol. Enfin, un sondage placé à proximité du profil de sismique réfraction n° 1 pourrait améliorer les résultats de l'analyse géophysique en permettant une meilleure corrélation des vitesses *Vp* avec les différentes strates du sous-sol du Peynin.

4. Conclusion

L'objectif de ce travail était double : (1) caractériser les stocks sédimentaires du Peynin et (2) évaluer leur surface, leur épaisseur et leur volume.

En termes de surface, les principaux stocks sédimentaires du Peynin sont constitués par les vastes complexes de glissements de terrain en rive droite du Peynin (44 %) et les éboulis situés au niveau des crêtes (28 %). Viennent ensuite les dépôts d'éboulement (4 %), les cônes de déjection (4 %) et, enfin, les surfaces d'accumulation torrentielles (1 %).

Le modèle élaboré à l'aide des courbes polynomiales indique des épaisseurs moyennes de ≈30 m contre ≈9 m pour le modèle issu de l'interprétation géologique et géomorphologique. Les volumes totaux de sédiments stockés dans le Peynin ont été évalués à respectivement 0,460 km^3 et 0,135 km^3. Dans les deux cas, l'essentiel des sédiments est stocké sur le versant de rive droite du Peynin, dans les complexes de glissements de terrain. Les autres stocks sédimentaires sont formés par les dépôts d'éboulement, les tabliers d'éboulis et les cônes de déjection.

L'analyse comparative des résultats montre une répartition plus cohérente des sédiments pour le modèle issu de l'interprétation géologique et géomorphologique. En dépit d'une répartition des sédiments moins fine et de probables surestimations, le modèle fondé sur les polynômes présente l'avantage d'être plus facile et plus rapide à mettre en œuvre. Les deux modèles restent cependant difficiles à valider en l'absence de sondages directs. Le choix a donc été fait de conserver les deux estimations pour proposer un intervalle aux volumes sédimentaires stockés dans le bassin du Peynin.

Les stocks sédimentaires étant désormais caractérisés, la prochaine étape pour établir le budget sédimentaire à l'échelle du bassin du Peynin consiste à analyser et à quantifier les transferts sédimentaires à l'intérieur du bassin.

Chapitre 4 : Analyse des transferts sédimentaires, établissement d'un budget sédimentaire sur 20 ans et analyse de la connectivité fonctionnelle du bassin du Peynin

Introduction

Dans le chapitre précédent, nous avons procédé à une analyse détaillée des stocks sédimentaires du Peynin (nature, localisation, surface, épaisseur et volume). L'étape suivante consiste à identifier, à spatialiser et à quantifier les processus géomorphologiques à l'origine des transferts sédimentaires. Après un bref descriptif des principaux processus à l'œuvre dans le bassin du Peynin et de leur rôle dans la cascade sédimentaire, nous expliciterons les méthodes employées pour quantifier les transferts dus à chacun des processus identifiés. Cette étape complétée, nous présenterons le détail du budget sédimentaire du Peynin établi sur une période de 20 ans (1998 – 2018). Le choix de cette période de 20 ans résulte de la volonté d'exploiter au maximum les données accumulées depuis 2000 par les équipes de recherche de l'université Paris-Diderot / PRODIG tout en s'affranchissant de la crue de 1957 pour laquelle les données sont lacunaires. Une fois le budget sédimentaire établi, nous proposerons une analyse exploratoire de la connectivité fonctionnelle du bassin du Peynin. Cette ultime étape vise à apporter un point de vue plus dynamique en interrogeant l'efficience de la cascade sédimentaire du Peynin sur un pas de temps plus long.

1. Formalisation de la cascade sédimentaire

Les processus à l'œuvre dans le bassin du Peynin sont multiples : érosion mécanique et physico-chimique, mouvements gravitaires (glissements de terrain, avalanches...), torrentialité, etc. Tous ces processus ont un rôle dans le transfert des matériaux vers l'exutoire du bassin. Cela étant, ils n'ont pas tous la même emprise temporelle et spatiale ni la même efficacité. L'objectif de cette partie est d'identifier ces processus, leur importance et de les replacer dans la cascade sédimentaire.

Le bassin- versant du Peynin est affecté par de nombreux processus géomorphologiques (Fig. 3. 2.). Dans les cirques à l'amont du bassin, les phénomènes d'éboulisation et d'écroulement sont les processus dominants (Photo 3. 2.). Les vastes tabliers d'éboulis qu'ils ont constitués sont sujets à une solifluxion active (E1inhorn, 2003 ; Carlier, 2013 ; Photo 4. 1., A).

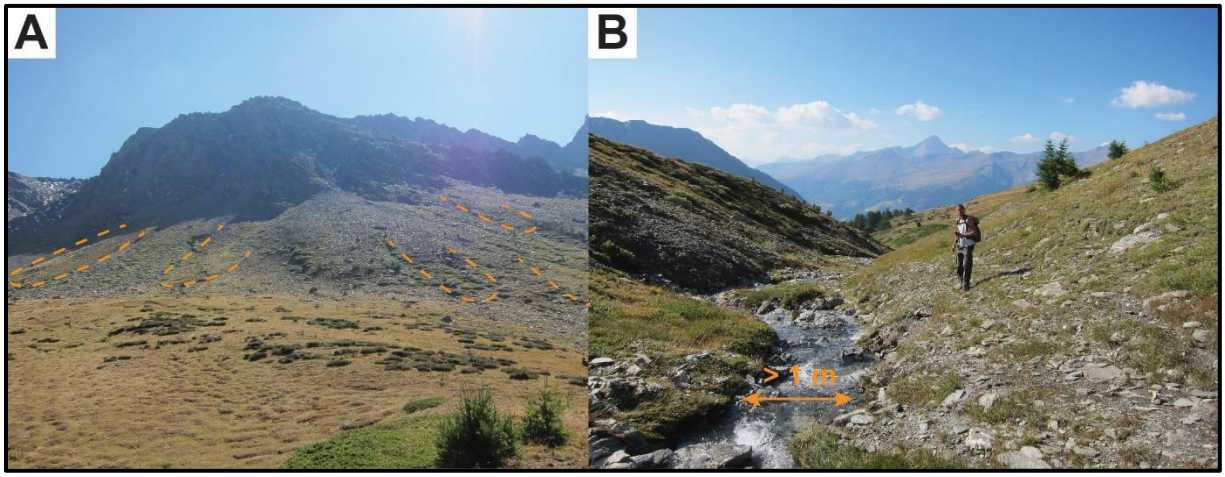


Photo 3. 1. : Amont du bassin-versant du Peynin. A – Loupes de solifluxion et morphologie en vaguelette sur les tabliers d'éboulis du cirque du Fond de Peynin ; B – Le torrent du Peynin dans le cirque du Fond de Peynin, un ruisseau à la compétence et à la capacité morphogène limitées.

Au printemps, les avalanches de neige en plaque y sont fréquentes en raison des surfaces planes formées par les tabliers d'éboulis (Photo 4. 2., A). En dépit de cela et des importants volumes sédimentaires stockés, la contribution au transport solide de la partie amont du bassin du Peynin semble faible car les écoulements y sont peu concentrés (Koulinski, 2000 ; Photo 4. 1., B).

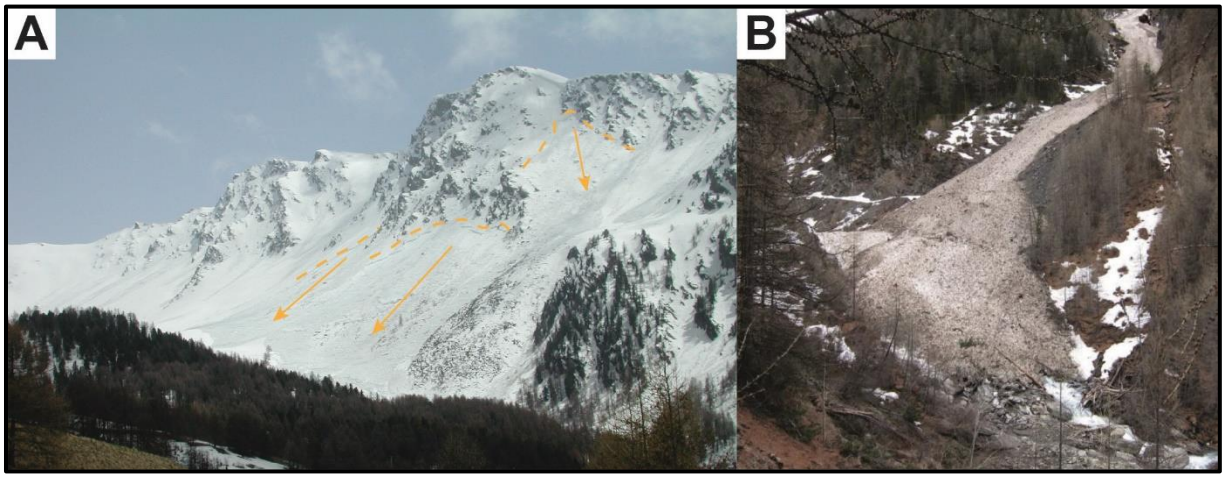


Photo 3. 2. : Avalanches dans le bassin du Peynin. A – Avalanche en plaque dans le cirque du Fond de Peynin ; B – Avalanche de neige humide en contrebas du ravin des Arbres.

Au sortir du cirque de Fond de Peynin, les processus dominants diffèrent d'un versant à l'autre. En rive droite, les glissements de terrain translationnels et rotationnels et les phénomènes de reptation sont prépondérants (Photo 3. 1. ; Koulinski, 2000 ; Carlier, 2013). Les matériaux issus des grands glissements translationnels sont affectés par de nombreux glissements rotationnels superficiels et sont soumis à une solifluxion active attestée par une topographie bosselée (terrassettes et pieds de vache) et la présence de « forêts ivres » (Photo 3. 1., B). Soumis à des précipitations intenses, les dépôts glissés ont tendance à engendrer de nombreuses coulées boueuses (visibles sur les photographies aériennes de juin 1957). En pied de versant, les matériaux glissés sont repris par le cours d'eau. En période de hautes eaux, les sapements de berge contribuent à déstabiliser le versant glissé (Photo 4. 3., A).

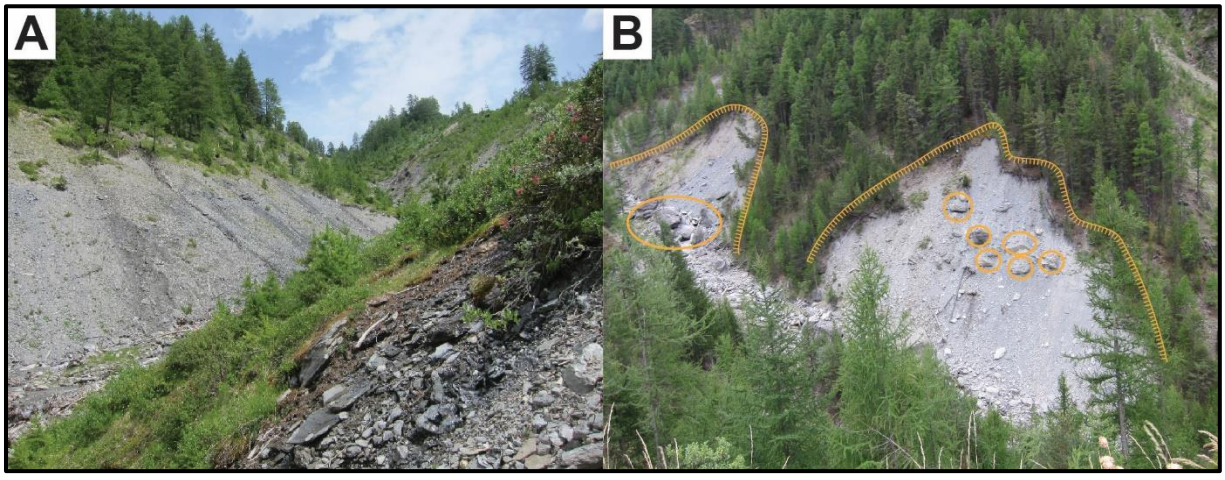


Photo 4. 3. : Glissements-arrachements de bas de versant le long du torrent de Peynin. A – Sapement de berge au pied d'un glissement-arrachement de bas de versant face au vallon de Rasis ; B – Glissement-arrachement de grande ampleur en amont des gorges du Peynin. Notez la taille des blocs insérés dans les matériaux plus fins qui compose les sédiments glissés.

En raison des ravins qui l'incisent, le versant de rive gauche est principalement affecté par des processus liés aux écoulements hydro-gravitaires (Fort *et al.*, 2002 ; Einhorn, 2003 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005 ; Carlier, 2013 ; Graff *et al.*, 2018 ; Fig. 3. 2.). La torrentialité y est effective tout au long de l'année, contribuant à former de nombreux cônes de déjection à l'exutoire des ravins (Photo 3. 3., A). Au printemps, des avalanches de neige lourde se produisent fréquemment dans ces ravins, entraînant dans leur emprise sédiments et débris végétaux abandonnés lors de la fonte sur les cônes ou dans le fond de vallée (Photo 4. 2., B).

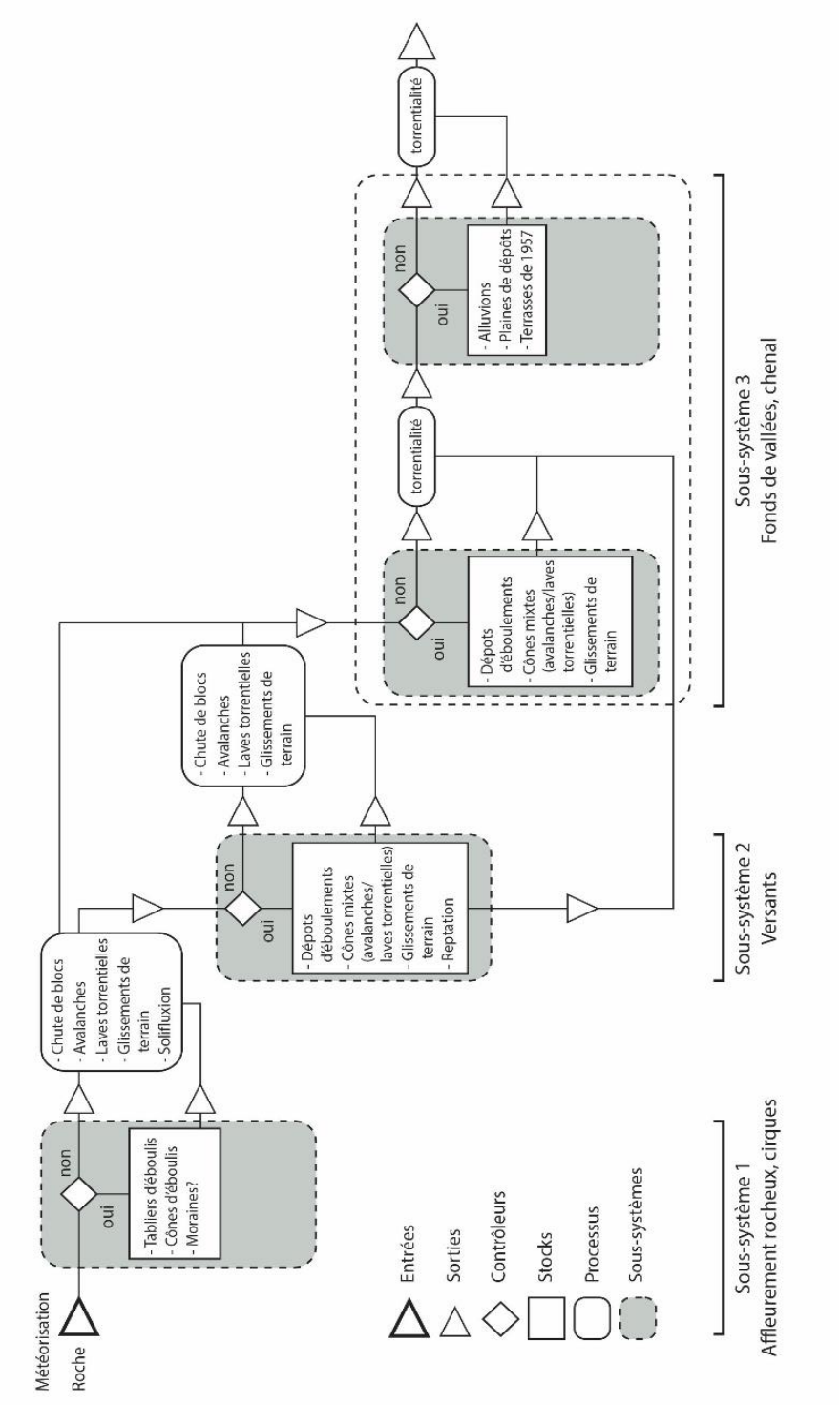


Figure 4. 1. : Cascade sédimentaire du Peynin (adaptée d'après Chorley et Kennedy, 1971).

Dans certaines conditions plus rares, des laves torrentielles à matrice granulaire peuvent se déclencher depuis les têtes de bassin (Fort *et al.*, 2002 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005 ; Graff *et al.*, 2018). Lors de tels événements, les volumes mobilisés sont considérables. À titre d'exemple, en 2000 et 2015, ce sont respectivement près de 12 000 m^3 (Fort *et al.*, 2002 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005) et 9100 m^3 (Graff *et al.*, 2018) qui ont été mobilisés par la seule Peyronnelle (Fig. 3. 4.). Les matériaux mis en mouvement par les laves torrentielles restent en partie stockés dans les ravins, sont déposés sur les cônes torrentiels ou rejoignent directement le fond de vallée (Graff *et al.*, 2018 ; Photo 4. 4.). Au vu des observations de terrain, les laves torrentielles apparaissent comme le processus contribuant le plus aux apports de sédiments fins et grossiers du Peynin.

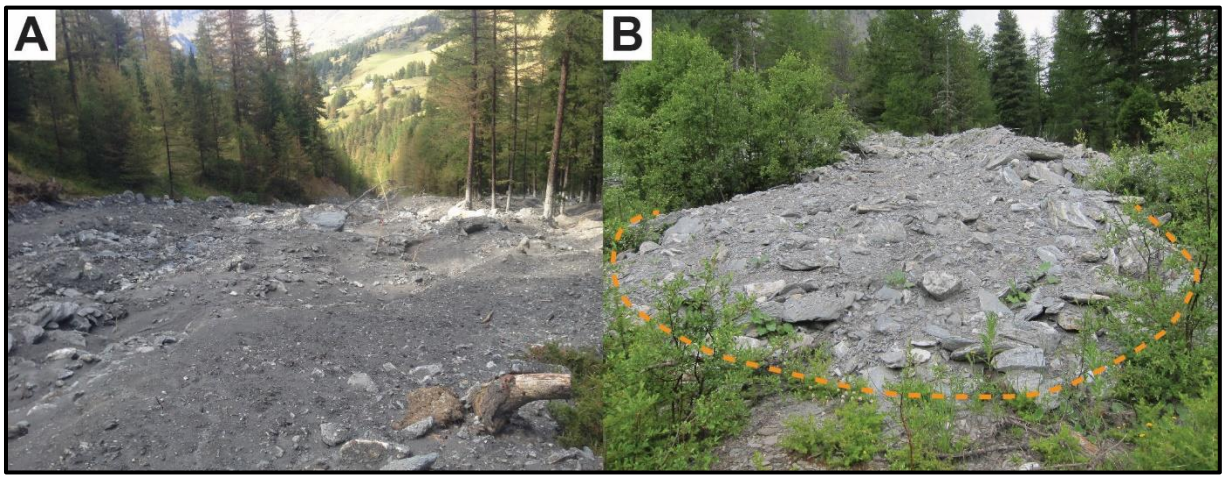


Photo 4. 4. : Dépôts de lave torrentielle dans la partie basse du versant de rive gauche du Peynin. A – Dépôts de lave torrentielles dans le ravin des Arbres ; B – Lobe frontal de lave torrentielle à matrice granulaire en contrebas du ravin de la Peyronnelle (photos : gauche, K. Graff ; droite, B. Carlier).

Plus en aval, à l'entrée des gorges du Peynin, les processus liés à la torrentialité cèdent la place aux processus purement gravitaires. La contribution des versants est importante en rive droite comme en rive gauche et l'on observe de nombreux blocs éboulés et des glissements-arrachements de pied de versant particulièrement actifs (Photo 4. 3., B). Associés aux stocks décrits précédemment, ces phénomènes forment un exemple-type de cascade sédimentaire en trois sous-systèmes, telle que décrite par Chorley et Kennedy (1971 ; Fig. 4. 1.).

Dans la présente sous-partie, les principaux processus géomorphologiques œuvrant dans le bassin ont été identifiés : avalanches, glissements de terrain, laves torrentielles et activité torrentielle. Cette tâche accomplie, il a été possible de formaliser une première cascade sédimentaire du Peynin. L'étape suivante pour établir le budget sédimentaire consiste à quantifier les transferts sédimentaires relatifs à chacun des processus identifiés.

2. Quantification des transferts sédimentaires

Les observations réalisées sur le terrain ont permis d'identifier les processus géomorphologiques jouant un rôle clé dans la cascade sédimentaire du Peynin. Soit *via* la production de sédiments (météorisation, éboulisation), soit *via* le stockage et le déstockage des sédiments (avalanches, laves torrentielles, torrentialité, etc.). Dans cette sous-partie, nous insisterons sur quatre processus spécifiques : (1) le processus d'éboulisation, qui affecte les parois rocheuses de la partie amont du bassin ; (2) les avalanches, qui jouent un rôle dans la remobilisation des sédiments stockés sur les versants ; (3) les laves torrentielles, qui contribuent pour beaucoup aux apports de sédiments fin et grossiers sur les cônes et dans le fond de vallée du Peynin ; (4) l'érosion latérale due aux écoulements

du Peynin et de ses affluents, qui remobilise les sédiments issus des glissements de terrain. Pour quantifier ces transferts sédimentaires, plusieurs méthodes et outils ont été mobilisées : analyse bibliographique, expertise géomorphologique, analyse spatiale et mesures de terrain (granulométrie, mesures hydrauliques, suivi de la charge grossière des torrents à l'aide de transpondeurs passifs, calcul des volumes sédimentaires).

2. 1. Contribution de la météorisation et de l'éboulisation à la production sédimentaire

Dans la partie amont du bassin-versant du Peynin, les parois rocheuses produisent des sédiments sous les effets de la météorisation. Ces sédiments prennent la forme de fines argileuses et de plaquettes décimétriques, quand il s'agit de roches de type « schistes lustrés », et de gélifracts ou de blocs quand il s'agit de calcaires, de roches vertes ou de quartzites (Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005 ; Carlier, 2013 ; Carlier *et al.*, 2018a ; Graff *et al.*, 2018). Lorsque la pente est relativement modérée (32° en moyenne ; Francou, 1988, 1989, 1991), les matériaux érodés forment des éboulis au pied des parois rocheuses. Dans le cas du Peynin, les stocks sédimentaires formés par les éboulis apparaissent comme peu connectés au système géomorphologique actuel (Koulinski, 2000 ; Carlier *et al.*, 2018a). Du fait de leur énergie cinétique, les blocs les plus volumineux peuvent parcourir des distances importantes et se retrouver directement dans le lit du Peynin ou dans celui de l'un de ses affluents. Quand la pente est plus forte (> 40°), les sédiments produits par éboulisation vont aller engraisser des stocks intermédiaires (pentes, cônes de déjection, ravins torrentiels). C'est surtout le cas sur le versant de rive gauche du Peynin où ces stocks vont constituer des réserves de matériaux aisément mobilisables par les avalanches ou les laves torrentielles (Koulinski, 2000 ; Einhorn, 2003 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005 ; Carlier, 2013 ; Graff *et al.*, 2018).

Dans l'optique d'établir le budget sédimentaire du bassin du Peynin, il était essentiel de quantifier ces apports de matériaux au sein du système géomorphologique. Il existe plusieurs méthodes pour quantifier la production sédimentaire dans un petit bassin-versant : cubage des éboulis accumulés au pied des parois rocheuses, mesure du recul des parois rocheuses à l'aide de repères ou *via* la photogrammétrie, usage de la technologie LIDAR, calcul des volumes sédimentaires par analyse morphométrique (Tab. 4. 1.). La plupart de ces méthodes nécessitent un suivi sur plusieurs années et un accès aisé aux parois rocheuses. Dans le cas du Peynin, nous avons choisi de ne pas réaliser de telles actions du fait d'un accès restreint aux affleurements rocheux et du caractère irrégulier des missions menées sur le terrain.

Pour estimer la quantité de sédiments injectés dans le système géomorphologique du Peynin, nous avons donc opté pour une approche experte basée essentiellement sur la bibliographie et la cartographie (Tab. 4. 1.). À ce jour, Il n'existe aucune mesure sur le recul des parois rocheuses dans le bassin-versant du Guil. Pour mener l'analyse, il nous a donc fallu faire appel à des études menées sur d'autres secteurs des Alpes (Barsch, 1977 ; Pech, 1986 ; Francou, 1988, 1991 ; Kaiser, 1992 ; Rovera, 1993 ; Coutard et Ozouf, 1996 ; Delanoy et Rovera, 1996). La lithologie du bassin du Peynin étant relativement homogène, nous nous sommes concentrés sur les vitesses d'érosion mesurées sur des parois schisteuses. La bibliographie donne plusieurs indications à ce sujet. L'ouvrage de référence publié par Pech (1986) indique des vitesses d'érosion de l'ordre de 500 mm/an sur des parois schisteuses situées dans le Val d'Ossola, dans les Alpes italiennes. Au regard des études plus récentes, ces taux apparaissent fortement exagérés ; Delanoy et Rovera (1996) suggèrent des taux d'ablation des schistes de l'ordre de quelques dixièmes de mm tout au plus. Avec une valeur moyennée de 0,6 mm/an, la valeur donnée par Kaiser (1992) apparaît plus réaliste. Dans le bassin du Peynin, nous avons opté pour la valeur de 0,8 mm/an, mesurée par Coutard et Ozouf (1996). En effet, tout en étant proche de la valeur mesurée par Kaiser (1992), la méthode de quantification présentée dans ces travaux apparaît comme plus robuste sur

le plan méthodologique et scientifique. Pour estimer la production sédimentaire due à l'éboulisation en termes de volume sédimentaire, ce taux de 0,8 mm/an sera appliqué à l'ensemble des parois rocheuses identifiées sur la carte géomorphologique du Peynin.

Contexte géomorphologique		Contexte de la mesure			Vitesse d'érosion			Référence
Processus	Lithologie	Période de mesure	Lieu	Méthode	Mini	Maxi	Moyenne	Auteur et date
Éboulisation	Schistes lustrés	Actuelle	Val d'Ossola (Alpes centrales italiennes)	Repères placés sur le terrain, en bordure de couronnes d'arrachement	-	-	500	Pech, 1986
Éboulement, éboulisation	Gneiss et micaschistes	Actuelle	Suisse	Repères placés sur le terrain, en bordure de couronnes d'arrachement	0,6	5,5	2,5	Barsch, 1977
Éboulisation	Gneiss	Actuelle	Combe de Laurichard, 2500-2800 m (Hautes-Alpes, France)	Cubage des débris accumulés au pied des parois sur une période de quelques années	0,05	0,25	-	Francou, 1988, 1993
Éboulisation	Gneiss	Post-glaciaire	Combe de Laurichard, 2500-2800 m (Hautes-Alpes, France)	Cubage des éboulis accumulés depuis le Fini-Würm	-	-	1	Francou, 1988
Éboulisation	Quartzite	Actuelle	Roc du Diable, 2400 m (La Plagne, Savoie, France)	Cubage des débris piégés au pied des parois sur 3 années	0,01	0,25	-	Rovéra, 1990
Éboulement, éboulisation	Quartzite	Post-glaciaire	Roc du Diable, 2400 m (La Plagne, Savoie, France)	Cubage des éboulis accumulés depuis le Fini-Würm	0,1	0,6	-	Rovéra, 1990
Éboulisation	Schistes lustrés	Actuelle	Domaine supra-forestier des Alpes occidentales du nord, > 2800 m (Alpes du Nord, France)	Volumes de matériau en transit rapporté à l'ensemble de la superficie située à l'amont d'un point donné	-	2,4	0,6	Kaiser,1992
Éboulisation	Schistes lustrés	Post-glaciaire	Domaine supra-forestier des Alpes occidentales du nord, > 2800 m (Alpes du Nord, France)	Estimation du recul des parois schisteuses sur 15 000 ans	-	-	1,2	Kaiser,1992
Éboulisation	Calcaire	Actuelle	Chamechaude, Grande Chartreuse, 2000 m (Isère, France)	Cubage des débris piégés au pied des parois durant une année	0,1	0,3	-	Rovéra et Poulain, 1995
Éboulisation	Schistes lustrés	Actuelle	-	-	-	-	Quelques dixièmes de mm	Delannoy et Roveira, 1996

Tableau 4. 1. : Synthèse bibliographique des vitesses d'érosion des parois rocheuses alpines (d'après Delannoy et Rovera, 1996, complétée*).*

2. 2. Contribution des avalanches

Une part importante du bassin-versant du Peynin est soumise aux avalanches (Fig. 4. 2.). Les observations réalisées sur le terrain semblent indiquer une fréquence annuelle pour la plupart des emprises cartographiées. C'est particulièrement vrai pour les avalanches qui se produisent dans le cirque du Fond de Peynin et dans les ravins du versant de rive gauche du Peynin (Carlier, 2013).

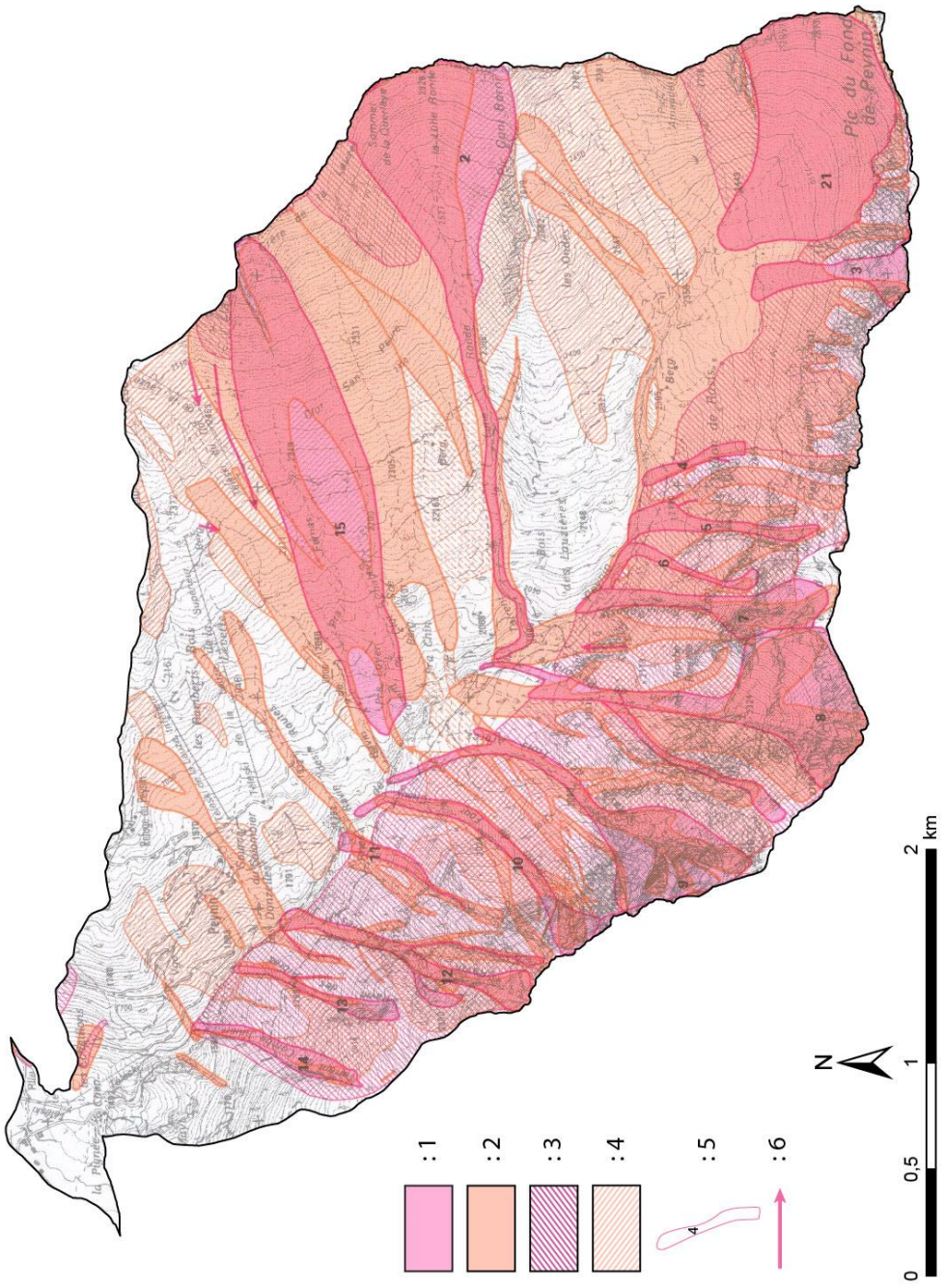


Figure 4. 2. : Cartographie des zones avalancheuses avérées ou supposées dans le bassin-versant du Peynin (CLPA-05, IRSTEA, 2001, mise à jour en 2016). 1 – avalanches identifiées d'après une enquête de terrain ; 2 – avalanches identifiées via photo-interprétation ; 3 – zones avalancheuses (terrain et photo-interprétation) ; 4 – zones potentiellement avalancheuses ; 5 – avalanches avérées et numéro d'identification dans la CLPA, 6 – coulées avalancheuses.

Dans le Fond de Peynin, les avalanches prennent naissance directement sur les éboulis et non sur les parois, qui sont trop raides pour stocker de la neige (Photo 4. 2., A). Plus en aval, la neige s'accumule dans les ravins et sur les apex des cônes de déjection (Carlier, 2013). La période de stockage est généralement brève sur les pentes raides des ravins. La neige est rapidement remobilisée par des avalanches ou des coulées neigeuses qui vont construire, au pied de chaque ravin, de gros cônes de neige mêlés de débris (sédiments et végétaux ; Photo 4. 2., B). Ces avalanches peuvent contribuer à déstabiliser le manteau neigeux présent à l'apex des cônes de déjection et engendrer des avalanches de plus grande ampleur qui vont avoir un effet destructeur sur les mélézins situés en contre-bas (Photo 4. 5.). D'un point de vue géomorphologique, les avalanches les plus efficaces sont celles qui affectent le manteau neigeux sur toute son épaisseur (avalanches de fond).

Ces avalanches ont la capacité de remobiliser les sédiments stockés à la surface des tabliers d'éboulis et/ou dans le fond des ravins. Ce type d'avalanche se produit surtout en début d'hiver, avant la formation du couvert neigeux sur les éboulis, et au printemps quand le manteau neigeux entame sa fusion. Au cœur de l'hiver, on observe surtout des avalanches superficielles, sans grands impacts géomorphologiques.

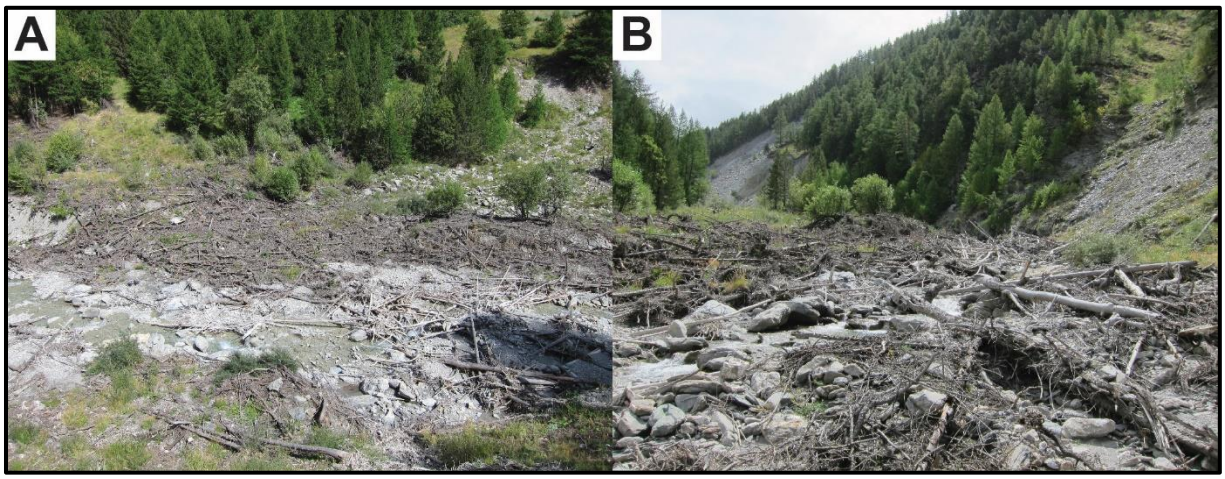


Photo 4. 5. : Accumulation d'arbres arrachés par des avalanches au pied du Ravin des Arbres. A – Vue depuis le Ravin des Arbres ; B – Vue depuis le fond de vallée du Peynin.

Le rôle morpho-sédimentaire des avalanches est difficile à établir dans le bassin du Peynin. Les données manquent, en particulier celles portant sur les distances parcourues, la fréquence des avalanches selon leur taille et, surtout, les volumes de sédiment transférés. De la même façon que pour estimer les valeurs d'érosion des parois rocheuses (cf. *supra* 3. 1. 2. 1.), nous avons donc opté pour une approche experte combinant bibliographie, observations de terrain et cartographie. Divers auteurs se sont penchés sur le rôle morpho-sédimentaire des avalanches (Jäckli, 1957 ; Rapp, 1960 ; Miagkov, 1967 ; Caine, 1974 ; Luckman, 1977 ; 1978 ; Hétu et Vandelac, 1989 ; André, 1990 ; Tab. 4. 2.). Ces travaux mettent en évidence d'importants effets de site et une forte variabilité interannuelle des taux d'accumulation de sédiments dus aux avalanches et coulées neigeuses (Tab. 4. 2.). Les taux d'accumulation annuels moyens varient de quelques dixièmes de mm/an (Miagkov, 1967 ; Caine, 1974 ; Luckman, 1978 ; André, 1990) à près de 11 mm/an (Jäckli, 1957). Les observations de terrain réalisées dans le bassin du Peynin tendent à indiquer que l'on se situe ici plutôt dans la gamme basse. Pour estimer le rôle des avalanches dans la cascade sédimentaire du Peynin, nous avons choisi de conserver le taux d'accumulation moyen de 0,3 mm/an calculé par André (1990).

Zone d'étude	Vitesse d'érosion (en mm/an)			Références
Lieu	Min.	Max.	Moyenne	Auteurs et date
Haut-Rhin, Suisse	-	-	10,62	Jäckli, 1957
Scandinavie, Norvège	-	-	1,48	Rapp, 1960
URSS	0,3	1	0,5	Miagkov (*in* Tushinskiy 1967)
Colorado, USA	0,04	0,05	-	Caine, 1974
Rocheuses du Canada	0	5	-	Luckman, 1977
Rocheuses du Canada	0	29,42	0,6 - 4,8	Luckman, 1978
Gaspésie, Canada	-	-	5	Hétu et Vandelac, 1989
Spitzberg, Norvège	0,04	8,13	0,3	André, 1990

Tableau 4. 2. : Synthèse bibliographique des taux d'accumulation des sédiments relatifs aux avalanches.

Ce taux présente l'avantage de s'appliquer aussi bien aux avalanches pelliculaires hivernales qu'aux avalanches de fond printanières (André, 1990). En outre, ce taux semble le plus réaliste au vu des retours de terrain. Pour estimer les transferts sédimentaires dus aux avalanches en termes de volume, ce taux de 0,3 mm/an sera appliqué aux surfaces de dépôts des avalanches connectées directement avec le torrent du Peynin ou l'un de ses affluents.

2. 3. Contribution des laves torrentielles

Les laves torrentielles occupent une place centrale dans les transferts sédimentaires internes au bassin du Peynin (Koulinski, 2000 ; Fort *et al.*, 2002 ; Einhorn, 2003 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005 ; Carlier, 2013 ; Carlier *et al.*, 2018a ; Graff *et al.*, 2018). Elles assurent le lien entre les zones de production et/ou de stockage intermédiaire (éboulis, éboulement, avalanche) et le chenal du Peynin (Graff et *al.*, 2018). Dans le Peynin, elles sont relativement peu fréquentes mais elles mobilisent de grandes quantités de matériaux (Einhorn, 2003 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005 ; Graff *et al.*, 2018). Au cours des 20 dernières années, il ne s'est produit que deux événements de lave torrentielle dans le Peynin : celui des 12-14 juin 2000 (Fort *et al.*, 2002 ; Einhorn, 2003 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005) et celui du 9 août 2015 (Carlier *et al.*, 2018a ; Graff *et al.*, 2018). Ces deux événements ont fait l'objet d'un intense suivi au cours duquel un certain nombre de données ont pu être récoltées.

2. 3. 1. Les laves torrentielles de juin 2000

Durant l'événement hydro-climatique de juin 2000, les fortes précipitations ont entraîné le déclenchement de laves torrentielles dans la plupart des sous-bassins supérieurs du Peynin : torrents de la Forêt, du Bois, du Chamois, de la Marmotte, de Roche Rousse, de la Peyronnelle, des Trois Arbres et du Four à Chaux (Tab. 4. 3. ; Einhorn, 2003). Parmi ces sous-bassins, c'est celui de la Peyronnelle (≈1 km²) qui a le plus contribué aux transferts de sédiments par lave torrentielle. Les travaux menés à l'occasion de cet événement (Fort *et al.*, 2002 ; Einhorn, 2003 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005) ont permis d'estimer les volumes de débris déposés sur le cône de déjection de la Peyronnelle à près de 12 000 m³ (Tab. 4. 3. ; Fig. 4. 3.). À titre de comparaison, le bassin adjacent des Trois Arbres, d'une superficie équivalente, n'a fourni « que » 4000 m³ à l'occasion de ce même événement (Fort *et al.*, 2002 ; Einhorn, 2003 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005). Le volume total des sédiments mobilisés lors de cet événement par les sous bassins de rive gauche du Peynin ont été estimés à environ 34 550 m³, dont près d'un tiers a été déposé directement dans le fond de vallée du Peynin (Tab. 4. 3.).

Sous-bassins versants du Peynin affectés	Surface totale drainée (en km²)	Volumes de sédiment déposés sur les versants et cônes de déjection (en m³)	Volumes de sédiment déposés dans le chenal du Peynin (en m³)
Torrent de la Forêt	0,18	500	100
Torrent du Bois	0,04	600	100
Torrent du Chamois	0,27	1000	500
Torrent de la Marmotte	0,15	2000	200
Torrent de Roche Rousse	0,28	1250	150
Torrent de la Peyronnelle	1,00	12 000	2000
Torrent des Trois Arbres	0,99	4000	6000
Torrent du Four à Chaux	0,31	1200	3000
Total	3,2	22 500	12 050

Tableau 4. 3. : Estimation des volumes de sédiments déposés sur les versants et dans le lit du Peynin par les laves torrentielles de juin 2000 (d'après Einhorn, 2003).

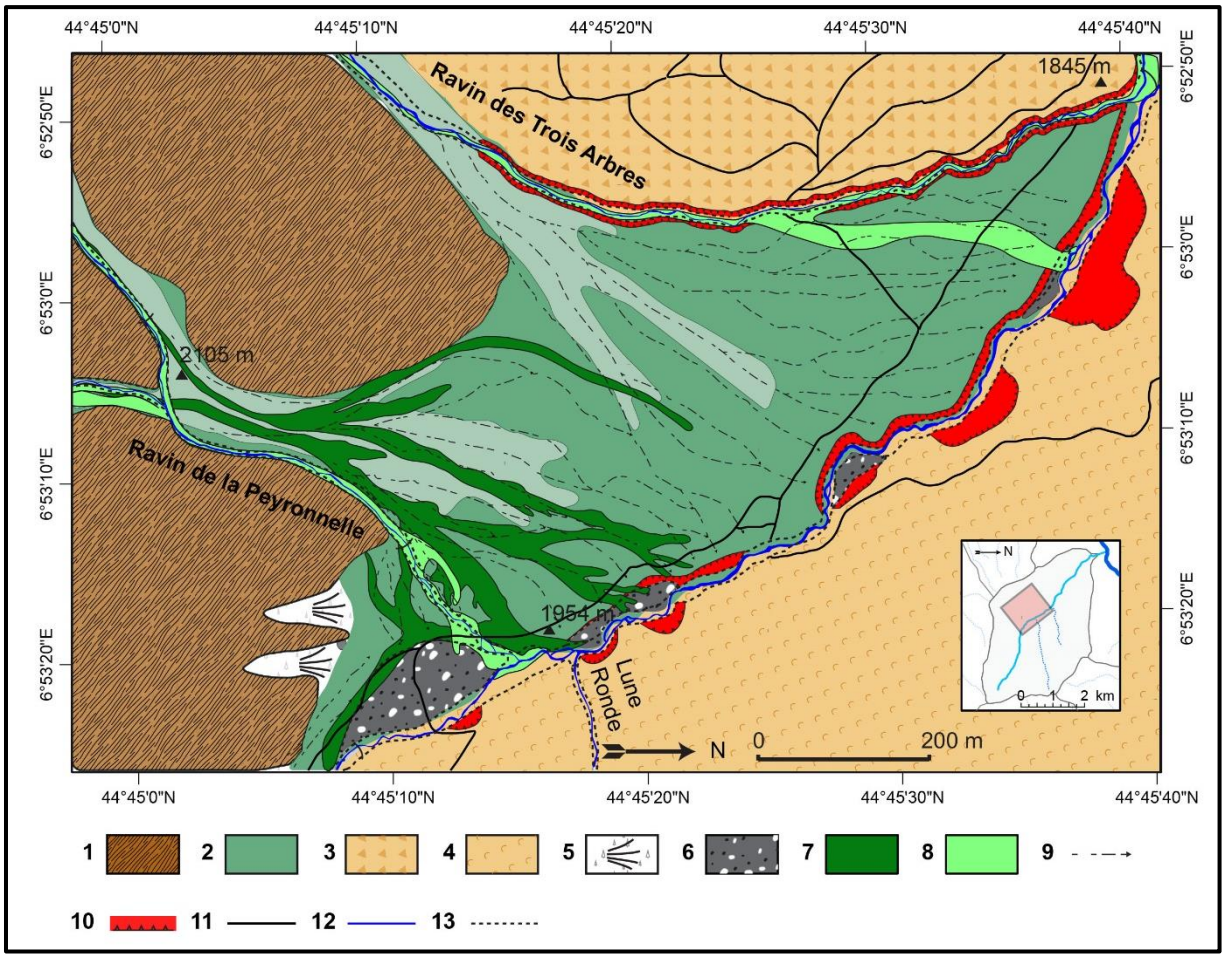
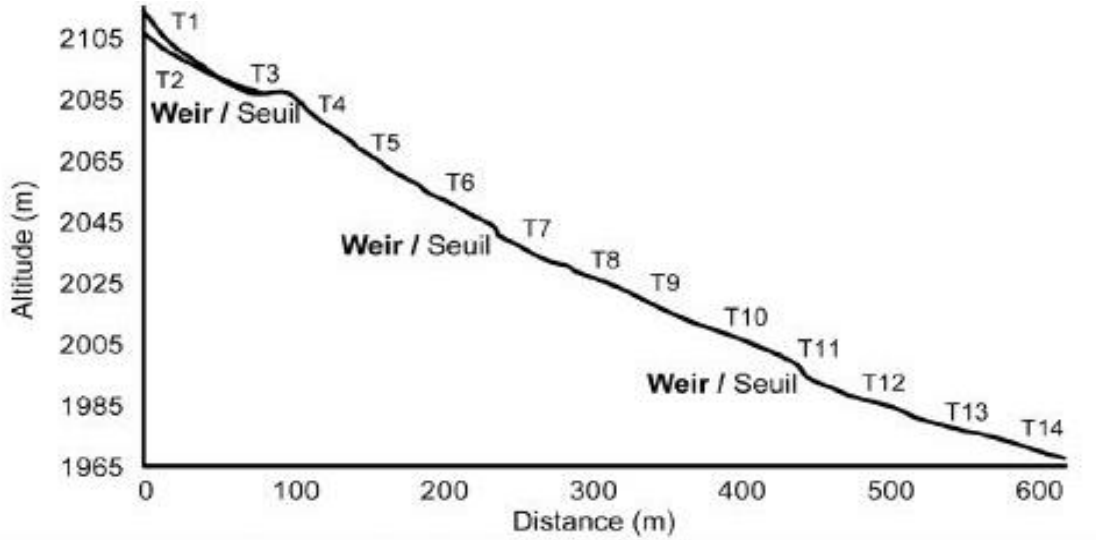


Figure 4. 3. : Carte géomorphologique des dépôts de laves torrentielles de juin 2000 et août 2015 (d'après Graff et al.*, 2018) : 1 – parois de schistes lustrés ; 2 – cônes coalescents de la Peyronnelle et des Trois Arbres ; 3 – dépôts d'éboulement ; 4 – matériaux glissés ; 5 – cônes et dépôts d'avalanche ; 6 – terrasse de la crue de 2000 ; 7 – dépôts des laves torrentielles de juin 2000 ; 8 – dépôts des laves torrentielles d'août 2015 ; 9 – anciens chenaux de lave torrentielle ; 10 – glissements-arrachements de pied de versant ; 11 – chemin ; 12 – cours d'eau ; 13 – talus et bourrelets latéraux.*

2. 3. 2. Les laves torrentielles du 9 août 2015

Les laves torrentielles du 9 août 2015 sont les premières depuis celles de juin 2000. On dispose pour cet événement de données précises accumulées dans le cadre de l'ANR SAMCO (Graff, 2015, 2016 ; Graff *et al.*, 2018). Sur la période 2013 – 2015, une étude a été engagée dans le bassin-versant du Peynin dans l'éventualité où surviendrait un nouvel événement de lave torrentielle. Fort de l'expérience acquise lors de l'événement de juin 2000, les travaux se sont concentrés principalement sur le sous-bassin de la Peyronnelle qui s'était montré alors particulièrement actif (Fort *et al.*, 2002 ; Einhorn, 2003 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005). Les travaux menés dans le cadre de cette étude sont multiples mais peuvent être résumés en deux principaux points : (1) l'établissement d'un référentiel sédimentologique de la charge grossière de la Peyronnelle ; (2) l'implantation de capteurs passifs RFID (Radio Frequency IDentiication) dans des galets et blocs représentatifs de la charge grossière de la Peyronnelle. Ces travaux nous ont permis, quand l'événement d'août 2015 est survenu, d'analyser de manière précise les transferts sédimentaires provoqués par les laves torrentielles.

Le référentiel sédimentologique de la charge grossière de la Peyronnelle a été réalisé selon la méthode d'échantillonnage décrite par Wolman (1954). Cette stratégie d'échantillonnage consiste à mesurer à intervalle régulier (ici, tous les 50 cm) les caractéristiques des sédiments (taille des axes A, B et C, position dans le chenal et pétrographie) présents le long d'un profil en travers. Après réalisation d'un profil en long de la Peyronnelle à l'aide d'un GPS différentiel cinématique *RTK Trimble 4700*, 14 profils en travers ont été réalisés dans le chenal et sur les berges du torrent (Fig. 4. 4.). Au total, 433 particules ont été échantillonnées et caractérisées. Pour mesurer les changements de morphologie induits par le passage d'une lave torrentielle (incision/dépôt), des mesures sur la morphologie du chenal et des berges de la Peyronnelle ont également été réalisées.



Transect	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
Particles / particules	17	58	64	27	14	21	18	18	14	24	18	40	45	55

Figure 4. 4. : Profil en long de la Peyronnelle et localisation des 14 transects réalisés. Le nombre de particules échantillonnées pour chacun des profils en travers réalisés est indiqué dessous (d'après Graff et al.*, 2018).*

Une fois le référentiel sédimentologique de la charge grossière de la Peyronnelle établi, la fraction grossière de la Peyronnelle a pu être équipée de capteur passif. Le choix s'est porté sur l'utilisation PIT-tags TIRIS 134 KHz. (Photo 4. 6., A). Les PIT tags sont des transpondeurs passifs réagissant à un signal électromagnétique émis par une antenne RFID (Photo 4. 6., D, Nichols, 2004 ; Rollet *et al.*, 2008 ; Liébault *et al.*, 2012 ; Graff *et al.*, 2018). Dans le cas présent, la portée du signal

émis par l'antenne était d'environ de 40 cm. Ces tags sont peu coûteux, faciles à paramétrer et suffisamment résistants pour permettre un suivi individuel à long terme du transport grossier.

320 galets et blocs ont été équipés de Pit-tags sur 10 sites, répartis le long du linéaire de la Peyronnelle (Fig. 4. 5.). Sur les 320 galets et blocs équipés (GBE), 10 % ont été positionnés sur les sommets de berge, 20 % sur les flancs internes de berge et 70 % dans le fond du lit (Photo 4. 7.).

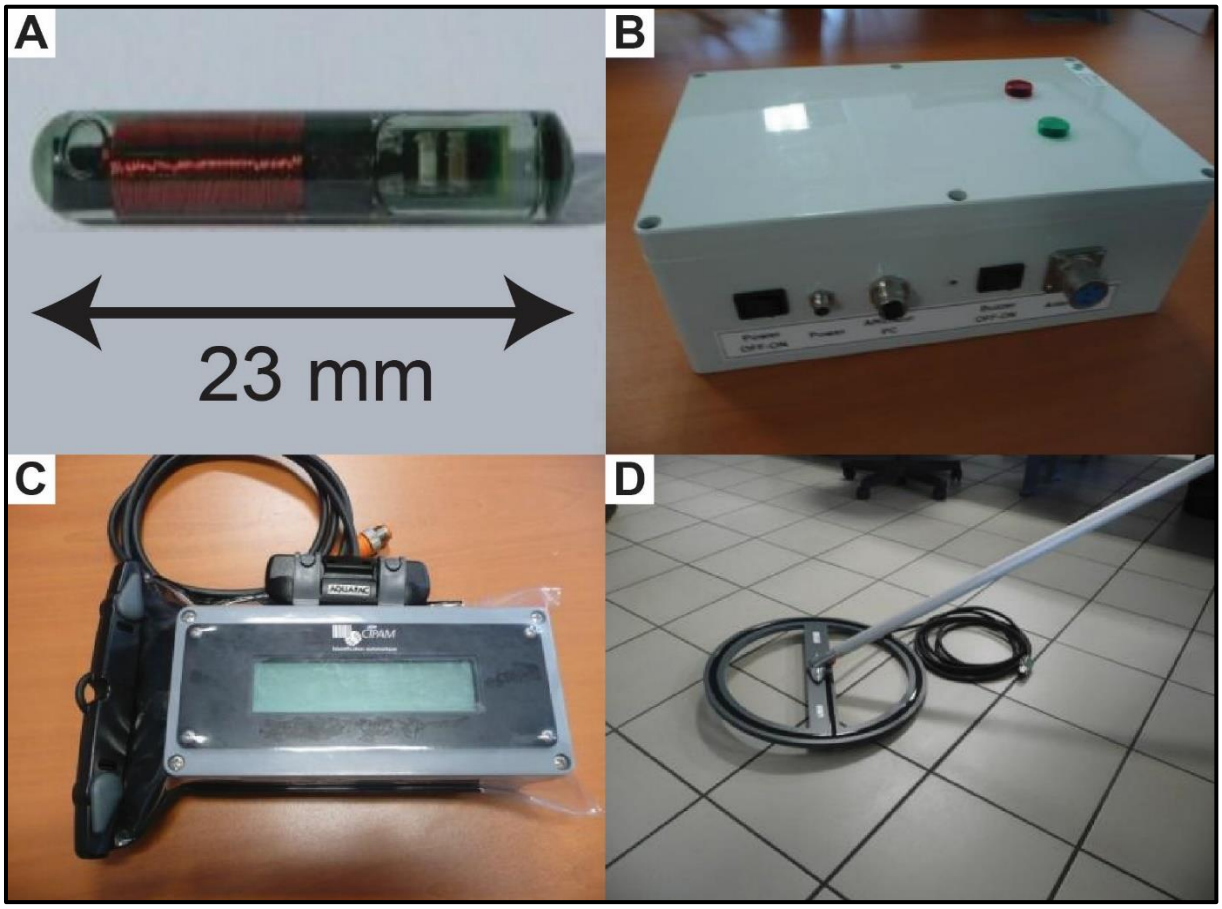


Photo 4. 6. : PIT-tags et matériel de détection. A – PIT-tags TIRIS 134 KHz basse fréquence de 23 mm ; B – Coffret autonome de lecture ; C – Afficheur déporté ; D – Antenne diamètre 50 cm avec manche télescopique (photo : CIPAM).

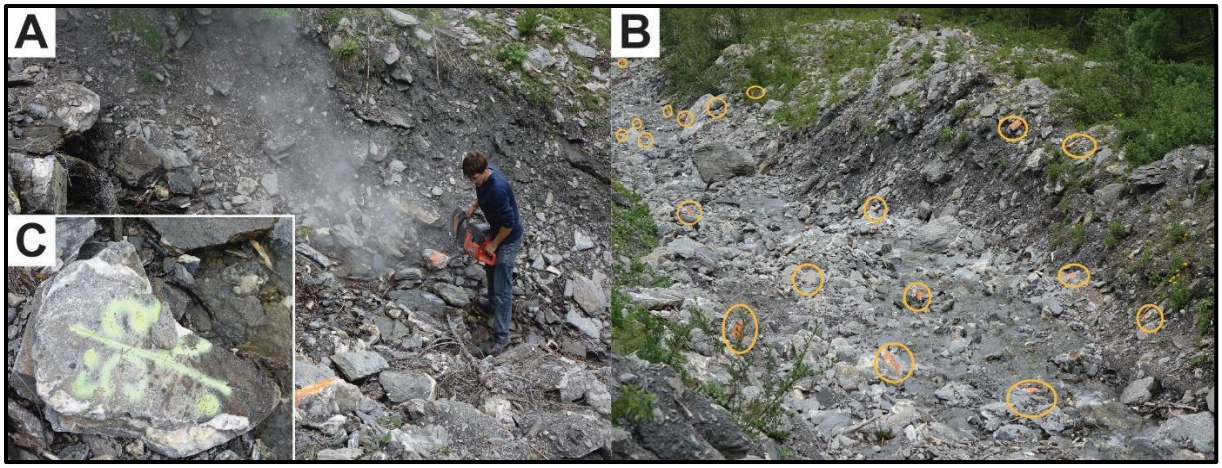


Photo 4. 7. : Installation des *Pit-tags* dans le talweg de la Peyronnelle : A – Entaille des blocs en vue de les équiper de *Pit-tags* ; B – Positionnement des GBE au niveau du site d'injection n° 8 ; C – Bloc équipé (C. Lissak).

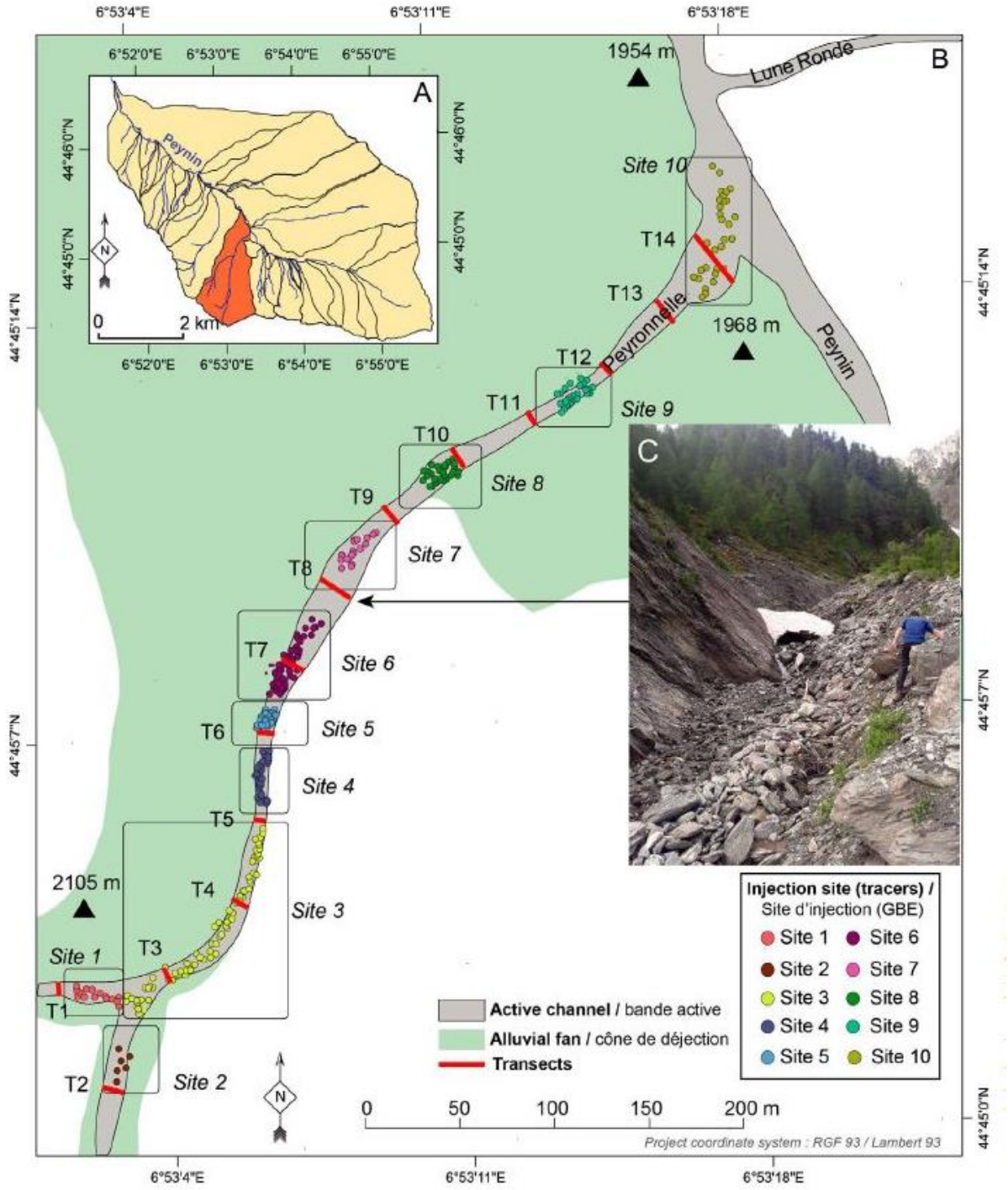


Figure 4. 5. : Le bassin-versant de la Peyronnelle. A – Localisation du sous-bassin de la Peyronnelle ; B – Localisation des 14 transects réalisés d'amont en aval dans le torrent de la Peyronnelle et des 10 sites de marquage des GBE ; C – Morphologie du talweg au niveau du transect n° 8 (d'après Graff et al.*, 2018).*

Les GBE varient entre 4,2 cm et 160 cm (axe B). En dessous de 4,2 cm, la taille de la particule ne permettait pas la mise en place de *PIT tags*. Au-delà de 160 cm, la probabilité de mise en mouvement des blocs par les laves torrentielles a été considérée comme étant trop faible (Graff *et al.*, 2018). Ces deux éléments expliquent le décalage observé entre la courbe granulométrique des galets et blocs de la Peyronnelle et celle des GBE (Fig. 4. 6.). Depuis leur mise en place en juillet 2014 par G. Arnaud-Fassetta, M. Fort et C. Lissak, les GBE ont fait l'objet d'un suivi régulier à l'aide d'un DGPS. Sur la

période 2013 – 2015, aucun des GBE n'a bougé. Il aura fallu attendre l'événement hydro-climatique du 9 août 2015 pour qu'il y ait mouvement des galets et blocs équipés.

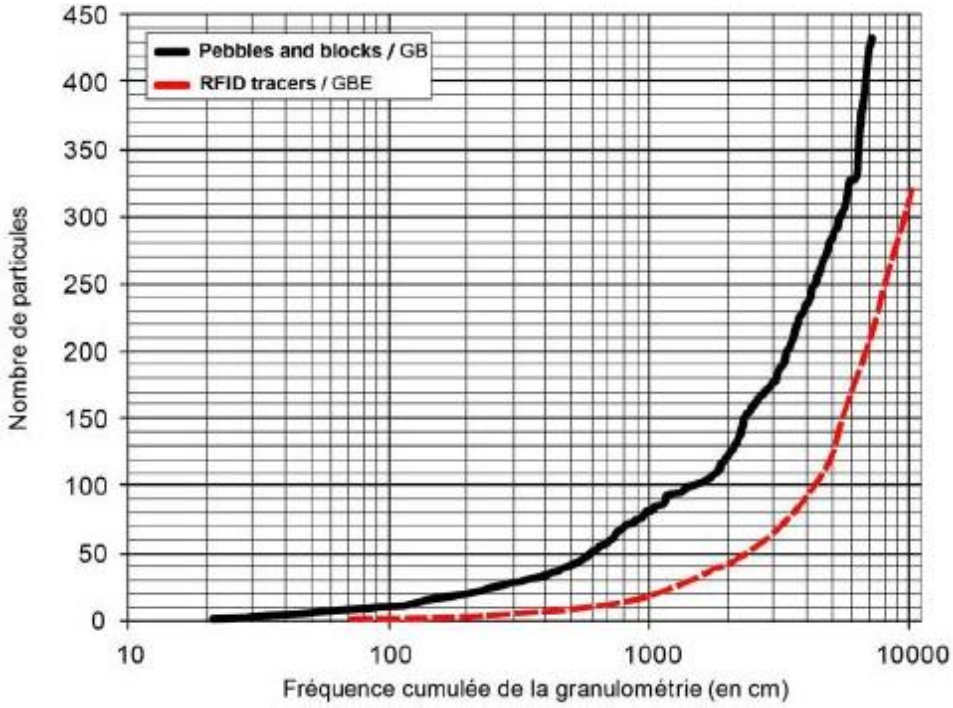


Figure 4. 6. : Représentativité de la gamme granulométrique des GBE par rapport à la granularité de référence de la charge grossière présente dans le talweg de la Peyronnelle (d'après Graff et al.*, 2018).*

L'événement hydro-climatique d'août 2015 correspond à un orage d'été de moyenne intensité, spatialement très localisé. Les précipitations se sont concentrées sur le versant de rive gauche du Peynin et, de l'autre côté de la crête, sur le sous-bassin-versant du Rif des Garcin, en amont du village de Molines-en-Queyras. La station météorologique, installée sur le versant de rive droite du Peynin dans le cadre de l'ANR SAMCO, a permis d'estimer à 38,2 mm en 41 h le volume des précipitations. Cet événement a entraîné la formation de laves torrentielles à matrice granulaire dans plusieurs sous-bassins de rive gauche du Peynin : Four à Chaux, Roche Rousse, Peyronnelle et Trois Arbres.

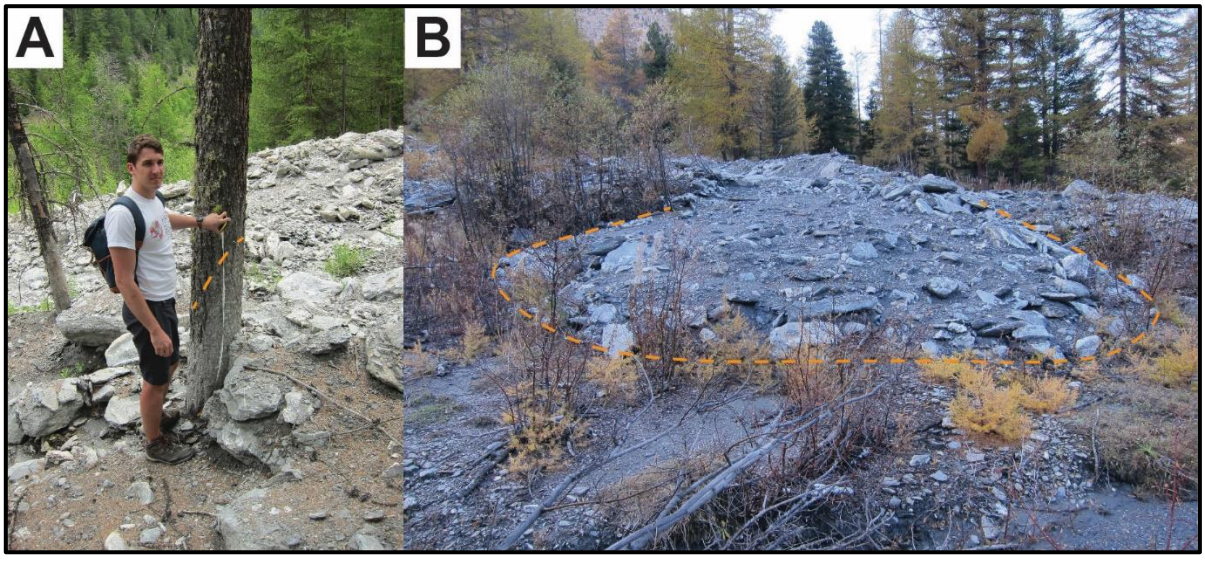


Photo 4. 8. : Estimation des hauteurs de lave torrentielles. A – À l'aide des marques imprimées sur les arbres ; B – Sur les fronts de lave.

La superficie des dépôts de lave torrentielle sur le cône de déjection de la Peyronnelle a pu être estimée à environ 12 800 m², pour une hauteur moyenne de 0,7 m (Fig. 4. 3.). Les épaisseurs ont été déterminées en faisant la moyenne des estimations haute et basse des dépôts. L'estimation haute correspond aux traces laissées sur les arbres par le passage des laves torrentielles et l'estimation basse correspond aux hauteurs des bourrelets et fronts de lave (Photo 4. 8.). Le volume des sédiments déposés sur le cône de la Peyronnelle a pu être estimé à environ 9000 m³ (Graff *et al.*, 2018).

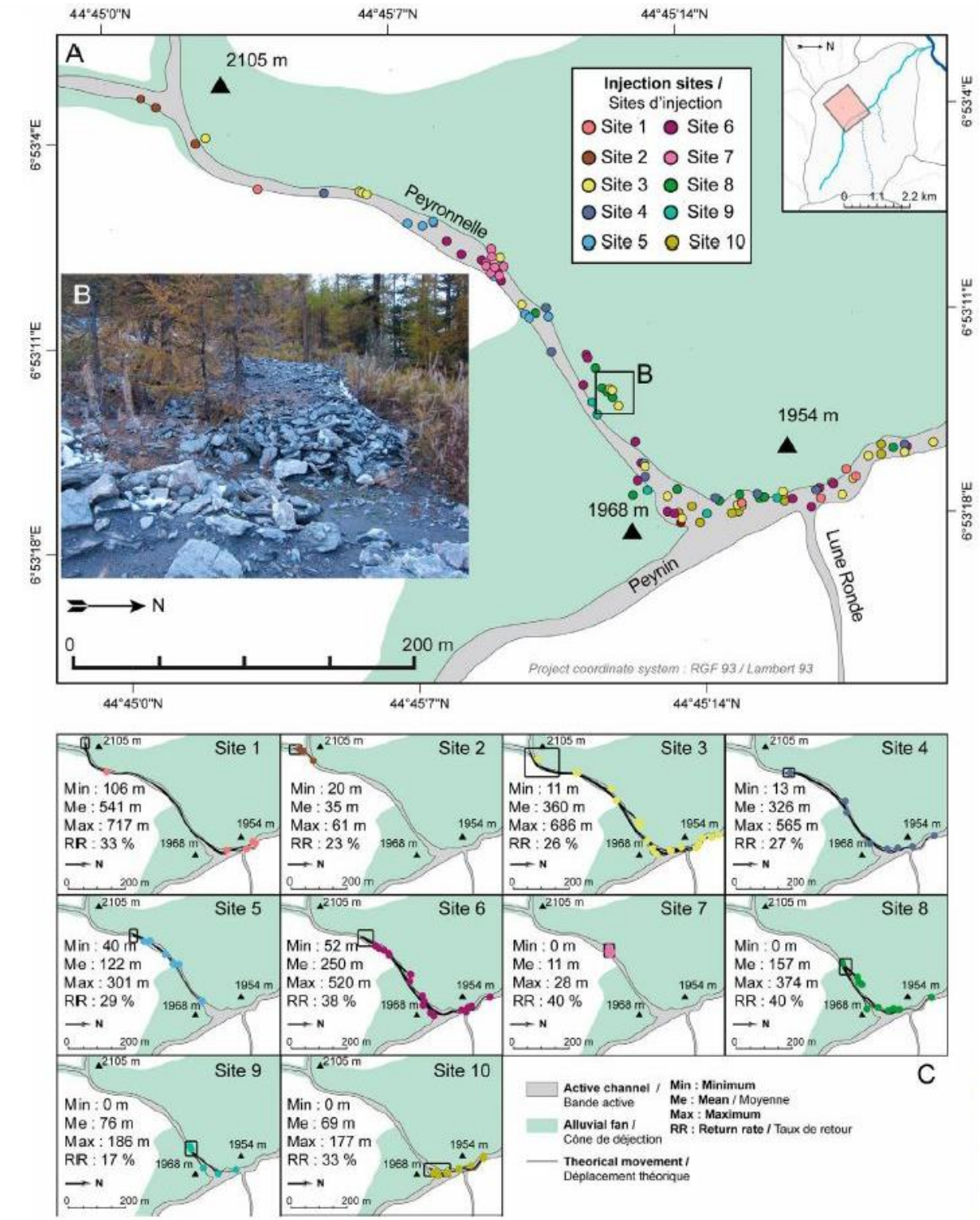


Figure 4. 7. : Cartographies des GBE après l'événement d'août 2015. A – Pour l'ensemble des sites ; B – Pour chacun des 10 sites d'injection.

Sur les 320 GBE du bassin de la Peyronnelle, 101 ont été retrouvés (GBE-r) suite à l'événement d'août 2015, soit un taux de retour de 31 % (Graff *et al.*, 2018). Ce taux de retour peut paraître faible mais il est en tout point conforme à ceux cités dans la littérature (Bel *et al.*, 2015). Il y a eu remobilisation de matériaux dès l'amont du bassin-versant (Fig. 4. 8.). Sur le drain principal, les laves torrentielles ont remobilisé d'anciens dépôts stockés dans le fond du chenal. Une partie des débris mobilisés ne viendrait donc pas directement des zones de production mais serait issue du déstockage de sédiments accumulés au fil des ans. Sur les 101 GBE-r, 95 ont été mis en mouvement et 6 n'ont pas bougé (Graff *et al.*, 2018). Parmi les GBE-r mis en mouvement, 52 ont été redéposés dans le chenal principal de la Peyronnelle, 12 ont été déposés sur le cône de déjection et 37 ont été exportés dans chenal du Peynin (Fig. 4. 8. et 4. 9.). Les distances parcourues varient de 8 m à 717 m, pour une moyenne de 226 m et un écart type de 206 m (Fig. 4. 8.).

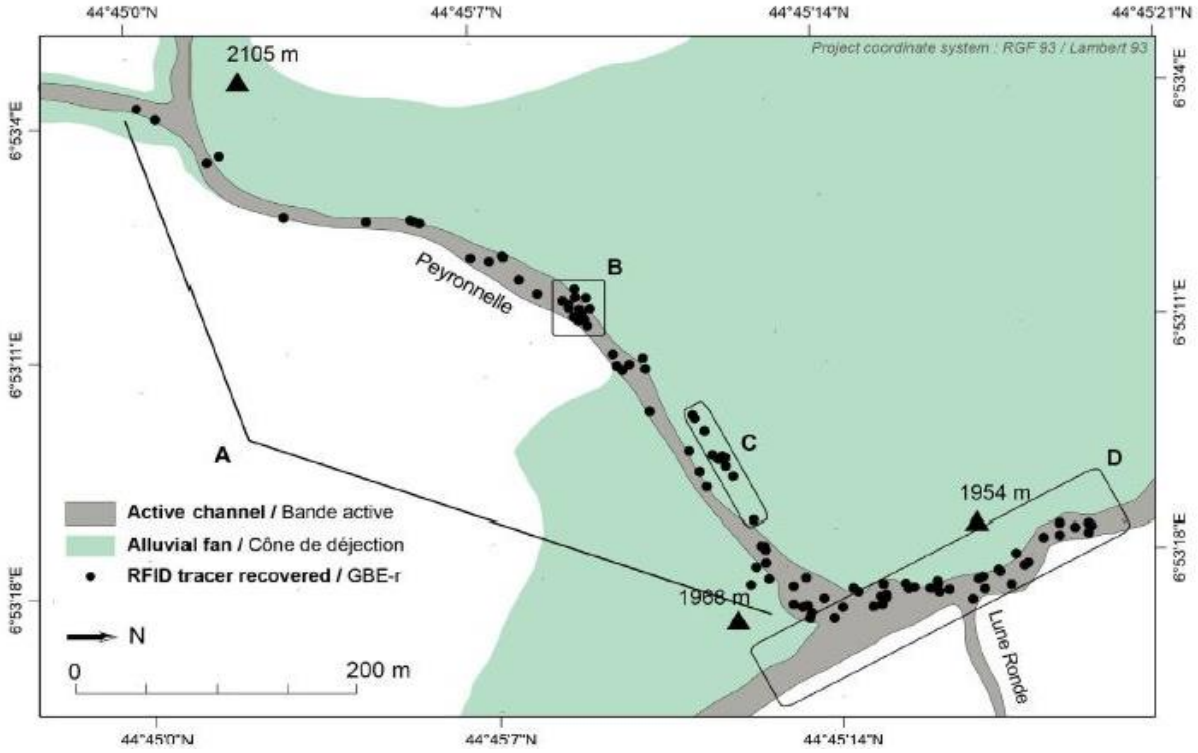


Figure 4. 8. : Illustration des quatre principaux sites de dépôt suite à la mobilisation et au transport des GBE. A – Chenal de la Peyronnelle ; B – Site d'injection n°7 ; C – Chenal secondaire ouvert sur le cône de la Peyronnelle ; D – Bande active du Peynin.

Si l'on considère que la redistribution des GBE-r est représentative de la redistribution de l'ensemble des sédiments mis en mouvement par la lave torrentielle du 9 août 2015, il est possible d'extrapoler les volumes de sédiments exportés dans le chenal du Peynin. Sur les 101 GBE-r implantés, 64 % sont restés dans le bassin de la Peyronnelle (cône de déjection et lit torrentiel) et 34 % ont été retrouvés dans le chenal du Peynin. En partant du postulat que les volumes estimés sont équivalents au pourcentage de GBE-r, alors 34 % des matériaux ont été exportés hors du bassin de la Peyronnelle, soit 3240 m³. Le volume total de matériaux mobilisés par la lave torrentielle du 9 août s'élèverait alors à 12 240 m³ (Graff *et al.*, 2018). Ces résultats indiquent une contribution significative des laves torrentielles à la recharge sédimentaire du Peynin. Notons que ces chiffres sont conformes à ceux calculés lors de l'événement de juin 2000 (cf. *supra*, 2. 3. 1.).

Malgré un événement de moyenne intensité, les volumes transportés au sein des sous-bassins du Peynin ont été conséquents. Ces travaux, ainsi que ceux effectués suite à la crue de 2000, nous confortent dans l'idée que les laves torrentielles jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement de la

cascade sédimentaire du Peynin. Elles apparaissent comme le principal processus agissant à la (re)constitution de stocks sédimentaires à l'intérieur du bassin-versant. Elles sont dès lors essentielles pour que la cascade sédimentaire devienne efficiente dans son intégralité lors d'événements de plus forte intensité (type crue de 1957 ou de 2000). La contribution des versants, couplée à des transferts sédimentaires particulièrement efficaces, engendrent une très bonne connectivité entre les versants de rive gauche du Peynin et le chenal du Peynin.

2. 4. Contribution des versants par apports latéraux et reprise des matériaux par le Peynin

La dernière étape pour établir le budget sédimentaire du Peynin à 20 ans a consisté à estimer les apports latéraux provenant des mouvements de masse et des colluvions accumulés au pied des versants. Ceux-ci concernent principalement le versant de rive droite du Peynin, affectés par de multiples glissements de terrain. Pour estimer ces apports, nous avons tout d'abord engagé un suivi à court terme de l'évolution des formes d'érosion situées le long du chenal du Peynin (Photo 4. 9.). Ce suivi a été réalisé sur une période de 4 ans sur plusieurs glissements-arrachements de bas de versant non végétalisés et jugés représentatifs des formes d'érosion situées le long du chenal du Peynin. Les mesures effectuées ont consisté en l'acquisition annuelle de nuages de points de précision centimétrique à l'aide d'un LIDAR (*light detection and ranging*) terrestre positionné face aux objets étudiés. L'objectif de ce travail était d'obtenir une estimation des taux annuels d'érosion en comparant les différents nuages de points acquis au fil des ans. En quatre années de suivi, aucun changement significatif n'a cependant pu être observé. Ces résultats mettent en lumière la faible compétence du torrent de Peynin en période d'écoulement ordinaire (hors crue majeure).

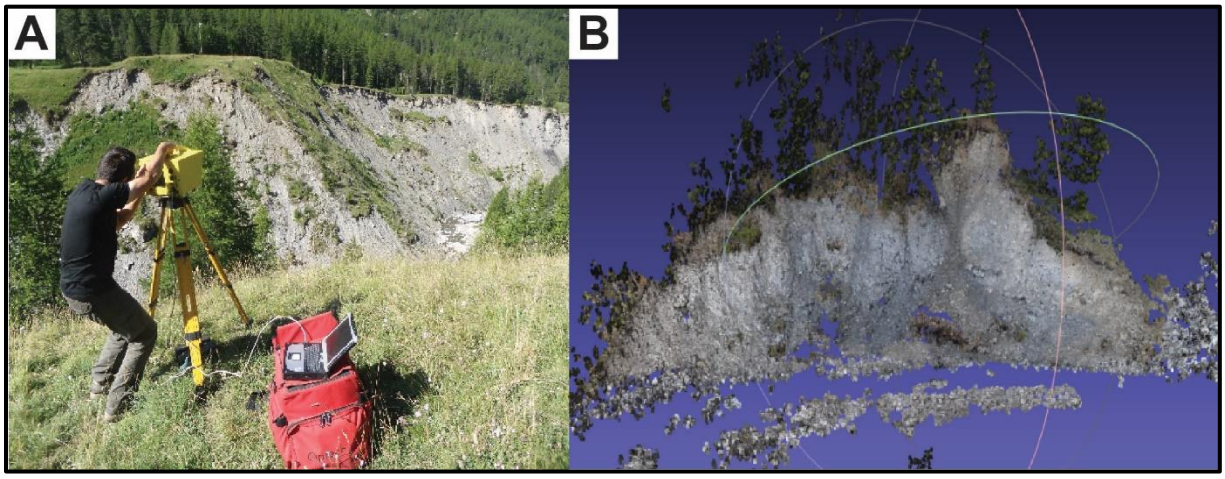


Photo 4. 9. : Suivi de l'évolution des formes d'érosions situées le long du chenal du Peynin. A – Positionnement du LIDAR terrestre face à un glissement-arrachement de bas de versant dans le bassin-versant du Bouchet ; B – Nuage de point acquis dans le bassin-versant du Peynin, à l'aval de la confluence entre le torrent de la Lune Ronde et le torrent de Peynin (photo : C. Lissak).

Sur ce constat, nous avons émis le postulat que, sur les 20 dernières années, la majeure partie des sédiments érodés par le Peynin l'ont été lors de la crue de juin 2000 (la dernière crue majeure). Une seconde série de mesure de terrain a alors été effectuée afin d'estimer les volumes sédimentaires érodés lors de la crue de juin 2000. En s'appuyant sur les travaux de Campbell et Church (2003) et ceux de Cossart et Fort (2008), nous avons calculé, *via* l'usage de la morphométrie, les volumes de sédiments érodés sur trois glissements-arrachements de bas de versant (Fig. 4. 9.). Ces volumes sédimentaires, rapportés aux surfaces des glissements, ont ensuite été moyennés afin d'obtenir une estimation des taux d'érosion sur les 20 dernières années (Viel *et al.*, 2018). Cette valeur a ensuite été appliquée à l'ensemble des surfaces d'érosion reportées sur la carte géomorphologique du Peynin.

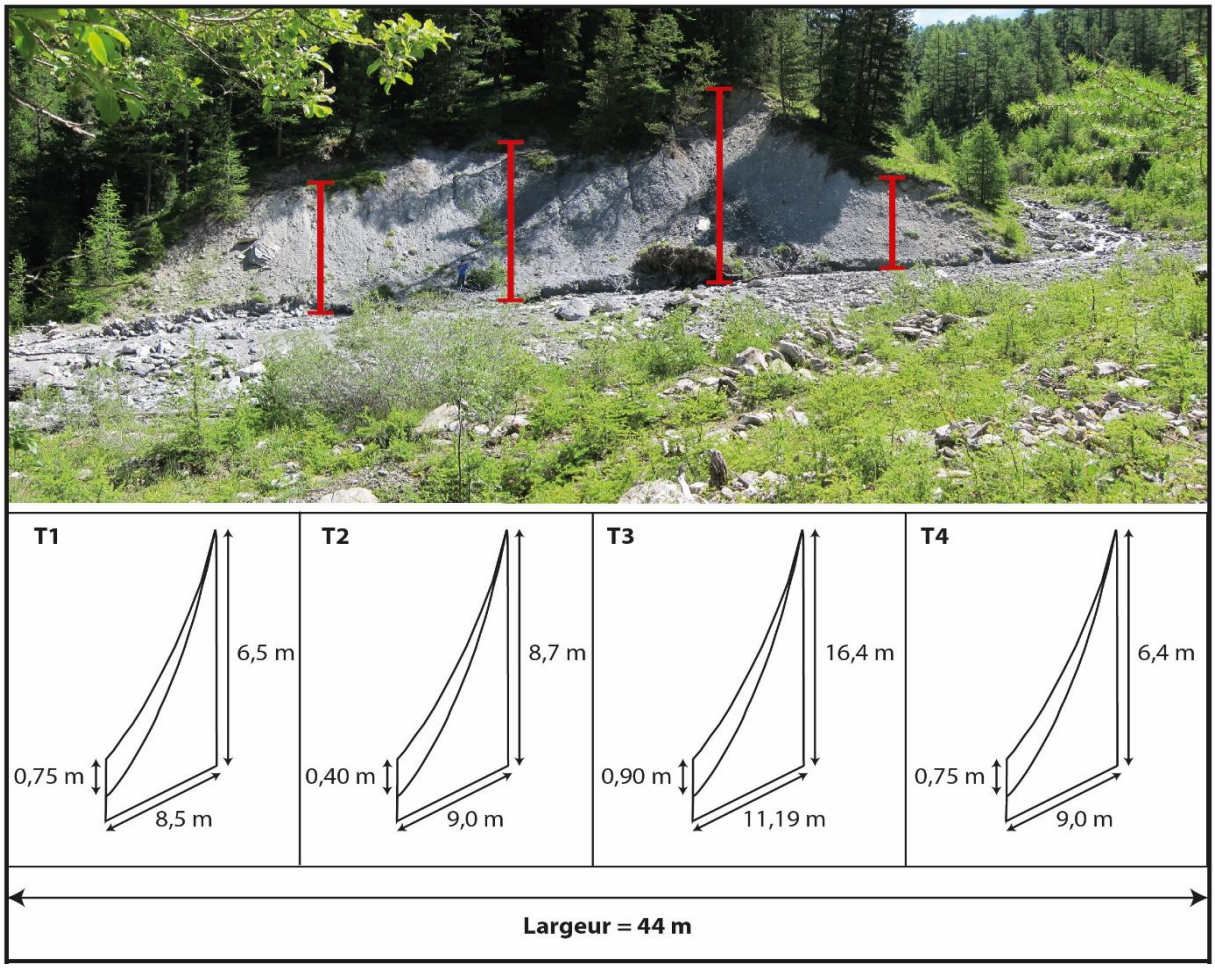


Figure 4. 9 : Illustration des mesures effectuées sur les glissements-arrachements de bas de versants dans le bassin-versant du Peynin (ici, en aval de la confluence entre le torrent de la Lune Ronde et le torrent de Peynin ; K. Graff et B. Carlier).

Les volumes sédimentaires totaux érodés le long du Peynin ont ainsi pu être estimés à 13 800 m^3 (Tab. 4. 4.). Tous les sédiments érodés n'ont cependant pu être évacués du bassin lors de la crue de juin 2000. Une partie des sédiments érodés est restée stockée dans le lit du Peynin.

Pour estimer la part des sédiments repris par le Peynin et exportés à l'exutoire de son bassin, nous avons dû procéder au calcul d'un bilan sédimentaire (érosion – accumulation). Pour ce faire, les volumes sédimentaires stockés dans le fond de vallée du Peynin lors de la crue de juin 2000 ont été estimés en rapportant la surface des dépôts de la crue de 2000 à leur épaisseur. La surface des dépôts sédimentaires de juin 2000 a été cartographiée sous SIG par photo-interprétation puis validée sur le terrain. Les épaisseurs ont été estimées sur le terrain en mesurant la différence entre le plancher actuel du fond de vallée et le sommet des terrasses torrentielles de la crue de juin 2000. Les volumes déposés dans le lit du Peynin lors de la crue de juin 2000 ont ainsi pu être estimés à 7895 m^3 (Tab. 4. 4.). Les estimations indiquent une prédominance de l'érosion lors de la crue de juin 2000 (Tab. 4. 5.).

Pour obtenir le bilan entre les apports latéraux (érosion) et les dépôts dans le lit du Peynin depuis juin 2000, les volumes de sédiments apportés par les laves torrentielles d'août 2015 ont ensuite été ajoutés aux volumes sédimentaires calculés pour la crue de juin 2000 (Tab. 4. 5.). Entre 2000 et 2018, on observe que le bilan sédimentaire est largement positif. En raison des apports des laves torrentielles, celui-ci passe de 7895 m^3 (2000) à 19 225 m^3 (2018 ; Tab. 4. 4. et 4. 5.).

Tronçon du torrent de Peynin concerné	Erosion latérale	Plages de dépôt	Bilan
Fond de Peynin - Vallon de Rassis	3300	0	3300
Vallon de Rassis - Ravin de Roche Rousse	400	1500	-1100
Ravin de Roche Rousse - Ravin de la Peyronnelle	600	1875	-1275
Ravin de la Peyronnelle - Ravin de Trois Arbres	1000	1300	-300
Ravin des Trois Arbres - Ravin du Four à Chaux	0	450	-450
Ravin du Four à Chaux - Ravin des Rabières	4150	1020	3130
Ravin des Rabières - Ravin des Arbres	3750	1000	2750
Ravin des Arbres - Combe Saint-Julien	200	750	-550
Combe Saint-Julien - Gorges du Peynin	400	0	400
Total	13800	7895	5905

Tableau 4. 4. : Apports et dépôts dans le fond de vallée du Peynin (en m^3) *lors de la crue de juin 2000 (Viel* et al.*, 2018).*

Tronçon du torrent de Peynin concerné	Erosion latérale	Plages de dépôt	Bilan
Fond de Peynin - Vallon de Rassis	3300	0	3300
Vallon de Rassis - Ravin de Roche Rousse	400	1500	-1100
Ravin de Roche Rousse - Ravin de la Peyronnelle	600	1875	-1275
Ravin de la Peyronnelle - Ravin de Trois Arbres	1000	6400	-5400
Ravin des Trois Arbres - Ravin du Four à Chaux	0	668	-6680
Ravin du Four à Chaux - Ravin des Rabières	4150	1020	3130
Ravin des Rabières - Ravin des Arbres	3750	1000	2750
Ravin des Arbres - Combe Saint-Julien	200	750	-550
Combe Saint-Julien - Gorges du Peynin	400	0	400
Total	13800	19225	-5425

Tableau 4. 5. : Apports et dépôts dans le fond de vallée du Peynin (en m^3) depuis la crue de juin 2000 (Viel et al.*, 2018). Notez que ce tableau intègre les volumes exportés dans le Peynin lors de l'événement de lave torrentielle d'août 2015.*

Dans cette sous-partie, on a cherché à quantifier les flux sédimentaires résultant des principaux processus géomorphologiques œuvrant dans le bassin-versant du Peynin. Après avoir estimé le rôle de l'éboulisation dans la production sédimentaire primaire (cf. *supra*, chapitre 4, 2. 1.), nous avons estimé les transferts sédimentaires dus à l'activité avalancheuse (cf. *supra*, chapitre 4, 2. 2.). Les avalanches ne contribuent que de façon négligeable aux transferts sédimentaire directs dans le fond de vallée du Peynin. En revanche, elles jouent un rôle essentiel dans la cascade sédimentaire en remobilisant les sédiments stockés dans les éboulis vers des espaces affectés par les laves torrentielles. Les laves torrentielles apparaissent comme les principales actrices de la cascade sédimentaire. Bien que relativement peu fréquentes, elles mobilisent d'importants volumes de matériaux provenant aussi bien des zones de production primaire (éboulis) que des zones de stockage intermédiaire (dépôts avalancheux, dépôts d'éboulement). Les travaux menés suite aux événements de 2000 et 2015 ont mis en évidence une forte connectivité versant-chenal sur le versant de rive gauche du Peynin (cf. *supra*, chapitre 4, 2. 3.). Lors de ces événements, près du tiers des volumes de sédiments (re)mobilisés par les laves torrentielles a été directement exporté dans le fond de vallée du Peynin. La dernière contribution significative au budget sédimentaire du Peynin résulte des apports latéraux issus du sapement des sédiments stockés au pied des versants par le torrent de Peynin (cf. *supra*, chapitre 4, 2. 4.). D'après les observations réalisées sur le terrain, ces derniers ne seraient effectifs que lors des crues les plus importantes (type 1957 ou 2000). Depuis la crue de 2000, l'érosion latérale est faible et la tendance s'est inversée au profit d'une recharge sédimentaire des stocks présents en fond de vallée. Les principaux

processus œuvrant dans le bassin du Peynin ayant été spatialisés et quantifiés, il nous est désormais possible d'établir le budget sédimentaire du Peynin sur une période de 20 ans.

3. Établissement du budget sédimentaire du Peynin sur une période de 20 ans

Pour établir le budget sédimentaire du Peynin à 20 ans, nous sommes repartis de la cascade sédimentaire du Peynin (cf. *supra*, chapitre 4, 1.) et nous avons procédé au calcul des entrées et des sorties pour chacun des sous-systèmes. Pour ce faire, nous avons d'abord évalué les contributions de chacun des processus (avalanches, laves torrentielles et torrentialité) par sous-bassin affluent du Peynin (Tab. 4. 6.).

	Production sédimentaire totale		
	Avalanches	Laves torrentielles	Torrentialité
Fond de Peynin	2 330	0	0
Vallon de Rassis	940	7 600	0
Roche Rousse	470	4 750	0
Peyronnelle	550	90 200	0
Lune Ronde	1 420	0	20*
Trois Arbres	710	55 310	0
Four à Chaux	90	610	0
Rabière	0	1 830	0
Arbres	10	500	0
Combe Saint-Julien	0	350	0
Versant de rive gauche	150	0	50*
Versant de rive droite	1 870	0	470*
Total	8 540	161 150	1040*

Tableau 4. 6. : Contribution des avalanches, des laves torrentielles et de la torrentialité pour chacun des sous-bassins versants du Peynin (en m^3 ; Viel et al.*, 2018). * stock intermédiaire de dépôts avalancheux.*

En 20 ans, le total des sédiments produits et mobilisés dans le bassin-versant du Peynin s'élève à environ 170 730 m^3 (Tab. 4. 6.). Les laves torrentielles constituent le principal agent de transport du bassin. À elles seules, elles ont mobilisé ou remobilisé près de 94,4 % des sédiments produits (Tab. 4. 6.). Avec environ 5 % des volumes totaux de matériaux mobilisés, les avalanches apparaissent comme le deuxième agent de transport du bassin du Peynin (Tab. 4. 6.). La contribution des avalanches est dominante dans le fond de Peynin et sur le versant de rive droite du Peynin, là où les sédiments sont les plus faciles à éroder (éboulis et/ou mélange de moraines et de colluvions remaniées). Sur les versants, les avalanches font office de relais entre les zones de production sédimentaire (parois rocheuses et éboulis) et les chenaux torrentiels. Une partie des sédiments remobilisés par les avalanches de fonte (chenalisés dans les ravins torrentiels) est directement déposée dans le lit des affluents du Peynin. Ces matériaux fins, raclés sur les versants, vont ensuite pouvoir être transportés plus en aval par les écoulements ordinaire des torrents.

Parmi les sous-bassins affluents du Peynin, les actifs sont ceux de la Peyronnelle et des Trois Arbres. Ces deux sous-bassins représentent environ 85 % de la production sédimentaire totale du bassin du Peynin (Tab. 4. 6.). Cette contribution s'explique essentiellement par les importants volumes de sédiments mobilisés lors des événements de lave torrentielle de juin 2000 et août 2015 (cf. supra, chapitre 4, 2.3). Sur la période considéré (1998 – 2018), tous les sédiments produits dans les sous-bassins

n'ont pas rejoint le fond de vallée du Peynin. D'après nos estimations, seul un cinquième (21,6 %) des sédiments produits ont pu atteindre le lit du Peynin, soit environ 36 950 m^3 (Tab. 4. 7.). 94 % des sédiments parvenus jusqu'au fond de vallées du Peynin ont été déposés par les laves torrentielles, 4,5 % par les avalanches et 0,5 % par l'activité torrentielle (Tab. 4. 7.). Les sous-bassins qui ont le plus contribué à ces flux sont ceux de la Peyronnelle et des trois Arbres (Tab. 4. 7.). À eux deux, ils sont responsables de près de 80 % des exportations de sédiments dans le fond de vallées.

	Contribution au Peynin		
	Avalanches	Laves torrentielles	Torrentialité
Fond de Peynin	480	0	0
Vallon de Rassis	220	1230	0
Roche Rousse	210	750	0
Peyronnelle	130	17 150	0
Lune Ronde	410	0	20
Trois Arbres	50	12 280	0
Four à Chaux	70	630	0
Rabière	0	1 830	0
Arbres	10	500	0
Combe Saint-Julien	0	350	0
Versant de rive gauche	0	0	50
Versant de rive droite	110	0	470
Total	1 690	34 720	540

Tableau 4. 7. : Contribution des avalanches, des laves torrentielles et de la torrentialité au rechargement sédimentaire du lit du Peynin, pour chacun des sous-bassins versants du Peynin (en m^3 ; Viel et al.*, 2018).*

Pour mesurer l'efficacité des transferts sédimentaires relatifs aux principaux processus décrits dans le bassin du Peynin, des *Sediment Delivery Ratio* (SDR, Walling, 1983) ont été calculés pour chacun des sous-bassins affluents du Peynin (Tab. 4. 8.). Les SDR calculés dans le bassin du Peynin varient de 0 % à 103,3 %. Les SDR calculés pour les laves torrentielles sont compris entre 15,8 % et 103,3 % (Tab. 4. 8.). Pour les sous bassins de la Peyronnelle et des Trois Arbres, ils sont respectivement de 19 % et 22,2 %. Ces valeurs indiquent qu'une grande partie des sédiments mobilisés par les laves torrentielles est redéposée à l'intérieur même de ces sous bassins. Les différences de superficies entre les sous-bassins de rive gauche du Peynin étant comparables, ces valeurs s'expliquent vraisemblablement par la présence de vastes cônes de déjection à l'aval de ces bassins. Avec leurs faibles pentes, ils constituent des milieux de sédimentation favorables au dépôt par les laves torrentielles. Les SDR des laves qui se produisent dans les ravins situés plus en aval et ne disposant pas de cônes de déjection, sont supérieurs ou égaux à 100 % (Tab. 4. 8.). Les SDR calculés pour les avalanches vont de 0 % à 77 % (Tab. 4. 8.). En moyenne, ils sont supérieurs à ceux calculés pour les laves torrentielles. Cela indique que les avalanches sont globalement plus efficaces dans leur transfert de sédiment vers le fond de vallée du Peynin. Les sédiments mis en mouvement par la torrentialité ont un SDR de 100 %, ce qui indique que l'ensemble des matériaux mobilisés est évacué des sous-bassins (Tab. 4. 8.). Les laves torrentielles constituent le premier processus en termes de volume sédimentaire mobilisé mais il s'avère qu'elles sont moins efficaces que les autre processus (avalanche et torrentialité) pour ce qui est de la part des sédiments transférés vers le fond de vallée.

	Sediment Delivery Ratio (SDR)		
	Avalanches	Laves torrentielles	Torrentialité
Fond de Peynin	20,6	-	-
Vallon de Rassis	23,4	16,2	-
Roche Rousse	44,7	15,8	-
Peyronnelle	23,6	19,0	-
Lune Ronde	28,9	-	100
Trois Arbres	7,0	22,2	-
Four à Chaux	77,8	103,3*	-
Rabière	-	100	-
Arbres	100	100	-
Combe Saint-Julien	-	100	-
Versant de rive gauche	0,0	-	100
Versant de rive droite	5,9	-	100
Total	-	-	-

Tableau 4. 8. : « Sediment Delivery Ratio » (SDR, Walling, 1983), par processus et par sous-bassin-versant du Peynin (en % ; Viel et al.*, 2018). * reprise des dépôts avalancheux par les laves torrentielles.*

Une fois les entrées et les sorties sédimentaires calculées pour chacun des sous-systèmes du Peynin, nous avons pu procéder à la formalisation du budget sédimentaire du Peynin sur une période de 20 ans (Fig. 4. 10. ; Tab. 4. 9.). En incluant le fonctionnement du fond de vallée du Peynin, le volume total des sédiments exportés hors du bassin a été estimé à environ 42 855 m^3 (Tab. 4. 9.). 48 % des sédiments exportés hors du bassin-versant du Peynin ont été déposés sur son cône de déjection et 52 % ont directement rejoint le lit du Guil (Fig. 4. 10.). D'après nos estimations, la quasi-totalité des sédiments exportés hors du bassin-versant du Peynin au cours des 20 dernières années l'a été à l'occasion de la crue de juin 2000.

	Contribution totale	Contribution en %
Fond de Peynin	480	1,12
Vallon de Rassis	1450	3,38
Roche Rousse	960	2,24
Peyronnelle	17 280	40.32
Lune Ronde	430	1
Trois Arbres	12 330	28,77
Four à Chaux	700	1,63
Rabière	1 830	4,27
Arbres	510	1,19
Combe Saint-Julien	350	0,82
Versant de rive gauche	50	0,12
Versant de rive droite	580	1,35
Fonctionnement du fond de vallée	5 905	13,78
Total	42 855	

Tableau 4. 9. : Contribution totale des sous-bassins au budget sédimentaire à 20 ans du Peynin (Viel et al.*, 2018).*

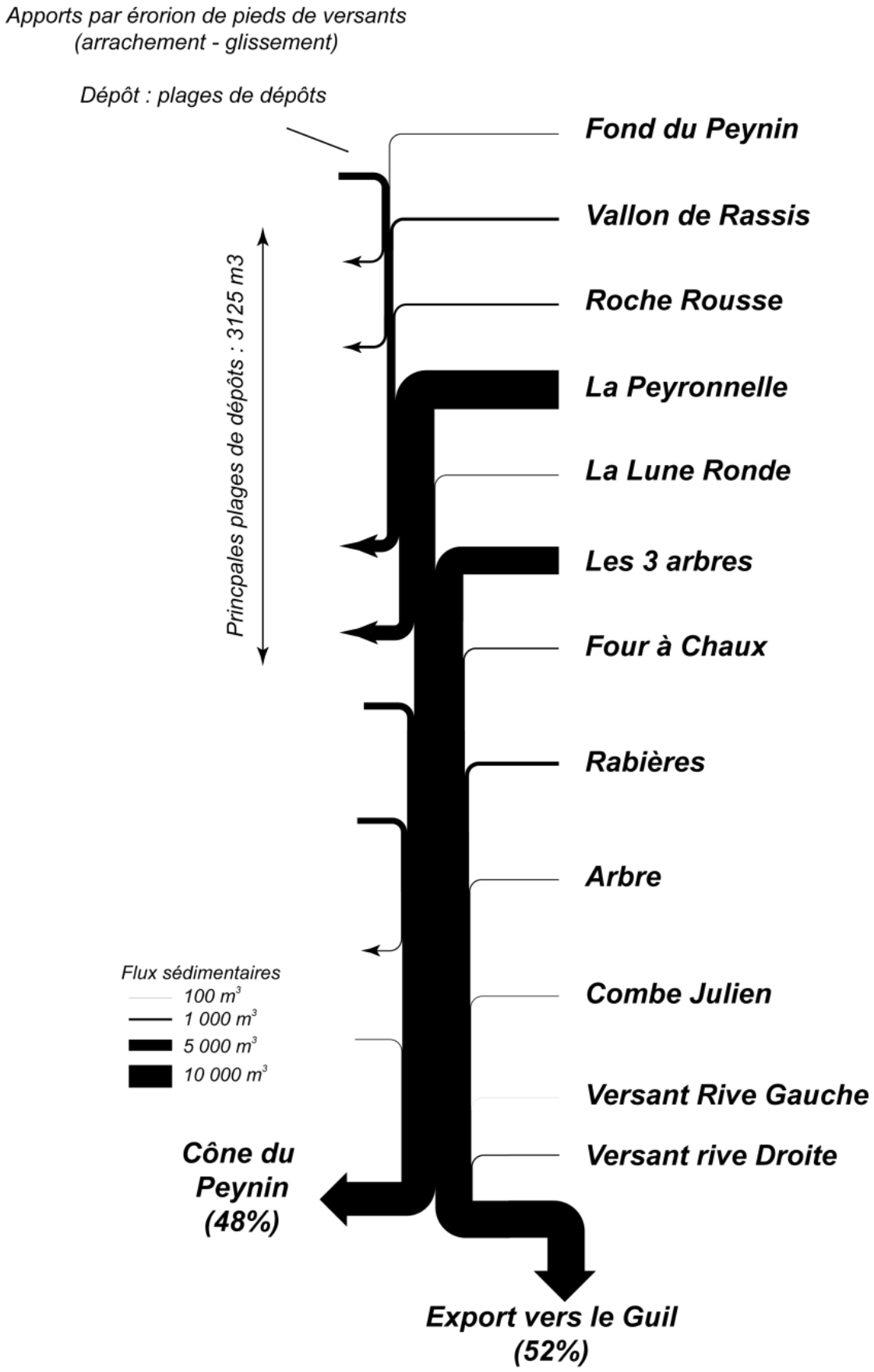


Figure 4. 10. : Budget sédimentaire du bassin du Peynin sur une période de 20 ans (Viel et al.*, 2018).*

Depuis lors, les volumes de sédiments exportés hors du bassin du Peynin sont faibles et l'activité géomorphologique du bassin se caractérise par une prééminence de l'accumulation sur l'érosion. Ce constat suggère un fonctionnement binaire du bassin du Peynin avec : (1) une érosion forte et des exportations sédimentaires considérables en période de crue « majeure » (c.-à-d. > 10 ans) et (2) une prévalence des accumulations et des exportations sédimentaires négligeables en dehors de ces périodes. Depuis juin 2000, le bassin-versant du Peynin n'a pas connu de crue majeure, alors même que d'autres sous-bassins versant du Guil, voisins du Peynin (Haut-Guil, Bouchet, Ségure, etc.), en ont expérimenté de sévères (cf. *supra*, chapitre 2, 2. 3.). Lors de ces événements hydro-climatiques, le bassin-versant du Peynin a pourtant reçu d'importants volumes de précipitations (> 100 mm). Cette observation implique que les impulsions climatiques ne sont pas les seules variables en cause dans le déclenchement des crues à caractère catastrophique. Notre hypothèse est que, lors d'une crue « majeure », les stocks sédimentaires aisément mobilisables sont vidangés. Si cette hypothèse est vraie, alors un temps de relaxation est nécessaire au bassin pour constituer de nouveaux stocks sédimentaires aisément mobilisables par le réseau hydrographique. Pour tester la validité de cette hypothèse, une analyse de la connectivité fonctionnelle du bassin-versant du Peynin a été engagée afin de mesurer l'efficience de la cascade sédimentaire et estimer des seuils de maturation des stocks sédimentaires.

4. Analyse de la connectivité fonctionnelle du bassin-versant du Peynin

Dans la précédente sous-partie, nous avons vu que l'efficacité de la cascade sédimentaire du Peynin dépend non seulement des volumes de sédiments fournis par les zones sources mais aussi de la qualité des connexions entre les différents sous-systèmes qui composent le bassin-versant (Fig. 4. 1.). Pour comprendre les raisons qui conduisent localement à l'exportation ou au piégeage des sédiments, il convient d'analyser les modalités de couplage entre les différents processus géomorphologiques (Walling, 1983 ; Fryirs, 2013 ; Cossart *et al.*, 2017, 2018). C'est ici qu'intervient le concept de « connectivité ». Ce concept interroge les modalités de couplage entre les différents processus géomorphologiques de façon à dégager le comportement global d'un bassin en termes de flux sédimentaires. L'analyse de la connectivité fonctionnelle mise en place dans le Peynin vise plus précisément à mesurer l'efficience de la cascade sédimentaire en quantifiant des seuils de maturation et de mise en mouvement des stocks sédimentaires (Cossart *et al.*, 2017 ; 2018). Mesurer l'efficience de la cascade sédimentaire implique plusieurs tâches : (1) identifier les zones du bassin du Peynin qui s'organisent en une cascade sédimentaire efficace ou non (c.-à-d. pouvant assurer ou non un transfert des sédiments jusqu'à l'exutoire du bassin) ; (2) identifier les réactions en chaîne et les éventuels effets de seuil affectant les transferts sédimentaires. Ce travail, résultant d'une approche dynamique, vient en complément de la cartographie géomorphologique et de l'analyse du budget sédimentaire du Peynin présentés ci-avant (cf. *supra*, chapitre 3 et 4).

4. 1. Méthodes et données

Appréhender la combinaison des couplages existant au sein des différents sous-systèmes du Peynin étant une tâche quelque peu complexe à formaliser, nous avons eu recours à la modélisation. Le modèle développé est de type « stocks et flux », basé sur le concept de dynamique des systèmes (DS). La DS a été conçue pour évaluer les relations entre la structure d'un système et son comportement au fil du temps (Hall et Day, 1977 ; Ford, 2009). Le modèle appliqué ici vise à estimer le temps nécessaire pour qu'il y ait un fonctionnement hydro-sédimentaire optimal de la cascade sédimentaire, d'une part, et à définir la synchronisation ou la désynchronisation des processus agissant dans le cadre de la cascade sédimentaire, d'autre part (Cossart *et al.*, 2018). Le modèle a été développé à l'aide de l'outil DS du logiciel *Vensim*® (Cossart *et al.*, 2018). Le principe de fonctionnement du modèle est d'évaluer la

réponse de la cascade sédimentaire en se basant sur des diagrammes de stocks et flux et des équations différentielles figurant les transferts de sédiments entre les différents compartiments du système (Eberlein et Peterson, 1992). Les simulations réalisées avec cet outil permettent donc de prédire la genèse des flux sédimentaires et les modalités de leur diffusion vers l'aval (Cossart *et al.*, 2018).

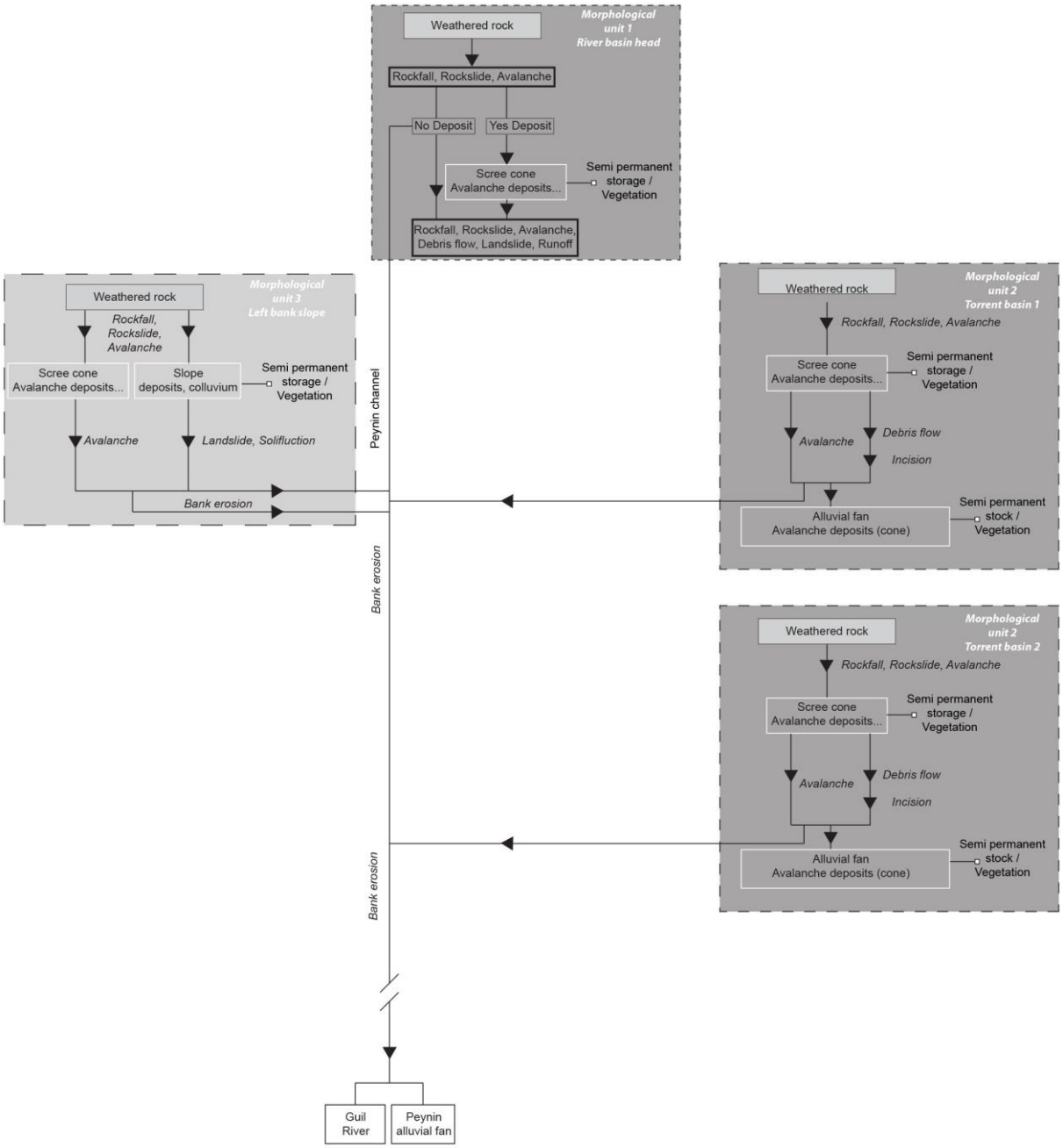


Figure 4. 11. : Exemple simplifié de la cascade sédimentaire du Peynin implémentée dans l'outil DS du logiciel Vensim® (Cossart et al.*, 2018). Les unités morphologiques correspondent aux sous-systèmes identifiés dans la cascade sédimentaire du Peynin (Fig. 1).*

Le modèle intègre deux types de paramètres : (1) la disponibilité en sédiments de chaque stock sédimentaire (c.-à-d., des volumes de sédiments) ; (2) des équations permettant de calculer les flux de sédiments entre chaque stock. Dans le cas présent, un système géomorphologique de complexité réduite a été considéré afin de bien mettre en évidence les effets de seuil (Fig. 4. 11.). Les données spatiales ont été extraites de la carte géomorphologique du Peynin (Fig. 4. 12.). Elles ont été simplifiées de façon à ce que seule la typologie des stocks sédimentaires soit prise en compte (Cossart *et al.*, 2018). Les données utilisées pour caractériser les flux inhérents à chacun des processus géomorphologiques sont issus des travaux réalisés dans le cadre du budget sédimentaire du Peynin (cf. *supra*, chapitre 4, 2). Pour l'instant, le modèle utilise des données de précipitations aléatoires dont les valeurs ont une moyenne et un écart-type similaires aux données observées à la station météorologique d'Abriès (5 km en amont du Peynin ; Cossart *et al.*, 2018). Pour définir l'occurrence des processus géomorphologiques, des seuils de précipitations tirés de la bibliographie ont été intégrés au modèle : les valeurs de précipitations journalières de 240 mm en 1948 (PNRQ, 2014), 300 mm en 1957 (Tricart, 1958) et 200 mm en juin 2000 (Fort *et al.*, 2002) impliquent le déclenchement de mouvements de masse et de laves torrentielles ; les précipitations de 38 mm relevés en août 2015 (Graff *et al.*, 2018) impliquent le déclenchement de laves torrentielles mais pas de mouvements de masse.

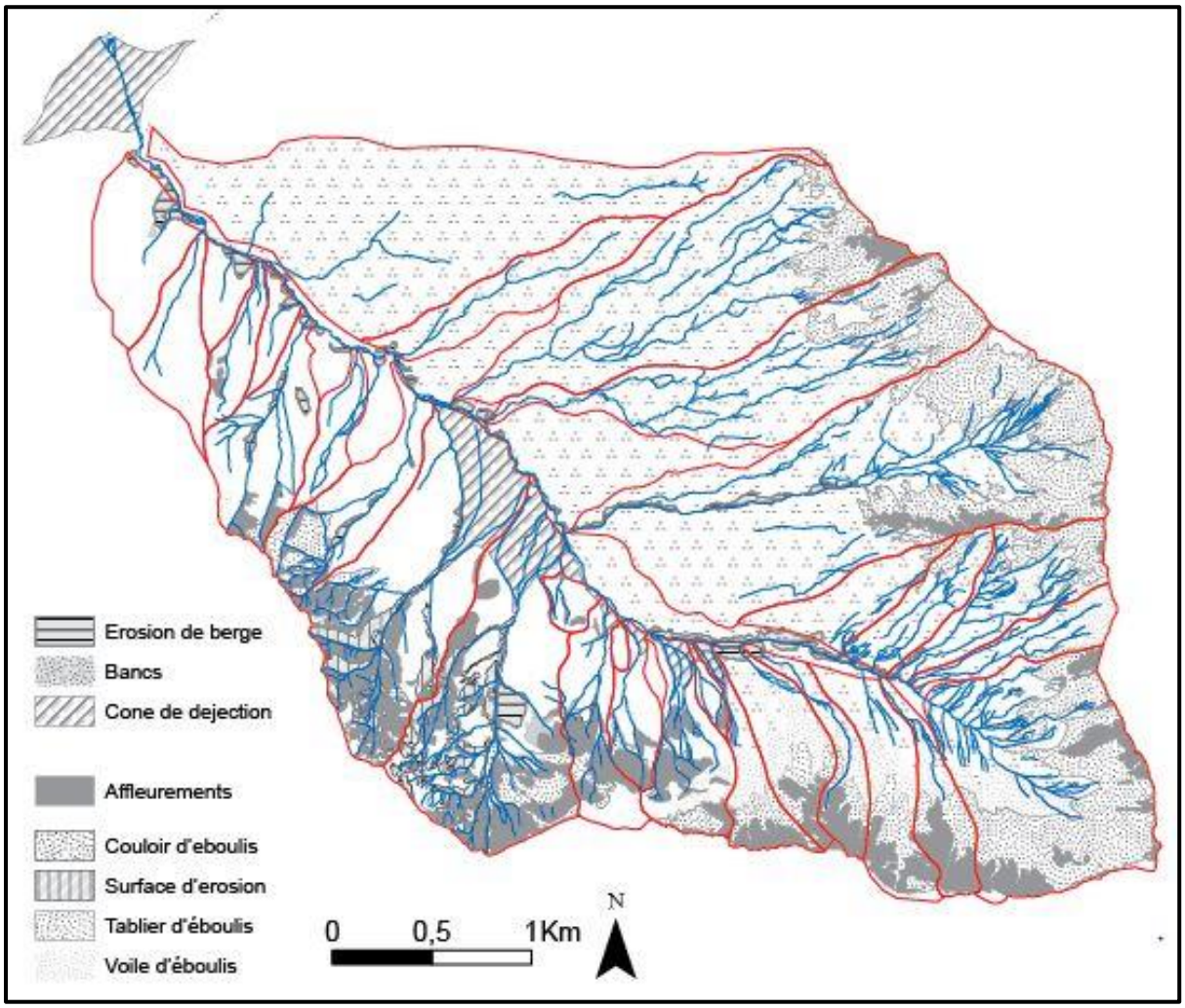


Figure 4. 12. : Données spatiales implémentées dans l'outil DS du logiciel Vensim® (Cossart et al.*, 2018).*

4. 2 Évolution temporelle de la cascade sédimentaire

Les résultats préliminaires du modèle montrent que le système ne réagit pas à tous les événements météorologiques de haute-magnitude (Fig. 4. 13.). Plusieurs scénarios montrent des *stimuli* météorologiques sans aucune impulsion sédimentaire concomitante (Fig. 4. 13.). Le temps écoulé entre chaque événement météorologique a donc vraisemblablement une importance primordiale (Fig. 4. 13.).

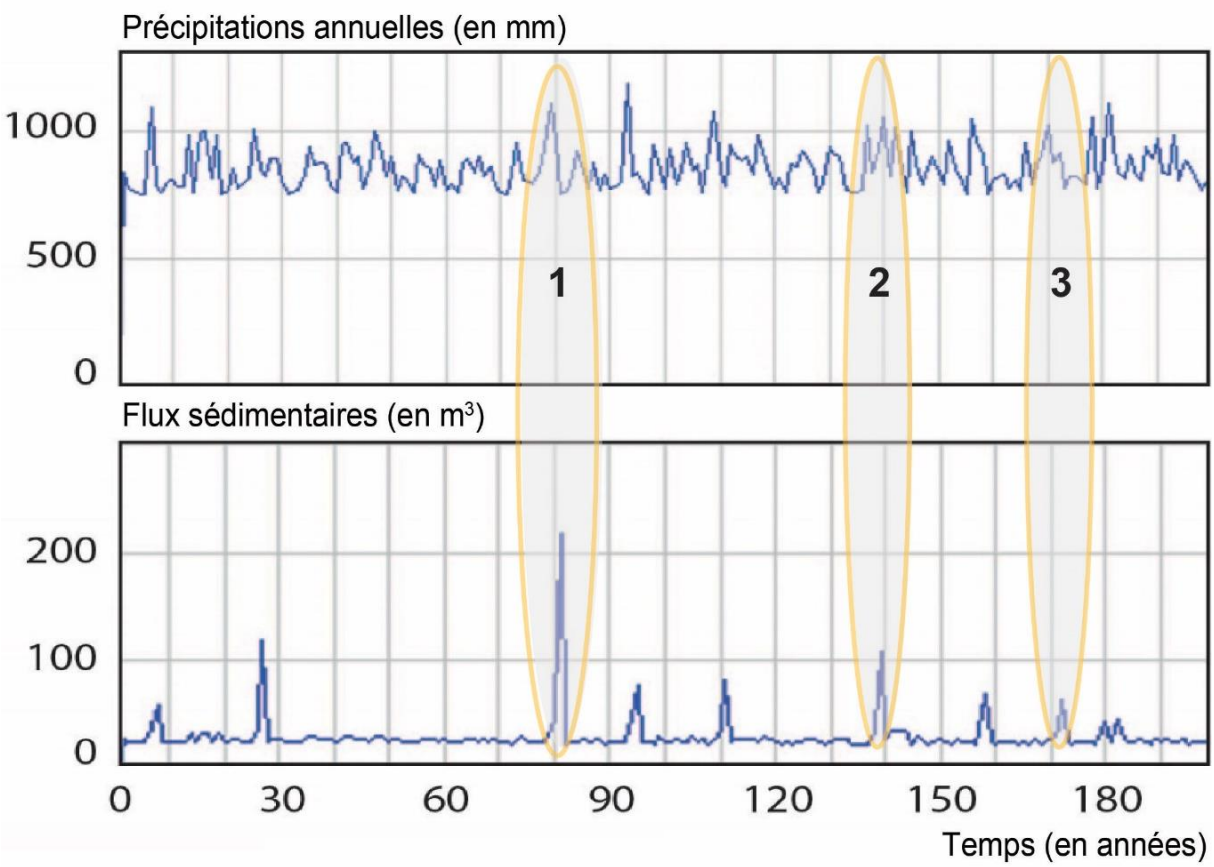


Figure 4. 13. : Résultat du modèle de connectivité fonctionnelle réalisé à l'aide de l'outil DS du logiciel Vensim ® (*d'après Cossart* et al.*, 2018). 1 – crue type juin 1957 ; 2 – crue type juin 2000 ; 3 – crue type juin 2010.*

Ces résultats semblent indiquer que le signal sédimentaire n'est pas toujours couplé avec les forçages météorologiques (c.-à-d., les précipitations). Après chaque événement météorologique majeur, les stocks sédimentaires mettent du temps à réagir à nouveau à une impulsion climatique, quel que soit son importance (Fig. 4. 13.). Notre interprétation est que, suite à de tels événements, les stocks de sédiments aisément mobilisables sont épuisés. Une période de recharge sédimentaire serait donc nécessaire avant que ne se produise un nouvel événement donnant lieu à d'importants transferts de sédiments. Cette interprétation implique que l'ampleur des crues du Peynin est avant tout fonction de l'état initial des stocks sédimentaires (Cossart *et al.*, 2018). Si les stocks de sédiments sont suffisamment conséquents, le système est alors mature et peut être efficacement stimulé, même par un événement hydrométéorologique de faible amplitude (Fig. 4. 13.).

Ils montrent également que, dans le cas hypothétique où tous les stocks sédimentaires seraient épuisés, une période de 80 ans est nécessaire pour que les stocks fonctionnent à nouveau de manière efficace (> 20.10^3 m^3 exportés du bassin). Passé cette période, une période d'au moins 60 ans serait nécessaire pour développer un autre événement géomorphologique notable (plus de 10.10^3 m^3 exportés

du bassin). Au final, la simulation montre qu'un cycle de 60 à 80 ans est nécessaire pour préparer les stocks sédimentaires à réagir à un événement hydrométéorologique (Cossart *et al.*, 2018).

Les résultats préliminaires obtenus *via* la modélisation de la connectivité fonctionnelle du bassin-versant du Peynin permettent de mieux saisir le fonctionnement de la cascade sédimentaire du bassin. Pour l'instant, ils sont conformes à notre hypothèse de départ selon laquelle l'état initial des stocks sédimentaires est déterminant dans la genèse des crues catastrophiques du Peynin. Quand bien même le modèle n'est pas encore paramétré à l'aide de données climatiques réelles, il donne un aperçu intéressant des cycles qui régissent l'occurrence des crues de forte magnitude. Une fois finalisés, et généralisés à l'ensemble du bassin du Guil, ces travaux pourraient s'avérer très utiles pour estimer des périodes de retours pour les crues catastrophiques. Ces travaux pourraient alors être utilisés par les gestionnaires locaux pour mettre en place des mesures de prévision (information aux populations et systèmes d'alertes) et de prévention (ouvrages de protections) des risques liés aux crues torrentielles.

Conclusion

Dans cette seconde partie de la thèse, on s'est intéressé au fonctionnement géomorphologique du bassin-versant du Peynin, le sous-bassin affluent du Guil qui avait fourni les plus importants volumes de sédiments lors des crues de 1957 et 2000. L'objectif principal de ce travail collaboratif était d'analyser le fonctionnement de ce petit bassin-versant en adoptant une approche par le budget sédimentaire de manière à définir l'origine et les modalités d'exports des sédiments mobilisés lors de crues de basse fréquence et de haute magnitude (crue BFHM). Mener une étude sous l'angle du budget sédimentaire a nécessité d'étudier en détail les stocks et les flux de sédiments au sein du bassin.

Dans le chapitre 3, nous avons donc procédé à une analyse fine des stocks sédimentaires du Peynin. Après avoir identifié les principaux facteurs géologiques et géomorphologiques prédisposant à l'accumulation des sédiments (lithologie de schistes lustrés, opposition structurale des versants, présence de multiples failles etc.), on a procédé à la caractérisation puis à la cartographie et enfin à la quantification des différents stocks sédimentaires du Peynin. De cette étude, il est ressorti que le bassin du Peynin dispose de stocks sédimentaires considérables dont la mise en place résulte de processus multiples, variables aussi bien dans le temps que dans l'espace. En termes de surface, les principaux stocks sédimentaires du Peynin sont constitués par de vastes glissements de terrain en rive droite du Peynin (44 %), des éboulis au niveau des crêtes (28 %), des dépôts d'éboulement (4 %) et des cônes de déjection (4 %) en rive gauche du Peynin et des plaines alluviales dans le fond de vallée (1 %). À travers l'utilisation de deux modèles combinant analyse morphométrique, analyse statistique, interprétation de profils de sismique réfraction et modélisation géomatique, les volumes de sédiments stockés dans le bassin ont pu être estimés entre 0,460 km^3 et 0,135 km^3. Dans un cas comme dans l'autre, l'essentiel des sédiments apparaît stocké sur le versant de rive droite du Peynin, dans les vastes complexes de glissements de terrain.

Dans le chapitre 4, on s'est davantage intéressé aux flux sédimentaires internes au bassin. Après avoir formalisé la cascade sédimentaire, nous avons procédé à la quantification des flux sédimentaires relatifs aux principaux processus géomorphologiques œuvrant dans le bassin (laves torrentielles, avalanches, torrentialité). Cela étant, il nous a été possible d'établir un budget sédimentaire du bassin-versant du Peynin sur une période de 20 ans. Il est apparu qu'une part importante des stocks sédimentaires (identifiés dans le chapitre 3) est déconnectée du système géomorphologique actuel. Les travaux réalisés ont permis d'identifier les processus et les sous-bassins du Peynin qui contribuent le plus aux exports sédimentaires vers le Guil. Alors que l'essentiel des sédiments est stocké sur le versant de rive droite du Peynin, c'est le versant de rive gauche qui contribue le plus aux exportations de

matériaux. Cette contribution est principalement le fait des laves torrentielles qui se déclenchent dans les ravins situés à l'amont du bassin (en particulier ceux de la Peyronnelle et des Trois Arbres). En outre, la formalisation du budget sédimentaire a permis de mettre en avant le fonctionnement binaire du bassin. Ce dernier ne produit d'exportations sédimentaires importantes que lors des crues les plus exceptionnelles (type juin 1597 ou juin 2000). Pour comprendre ce fait et mesurer l'efficience de la cascade sédimentaire, nous avons ensuite procédé à l'analyse de la connectivité fonctionnelle du bassin. Celle-ci a mis en évidence un découplage entre impulsion climatique et réponse des stocks sédimentaires. Ce découplage apparaît principalement lié à l'état de maturation des stocks sédimentaires. D'après nos estimations, un cycle de 60 à 80 ans est nécessaire pour préparer les stocks sédimentaires à réagir à un événement hydrométéorologique entraînant d'importants flux sédimentaires.

- Partie 3 -
Cartographie des aléas torrentiels et gravitaires

Chapitre 5 : Cartographie des aléas torrentiels et gravitaires

Introduction

Pour mener à bien l'analyse des risques dans le Queyras, il était essentiel de bien définir l'emprise des aléas torrentiels et gravitaires présentant un danger potentiel pour les communautés locales. Dans le cadre de la tâche n°4 – *Single hazard analysis* du projet ANR SAMCO –, une série de cartes figurant les emprises probables de ces différents aléas a été réalisée. Trois aléas ont fait l'objet d'une cartographie fine à l'échelle du bassin du Haut-Guil : les crues torrentielles, les glissements de terrain et les avalanches. Le choix a été fait d'insister davantage sur les crues torrentielles, dans la mesure où l'essentiel des destructions observées dans les dernières décennies leurs sont imputables (cf. *supra*, chapitre 2. 2.). Plusieurs méthodes ont été employées pour cartographier ces aléas.

Pour l'aléa « crue torrentielle », deux méthodologies bien distinctes ont été employées. La première relève d'une approche classique et combine étude diachronique de photographies aériennes et validation par le terrain. Elle a été mise en œuvre pour cartographier les crues historiques de juin 1957 et de juin 2000. La seconde s'appuie principalement sur la modélisation hydraulique. Elle a été mise en place dans une optique prospective visant à simuler des scénarios de crues d'ampleur et de récurrence variables. À l'aide du logiciel de modélisation hydraulique HecRAS®, quatre scénarios de crues ont pu être simulés : (1) crue décennale, (2) crue trentennale-cinquantennale (type crue de juin 2000), (3) crue centennale et (4) crue supra-centennale (type crue de juin 1957).

Pour caractériser l'aléa « glissement de terrain », nous avons opté pour la production d'une carte de susceptibilité aux mouvements de terrain basée sur le principe de régression logistique. La carte produite à l'aide de ce modèle n'indique pas en soi la présence ou l'absence d'un glissement de terrain (Fressard, 2013) mais la probabilité d'occurrence d'un glissement en un point donné, conformément à un jeu de variables constituant des facteurs prédisposants au déclenchement de mouvements de terrain.

Pour cartographier l'aléa « avalanche », nous avons repris et complété les emprises avalancheuses de la carte de la CLPA (Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanche) produite par l'IRSTEA (Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture) dans le département des Hautes Alpes.

L'ensemble des cartes produites a été intégré au sein d'un SIG (Système d'Information Géographique) afin d'être utilisé ultérieurement pour la production de cartes de risques.

1. Cartographie de l'aléa « crue torrentielle »

Deux approches différentes ont été mises en œuvre pour cartographier l'aléa « crue torrentielle ». La première est basée sur la cartographie d'événements historiques (crue de juin 1957 et crue de juin 2000) et la seconde repose sur la modélisation de quatre scénarios de crues de récurrence et d'ampleur différente : crue décennale, crue trentennale-cinquantennale (type crue de juin 2000), crue centennale et crue supra-centennale (type crue de juin 1957). Ces approches sont complémentaires. L'approche historique présente l'intérêt de mettre en avant les espaces qui ont effectivement été impactés par les crues dans le passé. Dès lors, les cartes produites ne tiennent pas compte de la modification de l'occupation du sol ni des aménagements postérieurs aux crues cartographiées. La seconde méthode intègre la topographie actuelle du fond de vallée et les aménagements qui s'y trouvent. Cependant, elle est fondée sur la modélisation et l'utilisation de scénarios « fictifs ». Par conséquent, les cartes produites sont largement tributaires des données intégrées au modèle. Elles ne représentent donc pas des situations réelles mais uniquement des emprises relevant du domaine du possible.

1. 1. Cartographie de l'emprise des crues historiques de juin 1957 et juin 2000

La cartographie des emprises des crues de juin 1957 et juin 2000 a été réalisée avec ArcGIS® (logiciel de SIG) par analyse diachronique de photographies aériennes verticales. Ces photographies ont toutes été téléchargées gratuitement sur le portail de l'IGN (Institut national de l'information géographique et forestière ; www.geoportail.gouv.fr). Les emprises cartographiées sont produites par digitalisation (vectorisation manuelle) avant d'être corrigées puis validées à l'aide d'observations menées sur le terrain (terrasses de crue, marques sur les bâtiments), de photographies d'époque, d'interprétations de données LIDAR et d'informations récoltées auprès d'individus résidant dans le Queyras (hauteurs de crue, passages empruntés par les flots, etc.). Les cartes sont ici projetées sur des orthophotographies issues de la BD Ortho IGN, Hautes-Alpes de 2009 à 50 cm de résolution.

1. 1. 1. Cartographie de la crue de juin 1957

Pour cartographier l'emprise de la crue de 1957 (Fig. 5. 1.), des photographies aériennes verticales (1 m de résolution) de juillet 1956 et de juillet, août et septembre 1957 ont été utilisées.

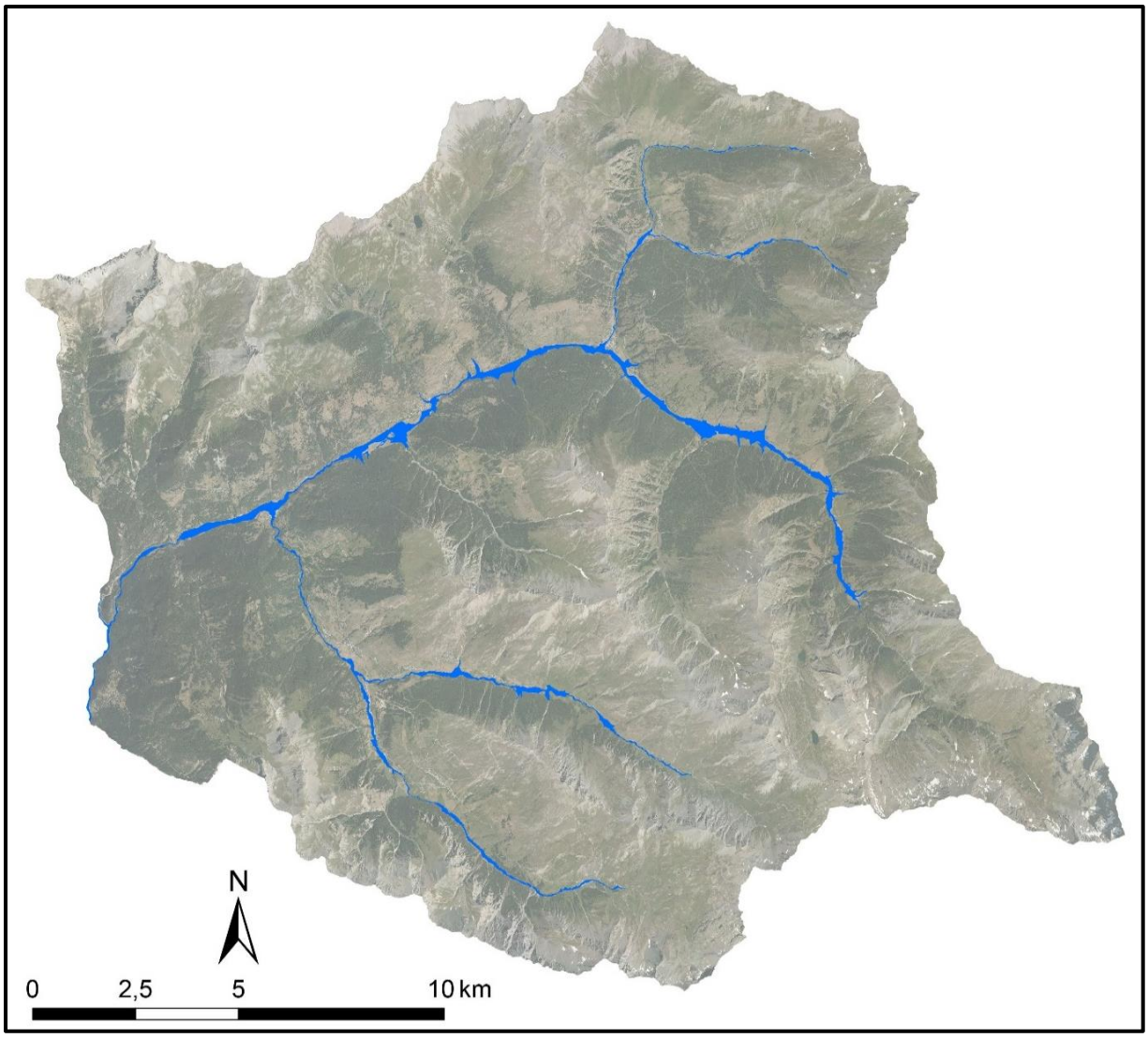


Figure 5. 1. : Carte de l'emprise de la crue de la mi-juin 1957 dans le bassin-versant du Haut-Guil.

Les certificats de calibration délivrés pour ces images ne comportaient pas suffisamment d'informations pour permettre leur orthorectification. Aussi, la cartographie a été réalisée

essentiellement par photo-interprétation. Les images utilisées ont été géoréférencées sur la base des orthophotos de 2009. Pour limiter les déformations en fond de vallée, cette opération a été réalisée à de nombreuses reprises pour chacune des images utilisées.

L'enveloppe de crue cartographiée couvre une superficie de 4,76 km² (Fig. 5. 1.). Sur les cartes produites (Fig. 5. 1. à 5. 6.), on observe que le Guil, l'Aigue Agnelle et l'Aigue Blanche ont occupé l'intégralité de leur lit majeur (à l'exception de la Plaine des Ribes à Aiguilles). La cartographie illustre bien les débordements du Ségure sur le village Ristolas (Fig. 5. 2.), du Lombard et du Peynin à Aiguilles (Fig. 5. 4.), des Aigues à Ville-Vieille (Fig. 5. 5.) et du Guil à Château-Queyras (Fig. 5. 5.).

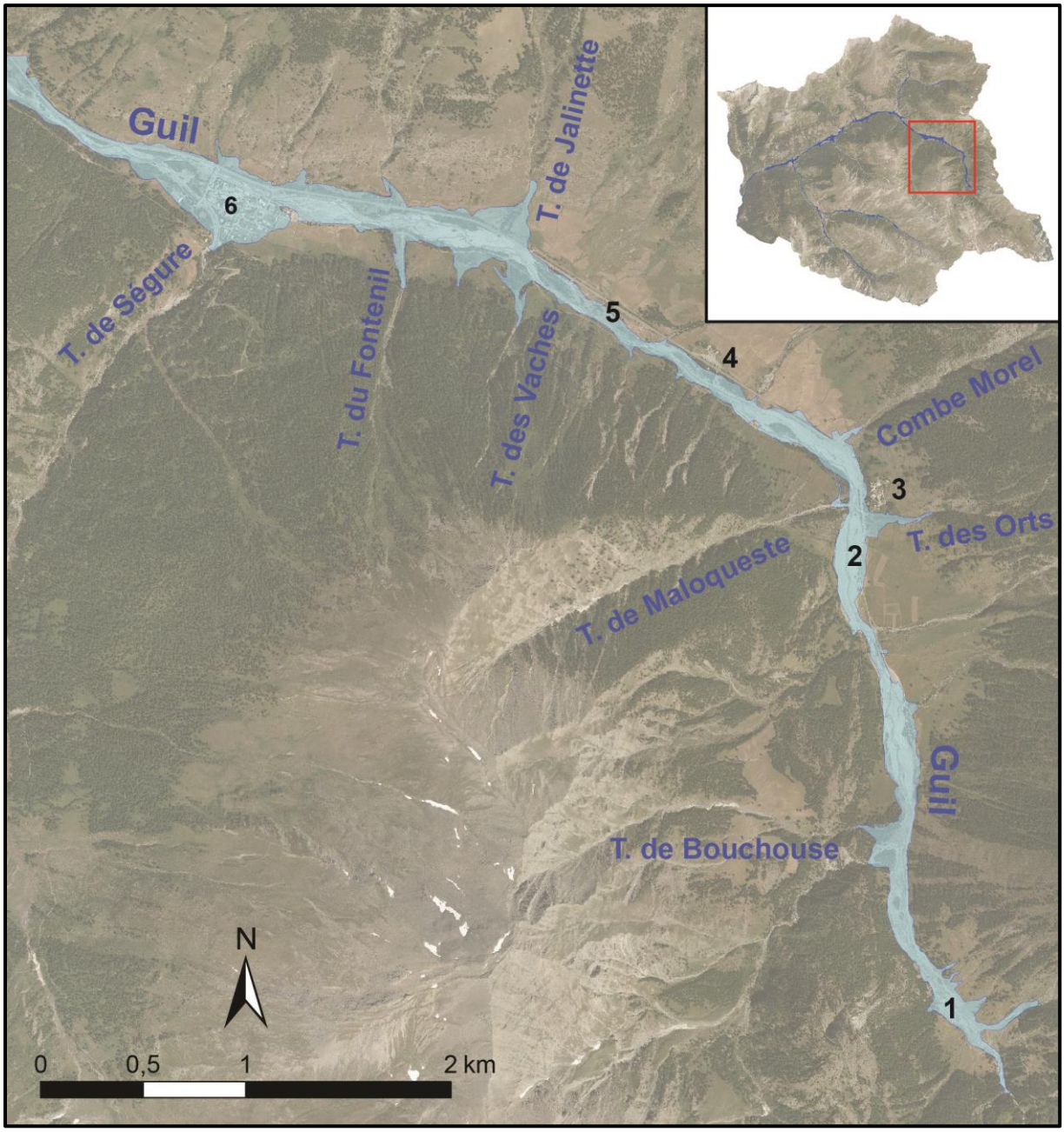


Figure 5. 2. : Carte de l'emprise de la crue de la mi-juin 1957 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur La Roche Écroulée - Ristolas. 1 – parking de La Roche Écroulée, 2 – parking de l'Échalp, 3 – hameau de l'Échalp, 4 – hameau de La Monta, 5 – camping de Ristolas, 6 – village de Ristolas.

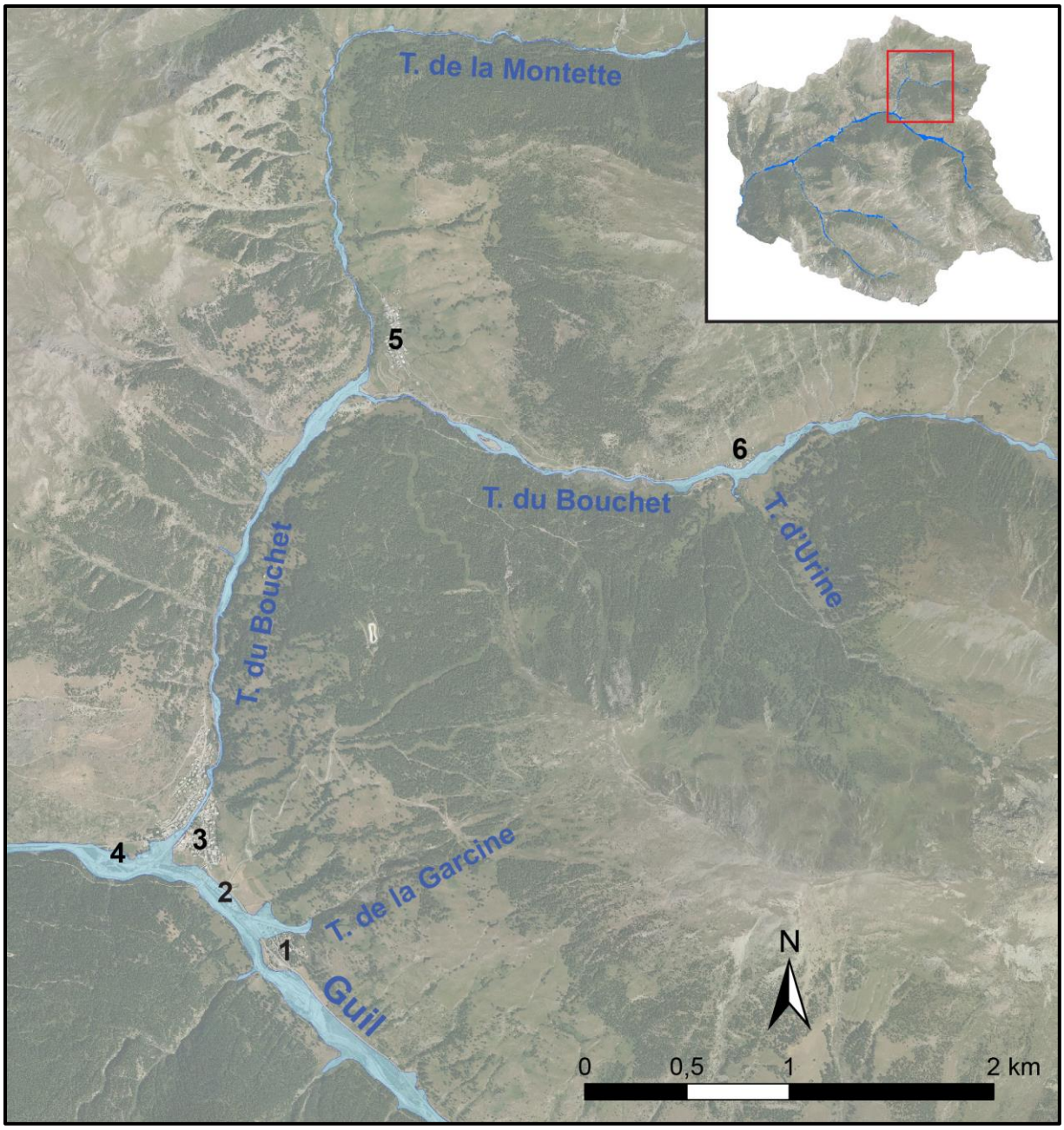


Figure 5. 3. : Carte de l'emprise de la crue de la mi-juin 1957 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Valpréveyre - Abriès. 1 – hameau de La Garcine, 2 – camping d'Abriès, 3 – village d'Abriès, 4 – zone d'activité et de loisir, 5 – hameau du Roux d'Abriès, 6 – hameau et camping de Valpréveyre.

Toutes choses égales par ailleurs, de nombreux enjeux (bâti, réseaux, surfaces artificialisées) ont été implantés dans l'emprise de la crue de juin 1957 (Fig. 5. 1. à 5. 5). Toutes les communes du Queyras sont concernées :

- Sur la commune de Ristolas (Fig. 5. 2.) : les bâtiments récemment construits dans le village (depuis 1960), le camping de Ristolas, les parkings de la Roche Ecroulé et de l'Échalp, la départementale D 947 ;

- Sur la commune d'Abriès (Fig. 5. 3.) : le hameau de La Garcine, la plaine d'Abriès, les campings d'Abriès et de Valpréveyre et les routes D 947 et D 441 ;

- Sur la commune d'Aiguilles (Fig. 5. 4.) : le camping du Gouret, le quartier de La Chalp à Aiguilles, une partie de la plaine des Ribes, les zones artisanales d'Aiguilles et du Peynin, la D 947 ;

- Sur la commune de Château-Ville-Vieille (Fig. 5. 5.) : le quartier de La Casse, des Planissaux, de Froumentière, le camping de Château-Queyras, les bâtiments récents dans la plaine de Château-Queyras et la route D 947 ;

- Sur la commune de Molines-en-Queyras (Fig. 5. 6.) : le quartier du Clôt-La-Chalpe, le camping de Pierre Grosse et les routes D 5 et D205 ;

- Sur la commune de Saint-Véran (Fig. 5. 6.) : le quartier de La Chalp et la route D 5.

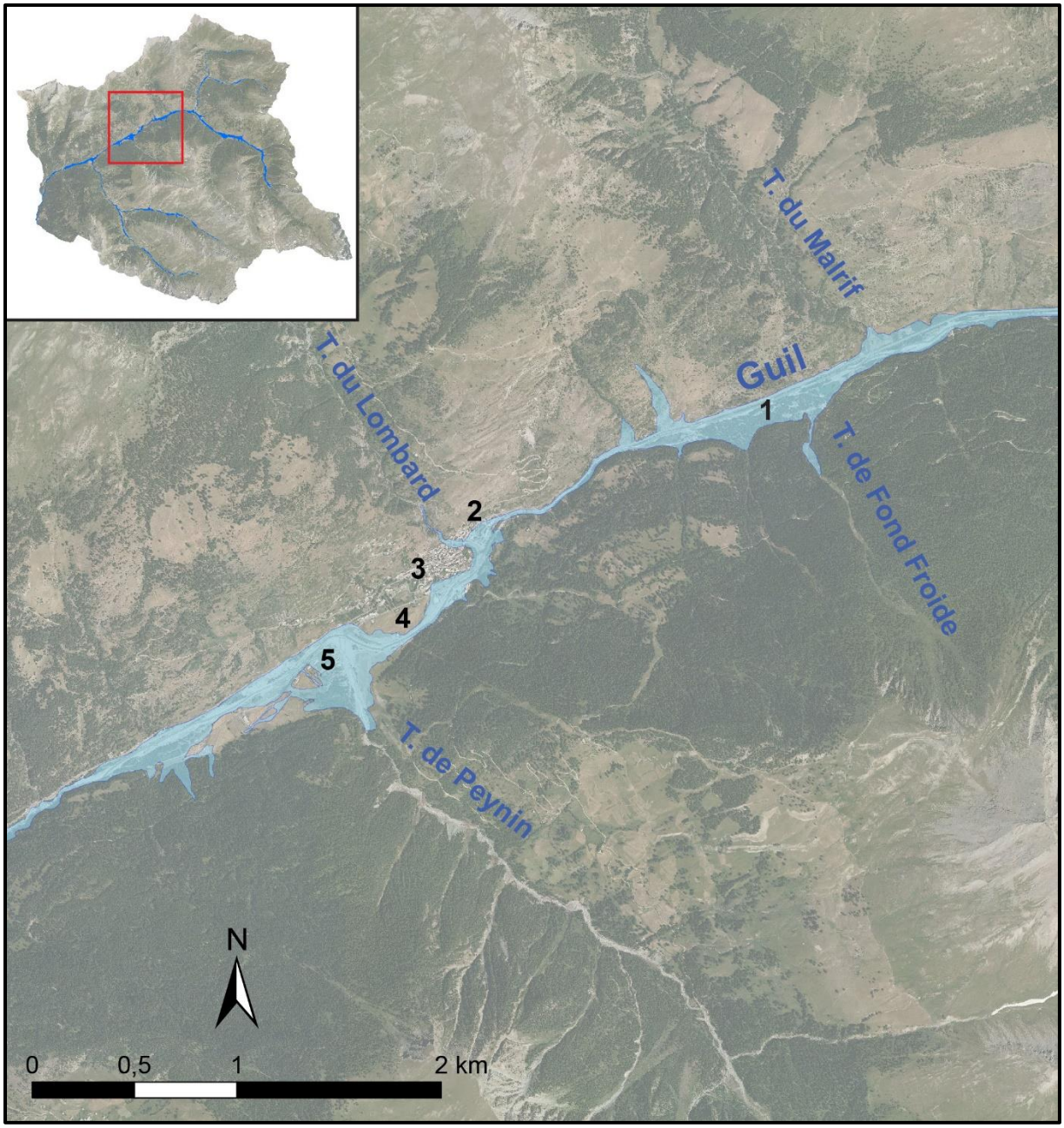


Figure 5. 4. : Carte de l'emprise de la crue de la mi-juin 1957 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Le Gouret - Aiguilles. 1 – camping du Gouret, 2 – quartier de La Chalp, 3 – village d'Aiguilles, 4 – plaine des Ribes, 5 – zone artisanale du Peynin.

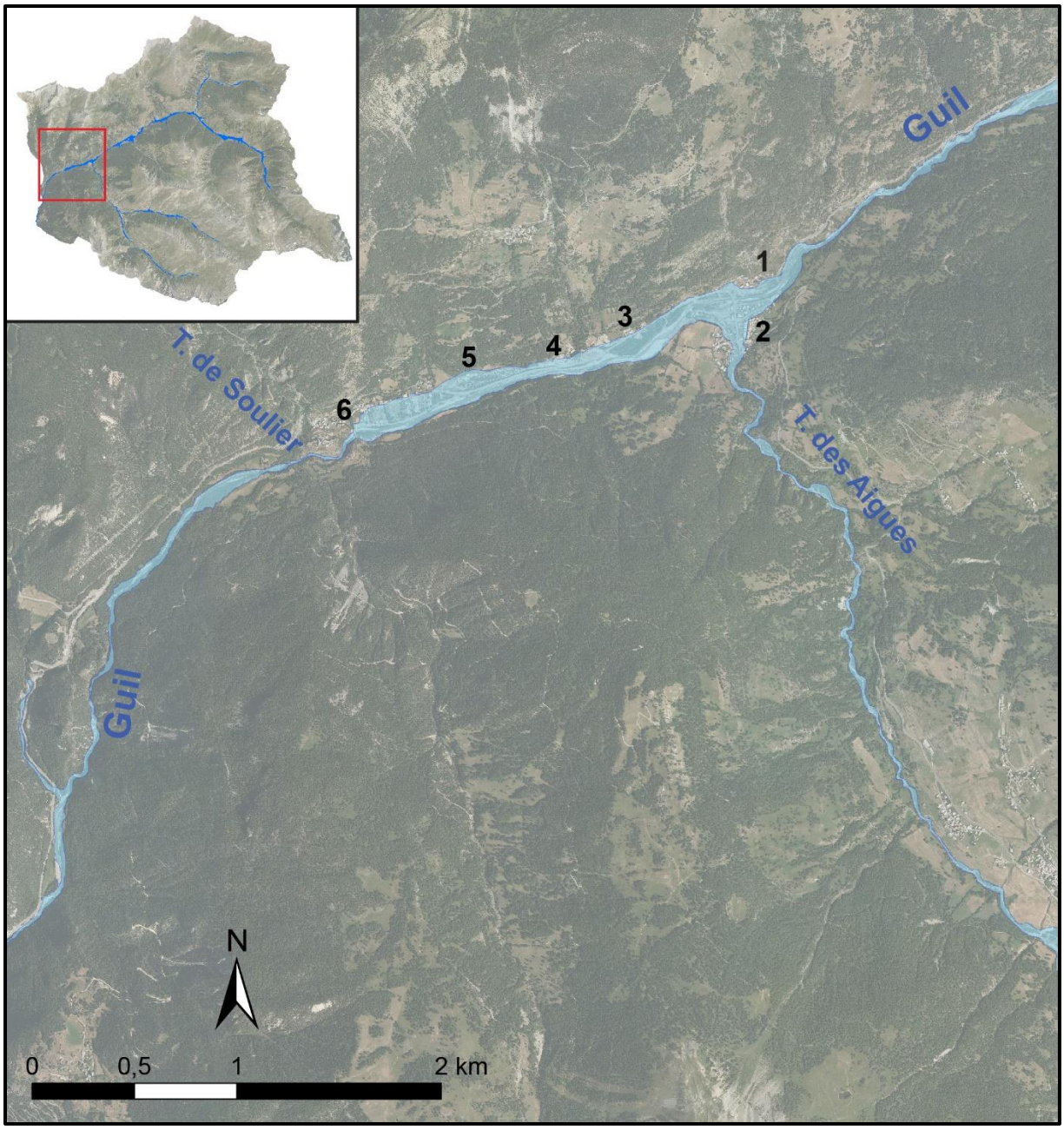


Figure 5. 5. : Carte de l'emprise de la crue de la mi-juin 1957 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Ville-Vieille - Château-Queyras. 1 – quartier de La Casse, 2 – village de Ville-Vieille, 3 – les Planissaux, 4 – zone d'activité de Froumentière, 5 – camping de Château-Ville-Vieille, 6 – village de Château-Queyras.

La cartographie produite présente certaines limites et incertitudes qu'il convient de mettre en avant. La première résulte de la méthodologie employée. Faute de données de calibration, la cartographie de la crue de 1957 n'a pas pu être effectuée sur la base d'orthophotographies. Malgré les précautions prises, des erreurs d'interprétation liées à la déformation de certaines images ont pu se produire dans ce travail.

La seconde incertitude est liée au manque de données. Les missions aériennes, dépêchées suite à la crue de 1957, se sont focalisées sur la vallée du Guil et les vallées des Aigues et du Bouchet. Plusieurs cours d'eau n'ont ainsi pas pu être cartographiés, faute de photographies aériennes les couvrant. Les principaux cours d'eau absents de la cartographie sont : le Guil, en amont de La Roche Écroulée, et les torrents du Ségure, de Peynin, du Lombard et de Souliers. Par ailleurs, les données

récoltées durant la crue sont lacunaires sur bien des points. Il n'existe pour ainsi dire aucune donnée hydraulique (vitesse critique, puissance spécifique, hauteur d'eau et de sédiments, etc.), si ce n'est une estimation du débit maximum de pointe effectuée par Tricart (1958). Seule l'emprise maximale de la crue a pu être représentée sur la carte (Fig. 1 à 6) et il en résulte une vision statique de l'épisode. Cela étant, la carte ne permet pas de hiérarchiser les zones impactées.

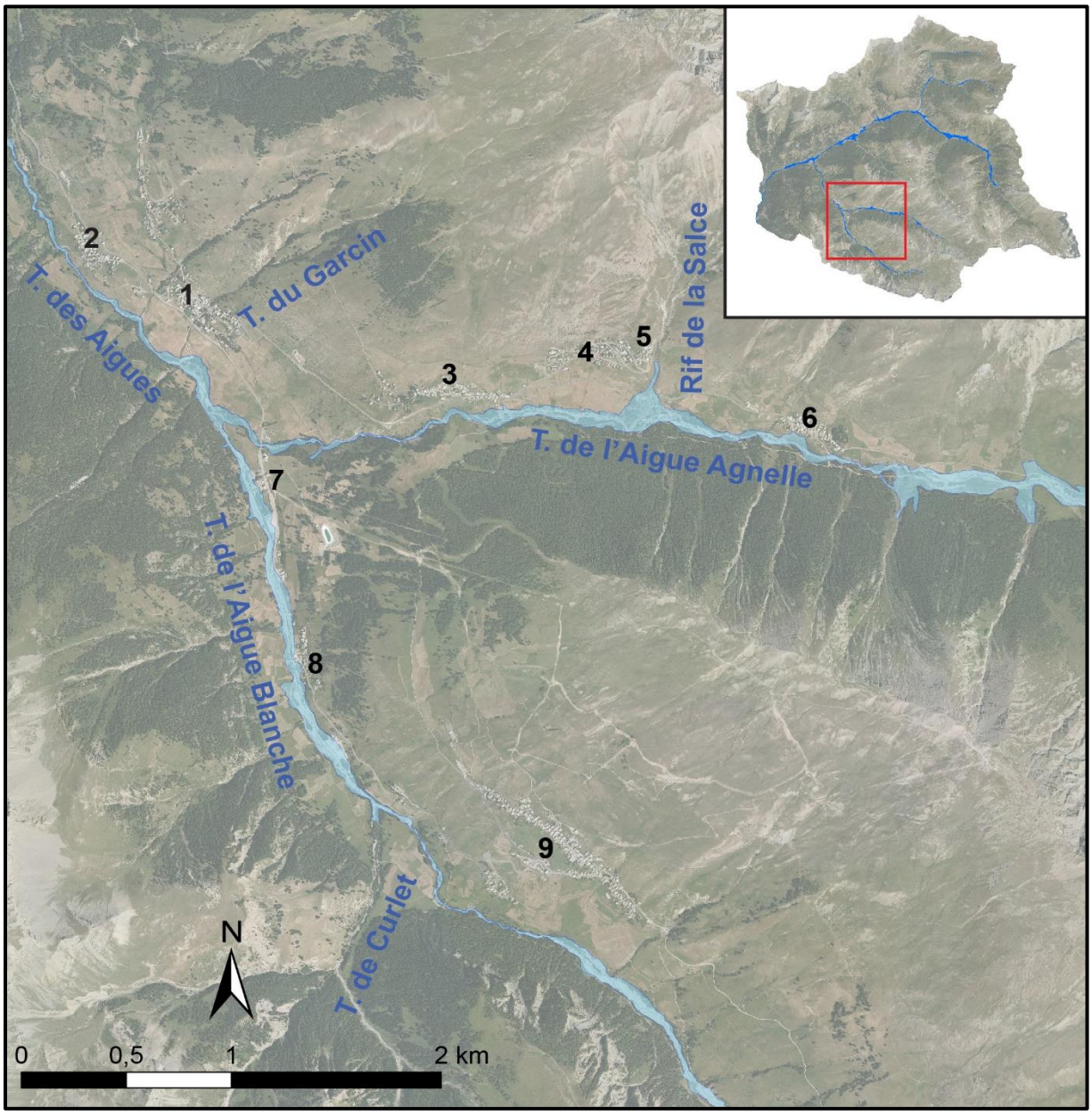


Figure 5. 6. : Carte de l'emprise de la crue de la mi-juin 1957 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Molines-en-Queyras - Saint Véran. 1 – village de Molines-en-Queyras, 2 – hameau de la Rua, 3 – village de Pierre Grosse, 4 – village de Château Renard, 5 – hameau du Coin, 6 – village de Fongillarde, 7 – Clôt-La-Chalpe, 8 – hameau de La Chalp, 9 – village de Saint-Véran.

En dépit de ces limites, la carte produite présente un réel intérêt pour l'évaluation et la gestion des risques. Elle donne une indication précise des espaces ayant été submergés par les flots du Guil et de ses principaux affluents (Fig. 5. 1. à 5. 6.). Or, la crue de juin 1957 est la crue de référence dans le Queyras (cf. *supra* chapitre 2, 2. 1.). Lors de cet événement, le Guil a réoccupé la quasi-totalité de son lit majeur. L'enveloppe de crue cartographiée peut donc être considérée comme une emprise potentielle

maximale des crues à venir. Il est vrai que, depuis la crue de 1957, le fond de vallée du Guil a subi de profondes modifications (cf. *supra* chapitre 1, 3. 3.). De ce fait, il existe peu de chances pour qu'une crue, même similaire à celle de juin 1957, conduise au recouvrement de l'ensemble des surfaces cartographiées ici. En revanche, il se peut que, localement, certaines des emprises cartographiées puissent être réinvesties par les flots. C'est le cas, par exemple, des secteurs qui n'ont pas, ou peu, été anthropisés : Guil en amont de l'Échalp (Fig. 5. 2.), secteur du camping du Gouret (Fig. 5. 4.), cône du Peynin (Fig. 5. 4.) et les vallées de l'Aigue Blanche et de l'Aigue Agnelle (Fig. 5. 6.). Il est également possible que certains ouvrages d'art n'assurent pas leur rôle de protection lors d'une future crue, soit en raison de dommages directs (ex : rupture de digue, destruction de seuils ou de radiers), soit pour cause de sous-calibration (ex : pont ou digue sous-calibrés). Ce risque ne doit pas être négligé compte tenu de l'importante aggradation observée dans le lit du Guil et de l'état de certains des ouvrages de protection situés en fond de vallée (cf. cf. *supra* chapitre 1, 3. 3.). Par ailleurs, si cette carte est utilisée par les gestionnaires locaux à des fins informatives, elle peut contribuer à raviver la mémoire et la conscience du risque liées aux crues torrentielles.

1. 1. 2. Cartographie de la crue de juin 2000

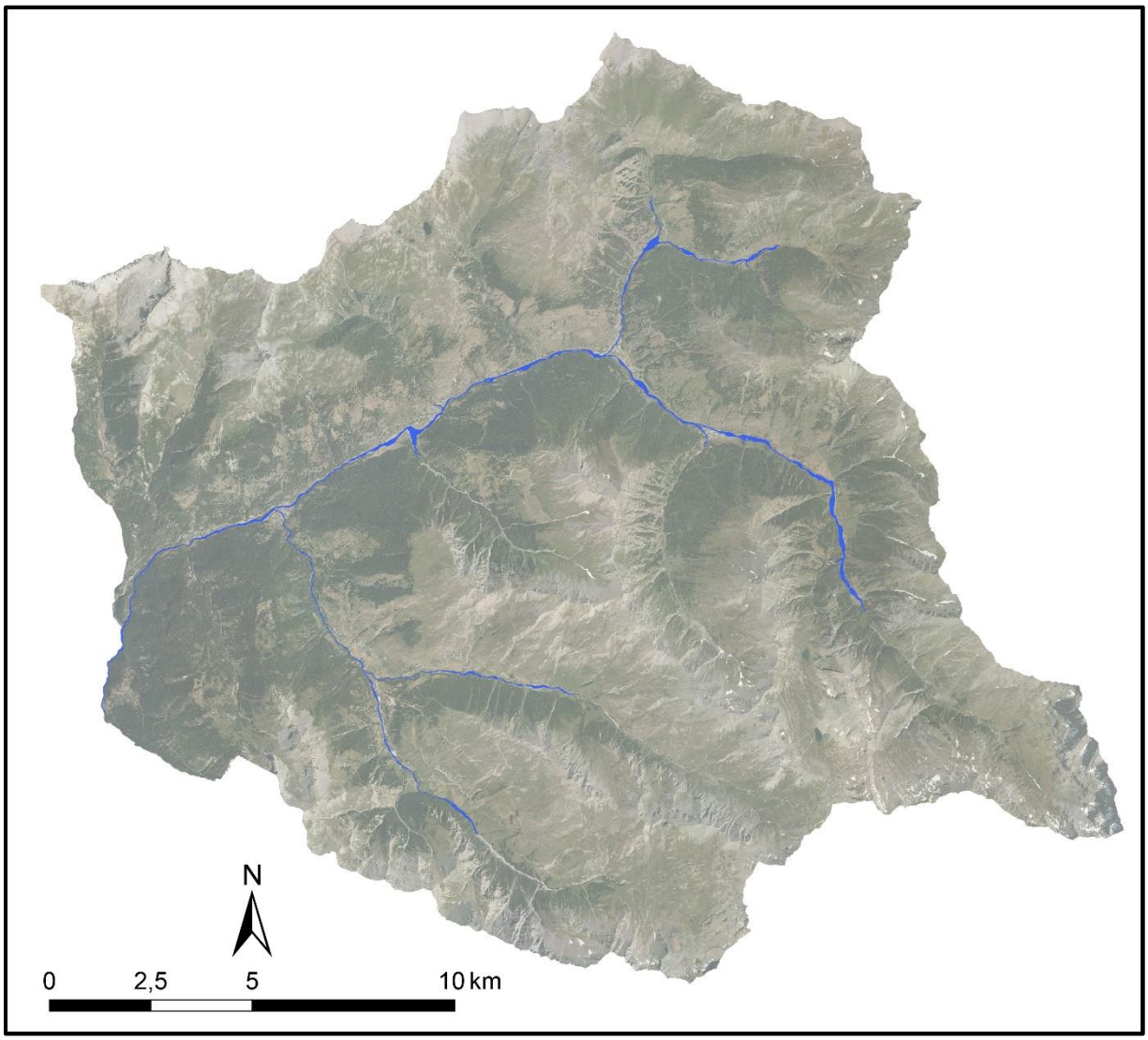


Figure 5. 7. : Carte de l'emprise de la crue de juin 2000 dans le bassin-versant du Haut-Guil.

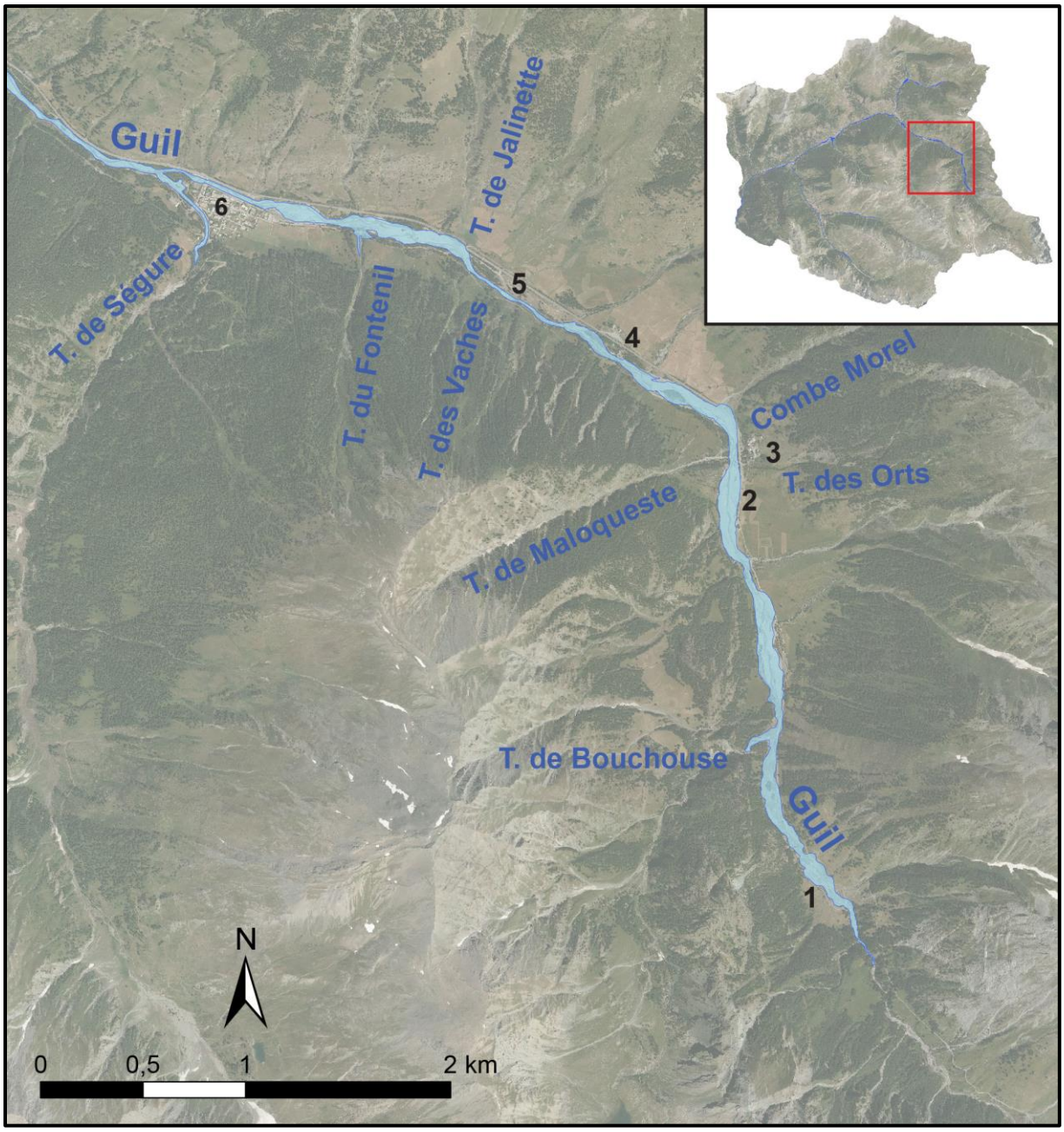


Figure 5. 8. : Carte de l'emprise de la crue de juin 2000 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur de La Roche Écroulée - Ristolas. 1 – parking de La Roche Écroulée, 2 – parking de l'Échalp, 3 – hameau de l'Échalp, 4 – hameau de La Monta, 5 – camping de Ristolas, 6 – village de Ristolas.

La cartographie de la crue de juin 2000 s'est appuyée sur l'interprétation de photographies aériennes verticales préalablement orthorectifiées à l'aide du logiciel de géomatique Envie®. Les photographies utilisées sont datées de juin 1999, juillet 2000 et juillet 2003. Ces photographies ont toutes une résolution spatiale de 1 m. Comme pour la carte de la crue de 1957, la carte des emprises de la crue de 2000 a été produite par digitalisation à l'aide du logiciel de SIG ArcGis ®.

L'enveloppe de crue cartographiée couvre une superficie d'environ 1,83 km² (Fig. 5. 7.). Les surfaces immergées sont près de 2,5 fois inférieures à celles de la crue de 1957 (cf. *supra*, chapitre 5, 1. 1. 1.). Il y a deux explications à cela. La première, et la plus évidente, est que la crue de juin 1957 a eu une intensité nettement supérieure à celle de juin 2000 (cf. *supra* chapitre 2, 2. 2.).

Sur les cartes (Fig. 5. 7. à 5. 12.), on observe que rares sont les affluents à avoir entraîné des dépôts sur leur cône de déjection. Le seul affluent important à avoir exporté de grandes quantités de sédiments sur son cône est le Peynin (Fig. 5. 10.). Des alluvionnements sont également observés en amont de Ristolas (Fig. 5. 8.), au confluent du Bouchet et du torrent de la Montette (Fig. 5. 9.) et à hauteur du camping du Gouret (Fig. 5. 10.).

La seconde explication est que les ouvrages de protection construits, suite à la crue de 1957, ont admirablement bien rempli leur rôle. Ce second élément apparaît nettement sur les cartes figurant les emprises de la crue de 2000, notamment au niveau des principaux villages (Fig. 5. 7. à 5. 12.). Sur l'essentiel de son parcours, le Guil est resté cloisonné entre les digues (Fig. 5. 7. à 5. 11.).

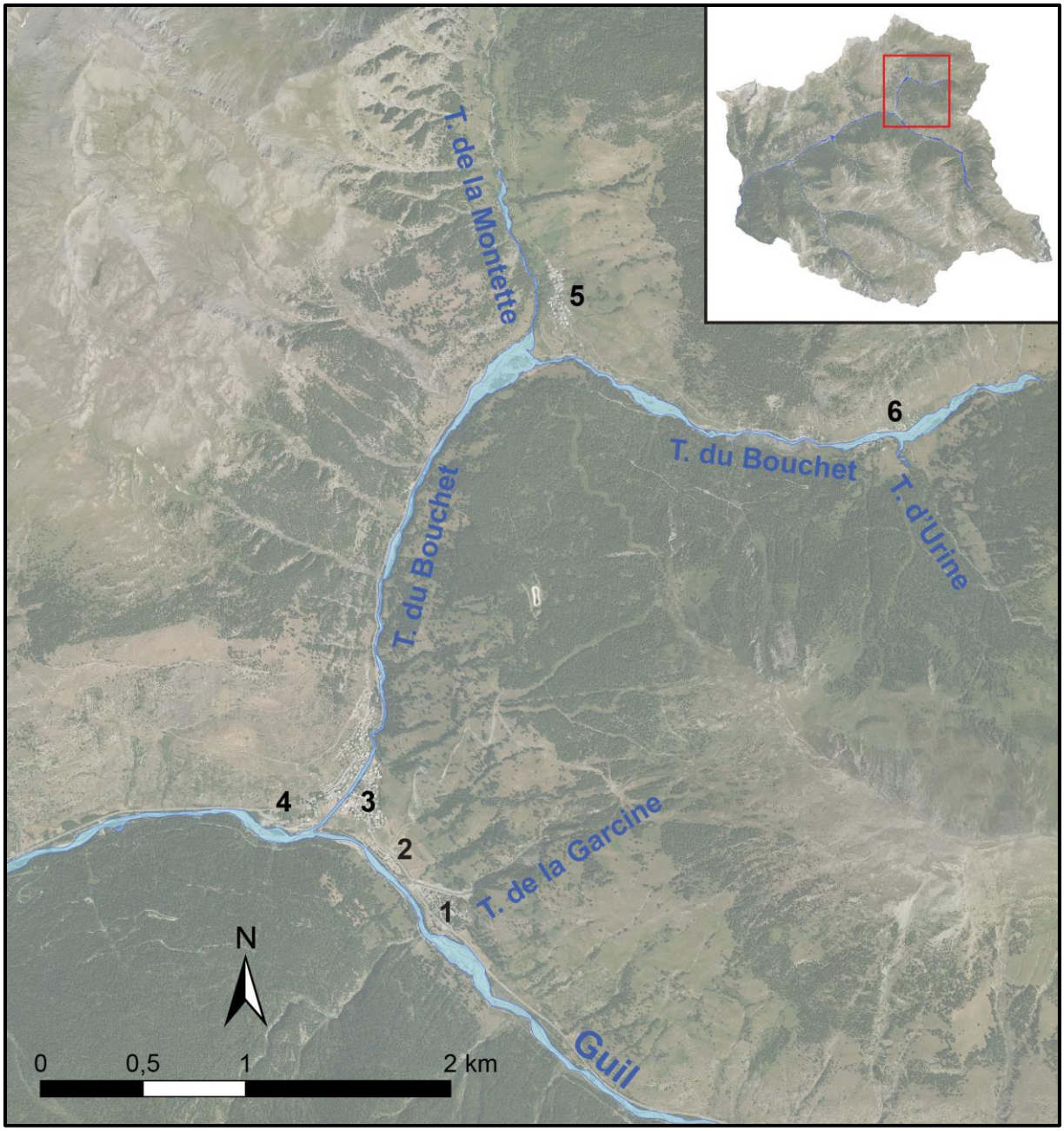


Figure 5. 9. : Carte de l'emprise de la crue de juin 2000 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Valpréveyre - Abriès. 1 – hameau de La Garcine, 2 – camping d'Abriès, 3 – village d'Abriès, 4 – zone d'activité et de loisir, 5 – hameau du Roux d'Abriès, 6 – hameau et camping de Valpréveyre.

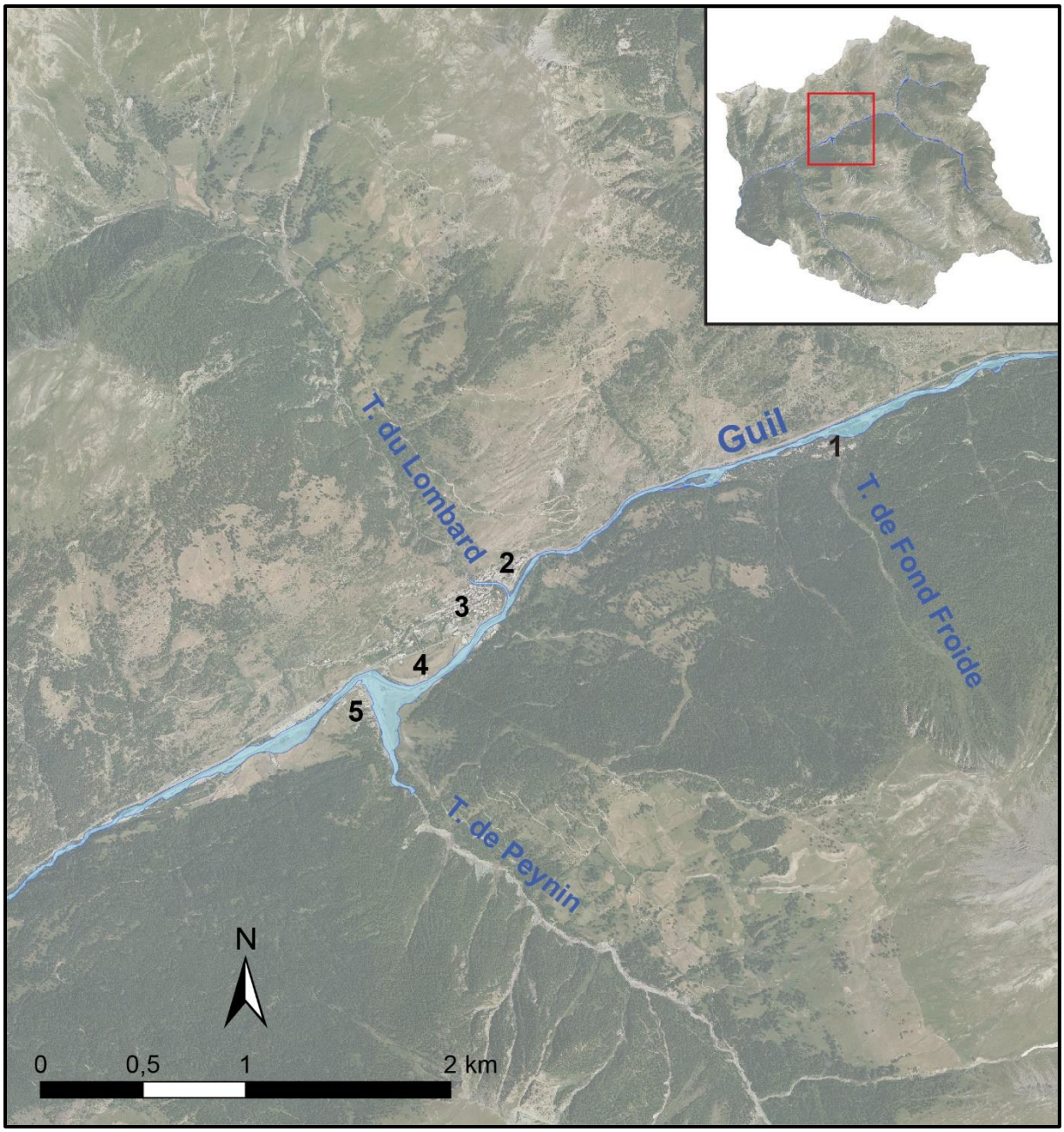


Figure 5. 10. : Carte de l'emprise de la crue de juin 2000 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Le Gouret - Aiguilles. 1 – camping du Gouret, 2 – quartier de La Chalp, 3 – village d'Aiguilles, 4 – plaine des Ribes, 5 – zone artisanale du Peynin.

Seul le tronçon le moins anthropisé, à l'amont de Ristolas (Fig. 5. 8.), a vu le Guil occuper toute sa bande active. Il en va de même de la plupart des affluents du Guil ayant fait l'objet d'une rectification de leur tracé. Seul le Peynin, dont le projet d'aménagement a été abandonné, a entraîné d'importants alluvionnements sur son cône de déjection (Fig. 5. 10.).

La cartographie des emprises de la crue de juin 2000 présente sensiblement les mêmes avantages et limites que ceux de la cartographie de la crue de 1957 (cf. *supra*, chapitre 5, 1. 1. 1.). Elle donne une indication précise des espaces ayant été submergés par le Guil et ses principaux affluents mais ne donne aucune information supplémentaire sur les paramètres hydrologiques et sédimentaires de la crue (vitesses des flux, hauteurs d'eau, forces tractrices, puissances spécifiques, etc.). Là encore, la carte produite montre une vision statique de la crue.

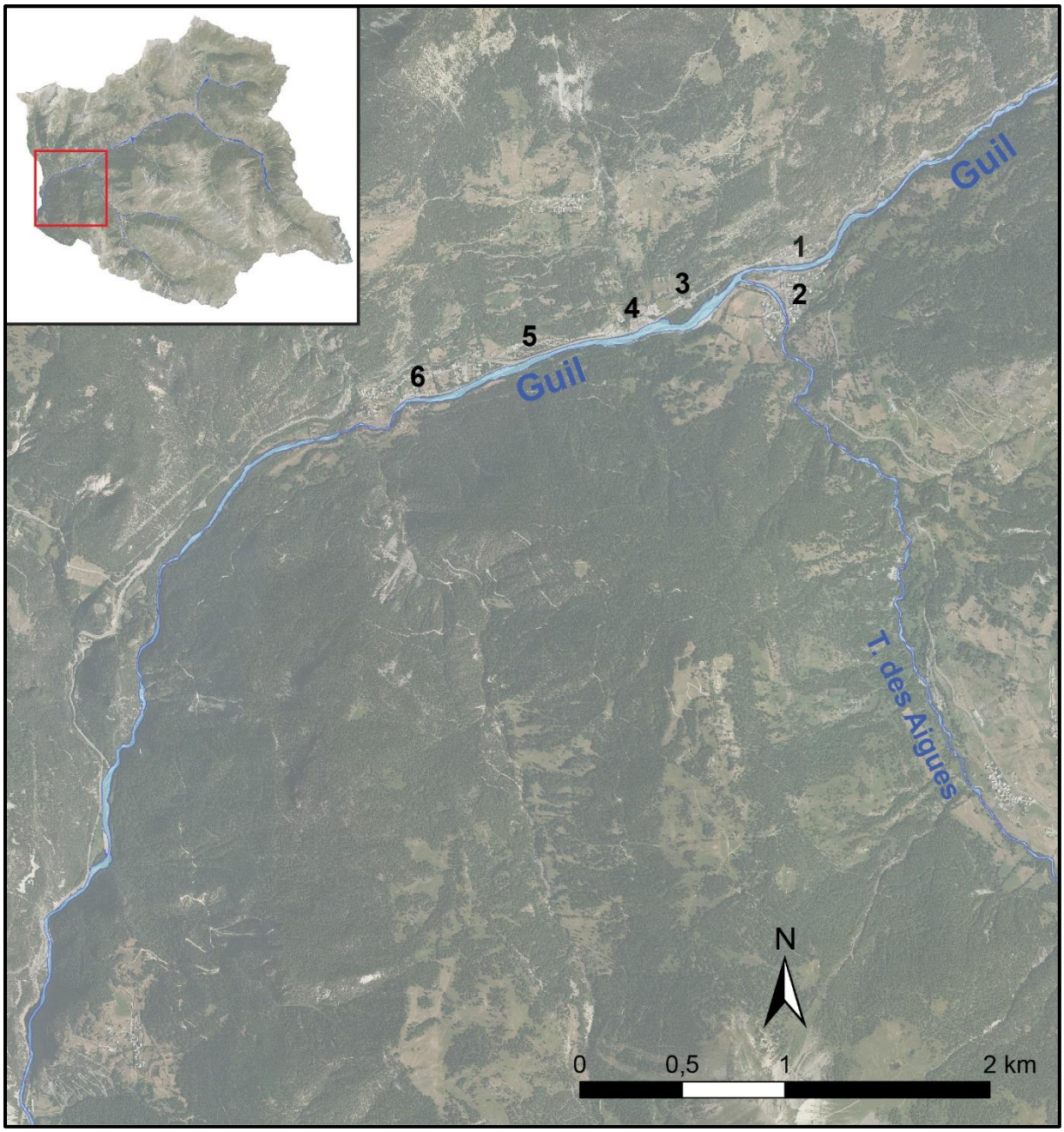


Figure 5. 11. : Carte de l'emprise de la crue de juin 2000 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Ville-Vieille – Château-Queyras. 1 – quartier de La Casse, 2 – village de Ville-Vieille, 3 – les Planissaux, 4 – zone d'activité de Froumentière, 5 – camping de Château-Ville-Vieille, 6 – village de Château Queyras.

À certains égards, la cartographie des emprises de la crue de 2000, comparée à celle des emprises de la crue de 1957, est plus intéressante pour la prévention et la gestion des risques (cf. *supra*, chapitre 5, 1. 1. 1.). La crue de juin 2000 est la dernière grande crue en date (cf. *supra*, chapitre 2, 2. 2.). C'est une crue qui est importante sans être exceptionnelle, comme celle de 1957. Sa période de retour de 30-50 ans la rend plus adaptée à la gestion des risques que la crue de 1957 (période de retour > 100 ans). Par ailleurs, elle est survenue alors que la plupart des ouvrages de protection actuels étaient déjà en place (cf. *supra*, chapitre 1, 3. 3.). Etant donné que, depuis cette dernière crue, le fond de vallée n'a subi que très peu de modifications, la cartographie de la crue de 2000 donne un bon aperçu des zones inondables (et donc, en termes de risques, des potentielles faiblesses d'aménagement du bassin-versant du Haut-Guil) pour des crues de faibles à fortes intensités. Enfin, dans la mesure où la crue de juin 2000 est encore relativement récente, la mémoire de cet épisode demeure vivace dans l'esprit des Queyrassins.

Capitaliser et entretenir cette mémoire peut être un outil efficace pour maintenir un haut niveau de conscience du risque. La cartographie produite, en tant que première carte de la crue de juin 2000 réalisée à l'échelle du Queyras, peut servir de support pour mettre en place des mesures adaptées et raisonnées.

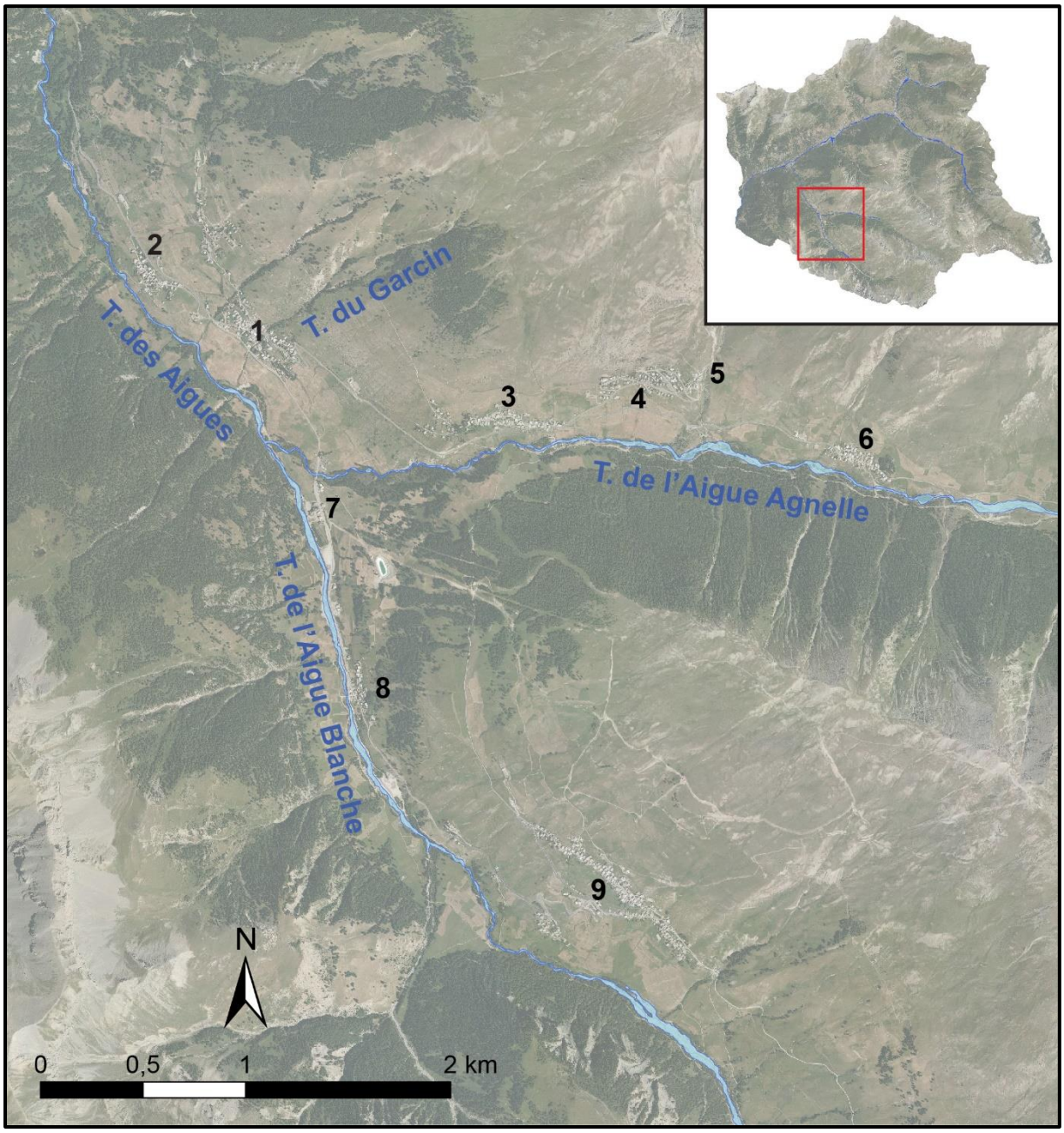


Figure 5. 12. : Carte de l'emprise de la crue de juin 2000 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Molines-en-Queyras - Saint Véran. 1 – village de Molines-en-Queyras, 2 – hameau de la Rua, 3 – village de Pierre Grosse, 4 – village de Château Renard, 5 – hameau du Coin, 6 – village de Fongillarde, 7 – Clôt-La-Chalpe, 8 – hameau de La Chalp, 9 – village de Saint-Véran.

1. 2. Cartographie de l'aléa crue torrentielle via l'usage de la modélisation

La seconde approche utilisée pour cartographier l'aléa « crue torrentielle » est fondée sur la modélisation de scénarios de crue. Les scénarios ont été élaborés suite à un travail exhaustif de bibliographie (Tricart, 1958 ; Koulinski, 2000 ; Koulinski et Lefort, 2000 ; Fort *et al.*, 2002 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005, 2014 ; PNRQ, 2014). Les cartes produites figurent des crues de fréquences et d'intensités variées : (1) crue décennale, (2) crue type « Juin 2000 » (récurrence 30-50 ans), (3) crue centennale, (4) crue type « Juin 1957 » (récurrence > 100 ans). Cette quadruple cartographie résulte de la volonté de caractériser, de manière aussi complète que possible, les différents scénarios de crues pouvant se présenter dans le bassin du Haut-Guil. Ces cartes sont le produit de simulations réalisées à l'aide du logiciel de modélisation hydraulique HecRAS® et de son module pour SIG HecGeoRAS®. Les simulations ont été élaborées à l'aide d'un seul et même modèle. Seuls les débits liquides affectés à l'amont des différents tronçons de cours d'eau diffèrent au sein des quatre simulations (Tab. 5. 1.).

Tronçon	Descriptif du tronçon	Longeur linéaire (km)	Sections en travers (nb)	Débit crue decennale	Débit crue type 2000	Débit crue centennale	Débit crue type 1957
T1	Guil a l'amont de la confluence avec le segure	11,23	50	50	100	156	180
T2	Torrent de segure	1,29	17	24	20	76	89
T3	Guil a l'amont de la confluence avec le bouchet	3,05	17	74	120	232	269
T4	Torrent du bouchet a l'amont de la confluence avec la montette	3,15	42	22	73	80	30
T5	Torrent de la montette	0,48	8	20	65	80	30
T6	Bouchet a l'aval de la confluence entre le bouchet et la montette	3,31	20	44	60	138	160
T7	Guil a l'amont de la confluence avec le lombard	4,54	23	118	180	370	429
T8	Torrent du lombart	0,52	16	13	26	40	50
T9	Guil a l'amont de la confluence avec le peynin	1,09	11	131	206	410	479
T10	Torrent de peynin	0,90	24	14	28	45	55
T11	Guil a l'amont de la confluence avec les aigues	4,10	23	145	234	455	534
T12	Aigues agnelle	5,10	26	34	40	112	136
T13	Aigues blanche	5,18	26	27	10	85	103
T14	Aigues a l'aval de la confluence entre les 2 aigues	5,43	37	61	50	197	239
T15	Guil a l'aval de la confluence avec les aigues	8,84	21	206	284	652	773

Tableau 1 : Données utilisées pour élaborer le modèle hydraulique à l'aide du logiciel HecRAS®.

Pour produire ce modèle, quinze tronçons représentant un linéaire de cours d'eau de 58,2 km ont été caractérisés (Tab. 5. 1.). En l'absence de données précises pour l'ensemble des cours d'eau du bassin-versant, seuls huit d'entre eux ont été pris en compte lors de la modélisation : le Guil, le torrent de Ségure, le torrent de la Montette, le torrent du Bouchet, le torrent du Lombard, le torrent de Peynin, l'Aigue Agnelle et l'Aigue Blanche. La géométrie (profils en long, berges et plaines d'inondation) a été extraite d'un MNT (Modèle Numérique de Terrain) à 1 m de résolution, produit avec les données LIDAR (LI*ght Detection And Ranging*) fournies par le PNRQ (Parc Naturel Régional du Queyras). Les surfaces inondées (emprises, hauteurs d'eau, vitesses) ont été extrapolées à partir de 371 sections en travers, extraites du MNT (Tab. 5. 1.). Pour rendre compte des ouvrages de protection le long des différents tronçons, les digues et chenaux artificialisés ont été intégrés au modèle. Les cartes produites ont été regroupées en cinq classes, en fonction des hauteurs d'eau modélisées (Fig. 5. 17. à 5. 21.).

Les enveloppes de crues produites représentent des surfaces d'environ 1,84 km² pour la crue décennale (Fig. 5. 10.), 2,03 km² pour la crue type « Juin 2000 » (Fig. 5. 11.), 2,74 km² pour la crue centennale (Fig. 5. 12.) et 2,88 km² pour la crue type « juin 1957 » (Fig. 5. 13.). Ces enveloppes donnent un bon aperçu du cheminement des eaux et permettent une visualisation claire et rapide des espaces potentiellement inondés durant des crues d'intensités variées. Pour une meilleure visualisation des résultats, des zooms sur les six villages du Queyras sont présentés ci-après (Fig. 5. 17. à 5. 21.).

La carte produite pour le scénario crue décennale indique des débordements limités à certains secteurs : la zone qui fait face au parking de La Roche Écroulée, en amont de Ristolas (Fig. 5. 13. et 5. 17., A), la partie basse du village d'Abriès, en aval de la confluence entre le Guil et le torrent du Bouchet (Fig. 5. 13. et 5. 18., A), la partie aval du camping du Gouret, en amont d'Aiguilles (Fig. 5. 13.) et l'espace qui fait face à la déchèterie d'Aiguilles, en aval de la confluence entre le Guil et le torrent de Peynin (Fig. 5. 13 et 5. 19., A). Sur ces espaces, les hauteurs d'eau simulées sont plutôt faibles (< 0,5 m), ce qui suggère un aléa de faible intensité. L'enveloppe produite montre que les ouvrages de protection mis en place dans le fond de vallée assurent correctement leur rôle face à une crue de récurrence décennale.

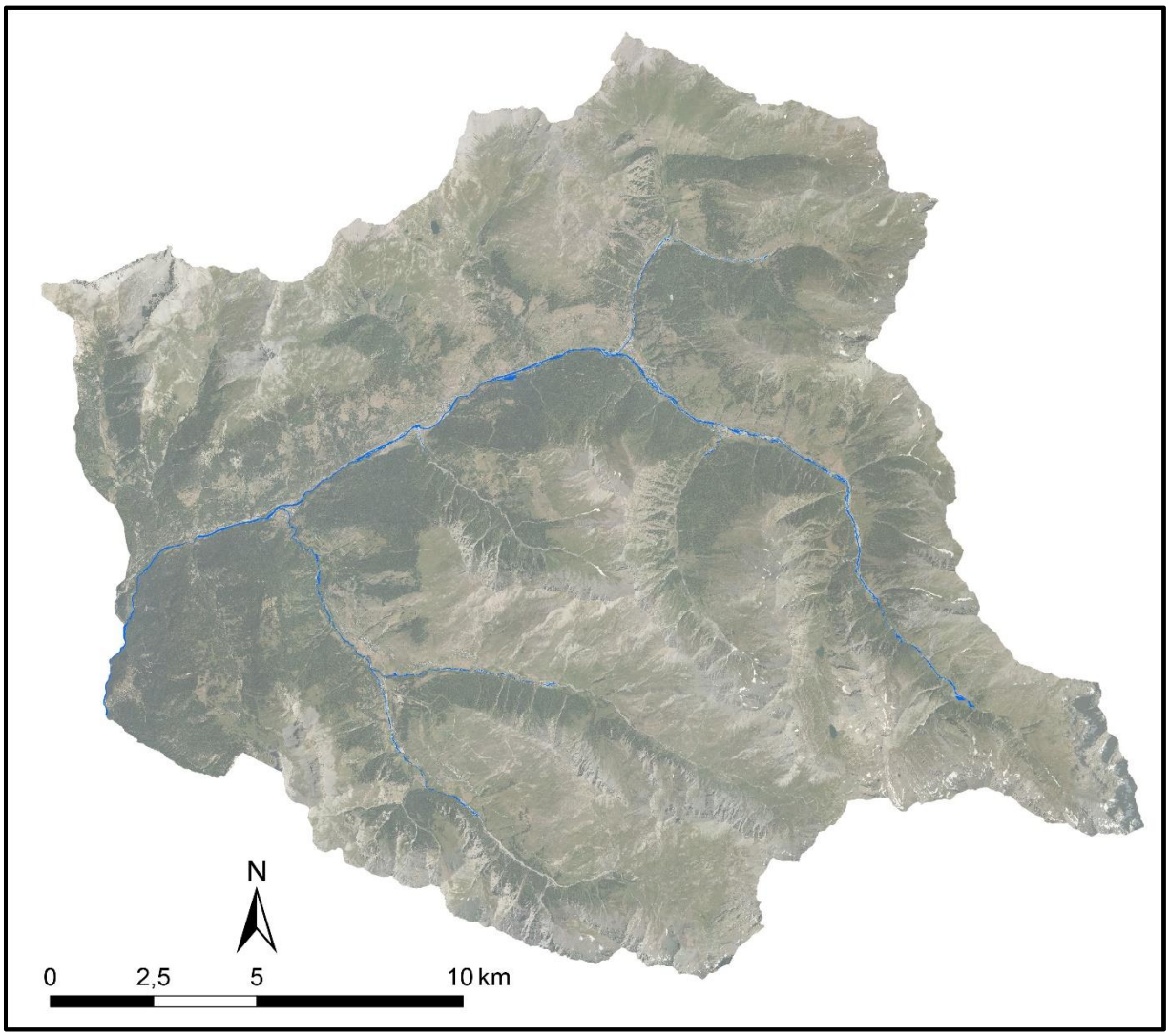


Figure 5. 13. : Emprise simulée d'une crue décennale dans le bassin-versant du Haut Guil.

Le produit de la simulation de la crue de type « juin 2000 » indique des surfaces immergées et des hauteurs d'eaux plus importantes que pour la crue simulée avec des débits décennaux (Fig. 5. 13. et 5. 14.). Les espaces immergés intègrent ceux déjà cartographiés comme tels sur la carte de la crue décennale. S'y ajoutent de nouveaux espaces : une partie des parkings de La Roche Écroulée (Fig. 5. 14.) et de l'Échalp (Fig. 5. 14.), l'intégralité de la zone artisanale située face à l'hôpital d'Aiguilles, la partie aval de la plaine des Ribes et la zone de stockage de matériaux de construction située face au cône du Peynin. (Fig. 5. 14. et 5. 19., B). Partout ailleurs, les flots simulés restent contenus par les digues mises en place en fond de vallée. L'enveloppe de crue simulée est globalement assez

proche de celle de la crue de juin 2000, cartographiée par photo-interprétation (cf. *supra*, chapitre 5, 1. 1. 2.). Sur certains secteurs du fond de vallée, les deux cartes présentent néanmoins des différences importantes (Fig. 5. 22.). Entre La Roche Écroulée et Ristolas, l'enveloppe de crue est plus importante dans le cas de la cartographie effectuée par photo-interprétation (Fig. 5. 22., A). Entre Ristolas et Aiguilles, c'est l'inverse (Fig. 5. 22., B). Les différences les plus importantes entre les deux cartographies se situent au niveau du village d'Aiguilles, sur le cône du Peynin et en aval de celui-ci (Fig. 5. 22., C). Cette différence est probablement liée au fait que le modèle produit ne tient pas encore compte des flux sédimentaires.

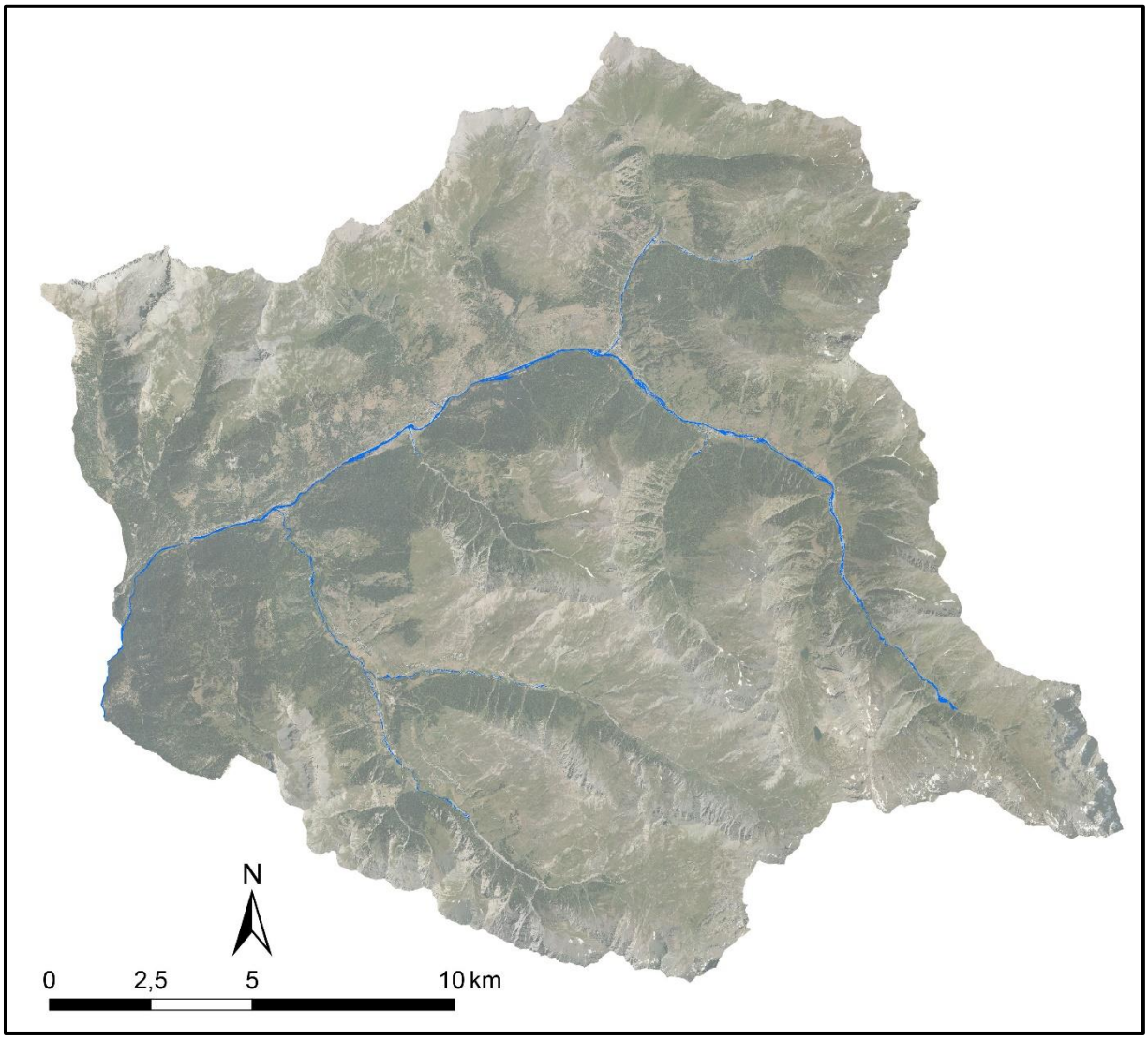


Figure 14 : Emprise simulée d'une crue type crue de juin 2000 (récurrence trentennale-cinquantennale) dans le bassin-versant du Haut Guil.

La carte produite pour le scénario de crue centennale montre d'importantes surfaces recouvertes par les flots (Fig. 5. 15.). Sont concernés, une fois encore, les parkings de La Roche Écroulée et de l'Échalp (Fig. 5. 15.), la plaine d'Abriès (Fig. 5. 18., C), le camping du Gouret (Fig. 5. 15.), la zone artisanale d'Aiguilles et le dépôt de matériaux situé face au cône du Peynin (Fig. 5. 19., C). À ces espaces s'ajoutent la quasi-totalité de la plaine des Ribes et toute la surface de la terrasse de 1957 située en aval du cône du Peynin (Fig. 5. 19., C). La cartographie montre également une inondation partielle de la plaine située en amont du verrou de Château-Queyras (Fig. 5. 20., C). Les hauteurs d'eaux modélisées sont très importantes en comparaison de celles produites pour les scénarios de crue décennale et

trentennale-cinquantennale (Fig. 5. 12. à 5. 14.). Si, sur la plupart de son tracé, le Guil reste circonscrit entre ses digues, les hauteurs d'eau dans le chenal et la bande active sont souvent supérieures à 2 m, ce qui suggère une forte puissance du cours d'eau. Dans ce contexte, il faut envisager que certains ouvrages de protection soient endommagés et ne remplissent pas leur rôle.

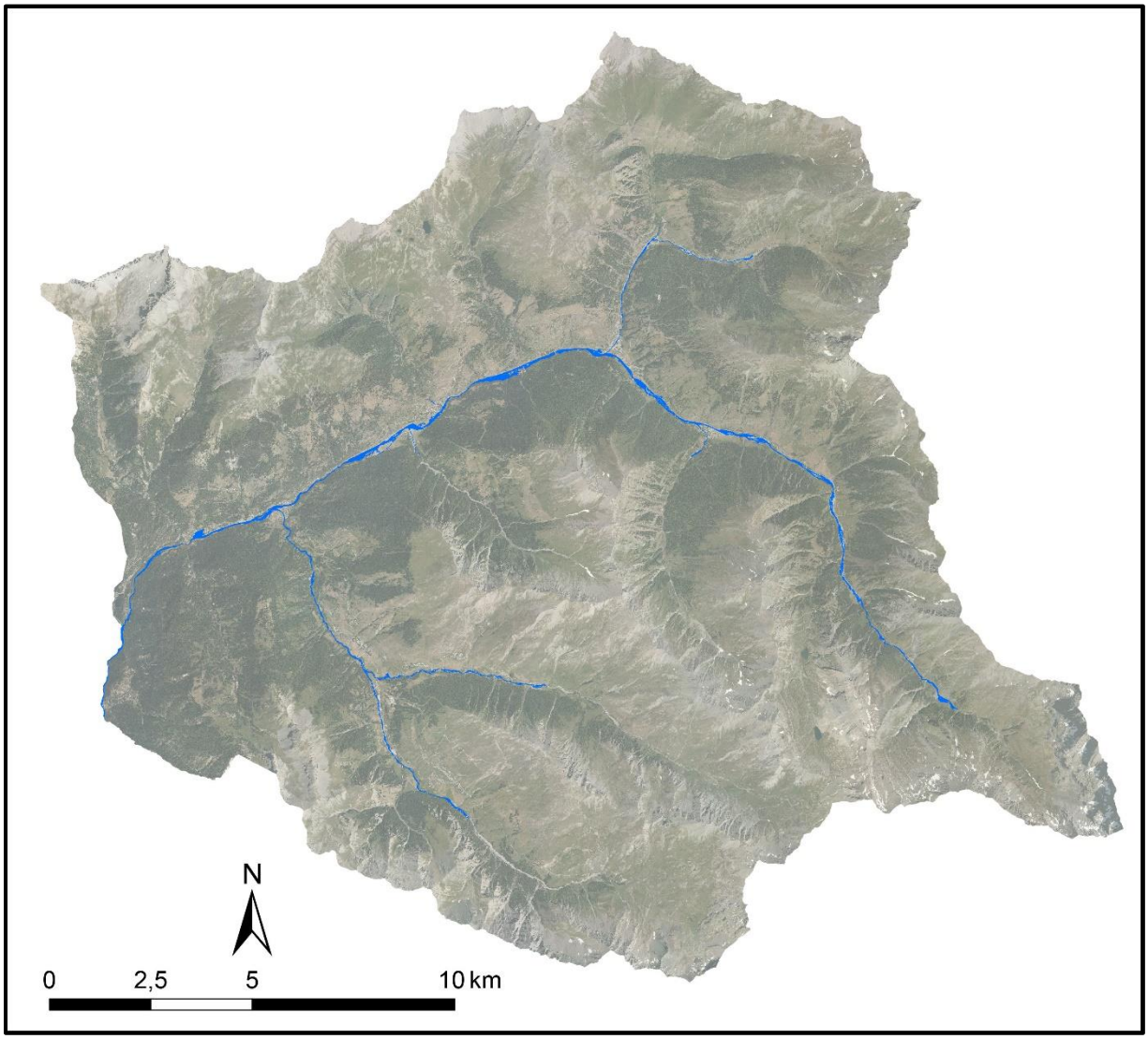


Figure 5. 15. : Emprise simulée d'une crue centennale dans le bassin-versant du Haut Guil.

Le produit de la simulation de la crue de type « juin 1957 » (récurrence > 100 ans) donne une enveloppe de crue proche de celle obtenue pour la crue centennale (Fig. 5. 15. et 5. 16.). En termes d'emprises, les seules différences notables se situent au niveau de la plaine de Ribes, à Aiguilles, et de la plaine de Château-Queyras, qui sont toutes deux davantage inondées dans la simulation de la crue type 1957 (Fig. 19, C et D). Pour le reste, les emprises sont en tous points similaires (Fig. 5. 15. et 5. 16.). La principale différence entre les deux cartographies réside dans les hauteurs d'eau estimées (Fig. 5. 15. et 5. 16.). Ces dernières sont en effet plus importantes dans le cas de la simulation de la crue « type juin 1957 » (Fig. 5. 17. à 5. 21., C et D).

L'enveloppe de crue simulée est assez différente de celle de la crue de juin 1957, cartographiée par photo-interprétation (cf. *supra*, chapitre 5, 1. 1. 1, Fig. 5. 23.). Cela est normal dans la mesure où la plupart des ouvrages de protection ont été mis en place après la crue de juin 1957. Si l'on excepte les zones désormais protégées par des digues, les deux cartographies présentent pourtant de nombreuses

similitudes (Fig. 5. 23.). Des différences majeures s'observent cependant au niveau des débouchés des torrents affluents du Guil (Fig. 5. 23.). Ces différences sont dues au fait que le modèle n'intègre pas tous les affluents du Guil, faute de données les concernant. On peut également expliquer cette différence par la non-intégration des flux sédimentaires dans le modèle.

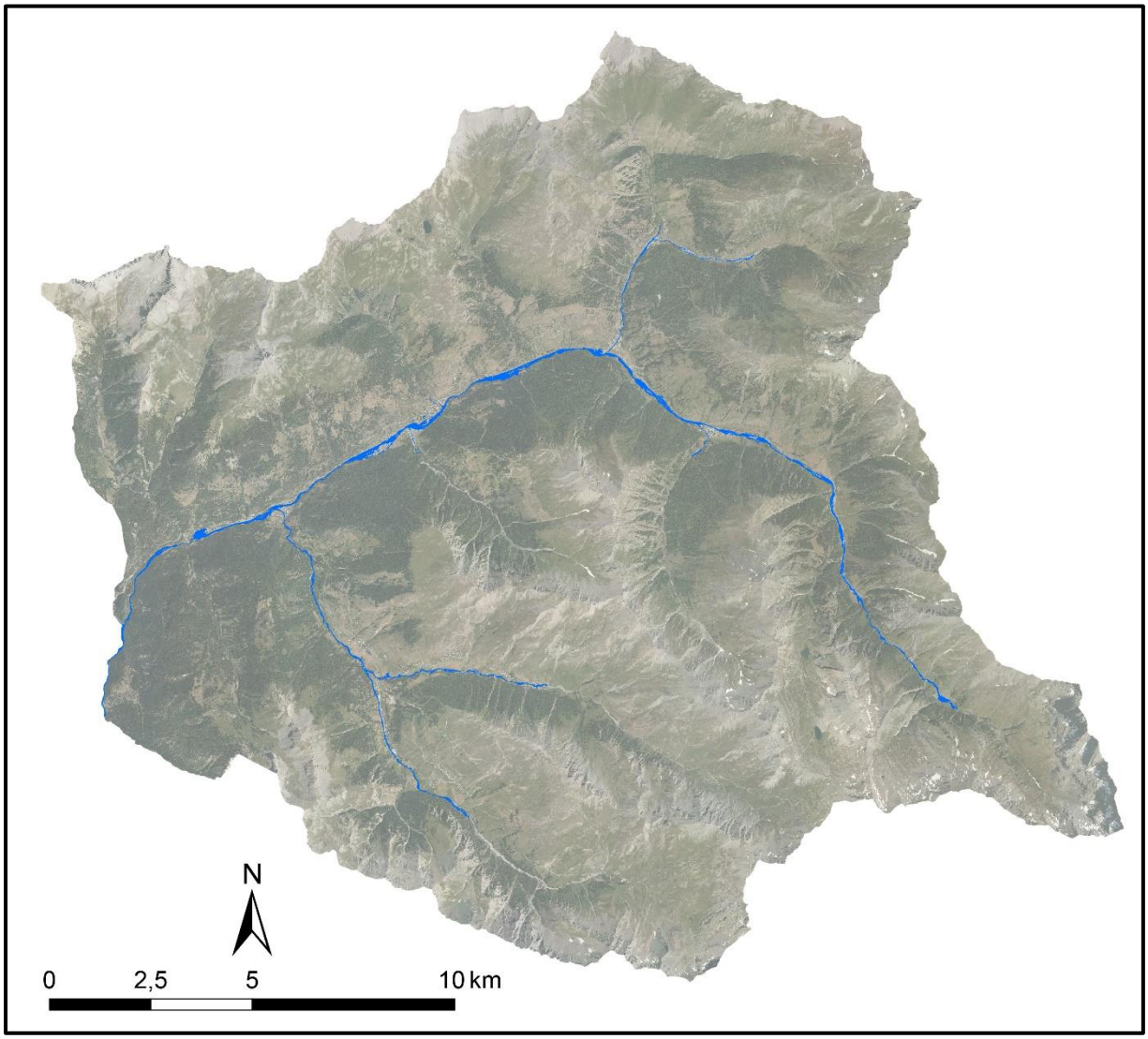


Figure 5. 16. : Emprise simulée d'une crue type juin 1957 (Q > 100 ans) dans le bassin-versant du Haut Guil.

Contrairement aux cartes historiques produites pour les crues de juin 1957 et juin 2000, les cartes par modélisation donnent une indication spatiale de l'intensité des crues considérées. Pour autant, ce modèle souffre d'un certain nombre de limites qui ne doivent pas être occultées. Comme indiqué plus haut, le modèle n'intègre pas la totalité des cours d'eau du bassin du Haut-Guil. En raison des dangers qu'ils représentent pour les communautés locales, mériteraient pourtant d'être incorporés au modèle : les torrents de Maloqueste (face à L'Échalp), de la Garcine (Abriès), d'Urine (face à Valpréveyre), du Malrif (entre Abriès et Aiguilles), du Garcin (Molines-en-Queyras), de la Salce (le Coin), de Platonq (Mériès, Château-Queyras) et de Soulier (Soulier et Château-Queyras). L'acquisition de données hydrauliques supplémentaires (débits, hauteurs d'eaux et coefficients de rugosité de Manning-Strickler) et une extension du jeu de données LIDAR à l'ensemble du linéaire de cours d'eau pourraient permettre à brève échéance de pallier ce manque.

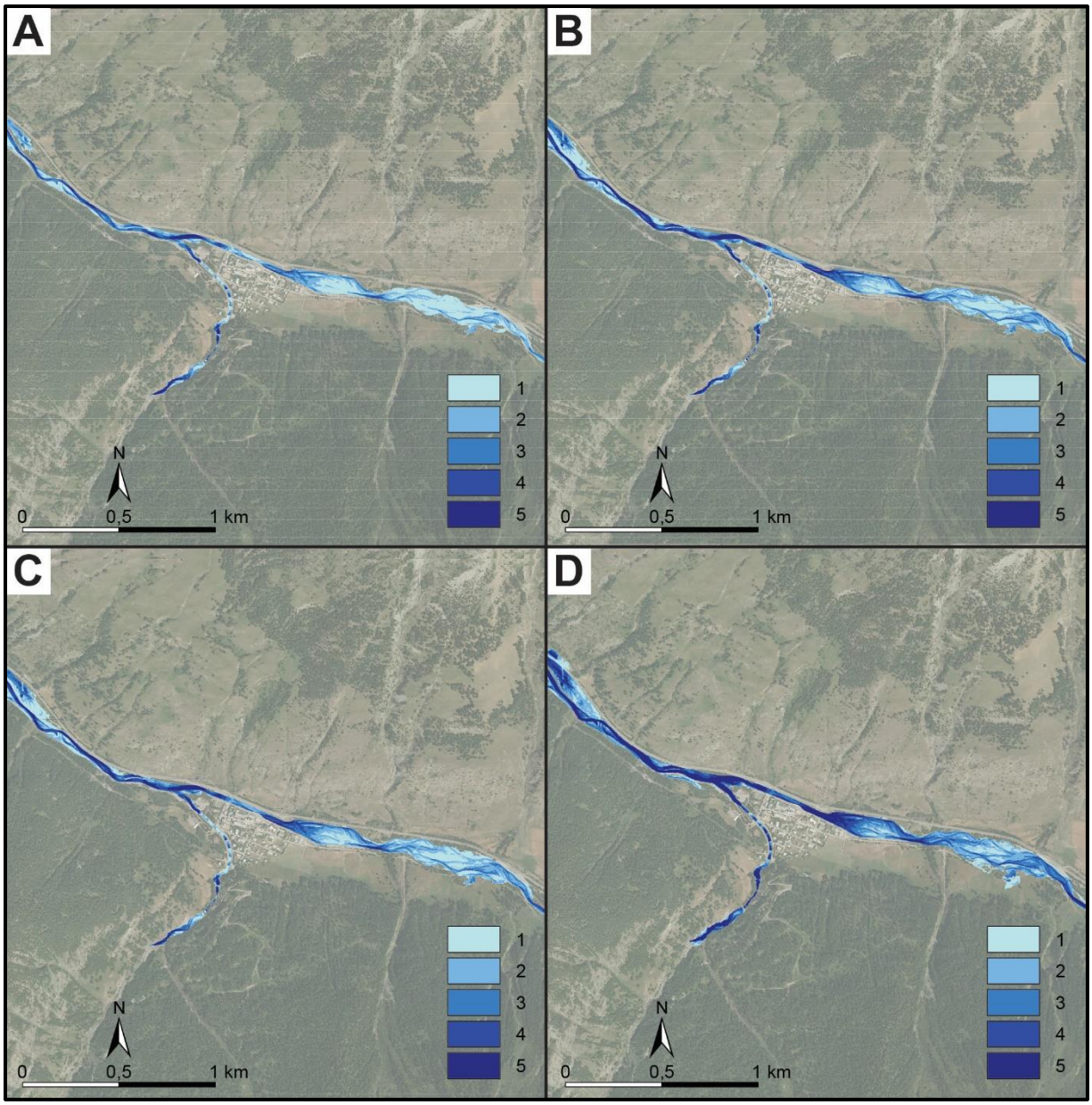


Figure 5. 17. : Emprises de crue et hauteurs d'eau simulées au niveau du village de Ristolas : A – pour un scénario de crue décennale, B – pour un scénario de crue trentennale-cinquantennale (type crue de juin 2000), C – pour un scénario de crue centennale, D – pour un scénario de crue plus que centennale (type crue de juin 1957). Hauteur d'eau : 1 – inférieure ou égale à 0,5 m, 2 – comprise entre 0,5 m et 1 m, 3 – comprise entre 1 m et 1,5 m, 4 – comprise entre 1,5 et 2 m, 5 – supérieure ou égale à 2 m.

La seconde limite du modèle tient à ce qu'il n'intègre que les seuls flux hydriques. Les flux sédimentaires, qui jouent pourtant un rôle essentiel dans les destructions causées par les crues torrentielles, n'ont pour l'heure pas été pris en compte dans la modélisation. Il faut dire que c'est une tâche compliquée à mettre en œuvre dans l'état actuel des connaissances sur le bassin du Haut-Guil. Faute d'informations précises sur les précédentes crues, l'acquisition et le traitement des données nécessaires à ce travail impliqueraient un lourd travail de terrain et de modélisation (cf. *supra*, chapitre 3 et 4). Les flux sédimentaires n'étant pas simulés dans le modèle produit, ce dernier reste très dépendant de la topographie (données LIDAR). Les emprises de crues produites doivent par conséquent être considérées comme des emprises *a minima*.

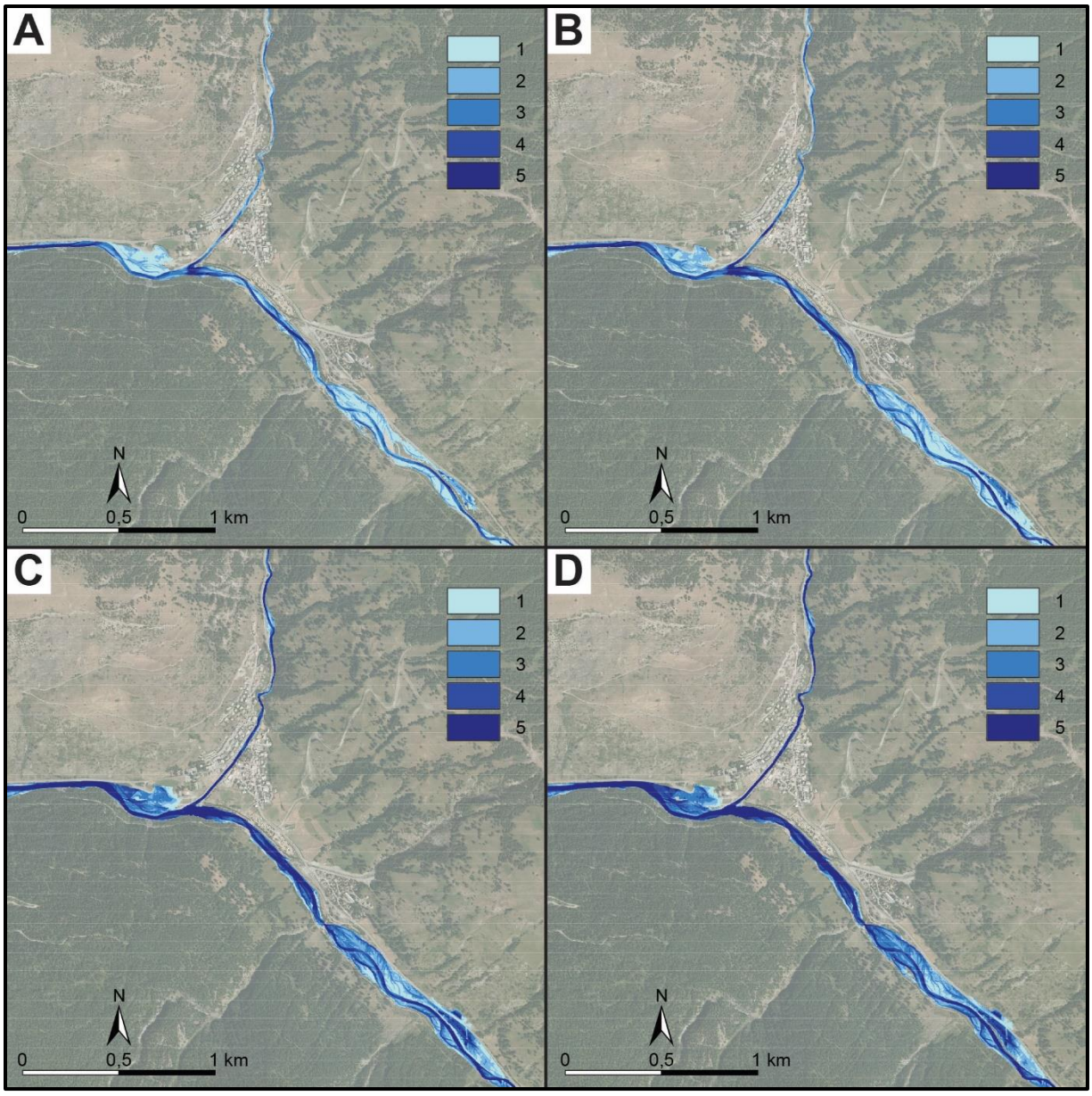


Figure 5. 18. : Emprises de crue et hauteurs d'eau simulées au niveau du village d'Abriès : A – pour un scénario de crue décennale, B – pour un scénario de crue trentennale-cinquantennale (type crue de juin 2000), C – pour un scénario de crue centennale, D – pour un scénario de crue plus que centennale (type crue de juin 1957). Hauteur d'eau : 1 – inférieure ou égale à 0,5 m, 2 – comprise entre 0,5 m et 1 m, 3 – comprise entre 1 m et 1,5 m, 4 – comprise entre 1,5 et 2 m, 5 – supérieure ou égale à 2 m.

Le dernier point à soulever tient à la prise en compte des ouvrages d'art (ponts et ouvrages de protection). Sur cet aspect, des améliorations peuvent être faites. Dans la présente étude, seules les digues et les chenaux artificialisés ont été intégrés aux modèles et encore, uniquement afin de contraindre les flots latéralement. Or toutes les digues ne se comportent pas de la même façon, ni n'ont la même résistance. Par exemple, les pseudo-digues en terre qui encadrent le torrent du Peynin sur son cône de déjection sont, pour l'heure, considérées par le modèle comme équivalentes à celles maçonnées, que l'on trouve le long des berges du Guil. Il est évident que leur résistance n'est en rien comparable. En cas de forte crue, les pseudo-digues en terre seront inévitablement endommagées, ce qui entraînera une modification du tracé du torrent du Peynin sur son cône (comme en juin 1957 ou en juin 2000).

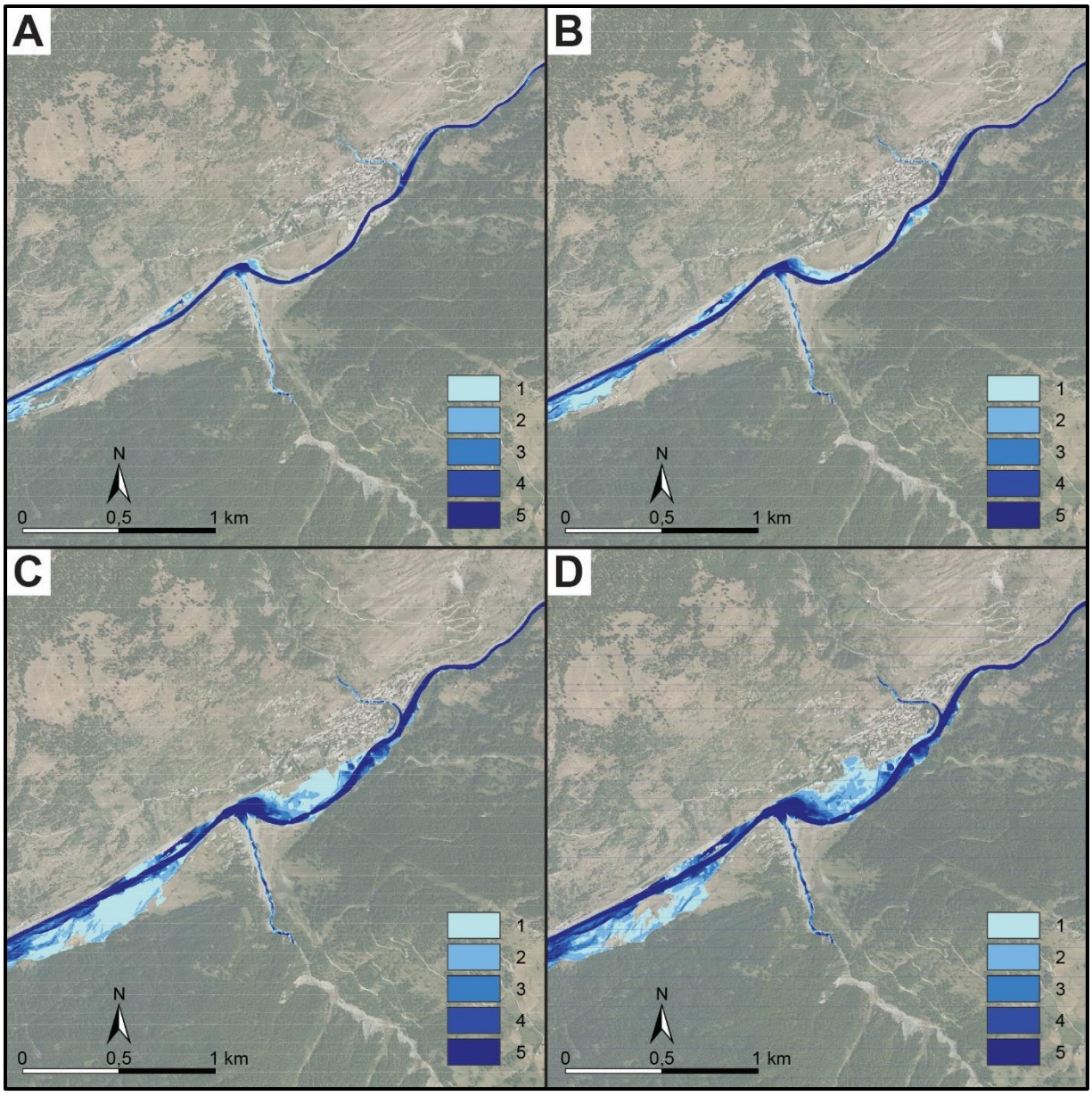


Figure 5. 19. : Emprises de crue et hauteurs d'eau simulées au niveau du village d'Aiguilles : A – pour un scénario de crue décennale, B – pour un scénario de crue trentennale-cinquantennale (type crue de juin 2000), C – pour un scénario de crue centennale, D – pour un scénario de crue plus que centennale (type crue de juin 1957). Hauteur d'eau : 1 – inférieure ou égale à 0,5 m, 2 – comprise entre 0,5 m et 1 m, 3 – comprise entre 1 m et 1,5 m, 4 – comprise entre 1,5 et 2 m, 5 – supérieure ou égale à 2 m.

À cette limite s'ajoute celle de l'absence des ponts dans le modèle. Pour modéliser l'impact des ponts sur les écoulements, une mission de terrain supplémentaire aurait été nécessaire pour récolter des informations sur leurs caractéristiques (matériaux, calibrage, état, etc.). Pour l'heure, ils n'ont donc pas encore été pris en compte, bien qu'ils puissent constituer des freins à l'écoulement des flots et conduire à la formation d'embâcles s'ils sont sous-calibrés (cf. *supra*, chapitre 1, 3. 3.). Concernant les ouvrages d'art, il y a donc matière à améliorer le modèle. Une analyse plus poussée du comportement de ces ouvrages, notamment des ponts, face aux différents scénarios de crue proposés, permettrait de mieux appréhender les risques liés à de tels événements.

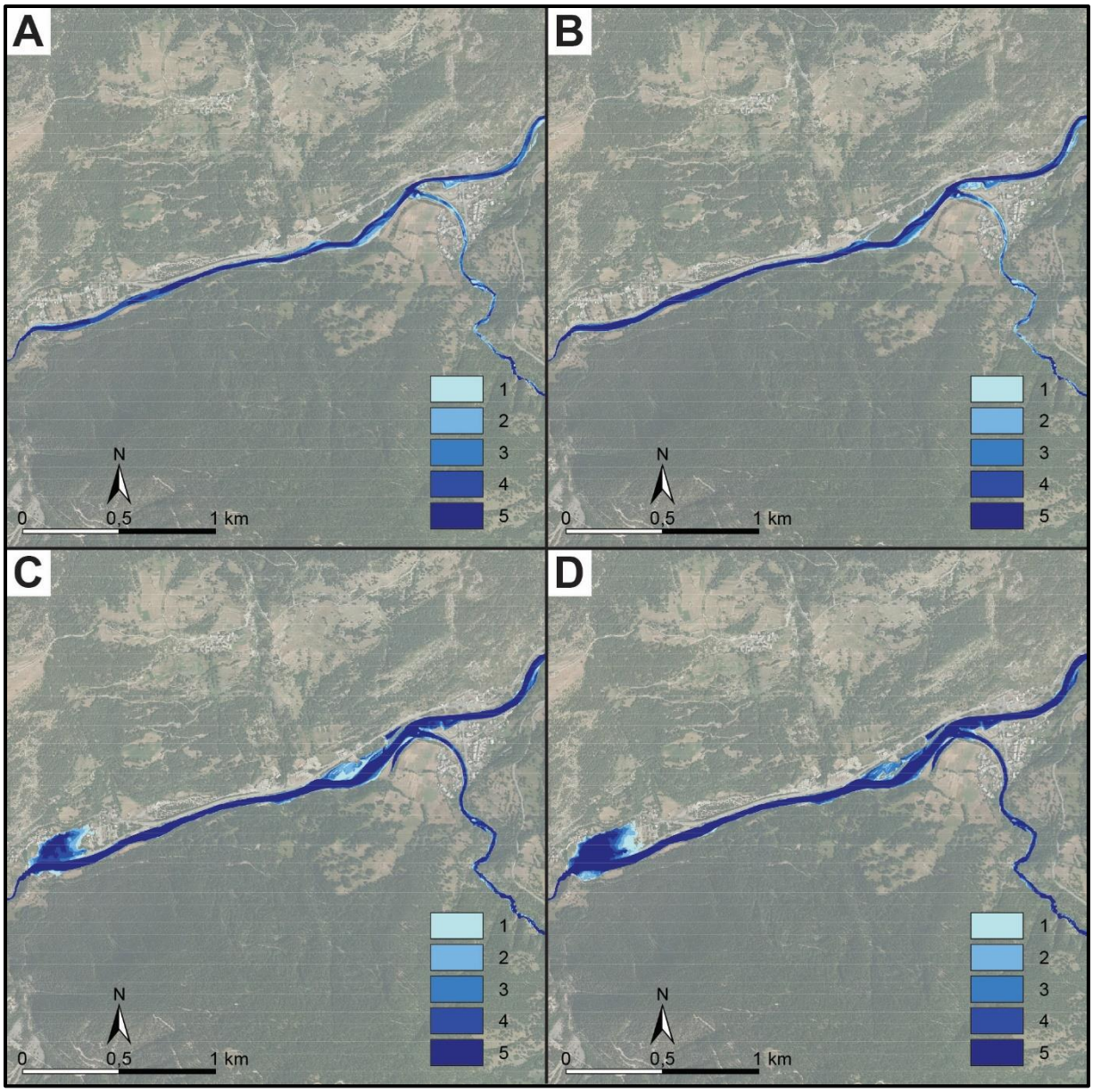


Figure 5. 20. : Emprises de crues et hauteurs d'eau simulées au niveau des villages de Ville-Vieille et Château Queyras : A – pour un scénario de crue décennale, B – pour un scénario de crue trentennale-cinquantennale (type crue de juin 2000), C – pour un scénario de crue centennale, D – pour un scénario de crue plus que centennale (type crue de juin 1957). Hauteur d'eau : 1 – inférieure ou égale à 0,5 m, 2 – comprise entre 0,5 m et 1 m, 3 – comprise entre 1 m et 1,5 m, 4 – comprise entre 1,5 et 2 m, 5 – supérieure ou égale à 2 m.

Modéliser un système complexe, comme c'est le cas ici avec le fond de vallée du Guil et de ses principaux affluents, n'est pas une tâche aisée. Les paramètres à prendre en compte sont multiples et requièrent le plus souvent un travail important de terrain et/ou de bibliographie en amont. Les résultats des simulations présentés ci-avant sont ainsi critiquables sur plusieurs aspects, mais ils ne doivent pas être dénigrés pour autant. Ils permettent, dans une large mesure, de mieux appréhender le fonctionnement du système à travers la simulation des trajets empruntés par les flux hydriques. Ils indiquent, de plus, les espaces les plus à même d'êtres recouverts par les flots, et ce pour différents scénarios de crue.

Les comparaisons effectuées entre les simulations des scénarios de crue « type juin 2000 » et « type juin 1957 » et les cartographies des crues de juin 2000 et juin 1957 réalisées par photo-interprétation suggèrent d'ailleurs une bonne efficience du modèle produit. L'ensemble des cartes de crues présentées dans cette sous-partie seront utilisées pour définir l'aléa « crue torrentielle » dans le bassin-versant du Haut-Guil. À ce titre, ces cartes seront ultérieurement combinées avec des cartes de vulnérabilités pour estimer le risque de crues torrentielles dans le Queyras.

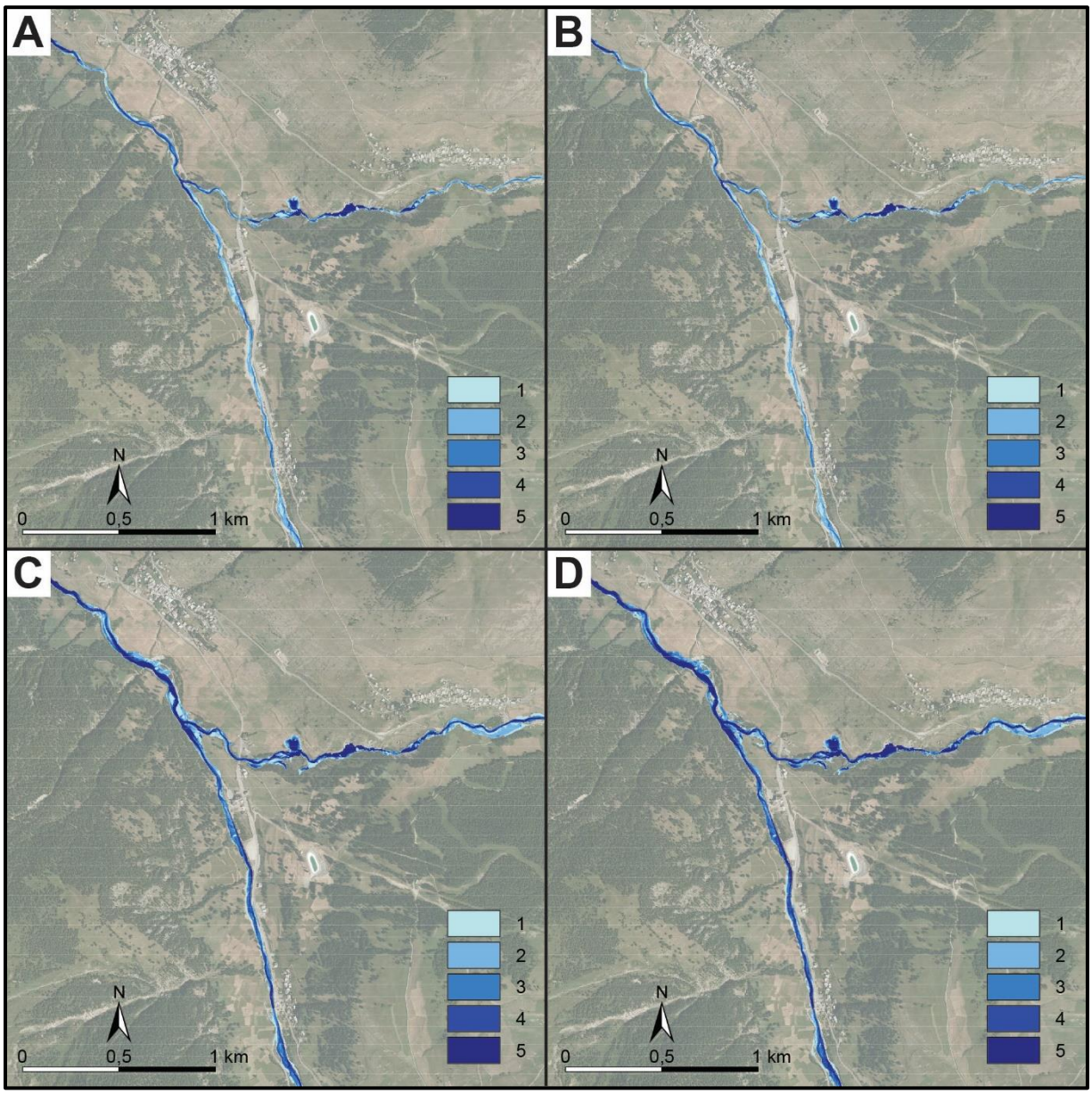


Figure 5. 21. : Emprises de crues et hauteurs d'eau simulées au niveau des villages de Moline-en-Queyras et Saint-Véran : A – pour un scénario de crue décennale, B – pour un scénario de crue trentennale-cinquantennale (type crue de juin 2000), C – pour un scénario de crue centennale, D – pour un scénario de crue plus que centennale (type crue de juin 1957). Hauteur d'eau : 1 – inférieure ou égale à 0,5 m, 2 – comprise entre 0,5 m et 1 m, 3 – comprise entre 1 m et 1,5 m, 4 – comprise entre 1,5 et 2 m, 5 – supérieure ou égale à 2 m.

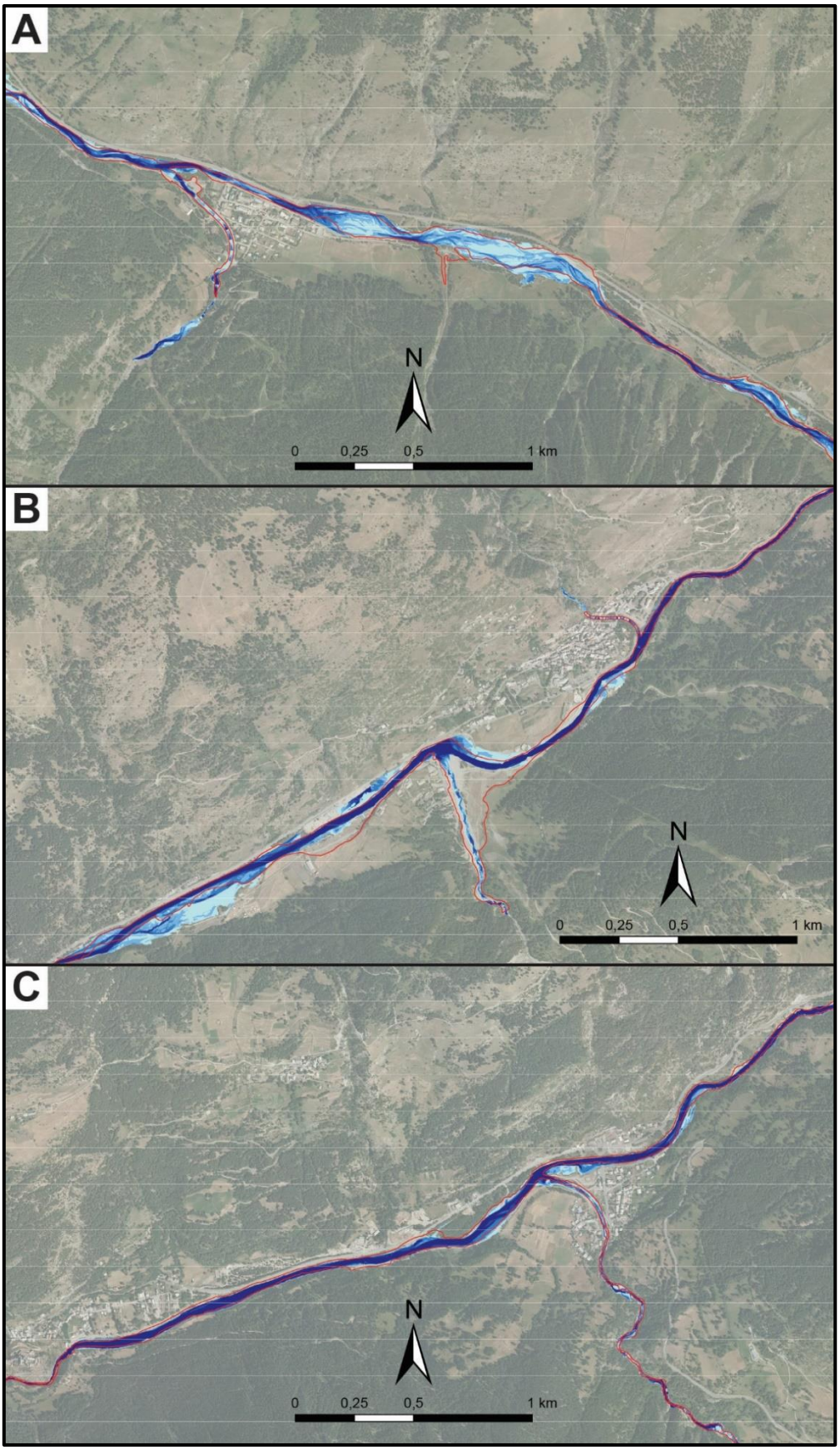


Figure 5. 22. : Comparaison entre l'enveloppe de crue modélisée pour le scénario de crue « type juin 2000 » (en bleu) et l'enveloppe de la crue de juin 2000 réalisée par photo-interprétation (en rouge).

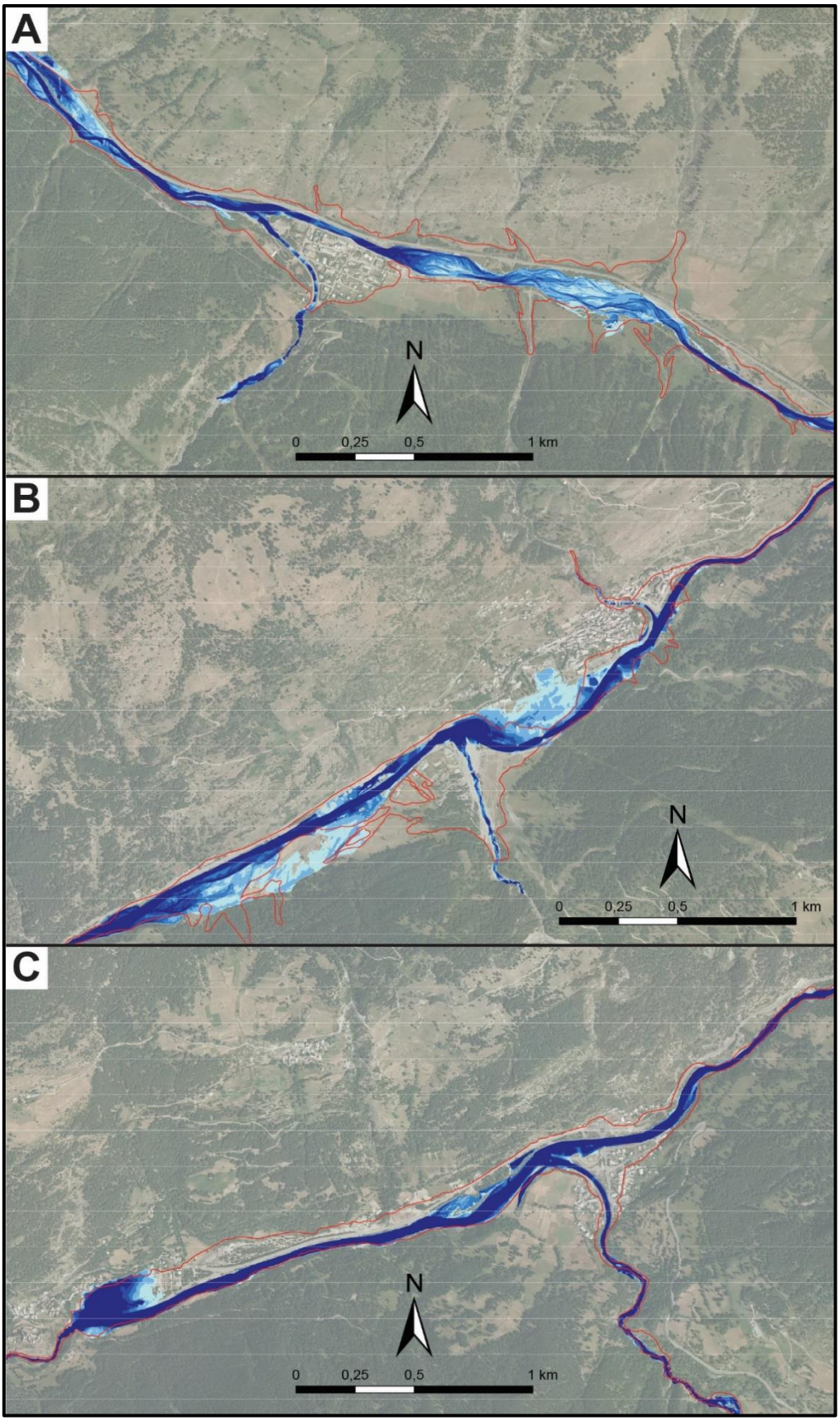


Figure 5. 23. : Comparaison entre l'enveloppe de crue modélisée pour le scénario de crue « type juin 1957 » (en bleu) et l'enveloppe de la crue de juin 1957 réalisée par photo-interprétation (en rouge).

2. *Cartographie de l'aléa « glissement de terrain »*

Pour représenter l'aléa « glissement de terrain » dans le bassin-versant du Haut-Guil, nous avons opté pour la production d'une carte de susceptibilité aux glissements de terrain. La susceptibilité peut être définie comme la probabilité d'occurrence d'un phénomène donné sur un territoire du fait de différentes conditions environnementales locales (Thiery *et al.*, 2005). Une carte de susceptibilité aux glissements de terrain n'indique donc pas en soi la présence ou l'absence d'un glissement, mais la probabilité pour qu'un glissement puisse survenir en un lieu donné.

Les cartes de susceptibilité peuvent être obtenues par une approche directe, qualitative, ou par une approche indirecte, fondée sur des modèles spatiaux statistiques (Aleotti et Chowdhury, 1999 ; Thiery *et al.*, 2005 ; Bétard *et al.*, 2014 ; Jemmah et Ait Brahim, 2018). Actuellement, c'est l'approche indirecte qui est la plus couramment employée dans l'évaluation de la susceptibilité des versants aux glissements de terrain (Zhu et Huang, 2006 ; Grozavu *et al.*, 2010 ; Fressard, 2013 ; Kavzoglu *et al.*, 2014 ; Margarint *et al.*, 2013 ; Pourghasemi *et al.*, 2013 ; Budimir *et al.*, 2015 ; Trigila *et al.*, 2015 ; Tsangaratos et Ilia, 2016 ; Zhang et al., 2016 ; Jemmah et Ait Brahim, 2018). L'approche indirecte permet de s'affranchir (en partie), de l'avis subjectif de l'expert, et d'obtenir à court terme des cartes fiables et réalistes (Thiery *et al.*, 2005 ; Fressard, 2013). Plusieurs techniques d'analyse peuvent être appliquées dans le cadre de cette approche : bivariées et multivariées (Aleotti et Chowdhury, 1999 ; Thiery *et al.*, 2005 ; Fressard, 2013). Généralement, les modèles multivariés sont plus robustes (Fressard, 2013).

Pour la production de notre carte de susceptibilité, nous avons donc choisi d'adopter une approche indirecte, multivariée, fondée sur le principe de la régression logistique ordinaire (Hosmer et Lemeshow, 1989 ; Allison, 2012). Un tel modèle permet d'analyser les relations mathématiques et spatiales entre une « variable réponse » (c.-à-d. absence ou présence de glissements de terrain) et un ensemble de variables prédictives (c.-à-d. des facteurs prédisposants ; Hosmer et Lemeshow, 1989 ; Ayalew et Yamagishi, 2005 ; Fressard, 2013). La régression logistique ordinaire peut être décrite de la manière suivante (Allison, 2012) :

$$P = (Y = 1) = p = 1 / 1 + e\ (\alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_n x_n)$$

Où p est la probabilité d'occurrence spatiale d'un glissement, α est une constante et β_i est le coefficient des variables explicatives x_i estimé par maximum de vraisemblance.

L'équation peut être linéarisée par transformation logarithmique de l'*odds* (« rapport des côtes ») ou *logit*, permettant de proposer une relation linéaire avec les variables indépendantes (Fressard, 2013) :

$$\text{Log}\ (p / 1 - p) = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_n x_n$$

Le principal intérêt de cette méthode est de quantifier la force de l'association entre chacune des variables prédictives et la variable réponse, tout en prenant en compte l'effet des autres variables intégrées dans le modèle (Hosmer et Lemeshow, 1989 ; Fressard, 2013). Cette méthode, largement éprouvée, est de nos jours couramment employée dans les analyses de risque (Thiery *et al.*, 2005 ; Van Den Eeckhaut *et al.*, 2010 ; Pourghasemi *et al.*, 2013 ; Fressard, 2013 ; Kavzoglu *et al.*, 2013 ; Budimir *et al.*, 2015 ; Trigila *et al.*, 2015 ; Tsangaratos et Ilia, 2016 ; Zhang et al., 2016). Pour cette étude, nous avons choisi d'appliquer une méthodologie similaire à celle décrite dans les travaux de thèse de M. Fressard (2013). Pour appliquer cette méthodologie au bassin-versant du Haut-Guil, plusieurs étapes ont été nécessaires (Fig. 5. 24.).

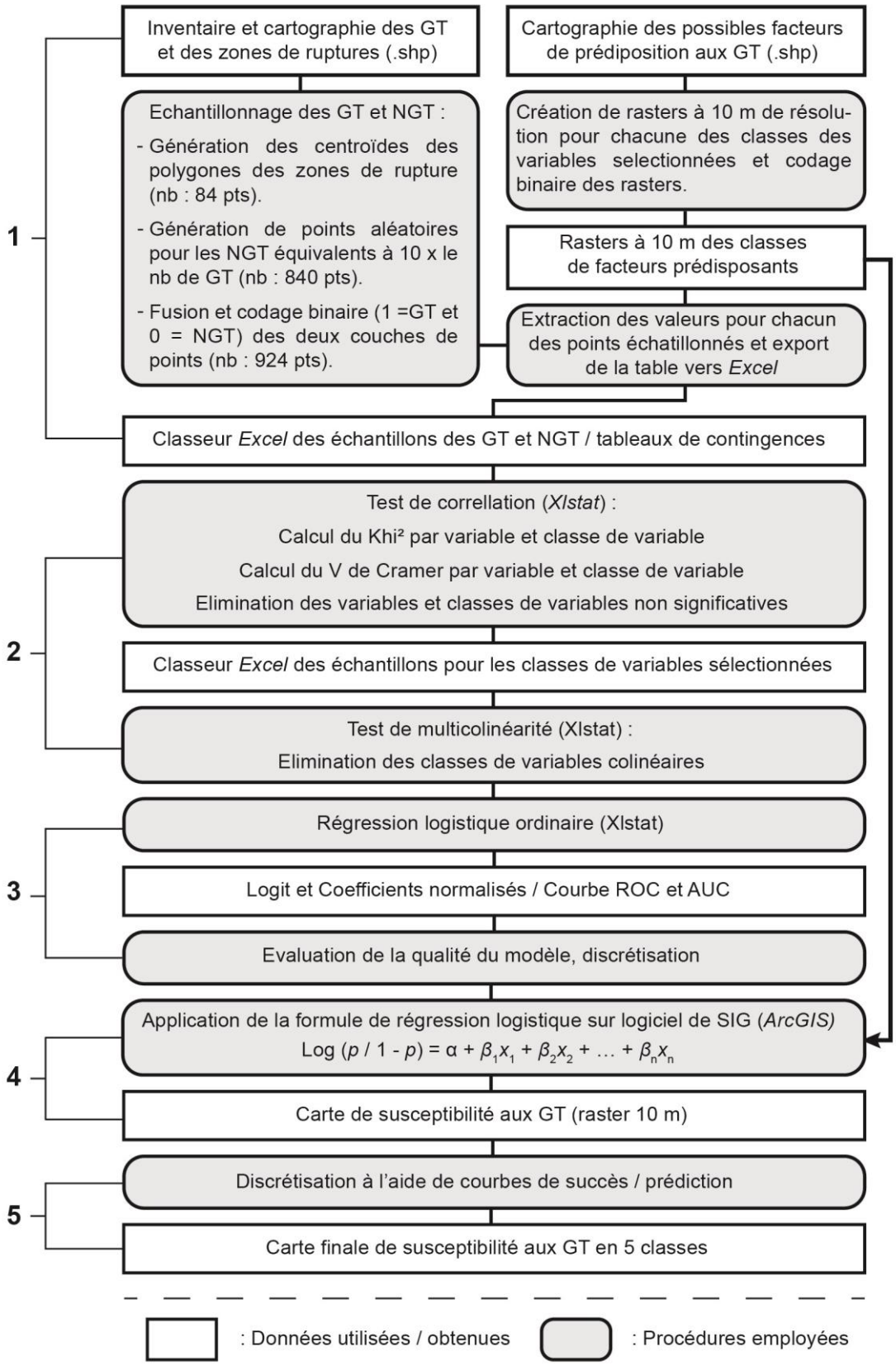


Figure 5. 24. : Diagramme synthétique de la démarche de modélisation appliquée pour la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain dans le Queyras : GT – glissement de terrain, NGT – non-glissement de terrain (zones stables), 1 – étape de préparation des données, 2 – étape de sélection des variables et modalités de variables, 3 – étape de modélisation et de validation du modèle, 5 – production des résultats finaux.

La première étape (Fig. 5. 24., 1) a consisté à dresser un inventaire des glissements de terrain à l'échelle du Queyras et de cartographier les facteurs de prédispositions aux glissements de terrain.

Pour dresser l'inventaire des glissements de terrain, diverses sources ont étés sollicitées : (1) la Base de Données Nationale des Mouvements de Terrain (BDMvt) du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) qui synthétise l'ensemble des informations disponibles en France, sur des situations récentes et sur des événements passés, (2) la base de données RTM (service de Restauration des Terrains en Montagne) qui fait de même mais à l'échelle des Alpes françaises, (3) les cartes géologiques au 1/50 000 d'Aiguilles - Col Saint-Martin (Tricart *et al*., 2003a) et de Guillestre (Debelmas *et al*., 1966a) et leur notice explicative (Tricart *et al*., 2003b ; Debelmas *et al*., 1966b) et enfin, (4) les mémoires de Master 1 et de Master 2 de L. Roulleau (2014, 2015). Les glissements inventoriés ont ensuite été digitalisés sur un logiciel de SIG grâce à l'interprétation des images aériennes orthorectifiées de 2009 (IGN, BD Ortho, 2009), de la carte topographique au 1/25 000 de l'IGN Mont-Viso/Saint-Véran/Aiguilles/PNR du Queyras (IGN, Top 25, 2011) et du MNT issu de la BD Alti de l'IGN à 5 m de résolution (IGN, BD Alti, 2015). En tout, 84 glissements ont été cartographiés (cf. annexes 1). Pour chacun des glissements, la distinction est faite entre zone d'arrachement / de rupture et zone de dépôt. Quatre types de glissements issus de la classification de Varnes (1978) ont été représentés dans cette carte : les glissements translationnels (48), les glissements rotationnels (20), les glissements « en coulée » (n = 13) et les glissements superficiels (n = 4).

Une fois l'inventaire dressé et cartographié, les facteurs environnementaux locaux pouvant favoriseraient le déclenchement de glissements ont été explorés. En accord avec les données bibliographiques (Thiery *et al*., 2005 ; Van Den Eeckhaut *et al*., 2010 ; Fressard, 2013 ; Kavzoglu *et al*., 2013 ; Budimir *et al*., 2015 ; Tsangaratos et Ilia, 2016 ; Zhang et al., 2016) et la localisation des glissements, cinq paramètres jugés vraisemblables ont finalement été sélectionnés puis cartographiés sous SIG : (1) la lithologie, (2) le pendage, (3) l'occupation du sol, (4) les indices de pente (gradient, curvature et orientation) et (5) les formations superficielles (cf. annexes 2). La lithologie et le pendage ont été cartographiés à l'aide des cartes géologiques au 1/50 000 d'Aiguilles - Col Saint-Martin (Tricart *et al*., 2003a) et de Guillestre (Debelmas *et al*., 1966a). L'occupation du sol et les formations superficielles ont été cartographiées par photo-interprétation des images aériennes orthorectifiées de 2009 (IGN, BD Ortho, 2009). Les indices de pente ont été extraits du MNT issus de la BD Alti de l'IGN à 5 m de résolution (IGN, BD Alti, 2015). Suite à ce travail, chaque modalité de variables a été rastérisée (résolution de 10 m) puis codée en binaire (1 = présence de la modalité de variables, 0 = absence de la modalité de variables).

Pour analyser et quantifier l'influence de ces variables sur la présence de glissements de terrain, une base de données des caractéristiques des zones de glissements et des zones stables a été créée en vue de réaliser des tests statistiques (Fig. 5. 24., 1). La base de données a été établie en extrayant les valeurs de pixels de chacun des rasters produits (facteurs de prédisposition) à l'aide d'une couche de points produits par un logiciel de SIG. Cette couche est issue de la fusion des 84 points figurant les centres géométriques (centroïdes) des zones d'ablation des glissements cartographiés et d'un nombre dix fois supérieur de points (nb : 840) produits aléatoirement dans les zones non affectées par les glissements. Cette procédure est mise en avant dans la littérature pour : (1) « restituer un calcul et une validation plus juste des phénomènes » (Van Den Eeckhaut *et al*., 2006 ; Atkinson et Massari, 2011 ; Fressard, 2013) et, (2) limiter la dichotomie entre les échantillons de glissements et de zones stables tout en respectant le besoin d'une base de données d'un volume suffisant pour effectuer des calculs statistiques (King et Zeng, 2001 ; Beguería, 2006 ; Guns et Vanacker, 2012 ; Fressard, 2013). La base de données produite a ensuite été exportée sous forme de tableau Excel® afin de procéder aux tests statistiques (Fig. 5. 24., 1).

Les tests statistiques réalisés sont au nombre de trois : test de corrélation du khi², test du V de Cramer et test de multicolinéarité (Fig. 5. 24., 2). Ils ont été effectués à l'aide du logiciel de traitement statistique XLSTAT®. Ils avaient tout trois pour objectif d'aider à la sélection des données à intégrer dans le modèle de régression logistique (Fressard, 2013 ; Roulleau, 2015). Les tests du Khi² et du V de Cramer sont complémentaires. Ils ont été utilisés pour évaluer quantitativement la puissance de l'association entre les variables prédictives et la localisation des glissements de terrain (Fressard, 2013). Ils sont basés sur l'utilisation de tableaux de contingence et visent à estimer de manière probabiliste l'indépendance entre les lignes et les colonnes. Les tests de multicolinéarité permettent, quant à eux, d'identifier la redondance entre les différentes modalités de variables. Ils sont essentiels dans la mesure où la régression logistique est très sensible à la colinéarité.

Le test de corrélation du Khi² a été mené sur des tableaux de contingence indiquant l'occurrence de glissements pour chacune des variables considérées. Pour cinq des sept variables – exposition, occupation du sol, lithologie, formations superficielles et pendage – le X^2 calculé était strictement supérieur à la distance critique (Tab. 5. 2.). L'hypothèse d'une indépendance statistique de ces variables a donc pu être rejetée avec une marge d'erreur de 0.05%. Ces cinq variables ont donc bien un impact sur l'occurrence des glissements de terrain. En revanche, les khi² calculés pour les variables « courbure » et « gradient » sont inférieurs à la distance critique (Tab. 5. 2.). Le lien entre ces variables et l'occurrence de glissements ne peut donc pas être établi formellement. Pour la variable « gradient », le X^2 calculé reste proche de la valeur critique et le V de Cramer est supérieur à 0,1. Ces éléments suggèrent qu'il existe bien une relation entre cette variable et l'occurrence de glissements (Tab. 5. 2.). Par conséquent, la variable « gradient » a été conservée pour la suite de l'analyse statistique. Pour la variable « courbure », le X^2 est trop éloigné de la valeur critique et le V de cramer est très faible. La variable a donc été éliminée de la suite de l'analyse (Tab. 5. 2.).

	Courbure	Exposition	Gradient	Occupation du sol	Lithologie	Formations superficielles	pendage
X^2	1,266	16,351	7,806	10,132	45,095	21,573	25,475
Degré de liberté	2	7	4	4	9	9	10
valeur critique pour α = 0,05	5,991	14,067	9,488	9,488	16,919	16,919	18,307
V de Cramer	0,041	0,147	0,102	0.116	0,244	0,169	0,184

Tableau 5. 2. : Synthèse des tests de corrélations effectués sur les sept variables testées.

Pour le second test, le V de Cramer a été calculé pour chacune des modalités des variables conservées à la suite des tests du Khi² (Fig. 5. 25.). Le V de Cramer est un bon indicateur d'association proposant une valeur unique évoluant entre 0 (indépendance totale) et 1 (dépendance totale) (Barnier, 2008). Dans l'ensemble, les valeurs calculées pour les modalités de variables retenues sont assez faibles (Fig. 5. 25.). Ces valeurs, comprises entre – 0,103 et 0,205, n'indiquent pas de puissantes relations entre les modalités de variables testées et l'occurrence de glissements. Seul 15 des 45 variables testées ont une corrélation positive avec l'occurrence de glissements. Plusieurs modalités présentent néanmoins une valeur de V de Cramer significative : la classe d'exposition « Sud-ouest » (0,097), la classe d'occupation du sol « cultures et pelouses » (0,113) et la classe de lithologie « schistes noirs » (0,205). D'après les valeurs calculées, la variable « formation superficielle » ne semble pas avoir de rôle significatif dans l'occurrence de glissements de terrain. Cela n'est guère étonnant dans la mesure où l'inventaire ne comporte que très peu de glissements superficiels. Or, ce sont ces derniers qui sont habituellement fortement corrélés avec cette variable. Pour la suite de l'analyse, seules les modalités de variables ayant une valeur de V de Cramer supérieure à 0,05 ont été conservées (Fig. 5. 25).

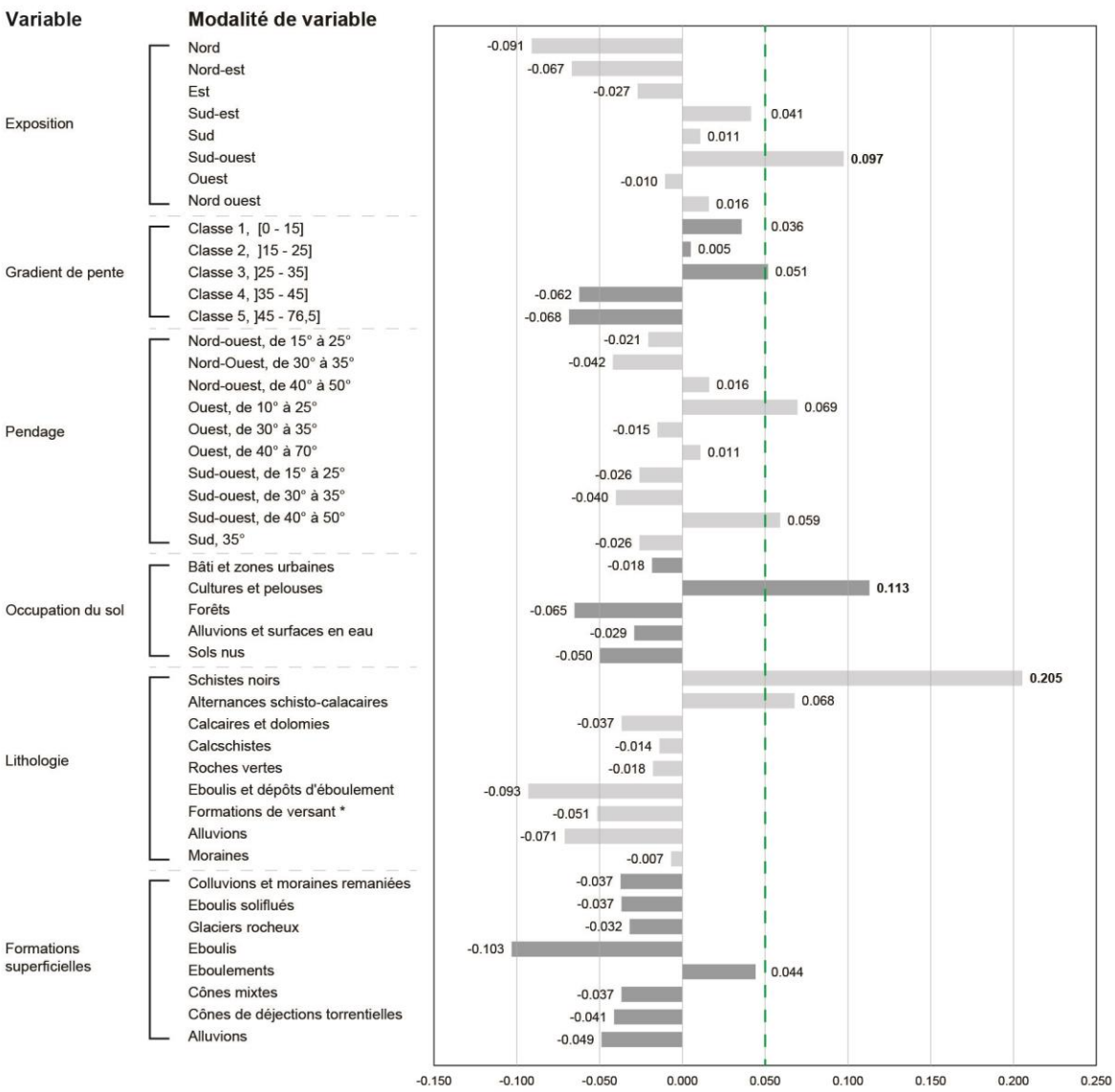


Figure 5. 25. : V de Cramer calculés pour chacune des modalités de variables conservées suite aux tests du khi². Seules les modalités ayant une valeur > 0,05 (matérialisée par les pointillés verts) ont été conservées.

Pour le dernier test, les indicateurs statistiques VIF (*Variation Inflation Factor*) et TOL (*Tolerance*), ont été calculés pour chacune des modalités de variables conservées suite au test du V de Cramer (Tab. 5. 3.). Ces deux indicateurs permettent de détecter d'éventuelles corrélations entre les modalités de variables conservées avant qu'elles ne soient intégrées dans le modèle de régression logistique (Bressoux, 2008 ; Allison, 2012). Ces indicateurs ont été choisis car ils permettent une détection plus robuste des corrélations entre différentes variables que de simples matrices de corrélation (Bressoux, 2008 ; Fressard, 2013). La tolérance (TOL) est comprise entre 0 (multicolinéarité parfaite) et 1 (absence totale de multicolinéarité), (Barnier, 2008). L'inflation de la variance (VIF) est la réciproque de la tolérance (TOL). Elle vaut 1 lorsqu'il y a absence totale de multicolinéarité et tend vers l'infini en cas de multicolinéarité parfaite (Allison, 2012 ; Fressard, 2013). Dans ses travaux, Allison (2012) propose des seuils de multicolinéarité de > 0,4 pour la tolérance (TOL) et de < 2 pour l'inflation de la variance (VIF). Les valeurs de TOL et de VIF calculées ont permis d'écarter l'hypothèse d'une colinéarité entre les variables sélectionnées (Tab. 5. 3.). L'ensemble des variables testées a donc été conservé pour la suite de l'analyse.

Statistique	Exposition sud-ouest	Cultures et pelouses	Sud-ouest, de 40° à 50°	Ouest, de 10° à 25°	Schistes noirs	Alternances schisto-calacaires	Classe de pente,]25° - 35°]
R^2	0,026	0,027	0,042	0,018	0,042	0,069	0,002
TOL	0,973	0,972	0,957	0,981	0,957	0,930	0,998
VIF	1,026	1,027	1,044	1,018	1,044	1,075	1,00

Tableau 5. 3. : Indicateurs de multicolinéarité calculés pour chacune des variables retenues.

Une fois les variables les plus significatives identifiées et leur colinéarité écartée, la modélisation par régression logistique a pu être effectuée à l'aide du logiciel de statistique XLSTAT® (Fig. 5. 24., 3). Le diagramme des coefficients normalisés (Fig. 5. 26.) indique l'influence de chaque modalité de variables dans l'occurrence spatiale des glissements de terrain. D'après les résultats obtenus, il semble que les facteurs qui influencent le plus cette occurrence sont la lithologie (modalités de variables « Schistes noirs » et « Alternances schisto-calcaires ») et l'occupation du sol (modalité de variables « Cultures et pelouses »).

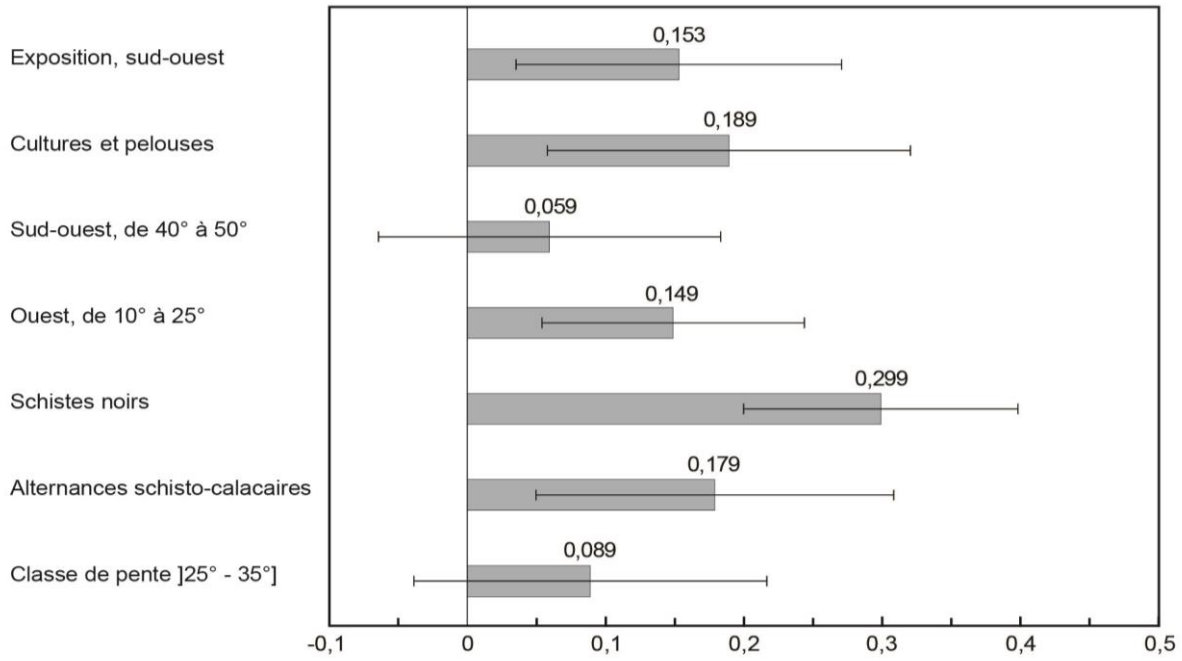


Figure 5. 26. : Diagramme des coefficients normalisés obtenus suite à la modélisation de la régression logistique pour un intervalle de confiance de 95 % (pour 100 itérations).

L'évaluation du modèle (Fig. 5. 24., 3) a été effectuée à l'aide d'une stratégie de calibration/validation basée sur l'analyse des courbes ROC (*Receiver Operating Characteristic*) et des valeurs de l'indice AUC (*Area Under the Curve* ; Fig. 5. 27.).

La courbe ROC (*Receiver Operating Characteristic*) représente une analyse quantitative de la qualité du modèle (Delacour *et al.*, 2005 ; Fig. 5. 27.). Elle est basée sur la distribution des scores bruts de la carte simulée et leurs relations avec les glissements de terrain. Cette technique est totalement indépendante de la classification et donne une évaluation objective des performances du modèle (Delacour *et al.*, 2005 ; Bressoux, 2008 ; Fressard, 2013). La courbe ROC confronte en abscisse la « spécificité », et en ordonnée la « sensibilité » (Fig. 5. 27.). La « spécificité » reflète la proportion de

cellules non affectées par des glissements (Metz, 1978). La « sensibilité » indique la proportion de glissements associés à des cellules instables (Metz, 1978 ; Fressard, 2013). Plus la courbe est au-dessus d'une ligne diagonale (forte croissance), plus le modèle est perçu comme performant. La courbe du modèle produit pour le bassin-versant du Haut-Guil est fortement croissante ce qui semble indiquer une bonne performance du modèle. L'AUC (*Area Under the Curve*) est un indice synthétique de cette courbe. Il représente la surface située sous celle-ci (Delacour *et al.*, 2005). Plus la valeur de l'AUC est proche de 1, plus le modèle est considéré comme performant. L'AUC calculée pour le modèle appliqué au bassin-versant du Haut-Guil est de 0,742, ce qui indique que le modèle produit est globalement satisfaisant (Fig. 5. 27.).

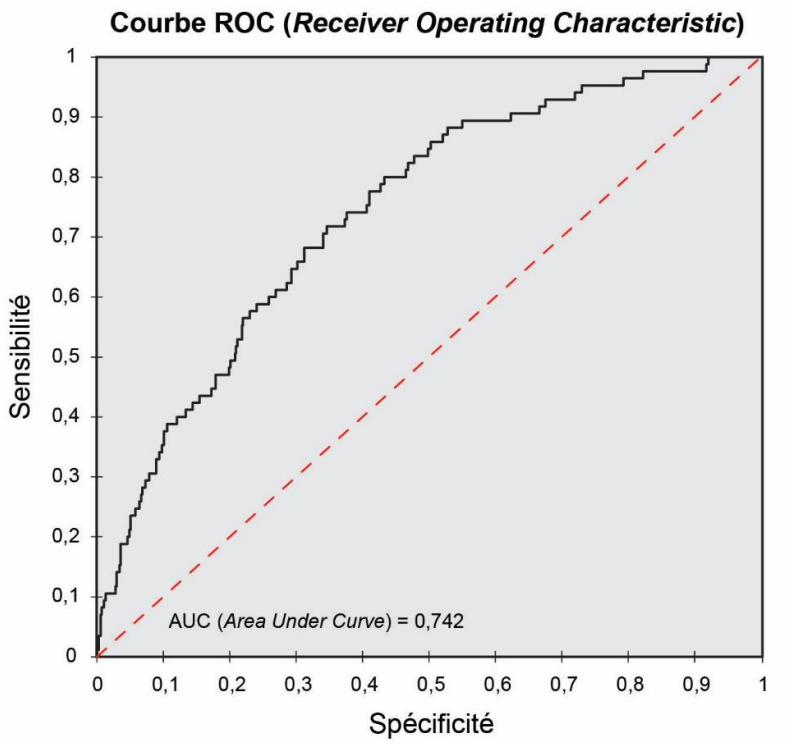


Figure 5. 27. : Courbe ROC obtenue lors de la simulation du modèle de régression logistique pour le bassin-versant du Haut-Guil.

La taille relative de chacune des classes peut également fournir des indications sur la qualité du modèle (Fressard, 2013). Dans la littérature, il est dit que la taille des classes de susceptibilité forte doit prédire la majorité des glissements et occuper une surface limitée du secteur d'étude (Metz, 1978 ; Chung et Fabbri, 2003 ; Delacour *et al.*, 2005 ; Allison, 2012 ; Fressard, 2013). Les classes doivent, selon le gradient de probabilité estimé, occuper une proportion du secteur d'étude ayant une relation globalement inverse avec celle des glissements inventoriés (Fressard, 2013). La taille relative des classes a été étudiée *via* l'analyse du rapport de succès/prédiction illustré par la courbe ROC du modèle produit (Fig. 5. 28.). Dans le modèle produit pour caractériser la susceptibilité dans le bassin-versant du Haut-Guil, la classe de susceptibilité « forte » comprend environ 40 % des glissements identifiés sur un espace correspondant à 10 % du territoire étudié (Fig. 5. 28.). À l'inverse, la classe de susceptibilité « négligeable » recense un peu moins de 10 % des glissements pour une superficie de l'ordre de 45 % du secteur étudié (Fig. 5. 28.). Si l'on combine les deux classes de susceptibilité forte et la classe de susceptibilité intermédiaire, près de 70 % des glissements sont identifiées sur une surface correspondant à environ 30 % du secteur étudié (Fig. 5. 28.). Globalement, les classes de susceptibilité occupent une proportion du secteur d'étude inverse à celle des glissements inventoriés indiquant une bonne efficience du modèle.

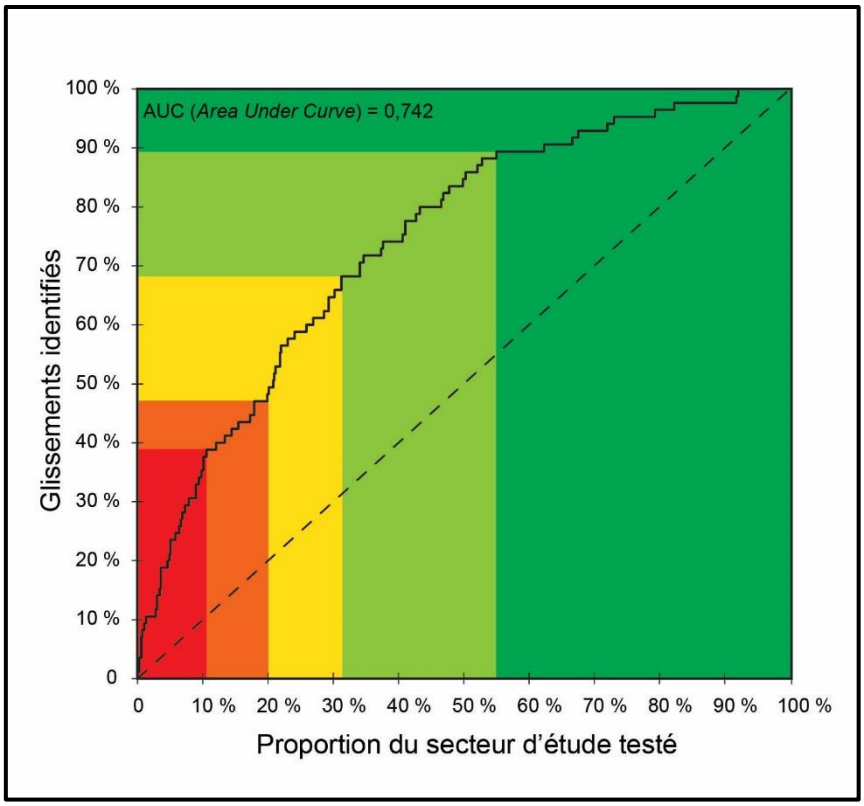


Figure 5. 28. : Analyse du rapport de succès/prédiction effectuée à partir de la courbe ROC.

Une fois le modèle validé, la formule de régression logistique obtenue sur XLSTAT® a été transposée sur logiciel de SIG afin de produire une carte de susceptibilité aux glissements de terrain (Fig. 5. 28.). La cartographie de la susceptibilité a été obtenue en introduisant la formule suivante dans l'outil « calculatrice raster » d'ArcGIS® :

Logit (pi) = -3.305

+ (0,153 x « Exposition, sud-ouest »)

+ (0,189 x « Cultures et pelouses »)

+ (0,059 x « Sud-ouest, de 40° à 50° »)

+ (0,149 x « Ouest, de 10° à 25° »)

+ (0,299 x « Schistes noirs »)

+ (0,179 x « Alternances schisto-calcaires »)

+ (0,089 x « Gradient de pente]25° - 35°] »).

Le produit de ce calcul est exprimé sous la forme d'une couche raster de données continues, estimant la probabilité relative (estimée par pixel) de l'occurrence spatiale d'un ou plusieurs glissements de terrain. Les cartes de susceptibilité aux glissements de terrain se prêtent mal aux méthodes de discrétisation classiques (seuil naturels, effectifs égaux, progressions géométriques etc. ; Zêzere *et al*, 2004 ; Sawatzky *et al*, 2009). La carte de susceptibilité (Fig. 5. 29.) a donc été discrétisée en 5 classes selon les seuils de succès/prédiction observés sur la courbe ROC durant l'étape de validation du modèle (Zêzere *et al*, 2004 ; Fig. 5. 28.).

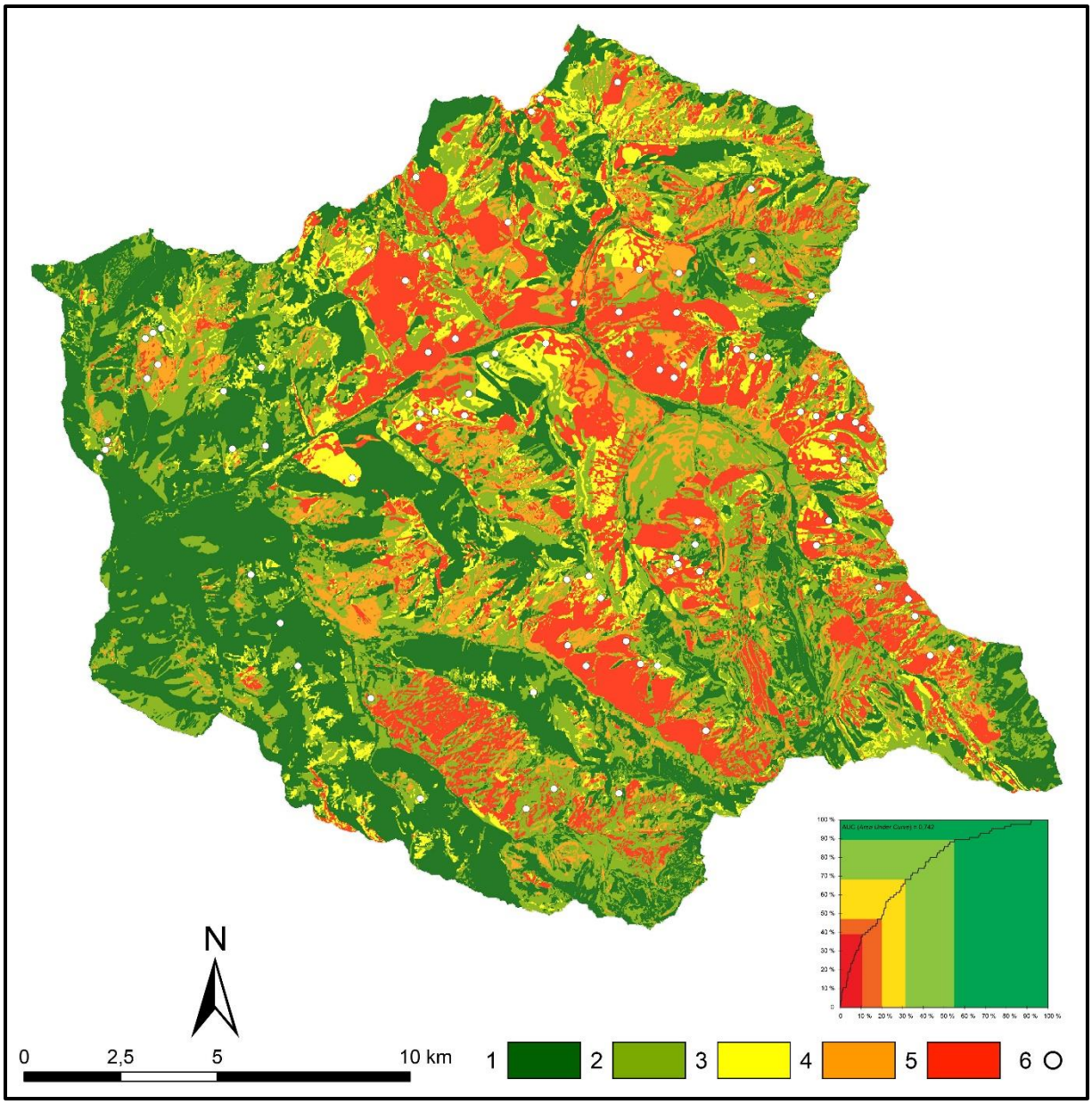


Figure 5. 29. : Carte de susceptibilité aux glissements de terrain produite pour le bassin-versant du Haut-Guil. Classes de susceptibilités : 1 – négligeable, 2 – faible, 3 – modérée, 4 – forte, 5 – très forte, 6 – centroïdes des zones de rupture des glissements recensés dans l'inventaire.

La carte de susceptibilité est globalement conforme à la bibliographie et aux observations effectuées sur le terrain. La répartition des pixels associés aux classes de susceptibilité « forte » et « très forte » montre ainsi une nette dichotomie entre le « Queyras schisteux » (présumé favorable aux glissements) et le « Queyras calcaire » (considéré comme peu propice aux glissements), (cf. *supra*, chapitre 1, 1. 2.). Au sein du « Queyras schisteux », les pixels associés aux classes de susceptibilité les plus fortes sont situés en majorité sur les versants conformes aux pendages des schistes (cf. *supra*, chapitre 1, 1. 3.). Ces versants sont connus pour leur instabilité et leur propension à favoriser le déclenchement de glissements de terrain (Tricart *et al.*, 2003 ; Koulinski, 2000 ; Carlier *et al.*, 2018a). Le modèle produit apparaît donc suffisamment performant pour identifier la susceptibilité aux glissements de terrain dans le Queyras.

Pour autant, ce modèle souffre d'un certain nombre de défauts et limites qui ne doivent pas être occultés. Si le modèle a bien été validé, preuve qu'il est globalement performant pour prédire l'occurrence de glissements, des améliorations sont possibles. De fait, si le modèle était vraiment très performant pour prédire la susceptibilité aux glissements, alors la courbe ROC serait plus redressée et la valeur d'AUC serait plus proche de 1 qu'elle ne l'est actuellement (Fig. 5. 27.). Plusieurs éléments pourraient permettre à brève échéance d'augmenter le pouvoir de prédiction du modèle.

Le premier est relatif aux données employées dans le processus de modélisation. Comme tout modèle, un modèle de régression logistique est très dépendant de la qualité et de la quantité des données d'entrée (ici les cartes des facteurs de prédisposition et l'inventaire des glissements de terrain). Or, certaines des variables et modalités de variables cartographiées se sont avérées d'un intérêt limité dans la prédiction des glissements alors même qu'elles sont habituellement fortement corrélées avec l'occurrence de glissements. C'est notamment le cas des variables « courbure » et « gradient de pente » (Van Den Eeckhaut *et al.*, 2006 ; Atkinson et Massari, 2011 ; Poiraud, 2013). Ces deux variables sont issues du même modèle numérique de terrain (BD ALTI, IGN à 5 m de résolution). Or, dans ses travaux, M. Fressard (2013) présente la qualité des MNT comme une source d'incertitude dans le calcul de la susceptibilité aux glissements de terrains. Il existe divers tests qualitatifs et quantitatifs qui permettent de rendre compte de la qualité des MNT (Fressard, 2013). Tester le MNT utilisé, et éventuellement le remplacer par un autre, pourrait permettre de mieux rendre compte de l'impact des variables qui en sont dérivées sur l'occurrence des glissements. Par ailleurs, plusieurs variables pouvant présenter un intérêt dans la prédiction de l'occurrence des glissements n'ont pas été testées pour l'heure : zonage des précipitations, distance aux failles, distance aux cours d'eau, altitude, TPI (indice de position topographique) etc. L'introduction de ces variables dans le modèle pourrait permettre de faire émerger des facteurs de prédisposition non pris en compte dans la présente étude.

Le second élément à explorer dans le cadre d'un accroissement de la qualité du modèle réside dans l'échantillonnage des données utilisées pour mener les tests statistiques. Selon Beguería (2006), les résultats de la modélisation sont très dépendants de l'échantillonnage des données correspondant aux « glissements » et aux « non-glissements » (Fig. 5. 24., 1). Or, la base de données des « non-glissements » peut être affectée par une importante variabilité selon le tirage aléatoire. Plusieurs auteurs (Davison, 1997 ; Beguería, 2006 ; Guns et Vanacker, 2012 ; Charpentier, 2013 ; Fressard, 2013), proposent une procédure basée sur la réplication ou « *bootstrap* » afin d'évaluer l'influence de l'échantillonnage sur le résultat final. Cette procédure est basée sur la réalisation de 50 tirages aléatoires, à partir desquels 50 modèles successifs sont effectués. Dans le cas présent, le tirage aléatoire n'a été effectué qu'à 10 reprises avant d'être moyenné. Une augmentation du nombre de tirages aléatoires pourrait éventuellement permettre d'améliorer la qualité du modèle produit pour le bassin-versant du Haut-Guil.

Une autre source d'incertitude réside dans la nature des phénomènes modélisés. Le Queyras ne comptant que peu de glissements de terrain actifs, tous les glissements identifiés ont été employés dans la présente étude, et ce, sans tenir compte de leurs spécificités (glissement profond ou superficiel). Or, les facteurs prédisposants peuvent varier selon le type de glissement. Effectuer une simulation pour chaque type de glissement pourrait permettre d'améliorer la cartographie finale. Dans le même ordre d'idée, nous nous sommes bornés ici à l'établissement d'un modèle de régression logistique « ordinaire ». Effectuer des tests avec un modèle de régression logistique adapté aux événements rares pourrait mettre en lumière de nouveaux éléments.

3. Cartographie de l'aléa « avalanche »

La cartographie de l'aléa « avalanche » a été produite par digitalisation (vectorisation à la main) des emprises avalancheuses connues (ici, les emprises maximales) au sein d'un SIG (Fig. 5. 30.). Ce travail s'est largement appuyé sur les cartes de CLPA de 2001 (Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalancheux) produites par l'IRSTEA (Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture). La base de données CLPA étant un peu ancienne, des mises à jour ont dû être effectuées. Certaines emprises avalancheuses ont ainsi été modifiées pour tenir compte des événements survenus lors de la crise avalancheuse de décembre 2008. Durant cet épisode, certaines avalanches (ex : avalanches de Costeroux et de la Garcine) ont en effet largement dépassé leur ampleur maximale répertoriée. Les emprises en question ont été modifiées d'après les travaux menés par Gaucher *et al.* (2009). Des emprises non-référencées dans les CLPA, définies par photo-interprétation et observations de terrain, ont par ailleurs été ajoutées afin de compléter la base de données (bassin-versant des torrents du Ségure, du Bouchet, du Lombard et de Soulier) (Roulleau, 2014, 2015). Ce travail n'a pas été effectué pour le bassin du « très Haut-Guil » (en amont de la Roche Ecroulé) en raison du nombre limité d'enjeux humains sur cet espace et du temps que cela aurait requis. Pour ne pas surcharger la cartographie, les zones « présumées avalancheuses » (n'ayant pas, de mémoire d'Homme, causé de dégâts) n'ont pas été représentées ici.

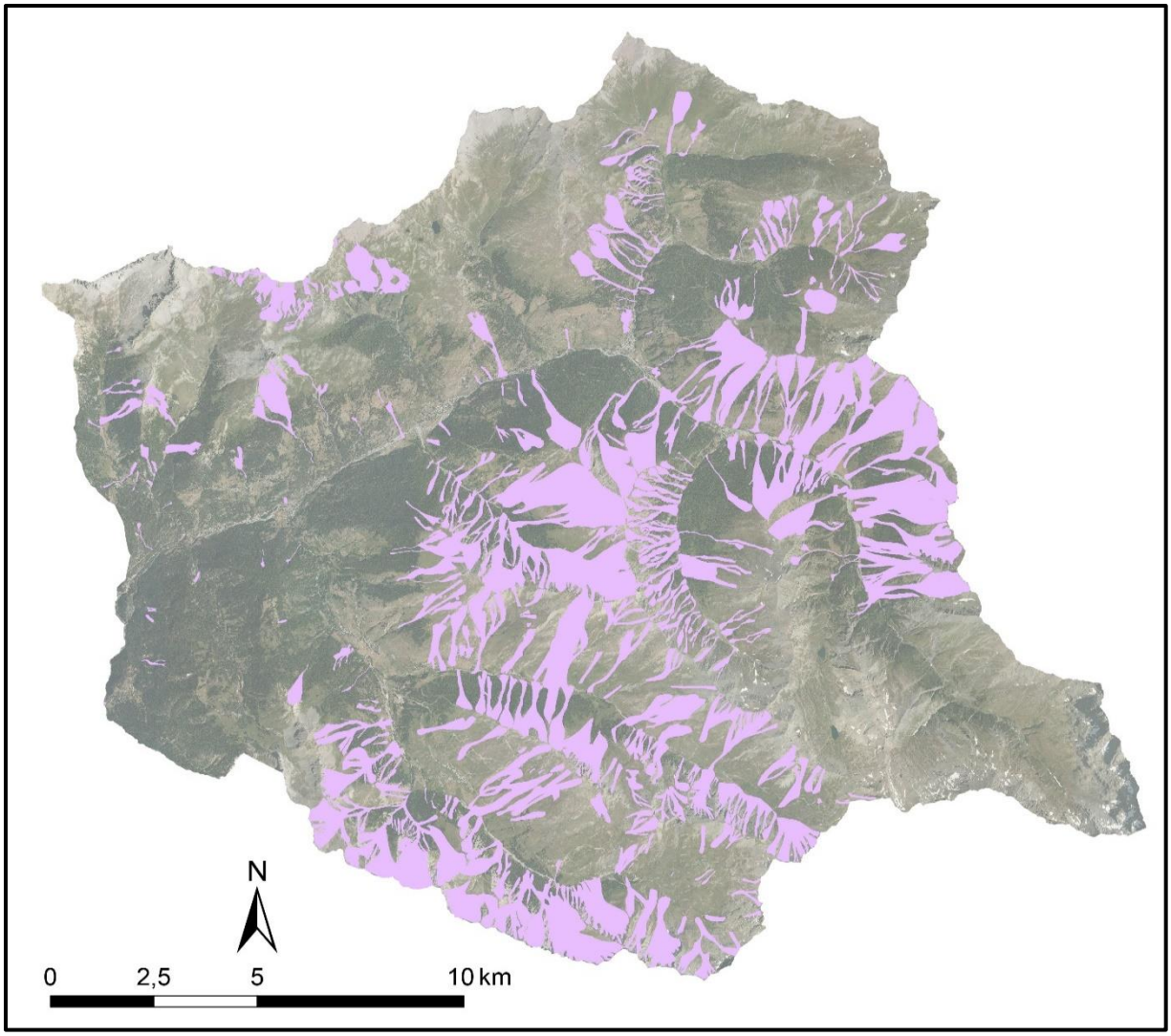


Figure 5. 30. : Cartographie des emprises avalancheuses dans le bassin-versant du Haut-Guil.

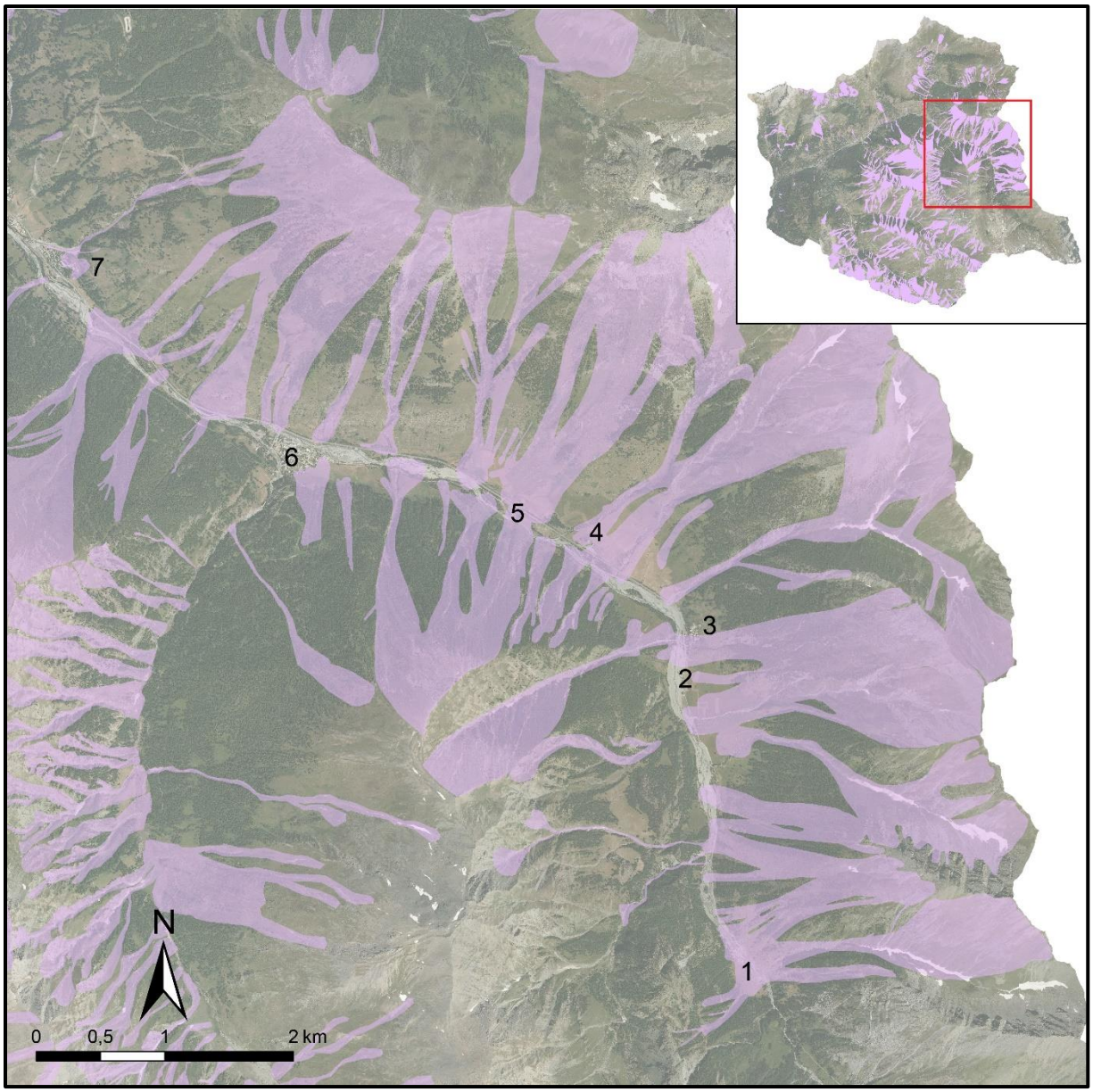


Figure 5. 31. : Cartographie des emprises avalancheuses dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur La Roche Écroulée – Abriès. 1 – parking de La Roche Écroulée, 2 – parking de l'Échalp, 3 – hameau de l'Échalp, 4 – hameau de La Monta, 5 – camping de Ristolas, 6 – village de Ristolas, 7 – hameau de La Garcine.

Au total, 475 emprises couvrant une surface de 75,94 km² ont été cartographiées (Fig. 5. 30.). Pour une meilleure visualisation des données, des zooms sont proposés pour les secteurs de la Roche Écroulée – Abriès (Fig. 5. 31.), Abriès – Valpréveyre (Fig. 5. 32.) et Molines-en-Queyras – Saint-Véran (Fig. 33). À la lecture de ces cartes, un premier constat s'impose : l'aléa avalancheux a une présence plus marquée dans la moitié sud du bassin-versant du Haut-Guil. Il faut voir dans cette répartition l'influence des précipitations neigeuses liées aux phénomènes de retours d'est hivernaux (cf. *supra*, chapitre 2, 1.). Si l'on se réfère aux chroniques historiques (cf. *supra*, chapitre 2, 3. 1.), trois secteurs sont particulièrement soumis aux phénomènes avalancheux : la vallée du Guil entre La Roche Écroulée et Abriès (Fig. 5. 31.), le bassin-versant du Bouchet (Fig. 5. 32.) et les vallées de l'Aigues Agnelle et de l'Aigue Blanche, en amont du village de Molines-en-Queyras (Fig. 5. 33.).

Sur le secteur de La Roche Écroulée – Abriès, on observe une grande densité de couloirs avalancheux, en particulier sur le versant rive droite du Guil (Fig. 5. 31.). La plupart des enjeux humains présents sur ce secteur sont compris dans une ou plusieurs emprises avalancheuses (Fig. 5. 31.). C'est notamment le cas des parkings de La Roche Écroulée et de l'Échalp, des hameaux de l'Échalp et de La Monta, du camping de Ristolas et, dans une moindre mesure, du village de Ristolas lui-même. La route départementale D 947 et sa prolongation vers La Roche Écroulée est également fortement exposée aux avalanches. Cette route représente un enjeu majeur dans la mesure où c'est la seule permettant de relier Ristolas au reste du Queyras (Fig. 5. 31.). En hiver et au printemps, elle est fréquemment coupée par les avalanches ce qui entraîne l'isolement des communautés situées plus en amont.

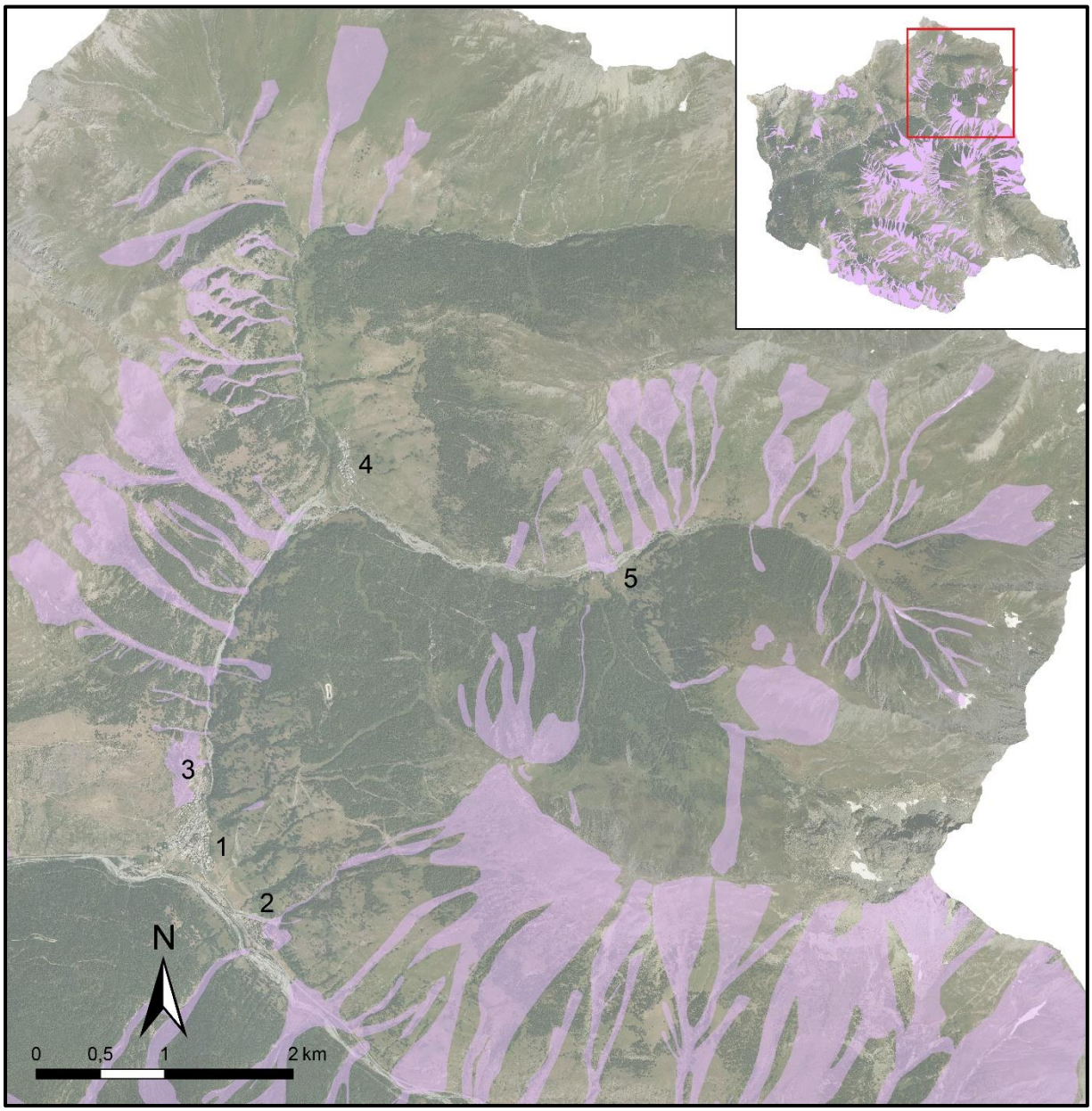


Figure 5. 32. : Cartographie des emprises avalancheuses dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Abriès – Valpréveyre. 1 – village d'Abriès, 2 – hameau de La Garcine, 3 – quartier de l'Hoche, 4 – hameau du Roux d'Abriès, 5 – hameau et camping de Valpréveyre.

Sur le secteur Abriès – Valpréveyre, l'exposition aux avalanches est moins marquée que sur le secteur de la haute vallée du Guil (Fig. 5. 32.). Néanmoins, là encore, un certain nombre d'enjeux sont compris dans les emprises avalancheuses maximales cartographiées (Fig. 5. 32.). À Abriès même, sont exposés les hameaux de La Garcine et celui de l'Hoche (Fig. 5. 32.). Dans le bassin-versant du Bouchet, plusieurs avalanches peuvent potentiellement couper la route qui relie Abriès au Roux (D 441), puis à Valpréveyre. Comme les habitants de Ristolas ou de l'Échalp, les résidents du Roux sont donc fréquemment isolés durant l'hiver et le début du printemps. Le hameau de Valpréveyre est lui aussi exposé aux avalanches (Fig. 5. 32.). Durant l'épisode avalancheux de 2008 (cf. *supra*, chapitre 2, 3. 1. 3.), une série d'avalanches parties du versant de rive droite du Bouchet y a gravement endommagé plusieurs chalets ainsi que la chapelle Saint-Roch, pourtant vieille de plus de 300 ans (PPR, Abriès).

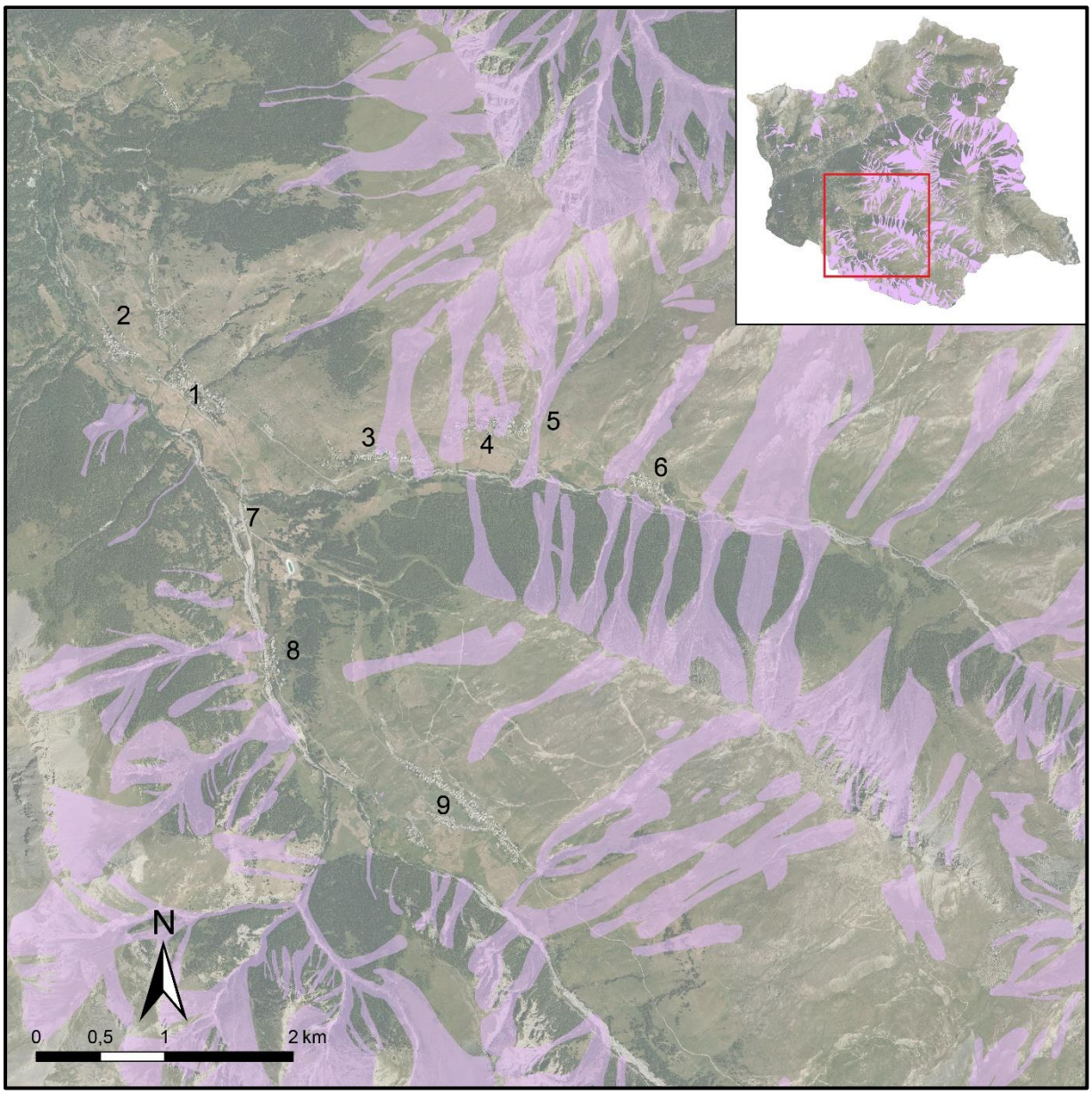


Figure 5. 33. : Cartographie des emprises avalancheuses dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Molines-en-Queyras – Saint-Véran. 1 – village de Molines-en-Queyras, 2 – hameau de la Rua, 3 – village de Pierre Grosse, 4 – village de Château Renard, 5 – hameau du Coin, 6 – village de Fongillarde, 7 – Clôt-La-Chalpe, 8 – hameau de La Chalp, 9 – village de Saint-Véran.

Sur le secteur de Molines-en-Queyras – Saint-Véran, de nombreux enjeux sont exposés aux avalanches (Fig. 5. 33.). Si les villages de Molines-en-Queyras et Saint-Véran sont relativement à l'abri, plusieurs bâtiments sont compris dans les emprises d'avalanches dans les villages de Pierres Grosses, Château Renard et Fongillarde et dans les hameaux du Coin et du Clôt-La-Chalpe (Fig. 5. 33.). À l'image des secteurs précédemment mis en lumière, le réseau routier est exposé en de nombreux points, menaçant d'isolement les populations résidant à leur amont (Fig. 5. 33.). Malgré cette exposition de fait, cela fait plusieurs années qu'aucune avalanche d'ampleur n'est descendue sur ce secteur.

Les cartes de localisation des phénomènes d'avalanche (CLPA) sont des documents uniques en leur genre et sont par conséquent couramment utilisées dans les études de risques. Elles donnent des indications précises sur la localisation de phénomènes avalancheux, parfois vieux de plusieurs siècles. Notons cependant qu'elles n'apportent d'informations ni sur la fréquence des phénomènes avalancheux, ni sur leur distance d'arrêt. Elles donnent également peu, voire pas d'informations, sur la nature des dégâts engendrés, ni sur leurs causes (impacts directs, souffle). Dans l'état actuel, la carte produite souffre donc des mêmes inconvénients que les cartes des crues de 1957 et 2000 produites par photo-interprétation (cf. *supra*, chapitre 5, 1. 1. et 1. 2.). Elle est en effet « statique » et ne permet pas de classer l'aléa avalancheux selon sa fréquence et son ampleur.

Conclusion

Pour mener à bien notre analyse des risques dans le Queyras, il était capital de bien définir l'emprise des trois aléas considérés : les crues torrentielles, les glissements de terrain et les avalanches. Plusieurs méthodes et techniques de modélisation ont été employées pour ce faire :

Pour définir les emprises de l'aléa « crue torrentielle » six cartes ont été produites. Deux de ces cartes figurent des événements passés ayant particulièrement marqué les esprits des Queyrassins, à savoir les crues de juin 1957 et juin 2000. Ces cartes ont été produites sous SIG par analyse diachronique de photographies aériennes verticales prises avant et après ces événements. Les quatre autres cartes produites sont le fruit de simulations hydrauliques de crues de fréquence et d'intensité croissante : crue décennale, crue trentennale-cinquantennale (type juin 2000), crue centennale et crue plus-que-centennale (type juin 1957). Ces cartes ont été produites afin de balayer l'ensemble du spectre des possibles et ainsi fournir des documents utiles à l'évaluation et à la gestion du risque de crue torrentielle. Les cartes produites montrent une forte exposition à l'aléa torrentiel de l'ensemble des communes de la vallée du Guil.

Pour caractériser l'aléa « glissement de terrain », nous avons opté pour la production d'une carte de susceptibilité aux glissements de terrain. Le modèle, dont est issue cette carte, est fondé sur le principe de régression logistique ordinaire. Plusieurs facteurs de prédisposition ont été testés : la lithologie, le pendage, l'occupation du sol, des indices de pente (gradient, curvature et orientation) et les formations superficielles. Selon la carte produite, les versants les plus susceptibles de donner lieu à des glissements de terrain sont les versants schisteux exposés sud-ouest, conformes aux pendages des schistes et recouverts essentiellement de pelouses et de pâturages. La carte de susceptibilité suggère une faible exposition à l'aléa glissement de terrain pour toute la partie « calcaire » du Queyras et une exposition forte pour la partie « schisteuse » du Queyras.

Pour cartographier l'aléa « avalanche », les emprises maximales des avalanches identifiées dans les cartes de localisation des phénomènes d'avalanche (CLPA) de 2001 ont été reprises sur SIG. La cartographie a été complétée par l'ajout de nouvelles emprises dans des secteurs non-couverts par les CLPA (bassins versants du Ségure, du Bouchet et de Soulier). Plusieurs emprises avalancheuses connues et identifiées dans les CLPA ont également été modifiées pour tenir compte des événements

exceptionnels de décembre 2008 (plusieurs avalanches avaient, à cette occasion, dépassé leur emprise maximale connue). La cartographie réalisée montre une forte exposition des communes jouxtant la frontière avec l'Italie : Saint-Véran, Molines-en-Queyras, Ristolas et Abriès.

Toutes les cartes d'aléas produites ont été intégrées au sein d'un SIG afin d'être utilisées ultérieurement pour la production de cartes de risques. Avant d'en arriver là, il est nécessaire de s'intéresser aux autres composantes du risque (cf. *supra*, introduction, 1. 2.) à savoir, la vulnérabilité des enjeux physiques (vulnérabilité corporelle, structurelle et fonctionnelle) et humain (vulnérabilité sociale) et la résilience globale des communautés locales. La prochaine partie sera donc naturellement consacrée à l'analyse de ces composantes.

- Partie 4 -
Évaluation et analyse des vulnérabilités

Introduction

En géographie, évaluer le risque « naturel » implique de bien appréhender les interactions entre le milieu physique et les sociétés qui y évoluent (cf. *supra*, introduction, 1. 1. ; D'Ercole *et al*., 1994 ; Pigeon, 2002 ; Leone et Vinet, 2006 ; Antoine *et al*., 2010 ; Barroca *et al*., 2013). Dans les précédentes parties (cf. *supra*, partie 1 à 3), le milieu physique du bassin du Haut-Guil et les aléas auxquels il est confronté ont été caractérisés puis cartographiés. Pour analyser les interactions entre les sphères physique et humaine, il convient désormais de décrire et d'évaluer les différentes formes de vulnérabilité présentes sur le territoire. Or, pour rappel, la notion de vulnérabilité est polysémique, multiscalaire et multidimensionnelle (Pigeon, 2005 ; Léone, 2007 ; Fuchs *et al*., 2007 ; Birkmann *et al*., 2013a ; Papathoma-Köhle *et al*., 2017). Selon les objectifs fixés et les données disponibles, il existe une multitude de méthodes pour l'appréhender. On distingue généralement les méthodes « quantitatives » des méthodes « qualitatives ».

Les analyses quantitatives sont, de loin, les plus courantes en géographie des risques. Elles consistent généralement à mesurer l'endommagement potentiel, en fonction de paramètres physiques décrivant les aléas et/ou les enjeux (Thouret et D'Ercole, 1996 ; Glade, 2003 ; Fuchs *et al*., 2007). L'endommagement est évalué à travers des coûts et des atteintes aux éléments exposés (bâtiments, réseaux, infrastructures, populations, etc. ; Quenault, 2015). Ces méthodes insistent sur les probabilités d'occurrence des aléas et les dommages observés lors d'événements passés (souvent exprimés en valeur monétaire). Les analyses quantitatives sont ainsi difficiles à mettre en place car elles nécessitent un important volume de données de haute précision. Sur le plan épistémique, elles se rattachent à la vulnérabilité « physique » ou « biophysique » (Glade, 2003 ; Quenault, 2015).

Les analyses qualitatives de la vulnérabilité utilisent, comme leur nom l'indique, des données qualitatives issues d'enquêtes ou d'observations directes et indirectes (bibliographie, statistiques socio-démographiques, restitutions orales ; Barroca *et al*., 2005 ; Vinchon *et al*., 2011 ; Garcia *et al*., 2014). Elles s'appuient généralement sur une connaissance empirique du territoire et des événements historiques qui s'y sont déroulés. Ces données peuvent être hiérarchisées au sein d'échelles permettant de donner un niveau de vulnérabilité des sociétés exposées aux risques. Les résultats de telles analyses s'expriment sous la forme d'indices, de classements relatifs ou de matrice de vulnérabilité (Papathoma-Köhle *et al*., 2017). Les analyses qualitatives de la vulnérabilité sont souvent rattachées à la vulnérabilité dite « sociale » (Clark *et al*., 1998 ; Wu *et al*., 2002 ; Cutter *et al*., 2003 ; Rygel *et al*., 2006 ; Flanagan *et al*., 2012 ; Tate *et al*., 2012).

Une troisième voie, hybride, fournit un bon moyen d'évaluer la vulnérabilité : c'est l'approche dite « semi-quantitative » (Puissant *et al*., 2013). Elle repose sur la recherche et l'établissement de relations de causalité entre un jeu de paramètres descriptifs des enjeux (matériaux de construction, âge, état, fonction, etc.) et les conséquences potentielles d'un aléa sur ces mêmes enjeux. Cette approche est employée lorsque l'on cherche à dépasser la subjectivité associée aux données qualitatives et que l'on ne dispose pas des données nécessaires pour mener une analyse quantitative de la vulnérabilité. L'analyse semi-quantitative permet de fait d'apporter un degré de précision supérieur à l'analyse qualitative, tout en exploitant les données utilisées par cette dernière dans le but de découvrir un domaine de connaissances plus large que ne le permet l'analyse quantitative.

Dans le présent travail de thèse, nous avons choisi d'appréhender la vulnérabilité dans ses dimensions « biophysique » et « sociale », d'abord séparément puis conjointement, dans le but de donner un aperçu de la vulnérabilité globale du territoire queyrassin.

Le chapitre 6 est ainsi consacré à l'évaluation de la vulnérabilité « biophysique » des enjeux présents dans le bassin-versant du Haut-Guil. Cette dernière a été effectuée au travers de l'analyse des conséquences potentielles des aléas (corporelles, structurelles et fonctionnelles) sur les différents types d'enjeux recensés (bâti, réseaux, occupation du sol). L'évaluation des conséquences potentielles a été menée selon la méthode du PDI (*Potential Damage Index*) développée par Puissant *et al.* (2013), et améliorée dans le cadre de l'ANR SAMCO. C'est une méthode semi-quantitative, fondée sur la production d'indices élaborés à partir d'un jeu de variables illustrant les caractéristiques des enjeux étudiés.

Dans le chapitre 7, la vulnérabilité a été abordée dans sa composante sociale via l'analyse des résultats d'une enquête de terrain menée auprès des Queyrassins (100 questionnaires récoltés, 38 questions et 1 carte mentale). Cette enquête portait sur quatre aspects : 1) la perception des risques torrentiels et gravitaires ; 2) les connaissances qu'ont les habitants de ces risques, de leurs dangers et de leur gestion ; 3) la mémoire des événements passés ; 4) la confiance accordée aux différents gestionnaires des risques. L'objectif de ce travail était de dresser un état des lieux de la vulnérabilité sociale et de la résilience des communautés queyrassines.

Dans le chapitre 8, nous proposons une méthode innovante pour croiser les résultats obtenus dans les deux précédents chapitres. La méthode employée a consisté en une version « améliorée » de la méthode du PDI intitulée *Potential Consequences Index* (PCI). Comme le PDI, le PCI intègre les différentes caractéristiques des enjeux. L'originalité de cette méthode réside dans l'ajout de variables socio-économiques dérivées des données de recensement de l'INSEE et de l'enquête de perception des risques réalisée dans le cadre de l'évaluation de la vulnérabilité sociale. L'objectif est ici de dépasser le traditionnel clivage entre vulnérabilité sociale et vulnérabilité biophysique afin de fournir une évaluation synthétique de la vulnérabilité globale des communautés queyrassines (Carlier *et al*., 2018b).

Chapitre 6 : Évaluation et cartographie de la vulnérabilité biophysique dans le Queyras

Introduction

De nombreuses méthodes existent pour évaluer la vulnérabilité biophysique. Les plus couramment employées sont 1) les matrices de vulnérabilité, 2) les courbes de vulnérabilité et 3) les indicateurs de vulnérabilité.

Les matrices de vulnérabilité sont des méthodes qualitatives (Leone *et al*., 1995 ; Cissé Faye *et al*., 2004 ; Henselwood et Phillips, 2006). Elles offrent certains avantages : les relations entre les processus et leurs conséquences sont clairement exprimées et faciles à comprendre par des non-spécialistes, les informations sur l'intensité exacte des processus ne sont pas nécessaires, de même que les coûts exacts des dommages, exprimés en valeur monétaire (Fuchs *et al*., 2007). Le principal défaut des matrices de vulnérabilité réside dans l'absence de description concrète des dommages observés. Cette méthode est donc très subjective et difficilement transposable d'un secteur à l'autre.

Les courbes de vulnérabilité (c-à-d. les courbes de dommages et les courbes de fragilité) expriment la vulnérabilité de manière quantitative, en traduisant les dommages observés en valeur monétaire (Fuchs *et al*., 2007 ; Messner *et al*., 2007 ; Tarbotton *et al*., 2015). Les courbes de vulnérabilité établissent une relation claire entre les pertes matérielles et l'intensité des processus, ce qui permet de réaliser des analyses coût-bénéfice (Tarbotton *et al*., 2015 ; Papathoma-Köhle *et al*., 2017). En revanche, les courbes de vulnérabilité sont très dépendantes de la quantité et de la qualité des données collectées (Fuchs *et al*., 2007 ; Papathoma-Köhle *et al*., 2017). Leur production requiert un large échantillon d'éléments exposés au risque et les courbes produites ne peuvent être transposées qu'à des secteurs dont les enjeux présentent exactement les mêmes caractéristiques. Par ailleurs, cette méthode ne prend en compte que l'aspect financier, ignorant par conséquent nombre de caractéristiques, pourtant importantes, des éléments exposés aux risques (Papathoma-Köhle *et al*., 2017).

Selon Rygel *et al.* (2006), Birkmann (2006b) et Kappes *et al.* (2012), le moyen le plus efficace pour évaluer la vulnérabilité consiste à créer un ou des indices à partir d'une série d'indicateurs représentant les caractéristiques des éléments exposés aux risques. Cette approche présente de nombreux avantages : elle inclut l'analyse de l'ensemble des types de conséquences pouvant affecter les enjeux, tout en s'affranchissant de l'usage de données monétaires (Meyer *et al*., 2009) ; elle ne nécessite pas de données empiriques (Papathoma-Köhle *et al*., 2017) ; elle prend en compte les différentes caractéristiques des éléments exposés aux risques (Cruden et Fell, 1997 ; Maquaire *et al*., 2004 ; Malet *et al*., 2006 ; Puissant *et al*., 2006, 2013) ; elle est suffisamment flexible pour être transposée à différents lieux et types d'aléas (Kappes *et al*., 2012). De plus, l'amélioration de la technologie SIG rend désormais aisée l'élaboration d'indices de vulnérabilité à haute résolution et à vocation opérative (Nelson *et al*., 2015).

Dans la présente étude, cette dernière approche a été privilégiée. Plusieurs raisons nous ont conduits à faire ce choix : 1) des données lacunaires relatives à la fréquence et à la magnitude des phénomènes torrentiels et gravitaires ; 2) une absence de données concernant la nature des endommagements passés selon les différents types d'aléas ; 3) la volonté d'employer des méthodes comparables sur les trois secteurs étudiés dans le cadre de l'ANR SAMCO.

Pour appréhender la vulnérabilité biophysique dans le Queyras, nous avons opté pour l'usage de la méthode PDI (*Potential Damage Index*) développée par Puissant *et al*. (2006, 2013). Cette méthode a été sélectionnée pour sa souplesse qui lui permet de tenir compte des spécificités des secteurs étudiés

(architecture, activités économiques, usages des sols, etc.) et son adaptabilité à différents types d'aléa (avalanches, glissements de terrain, crues torrentielles, etc.). Elle est fondée sur l'analyse de différents types de conséquences potentielles directes (corporelles, structurelles et fonctionnelles directes) et indirectes (fonctionnelles indirectes, c.-à-d. socio-économiques) des aléas, sur différentes catégories d'enjeux (bâti, réseaux, occupation et usages du sol). La vulnérabilité a été évaluée de façon relative, au travers de trois sous-indices représentatifs des divers types de conséquences pouvant affecter les enjeux : corporels, structurels, fonctionnels direct, fonctionnels indirects (Maquaire *et al.*, 2004 ; Puissant *et al.*, 2006, 2013). En cartographiant et en combinant ces indices, on obtient une évaluation du total des conséquences potentielles. Les résultats présentés ci-après sont le fruit d'une analyse à différentes échelles (régionale et locale) de ces conséquences dans les six communes du Queyras.

1. Méthodes et données

La méthode PDI (*Potential Damage Index*) a initialement été développée pour rendre compte des impacts possibles des glissements de terrain sur les enjeux du bassin de Barcelonnette (Puissant *et al.*, 2006, 2013). Elle est fondée sur la production d'indices illustrant de manière semi-quantitative les différents types de conséquences pouvant affecter des enjeux divers (bâti, réseaux et occupation du sol ; Maquaire *et al.*, 2004 ; Puissant et *al.*, 2006, 2013). Ces indices sont élaborés sur la base de variables pondérées et figurant les différentes caractéristiques des enjeux. Pour obtenir ces indices, quatre étapes ont été requises (Fig. 6. 1.) : 1) la typologie des différentes conséquences engendrées par les aléas sur les enjeux et à les retranscrire au moyen d'indices (Fig.6. 1., 1), 2) l'élaboration d'une base de données descriptive de l'ensemble des enjeux présents sur le territoire étudié (Fig. 6. 1., 2), 3) l'attribution du poids de chacune des variables et modalités de variables identifiées afin de calculer les différents indices par combinaison linéaire (Fig. 6. 1., 3), et 4) la cartographie des différents types de conséquences et à la fusion de ces dernières au sein d'une carte des conséquences totales (Fig. 6. 1., 4).

1. 1. Typologie des conséquences et construction des indices correspondants

Les impacts des aléas sur les éléments exposés peuvent être de nature diverse et s'inscrire sur une durée plus ou moins longue (Cruden et Fell, 1997 ; Maquaire *et al.*, 2004 ; Malet *et al.*, 2006 ; Puissant *et al.*, 2006, 2013). Dans la méthode PDI (*Potential Damage Index*), trois types de conséquences directes ou indirectes sont analysées : les conséquences corporelles directes (CC), les conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) et les conséquences fonctionnelles indirectes (ou conséquences socio-économiques, CSE). Les conséquences corporelles traduisent les impacts directs des aléas sur l'intégrité physique des individus exposés (blessures/décès). Les conséquences structurelles et fonctionnelles correspondent aux dommages matériels directs sur les enjeux, et les perturbations à court terme qui peuvent découler de leur disfonctionnement. Les conséquences fonctionnelles indirectes illustrent les conséquences à moyen et long terme des aléas sur le fonctionnement global du territoire. Les conséquences totales (CT) intègrent l'ensemble de ces composantes afin de donner un niveau relatif de vulnérabilité à chacun des enjeux identifiés.

Pour construire les indices illustrant ces trois catégories de conséquences (CC, CSF, CSE), douze critères jugés représentatifs ont été sélectionnés (Fig. 6. 1., 2). La sélection de ces critères a été faite de manière à prendre en compte la typologie des dommages potentiels liés à différents types d'aléas (glissements de terrain, crues torrentielles et avalanches ; Léone, 1996 ; Givry et Peteuil, 2011 a et b). Sur les douze critères, neuf sont directement issus de la méthode originale du PDI (Puissant *et al.*, 2013) : les matériaux de construction, l'état du bâti, l'âge du bâti, la fonction du bâti, le type de bâti, le type d'occupation du sol, les usages du sol et le type de réseaux.

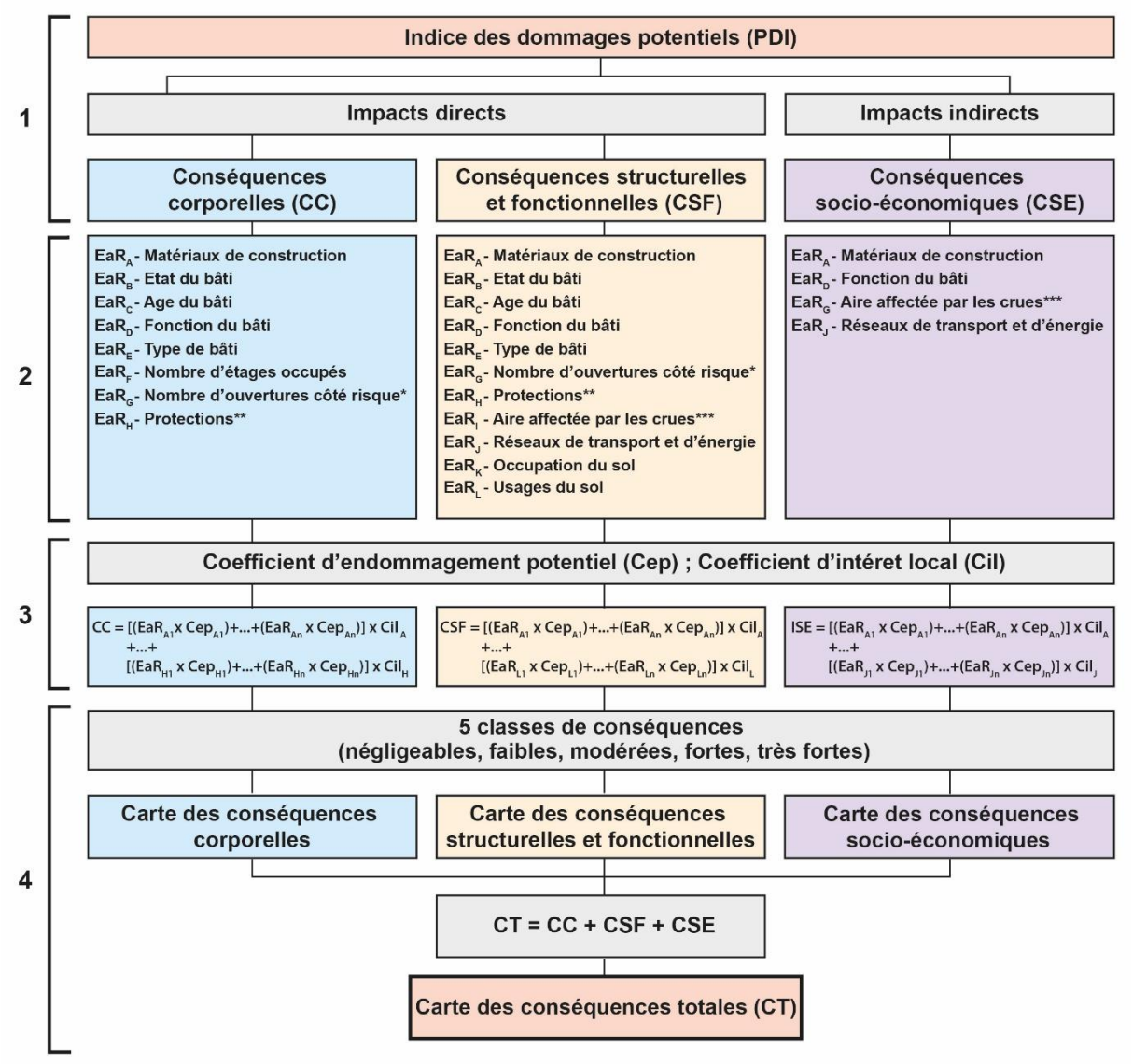


*Figure 6. 1. : Méthode employée pour l'évaluation de la vulnérabilité biophysique dans le Queyras : 1 – typologie des conséquences, 2 – construction d'une base de données des enjeux physiques, 3 – attribution des coefficients et calcul des indices, 4 – production de cartes illustrant les différents types de conséquences. * – utilisé uniquement pour caractériser les enjeux soumis aux aléas « crue torrentielle » et « avalanche », ** – utilisé uniquement pour caractériser les enjeux soumis à l'aléa « avalanche », *** – utilisé uniquement pour caractériser les enjeux soumis à l'aléa « crue torrentielle ».*

Dans la mesure où le PDI a été initialement développé pour estimer les conséquences des glissements de terrain sur les enjeux, la méthode initiale a été conservée pour évaluer les conséquences potentielles dues à cet aléa. Trois critères ont été ajoutés afin d'adapter la méthode aux aléas « crue torrentielle » et « avalanche » :

- Le critère « nombre d'ouvertures côté risque » a été ajouté afin de rendre compte des impacts liés à l'intrusion d'éléments « étrangers » lors d'avalanches (neige, bois et débris) ou d'inondations torrentielles (eau, sédiments et débris divers ; Fig. 6. 1., 2). Dans sa version « avalanche », seules les ouvertures situées sur les façades orientées face au versant ont été prises en compte. Dans sa version « crue torrentielle », seules les ouvertures situées au rez-de-chaussée ont été comptabilisées.

- Le critère « aire affectée par les crues » a été ajouté spécifiquement pour la prise en compte de l'aléa « crue torrentielle ». Il fait référence à la position de l'enjeu dans une ou plusieurs emprises passées de crue (1957, 2000, 2008, etc.) Nous considérons ainsi qu'un enjeu situé dans une emprise de crue passée a plus de probabilité de subir des dommages qu'un enjeu qui ne s'y trouverait pas. Dans la mesure où les crues torrentielles n'ont jamais fait de victime humaine dans le Queyras, ce critère est utilisé uniquement dans le calcul des indices CSF et CSE (Fig. 6. 1., 2).

- Le critère « protection » a été ajouté spécifiquement pour la prise en compte de l'aléa « avalanche » (Fig. 6. 1., 2). Il illustre les caractéristiques architecturales de l'enjeu qui peuvent lui permettre de résister à la force d'impact d'une avalanche (construction paravalanche, bâti accolé au versant, etc.).

Les douze critères ont été intégrés au sein des trois indices (CC, CSF et CSE) de manière à illustrer au mieux les différents types de conséquences (Fig. 6. 1.). Une fois l'architecture des indices établie, nous avons pu procéder à l'établissement de la base de données des enjeux (Fig. 6. 2.).

1. 2. Construction d'une base de données des enjeux biophysiques

La méthode PDI requiert l'établissement d'une base de données complète des enjeux potentiellement exposés aux aléas. Dans une optique de reproductibilité de la méthode, la base de données des enjeux a été construite à partir d'un ensemble de données commerciales courantes et de bases de données en accès libre et gratuit (Tab. 6. 1.).

Source	Type de donnée	Date de production ou d'acquisition de la donnée	Usage de la donnée
IGN (BD TOPO)	Couche vecteur	2009	- Localisation du bâti et des réseaux (support de la BD) - Identification du type de bâti - Identification du type de réseau
IGN (BD ORTHO)	Couche raster	2009 - 2016	- Cartographie de l'occupation du sol - Cartographie des usages du sol - Identification du bâti récent
IGN (SCAN 25, cartes topographiques)	Couche raster	2009	- Fonction du bâti - Cartographie des usages du sol
IGN (cartes anciennes : Cassini / État-major, 1820 - 1866)	Couche raster	2013	- Age du bâti - Matériaux de construction (interprétation selon l'age du bâti)
IGN (photographies aériennes verticales)	Couche raster	1952 - 1956 - 1957 - 1971 - 1981 - 1990 - 1999 - 2000 - 2003 - 2009	- Age du bâti - Matériaux de construction (interprétation selon l'age du bâti)
IGN (RPG : Registre Parcellaire Graphique)	Couche vecteur	2016	- Cartographie des surfaces agricoles
DREAL PACA (espaces naturels protégés)	Couche vecteur	2016	- Cartographie des espaces naturels protégés
OpenStreetMap	-	2013 - 2016	- Fonction du bâti - Cartographie des usages du sol
Google map (*Street-view*)	-	2013 - 2016	- Matériaux de construction - Etat du bâti - Fonction du bâti - Type de bâti - Nombre d'ouvertures exposées au risque
Carte des crues de 1957 et 2000	Couche vecteur	2013 - 2016	- Aire affectée par les crues
Documents touristiques divers	-	2013 - 2016	- Fonction du bâti - Cartographie des usages du sol
Photographies au sol / observations de terrain	-	2013 - 2016	- Matériaux de construction - Etat du bâti - Fonction du bâti - Type de bâti - Nombre d'étages occupés - Nombre d'ouvertures exposées au risque

Tableau 6. 1. : Données employées pour construire la base des enjeux potentiellement exposés aux risques.

Trois catégories d'enjeux ont été prises en compte pour l'établissement de cette base : le bâti, les réseaux et l'occupation du sol/usage des sols (Tab. 6. 1. et 6. 2.). Ces éléments ont été choisis car ils traduisent, à eux seuls, l'essentiel des enjeux physiques d'un territoire (Léone, 1996 ; Cruden et Fell, 1997 ; Maquaire *et al*., 2006 ; Puissant *et al*., 2013).

Sur les six communes considérées, 1913 bâtiments (1799 décrits), 935,82 km de réseaux et 366,66 km² de terrain ont été recensés. Les critères caractérisant ces enjeux et intervenant sur les conséquences potentielles ont ensuite été identifiés puis collectés pour chacun des éléments potentiellement exposés aux risques (Tab. 6. 2. ; Fig. 6. 2. et 6. 3.). Certains enjeux n'ont pas pu être décrits du fait de leur éloignement (bergeries d'altitude, refuges de montagne, cabanes de chasseurs, etc.), ou parce qu'ils étaient cachés à la vue de l'opérateur (donc impossibles à décrire).

1. 3. Attribution des coefficients et calcul des indices de conséquences potentielles

Une fois la base de données complétée, l'ensemble des critères descriptifs (ou attributs) compilés ont été hiérarchisés puis pondérés de manière experte (Fig. 6. 1., 3 ; Tab. 6. 2.). Pour ce faire, une double pondération a été appliquée au moyen de « coefficients d'endommagement potentiel » (Cep) et de « coefficients d'intérêt local » (Cil ; Puissant *et al*., 2013).

Les « coefficients d'endommagement potentiel » (Cep) ont été attribués aux éléments répertoriés selon leurs caractéristiques décrites (Fig. 6. 1., 3 ; Tab. 6. 2.). En accord avec les recommandations de Birkmann (2006c), les Cep appliqués ont des valeurs standardisées comprises entre 0 et 1 (Tab. 6. 2.). Plus la valeur du Cep est proche de 1, plus grande est l'influence de la modalité sur le calcul des conséquences potentielles (Tab. 6. 2.). Les Cep ont ensuite étés intégrées dans la base de données SIG des enjeux afin de produire des rasters (à 1 m de résolution) pour chacune des variables considérées (matériaux de construction, âge du bâti, occupation du sol, etc.).

Selon l'importance que l'on souhaitait accorder aux 12 variables utilisées dans le calcul des indices, une seconde pondération a été appliquée (Fig. 6. 1., 3 ; Tab. 6. 2.). Cette dernière a été effectuée au moyen d'un coefficient dénommé « coefficient d'intérêt local » (Cil, Fig. 6. 2., 3 ; Tab. 6. 2.). Ce coefficient, variant entre 1 et 4, constitue un moyen souple et efficace de considérer les spécificités du terrain (caractéristiques socio-économiques), en faisant varier le poids relatif des différentes variables prises en compte dans le calcul des différents indices de conséquences potentielles.

Les Cep et Cil appliqués sont pour partie empruntés aux travaux de Puissant *et al*. (2013) menées dans le bassin de l'Ubaye (qui jouxte le bassin du Guil). Des adaptations mineures ont néanmoins été réalisées afin de prendre en compte les spécificités architecturales et socio-économiques du bassin du Guil.

Une fois les coefficients appliqués à chacune des variables et modalités de variables, les différents types de conséquences (CC, CSF et CSE) ont pu être calculés par combinaisons linéaires des Cep et Cil correspondant à chacun des enjeux décrits (Fig. 6. 1., 3 ; Tab. 6. 2.). Cette étape a été réalisée sous SIG à l'aide de l'outil « calculatrice raster » d'ArcGIS® 10.4 avec les formules suivantes :

$$CC = [(EaR_{A1} \times Cep_{A1}) + ... + (EaR_{An} \times Cep_{An}) \times Cil_A] + \ldots + [(EaR_{H1} \times Cep_{H1}) + ... + (EaR_{Hn} \times Cep_{Hn}) \times Cil_H].$$

$$CSF = [(EaR_{A1} \times Cep_{A1}) + ... + (EaR_{An} \times Cep_{An}) \times Cil_A] + \ldots + [(EaR_{L1} \times Cep_{L1}) + ... + (EaR_{Ln} \times Cep_{Ln}) \times Cil_L].$$

$$CSE = [(EaR_{A1} \times Cep_{A1}) + ... + (EaR_{An} \times Cep_{An}) \times Cil_A] + \ldots + [(EaR_{J1} \times Cep_{J1}) + ... + (EaR_{Jn} \times Cep_{Jn}) \times Cil_J].$$

$$CT = CC + CSF + CSE$$

EaR - A	Matériaux de construction	Cep - TO	Cep - GT	Cep - AV	Cil - CC	Cil - CSF	Cil - CSE
A1	Bois	1,00	1,00	1,00			
A2	Béton/parpaing	**0,80**	**1,00**	**0,80**			
A3	Mixte (béton et bois)	**0,80**	**1,00**	**0,80**	2	2	2
A4	Traditionnel (pierre et bois)	**0,60**	**1,00**	**1,00**			
A5	Métal	0,40	0,40	0,4			
A6	Brique	1,00	1,00	1,00			
Ear - B	Etat du bâti	Cep - TO	Cep - GT	Cep - AV	Cil - CC	Cil - CSF	Cil - CSE
B1	Bon	0,30	0,30	0,30			
B2	Moyen	0,70	0,70	0,70	2	2	0
B3	Mauvais	1,00	1,00	1,00			
B4	Très mauvais (ruine)	0,10	0,10	0,10			
Ear -C	Age du bâti	Cep - TO	Cep - GT	Cep - AV	Cil - CC	Cil - CSF	Cil - CSE
C1	> 2010	**0,80**	**0,80**	**0,50**			
C2	2000 - 2010	1,00	1,00	1,00			
C3	1990 - 2000	1,00	1,00	1,00			
C4	1970 - 1990	0,90	0,90	0,90	2	2	0
C5	1950 - 1970	0,70	0,70	0,70			
C6	1900 - 1950	0,50	0,50	0,50			
C7	< 1900	0,30	0,30	0,30			
Ear - D	Fonction du bâti	Cep - TO	Cep - GT	Cep - AV	Cil - CC	Cil - CSF	Cil - CSE
D1	Education	1,00	1,00	1,00			
D2	Secours	1,00	1,00	1,00			
D3	Administration publique	0,90	0,90	0,90			
D4	Touristique	0,80	0,80	0,80			
D5	Habitat / hébergement	0,80	0,80	0,80	2	3	3
D6	Commerciale	0,70	0,70	0,70			
D7	Industrielle / artisanale	0,70	0,70	0,70			
D8	Agricole / pastorale	0,40	0,40	0,4			
D9	Religieuse	0,20	0,20	0,20			
D10	Stockage (cabane et garage)	0,10	0,10	0,10			
Ear - E	Type de bâti	Cep - TO	Cep - GT	Cep - AV	Cil - CC	Cil - CSF	Cil - CSE
E1	"Sensible" (mairie, hôpital, caserne...)	1,00	1,00	1,00			
E2	Logement	0,90	0,90	0,90			
E3	Équipement touristique	0,70	0,70	0,70	1	1	0
E4	Hangars et entrepôts	0,50	0,50	0,50			
E5	Patrimonial	0,30	0,30	0,30			
E6	Cabane et garage	0,10	0,10	0,10			
EaR - F	Nombre d'étages occupés	Cep - TO	Cep - GT	Cep - AV	Cil - CC	Cil - CSF	Cil - CSE
F1	> 6	1,00	1,00	1,00			
F2	4 - 6	0,80	0,80	0,80			
F3	2 - 3	0,60	0,60	0,60	3	0	0
F4	1	0,40	0,40	0,40			
F5	0	0,10	0,10	0,10			
EaR - G	Nombre de d'ouvertures côté risque	Cep - TO	Cep - GT	Cep - AV	Cil - CC	Cil - CSF	Cil - CSE
G1	> 6 (verrière et devanture)	**1,00**	**0**	**1,00**			
G2	4 - 6	**0,80**	**0**	**0,80**	2	1	0
G3	1 - 3	**0,60**	**0**	**0,60**			
G4	Absence	**0,10**	**0**	**0,10**			
EaR - H	Protections	Cep - TO	Cep - GT	Cep - AV	Cil - CC	Cil - CSF	Cil - CSE
H1	Bâtiment construit contre le versant	**0**	**0**	**0,50**	3	3	0
H2	Bâtiment non-construit contre le versant	**0**	**0**	**1,00**			
EaR - I	Compris dans une enveloppe de crue passée	Cep - TO	Cep - GT	Cep - AV	Cil - CC	Cil - CSF	Cil - CSE
I1	Emprises décennales diverses (2002, 2008, 2010 etc.)	**1,00**	**0**	**0**			
I2	Emprise de la crue de juin 2000	**0,70**	**0**	**0**	1	3	3
I4	Emprise de la crue de juin 1957	**0,50**	**0**	**0**			
I5	Non-compris dans une emprise de crue	**0,10**	**0**	**0**			
EaR - J	Réseaux	Cep - TO	Cep - GT	Cep - AV	Cil - CC	Cil - CSF	Cil - CSE
J1	Ligne à haute tension	1,00	1,00	1,00			
J2	Route principale	1,00	1,00	1,00			
J3	Route secondaire	0,80	0,80	0,80	0	2	4
J4	Remontées mécaniques	0,70	0,70	0,70			
J5	Piste carrossable	0,50	0,50	0,50			
J6	Chemin	0,10	0,10	0,10			
EaR - K	Occupation du sol	Cep - TO	Cep - GT	Cep - AV	Cil - CC	Cil - CSF	Cil - CSE
K1	Espaces urbanisés	0,60	0,60	0,60			
K2	Surfaces agricoles	0,35	0,35	0,35			
K3	Forêts	0,20	0,20	0,20			
K4	Prairies	0,15	0,15	0,15	0	2	0
K5	Surfaces en eau	0,10	0,10	0,10			
K6	Surfaces minérales (escarpements rocheux, éboulis, alluvions etc.)	0,05	0,05	0,05			
EaR - L	Usage du sol	Cep - TO	Cep - GT	Cep - AV	Cil - CC	Cil - CSF	Cil - CSE
L1	Urbain	1,00	1,00	1,00			
L2	Activités touristiques hivernales	0,80	0,80	0,80			
L3	Activités touristiques estivales	0,80	0,80	0,80	0	4	0
L4	Terres arables	0,40	0,40	0,40			
L5	Aires protégées (réserves)	0,20	0,20	0,20			

Tableau 6. 2. : Détail des coefficients attribués aux enjeux selon les différentes modalités de variables collectées : Cep – Coefficient d'endommagement potentiel, Cil – Coefficient d'intérêt local, TO – aléa « crue torrentielle », GT – aléa « glissement de terrain », AV – aléa « avalanche ».

Enjeux	Variables	Attributs	Codes
	EaR - A : Matériaux de construction	Traditionnel	A4
	EaR - B : Etat du bâti	Bon état	B1
	EaR - C : Age du bâti	1900 - 1950	C6
	EaR - D : Fonction du bâti	Habitat	D5
	EaR - E : Type de bâti	Logement	E2
	EaR - F : Nombre d'étages occupés	3 étages habités	F3
	EaR - G : Nombre d'ouvertures côté risque	2 ouvertures côté risque (torrentialité)	G3
	EaR - H : Protections	Pas de protection	H2
	EaR - I : Compris dans une emprise de crue	Non-compris dans une emprise	I4
	EaR - A : Matériaux de construction	Mixte (béton et bois)	A3
	EaR - B : Etat du bâti	Bon état	B1
	EaR - C : Age du bâti	2000 - 2010	C2
	EaR - D : Fonction du bâti	Habitat	D5
	EaR - E : Type de bâti	Logement	E2
	EaR - F : Nombre d'étages occupés	2 étages habités	F3
	EaR - G : Nombre d'ouvertures côté risque	3 ouvertures côté risque (avalanche)	G3
	EaR - H : Protections	Pas de protection	H2
	EaR - I : Compris dans une emprise de crue	Non-compris dans une emprise	I4
	EaR - A : Matériaux de construction	Mixte (béton et bois)	A3
	EaR - B : Etat du bâti	Bon état	B1
	EaR - C : Age du bâti	> 2010	C1
	EaR - D : Fonction du bâti	Habitat	D5
	EaR - E : Type de bâti	Logement	E2
	EaR - F : Nombre d'étages occupés	2 étages habités	F3
	EaR - G : Nombre d'ouvertures côté risque	0 ouvertures côté risque (avalanche)	G4
	EaR - H : Protections	Protection (mur aveugle en béton armé)	H1
	EaR - I : Compris dans une emprise de crue	Emprise de la crue de juin 1957	I3
	EaR - A : Matériaux de construction	Bois	A1
	EaR - B : Etat du bâti	Bon état	B1
	EaR - C : Age du bâti	2000 - 2010	C2
	EaR - D : Fonction du bâti	Touristique	D4
	EaR - E : Type de bâti	Cabane	E6
	EaR - F : Nombre d'étages occupés	0 étages habités	F5
	EaR - G : Nombre d'ouvertures côté risque	2 ouvertures côté risque (torrentialité)	G3
	EaR - H : Protections	Pas de protection	H2
	EaR - I : Compris dans une emprise de crue	Emprise de la crue de juin 1957	I3
	EaR - A : Matériaux de construction	Mixte	A3
	EaR - B : Etat du bâti	Bon état	B1
	EaR - C : Age du bâti	> 2010	C1
	EaR - D : Fonction du bâti	Industrielle / artisanale	D7
	EaR - E : Type de bâti	Hangar et entrepôt	E4
	EaR - F : Nombre d'étages occupés	0 étages habités	F5
	EaR - G : Nombre d'ouvertures côté risque	1 ouvertures côté risque (torrentialité)	G3
	EaR - H : Protections	Pas de protection	H2
	EaR - I : Compris dans une emprise de crue	Emprise de la crue de juin 2000	I2
	EaR - A : Matériaux de construction	Traditionnel	A4
	EaR - B : Etat du bâti	Mauvais état	B3
	EaR - C : Age du bâti	< 1900	C7
	EaR - D : Fonction du bâti	Religieuse	D9
	EaR - E : Type de bâti	Patrimoniale	E5
	EaR - F : Nombre d'étages occupés	0 étages habités	F5
	EaR - G : Nombre d'ouvertures côté risque	0 ouvertures côté risque (torrentialité)	G4
	EaR - H : Protections	Pas de protection	H2
	EaR - I : Compris dans une emprise de crue	Non-compris dans une emprise	I4

Figure 6. 2. : Exemples des attributs récoltés, tirés de la base de données produite pour le bâti.

Les cartes produites pour chacun des indices (rasters) ont été discrétisées en 5 classes de conséquence : négligeables, faibles, modérées, fortes, très fortes. La distribution des valeurs au sein des indices (CC, CSF, CSE et CT, exprimés sous forme de rasters) présente une forte asymétrie négative (dissymétrie à droite). La discrétisation en cinq classes de conséquences a donc été effectuée en utilisant la méthode des effectifs égaux (Sanders, 1989 ; Dumolard *et al*., 2003 ; Le Fur, 2015 ; Lambert et Zanin, 2016 ; Béguin et Pumain, 2017). Les bornes de classe correspondent aux valeurs minimum et maximum des séries et aux trois quantiles intermédiaires calculés (Q2, Q3 et Q4). La discrétisation selon les quantiles présente l'avantage de diminuer le poids des valeurs extrêmes en les regroupant avec des valeurs plus proches de la moyenne. Cette méthode permet ainsi d'obtenir des classes plus équilibrées qu'avec d'autres méthodes de discrétisation (Dumolard *et al*., 2003 ; Lambert et Zanin, 2016).

2. Description des enjeux biophysiques

Le Queyras, comme tout territoire, dispose d'une organisation qui lui est propre. Si les six communes queyrassines partagent certaines caractéristiques en termes d'architecture, d'urbanisme ou d'activités (Fig. 6. 3.), elles ont néanmoins des fonctions différentes dans le fonctionnement du territoire. Pour une lecture optimale des cartes des conséquences potentielles présentées ci-après, il était important de décrire la nature et la localisation des principaux enjeux du territoire, de manière à dégager les caractéristiques et fonctions du territoire et des entités qui le composent.

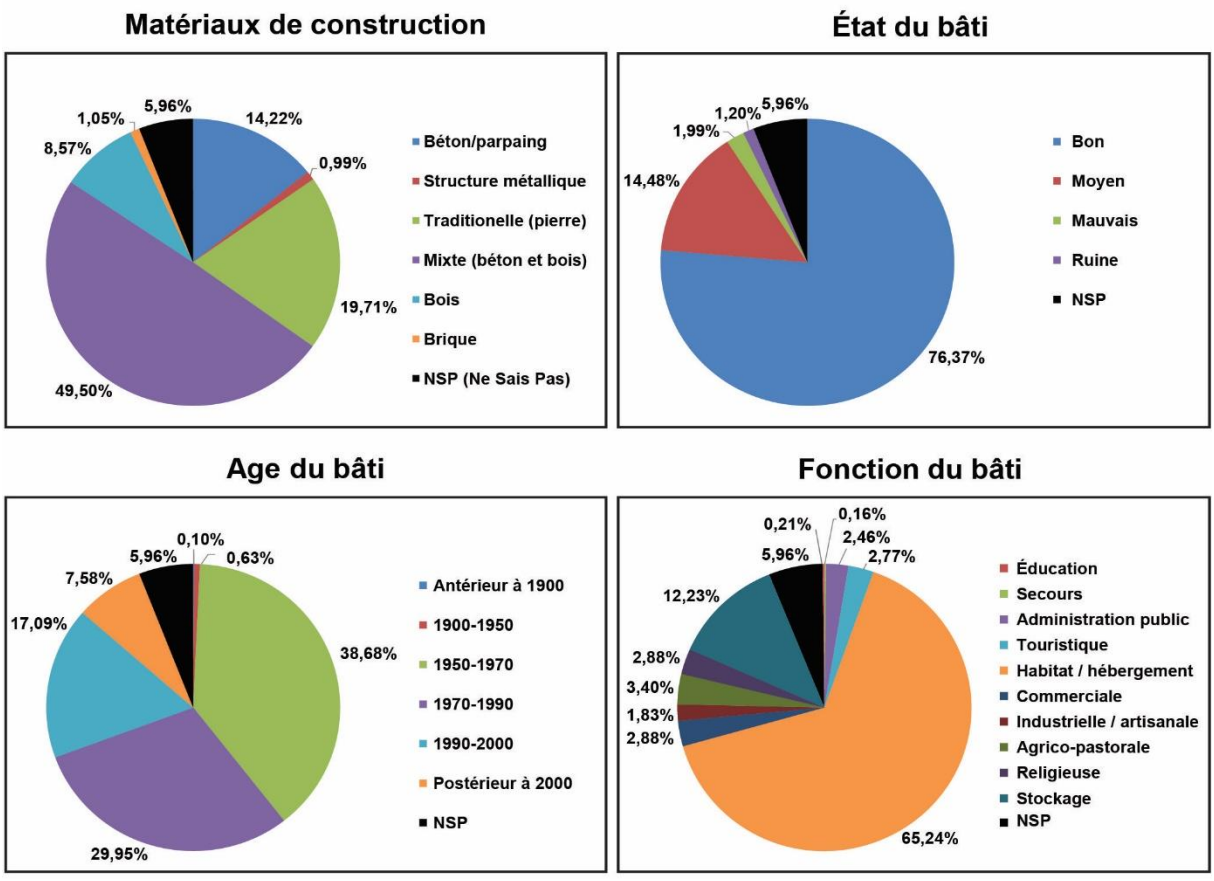


Figure 6. 3. : Statistiques descriptives des critères et attributs collectés pour les différents types d'enjeux étudiés (bâti, réseaux et sol).

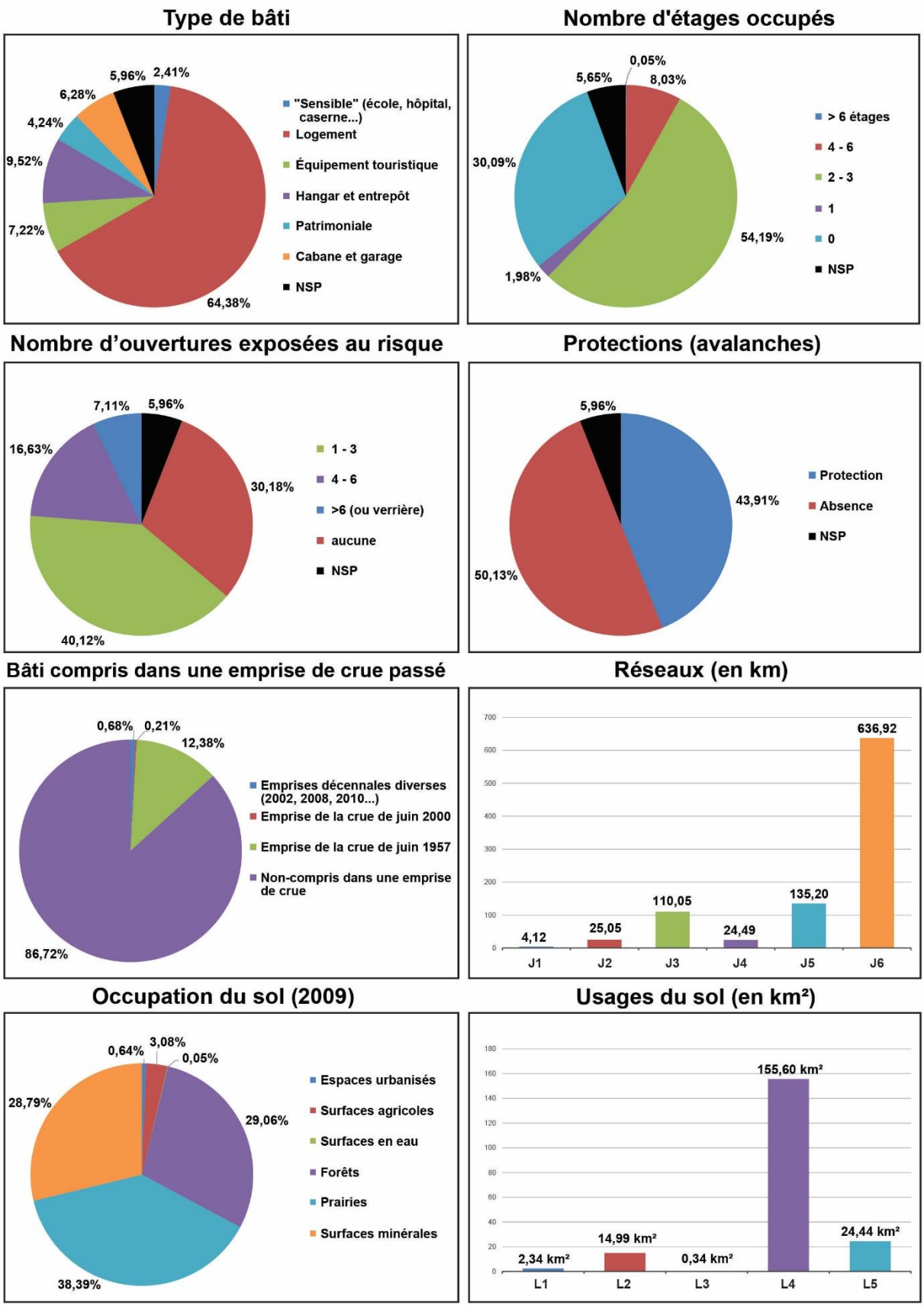


Figure 6. 3. – suite : Statistiques descriptives des attributs collectés pour les différents types d'enjeux étudiés (bâti, réseaux et sol).

2. 1. Commune de Ristolas

La commune de Ristolas couvre une superficie de 83,26 km², ce qui en fait la plus grande des six communes du Queyras. Une part importante de la surface communale (2295 ha) est allouée à la protection de l'environnement via différents classements : Natura 2000, Réserve de Biosphère, Réserve Nationale de Ristolas – Mont Viso, etc. (www.pnr-queyras.fr). L'occupation du sol sur la commune est constituée principalement de surfaces minérales (alluvions, affleurements et sols nus ; 41,89 %), de prairies (34,03 %) et de forêts (20,28 %). Ristolas dispose en outre des plus importantes surfaces agricoles du Queyras (2,88 km², soit 3,46 % de la surface communale). Ces ressources sont valorisées par la commune qui tire tout ou partie de ses recettes du tourisme, de l'exploitation forestière et de la location d'alpages (notamment dans le bassin-versant du Ségure).



Photo 6. 1. : Vues sur les hameaux de l'Échalp et de La Monta.

En dépit de sa superficie, il s'agit de la commune queyrassine comportant le moins d'enjeux liés au bâti (seulement 96 bâtiments). Depuis la destruction partielle des hameaux de La Monta (altitude : 1690 m, Photo 6. 1.) et de l'Échalp (altitude : 1703 m, Photo 6. 1.) en 1944 (incendie dû aux bombardements allemands) et 1946 (avalanche destructrice), l'essentiel des enjeux se concentre dans le village de Ristolas (altitude : 1615 m, Photo 6. 2.). Ils sont liés à l'habitat, au tourisme et aux pratiques sylvicoles et agro-pastorales. Ces fonctions transparaissent dans les caractéristiques du bâti. On recense sur la commune deux musées, une salle de concert, un camping, un hôtel, un centre d'hébergement, plusieurs gîtes et gîtes d'étapes et deux refuges (à La Monta et dans la réserve du Viso). S'y ajoutent les parkings de l'Échalp et de la Roche Écroulée, d'où partent certains des plus fameux sentiers de randonnée du Queyras (vers le Pain de Sucre et le Mont Viso). Le reste des enjeux est composé d'habitats individuels et de bâtiments agricoles situés le long du Guil dans sa traversée de Ristolas.



Photo 6. 2. : Vue sur le village de Ristolas et le bassin-versant du Ségure.

En matière de réseaux, la commune comporte aussi une piste de luge, un téléski, des pistes de ski de fond et de ski nordique et raquettes. En raison de son positionnement au fond de la vallée du Guil, une seule route carrossable permet d'accéder au village et aux hameaux qui lui sont rattachés : la route départementale D 947. Ce semi-enclavement rend la commune particulièrement vulnérable aux coupures de réseaux liées aux aléas naturels, comme ce fut le cas durant l'hiver 2008 – 2009.

2. 2. Commune d'Abriès

La commune d'Abriès couvre une superficie de 77 km², à cheval sur la vallée du Guil et le bassin-versant du torrent du Bouchet. Comme la commune de Ristolas, la commune d'Abriès dispose de fonctions essentiellement touristiques et résidentielles. Les enjeux biophysiques de la commune sont concentrés dans le village d'Abriès (altitude : 1547 m, Photo 6. 3.) et le hameau du Roux (altitude : 1747 m, Photo 6. 3.). Par le passé, Abriès rassemblait davantage de hameaux, mais l'exode rural a eu raison d'eux entre la fin du XIX^{e} s. et le début du XX^{e} s. La commune conserve toutefois le hameau de Valpréveyre (altitude : 1859 m), même si ce dernier n'est pas habité tout au long de l'année. Sur la commune, l'occupation du sol est surtout faite de prairies (48,78 %) et de forêts (25,70 %). Durant l'hiver, une partie des surfaces qui surplombent Abriès est utilisée pour le domaine skiable de la station.



Photo 6. 3. : Vues sur le village d'Abriès et le hameau du Roux.

Le village d'Abriès en lui-même se situe au confluent du Guil et du Bouchet, dont il occupe les deux rives (Photo 6. 3.). Il est organisé autour d'un bourg ancien, en rive gauche du Bouchet, qui concentre l'essentiel des fonctions administratives (mairie, agence postale, etc.) et commerciales (boutiques de souvenirs, hôtels et restaurants, etc.) de la commune. Sur le versant de rive droite du Bouchet, le bâti se compose essentiellement d'habitats individuels, sous la forme d'anciennes fermes en pierre rénovées et de chalets récents de construction mixte. Sur les marges du village sont implantés les équipements requérant davantage de surface : école primaire, complexe sportif et station d'épuration en rive droite du Bouchet ; départ de remontées mécaniques et camping en rive gauche. Toujours en rive gauche du Bouchet, en amont du village à proprement parler, s'étend le hameau de La Garcine dont la construction a été entamée dans la fin des années 1970.

Le hameau du Roux forme le second pôle de la commune (Photo 6. 3.). Ce hameau a bien failli disparaître (il ne comptait plus que huit habitants en 1970) mais il est parvenu à se maintenir grâce à l'arrivée de nouvelles populations issues des classes moyennes. Le hameau a avant tout une vocation résidentielle mais également touristique. On y trouve quelques logements destinés aux touristes (gite, location, etc.), un restaurant et un atelier d'artisan menuisier. Le hameau abandonné de Pré Roubaud, qui surplombe Le Roux fait l'objet de restauration dans le but d'accroître l'attrait touristique du Roux. Le hameau de Valpréveyre n'est pour sa part pas habité à l'année en raison du risque d'isolement lié

aux avalanches. En période estivale en revanche, il accueille le camping municipal d'Abriès et le bâti est investi à titre de logement secondaire.

En matière de réseaux, la commune s'articule autour de deux voies principales : la D 947 qui relie le village d'Abriès à Ristolas (vers l'amont) et Aiguilles (vers l'aval), et la D 441 qui permet de relier les hameaux du Roux et de Valpréveyre. Ces deux voies, situées en fond de vallée, sont fréquemment coupées par les avalanches ou les crues du Guil et du Bouchet.

2. 3. Commune d'Aiguilles

La commune d'Aiguilles occupe une surface de 40,16 km², ce qui en fait la plus petite des six communes du Queyras. Elle englobe cependant les bassins versants du Peynin et du Lombard (ainsi que les hameaux éponymes). La quasi-totalité des enjeux biophysiques de la commune sont concentrés sur le village d'Aiguilles, situé dans le fond de vallée du Guil (altitude : 1450 m, Photo 6. 4.). Les hameaux du Peynin (altitude : 1840 m, Photo 6. 5.) et du Lombard (altitude : 1924 m, Photo 6. 5.) ne sont habités qu'en période touristique. À l'image d'Abriès, l'occupation du sol de la commune se compose essentiellement de prairies (37,47 %) et de forêts (36,38 %). Dans les bassins du Peynin et du Lombard, des surfaces importantes sont employées à des fins agro-pastorales (2,72 km², soit 6,70 % de la surface communale). Le village d'Aiguilles constitue le principal bassin de vie et d'emploi du Queyras. Outre des activités liées au tourisme, la commune dispose d'importantes fonctions de secours (hôpital, caserne de pompier) et de service public (mairie, poste, Maison du Queyras, maison de retraite, etc.). Avec Château-Ville-Vieille, c'est l'un des deux plus importants pôles artisanaux du Queyras.



Photo 6. 4. : Vues sur le village d'Aiguilles et le cône du Peynin.

Le village s'articule autour du bourg ancien qui concentre la plupart des commerces et des activités de service. Le quartier de La Chalp, situé à l'amont du village, accueille la seule caserne de pompiers du Queyras ainsi que la salle polyvalente de la commune (qui fait office de lieu de repli en cas de sinistre). Sur les hauteurs d'Aiguilles, le bâti est essentiellement composé de logements individuels. En contrebas du village, les principaux enjeux sont formés par le centre hospitalier d'Aiguilles, qui assure aussi la fonction de maison de retraite, et le complexe scolaire de la commune (école primaire, maternelle et crèche). La plaine des Ribes, exposée aux débordements du Guil est dédiée aux activités de loisir (terrain de football, piscine, tennis, patinoire, minigolf, etc.). Face à la plaine des Ribes, en rive gauche du Guil, s'étend l'espace ludique d'Aiguilles. Ce dernier comporte, entre autres, une remontée mécanique, une piste de luge et un terrain de vélo-cross. En amont et à l'aval de l'espace ludique se trouvent les deux zones artisanales du village. La plus importante se situe sur la moitié ouest du cône de déjection du torrent de Peynin. La commune d'Aiguilles comprend également deux campings, l'un en

amont du village au lieu-dit le Gouret et l'autre à l'aval du cône du Peynin, sur une basse terrasse formée par les alluvions du Guil. Face à ce second camping, se trouve l'unique déchèterie du Queyras.



Photo 6. 5. : Vues sur les hameaux du Lombard et de Peynin.

Les principaux réseaux sont formés par la route départementale D 947 qui longe le Guil et la route de dérivation bâtie suite à la coupure de la D 947 par le glissement du Pas-de-l'Ours.

2. 4. Commune de Château-Ville-Vieille

La commune de Château-Ville-Vieille (CVV) couvre une superficie de 67 km². Elle regroupe les villages de Château-Queyras (altitude : 1385 m, Photo 6. 6.) et de Ville-Vieille (altitude : 1380 m, Photo 6. 6.) ainsi que les hameaux de Prat-haut (altitude : 1780 m, Photo 6. 7.), de Prat-bas (altitude : 1642 m, Photo 6. 7.), du Rouet (altitude : 1800 m, Photo 6. 8.), de Meyriès (altitude : 1688 m, Photo 6. 8.), de Souliers (altitude : 1820 m, Photo 6. 7.) et de Montbardon (altitude : 1503 m, Photo 9). La commune de CVV est bien boisée (38,37 km², soit 57,20 % de la surface communale). La ressource forestière a permis le développement d'une activité sylvicole, illustrée par les scieries de Ville-Vieille et Château-Queyras. Les terrains agricoles sont présents principalement dans le bassin-versant du Soulier et sur le pourtour des hameaux de Meyriès, du Rouet et de Montbardon. Tout comme sa voisine d'Aiguilles, la commune de CVV présente des activités, donc des enjeux, assez diversifiés : agro-pastoralisme, sylviculture, tourisme, commerce, administration publique, secours, etc.



Photo 6. 6. : Vues sur les villages de Château-Queyras (depuis le château) et de Ville-Vieille (photo aérienne).

Le village le plus en amont, celui de Ville-Vieille, se situe au confluent du Guil et de l'Aigue Blanche, dont il occupe une partie du cône de déjection (Photo 6. 6.). Dans le village, le bâti est ancien et les enjeux sont principalement liés à l'habitat individuel. On y trouve néanmoins une école, un hôtel,

un gîte d'étape, un snack-bar et l'un des deux garages du Queyras. Le centre économique du village se situe sur la rive opposée du Guil, en bordure du quartier dit de « la Casse ». Une zone commerciale et artisanale s'y trouve. Elle accueille l'office de tourisme du Queyras, la Maison de l'Artisanat et plusieurs boutiques de produits locaux. On y trouve également une menuiserie, une station essence et le second garage automobile du Queyras.

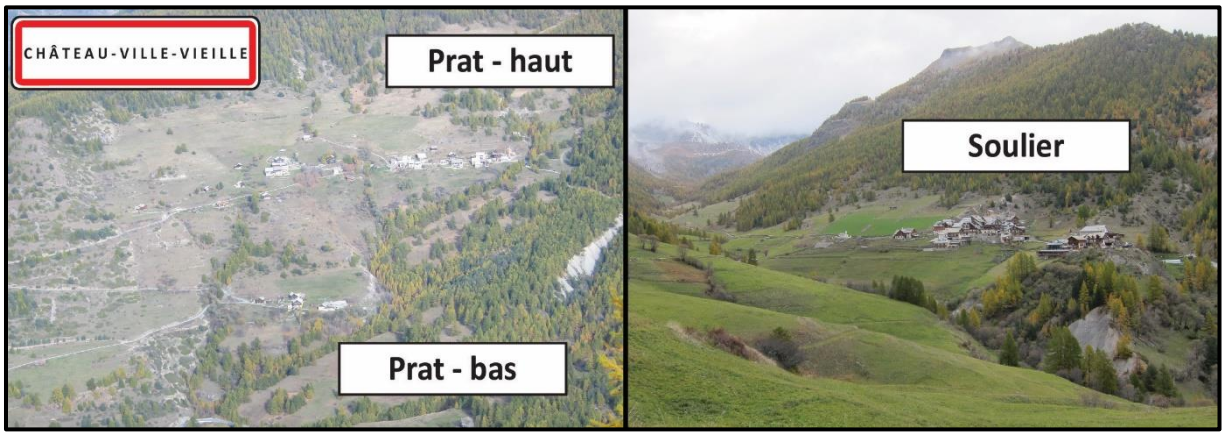


Photo 6. 7. : Vues sur les hameaux de Prat-haut, de Prat-bas et de Soulier.

En poursuivant vers l'aval en direction de Château-Queyras, plusieurs enjeux d'importance s'égrènent le long de D 947 : une banque, une fromagerie, une centrale téléphonique et une seconde menuiserie. Peu après, au lieu-dit « le Brasq », se trouve une autre zone artisanale et commerciale comportant un supermarché, une menuiserie, une agence de transport et un transformateur de puissance qui marque la fin de la ligne à haute-tension provenant de Guillestre. Les enjeux dans ce secteur sont donc considérables à l'échelle du Queyras.



Photo 6. 8. : Vue sur les hameaux de Meyriès et du Rouet.

En aval, se trouve le village de Château-Queyras (Photo 6. 6.). Le village accueille des enjeux importants : la mairie de la commune, une école, un camping municipal, un musée, un bureau de poste et enfin, la caserne de gendarmerie du Queyras. Le village est dominé par la citadelle de Fort-Queyras, bâtie sur un verrou glaciaire. Ce monument présente un intérêt patrimonial et touristique certain et marque l'entrée du Queyras historique. Si le village a initialement été bâti en position perchée par rapport au Guil, il tend peu à peu à grignoter la plaine alluviale (donc inondable) située au pied du château. Cette plaine comprend peu de bâti au regard de sa surface. S'y trouvent néanmoins quelques enjeux touristiques : un hôtel-restaurant, un snack-bar, le départ de la via-ferrata et les locaux d'une agence de sport d'eau vive.

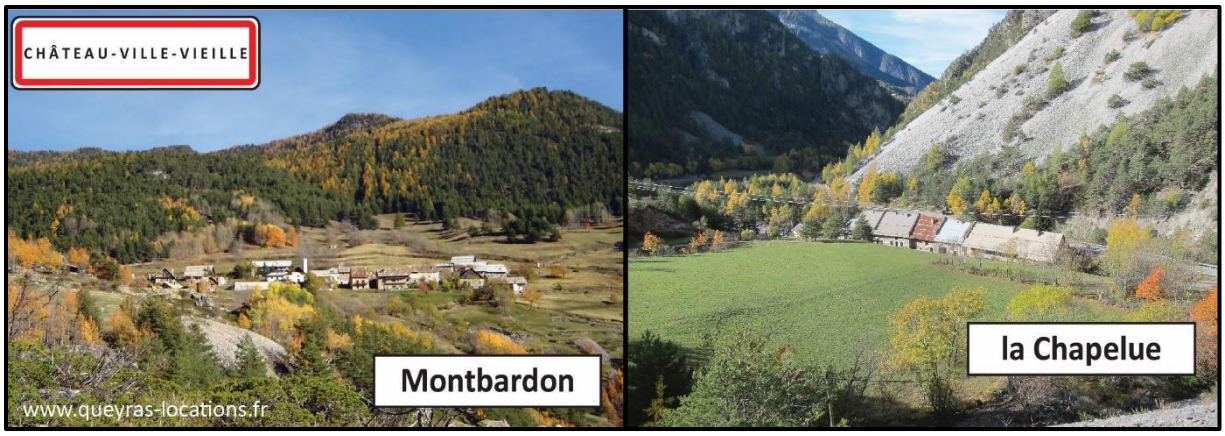


Photo 6. 9. : Vues sur les hameaux de Montbardon et de la Chapelue.

La commune compte plusieurs hameaux. Les hameaux de Prat-haut et Prat-bas, situés dans la vallée des Aigues, présentent des enjeux essentiellement liés à l'habitat (Photo 6. 7.). Le bâti, ancien, se compose d'anciennes fermes en pierre et bois de mélèze. Le seul enjeu commercial est représenté par une agence de trekking et de randonnées. Les hameaux de Meyriès et du Rouet sont situés sur le versant de rive droite du Guil, d'où ils surplombent les villages de Ville-Vieille et Château-Queyras (Photo 6. 8.). Ces deux hameaux ont avant tout une fonction agricole, même si Meyriès accueille un gîte. Le bâti y est ancien dans le style traditionnel du Queyras (pierre et bois). Le hameau de Soulier présente des fonctions agricoles et touristiques. Le bâti, la plupart du temps ancien, comprend une ferme et quatre lieux d'hébergement touristique (gîtes et maisons d'hôtes, Photo 6. 7.). Le hameau de Montbardon présente des fonctions analogues (Photo 6. 9.). Le bâti y est principalement ancien. Outre l'habitat, les principaux enjeux du hameau sont liés au tourisme et à la production agricole : un hôtel, une maison d'hôte, un restaurant, une ferme et une fromagerie artisanale. On accède au hameau de Montbardon par une route en épingle à cheveux qui démarre au niveau de l'ancien hameau de la Chapelue (Photo 6. 9.).

La commune de CVV dispose d'enjeux de réseaux très importants. Porte d'entrée du Queyras, elle est un carrefour important à l'échelle du bassin-versant du Guil. C'est sur son territoire que se situent les embranchements permettant de relier la vallée du Guil aux vallées des Aigues (D 5 en direction de Molines-en-Queyras et Saint-Véran, puis de l'Italie via le Col Agnelle) et de l'Izoard (D 902 en direction d'Arvieux, puis de Briançon via le col de l'Izoard). Par ailleurs, un tronçon de ligne à haute tension emprunte les gorges du Guil jusqu'au lieu-dit « le Brasq », en amont du village de Château-Queyras. Cette ligne est essentielle car elle alimente tout le Queyras en électricité.

2. 5. Commune de Molines-en-Queyras

La commune de Molines-en-Queyras (53,62 km²) occupe la vallée de l'Aigue Agnelle et une partie de celle de l'Aigue Blanche. Elle regroupe huit hameaux : Molines (« le bourg » ; altitude : 1751 m, Photo 6. 10.), la Rua (altitude : 1706 m, Photo 6. 10.), Gaudissard (altitude : 1820 m, Photo 6. 10.), Pierre-Grosse (altitude : 1914 m, Photo 6. 11.), Château-Renard (altitude : 1971 m, Photo 6. 11.), le Coin (altitude : 2018 m, Photo 6. 11.), Fontgillarde (altitude : 2000 m, Photo 6. 12.) et le Clôt-La-Chalpe (altitude : 1732 m, Photo 6. 12.). D'aspect, c'est la commune la plus rurale du Queyras. Les prairies et les alpages occupent près de 46 % de la surface communale, la forêt couvre environ 20 %. Cette dernière, moins présente que dans la vallée du Guil, occupe principalement les versants ubac où les pentes sont les plus raides (et donc les plus difficiles à déboiser). Partagé avec la commune de Saint-Véran, le domaine skiable de la commune est le plus vaste du bassin-versant du Guil (1100 m de dénivelé et 100 ha de pistes ; www.queyras-montagne.com). Les principaux enjeux

biophysiques de la commune sont liés à l'économie du tourisme (hôtellerie-restauration, artisanat, économie de la neige, etc.) et, dans une moindre mesure, aux activités agricoles.

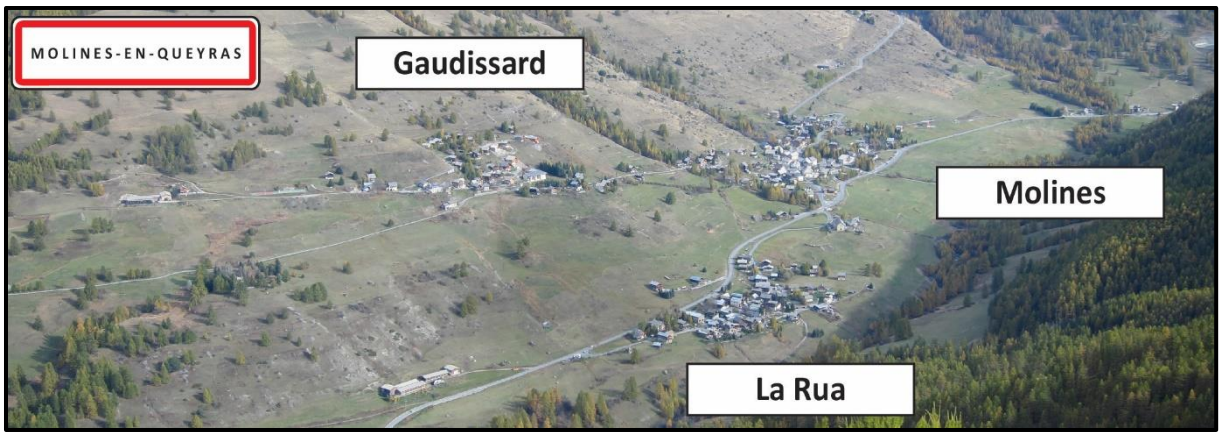


Photo 10 : Vue sur les hameaux de La Rua, Gaudissard et Moline.

Le bâti de Molines-en-Queyras est assez ancien. La seule exception concerne le hameau de Château-Renard bâti *ex-nihilo* dans la décennie 1970-1980. La commune comporte des édifices remarquables dont plusieurs maisons traditionnelles des XVI^{e} s. et XVIII^{e} s. La municipalité, tout comme les artisans et commerçants, a su s'approprier ce patrimoine. La commune comprend non moins de 14 hôtels, gîtes et maisons d'hôtes, (2 à la Rua, 4 à Molines, 1 à Gaudissard, 3 au Clôt-La-Chalpe, 2 à Pierre-Grosse et 3 au Coin). S'y ajoutent le refuge du col Agnelle, le camping de Pierre-Grosse et de nombreuses locations dans l'ensemble des hameaux (notamment Château-Renard). Les enjeux commerciaux et de services (école, mairie, office du tourisme, etc.) sont principalement concentrés sur le hameau de Molines (Photo 6. 10.). Le hameau du Clôt-La-Chalpe accueille pour sa part l'essentiel des activités liées à l'économie touristique hivernale (Photo 6. 12.). On dénombre par ailleurs trois fermes sur le territoire de la commune, en amont de Gaudissard, en amont de la Rua et entre Molines et Pierre-Grosse. Outre les enjeux liés au tourisme et à l'agriculture, la commune dispose d'une station d'épuration et d'une microcentrale hydro-électrique en amont de la Rua.



Photo 6. 11. : Vue sur les hameaux de Pierre-Grosse Château-Renard et Le Coin.

La commune est traversée par deux axes principaux : les routes départementales D 5 et D 205 qui relient respectivement Ville-Vieille à Saint-Véran, et Molines à l'Italie (via le Col Agnelle, 2744 m). La commune comprend également deux axes secondaires. Le premier relie les hameaux de Prat-haut et Prat-bas à Gaudissard, puis Molines. Le second relie Pierre-Grosse à Saint-Véran. La commune compte aussi plusieurs remontées mécaniques : téléski de la Troïka, téléski des Torres, téléski du Moulin et les télésièges de la Burge et de Beauregard 1 et 2.



Photo 6. 12. : Vues sur les hameaux du Clôt-La-Chalpe et de Fongillarde.

2. 6. Commune de Saint-Véran

La commune de Saint-Véran (44,75 km^2), se situe dans la vallée de l'Aigue Blanche. Elle est composée du village de Saint-Véran (Photo 6. 13.) et des hameaux du Raux (altitude : 1915 m, Photo 6. 13.) et de La Chalp (altitude : 1764 m, Photo 6. 13.). Le centre du village de Saint-Véran (église, école et mairie) est situé à 2042 m d'altitude ce qui en fait *de facto* la « plus haute commune d'Europe ». En matière d'occupation du sol, comme du bâti, la commune présente des similitudes avec celle, voisine, de Molines-en-Queyras. Les paysages de la vallée de l'Aigue Blanche ont un aspect très rural, avec de nombreux prés de fauche et prairies sur les adrets (44,22 %) et des forêts sur les ubacs (13,27 %).



Photo 6. 13. : Vues sur le village de Saint-Véran et sur les hameaux du Raux et de la Chalp.

Le patrimoine ancien de la commune est très riche : église et temple protestant, chapelles, maisons traditionnelles des XVIII^e et XIX^e s., ancienne mine de cuivre et carrière de marbre, écomusées (musée du Soum, « la vieille maison traditionnelle », expositions permanentes sur la mine de cuivre), etc. Ce bâti exceptionnel a valu à la commune d'entrer au très prestigieux club des « Plus Beaux Villages de France ». Forte de ces atouts, la commune s'est très largement tournée vers l'économie du tourisme. Cette spécialisation s'est vue renforcée par des infrastructures modernes telles qu'un observatoire astronomique au Pic de Château-Renard, la Maison du soleil et des équipements de sports d'hiver. À cela s'ajoute une vingtaine de commerces dont deux ateliers d'artisans et sept restaurants. La commune (le Raux et La Chalpcompris) dispose de nombreux hébergements touristiques : un refuge d'altitude (refuge de la Blanche), trois hôtels, huit gîtes et chambres d'hôtes et non moins de quatre-vingt meublés (www.saintveran.com)!

Deux routes seulement desservent la commune de Saint-Véran : la route départementale D 5, reliant le village de Saint-Véran à celui de Ville-Vieille via Molines en Queyras, et la route qui relie

Saint-Véran à Pierre-Grosse via le Bois des Amoureux. La commune dispose toutefois de nombreux enjeux de réseau liés à l'économie touristique hivernale : remontées mécaniques (téléskis Bouticari 1, 2 et 3, téléski de Saint-Marie-Madeleine, Téléski du Grand-Serre, télésiège des Cassettes ainsi que les téléskis de Beauregard 1 et 2 qu'elle partage avec Molines-en-Queyras), pistes de ski alpin, pistes de ski de fond, de ski nordique et de raquettes. Durant la période estivale, la commune peut également compter sur de nombreux chemins de randonnées ; dont des tronçons du GR 58, « tour du Queyras ».

2. 7. Analyse du territoire au travers de ces enjeux

La description des enjeux biophysiques permet de dégager les traits caractéristiques du territoire. Concernant le bâti tout d'abord. Ce dernier est concentré dans les villages et est composé pour moitié d'éléments anciens (antérieurs à 1957) construits avec des matériaux traditionnels (pierre et / ou bois de mélèze), et pour moitié d'éléments plus récents. Ces derniers reprennent les canons de l'esthétique locale mais sont édifiés avec des matériaux actuels (structure en béton et parpaings et habillage en bois). Le bâti ancien constitue le noyau des villages et des hameaux tandis que le bâti récent occupe leurs périphéries. Les bâtiments anciens disposent d'un fort attrait patrimonial, ce qui en fait des lieux privilégiés pour l'implantation des commerces, hôtels et restaurants. La plupart des bâtiments (anciens comme récents) sont des maisons individuelles ou des immeubles bas (de 2 à 3 étages). Les quelques édifices plus grands sont voués aux logements touristiques (hôtels et appartements de location).

En dépit d'une fermeture progressive des paysages, l'occupation du sol demeure assez rurale. Les prairies (38,39 %) et les prés de fauche (3,08 %) occupent les adrets tandis que le couvert forestier (29,06 %) est souvent relégué aux ubacs, moins accessibles. Les espaces urbains sont restreints aux lieux les moins pentus (replats topographiques, cônes et fonds de vallée). Ils ne représentent que 0,64 % de la surface du Bassin. Les différents usages du sol sont avant tout liés au tourisme (domaines skiables, équipements sportifs, parkings et campings) et aux pratiques agro-pastorales.

Les enjeux de réseaux sont peu nombreux dans le Queyras, ce qui leur confère une forte importance. L'enjeu le plus important est la ligne à haute tension traversant une partie de la commune de Château-Ville-Vieille et qui dessert l'ensemble du Queyras en électricité. Vient ensuite, la route départementale D 947, qui constitue la colonne vertébrale du territoire. Elle permet de relier les communes de la vallée du Guil à l'extérieur du Queyras. Les autres routes du territoire y sont d'ailleurs raccordées telle la D 5 qui relie Ville-Vieille à Saint-Véran ou la D 441 qui relie Abriès au Roux. La coupure de l'un de ces réseaux entraine l'isolement de tout, ou partie du territoire.

Sur chaque commune, le nombre d'enjeux physiques associés au tourisme est également important. Toutes les communes ont des équipements et des commerces liés aux loisirs estivaux et hivernaux. Les villages et hameaux comptabilisent tous une importante capacité d'accueil (hôtels, gîtes, campings, locations, etc.). Même si ce n'est pas leur fonction première, de nombreux enjeux contribuent en outre indirectement à l'économie du tourisme. Le bâti ancien, les paysages bucoliques et les milieux naturels participent à l'attrait et au rayonnement extérieur du territoire. Les chemins et sentiers (notamment ceux menant aux anciens hameaux et alpages) constituent, été comme hiver, des parcours de randonnées prisés. En stimulant la demande en produit locaux et en hébergements, le tourisme a favorisé l'émergence de filières courtes et d'un artisanat local. L'agropastoralisme, la sylviculture et le BTP (et donc les enjeux physiques qui y sont reliés) prennent donc également part à l'économie touristique.

Si toutes les communes ont des fonctions touristiques, on observe divers degrés de spécialisation selon les villages ou les vallées concernés. Les communes ayant la fonction touristique la plus marquée sont celles de Saint-Véran et de Molines-en-Queyras. Les vallées des Aigues ont subi un processus de

muséification, de sorte que la plupart des enjeux physiques ont désormais un lien direct avec le tourisme. La fonction touristique des vallées des Aigues est renforcée par la présence de la station de sport d'hiver de Molines / Saint Véran. Dans la vallée du Guil, la chose est plus nuancée. En amont, la commune de Ristolas mise d'avantage sur son patrimoine naturel. Les enjeux les plus importants sont plutôt liés aux réseaux : routes, chemins de randonnées, parcours de ski de fond et ski nordique, gîtes d'étapes, etc. La commune d'Abriès, avec son important patrimoine architectural et sa station de ski alpin, se rapproche davantage des communes de Molines et de Saint-Véran. Les communes d'Aiguilles et de Château-Ville-Vieille ont des fonctions plus contrastées. L'offre touristique est plus diversifiée et présente un aspect plus familial : cascade de glace, patinoire, piste de luge, piscine, minigolf, terrain VTT à Aiguilles ; Château, musée, sports d'eau vive, via-ferrata, et parcours de VTT à Château-Ville-Vieille. Au regard des autres communes du Queyras, Aiguilles et Château-Ville-Vieille ont aussi des fonctions artisanales et de services publics plus développés.

3. Résultats cartographiques et interprétations

Les résultats cartographiques se présentent sous la forme de douze cartes en format raster (1 m de résolution). Considérant l'emprise des cartes produites (366,66 km²), seuls des agrandissements centrés sur les villages et les hameaux des six communes du Queyras sont présentés ici (Fig. 6. 4. à 6. 26.). Le choix a été fait de décrire et de commenter les cartes d'abord par processus (crue torrentielle, glissement de terrain et avalanche), puis par commune, en observant une logique amont-aval. Les indices calculés concernent l'ensemble des enjeux recensés dans le Queyras sans tenir compte (pour l'instant) des emprises, réelles ou modélisées, des aléas pris en comptes.

3. 1. Les conséquences potentielles liées aux crues torrentielles

Les conséquences potentielles liées aux crues torrentielles sont illustrées par les figures 6. 4. à 6. 11. La première cartographie abordée est celle des conséquences corporelles (CC, Fig. 6. 4., A à 6. 11., A). Ensuite, sont décrites dans l'ordre, la cartographie des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF, Fig. 6. 4., B à 6. 11., B), la cartographie des conséquences socio-économiques (CSE, Fig. 4, C à 11, C), et la cartographie des conséquences potentielles totales (CT, Fig. 6. 4., D à 6. 11., D).

3. 1. 1. Conséquences corporelles (CC)

Les valeurs de l'indice des conséquences corporelles (CC) calculées pour le bâti sont comprises entre 3,68 et 13,20 (Fig. 6. 4., A à 6. 11., A). Les valeurs élevées indiquent un niveau de CC élevé. Les valeurs de CC les plus fortes sont obtenues pour les enjeux d'habitat et les hébergements touristiques. Les logements collectifs ont des scores plus élevés que les logements individuels du fait des variables EaR-F (Tab. 6. 2., nombre d'étages occupés) et Ear-G (Tab. 6. 2., ouvertures par façades exposées aux risques). Le bâti « sensible » présente lui aussi des valeurs de CC élevées du fait des variables EaR-D (Tab. 6. 2., fonction du bâti) et EaR-E (Tab. 6. 2., type de bâti). Les enjeux situés à proximité du Guil ou de ses principaux affluents ont un score de CC supérieur aux autres enjeux car ils sont, le plus souvent, compris dans une enveloppe de crue passée (EaR-I, Tab. 6. 2.). De manière générale, le bâti ancien a des scores de CC moins élevés que le bâti récent du fait des pondérations appliquées aux variables EaR-A (Tab. 6. 2., matériaux de construction) et EaR-C (Tab. 6. 2., âge du bâti). Les valeurs de CC les moins élevées sont observées pour le bâti non habité (hangars, entrepôts, cabanes, garages, églises, etc. ; Tab. 6. 2.). Ces constructions ont en effet peu de chance d'abriter des individus en cas d'événement catastrophique.

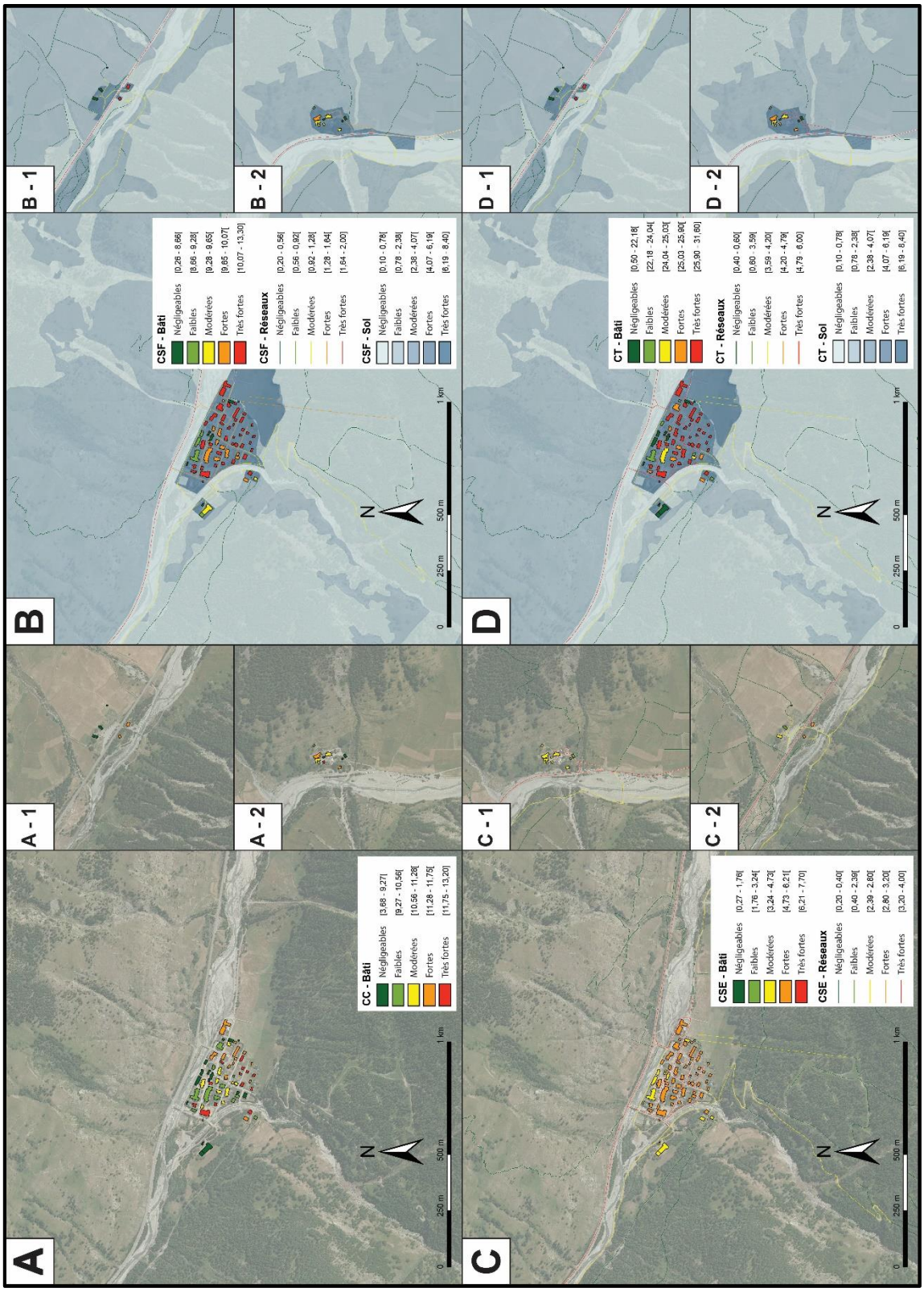


Figure 6. 4. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Ristolas pour l'aléa crue torrentielle : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Ristolas, A - 1 – pour le hameau de La Monta, A - 2 – pour le hameau de l'Échalp ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Ristolas, B - 1 – pour le hameau de La Monta, B - 2 – pour le hameau de l'Échalp ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Ristolas, C - 1 – pour le hameau de La Monta, C - 2 – pour le hameau de l'Échalp ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Ristolas, D - 1 – pour le hameau de La Monta, D - 2 – pour le hameau de l'Échalp.

Sur la commune de Ristolas, on observe une dichotomie entre l'amont et l'aval du village de Ristolas (Fig. 6. 4., A). L'amont affiche des niveaux de CC plutôt élevés (classes de conséquences « fortes » et « très fortes ») tandis que l'aval présente des niveaux de CC plus faibles (classes de conséquences « négligeables » à « modérées »). Les hameaux de l'Échalp et de La Monta ont des scores de CC tout aussi contrastés (Fig. 6. 4., A-1 et A-2). La moitié de leur bâti est classée avec des CC « négligeables » et l'autre moitié avec des CC « modérées » à « très fortes ».

Sur la commune d'Abriès (Fig. 6. 5., A), on observe d'abord une opposition entre les hameaux du Bouchet (Le Roux et Valpréveyre) et le village d'Abriès (hameau de La Garcine compris). Le Roux et Valpréveyre ont une majorité de leur bâti répartie dans les classes de conséquences « négligeables » à « modérées » (Fig. 6. 5., A-1 et A-2), tandis qu'Abriès et La Garcine présentent surtout des bâtiments classés avec des CC « fortes » et « très fortes » (Fig. 6. 5., A). Au sein même du village d'Abriès, on observe une différence entre les quartiers récents de l'Hoche et de La Garcine (classe de conséquences « fortes » et « très fortes »), le bourg ancien (classe de conséquences « négligeables » à « modérées »), et la plaine d'Abriès (classe de conséquences « négligeables » et « faibles », Fig. 6. 5., A).

La commune d'Aiguilles a une majorité de son bâti dans les classes de CC « négligeables » et « faibles » (Fig. 6. 6., A). Mais là encore, on observe une nette différence entre le bourg ancien (classes de conséquences « négligeables » à « modérées ») et les quartiers plus récents de la Condamine et de La Chalp (classe de conséquences « fortes » et « très fortes »). Le bâti situé à l'apex du cône du Peynin a un degré de conséquences potentielles élevées (classe de conséquences « très fortes ») et le bâti, situé sur la terrasse de la crue de 1957, a principalement des CC négligeables et faibles. Les bâtiments d'habitat (ici des résidences secondaires) des hameaux de Peynin et du Lombard ont un niveau de CC relativement élevé (classes de conséquences « modérées » à « très fortes », Fig. 6. 6., A-1 et A-2).

Sur la commune de Château-Ville-Vieille, la logique est différente. Dans les villages de Ville-Vieille (Fig. 6. 7., A) et de Château-Queyras (Fig. 6. 8., A), les bâtiments qui affichent les CC les plus fortes sont situés en bordure de cours d'eau, dans l'emprise de la crue de 1957 (classes de conséquences « modérées » à « très fortes »). Le reste du bâti présente des CC plus faibles. Cette opposition est plus marquée dans le village de Château-Queyras. Les bâtiments du vieux bourg, situé en hauteur, sont principalement répartis dans les classes de conséquences « négligeables » et « faibles » (Fig. 6. 8., A). À l'inverse, le bâti situé au pied du château est plutôt compris dans les classes de conséquences « fortes » et « très fortes ». Les hameaux relevant de la commune (Fig. 6. 7. et 6. 8., A, A-1 et A-2) affichent des résultats plus homogènes. Les CC y sont principalement modérées à faibles.

Sur la commune de Molines-en-Queyras, l'opposition se fait plutôt entre bâti ancien et bâti récent (Fig. 6. 9., A et A-1, et 6. 10., A). Les hameaux dont le bâti est le plus ancien (La Rua, Molines, Le Coin, Fongillarde, et le centre de Pierre-Grosse) affichent des CC potentielles « négligeables » à « modérées ». Les hameaux qui ont un bâti plus récent (Gaudissard, le Clôt-La-Chalpe, Château-Renard et l'amont de Pierre-Grosse), ont des scores de CC plus élevés (classes de conséquences « fortes » et « très fortes »).

Sur la commune de Saint Véran, les CC potentielles sont relativement homogènes. Le village de Saint-Véran comme le hameau de La Chalp (Fig. 6. 11., A et A-1) présentent une majorité de bâtiments dans les classes de conséquences « modérées » et « fortes ». Le hameau du Raux, situé en contrebas du village, a des conséquences corporelles potentielles moins élevées, s'échelonnant de « négligeables à faibles » (Fig. 6. 11., A).

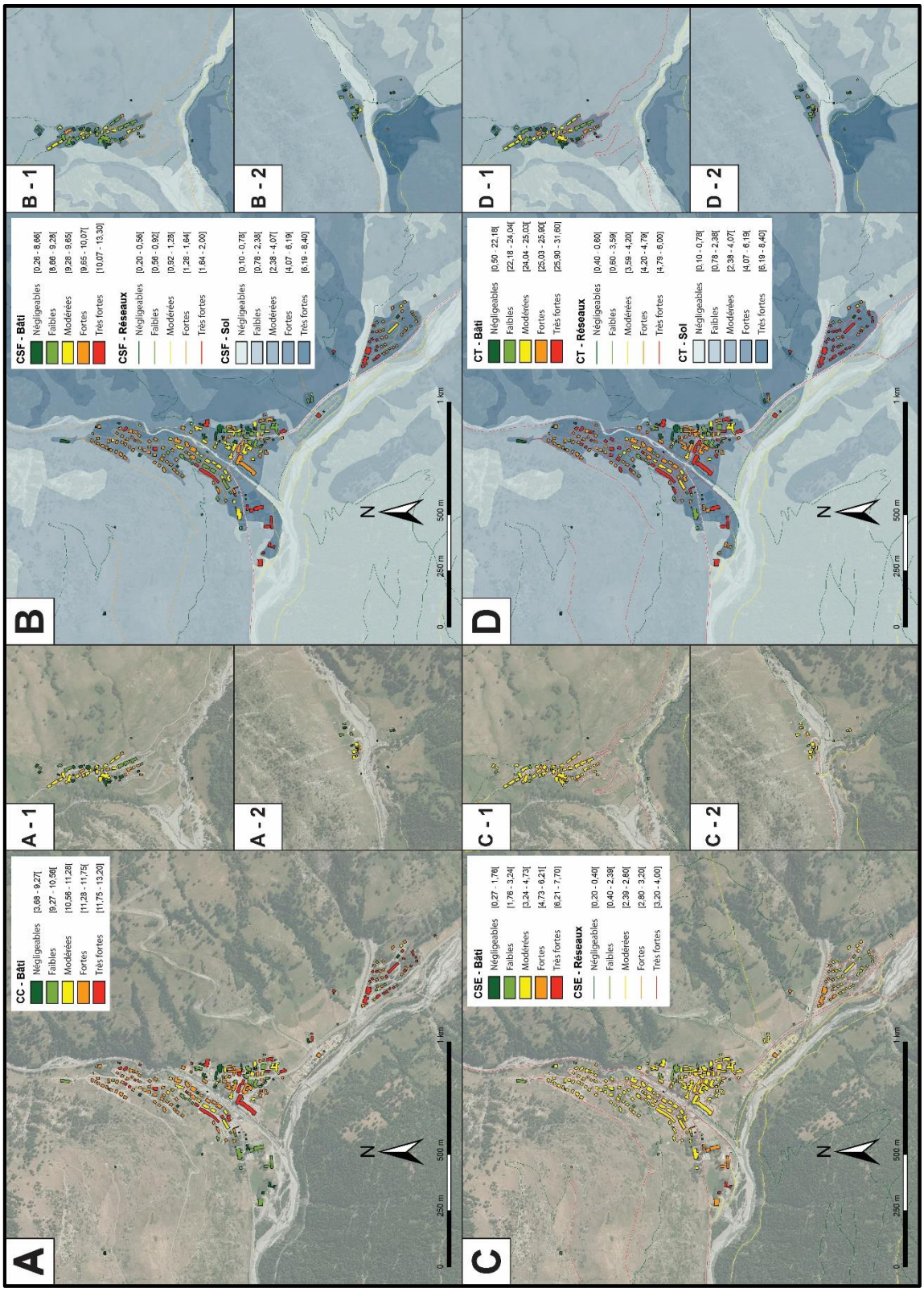


Figure 6. 5. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune d'Abriès pour l'aléa crue torrentielle : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village d'Abriès, A - 1 – pour le hameau du Roux, A - 2 – pour le hameau de Valpréveyre ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village d'Abriès, B - 1 – pour le hameau du Roux, B - 2 – pour le hameau de Valpréveyre ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village d'Abriès, C - 1 – pour le hameau du Roux, C - 2 – pour le hameau de Valpréveyre ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village d'Abriès, D - 1 – pour le hameau du Roux, D - 2 – pour le hameau de Valpréveyre.

Les résultats à l'échelle du Queyras montrent une répartition inégale des conséquences corporelles. Globalement, les CC potentielles liées aux crues sont plus importantes dans la vallée du Guil que dans les vallées adjacentes. Plusieurs secteurs sont particulièrement affectés : l'amont du village de Ristolas, le hameau de La Garcine, la quasi-totalité du village d'Abriès, les abords du torrent de l'Aigue Blanche à Ville-Vieille et la plaine de Château-Queyras. Dans la vallée des Aigues, les CC fortes se concentrent sur trois secteurs bien déterminés : le hameau de Gaudissard, le hameau du Clôt-La-Chalpe et le hameau de Château-Renard. Notons cependant qu'une partie des enjeux les plus vulnérables en cas de crue sont trop éloignés des principaux cours d'eau pour être effectivement menacés par une crue.

3. 1. 2. Conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF)

L'indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) varie entre 0,26 et 13,30 pour le bâti, 0,20 et 2 pour les réseaux et 0,10 et 8,40 pour l'occupation du sol (Fig. 6. 4., B à 6. 11., B). Pour chacune des trois catégories d'enjeux, des valeurs d'indice élevées indiquent un niveau de CSF potentielles élevé. Les variables qui ont le plus de poids dans l'indice des CSF sont les EaR-L (Tab. 6. 2., usages du sol), EaR-D (Tab. 6. 2., fonction du bâti) et EaR-I (Tab. 6. 2., compris dans une enveloppe de crue passée). Ce faisant, les enjeux de bâti ayant des scores de CSF élevés (classe de conséquence « très fortes ») sont, soit associés à des activités ou fonctions importantes pour le territoire (tourisme, éducation, secours, etc.), soit compris dans une emprise de crue passée. Pour cet indice, les variables EaR-A, B et C (Tab. 6. 2., respectivement : matériaux de construction, âge du bâti et état du bâti) jouent le rôle de variables d'ajustement. De manière générale, le bâti ancien, en bon état et non compris dans une emprise de crue passée s'est vu attribuer des scores de CSF moins élevés (classes de conséquences « très faibles » à « modérées ») que son pendant plus récent (classes de conséquences « modérées » à « fortes »). Les enjeux surfaciques qui ont les scores de CSF les plus élevés (classes de conséquences « fortes » et « très fortes ») sont les espaces urbanisés et / ou dédiés aux activités touristiques : domaines skiables, espaces récréatifs (espaces ludiques, terrains de sport, piscines, etc.), campings et parkings. Viennent ensuite les surfaces à vocation agro-pastorale (classe de conséquence « modérées »). En matière de réseaux, les scores de CSF les plus importants (classe de conséquences « très fortes ») sont obtenus pour la ligne à haute tension de CVV et la route départementale D 947. Les routes secondaires importantes (D 5, D 205, D 441) et les remontées mécaniques ont des scores de CSF qui les situent dans la classe de conséquences « fortes ». Après avoir décrit la classification des enjeux selon leurs caractéristiques, il convient désormais d'expliciter leur distribution spatiale au sein des six communes du Queyras.

Sur la commune de Ristolas, le bâti affiche des CSF potentielles élevées (Fig. 6. 4., B). La plupart des bâtiments du village de Ristolas sont répartis dans les classes de conséquences « fortes » et « très fortes » du fait de la variable EaR-I (Tab. 6. 2.). L'intégralité du village est, de fait, comprise dans l'emprise de la crue de juin 1957. Les scores de CSF sont moins importants à l'aval du village où les fonctions du bâti sont davantage agricoles que touristiques. À La Monta (Fig. 6. 4., B-1), le gîte d'étape et l'église sont dans la classe de conséquences « négligeables » tandis que les deux maisons construites à proximité du Guil sont dans la classe de conséquences « très fortes ». Le hameau de l'Échalp, construit en hauteur par rapport au Guil, présente des CSF modérées (Fig. 6. 4., B-2). En matière d'occupation du sol, les espaces urbanisés, l'espace ludique de Ristolas et les parkings de l'Échalp et de la Roche Écroulée ont des CSF potentielles fortes (Fig. 6. 4., B). Le camping de Ristolas est, lui, classé avec des CSF « modérées » (Fig. 6. 4., B-1). Pour les réseaux, c'est naturellement la D 947 qui apparaît avec le plus haut niveau de CSF (classe de conséquences « très fortes »). Viennent ensuite les deux remontées mécaniques du village de Ristolas (classe de conséquences « fortes » ; Fig. 6. 4., B).

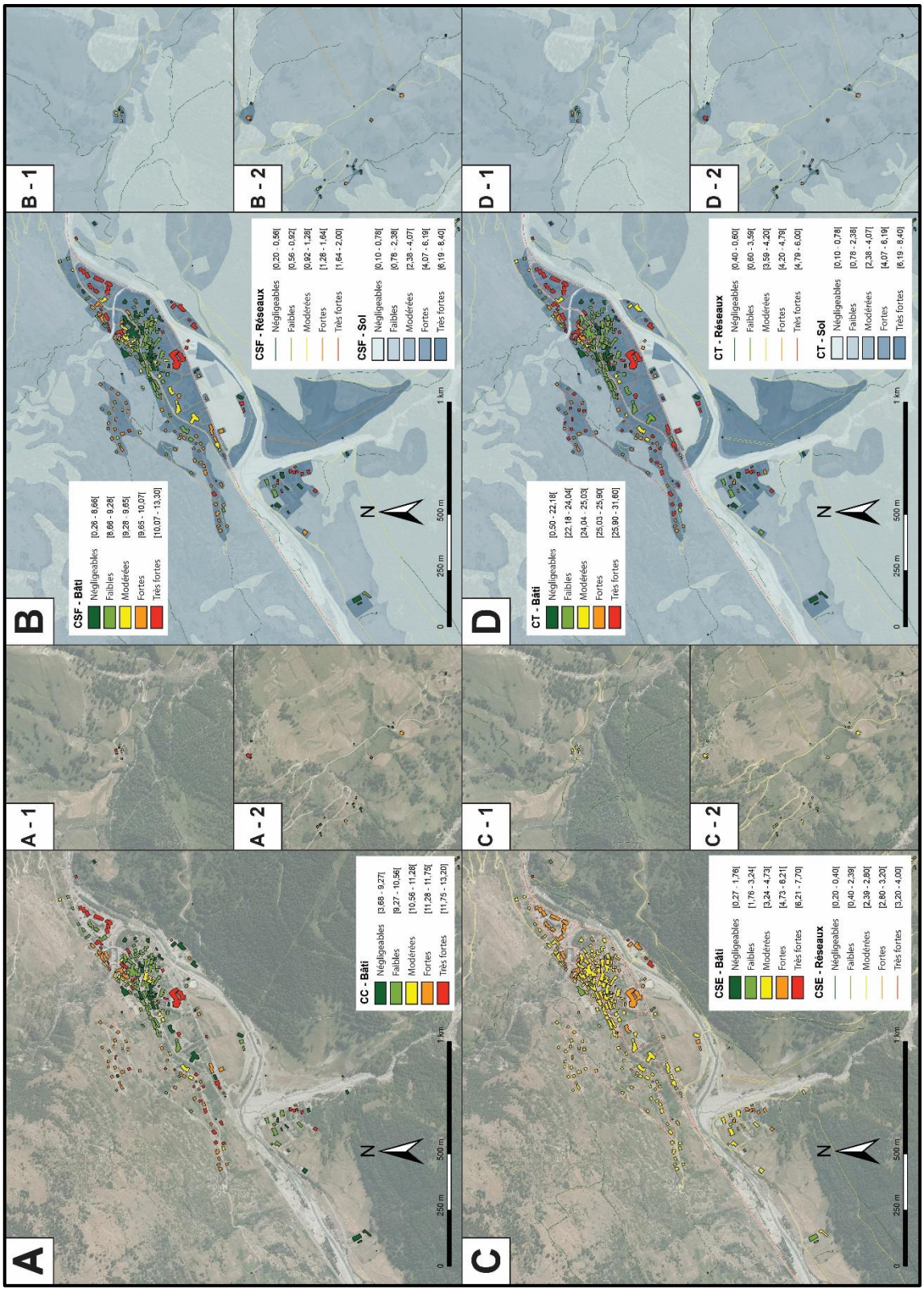


Figure 6. 6. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune d'Aiguilles pour l'aléa crue torrentielle : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village d'Aiguilles, A - 1 – pour le hameau du Lombard, A - 2 – pour le hameau du Peynin ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village d'Aiguilles, B - 1 – pour le hameau du Lombard, B - 2 – pour le hameau du Peynin ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village d'Aiguilles, C - 1 – pour le hameau du Lombard, C - 2 – pour le hameau du Peynin ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village d'Aiguilles, D - 1 – pour le hameau du Lombard, D - 2 – pour le hameau du Peynin.

À l'échelle de la commune d'Abriès, plusieurs ensembles se distinguent (Fig. 6. 5., B). Pour ce qui est du bâti, le bourg ancien affiche surtout des CSF faibles et modérées. Dans le quartier récent de l'Hoche, les CSF sont classées comme fortes et dans la partie basse du village, elles sont très fortes. Le hameau de La Garcine affiche des CSF fortes, qui deviennent très fortes le long du torrent de la Garcine (Fig. 6. 5., B). Les hameaux du Bouchet ont des CSF moins importantes (classes de conséquences « négligeables » à « modérées », Fig. 6. 5., B-1 et B-2). En plus des espaces urbanisés, les enjeux de surface qui ressortent de la classification sont le camping de Valpréveyre (Fig. 6. 5., B-2) et le domaine skiable d'Abriès (CSF fortes). Le camping d'Abriès affiche des CSF modérées (Fig. 6. 5., B). Pour les réseaux, la D 947 est dans la classe de conséquences « très fortes » tandis que la D 441 est dans la classe de conséquences « fortes ». Les remontées mécaniques ainsi que les routes qui mènent à l'antenne relais d'Abriès et au sommet des pistes ont également des CSF fortes (Fig. 6. 5., B).

Dans le village d'Aiguilles, le bourg ancien affiche des CFS négligeables à modérées (Fig. 6. 6., B). Le bâti récent, construit à flanc de versant, présente des CSF fortes. La partie basse du village (plaine des Ribes et zone artisanale) a des CSF fortes et très fortes. Le quartier de la Chalp, à l'amont du village présente aussi des CSF fortes et très fortes. Là encore il faut y voir l'influence de la variable EaR-I (Tab. 6. 2). Dans la zone artisanale du Peynin, on distingue deux ensembles (Fig. 6. 6., B) : le bâti construit sur la partie basale du cône a des CSF négligeables et faibles et celui construit plus proche de l'apex a des CSF très fortes. Cette différence est liée tant à la nature des matériaux employés lors de leur construction (structure métallique *vs* béton) que des fonctions du bâti (hangars *vs.* ateliers). Dans le hameau du Lombard (Fig. 6. 6., B-1), les CSF sont modérées et dans le hameau du Peynin, elles sont fortes, du moins pour le bâti encore fonctionnel (hors ruine et bâti désaffecté, Fig. 6. 6., B-2). En matière d'occupation du sol, les enjeux qui ont les CSF les plus fortes sont situés sur le cône du Peynin et la terrasse torrentielle de juin 1957 (Fig. 6. 6., B) : l'espace ludique d'Aiguilles, la zone artisanale du Peynin et le camping GCU. La déchèterie d'Aiguilles, située sur le talus de la D 947, affiche des CSF fortes et le camping municipal du Gouret des CSF modérées. Pour les réseaux, la route D 947 a des CSF très fortes et les routes du Lombard et du Peynin des CSF fortes.

Sur la commune de Château-Ville-Vieille, le bâti situé en fond de vallée à des CSF fortes et très fortes (Fig. 6. 7. et 6. 8., B). Les constructions plus en hauteurs ont des CSF faibles à modérées. À Ville-Vieille (Fig. 6. 7., B), le bâti compris dans l'emprise de la crue de 1957 a des CSF très fortes. Il en va de même du bâti situé entre Ville-Vieille et Château-Queyras. À Château-Queyras (Fig. 6. 8., B), les CSF sont fortes dans la plaine et faibles à proximité de la citadelle. Dans l'ensemble, les hameaux rattachés à la commune affichent des CSF modérées, voire faibles (Fig. 6. 7. et 6. 8., B-1 et B-2). En dehors des espaces urbanisés, la commune ne dispose pas d'enjeux surfaciques dans les classes de conséquences « fortes » et « très fortes » (le camping de Château-Queyras étant dans la classe de conséquences « modérées »). En revanche, la commune dispose de nombreux enjeux de réseaux importants. La D 947 est dans la classe de conséquences « très fortes » de même que la ligne à haute tension (Fig. 7, B). Les routes qui permettent d'accéder à la vallée des Aigues, à Meyriès, à Soulier, aux Prats, à Montbardon et au sommet du Bûcher (où se trouve une antenne relais), ont des CSF fortes.

Pour la commune de Molines-en-Queyras, les hameaux qui ont le bâti le plus ancien (la Rua, le bourg de Molines, le centre de Pierre-Grosse, le Coin et Fongillarde) ont principalement des CSF faibles et modérées (Fig. 6. 9., B et 6. 10., B). À l'inverse, les hameaux ayant surtout du bâti récent (Clôt-La-Chalpe, Château-Renard, Gaudissart, amont de Pierre-Grosse) ont des CSF fortes et très fortes (Fig. 6. 9., B, B-1 et 6. 10., B). Les enjeux d'occupation du sol montrent des CSF très fortes au Clôt-La-Chalpe et fortes sur le reste du domaine skiable de la commune (Fig. 6. 9., B et B-1). Le camping de Pierre-Grosse a des CSF modérées, à l'image des campings des communes de la vallée du Guil (Fig. 6. 10, B).

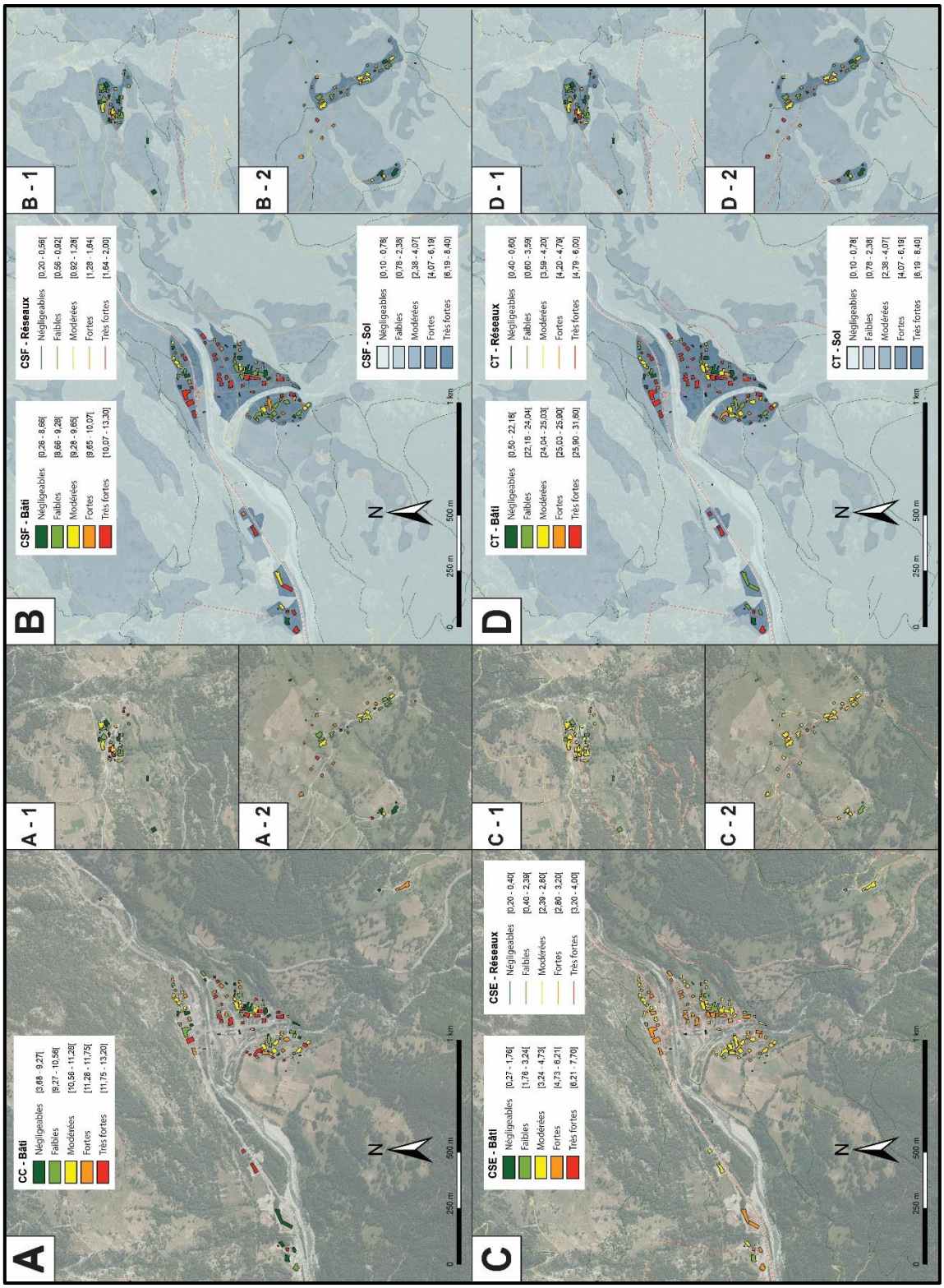


Figure 6. 7. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Château-Ville-Vieille pour l'aléa crue torrentielle (secteur de Ville-Vieille) : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Ville-Vieille, A - 1 – pour le hameau des Meyries, A - 2 – pour les hameaux de Prat-Hauts et Prat-Bas ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Ville-Vieille, B - 1 – pour le hameau des Meyries, B - 2 – pour les hameaux de Prat-Hauts et Prat-Bas ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Ville-Vieille, C - 1 – pour le hameau des Meyries, C - 2 – pour les hameaux de Prat-Hauts et Prat-Bas ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Ville-Vieille, D - 1 – pour le hameau des Meyries, D - 2 – pour les hameaux de Prat-Hauts et Prat-Bas.

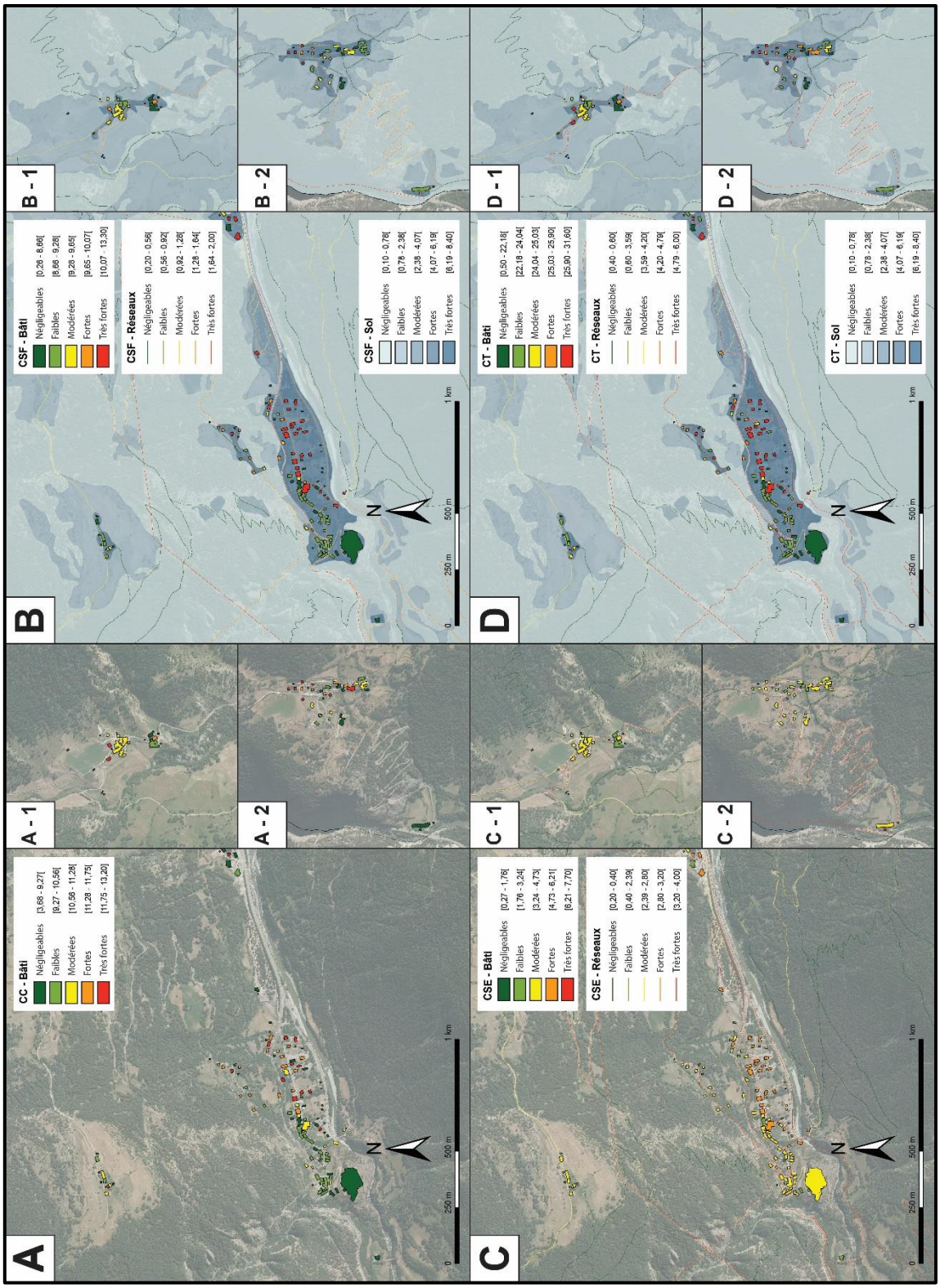


Figure 6. 8. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Château-Ville-Vieille pour l'aléa crue torrentielle (secteur de Château-Queyras) : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Château-Queyras, A - 1 – pour le hameau de Soulier, A - 2 – pour le hameau de Montbardon ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Château-Queyras, B - 1 – pour le hameau de Soulier, B - 2 – pour le hameau de Montbardon ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Château-Queyras, C - 1 – pour le hameau de Soulier, C - 2 – pour le hameau de Montbardon ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Château-Queyras, D - 1 – pour le hameau de Soulier, D - 2 – pour le hameau de Montbardon.

Les réseaux qui affichent de fortes CSF sont les routes D 5 et D205 ainsi que les voies secondaires qui relient Pierre-Grosse à Saint-Véran et les Prats à Gaudissart. Les remontées mécaniques présentent également des CSF fortes (Fig. 6. 9., B, B-1 et 6. 10., B).

Sur la commune de Saint-Véran (Fig. 6. 11., B et B-1), les CSF calculées sont plutôt homogènes. Dans le hameau de La Chalp (Fig. 6. 11., B-1), le bâti présente des CSF faibles et modérées pour les bâtiments construits sur le versant et très fortes pour le bâti construit le long de l'Aigues-Blanche. Dans le hameau du Raux (Fig. 6. 11., B), les CSF obtenues pour le bâti sont faibles et modérées. Dans le village de Saint-Véran (Fig. 6. 11., B), les CSF sont faibles et modérées dans la partie ancienne du village et fortes en périphérie (bâti plus récent et lieu-dit « le Cros »). Comme pour les communes d'Abriès et de Molines-en-Queyras, l'enjeu d'occupation du sol qui a des CSF fortes est le domaine skiable (Fig. 6. 11., B). Pour ce qui est des réseaux, la D 5, la route vers Pierre-Grosse et les remontées mécaniques ont des CSF fortes. Les routes permettant d'accéder à la chapelle de Clausis et à l'observatoire du Pic de Château-Renard sont de la classe de conséquences modérées (Fig. 6. 11., B).

Les CSF calculées avec la méthode adaptée aux crues torrentielles indiquent des conséquences potentielles plus importantes dans la vallée du Guil que dans les vallées contiguës. Les villages de la vallée du Guil ont des profils similaires avec des enjeux construits en zones inondables présentant des CSF fortes à très fortes et des centres anciens, surélevés, présentant des CSF faibles à modérées. Les hameaux des communes de la vallée du Guil ont également des traits semblables. Les CSF calculées y sont, dans l'ensemble, faibles à modérées. Dans les vallées des Aigues, le bâti ancien a des CSF faibles et modérées tandis que les bâtiments plus récents ont des CSF plus fortes. En matière d'occupation du sol, ce sont les espaces urbanisés ou artificialisés qui présentent les CSF les plus fortes. Pour les réseaux, ce sont la D 947 et la ligne à haute tension de Château-Queyras qui ressortent. Les autres enjeux importants (routes secondaires et remontées mécaniques) ont également des CSF fortes.

3. 1. 3. Conséquences socio-économiques (CSE)

La valeur de l'indice des conséquences socio-économiques (CSE) est comprise entre 0,27 et 7,70 pour le bâti et 0,20 et 4 pour les réseaux (Fig. 6. 4., C à 6. 11., C). Les valeurs de CSE affectées au bâti sont assez homogènes à l'échelle du Queyras. L'essentiel des enjeux de bâti est dans la classe de conséquences « modérées ». Seul le bâti ayant une fonction essentielle pour le fonctionnement du territoire (hôpitaux, écoles et casernes) et le bâti compris dans une emprise de crue passée présentent un degré de conséquences potentielles plus élevées (classe de conséquences « fortes »). L'indice des CSE insiste davantage sur les réseaux. La ligne à haute tension, la route principale et toutes les routes secondaires (goudronnées) sont classées comme ayant un niveau de conséquences potentielles « très fortes ». Les remontées mécaniques et les chemins carrossables (souvent des routes forestières) sont dans la classe de conséquences « fortes ». Les chemins pédestres et les sentiers sont dans les classes de conséquences « faibles » et « négligeables ». La répartition spatiale des enjeux de bâti classés avec des CSE fortes est largement tributaire de l'emprise de la crue de 1957 (EaR-I, Tab. 6. 2.).

Alors que les autres communes présentent une minorité de leur bâti dans la classe de CSE « fortes », Ristolas possède la quasi-totalité du sien dans cette dernière. Rappelons ici que l'intégralité du village a été envahie par les flots du Guil et du Ségure en juin 1957. Aussi, seul le bâti à vocation agro-pastorale, situé au nord-ouest du village, demeure dans la classe de CSE « modérées ». À La Monta, les deux maisons situées au bord du Guil sont dans la classe de conséquences « fortes » tandis que les deux bâtiments, situés plus haut, sont dans les classes de conséquences « faibles » (église) et « modérées » (gîte d'étape). À l'Échalp, le bâti affiche des CSE modérées et faibles (église, cabane).

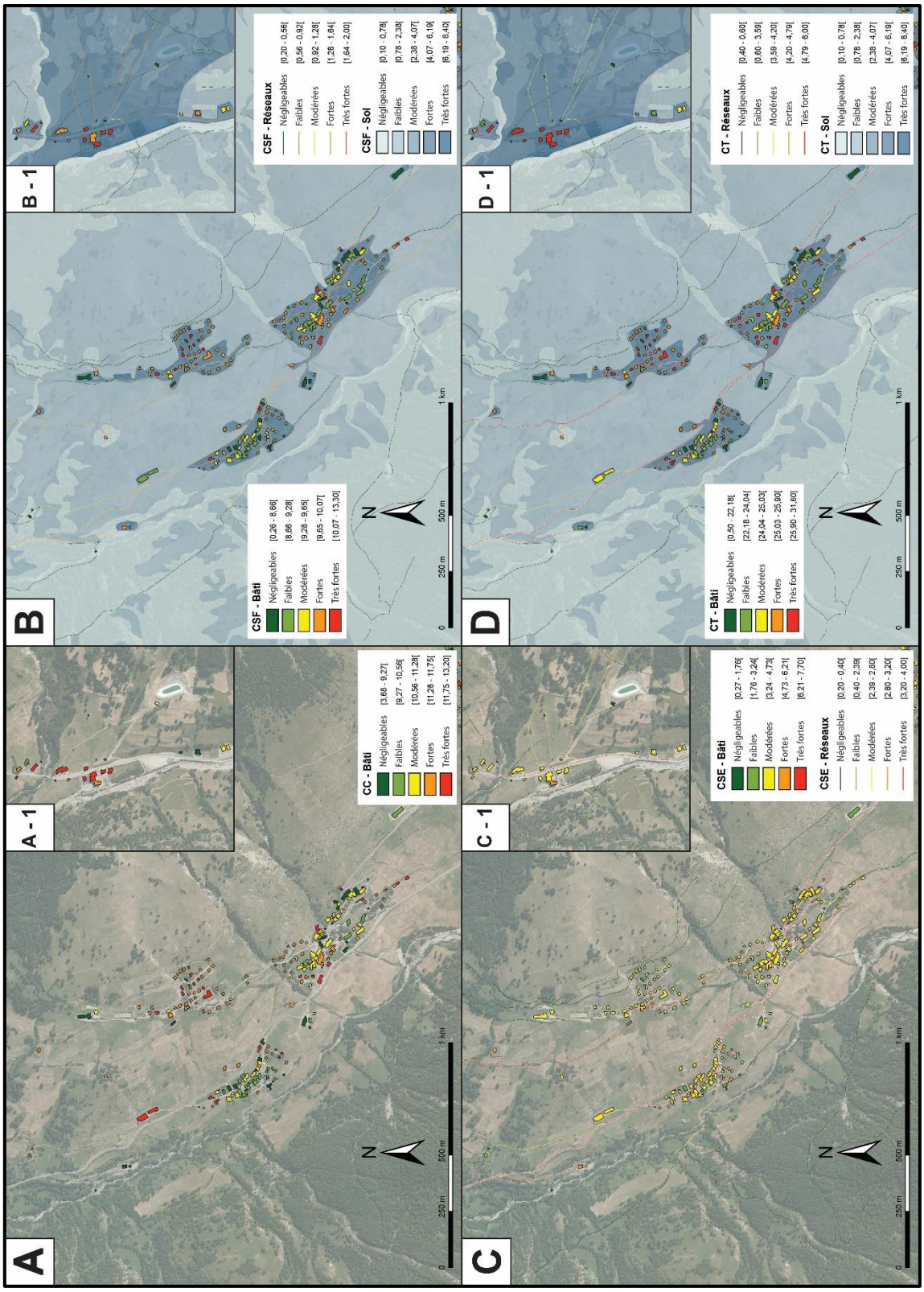


Figure 6. 9. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Molines-en-Queyras pour l'aléa crue torrentielle (secteur de Molines-en-Queyras / La Rua / l'Adret / Gaudissart / le Serre) : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Molines-en-Queyras, A - 1 – pour le hameau du Clôt-La-Chalpe ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Molines-en-Queyras, B - 1 – pour le hameau du Clôt-La-Chalpe ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Molines-en-Queyras, C - 1 – pour le hameau du Clôt-La-Chalpe ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Molines-en-Queyras, D - 1 – pour le hameau du Clôt-La-Chalpe.

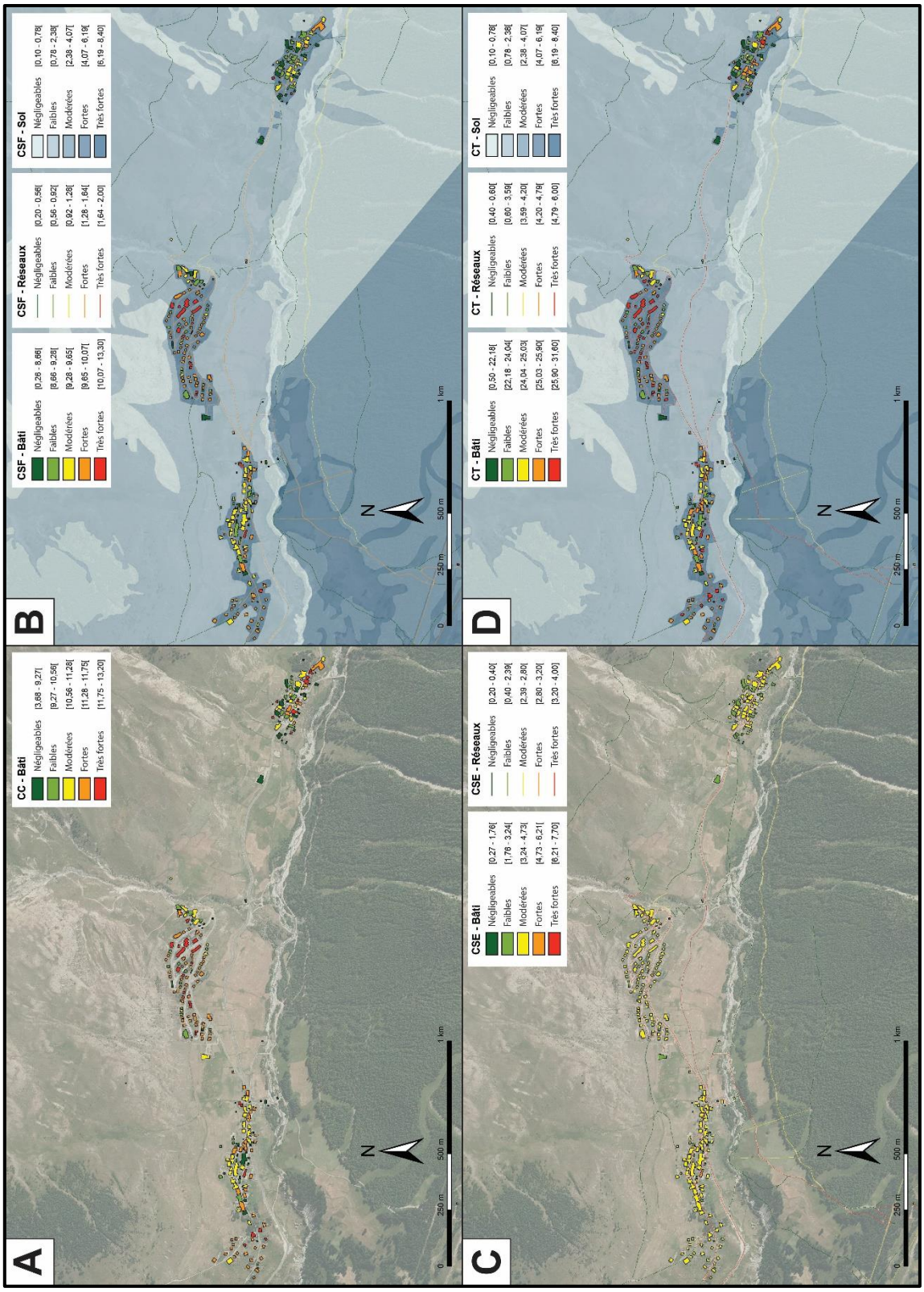


Figure 6. 10. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Molines-en-Queyras pour l'aléa crue torrentielle (secteur de Pierre-Grosse / Château-Renard / Le Coin / Fongillarde) : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour les hameaux de Pierre-Grosse, Château-Renard, Le Coin et Fongillarde ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour les hameaux de Pierre-Grosse, Château-Renard, Le Coin et Fongillarde ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour les hameaux de Pierre-Grosse, Château-Renard, Le Coin et Fongillarde ; D – indice des conséquences totales (CT) pour les hameaux de Pierre-Grosse, Château-Renard, Le Coin et Fongillarde.

Dans le village d'Abriès, les éléments classés avec des CSE « fortes » et « très fortes » sont localisés dans sa partie la plus basse. Sont concernés, les bâtiments situés dans la plaine d'Abriès (dont les équipements sportifs et la station d'épuration) et le camping qui longe le Guil. Sur le hameau de La Garcine, ce sont essentiellement les enjeux situés en bordure du torrent qui sont dans la classe de conséquences « fortes ». Le reste du bâti de la commune (Roux et Valpréveyre compris) affiche des CSE modérées.

Dans la commune d'Aiguilles, la logique est similaire. Les bâtiments du camping municipal, situés dans les emprises des crues de juin 1957 et juin 2000 sont dans la classe de conséquences « très fortes ». Dans le village d'Aiguilles, plusieurs secteurs présentent des CSF fortes ou très fortes : le quartier de la Chalp, la plaine des Ribes et les deux zones artisanales (face à la plaine des Ribes et sur le cône du Peynin). S'y ajoute les bâtiments situés le long du Lombard et les enjeux « sensibles » (hôpital, caserne de pompiers et école). Le reste du bâti de la commune (hameaux de Peynin et de Lombard compris) est dans la classe de conséquences « modérées ».

Dans la commune de Château-Ville-Vieille, les bâtiments classés avec des CSE fortes sont tous situés en fond de vallée. Là encore, il s'agit des bâtiments compris dans l'emprise de la crue de juin 1957. Sont concernés le bâti de Ville-Vieille, situé au bord du Guil, et de l'Aigue Blanche, les bâtiments situés au lieu-dit le Brasq et dans le camping de Château-Queyras et le bâti situé dans la plaine au pied du château. Comme à Abriès et Aiguilles, le reste du bâti (hameaux compris) est dans la classe de conséquences « modérées ».

Le bâti de la commune de Molines-en-Queyras est uniformément réparti dans la classe de conséquences modérées. Les seules exceptions sont le bâti agricole et religieux classé avec des CSE faibles et une partie de l'hôtel du Clôt-La-Chalpe, classée avec des CSE fortes.

Sur la commune de Saint-Véran, les bâtiments sont majoritairement compris dans la classe de conséquences « modérées ». Les seuls bâtiments répartis dans la classe de CSE fortes sont situés dans le hameau de la Chalp, en bordure du torrent de l'Aigue Blanche.

Dans l'ensemble, les CSE calculées pour un aléa type crue torrentielle sont homogènes. Le bâti situé dans le fond de vallée du Guil, dans des espaces précédemment impactés par des crues ont des conséquences socio-économiques potentielles fortes. Le reste du bâti affiche des CSE modérées. Comme pour les CSF, on observe une différence entre la vallée du Guil et celles des Aigue Agnelle et Aigue Blanche, la première présentant des conséquences potentielles plus fortes que les secondes.

3. 1. 4. Conséquences totales (CT)

La carte des conséquences potentielles totales (CT) des crues torrentielles sur les six communes du Queyras a été obtenue en combinant les scores des indices des conséquences corporelles (CC), des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) et des conséquences socio-économiques (CSE) calculées préalablement (Fig. 6. 4., D à 6. 11., D). L'indice des CT varie entre 0,5 et 31,60 pour le bâti, 0,40 et 6 pour les réseaux et 0,10 et 8,40 pour l'occupation du sol.

Les indices des CC et CSF ont un poids équivalent dans les scores de CT calculés pour le bâti. Les scores maximaux de ces deux indices sont de respectivement 13,20 et 13,30. L'indice des CSE contribue moitié moins que les autres indices, avec un score maximum de 7,70. Les enjeux qui ont les scores de CT les plus élevés sont les enjeux dit « sensibles » (hôpitaux, écoles, casernes, stations d'épuration, etc.), les logements collectifs et le bâti compris dans des enveloppes de crues passées (classe de conséquences « très fortes »). Les logements individuels récents ont également des scores élevés, qui les placent dans la classe de conséquences « fortes » voire, « très fortes ».

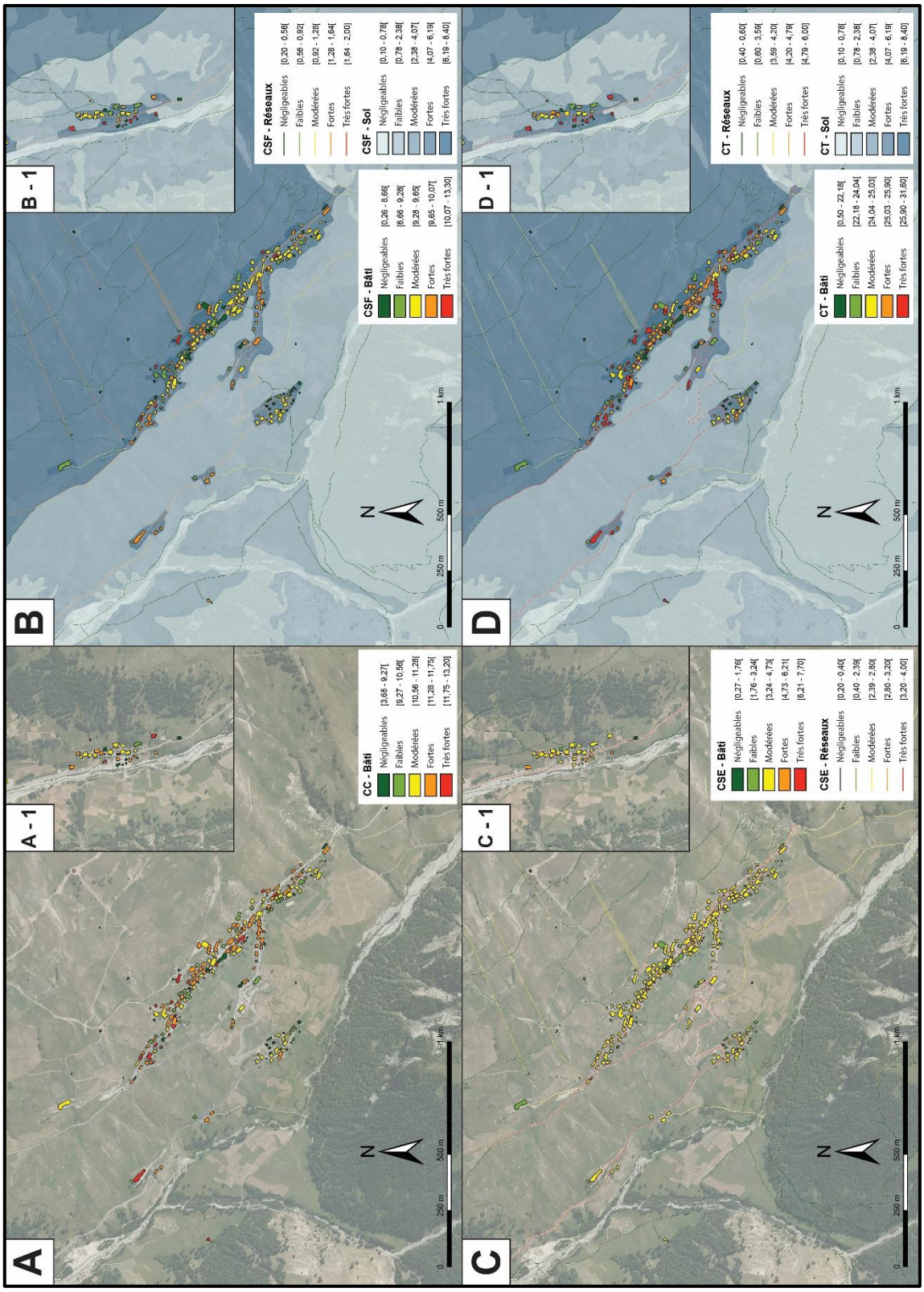


Figure 6. 11. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Saint-Véran pour l'aléa crue torrentielle : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Saint-Véran, A - 1 – pour le hameau de La Chalp; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Saint-Véran, B - 1 – pour le hameau de La Chalp; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Saint-Véran, C - 1 – pour le hameau de La Chalp; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Saint-Véran, D - 1 – pour le hameau de la Chalp.

À condition qu'il ne soit pas compris dans une emprise de crue passée, le bâti ancien obtient des scores de CT nettement moins élevés. Il se range principalement dans les classes de conséquences « négligeables » à « modérées ». Il en va de même pour le bâti agricole (classe de conséquences « négligeables ») et le bâti de stockage (cabanes, garages, hangars, etc. ; classe de conséquences « négligeables » à « modérées »). Les scores de CT et la discrétisation des enjeux liés à l'occupation du sol sont en tous points identiques à ceux décrits dans le paragraphe sur les CSF (cf. *supra* 3. 1. 2.). Les espaces urbanisés et les surfaces à usages touristiques (domaines skiables, campings, parkings, terrains de sports, etc.) ont des scores de CT qui les placent dans les classes de conséquences « fortes » et « très fortes ». Les espaces dédiés à l'agropastoralisme (prés de fauches et prairies) sont dans la classe de conséquences « modérées », les forêts dans la classe de conséquences « faibles » et les surfaces minérales dans la classe de conséquences « négligeable ». Les enjeux de réseaux avec le plus haut degré de conséquences potentielles totales sont la ligne à haute-tension de CVV et la route D 947. Dans la classe de conséquences « fortes » se trouvent les routes secondaires et les remontées mécaniques. Les chemins carrossables sont dans la classe de conséquences « modérées » et les sentiers dans les classes de conséquences « négligeables » à « faibles ».

Sur la commune de Ristolas, les conséquences potentielles totales sont importantes (Fig. 6. 4., D). Cela est particulièrement vrai dans le village, où le bâti présente surtout des CT très fortes. Seul le bâti agricole et religieux, dans la partie ouest du village, affiche des CT plus faibles (classes de conséquences « négligeables » à « modérées »). Dans le hameau de La Monta (Fig. 6. 4., D-1), les CT sont négligeables pour le gîte et l'église et très fortes pour les maisons bâties au bord du Guil. A l'Échalp, le bâti touristique (gîtes) affiche des CT fortes et l'habitat des CT négligeables à modérées (Fig. 6. 4., D-2).

Dans la commune d'Abriès (Fig. 6. 5., D), la répartition des CT laisse apparaître plusieurs ensembles. Le hameau de La Garcine et la partie basse du village d'Abriès affichent des CT globalement très fortes, du fait de leur proximité avec le Guil. Le bâti construit à flanc de versant (quartier de l'Hoche) a des CT fortes et très fortes (Fig. 6. 5., D). Cela n'indique pas en soi, une exposition accrue aux inondations, mais montre seulement que le bâti n'a pas été construit pour faire face à de tels événements (ce qui est logique compte tenu de l'éloignement aux cours d'eau). Le bourg ancien présente des CT plus nuancées. Elles sont dans l'ensemble, plus faibles que dans le reste du village mais elles varient néanmoins de négligeables à très fortes. Dans le hameau du Roux (Fig. 6. 5., D-1), les CT sont de négligeables à modérées. Un seul bâtiment affiche des CT très fortes, à l'entrée du hameau. Dans le hameau de Valpréveyre (Fig. 6. 5., D-2), les CT sont négligeables et faibles. Les deux maisons qui affichent des CT fortes sont comprises dans l'emprise de la crue de 1957.

Sur la commune d'Aiguilles (Fig. 6. 6., D), la répartition des CT est comparable à celle observée sur la commune d'Abriès (Fig. 6. 5., D). Les enjeux du bâti situé en fond de vallée et sur les versants ont des CT plus fortes que dans le bourg ancien. Ainsi, les bâtiments situés dans le camping du Gouret, dans le quartier de La Chalp et dans la plaine des Ribes ont des CT très fortes. Le bâti construit sur les hauteurs (quartier de la Condamine) a des CT fortes et très fortes tandis que le centre du village a des CT négligeables et faibles. Sur le cône du Peynin, le bâti situé le plus en amont présente des CT fortes et très fortes et les bâtiments situés plus en aval ont des CT négligeables et faibles (Fig. 6. 6., D). Dans les hameaux du Peynin et du Lombard (Fig. 6. 6., D-1 et D-2), les CT sont fortes à très fortes pour le bâti occupé une partie de l'année et négligeables et faibles pour le bâti de stockage, les bâtiments désaffectés et le bâti religieux.

Dans la commune de Château-Ville-Vieille (Fig. 6. 7., D et 6. 8., D), les CT sont fortes à très fortes pour le bâti situé dans l'emprise de la crue de 1957, et plus faibles en dehors. À Ville-Vieille (Fig. 6. 7., D), la chose est flagrante. Les CT sont très fortes au lieu-dit « la Casse » et dans la partie est

du village, le long du Guil et de l'Aigue Blanche. Elles sont plus faibles dans la partie ouest du village (quartier de la Rua) et à l'est de l'ancienne rue principale du village (Fig. 6. 7., D). Entre Ville-Vieille et Château-Queyras (Fig. 6. 7., D et 6. 8., D), les principaux enjeux de bâti (fromagerie, garage, supermarché, transformateur électrique et accueil du camping) affichent des CT fortes et très fortes. Les enjeux secondaires (scieries et hangar de bus) ont des CT négligeables à faibles. Dans le village de Château-Queyras (Fig. 6. 8., D), on retrouve la logique spatiale qui prévaut dans les villages d'Abriès et d'Aiguilles. Les enjeux situés en fond de vallée (au pied du château) affichent des conséquences potentielles fortes et très fortes tandis que les bâtiments du bourg ancien (perché près du château) affichent des CT négligeables et faibles. Comme à Abriès ou Aiguilles, le bâti récent, construit sur le versant affiche des CT fortes à très fortes. Dans les hameaux de la commune, les CT sont relativement faibles (Fig. 6. 7., D, D-1, D-2 et 6. 8., D, D-1 et D-2). Les CT y sont principalement classées de négligeables à modérées. Plusieurs raisons expliquent ce fait. Les hameaux ont un bâti relativement ancien, construit avec des matériaux traditionnels et comportent de nombreux bâtiments dédiés aux activités agro-pastorales. De plus, ils ne concentrent que peu d'activités commerciales et/ou touristiques.

Dans la commune de Molines-en-Queyras (Fig. 6. 9., D et 6. 10., D), les CT sont négligeables à faibles pour bâti ancien et, fortes à très fortes pour bâti récent. Dans le hameau de la Rua (Fig. 6. 9., D), les CT sont ainsi globalement négligeables à modérées, exception faite des hébergements touristiques construits récemment dans partie est du hameau (sortie du hameau en direction de Molines). À Gaudissard (Fig. 9, D), où le bâti est récent, les CT sont majoritairement fortes à très fortes. Dans le village de Molines (Fig. 9, D), les CT sont négligeables à faibles pour le centre ancien et, fortes à très fortes pour les maisons individuelles récentes situées à sa périphérie. Dans le hameau du Clôt-La-Chalpe, les CT sont très fortes car le bâti est récent et a d'importantes fonctions touristiques (Fig. 6. 9., D-1). Dans le hameau de Pierre-Grosse (Fig. 6. 10., D), les CT sont faibles dans le centre ancien et, fortes à très fortes dans l'extension récente du hameau sur les hauteurs. Dans le hameau de Château-Renard (Fig. 6. 10., D), les CT sont fortes à très fortes pour l'ensemble des bâtiments sortis de terre *ex-nihilo* dans la décennie 1970-1980. Inversement, dans le hameau du Coin (Fig. 6. 10., D), les CT sont faibles à modérées car le bâti y est plus ancien. Dans le hameau de Fongillarde (Fig. 6. 10., D), les CT sont globalement négligeables à modérées. Quelques bâtiments affichent cependant des CT fortes et très fortes le long de la rue principale du hameau.

Dans la commune de Saint-Véran, les conséquences totales sont, dans l'ensemble, assez fortes (Fig. 6 11., D). Le bâti du village est principalement réparti dans les classes de conséquences « modérées » à « très fortes ». Cette configuration s'explique par la forte densité d'enjeux commerciaux et touristiques qui s'y trouvent. Dans le détail, on observe que les CT très fortes concernent surtout les enjeux économiques récents, construits en périphérie du village. Dans le hameau du Raux (Fig. 6. 11., D), les CT sont plus faibles (classes de conséquences négligeables à modérées). Les deux bâtiments qui ont des CT fortes ont un lien direct avec le tourisme (un gîte et un prestataire de balades à dos d'âne). Aux lieux-dits le Cros et la Croix Juan (Fig. 6. 11., D), les CT sont fortes à très fortes car on y trouve des hébergements touristiques récents (centre de vacance et gîtes). Dans le hameau de La Chalp (Fig. 6. 11., D-1), les CT sont faibles à modérées pour les bâtisses anciennes et fortes pour les plus récentes. En bordure de l'Aigue Blanche, cinq bâtiments affichent des CT très fortes. Tous sont situés en zone inondable.

Les conséquences potentielles totales liées aux crues sont ainsi inégalement réparties dans le Queyras. Les CT sont globalement plus importantes dans la vallée du Guil que dans les vallées adjacentes. Les quatre villages qui y sont implantés ont des profils assez similaires, avec des enjeux dotés de fortes CT en fond de vallée et sur les cônes de déjection et des CT plus faibles dans leurs centres historiques. Les enjeux situés en fond de vallée sont en grande majorité compris dans des emprises de

crues passées (juin 1957, juin 2000, mai 2008), ce qui les rend particulièrement vulnérables. Or, ces enjeux occupent, pour la plupart, des fonctions clés dans le fonctionnement du territoire : hôpital, stations d'épuration, zones artisanales et/ou commerciales, départs de remontées mécaniques, campings, réseaux routiers, etc. À noter que ces éléments sont souvent issus de la dernière génération d'enjeux à avoir été construits.

Les hameaux rattachés à ces villages ont des profils différents, mais là encore, assez homogènes. Ils affichent principalement des CT modérées à faibles car ils accueillent peu d'enjeux économiques (La Monta, l'Échalp et Valpréveyre) ou parce qu'ils sont trop éloignés des cours d'eaux (Le Roux, Peynin, Lombard, Meyriès, les Prats, le Rouet, Soulier et Montbardon). Dans les vallées des Aigues (Aigue Agnelle et Aigue Blanche), les CT sont globalement moins fortes que dans la vallée du Guil. Certains secteurs bien délimités présentent toutefois des CT très fortes : Château-Renard, Gaudissart et le Clôt-La-Chalpe. À l'image de ce qui a pu être observé dans la vallée du Guil, ces espaces font partie des aménagements les plus récents. Pour ce qui est des enjeux de réseaux, ce sont la route D 947 et la ligne à haute tension qui présentent les CT les plus fortes. Ces deux enjeux étant situés dans la vallée du Guil, cela tend à exacerber la différence entre cette dernière et les autres vallées du Queyras. En matière d'enjeux surfaciques, ce sont les espaces artificialisés qui présentent les CT les plus fortes (espaces urbanisés, domaines skiables, campings et parkings) et ce, quelle que soit la vallée considérée.

3. 1. 5. Bilan des conséquences potentielles liées aux crues torrentielles

Les résultats présentés ci-avant ont permis de dégager les types de conséquences dominantes et de mettre en lumière les catégories d'enjeux et les espaces présentant d'importantes conséquences potentielles en cas de crues torrentielles (Tab. 6. 3.).

D'après l'analyse menée sur les six communes du Queyras, ce sont les conséquences corporelles qui apparaissent comme virtuellement les plus fortes en cas de crue torrentielle (Tab. 6. 3.). Les conséquences structurelles et fonctionnelles directes présentent des valeurs et une répartition analogues quoi que légèrement plus faibles à l'échelle du territoire queyrassin. Les conséquences socio-économiques sont en revanche plutôt modestes au regard des valeurs et de la discrétisation des autres indices (Tab. 6. 3.).

Les enjeux de bâti peuvent être réunis selon leurs caractéristiques en différents profils types. Parmi les enjeux classés avec de fortes conséquences potentielles deux groupes homogènes se dégagent. Le premier affiche de très fortes conséquences potentielles et rassemble les enjeux récents à fortes valeurs socio-économiques situés sur les cônes torrentiels ou dans les fonds de vallée. Le second, formé d'enjeux dotés de conséquences fortes et très fortes, se compose majoritairement de logements récents, bâtis en périphérie des centres anciens, souvent à flanc de versant. De prime abord, cet ensemble peut sembler incongru dans la mesure où les enjeux qu'ils concentrent sont éloignés des sources probables de débordements (torrents et rivières). Cela étant, c'est précisément parce qu'ils sont éloignés des sources de dangers potentiels que ces enjeux affichent de fortes conséquences potentielles. De fait, ils ne sont pas construits pour résister à ce type d'aléa. À l'opposé, les enjeux présentant de faibles conséquences potentielles sont essentiellement composés de bâtiments anciens, construits avec des matériaux traditionnels (bois et pierre) et situés dans les centre-bourgs des villages et hameaux. D'une manière générale, les enjeux non–habités ou présentant des fonctions secondaires pour le territoire (fonctions religieuses, agricoles ou de stockages) affichent des conséquences négligeables.

La classification des enjeux de réseaux est essentiellement fonction de leurs rôles dans le bon fonctionnement du territoire queyrassin (Tab. 6. 2.). En toute logique, ce sont donc les réseaux essentiels (route D 947 et ligne à haute tension) qui affichent les conséquences potentielles (CSF, CFI et CT) les

plus fortes. Les réseaux secondaires (routes menant aux différents hameaux et remontées mécaniques) présentent des conséquences potentielles modérées ou fortes et les réseaux annexes (routes forestières et chemins) des conséquences faibles ou négligeables.

Pour les enjeux d'occupation / usages de sols, c'est également l'aspect fonctionnel qui prime. Les enjeux surfaciques, présentant des conséquences potentielles fortes et très fortes (CSF et CT), sont formés par les espaces urbanisés (zones urbaines, campings et parkings) et les espaces à vocation touristique, notamment hivernale (domaines skiables, espaces ludiques et terrains de sport). Les surfaces employées à des fins agro-pastorales ont des conséquences modérées et les espaces forestiers des conséquences faibles.

Méthode adaptée à l'aléa "crues torrentielles"					
Commune	Indices / villages	CC	CSF	CSE	CT
Commune de Ristolas	L'Échalp	+	=	-	=
	La Monta	=	=	+	=
	Ristolas	=	+ +	+ +	+ +
Commune d'Abriès	La Garcine	+ +	+ +	+	+ +
	Abriès	+	+	=	+ +
	Valpréveyre	-	- -	=	- -
	Le Roux	-	- -	=	- -
Commune d'Aiguilles	Aiguilles	+	+	+	+
	Lombard	+ +	-	-	=
	Peynin	+ +	=	-	=
Commune de Château-Ville-Vieille	Ville-Vieille	+	+	+	+ +
	Château-Queyras	+	+	+	+ +
	Les Prats	=	=	-	=
	Meyriès	- -	-	-	-
	Soulier	+	-	-	=
	Montbardon	=	-	-	=
Commune de Molines-en-Queyras	La Rua	-	-	=	-
	Molines-en-Queyras	=	=	=	=
	Gaudissard	+ +	+ +	=	+ +
	Clot-la-Chalp	+ +	+ +	+	+ +
	Pierre-Grosse	+	+	=	+
	Château Renard	+ +	+ +	-	+ +
	Le Coin	-	-	-	-
	Fongillarde	-	- -	-	-
Commune de Saint-Véran	Saint-Véran	+	=	-	+
	Le Raux	-	- -	-	-
	La Chalpe	=	=	=	=

Tableau 6. 3. : Appréciation qualitative des résultats de la classification des conséquences potentielles obtenues pour le bâti avec la méthode adaptée à l'aléa « crue torrentielle ». Les symboles et couleurs figurent l'aspect général des entités concernées en matière de conséquences potentielles: ++ sur fond rouge : conséquences très fortes, + sur fond orange : conséquences fortes, = sur fond jaune : conséquences modérées, - sur fond vert clair : conséquences faibles, -- sur fond vert foncé : conséquences négligeables.

Les conséquences potentielles sont globalement plus importantes en fond de vallée que sur les versants (Tab. 6. 3.). C'est particulièrement le cas pour les communes de la vallée du Guil où nombre d'enjeux sont compris dans des enveloppes de crues passées (Tab. 6. 3.). Les hameaux dépendant de ces communes, mais situés en hauteur (Meyriès, le Rouet et Montbardon) ou dans des vallées adjacentes (Bouchet, Lombard, Peynin, Soulier), ont des conséquences potentielles plus faibles (Tab. 6. 3.). Ces éléments s'avèrent en tous points conformes aux résultats attendus et vont donc dans le sens d'une validité du modèle. Dans les vallées de l'Aigue Blanche et de l'Aigue Agnelle, ces éléments sont moins perceptibles. Le village de Saint-Véran, tout comme les hameaux de Gaudissard, Pierre-Grosse et

Château-Renard, comprennent de multiples enjeux classés avec des conséquences potentielles fortes et très fortes. Or, la position en milieu de versant de ces ensembles fait qu'ils ont peu de chance d'être effectivement impactés par une crue torrentielle. Dans la vallée de l'Aigue blanche, les enjeux situés en fond de vallée (donc potentiellement exposés aux crues torrentielles) sont concentrés dans les hameaux du Clôt-La-Chalpe et de La Chalp (Tab. 6. 3.). Dans la vallée de l'Aigue Agnelle, ils se bornent au camping situé au pied du hameau de Pierre-Grosse.

Globalement, la méthode PDI adaptée à l'aléa « crue torrentielle » donne des résultats satisfaisants. Toutefois, certains artéfacts liés à la méthodologie peuvent compliquer ou altérer la lecture des résultats cartographiques pour des personnes non-expertes. Pour affiner l'analyse des conséquences potentielles liées aux crues et discriminer au mieux les enjeux les plus vulnérables, plusieurs modifications mineures de la méthode peuvent être envisagées.

Une des principales limites du modèle dans sa forme actuelle réside dans les poids (et donc la classe de conséquence) attribués aux enjeux ne présentant qu'une probabilité infime d'être impactés par une crue torrentielle. Certains enjeux situés sur les versants et/ou éloignés du tracé des torrents, affichent des conséquences potentielles fortes ou très fortes ce qui tend à brouiller la lecture des cartes. Ajouter une variable de position dans l'architecture des indices – par exemple : fond de vallée, cône de déjection, pied de versant, milieu de versant et sommet de versant – pourrait permettre de mieux faire ressortir les éléments (bâti, réseau, sols) pouvant être impactés par une crue.

Dans le même esprit, une autre limitation réside dans la non-prise en compte des torrents affluents du Guil et de ses principaux tributaires (Ségure, Bouchet, Lombard, Peynin et Aigue Blanche). Or, des torrents tels que la Garcine, le Malrif, le Rif des Garcins, le Rif des Borels ou encore le torrent du Coin présentent un danger bien réel pour nombre d'enjeux. S'il est vrai qu'il n'existe que peu ou pas de données sur ces torrents, il est toutefois possible de les intégrer, en complément de l'EaR-I, via la création de zones tampons (*buffer*) le long des tracés des torrents les plus menaçants. Notons au passage qu'il serait bénéfique d'étendre l'EaR-I (présence ou non dans une emprise de crue passée) aux réseaux afin d'introduire le distinguo entre réseaux situés en fond de vallée et réseaux situés sur les versants.

Pour mieux intégrer les impacts des crues sur le bâti, il pourrait s'avérer intéressant de qualifier le nombre de façades exposées, en lien avec la direction des flux torrentiels. De même, on pourrait prendre en compte la position du bâti par rapport aux berges des torrents. L'ajout de tels critères dans l'indice des CSF permettrait de prendre en compte les effets de sapes (affouillements) qui constituent l'un des endommagements les plus fréquemment observés lors d'épisodes catastrophiques (Givry et Peteuil, 2011a ; 2011b). Toujours sur le volet structurel, la prise en compte de la hauteur du bâti pourrait permettre de mieux tenir compte des dommages potentiels dus aux engravements.

3. 2. Les conséquences potentielles liées aux glissements de terrain

Les conséquences potentielles liées aux glissements de terrain sont illustrées par les figures 6. 12. à 6. 19. La première cartographie abordée est celle des conséquences corporelles (CC, Fig. 6. 12., A à 6. 19., A). Ensuite vient la cartographie des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF, Fig. 6. 12., B à 6. 19., B), la cartographie des conséquences socio-économiques (CSE, Fig. 6. 12., C à 6. 19., C) et, la cartographie des conséquences potentielles totales (CT, Fig. 6. 12., D à 6. 19., D). Les résultats concernant les enjeux de réseaux et d'occupation du sol sont les mêmes que pour les méthodes adaptées aux aléas « crue torrentielle » et « avalanche ». Ce faisant, seuls les résultats relatifs au bâti seront décrits ici.

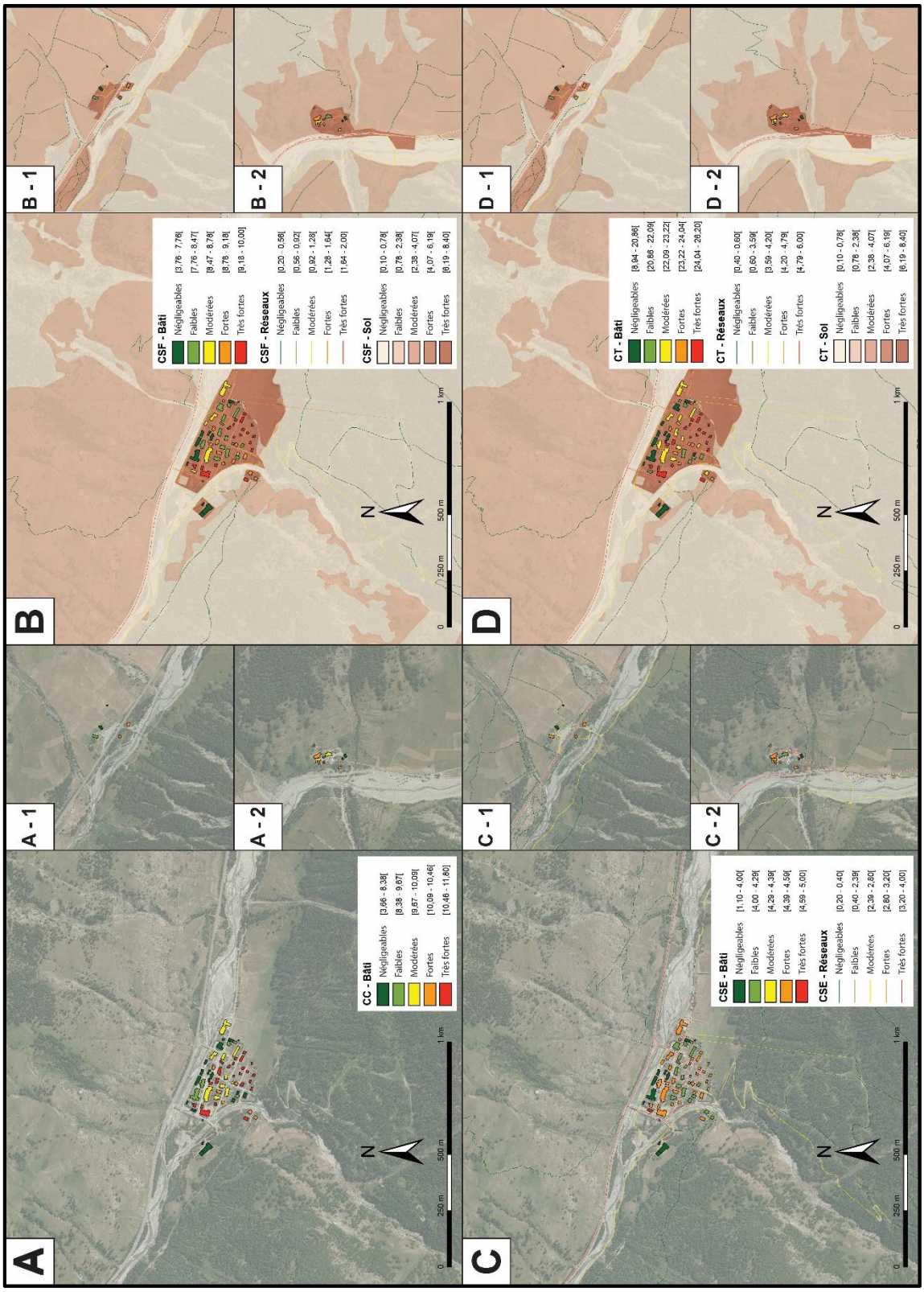


Figure 6. 12. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Ristolas pour l'aléa glissement de terrain : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Ristolas, A - 1 – pour le hameau de La Monta, A - 2 – pour le hameau de l'Échalp ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Ristolas, B - 1 – pour le hameau de La Monta, B - 2 – pour le hameau de l'Échalp ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Ristolas, C - 1 – pour le hameau de La Monta, C - 2 – pour le hameau de l'Échalp ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Ristolas, D - 1 – pour le hameau de La Monta, D - 2 – pour le hameau de l'Échalp.

3. 2. 1. Conséquences corporelles (CC)

La valeur de l'indice des conséquences corporelles (CC) appliquée au bâti est comprise entre 3,66 et 11,80 (Fig. 6. 12., A à 6. 19., A). Les scores de CC les plus élevés sont obtenus pour les logements récents (postérieur aux années 1970-1980) et aux enjeux qui peuvent exercer une fonction essentielle en période de crise tel que l'hôpital (Aiguilles). Les autres enjeux liés à l'habitat ou à l'hébergement touristique (hôtel, gîtes, etc.) ont des scores de CC moins tranchés. Selon leur état, leur date et leurs matériaux de construction (EaR-A, B et C, Tab. 6. 2.), ils vont se placer dans les classes de conséquences « faibles » à « fortes ». Le bâti « non-habité » (cabanes, garages et hangars, bâti religieux, bâti agricole et artisanal, etc.) présente des scores de CC peu élevées (EaR-F, Tab. 6. 2.). Ces enjeux sont regroupés dans les classes de conséquences « négligeables » et « faibles ».

Dans la commune de Ristolas, les CC liées aux glissements de terrain sont très fortes au sud-est et au nord-ouest du village (Fig. 6. 12., A). Ces lieux accueillent, respectivement, des logements individuels récents et un hôtel-restaurant. Le long du Guil, les CC sont plus faibles, avec une majorité de bâtiments classés avec des CC négligeables (bâti agricole et religieux) à modérées (bâti touristique). En rive gauche du Ségure et à l'apex de son cône de déjection, trois bâtiments affichent des CC fortes et très fortes (Fig. 6. 12., A). Face à ces derniers, quatre maisons présentent des CC négligeables à faibles. Ces bâtiments sont, de fait, inhabités durant une bonne partie de l'année. À La Monta (Fig. 6. 12., A-1), les CC sont négligeables et faibles pour l'église et le gîte, et fortes pour les deux maisons bordant le Guil. À l'Échalp (Fig. 6. 12., A-2), les CC sont modérées à très fortes pour les bâtiments d'habitat et d'hébergement et négligeables pour l'église et le garage qui lui fait face.

Dans la commune d'Abriès (Fig. 6. 13., A), les CC sont très fortes dans le hameau de La Garcine et dans le quartier de l'Hoche. Le secteur comprenant le camping et le départ des remontées mécaniques a également des CC fortes en raison de leur possible fréquentation par les touristes. Dans le bourg ancien (Fig. 6. 13., A), les CC sont modérées à fortes. Dans la plaine d'Abriès, les CC sont négligeables et faibles car cet espace ne comporte aucun enjeu d'habitat ou d'hébergement touristique. Dans le hameau du Roux, les CC sont plus nuancées (Fig. 6. 13., A-1). La majorité du bâti affiche des CC négligeables et faibles, mais le hameau comporte néanmoins plusieurs bâtiments ayant des CC fortes et très fortes à ses deux extrémités. Dans le hameau de Valpréveyre (Fig. 6. 13., A-2), les CC sont modérées à très fortes à l'exception du bâti religieux et des ruines (classe de conséquences « négligeables »).

À Aiguilles, la répartition des CC laisse apparaître plusieurs ensembles relativement homogènes (Fig. 6. 14., A). Dans le camping du Gouret, les CC sont négligeables et faibles. Au centre du village, dans le bourg ancien, les CC sont en majorité faibles et modérées. Dans le quartier de la Chalp, les bâtiments ont des CC modérées à très fortes. Les logements individuels construits sur le versant (quartier de la Condamine) ont des CC très fortes. Le bâti situé dans la plaine des Ribes montre des CC plus contrastées (Fig. 6. 14., A). L'hôpital et le bâti d'habitat présentent des CC très fortes tandis que le bâti touristique (restaurant et équipements sportifs) affiche des CC négligeables et faibles. La zone artisanale située face à la plaine des Ribe présente des CC négligeables, exception faite de l'unique maison qui s'y trouve (classe de conséquences « très fortes »). Dans la seconde zone artisanale, le bâti situé dans la partie supérieure du cône du Peynin présente des CC très fortes alors que celui construit dans sa partie inférieure affiche des CC négligeables et modérées. Le bâti construit sur la terrasse de la crue de 1957 affiche des CC négligeables et faibles. Dans le hameau du Lombard (Fig. 6. 14., A-1), les CC sont très fortes, sauf pour l'église (classe de conséquences « négligeables »). Dans le hameau du Peynin (Fig. 6. 14., A-2), les CC sont très fortes pour le bâti habité et, négligeables pour le bâti religieux ou désaffecté (anciennes remontées mécaniques).

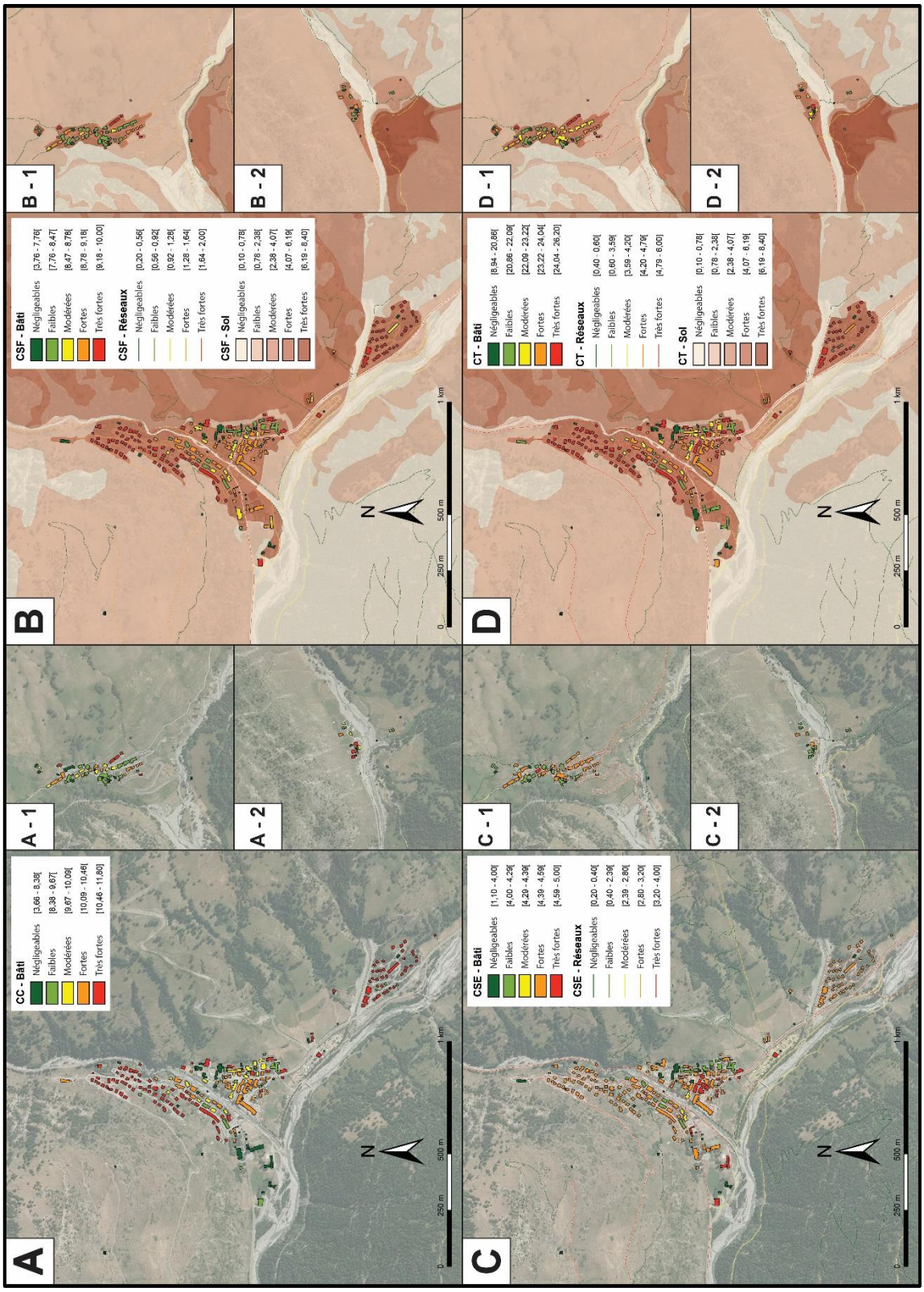


Figure 6. 13. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune d'Abriès pour l'aléa glissement de terrain : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village d'Abriès, A - 1 – pour le hameau du Roux, A - 2 – pour le hameau de Valpréveyre ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village d'Abriès, B - 1 – pour le hameau du Roux, B - 2 – pour le hameau de Valpréveyre ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village d'Abriès, C - 1 – pour le hameau du Roux, C - 2 – pour le hameau de Valpréveyre ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village d'Abriès, D - 1 – pour le hameau du Roux, D - 2 – pour le hameau de Valpréveyre.

Dans la commune de Château-Ville-Vieille, la répartition des CC est contrastée (Fig. 6. 14. et 6. 15., A). Dans le village de Ville-Vieille (Fig. 6. 14., A), les CC sont pour moitié fortes et très fortes, et pour moitié négligeables et faibles. Entre Ville-Vieille et Château-Queyras (Fig. 6. 14., A), il en est de même. Le garage automobile et la fromagerie présentent des CC très fortes tandis que la zone d'activité du Brasq et le camping municipal affichent des CC négligeables et faibles. Dans le village de Château-Queyras (Fig. 6. 14., A), on observe une différence marquée entre le bourg ancien et les extensions plus récentes. Le bourg ancien affiche des CC négligeables (château et dépendances) et modérées (logements) tandis que le bâti situé au pied du château et sur les hauteurs du village présente principalement des CC fortes et très fortes. Les six hameaux de la commune (Souliers, Meyriès, Montbardon, les Prats, Rouet et la Chapelue) ont des profils similaires en termes de CC (Fig. 6. 14. A, A-1 et A-2, et 6. 15., A, A-1 et A-2). Le bâti ancien et le bâti agricole présentent des CC négligeables à modérées alors que le bâti récent affiche des CC fortes et très fortes.

Les CC calculées pour la commune de Molines-en-Queyras (Fig. 6. 16., A et 6. 17., A) sont, dans l'ensemble, plutôt fortes. Dans le hameau de la Rua (Fig. 6. 16., A), les CC sont négligeables à fortes pour le bâti ancien et très fortes pour le bâti récent. Dans le hameau de Gaudissard (Fig. 6. 17., A), les CC sont majoritairement classées comme très fortes. Dans le hameau de Molines-en-Queyras, les CC sont négligeables à modérées dans le centre ancien et, très fortes en périphérie. Au lieu-dit « le pont des Marrous » et dans le hameau du Clôt-La-Chalpe (Fig. 6. 16., A-1), le bâti affiche des CC fortes et très fortes. Dans le hameau de Pierre-Grosse (Fig. 6. 17., A), les CC sont fortes dans le centre ancien et très fortes en périphérie ; notamment dans le lotissement récent construit sur le versant. Dans le hameau de Château-Renard (Fig. 6. 17., A), l'ensemble du bâti affiche des CC très fortes. Dans le hameau du Coin, (Fig. 6. 17., A), les CC sont plus faibles. Elles sont négligeables et faibles dans la partie basse du hameau et modérées à très fortes dans sa partie haute. Dans le hameau de Fongillarde (Fig. 6. 17., A), le bâti est pour moitié réparti dans les classes de conséquences négligeables à modérées, et pour moitié, réparti dans les classes de conséquences fortes et très fortes. Là encore, ce sont les logements les plus récents qui affichent les CC potentielles les plus fortes.

Comme pour Molines, les CC calculées dans la commune de Saint-Véran (Fig. 6. 18., A) sont plutôt fortes. Dans le village (Fig. 6. 18., A), l'essentiel du bâti est réparti dans les classes de conséquences « modérées » à « très fortes ». Seuls les bâtiments non-habités affichent des CC plus faibles (classes de conséquences « négligeables » et « faibles »). Dans le hameau du Raux (Fig. 6. 18, A), la moitié du bâti présente des CC négligeables et faibles (bâti non habité) et l'autre moitié des CC modérées à très fortes (logements et hébergements touristiques). Aux lieux-dits « les Cros » et « la Croix de Juan » (Fig. 6 18., A), les CC sont fortes à très fortes. Dans le hameau de La Chalp (Fig. 6. 18., A-1), les CC sont modérées à très fortes pour les bâtiments habités et négligeables pour ceux qui ne le sont pas (cabanes et église).

À l'échelle du Queyras, les conséquences corporelles potentielles liées aux glissements de terrain sont très importantes. Elles le sont davantage dans les vallées de l'Aigue Blanche et de l'Aigue Agnelle que dans la vallée du Guil. Les raisons de cette différence tiennent à ce que les vallées des Aigues, disposant d'une plus grande concentration de bâtiments datés de la période 1970 – 2000, ont davantage d'enjeux liés au tourisme et ont moins d'enjeux artisanaux dotées de structures métalliques (qui résistent mieux aux déformations du sol). Notons cependant qu'une partie des enjeux les plus vulnérables en cas de glissements sont situés en fond de vallée ou sur des cônes torrentiels et qu'ils n'ont, par conséquent, qu'une faible chance d'être impactés directement.

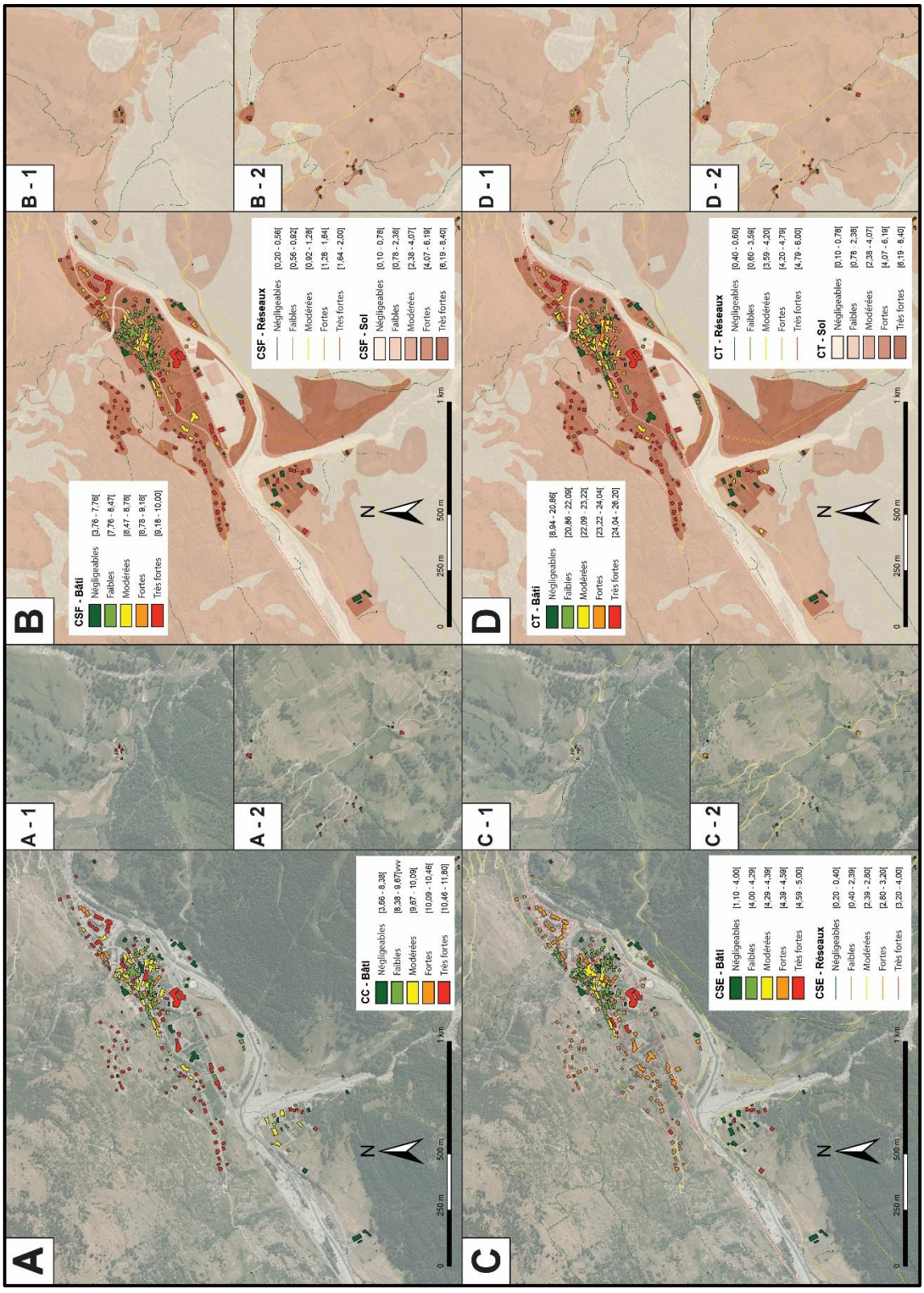


Figure 6. 14. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune d'Aiguilles pour l'aléa glissement de terrain : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village d'Aiguilles, A - 1 – pour le hameau du Lombard, A - 2 – pour le hameau du Peynin ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village d'Aiguilles, B - 1 – pour le hameau du Lombard, B - 2 – pour le hameau du Peynin ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village d'Aiguilles, C - 1 – pour le hameau du Lombard, C - 2 – pour le hameau du Peynin ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village d'Aiguilles, D - 1 – pour le hameau du Lombard, D - 2 – pour le hameau du Peynin.

3. 2. 2. Conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF)

L'indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) varie entre 3,76 et 10 pour le bâti, 0,20 et 2 pour les réseaux et 0,10 et 8,40 pour l'occupation du sol (Fig. 6. 12., B à 6. 19., B). Pour chacune des trois catégories d'enjeux, des valeurs d'indice élevées indiquent un niveau de CSF potentielles élevé. Les variables les plus déterminantes dans les scores de CSF calculés sont les EaR-L (Tab. 6. 2., usages du sol), EaR-D (Tab. 6. 2., fonction du bâti). Pour les enjeux de bâti, les scores de CSF les plus élevés sont obtenus pour le bâti individuel récent (postérieur aux années 1970-1980) et le bâti ayant des fonctions de secours (hôpital et casernes). Les enjeux touristiques sont également dotés de scores de CSF élevés qui les positionnent le plus souvent, dans la classe de conséquences « fortes ». Le bâti ancien en bon état a des scores de CSF généralement moins élevés (classes de conséquences « faibles » à « modérées »). Le bâti religieux, le bâti artisanal et le bâti agricole ont des scores de CSF peu élevés au regard du reste du bâti. Ils sont tous dans la classe de conséquences « négligeables ».

Dans la commune de Ristolas (Fig. 6. 12., B), la répartition des CSF est proche de celle des CC. Dans le village (Fig. 6. 12., B), le bâti ancien et le bâti agricole bordant le Guil affichent des CSF négligeables à modérées. Le bâti plus récent situé au nord-ouest (hôtel-restaurant) et au sud-est (habitat individuel) du village présente des CSF très fortes. Il en va de même des trois maisons situées à l'apex du cône du Ségure, en rive gauche du torrent. Dans le hameau de La Monta (Fig. 6. 12., B-2), les CSF sont négligeables et faibles, sauf pour l'une des deux maisons bordant le Guil (classe de conséquences « fortes »). Dans le hameau de l'Échalp (Fig. 6. 12., B-2), les CSF sont plus disparates. La moitié nord du hameau affiche des CSF modérées et fortes, tandis que la moitié sud affiche des CSF faibles et négligeables.

Dans la commune d'Abriès (Fig. 6. 13., B), la répartition des CSF fait apparaître plusieurs ensembles relativement homogènes. À l'amont du village d'Abriès, le hameau de La Garcine (Fig. 6. 13., B) présente des CSF très fortes pour l'ensemble de son bâti. Dans le village, le quartier de l'Hoche (Fig. 6. 13., B) affiche également de très fortes CSF pour la quasi-totalité de ses enjeux de bâti. Dans le bourg (Fig. 6. 13., B), la situation est plus nuancée. Les CSF calculées pour le bâti sont faibles à fortes On observe néanmoins un certain zonage dans leur répartition. Au pied du versant, en rive gauche du Bouchet, les CSF sont en majorité faibles. Dans le centre du village les CSF sont principalement modérées et fortes. Dans les hameaux du Roux (Fig. 6. 13., B-1) et de Valpréveyre (Fig. 6. 13., B-2) les CSF calculées sont principalement faibles. On note cependant plusieurs bâtiments avec des CSF fortes et très fortes aux deux extrémités du Roux (bâti récent).

Dans la commune d'Aiguilles (Fig. 6. 14., B), la répartition des CSF est assez tranchée. En amont du village, dans le camping du Gouret, les CSF sont très fortes. Dans le centre ancien, le bâti présente des CSF négligeables à modérées alors qu'en périphérie les CSF sont globalement plus fortes. Ainsi, dans le quartier de la Chalp, les CSF sont modérées à très fortes. Elles sont très fortes pour le bâti construit sur le versant (quartier de la Condamine) et fortes à très fortes dans la plaine des Ribes. Dans la zone artisanale du Peynin (Fig. 6. 14., B), Les CSF sont très fortes pour le bâti situé à l'amont du cône et négligeables pour celui situé plus en aval. Sur la terrasse torrentielle de la crue de juin 1957, les CSF sont négligeables pour le bâti agricole et, très fortes pour les bâtiments du camping. Dans le hameau du Lombard (Fig. 6. 14., B-1), cinq des sept bâtiments affichent des CSF négligeables et faibles. Les deux autres ont des CSF fortes et très fortes. Dans le hameau du Peynin (Fig. 6. 14., B-2), les résidences secondaires ont des CSF fortes et très fortes alors que les bâtiments religieux et de l'ancienne station de ski alpin ont des CSF négligeables.

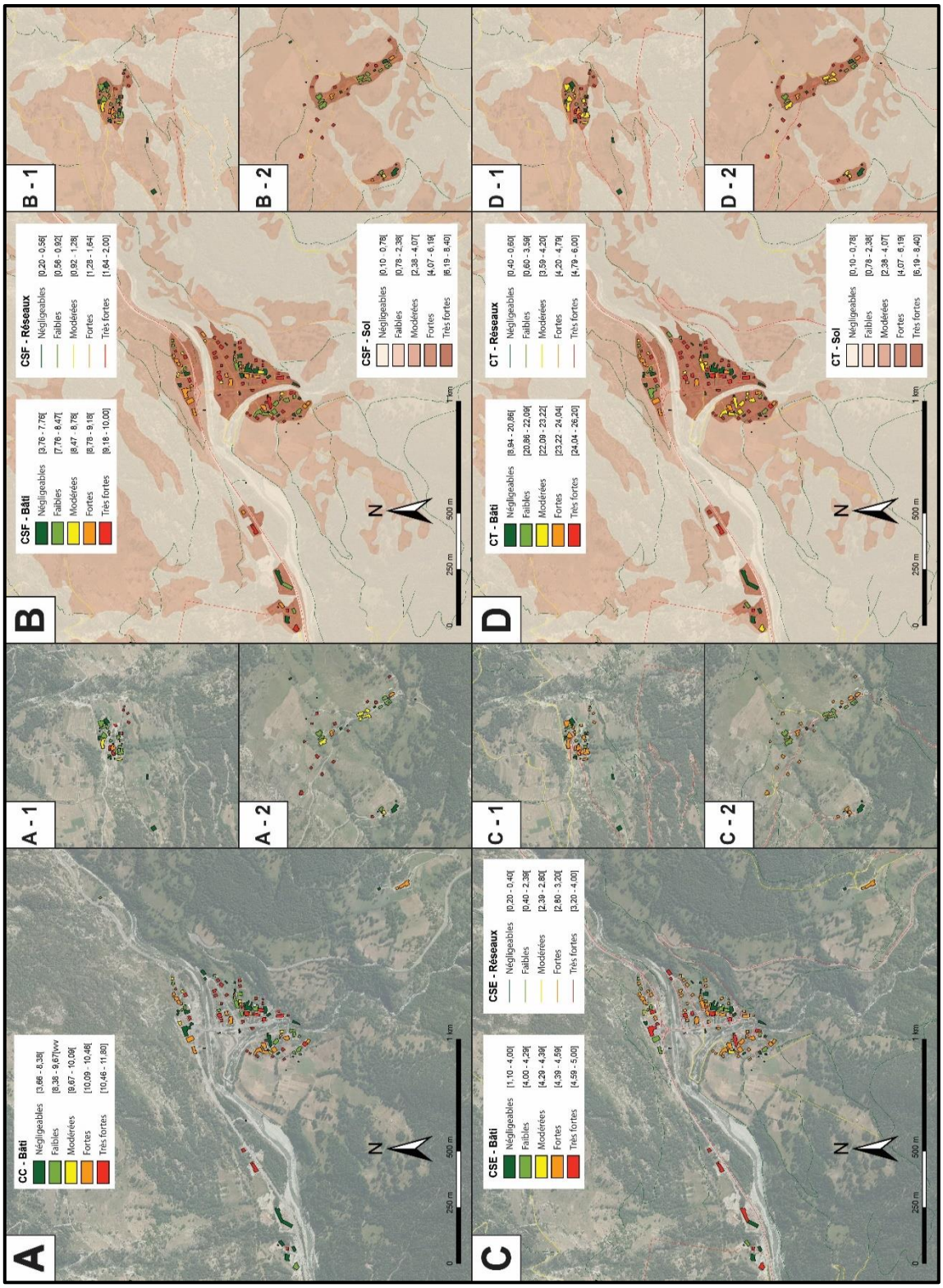


Figure 6. 15. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Château-Ville-Vieille pour l'aléa glissement de terrain (secteur de Ville-Vieille) : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Ville-Vieille, A - 1 – pour le hameau des Meyries, A - 2 – pour les hameaux de Prat-Hauts et Prat-Bas ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Ville-Vieille, B - 1 – pour le hameau des Meyries, B - 2 – pour les hameaux de Prat-Hauts et Prat-Bas ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Ville-Vieille, C - 1 – pour le hameau des Meyries, C - 2 – pour les hameaux de Prat-Hauts et Prat-Bas ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Ville-Vieille, D - 1 – pour le hameau des Meyries, D - 2 – pour les hameaux de Prat-Hauts et Prat-Bas.

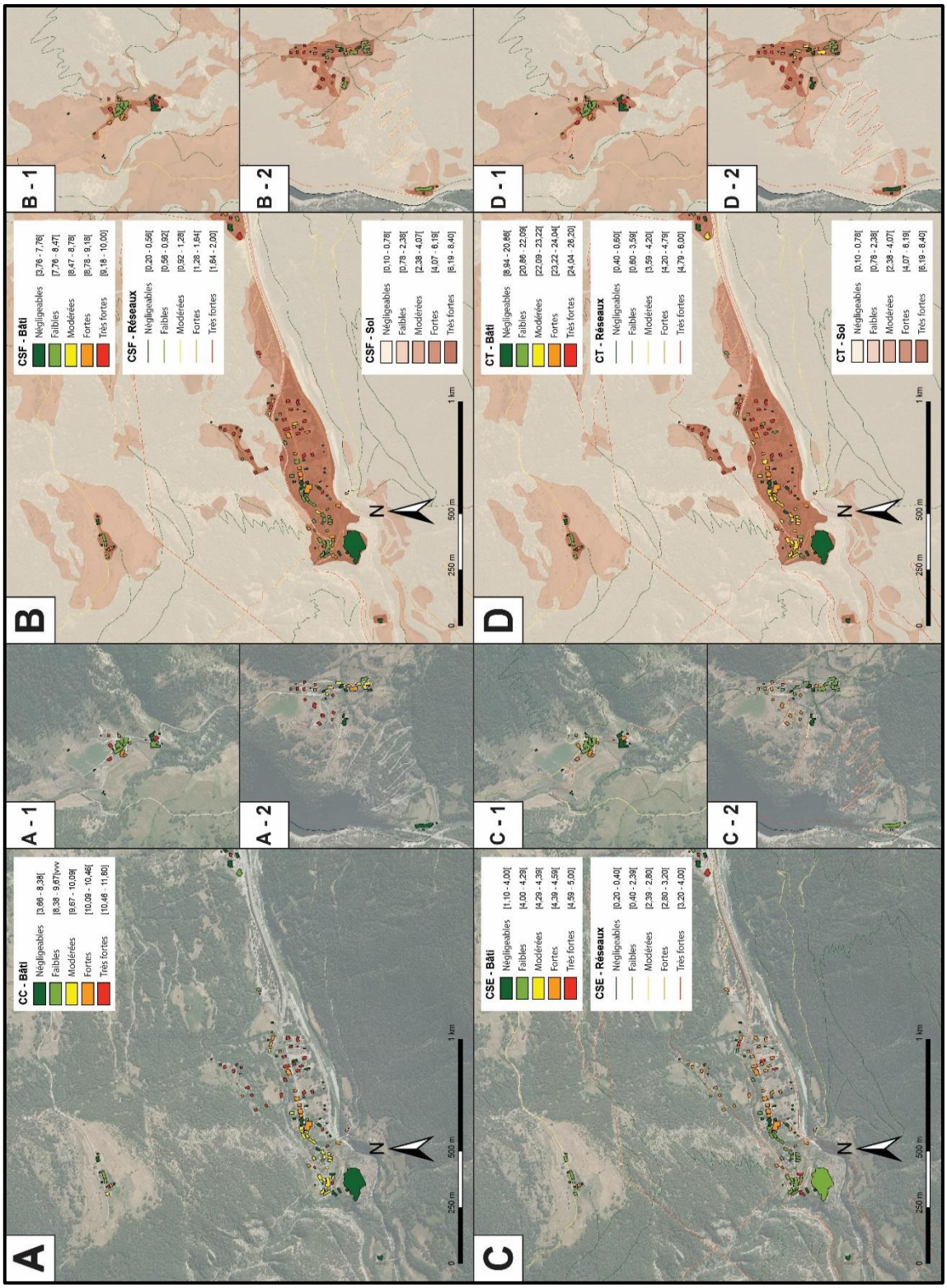


Figure 6. 16. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Château-Ville-Vieille pour l'aléa glissement de terrain (secteur de Château-Queyras) : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Château-Queyras, A - 1 – pour le hameau de Soulier, A - 2 – pour le hameau de Montbardon ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Château-Queyras, B - 1 – pour le hameau de Soulier, B - 2 – pour le hameau de Montbardon ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Château-Queyras, C - 1 – pour le hameau de Soulier, C - 2 – pour le hameau de Montbardon ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Château-Queyras, D - 1 – pour le hameau de Soulier, D - 2 – pour le hameau de Montbardon.

Dans la commune de Château-Ville-Vieille (Fig. 6. 15., B et 6. 16., B), les CSF apparaissent plus fortes en fond de vallée que sur les versants. Ce faisant, les CSF les plus fortes se trouvent dans les villages de Ville-Vieille et Château-Queyras. Dans le village de Ville-Vieille (Fig. 6. 15., B), les fortes CSF concernent surtout le bâti récent, situé en bordure du village (classes de conséquences « fortes » et « très fortes »). Le bâti ancien (quartier de la Rua et centre ancien) affiche des CSF nettement plus faibles (classe de conséquences « négligeables » et « faibles »). Entre Ville-Vieille et Château-Queyras (Fig. 6. 15., B), le bâti commercial (garage automobile, fromagerie et supermarché) présente des CSF fortes et très fortes. Il en va de même pour le transformateur électrique qui marque la fin de la ligne à haute tension reliant Guillestre à Château-Queyras. Par opposition, le bâti artisanal (scieries et entrepôts) présente des CSF négligeables et faibles. Dans le village de Château Queyras (Fig. 6. 16., B), les CSF calculées pour le bâti montrent une opposition entre le village ancien (centré autour du château) et les quartiers plus récents. Ainsi, dans le bourg ancien, la plupart du bâti s'est vu attribuée des CSF faibles. Dans la plaine et sur les hauteurs de Château-Queyras (le long de la D 444), les CSF sont principalement fortes et très fortes. Dans les hameaux rattachés à la commune (Fig. 6. 15., A-1 et A2 et Fig. 6. 16., A-1 et A-2), les CSF sont faibles pour le bâti ancien et le bâti agricole et fortes à très fortes pour le bâti d'habitat individuel récent.

Dans la commune de Molines-en-Queyras (Fig. 6. 17., B et 6. 18., B), les CSF sont assez élevées. Sur les huit hameaux que compte cette dernière, on observe une majorité de bâtiments dotés de CSF fortes et très fortes. Cela étant, la répartition des CSF au sein de la commune n'est pas homogène. Dans le hameau de la Rua (Fig. 6. 17., B), les CSF calculées montrent une opposition assez nette entre le bâti ancien (concentré au centre du hameau) et le bâti récent diffus (situé en périphérie). Le premier affiche des CSF négligeables à modérées tandis que le second présente des CSF fortes et très fortes. Dans le hameau de Gaudissard (Fig. 6. 17., B), la situation est plus homogène. L'essentiel du bâti est composé de logements individuels récents affichant des CSF très fortes. Les trois bâtiments dotés de faibles CSF sont tous associés à du bâti ancien. Dans le hameau de Molines (Fig. 6. 17., B), la répartition des CSF suit une logique similaire à celle observée dans le hameau de la Rua. Les bâtiments anciens ayant une fonction d'habitat ont des CSF négligeables et faibles. Le bâti ancien disposant de fonctions commerciales ou administratives affiche des CSF modérées et fortes. Les bâtiments plus récents, situés en périphérie du noyau historique du hameau, affichent des CSF très fortes. Au lieu-dit « le pont des Marrous » et dans le hameau du Clôt-la-Chalp (Fig. 6. 17., B-1), les CSF sont fortes et très fortes. Dans le hameau de Pierre-Grosse (Fig. 6. 18., B), la distribution des CSF montre une opposition entre le cœur ancien du hameau (classe de conséquences « faibles » et « fortes ») et les lotissements récents construits à l'amont du hameau (classes de conséquences « très fortes »). Dans le hameau de Château-Renard (Fig. 6. 18., B), la totalité du bâti présente des CSF très fortes. Dans le hameau du Coin (Fig. 6. 18., B), le bâti a des CSF négligeables et faibles dans la partie est du hameau et fortes dans sa partie ouest. Dans le hameau de Fongillarde (Fig. 6. 18., B), les CSF sont globalement moins importantes que dans le reste de la commune. Une bonne partie du bâti présente des CSF négligeables et faibles. Là encore seul le bâti récent affiche des CSF plus importantes (classes de conséquences « fortes » et « très fortes »).

Dans la commune de Saint-Véran (Fig. 6. 19., B), la répartition des CSF est plus hétérogène. Dans le village, le bâti ancien a des CSF faibles ou fortes selon les fonctions qu'il occupe (habitat ou mixte habitat et commerciale). Aux extrémités du village, le bâti affiche des CSF très fortes. Les bâtiments concernés sont tous de facture récente. Dans le hameau du Raux, (Fig. 6. 19., B), deux tiers du bâti affichent des CSF négligeables et faibles. Le tiers restant, composé de bâtiments touristiques, montre des CSF modérées et fortes. Aux lieux-dits « le Cros » et « la Croix de Juan », les CSF sont fortes et très fortes. Il s'agit de fait, d'hébergements touristiques (gîtes et centre de vacances). Dans le hameau de La Chalp (Fig. 6. 19., B-1), les CSF sont principalement fortes et très fortes.

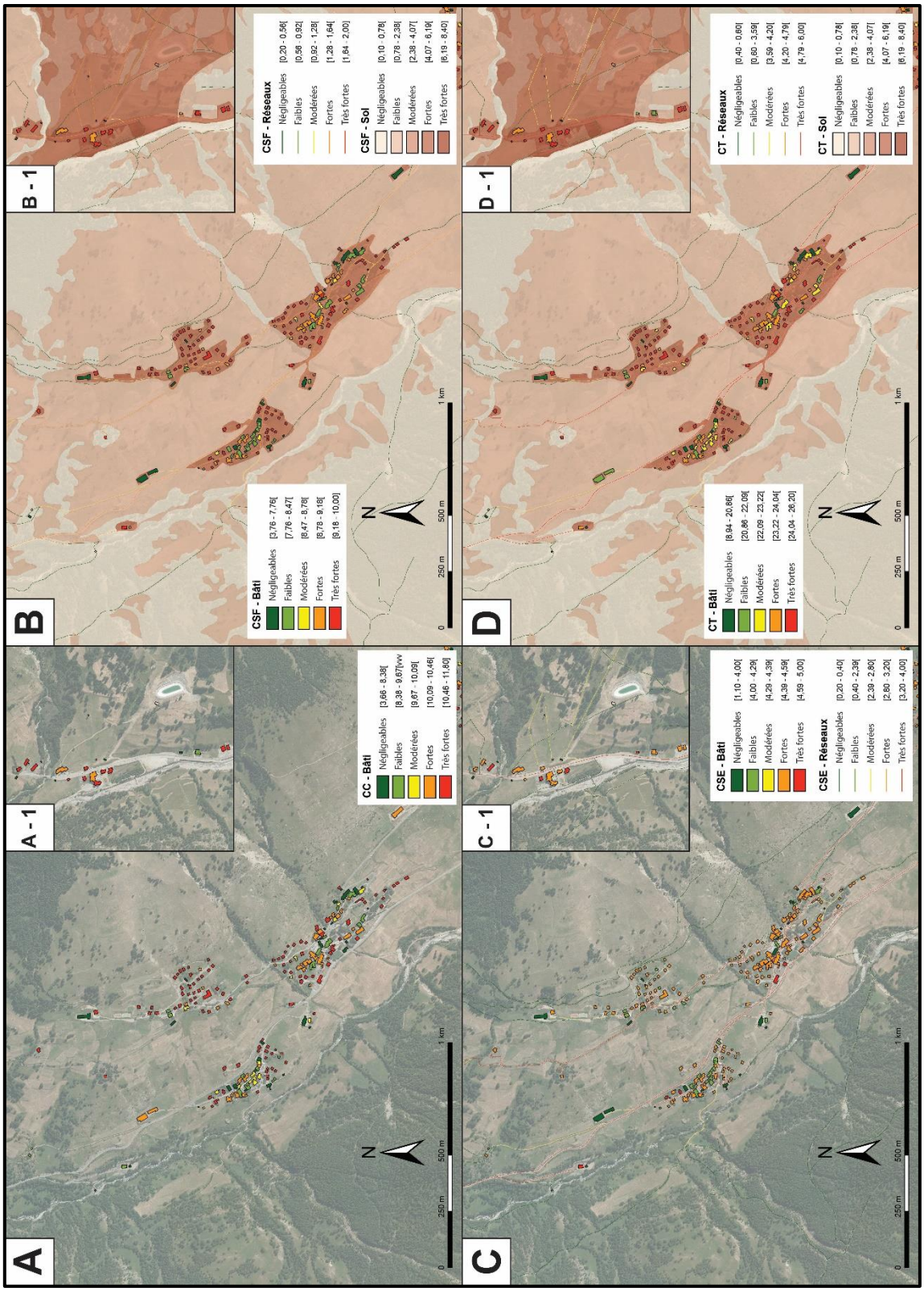


Figure 6. 17. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Molines-en-Queyras pour l'aléa glissement de terrain (secteur de Molines-en-Queyras / La Rua / l'Adret / Gaudissart / le Serre) : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Molines-en-Queyras, A - 1 – pour le hameau du Clôt-La-Chalpe ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Molines-en-Queyras, B - 1 – pour le hameau du Clôt-La-Chalpe; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Molines-en-Queyras, C - 1 – pour le hameau du Clôt-La-Chalpe; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Molines-en-Queyras, D - 1 – pour le hameau du Clôt-La-Chalpe.

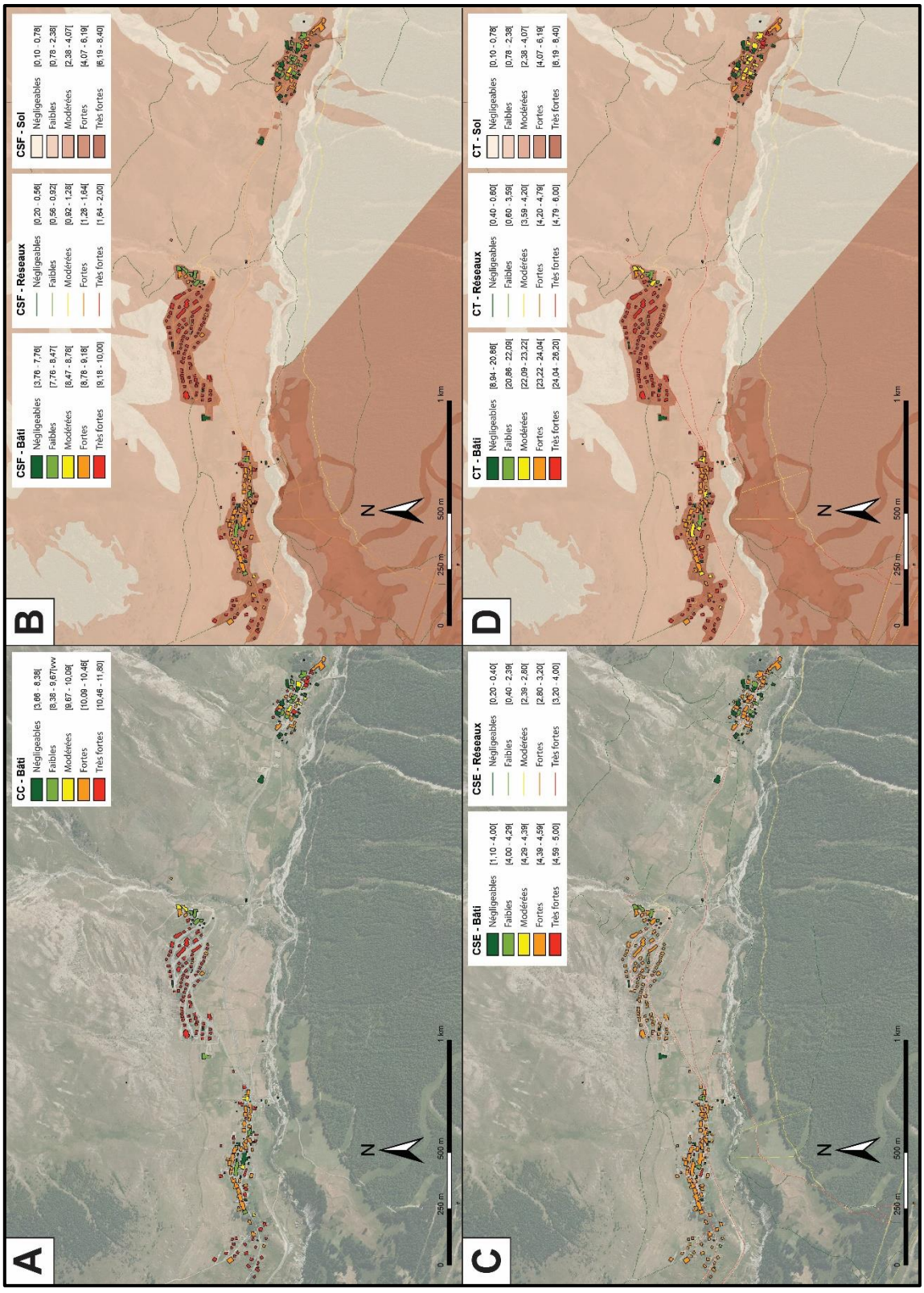


Figure 6. 18. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Molines-en-Queyras pour l'aléa glissement de terrain (secteur de Pierre-Grosse / Château-Renard / Le Coin / Fongillarde) : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour les hameaux de Pierre-Grosse, Château-Renard, Le Coin et Fongillarde ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour les hameaux de Pierre-Grosse, Château-Renard, Le Coin et Fongillarde ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour les hameaux de Pierre-Grosse, Château-Renard, Le Coin et Fongillarde ; D – indice des conséquences totales (CT) pour les hameaux de Pierre-Grosse, Château-Renard, Le Coin et Fongillarde.

Dans le Queyras, les conséquences potentielles structurelles et fonctionnelles directes sont globalement fortes. La commune qui affiche les conséquences potentielles les plus fortes est la commune de Molines-en-Queyras. Si l'on excepte les hameaux du Coin et de Fongillarde, l'essentiel de son bâti présente des conséquences fortes et très fortes. Dans la vallée du Guil, ce sont les villages d'Abriès et d'Aiguilles qui présentent les CSF les plus importantes. En termes d'enjeux, ce sont majoritairement les logements récents qui sont concernés. Comme pour les CC, de nombreux enjeux situés en fond de vallée et sur les cônes de déjection affichent des CSF fortes alors même qu'ils ont peu de chances d'être impactés.

3. 2. 3. Conséquences socio-économiques (CSE)

Les scores de l'indice des conséquences socio-économiques (CSE) sont compris entre 1,10 et 5 pour le bâti et 0,20 et 4 pour les réseaux (Fig. 6. 12., C à 6. 19., C). Les résultats de la classification des scores obtenus avec la méthode adaptée à l'aléa « glissements de terrain » sont plus contrastés que ceux obtenus avec la méthode adaptée à l'aléa « crue torrentielle ». Le bâti religieux et le bâti agricole ont des scores de CSE faibles du fait des pondérations affectées aux variables « matériaux de construction » (EaR-A, Tab. 6. 21.) et « fonction du bâti » (EaR-D, Tab. 6. 21.). Il est donc principalement réparti dans la classe de conséquences « négligeables ». Le bâti artisanal ayant une fonction de stockage présente un niveau de CSE équivalent (hangars et garages en tôles). En revanche, le bâti artisanal avec une fonction de production ou de transformation (scierie, fromagerie, etc.) a des scores de CSE élevés qui le place principalement dans la classe de conséquences « très fortes ». Le bâti ancien (antérieur à 1950), construit avec des matériaux traditionnels (pierre et bois) et ayant une fonction première d'habitat, est plutôt réparti dans les classes de conséquences « faibles » et « modérées ». Les logements plus récents sont, eux, surtout répartis dans la classe de conséquences « fortes ». Le bâti « sensible » (écoles, hôpital, station d'épuration, etc.), ou ayant d'importantes fonctions économiques (tourisme, production artisanale, etc.) est pour sa part classé avec un niveau de conséquences potentielles « très fortes ».

Dans la commune de Ristolas (Fig. 6. 12., C), les CSE sont négligeables pour le bâti agricole et le bâti religieux. Elles sont faibles pour le bâti ancien ayant une fonction d'hébergement et fortes pour le bâti récent ayant des fonctions touristiques et/ou d'habitat. En termes de répartition spatiale, les CSE sont négligeables dans la partie nord-ouest du village, faibles dans sa partie centrale et, fortes dans le reste du village. Dans le hameau de La Monta (Fig. 6. 12., C-1), les CSE sont fortes. Seule l'église affiche des CSE négligeables du fait de sa fonction secondaire. Dans le hameau de l'Échalp (Fig. 6. 12., C-2), les CSE sont négligeables pour l'église et le garage qui lui fait face, faibles pour le bâti d'habitat et fortes pour le bâti touristique (gîte d'étape).

Dans la commune d'Abriès (Fig. 6. 13., C), la majorité du bâti se place dans la classe de conséquences « fortes ». Dans le détail, la discrétisation des CSE laisse néanmoins apparaître plusieurs espaces distincts en termes de conséquences potentielles. Ainsi, dans le hameau de La Garcine (Fig. 6. 13., C), l'intégralité du bâti affiche des CSE fortes. Dans le village d'Abriès (Fig. 6. 13., C), les CSE sont également fortes pour la quasi-totalité du bâti d'habitat. Cependant, au pied du versant de rive gauche du torrent de Bouchet, on observe des CSE plus faibles (classes de conséquences « négligeables » et « faibles »). Enfin, on observe des CSE très fortes en centre-ville, dans le camping et pour les enjeux sensibles (station d'épuration et école). Dans les hameaux du Roux (Fig. 6. 13., C-1) et de Valpréveyre (Fig. 6. 13., C-2), les CSE sont essentiellement réparties dans les classes de conséquences « faibles » et « fortes ».

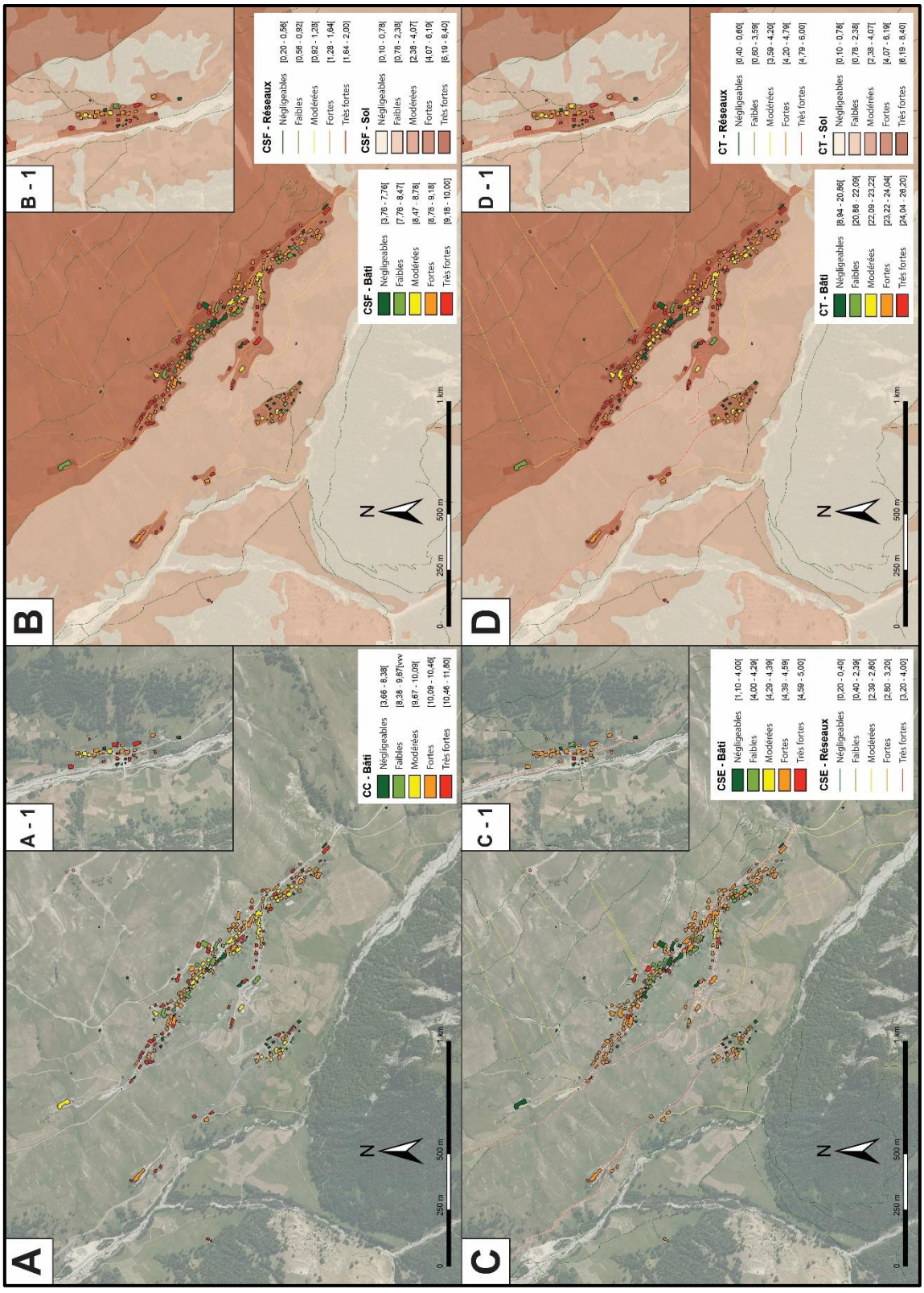


Figure 6. 19. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Saint-Véran pour l'aléa glissement de terrain : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Saint-Véran, A - 1 – pour le hameau de La Chalp; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Saint-Véran, B - 1 – pour le hameau de La Chalp; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Saint-Véran, C - 1 – pour le hameau de La Chalp; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Saint-Véran, D - 1 – pour le hameau de la Chalp.

Dans la commune d'Aiguilles (Fig. 6. 14., C), la répartition des CSE laisse apparaître plusieurs ensembles relativement homogènes. À l'amont du village d'Aiguilles, dans le camping du Gouret, le bâti affiche des CSE fortes et très fortes. Dans le village, les CSE sont modérées en centre-ville, faibles dans le reste du bourg ancien, et, fortes dans les quartiers plus récents (La Chalpet la Condamine). Les valeurs de CSE les plus fortes (classe de conséquences « très fortes ») concernent les enjeux sensibles (école et hôpital) et le bâti artisanal. Sur le cône du Peynin et la terrasse torrentielle de 1957, les CSE sont très fortes pour le bâti artisanal (sommet du cône) et négligeables pour le bâti agricole et le bâti de stockage (hangars). Dans le hameau du Lombard (Fig. 6. 14., C-1) et dans celui du Peynin (Fig. 6. 14., C-2), les CSE sont principalement faibles (église et cabanes) et fortes (habitat).

Dans la commune de Château-Ville-Vieille (Fig. 6. 15., C et 6. 16., C), les CSE sont également assez fortes. À Ville-Vieille (Fig. 6. 15., C), elles sont négligeables et faibles pour le bâti de stockage et le bâti religieux, fortes pour le bâti d'habitat et très fortes pour le bâti artisanal. Entre Ville-Vieille et Château-Queyras (Fig. 6. 15., C), le bâti artisanal affiche des CSE très fortes pour le bâti artisanal et, négligeables pour le bâti de stockage. Dans le village de Château-Queyras (Fig. 6. 16., C), le bâti situé à proximité du château affiche des CSE faibles et celui situé en fond de vallée des CSE fortes et très fortes. Dans le hameau de Meyriès (Fig. 6. 15., C-1), les CSE sont fortes pour le bâti d'habitat et négligeables pour le bâti agricole. Dans le hameau des Prats (Fig. 6. 15., C-2), le bâti ancien affiche des CSE faibles et le bâti récent des CSE fortes. Dans le hameau de Soulier (Fig. 6. 16., C-1), les CSE sont négligeables pour le bâti agricole, faibles pour le bâti commercial et fortes pour le bâti d'habitat. Dans le hameau de Montbardon, (Fig. 6. 16., C-2), les CSE sont négligeables pour le bâti agricole et le bâti religieux, faibles pour les habitats anciens et fortes pour les habitats récents.

Dans la commune de Molines-en-Queyras (Fig. 6. 17., C et 6. 18., C), la majorité du bâti est classée avec des CSE fortes. Dans le hameau de la Rua (Fig. 6. 17., C), le bâti ancien a des CSE faibles et le bâti récent des CSE fortes. Dans le hameau de Gaudissard (Fig. 6. 17., C), les CSE sont fortes pour l'essentiel du bâti. Dans le hameau de Molines-en-Queyras (Fig. 6. 17., C), les CSE sont globalement fortes. Dans le hameau du Clôt-La-Chalpe (Fig. 6. 17., C-1), les CSE sont fortes et très fortes. Dans les hameaux de Pierre-Grosse et de Château-Renard (Fig. 6. 18., C), les CSE sont fortes pour la totalité du bâti. Dans le hameau du Coin (Fig. 6. 18., C), les CSE sont faibles pour le bâti ancien et, fortes pour le bâti plus récent. Dans le hameau de Fongillarde (Fig. 6. 18., C), la répartition des CSE est plus nuancée. La moitié affiche des CSE négligeables et faibles, tandis que l'autre moitié présente des CSE fortes.

Dans la commune de Saint-Véran (Fig. 6. 19., C), les CSE sont principalement fortes. Dans le village, les CSE sont négligeables pour le bâti religieux et le bâti de stockage et, faibles et fortes pour le bâti d'habitat. Dans le hameau du Raux (Fig. 6. 19., C), les CSE sont négligeables pour le bâti de stockage, et faibles et fortes pour les habitats et logements touristiques. Aux lieux-dits « le Cros » et « la Croix de Juan » (Fig. 6. 19., C), les CSE sont fortes. Dans le hameau de La Chalp (Fig. 6. 19., C-1), les CSE sont négligeables pour le religieux, fortes pour l'habitat et très fortes pour le bâti artisanal.

À l'échelle du Queyras les conséquences socio-économiques liées aux glissements de terrain sont fortes et très fortes et ce, de manière quasi-uniforme. D'une manière générale, le bâti d'habitat a des CSE fortes tandis que les bâtiments ayant des fonctions capitales dans le fonctionnement du territoire ont des CSE très fortes. Seuls les centres anciens de Ristolas, Aiguilles et Château-Queyras affichent des CSE plus faibles (faibles et modérées).

3. 2. 4. Conséquences totales (CT)

La carte des conséquences potentielles totales (CT) adaptée à l'aléa « glissements de terrain » a été obtenue en additionnant les valeurs des indices des conséquences corporelles (CC), des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) et des conséquences socio-économiques (CSE) calculées pour l'aléa « glissement de terrain » (Fig. 6. 12., D à 6. 19., D). L'indice des CT varie entre 8,94 et 26,20 pour le bâti, 0,40 et 6 pour les réseaux et 0,10 et 8,40 pour l'occupation du sol. Les indices des CC (valeur max. : 11,80) et des CSF (valeur max. : 10) ont un poids à peu près équivalent dans le calcul des CT. L'indice des CSE a un rôle moindre (valeur max. : 5). Les enjeux de bâti qui ont les scores de CT les plus élevés sont les logements individuels et collectifs récents (postérieurs aux années 1970-1980). Les enjeux majeurs du territoire ont également des scores de CT élevés qui les placent dans les classes de conséquences « fortes » et « très fortes ». Le bâti ancien présente des scores de CT moins élevés. La majorité de ce bâti se place dans les classes de conséquences « faibles » et « modérées ». Cependant, selon les fonctions dont il dispose, il est parfois réparti dans les classes de conséquences « négligeables » et « fortes ». Le bâti « non habité » (entrepôts, églises, bâti artisanal, etc.) est, lui, généralement classé dans la classe de conséquences « négligeables ».

La répartition des conséquences potentielles totales liées aux glissements de terrain dans la commune de Ristolas (Fig. 6. 12., D) fait apparaître plusieurs ensembles. Dans le village, les CT sont négligeables pour le bâti agricole situé le long du Guil et du Ségure. Elles sont faibles et modérées pour le bâti ancien occupant la partie centrale du village et, très fortes pour les logements récents situés au sud-est du village. Dans le hameau de La Monta (Fig. 6. 12., D-1), l'église affiche des CT négligeables, le gîte des CT faibles et les deux maisons situées au bord du Guil des CT modérées et fortes. Dans le hameau de l'Échalp (Fig. 6. 12., D-2), les CT sont négligeables pour l'église et le garage qui lui fait face. Elles sont modérées à très fortes pour le bâti d'habitat et le gîte d'étape.

Dans la commune d'Abriès (Fig. 6. 13., D), la répartition des CT laisse également apparaître plusieurs ensembles relativement homogènes. Ainsi, dans le hameau de La Garcine, les CT sont très fortes pour l'ensemble du bâti. Dans le village (Fig. 6. 13., D), les CT sont très fortes pour le bâti construit à flanc de versant (quartier de l'Hoche). En aval de la confluence entre le Bouchet et le Guil, les CT sont négligeables et faibles, exception faites de la station d'épuration (classe de conséquences fortes). Dans le centre du village (Fig. 6. 13., D), les CT sont moins homogènes. Elles varient de négligeables à très fortes. Notons cependant que la plupart du bâti est réparti dans les classes de conséquences modérées et fortes. Dans le hameau du Roux (Fig. 6. 13., D-1), les CT varient de négligeables à très fortes mais l'essentiel du bâti est dans des classes de conséquences faibles et modérées. Seul le bâti récent, situé aux deux extrémités du hameau, a des CT fortes et très fortes. Dans le hameau de Valpréveyre (Fig. 6. 13., D-2), les CT sont principalement négligeables (église, chapelle et ruines) et modérées (logements secondaires). Quatre bâtiments affichent néanmoins des CT fortes et très fortes.

Dans la commune d'Aiguilles (Fig. 6. 14., D), on observe une opposition assez nette entre le bâti ancien situé dans le centre ancien et le bâti récent construit en périphérie. Dans le centre ancien les CT sont faibles à modérées. Dans les quartiers plus récents de La Chalp et de la Condamine (Fig. 6. 14., D), les CT sont très fortes. Dans et en bordure de la plaine des Ribes, les CT sont très fortes. C'est notamment le cas de l'hôpital et de la maison de retraite. Sur le cône du Peynin et la terrasse torrentielle de 1957, les CT sont modérées à très fortes pour le bâti artisanal de type atelier et, négligeables pour le bâti agricole et le bâti de stockage (hangars). Dans le hameau du Lombard (Fig. 6. 14., D-1), les CT sont négligeables pour l'église et modérées et très fortes pour le reste du bâti. Dans le hameau de Peynin (Fig. 6. 14., D-2), les CT sont très fortes pour le bâti d'habitat secondaire et, négligeables pour le bâti religieux et les bâtiments de l'ancienne station de ski d'Aiguilles.

Dans la commune de Château-Ville-Vieille (Fig. 6. 15., D et 6. 16., D), la cartographie des CT montre une majorité de bâtiments dans les classes de conséquences modérées et très fortes. Dans le village de Ville-Vieille (Fig. 6. 15., D), les CT varient de négligeables à très fortes. Dans le vieux village de Ville-Vieille, la plupart du bâti affiche des CT négligeables ou très fortes. Dans le quartier de la Rua (Fig. 6. 15., D), le bâti ancien affiche des CT faibles et modérées et le bâti plus récent des CT fortes et très fortes. Dans le quartier de la Casse (Fig. 6. 15., D), la répartition des CT est plus confuse. Entre Ville-Vieille et Château-Queyras (Fig. 6. 15., D), les CT sont modérées à très fortes pour le bâti commercial (garage automobile, fromagerie et supermarché) et négligeables et faibles pour le bâti artisanal ou de stockage (scierie et hangars à bus). Dans le village de Château-Queyras (Fig. 6. 16., D), le clivage entre bâti ancien et bâti récent apparaît clairement. En fond de vallée, le bâti affiche essentiellement des CT fortes et très fortes tandis que dans le bourg historique les CT sont négligeables (église, château et dépendances) à modérées (habitats). Sur les hauteurs du village (Fig. 6. 16., D), les logements individuels récents affichent des CT très fortes. Dans les hameaux du Rouet (Fig. 6. 15., D) et de Meyriès (Fig. 6. 15., D-1), les CT sont négligeables pour le bâti religieux et agricole. Elles sont faibles et modérées pour le bâti ancien et, fortes à très fortes pour le bâti plus récent. Dans les hameaux de Prat-haut et Prat-bas (Fig. 6. 15., D-2), le bâti ancien affiche des CT négligeables à modérées tandis que le bâti récent présente des CT fortes et très fortes. Dans le hameau de Soulier (Fig. 6. 16., D-1), les CT sont négligeables pour le bâti agricole et religieux, faibles pour le bâti ancien et, fortes à très fortes pour le bâti récent. Dans le hameau de Montbardon (Fig. 6. 16., D-2), la répartition des CT suit exactement la même logique.

Dans la commune de Molines-en-Queyras (Fig. 6. 17., D et 6. 18., D), les CT calculées pour le bâti sont très différenciées selon le hameau considéré. Ainsi, dans le hameau de la Rua (Fig. 6. 17., D), les CT sont négligeables à modérées pour le bâti ancien et fortes et très fortes pour le bâti récent construit à ses deux extrémités. Dans le hameau de Gaudissard (Fig. 6. 17., D), le bâti présente essentiellement des CT fortes et très fortes. Seul l'hôtel, ancien et construit en matériaux traditionnels, affiche des CT plus faibles (classe de conséquence « faibles »). Dans le hameau de Molines-en-Queyras (Fig. 6. 17., D), les CT sont négligeables à fortes pour le bâti ancien et, très fortes pour le bâti récemment implanté en périphérie du hameau. Au lieu-dit « le pont des Marrous » et dans le hameau du Clôt-La-Chalpe (Fig. 6. 17., D-1), les CT sont fortes et très fortes. À Pierre-Grosse (Fig. 6. 18., D), les CT sont négligeables à modérées au centre du hameau, fortes dans le reste de son cœur historique et très fortes dans le nouveau lotissement construit à flanc de versant. Dans le hameau de Château-Renard (Fig. 6. 18., D), les CT sont, dans l'ensemble, très fortes. Au Coin (Fig. 6. 18., D), les CT sont négligeables (cabanes et garages) à fortes (logements et hôtel). Dans le hameau de Fongillarde (Fig. 6. 18., D), les CT sont moindres. L'essentiel du bâti du hameau affiche des CT négligeables à modérées. Le bâti affichant des CT plus fortes se situe aux deux extrémités du hameau.

Dans la commune de Saint-Véran (Fig. 6. 19., D), la plupart du bâti est classé dans les classes de conséquences « modérées » à « très fortes ». Dans le village, les CT sont, négligeables pour le bâti religieux, modérées et fortes pour les logements et les commerces et, très fortes pour le bâti récent. Ce dernier se situe principalement à l'amont et à l'aval du village (Fig. 6. 19., D). Dans le hameau du Raux (Fig. 6. 19., D), les CT sont négligeables pour le bâti inhabité (cabanes et garages), modérées et fortes pour les logements et très fortes pour le bâti touristique. Aux lieux-dits « le Cros » et « la Croix de Juan » (Fig. 6. 19., D), les CT sont fortes à très fortes. Dans le hameau de La Chalp (Fig. 6. 19, D-1), les CT sont, négligeables pour le bâti religieux, modérées et fortes pour les logements et très fortes pour le bâti touristique (hôtel et atelier de menuiserie) et le bâti sensible (crèche).

Les conséquences potentielles totales liées aux glissements de terrain sont fortes dans le Queyras. De fait, les trois indices des CC, CSF et CSE indiquent de fortes conséquences potentielles sur

l'ensemble des communes du territoire. Les enjeux de bâti qui présentent les CT les plus fortes sont les logements individuels et collectifs récents (période de construction 1970 – 2000). Les enjeux disposant de fonctions clés pour le territoire ont également des scores de CT élevés (classes de conséquences « fortes » et « très fortes »). Par opposition, le bâti ancien présente généralement des scores de CT plus modestes (classes de conséquences « faibles » et « modérées »). Le bâti « non habité » (entrepôts, églises, bâti artisanal, etc.) est, lui, généralement classé dans la classe de conséquences « négligeables ».

3. 2. 5. Bilan des conséquences potentielles liées aux glissements de terrain

Les résultats présentés ci-avant ont permis de dégager les types de conséquences dominantes et de mettre en lumière les catégories d'enjeux et les espaces présentant d'importantes conséquences potentielles en cas de glissements de terrain (Tab. 6. 4.).

D'après la cartographie des conséquences potentielles réalisée sur les communes queyrassines, ce sont les conséquences corporelles qui apparaissent comme les plus fortes en cas de glissement de terrain (Tab. 6. 4.). Les conséquences structurelles et fonctionnelles directes sont globalement fortes, mais elles concernent moins d'enjeux que les CC. Les conséquences socio-économiques sont homogènes à l'échelle du Queyras, la plupart des enjeux affichant des conséquences fortes à très fortes.

Méthode adaptée à l'aléa "glissements de terrain"					
Commune	Indices / villages	CC	CSF	CSE	CT
Commune de Ristolas	L'Échalp	+	=	+	+
	La Monta	=	=	+	=
	Ristolas	+	+	+	+
Commune d'Abriès	La Garcine	+ +	+ +	+ +	+ +
	Abriès	+ +	+ +	+ +	+ +
	Valpréveyre	+	-	-	=
	Le Roux	=	-	+	=
Commune d'Aiguilles	Aiguilles	+	+	+	+
	Lombard	+ +	-	-	+
	Peynin	+ +	+ +	=	+ +
Commune de Château-Ville-Vieille	Ville-Vieille	+ +	+	+ +	+
	Château-Queyras	+	+	+	+
	Les Prats	=	=	=	+
	Meyriès	-	-	+	=
	Soulier	-	=	=	=
	Montbardon	+	=	=	=
Commune de Molines-en-Queyras	La Rua	+	=	+	=
	Molines-en-Queyras	+ +	+ +	+ +	+ +
	Gaudissard	+ +	+ +	+ +	+ +
	Clot-la-Chalp	+ +	+ +	+ +	+ +
	Pierre-Grosse	+ +	+ +	+ +	+ +
	Château Renard	+ +	+ +	+ +	+ +
	Le Coin	=	-	+	=
	Fongillarde	=	-	+	=
Commune de Saint-Véran	Saint-Véran	+ +	+	+	+
	Le Raux	+	=	=	+
	La Chalpe	+ +	+	+	+ +

Tableau 6. 4. : Appréciation qualitative des résultats de la classification des conséquences potentielles obtenues pour le bâti avec la méthode adaptée à l'aléa « glissements de terrain ». Les symboles et couleurs figurent l'aspect général des entités concernés en matière de conséquences potentielles : ++ sur fond rouge : conséquences très fortes, + sur fond orange : conséquences fortes, = sur fond jaune : conséquences modérées, - sur fond vert clair : conséquences faibles, -- sur fond vert foncé : conséquences négligeables.

Pour les enjeux de bâti, les résultats des classifications des conséquences potentielles sont plus contrastés que ceux obtenus avec la méthode adaptée à l'aléa « crue torrentielle ». Les enjeux de bâti peuvent toutefois être réunis selon différents profils types. Ainsi, les enjeux classés avec de très fortes conséquences sont avant tout ceux dotés de fonctions essentielles pour le territoire, à savoir, les écoles, les casernes (Aiguilles, Château-Queyras et Saint-Véran), l'hôpital/maison de retraite (Aiguilles) et les équipements électriques (Château-Queyras et Molines-en-Queyras). Les enjeux classés avec des conséquences fortes sont majoritairement des logements construits sur la période 1970 – 2000. Les enjeux touristiques sont également classés avec de fortes conséquences potentielles, et ce, quel que soit l'indice considéré (CC, CSF, CSE et CT). Si le bâti ancien (antérieur à 1950) affiche globalement des conséquences plus faibles que le bâti récent, la différence est moins nette que celle obtenue avec la méthode adaptée aux crues torrentielles. De fait, les matériaux de construction traditionnels (pierre et bois) et récents (béton et parpaing) offrent des résistances mécaniques aux glissements relativement proches et ont donc des poids identiques dans les indices. Selon les fonctions attribuées à ces bâtiments, ils sont répartis dans les classes faibles à fortes. Comme pour la méthode PDI adaptée aux crues torrentielles, les bâtiments « non-habités » (bâti religieux, agricoles et de stockage) affichent des conséquences potentielles faibles et négligeables.

La classification des enjeux de réseaux est essentiellement fonction de leurs rôles dans le bon fonctionnement du territoire queyrassin (Tab. 6. 2.). En toute logique, ce sont donc les réseaux essentiels (route D 947 et ligne à haute tension) qui affichent les conséquences potentiels (CSF, CFI et CT) les plus fortes. Les réseaux secondaires (routes menant aux différents hameaux et remontées mécaniques) présentent des conséquences potentielles modérées ou fortes, et les réseaux annexes (routes forestières et chemins) des conséquences faibles ou négligeables. Pour les enjeux d'occupation/usages de sols, c'est également l'aspect fonctionnel qui prime (Tab. 6. 2.). Les enjeux surfaciques présentant des conséquences potentielles fortes et très fortes (CSF et CT) sont formés par les espaces urbanisés (zones urbaines, campings et parkings) et les espaces à vocation touristique, notamment hivernale (domaines skiables, espaces ludiques et terrains de sport). Les surfaces employées à des fins agro-pastorales ont des conséquences modérées et les espaces forestiers des conséquences faibles.

En matière de répartition spatiale, les conséquences potentielles apparaissent plus fortes dans les vallées des Aigues que dans la vallée du Guil (Tab. 6. 4.). Dans les vallées de l'Aigue Blanche et de l'Aigue Agnelle, la plupart du bâti affiche des conséquences fortes et très fortes. C'est particulièrement le cas pour les hameaux de Gaudissard, du Clôt-La-Chalpe et de Château-Renard. Ces trois hameaux sont d'ailleurs ceux qui comptent le plus de bâtiments récents. Dans la vallée du Guil, ce sont les principaux villages (Abriès, Aiguilles, Ville-Vieille et Château-Queyras) qui concentrent l'essentiel des enjeux classés avec de fortes conséquences potentielles. En dehors de La Garcine et de Peynin, les hameaux rattachés à ces villages (L'Échalp, La Monta, Le Roux, Valpréveyre, Meyriès, le Rouet, les Prats, Soulier et Montbardon) ont des conséquences potentielles plus faibles (Tab. 6. 4.). Dans les villages en eux même, les fortes conséquences sont situées davantage dans les lotissements périphériques que dans les centres villes (Tab. 6. 4.). Les zones artisanales, situées principalement sur des cônes torrentiels et des terrasses alluviales, affichent des conséquences faibles et négligeables en raison de leurs faibles conséquences corporelles.

La méthode PDI adaptée à l'aléa « glissement de terrain » a permis de faire ressortir les éléments les plus susceptibles d'entraîner des conséquences néfastes pour le Queyras et ses habitants. Comme tout modèle, celui-ci peut cependant encore être amélioré. Plusieurs voies peuvent être explorées pour ce faire. La plus robuste consisterait à davantage intégrer dans la méthode les différents types de dommages inhérents aux glissements de terrain ; à savoir les déplacements latéraux, les déplacements verticaux (affaissements), les déstabilisations liées aux effets de sape et les ensevelissements dus aux déplacements de matériaux. Ceci nécessiterait cependant un travail considérable de collecte de données,

tant sur les propriétés mécaniques des matériaux de construction que sur les caractéristiques architecturales des différents types d'enjeux (présence d'assises ou de pieux assurant une mise en charge des bâtiments sur des bases stables, présence de dalles de fond et/ou de parois extérieures renforcées, etc.). Ces informations étant difficiles à obtenir, une autre voie consisterait à analyser en détail les textes de loi régissant la construction en montagne afin de les comparer avec les dates de mise en chantier des différents enjeux. Si une telle démarche permet de s'affranchir des observations de terrain, elle reste néanmoins très exigeante en temps de travail. D'autres alternatives plus simples, mais plus critiquables car qualitatives, pourraient être explorées. À cet égard, on peut songer à l'ajout d'un critère « distance au torrent », qui pourrait permettre d'intégrer les possibles affouillements liés à l'érosion régressive des berges des torrents. On pourrait aussi ajouter un critère de position tel que proposé dans la conclusion sur les conséquences potentielles liées aux crues torrentielles (fond de vallée, cône torrentiel, pied de versant, milieu de versant et sommet de versant). Enfin, on pourrait songer à discriminer les enjeux en fonction de la densité de drainage de la zone dans laquelle ils se situent, afin de mettre en exergues les espaces dont les sols sont fréquemment saturés en eau.

3. 3. Les conséquences potentielles liées aux avalanches

Les conséquences potentielles liées aux avalanches sont illustrées par les figures 6. 20. à 6. 27. La première cartographie abordée est celle des conséquences corporelles (CC, Fig. 6. 20., A à 6. 27., A). Ensuite sont décrites les conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF, Fig. 6. 20., B à 6. 27., B), les conséquences socio-économiques (CSE, Fig. 6. 20., C à 6. 27., C) et les conséquences potentielles totales (CT, Fig. 6. 20., D à 6. 27., D). Les résultats relatifs aux enjeux de réseaux et d'occupation du sol sont les mêmes que pour les méthodes adaptées aux aléas « crue torrentielle » et « glissement de terrain ». Ce faisant, seuls les résultats relatifs aux enjeux de bâti seront décrits ici.

3. 3. 1. Conséquences corporelles (CC)

Les valeurs de l'indice des conséquences corporelles (CC) appliquées au bâti sont comprises entre 2,97 et 15,80 (Fig. 6. 20., A à 6. 27., A). Les variables qui ont le plus de poids dans la construction de cet indice sont les EaR-F (nombre d'étages occupés, Tab. 6. 2.) et EaR-H (protection, Tab. 6. 2.). Les changements de pondération dans les variables EaR-A (matériaux de construction, Tab. 6. 2.) et EaR-C (âge du bâti, Tab. 6. 2.) et l'adjonction de la variable EaR-H (protection, Tab. 6. 2.) impliquent une lecture différente des résultats. L'attribution des scores de CC est, ici, davantage liée à l'architecture du bâti qu'à sa fonction. Ainsi, le bâti récent (postérieur à 2010), construit avec des matériaux modernes et résistants (béton armé supportant des poussées de 30 kPa ou 3 t/m²) et ne présentant pas ou peu d'ouvertures sur les façades exposées aux avalanches, affiche des scores de CC peu élevés (classes de conséquences « négligeables » ou « faibles »). Ce fait traduit les dispositions légales (recommandation et obligation architecturales de renforcement du bâti) prises suite à la publication par le *Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement* du rapport sur la prise en compte des avalanches exceptionnelles (Le Gallou et Guignard, 2011). De manière générale, les constructions en maçonnerie traditionnelle (murs en pierre de 50-100 cm d'épaisseur, avec peu de mortier) n'offrent pas une grande résistance aux poussées latérales exercées par les avalanches (Givry et Perfettini, 2004 ; Le Gallou et Guignard, 2011). Ce faisant, la plupart du bâti traditionnel situé dans des zones avalancheuses est protégé par des dispositifs architecturaux spécifiques tels que des étraves, tournes, mottes, défilements, etc. (Givry et Perfettini, 2004). Le bâti ancien disposant de protections de cet ordre est généralement compris dans les classes de conséquences « faibles » et « modérées ». Le bâti antérieur à 2010, ne disposant pas de ce type de protection est plutôt réparti dans les classes de conséquences « fortes » et « très fortes ». Les constructions « non-habitées » présentent des scores de CC peu élevés qui les placent surtout dans les classes de conséquences « négligeables » et « faibles ».

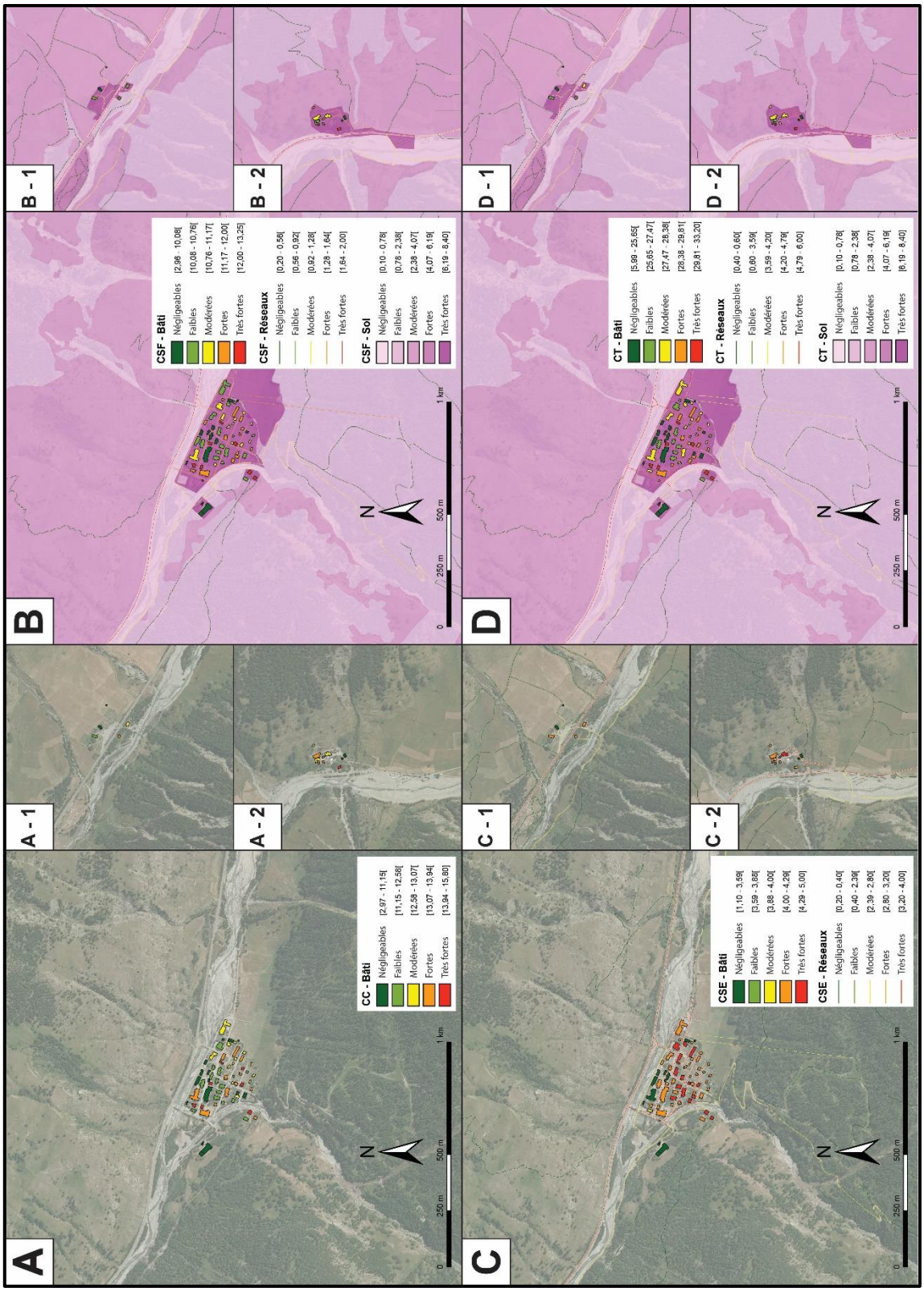


Figure 6. 20. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Ristolas pour l'aléa avalanche : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Ristolas, A - 1 – pour le hameau de La Monta, A - 2 – pour le hameau de l'Échalp ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Ristolas, B - 1 – pour le hameau de La Monta, B - 2 – pour le hameau de l'Échalp ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Ristolas, C - 1 – pour le hameau de La Monta, C - 2 – pour le hameau de l'Échalp ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Ristolas, D - 1 – pour le hameau de La Monta, D - 2 – pour le hameau de l'Échalp.

Dans la commune de Ristolas (Fig. 6. 20., A), la répartition des CC montre une opposition entre les moitiés est et ouest du village. À l'est du village, les CC sont globalement plus importantes (classes de conséquences dominantes : « modérées » et « fortes ») qu'à l'ouest (classes de conséquences dominantes : « négligeables » et « faibles »). Dans le hameau de La Monta (Fig. 6. 20., A-1), les CC sont faibles (gîte) et négligeables (église et cabane) en arrière du talus de la D 947 et modérées et fortes à proximité du Guil. Dans le hameau de l'Échalp (Fig. 6. 20., A-2), les CC sont négligeables pour l'église et le garage qui lui fait face et modérées à très fortes pour le bâti résidentiel et touristique.

Dans la commune d'Abriès (Fig. 6. 21., A), la répartition des CC montre des résultats sensiblement différents de ceux obtenus pour les méthodes adaptées aux aléas « crue torrentielle » et « glissement de terrain ». Dans le hameau de La Garcine (Fig. 6. 21., A), la plupart du bâti affiche des CC fortes et très fortes. Dans le détail, on observe cependant que les bâtiments situés les plus en hauteurs sur le versant ont des CC plus faibles (classes de conséquences négligeables à modérées). Ces bâtiments disposent de propriétés architecturales qui leur offrent une protection accrue aux avalanches (murs aveugles en béton armé). Dans le village d'Abriès (Fig. 6. 21., A), les CC sont plus fortes dans le bourg ancien que dans les quartiers plus récents. Dans le quartier de l'Hoche et dans la plaine d'Abriès les CC sont négligeables et faibles alors que dans le centre du village elles sont principalement modérées à très fortes. Dans le hameau du Roux (Fig. 6. 21., A-1), la plupart du bâti affiche des CC négligeables à modérées. Contrairement à ce qui a pu être vu précédemment, ce sont les bâtiments les plus anciens qui affichent les CC les plus fortes (classes de conséquences « fortes » et « très fortes »). Dans le hameau de Valpréveyre (Fig. 6. 21., A-2), la cartographie des CC indique un haut degré de conséquences potentielles. Le bâti, et en particuliers les logements secondaires, affichent des CC fortes et très fortes.

Dans le village d'Aiguilles (Fig. 6. 22., A), la répartition des CC fait ressortir plusieurs espaces relativement homogènes. Dans le centre ancien (Fig. 6. 22., A), les CC sont principalement modérées à fortes. Le long de la rue principale du village, en aval du bourg, les CC sont faibles car la plupart du bâti est adossé au versant. Dans le quartier de la Condamine (Fig. 6. 22., A), les CC sont faibles à très fortes (classes de conséquences dominantes « modérées » et « fortes »). Dans le quartier de la Chalp, les CC sont principalement fortes à très fortes du fait de la présence de logements collectifs. Dans la plaine des Ribes (Fig. 6. 22., A), les CC sont fortes à très fortes le long de la D 947 et négligeables à modérées en bordure du Guil. Sur le cône du Peynin et la terrasse torrentielle de 1957 (Fig. 6. 22., A), la moitié du bâti affiche des CC négligeables et faibles et l'autre moitié affiche des CC fortes. Dans le hameau du Lombard (Fig. 6. 22., A-1), les CC sont modérées à très fortes (classe de conséquences dominantes : « fortes »). Dans le hameau du Peynin (Fig. 6. 22., A-2), les CC sont modérées à très fortes pour les résidences secondaires et négligeables pour le bâti inhabité (église et bâtiments liés à l'ancienne station de ski d'Aiguilles).

Dans la commune de Château-Ville-Vieille (Fig. 6. 23., A), la répartition des CC liées aux avalanches est très différenciée selon le village ou le hameau considéré. Dans le village de Ville-Vieille (Fig. 6. 23., A), la répartition des CC ne permet ainsi pas de dégager des espaces homogènes en termes de conséquences potentielles. Entre Ville-Vieille et Château-Queyras (Fig. 6. 23., A), les CC sont très fortes au lieu-dit « les Planissaux » et négligeables et faibles au lieu-dit « le Brasq ». La seule exception concerne le transformateur électrique (classe de conséquences « très fortes »). Dans le village de Château-Queyras (Fig. 6. 24., A), on observe une opposition entre le bourg ancien, relativement homogène sur le plan des CC et le bâti situé en fond de vallée. Le bourg ancien affiche des CC négligeables pour le château et ses dépendances et des CC fortes pour l'habitat et les commerces. En fond de vallée, les CC varient de négligeables à très fortes. La gendarmerie, la poste et les commerces ont des CC très fortes, le bâti résidentiel des CC faibles à fortes et les cabanes et garages des CC négligeables.

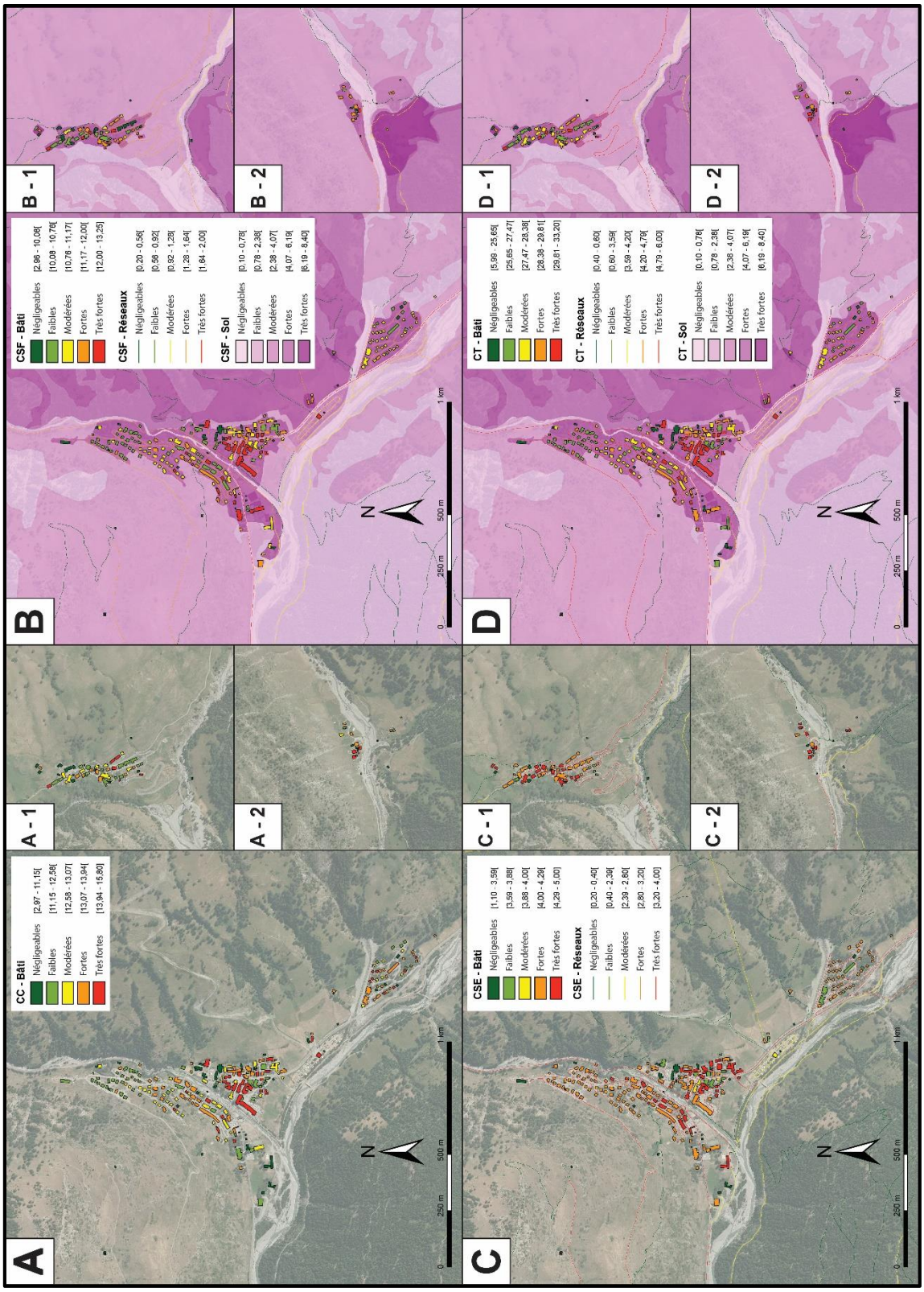


Figure 6. 21. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune d'Abriès pour l'aléa avalanche : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village d'Abriès, A - 1 – pour le hameau du Roux, A - 2 – pour le hameau de Valpréveyre ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village d'Abriès, B - 1 – pour le hameau du Roux, B - 2 – pour le hameau de Valpréveyre ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village d'Abriès, C - 1 – pour le hameau du Roux, C - 2 – pour le hameau de Valpréveyre ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village d'Abriès, D - 1 – pour le hameau du Roux, D - 2 – pour le hameau de Valpréveyre.

Dans le hameau des Prats (Fig. 6. 23., A-1), les CC varient également de négligeables à très fortes (classe de conséquences dominante : modérées). Les bâtiments qui ont les CC les moins fortes sont ceux dont l'architecture offre une protection accrue contre les avalanches. Dans le hameau de Meyriès (Fig. 6. 23., A-2), les CC sont principalement négligeables et faibles. Seul le bâti récent, placé au centre du hameau affiche des CC fortes et très fortes. Dans le hameau de Soulier (Fig. 6. 24., A-1), les CC sont négligeables et faibles pour le bâti agricole et religieux et, modérées à très fortes pour le bâti lié à l'habitat et au tourisme. Dans le hameau de Montbardon (Fig. 6. 24., A-2), la répartition des CC obéit à une logique proche. Le bâti agricole et religieux a des CC négligeables et faibles, l'habitat ancien des CC modérées et fortes et les maisons récentes des CC très fortes.

Sur la commune de Molines-en-Queyras (Fig. 6. 25., A), la répartition des CC fait apparaître des similitudes et des différences entre les hameaux qui la composent. Dans les hameaux de la Rua et de Gaudissard (Fig. 6. 25., A), les CC indiquent un niveau de conséquences potentielles important. Les CC appliquées au bâti sont principalement fortes à très fortes. À l'inverse de ce qui a pu être observé auparavant, ce sont les bâtiments les plus récents qui affichent les CC les plus faibles (classes de conséquences « négligeables » et « faibles »). Dans le hameau de Moline-en-Queyras (Fig. 6. 25., A), les CC sont moins importantes. Bien que l'on observe des CC fortes et très fortes (nord et à l'ouest du hameau), la majorité du bâti est répartie dans les classes de conséquences faibles et modérées. Dans le hameau du Clôt-La-Chalpe (Fig. 6.25., A-1), les CC sont fortes à très fortes du fait de la présence d'hôtels et d'équipements touristiques importants (commerces et départs de remontées mécaniques). Dans le hameau de Pierre-Grosse (Fig. 6. 26., A), les bâtiments sont construits de manières à mieux résister aux avalanches. Le bâti affiche principalement des CC faibles (bourg ancien) et modérées (bâti récent). Les bâtiments qui présentent des CC importantes (fortes et très fortes) sont positionnés face à l'Aigue Agnelle. Protégés comme ils le sont par les autres bâtiments du hameau, ils ne disposent pas d'une architecture leur permettant d'accroître leur résistance aux avalanches. Dans le hameau de Château-Renard (Fig. 6. 26., A), les CC varient de faibles à très fortes. Les classes les plus représentées sont les classes de conséquences « modérées » et « fortes ». Comme à Pierre-Grosse, une partie du bâti est conçu de sorte à résister aux avalanches (bâti adossé au versant, façade aveugle côté risque, etc.). Les logements collectifs (hôtels et résidences), situés aux deux extrémités du hameau, affichent des CC fortes et très fortes car ils peuvent potentiellement accueillir de nombreux individus. Dans le hameau du Coin (Fig. 6. 26., A), les CC sont principalement faibles à modérées. Trois bâtiments affichent cependant des CC fortes et très fortes. Fongillarde (Fig. 6. 26., A) est le hameau de la commune qui affiche les CC les plus faibles. L'essentiel du bâti est réparti dans les classes de conséquences « négligeables » et « faibles ». À l'image de Pierre-Grosse, les bâtiments qui présentent des fortes CC sont situés face à l'Aigue Blanche.

Parmi les six communes du Queyras, c'est Saint-Véran qui affiche les plus fortes CC liées aux avalanches (Fig. 6. 27., A). Le bâti, ancien pour la plupart, présente globalement des CC modérées à très fortes (classe de conséquences dominantes : « très fortes »). Dans le village (Fig. 6. 27., A), on observe cependant des différences en termes de CC. Le cœur du village et le quartier des Forannes affichent surtout des CC fortes et très fortes, le quartier de Pierre-Belle des CC modérées et fortes et le quartier du Villard des CC modérées et très fortes. En contrebas du village, dans le hameau du Raux (Fig. 6. 27., A), les CC sont négligeables pour le bâti non habité et fortes et très fortes pour le bâti d'habitat. Aux lieux-dits « le Cros » et « la Croix de Juan » (Fig. 6. 27., A), les CC sont fortes à très fortes. Dans le hameau de La Chalp (Fig. 6. 27., A-1), les CC sont fortes en amont et très fortes à l'aval.

À l'échelle du Queyras, les conséquences corporelles potentielles liées aux avalanches sont principalement modérées et fortes. Dans le détail, elles sont très fortes dans la vallée de l'Aigue Blanche, fortes dans la vallée du Guil et modérée dans la vallée de l'Aigues Agnelle et dans le bassin du Bouchet. Contrairement à ce qui a pu être observée avec les méthodes adaptées aux crues torrentielles et aux

glissements de terrain, ce sont les centres anciens qui affichent les conséquences potentielles les plus fortes. C'est notamment le cas pour les villages Abriès, Aiguilles et Saint-Véran. D'une manière générale, les espaces les plus exposés affichent des conséquences relativement faibles. Si ce constat peut paraître étrange, il illustre en fait une bonne prise en compte du risque par les populations locales. De fait, le bâti y est construit de manière à mieux résister aux conséquences néfastes des avalanches (murs aveugles, bâti construit à flanc de versant, défilements, etc.).

3. 3. 2. Conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF)

L'indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) varie entre 2,93 et 13,25 pour le bâti (Fig. 6. 20., B à 6. 27., B). Les variables les plus importantes sont les EaR-D (fonction du bâti, Tab. 6. 2.) et EaR-H (protection, Tab. 6. 2.). Avec un Cil de 2 pour les EaR-A (matériaux de construction, Tab. 6. 2.) et EaR-G (ouvertures par façade exposée aux risques, Tab. 6. 2.), l'architecture du bâti joue un rôle important dans l'attribution des scores de CSF. Les scores de CSF les plus élevées (classe de conséquences « fortes » et « très fortes ») sont attribués, en premier lieu, aux constructions ayant une fonction importante pour le territoire (écoles, casernes, hôpital, enjeux touristiques majeurs) et, en second lieu aux bâtisses anciennes dont l'architecture n'offre pas de protections particulière contre les avalanches. À l'inverse, le bâti présentant des fonctions secondaires (religieuses, agricoles et artisanales) et construit de manière à résister aux pressions d'impacts des avalanches est réparti dans les classes de conséquences « négligeables » à « modérées ».

Dans la commune de Ristolas (Fig. 6. 20., B), les CSF liées aux avalanches sont globalement assez faibles. La majorité du bâti est réparti dans les classes de conséquences « négligeables » à « modérées » (classe dominante : « faibles »). Dans le village (Fig. 6. 20., B), des CSF fortes et très fortes s'observent cependant au lieu-dit « les Maisons Neuves » et le long de la rue du Ségure. Dans le hameau de La Monta (Fig. 6. 20., B-1), les CSF sont négligeables pour l'église et faibles pour le reste du bâti. Dans le hameau de l'Échalp (Fig. 6. 20., B-2), les CSF sont réparties équitablement dans les classes de conséquences « négligeables » à « très fortes ».

Dans la commune d'Abriès (Fig. 6. 21., B), la cartographie fait apparaître des secteurs homogènes en termes de CSF. Dans le hameau de La Garcine, (Fig. 6. 21., B), les CSF sont essentiellement modérées. Dans le village (Fig. 6. 21., B), les CSF sont négligeables et faibles dans la rue du Couvent et faibles le long du chemin des Genévriers et de la rue du Lavoir. Dans le quartier de l'Hoche, les CSF sont modérées et fortes. Le long de l'avenue des Eaux Douces et dans le centre-ville les CSF sont fortes et très fortes. Dans le hameau du Roux (Fig. 6. 21., B-1), les CSF sont négligeables à modérées le long de la rue principale (rue du Bric-Froid, puis rue du Canton) et fortes le long de la rue du Clot. À Valpréveyre (Fig. 6. 21., B-2), les CSF sont fortes et très fortes, sauf pour l'église.

À Aiguilles (Fig. 6. 22., B), la répartition des CSF fait apparaître plusieurs ensembles homogènes. Les CSF sont fortes et très fortes pour le bâti situé dans le centre-ville et dans la plaine des Ribes, modérées pour le bâti construit sur les hauteurs (quartier de la Condamine) et faibles le long de la route qui mène au village. Dans le quartier de La Chalp (Fig. 6. 22., B), les CSF sont moins homogènes et varient de négligeables à très fortes (classes de conséquences dominantes : « modérées » et « fortes »). Dans la zone artisanale du Peynin et sur la terrasse de la crue de 1957 (Fig. 6. 22., B), les CSF sont peu importantes. La totalité du bâti affiche des CSF négligeables à modérées (classe de conséquences dominantes : « négligeables »). Enfin, le bâti sensible (hôpital et école) affiche des CSF très fortes. Dans le hameau du Lombard (Fig. 6. 22., B-1), les CSF sont négligeables pour l'église et modérées et fortes pour les logements secondaires. Dans le hameau du Peynin (Fig. 6. 22., B-2), les CSF sont peu importantes. Les habitats secondaires ont des CSF modérées et le bâti inhabité (église, cabanes et bâtiments de l'ancienne station de ski) ont des CSF négligeables et faibles.

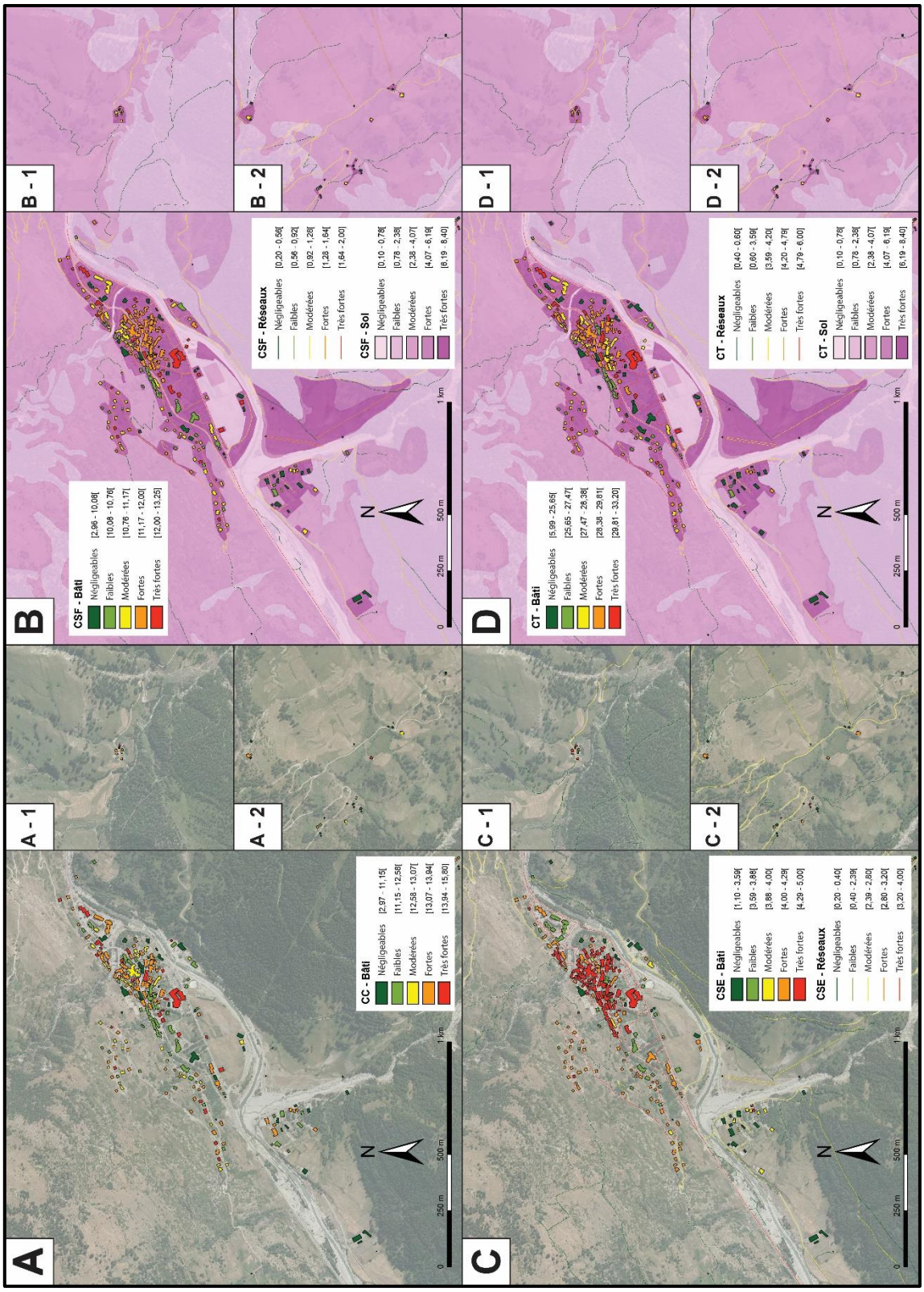


Figure 6. 22. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune d'Aiguilles pour l'aléa avalanche : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village d'Aiguilles, A - 1 – pour le hameau du Lombard, A - 2 – pour le hameau du Peynin ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village d'Aiguilles, B - 1 – pour le hameau du Lombard, B - 2 – pour le hameau du Peynin ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village d'Aiguilles, C - 1 – pour le hameau du Lombard, C - 2 – pour le hameau du Peynin ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village d'Aiguilles, D - 1 – pour le hameau du Lombard, D - 2 – pour le hameau du Peynin.

Dans la commune de Château-Ville-Vieille (Fig. 23, B et 6. 24., B), les CSF varient fortement selon l'entité considérée. À Ville-Vieille (Fig. 6 23., B), les CSF sont ainsi très fortes au lieu-dit « la Casse » et le long de la route D 5. En revanche, les CSF sont plus faibles dans le centre ancien et dans le quartier de la Rua (Fig. 6. 23., B). Sur ces deux espaces, le bâti est principalement réparti dans les classes de conséquences « négligeables » à « modérées ». Au lieu-dit « les Planissaux » (Fig. 6. 23., B), les CSF sont très fortes tandis qu'au lieu-dit « le Brasq » (Fig. 6. 23., B), les CSF sont plus contrastées. Le hangar à bus affiche des CSF négligeables, la scierie et le supermarché des CSF faibles et modérées et le reste du bâti (dont le transformateur électrique) des CSF fortes et très fortes. Dans le village de Château-Queyras (Fig. 6. 24., B), les CSF apparaissent plus fortes dans le bourg ancien que dans la plaine alluviale. Dans le bourg ancien, les CSF sont modérées et fortes tandis que dans la plaine les CSF sont plutôt négligeables et faibles. Notons tout de même que la poste et la gendarmerie affichent des CSF très fortes. Dans le hameau de Meyriès (Fig. 6. 23., B-1), les CSF sont assez faibles. La majorité du bâti affiche des CSF négligeables et faibles. Le bâti affichant des CSF plus fortes se situe au centre du hameau et correspond à des hébergements touristiques récents. Dans le hameau de Prat-bas (Fig. 6. 23., B-2), les CSF sont négligeables et faibles. Dans le hameau de Prat-haut (Fig. 6. 23, B-2), la répartition des CSF est moins homogène. Le bâti ancien présente des CSF négligeables à modérées et le bâti récent des CSF modérées à très fortes. À Soulier (Fig. 6. 24., B-1), le bâti situé au centre du hameau affiche des CSF très fortes et le reste du bâti des CSF négligeables à modérées. Enfin, dans le hameau de Montbardon (Fig. 6. 24., B-2), les CSF sont négligeables à modérées dans le bourg ancien et fortes à très fortes en périphérie.

Dans la commune de Molines-en-Queyras (Fig. 6. 25., B et 6. 26., B), la répartition des CSF varie d'un hameau à l'autre. À la Rua et à Gaudissard (Fig. 6. 25., B), les CSF calculées pour le bâti sont modérées à très fortes. Dans le hameau de Molines-en-Queyras (Fig. 6. 25., B), on observe une opposition entre l'est et l'ouest du hameau. À l'est, les CSF sont principalement négligeables à modérées tandis qu'à l'ouest elles sont modérées à très fortes. Au lieu-dit « le pont des Marrous » et dans le hameau du Clôt-La-Chalpe (Fig. 6. 25., B-1), les CSF sont fortes et très fortes. Dans le hameau de Pierre-Grosse (Fig. 6. 26., B), les CSF sont faibles dans le bourg ancien, modérées dans les extensions plus récentes et très fortes pour le bâti situé face à l'Aigue Agnelle. Dans le hameau de Château-Renard (Fig. 6. 26., B), les CSF sont globalement faibles et modérées pour les logements individuels et, fortes et très fortes pour les logements collectifs (situés aux deux extrémités du hameau). Dans le hameau du Coin (Fig. 6. 26., B), les CSF sont négligeables à modérées. Dans le hameau de Fongillarde (Fig. 6. 26., B), le bâti est principalement réparti dans les classes de conséquences « négligeables » à « modérées ». Les quelques bâtiments affichant des CSF plus fortes (classes de conséquences « fortes » et « très fortes » ne disposent pas d'une architecture à même de leur permettre de mieux résister aux avalanches.

Dans la commune de Saint-Véran (Fig. 6. 27., B), les CSF sont globalement très fortes. Dans le village (Fig. 6. 27., B), les CSF sont fortes et très fortes dans le centre-ville et dans le quartier des Forannes. Elles sont faibles à fortes dans le quartier de Pierre-Belle (classe de conséquences dominante : « faibles ») et faibles à très fortes dans le quartier du Villard (classe de conséquences dominante : « très fortes »). Dans le hameau du Raux (Fig. 6. 27., B), les CSF sont, fortes et très fortes pour le bâti occupé, et négligeables pour le bâti de stockage (cabane et garages). Aux lieux-dits « le Cros » et « la Croix de Juan » (Fig. 6. 27., B), les CSF sont fortes et très fortes. Dans le hameau de La Chalp (Fig. 6. 27., B-1), les CSF sont principalement fortes et très fortes.

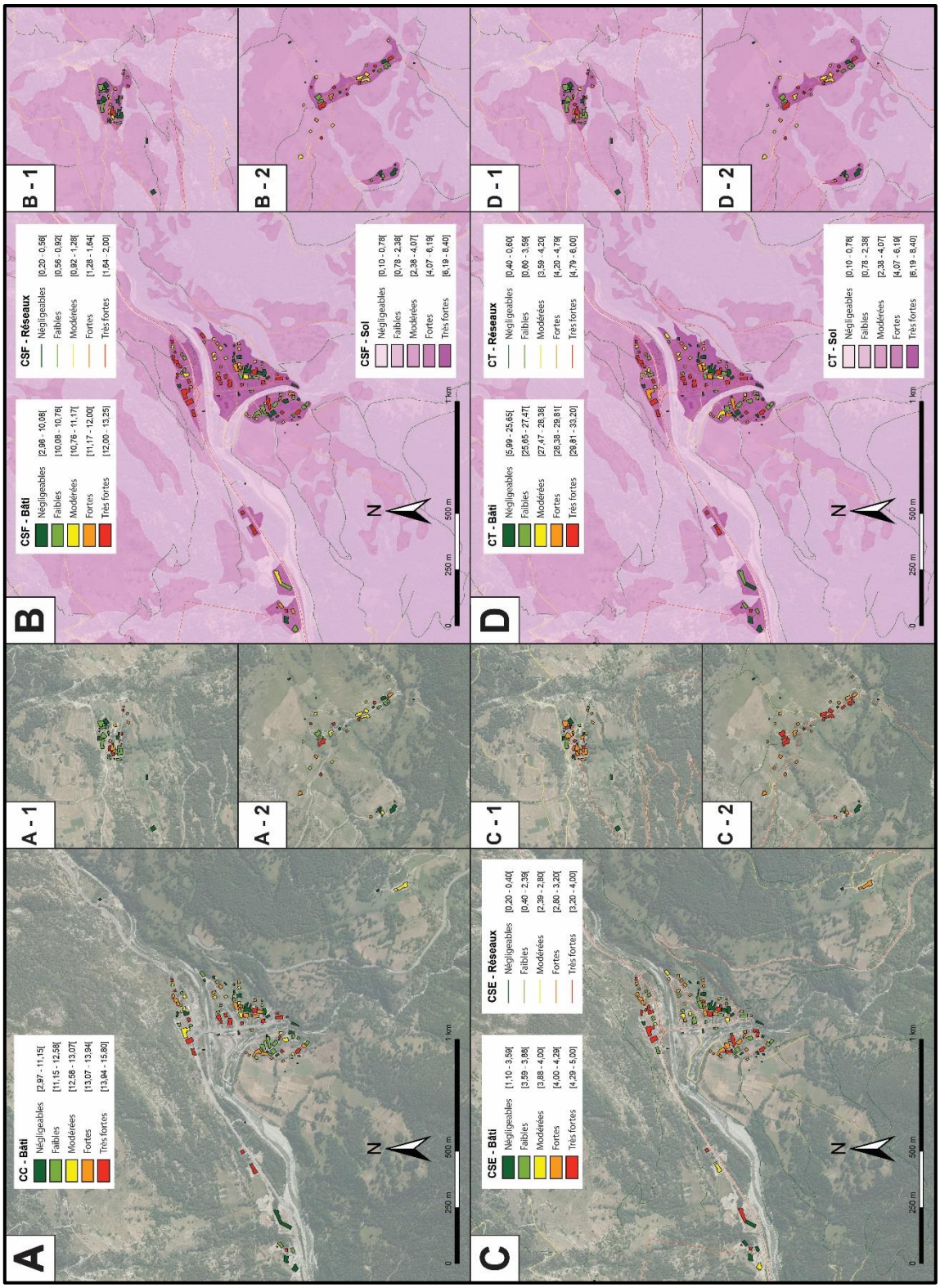


Figure 6. 23. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Château-Ville-Vieille pour l'aléa avalanche (secteur de Ville-Vieille) : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Ville-Vieille, A - 1 – pour le hameau des Meyries, A - 2 – pour les hameaux de Prat-Hauts et Prat-Bas ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Ville-Vieille, B - 1 – pour le hameau des Meyries, B - 2 – pour les hameaux de Prat-Hauts et Prat-Bas ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Ville-Vieille, C - 1 – pour le hameau des Meyries, C - 2 – pour les hameaux de Prat-Hauts et Prat-Bas ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Ville-Vieille, D - 1 – pour le hameau des Meyries, D - 2 – pour les hameaux de Prat-Hauts et Prat-Bas.

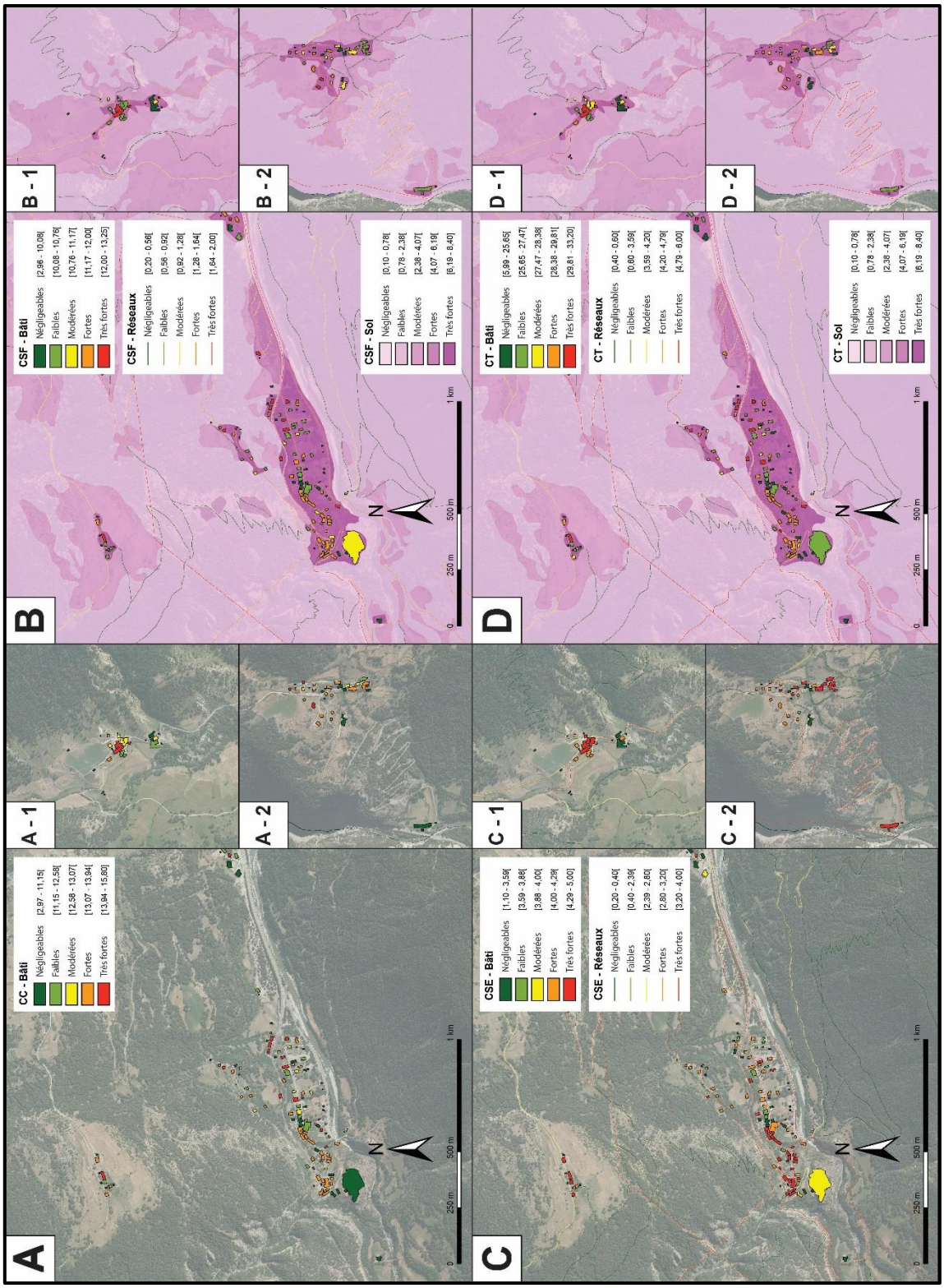


Figure 6. 24. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Château-Ville-Vieille pour l'aléa avalanche (secteur de Château-Queyras) : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Château-Queyras, A - 1 – pour le hameau de Soulier, A - 2 – pour le hameau de Montbardon ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Château-Queyras, B - 1 – pour le hameau de Soulier, B - 2 – pour le hameau de Montbardon ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Château-Queyras, C - 1 – pour le hameau de Soulier, C - 2 – pour le hameau de Montbardon ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Château-Queyras, D - 1 – pour le hameau de Soulier, D - 2 – pour le hameau de Montbardon.

Si l'on excepte Saint-Véran, les conséquences structurelles et fonctionnelles directes liées aux avalanches sont faibles en comparaison de celles obtenues pour les deux autres types d'aléas. Dans la partie amont du bassin du Guil (communes de Ristolas et d'Abriès) et dans la vallée de l'Aigue Agnelle, l'essentiel du bâti affiche des CC négligeables à modérées. Or, ce sont là les espaces les plus fréquemment exposés aux avalanches. Dans la partie aval de la vallée (commune d'Aiguilles et de Château-Ville-Vieille), pourtant moins exposée, les conséquences potentielles sont plus fortes. Ce constat témoigne, encore une fois, d'une bonne adaptation des populations locales aux aléas hydro-climatiques. À l'image des résultats obtenus pour les CC, ce sont les enjeux les plus exposés aux avalanches qui sont aussi les plus à même de résister à leurs impacts. Cette observation ne s'applique pas à la commune de Saint-Véran. La commune, fortement exposée aux avalanches, dispose d'un bâti qui, bien qu'ancien, n'est pas construit pour résister aux avalanches.

3. 3. 3. Les conséquences socio-économiques (CSE)

La valeur de l'indice des conséquences socio-économiques (CSE) est comprise entre 1,10 et 5 pour le bâti et 0,20 et 4 pour les réseaux (Fig. 6. 20., C à 6. 27., C). Seules deux variables contribuent à l'attribution des scores des CSE pour le bâti : la variable « matériaux de construction » (EaR-A, Tab. 6. 2.) et la fonction du bâti (EaR-D, Tab. 6. 2.). Globalement, le bâti ancien, construit avec des matériaux traditionnels affiche des scores de CSE élevés qui les rangent principalement dans la classe de conséquences « très fortes ». Il en va de même pour le bâti ayant des fonctions essentielles pour le fonctionnement du territoire (hôpital, casernes, écoles, etc.). Le bâti résidentiel plus récent, construit avec des matériaux modernes (béton et parpaings), est classé principalement dans la classe de conséquences « fortes ». Seul le bâti agricole et artisanal, ou religieux affiche des niveaux de conséquences faibles ou négligeables. Pour le bâti artisanal et agricole, le faible degré de conséquences potentielles est surtout dû à la variable EaR-A car ces bâtiments ont, le plus souvent, une structure métallique qui leur permet de résister aux impacts structurels des avalanches. Pour le bâti religieux, c'est essentiellement le fait de leur fonction, secondaire à l'échelle du bassin.

Dans la commune de Ristolas (Fig. 6. 20., C), les CSE calculées pour le bâti sont principalement fortes et très fortes. Dans le village, la quasi-totalité du bâti affiche ainsi des CSE fortes et très fortes. Seul le bâti de stockage, les bâtiments agricoles et le bâti religieux affichent des CSE plus faibles (classes de conséquences « négligeables » et « faibles »). Dans le hameau de La Monta et de l'Échalp (Fig. 6. 20., C-1 et 6. 20., C-2), il en est de même. Les deux églises ont des CSE négligeables tandis que le bâti d'habitat et les hébergements touristiques affichent des CSE fortes et très fortes.

Dans la commune d'Abriès (Fig. 6. 21., C), les CSE calculées pour le bâti sont essentiellement fortes et très fortes. Cela étant, on observe un certain zonage des CSE (Fig. 6. 21., C). Dans le hameau de La Garcine (Fig. 6. 21., C), presque tout le bâti affiche des CSE fortes. Cinq bâtiments affichent des CSE négligeables ou faibles : deux immeubles, trois maisons individuelles et un garage. Dans le village d'Abriès, on observe une opposition entre le bâti situé en rive gauche du Bouchet et celui situé en rive droite. En rive droite du Bouchet (Fig. 6. 21., C), la totalité du bâti présente des CSE fortes et très fortes. En rive gauche, la répartition des CSE est moins homogène. D'un côté, on observe davantage de bâtiments classés avec de très fortes CSE mais, d'un autre côté, on peut également observer un certain nombre de bâtiments avec des CSE négligeables à modérées. Dans les hameaux du Roux (Fig. 6. 21., C-1) et de Valpréveyre (Fig. 6. 21., C-2), l'essentiel du bâti affiche des CSE fortes et très fortes. Seuls les bâtiments ayant des fonctions religieuses ou de stockage ont des CSE plus faibles (classes de conséquences « négligeables » et « faibles »).

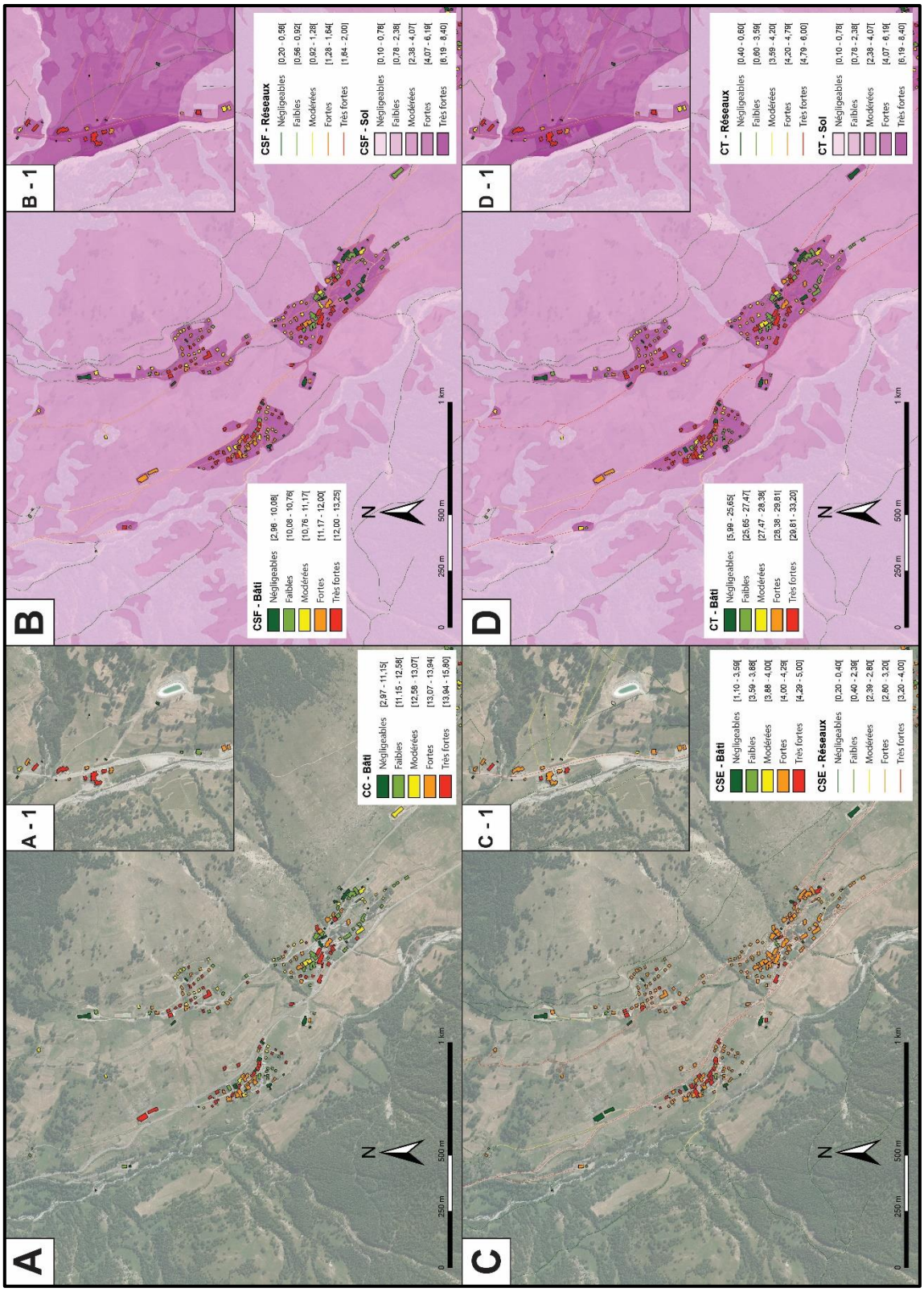


Figure 6. 25. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Molines-en-Queyras pour l'aléa avalanche (secteur de Molines-en-Queyras / La Rua / l'Adret / Gaudissart / le Serre) : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Molines-en-Queyras, A - 1 – pour le hameau du Clôt-La-Chalpe ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Molines-en-Queyras, B - 1 – pour le hameau du Clôt-La-Chalpe ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Molines-en-Queyras, C - 1 – pour le hameau du Clôt-La-Chalpe ; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Molines-en-Queyras, D - 1 – pour le hameau du Clôt-La-Chalpe.

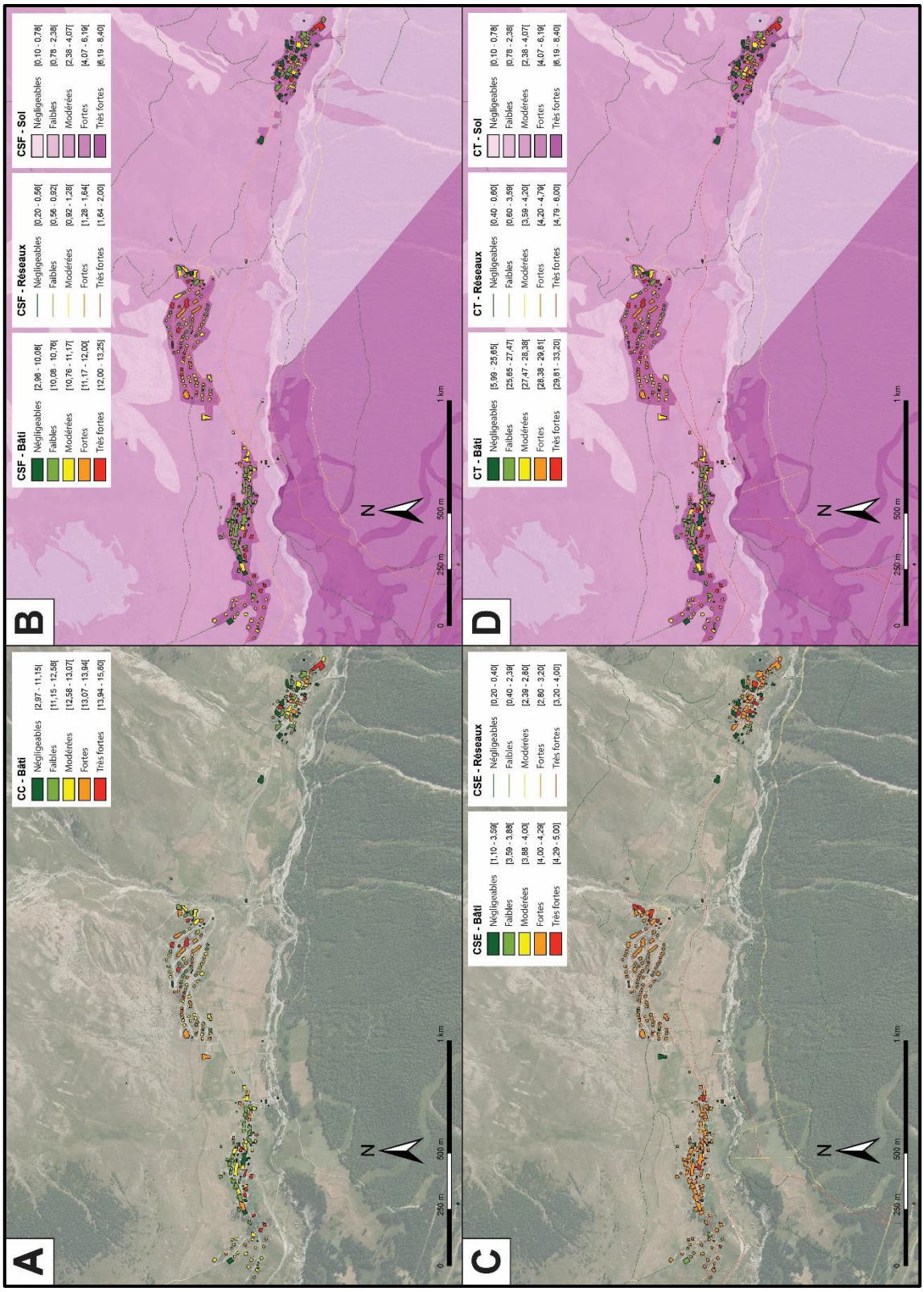


Figure 6. 26. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Molines-en-Queyras pour l'aléa avalanche (secteur de Pierre-Grosse / Château-Renard / Le Coin / Fongillarde) : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour les hameaux de Pierre-Grosse, Château-Renard, Le Coin et Fongillarde ; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour les hameaux de Pierre-Grosse, Château-Renard, Le Coin et Fongillarde ; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour les hameaux de Pierre-Grosse, Château-Renard, Le Coin et Fongillarde ; D – indice des conséquences totales (CT) pour les hameaux de Pierre-Grosse, Château-Renard, Le Coin et Fongillarde.

Dans la commune d'Aiguilles (Fig. 6. 22., C), la répartition des CSE fait apparaître des secteurs relativement homogènes. Dans le bourg ancien, les CSE sont globalement très fortes (Fig. 6. 22., C). Les enjeux sensibles (hôpital et école) affichent également des CSE très fortes. En amont et en aval du bourg, les CSE sont faibles et fortes. Dans le quartier de la Condamine, les CSE sont fortes et très fortes. Sur le cône du Peynin et sur la terrasse torrentielle de 1957 (Fig. 6. 22., C), le bâti présente des CSE négligeables à modérées. Dans le hameau du Lombard (Fig. 6. 22., C-1), les CSE sont fortes et très fortes pour le bâti d'habitat et négligeables et faibles pour le bâti religieux et de stockage. Dans le hameau du Peynin (Fig. 6. 22., C-2), les CSE sont fortes et très fortes pour les résidences secondaires et négligeables et faibles pour le bâti religieux et les anciens bâtiments de la station de ski d'Aiguilles.

Dans la commune de Château-Ville-Vieille (Fig. 6. 23., C et 6. 24., C), les CSE appliquées au bâti sont principalement fortes et très fortes. Dans le village de Ville-Vieille (Fig. 6. 23., C), les CSE sont fortes et très fortes dans le quartier de la Casse. Elles sont faibles à très fortes dans le quartier de la Rua (classe de conséquences dominante : « fortes »). En rive droite du Ségure, dans le bourg ancien (Fig. 6. 23., C), les CSE sont moins importantes. De fait, près de la moitié du bâti affiche des CSE négligeables et faibles. L'autre moitié affiche des CSE modérées à très fortes. Entre Ville-Vieille et Château-Queyras (Fig. 6. 23., C), le bâti affiche des CSE contrastées. Au lieu-dit « les Planissaux », les CSE sont, très fortes pour l'établissement bancaire et, modérées pour la fromagerie. Au lieu-dit « le Brasq », les CSE sont, très fortes pour les deux ateliers de menuiserie, fortes pour le transformateur électrique, modérées pour le supermarché et négligeables pour le reste du bâti. Dans le village de Château-Queyras (Fig. 6. 24., C), les CSE sont globalement très fortes dans le bourg ancien et négligeables à très fortes en fond de vallée (classe de conséquence dominante : « fortes »). Les logements construits sur le versant (Fig. 6. 24., C) affichent pour leur part des CSE fortes et très fortes. Dans le hameau de Meyriès (Fig. 6. 23., C-1), les CSE sont principalement fortes et très fortes (classe de conséquences dominante : « fortes »). Seul le bâti agricole et religieux affiche des CSE plus faibles (classes de conséquences « négligeables » et « faibles »). Dans le hameau de Prat-bas (Fig. 6. 23., C-2), les CSE sont négligeables et faibles pour le bâti ancien et, fortes pour le bâti récent. Dans le hameau de Prat-haut (Fig. 6. 23., C-2), les CSE sont essentiellement fortes et très fortes. D'une manière générale, le bâti ancien affiche des CSE plus importantes que le bâti récent (en raison des pondérations appliquées à l'EaR-A, Tab. 6. 21.). Dans le hameau de Soulier (Fig. 6. 24., C-1), les CSE sont, fortes et très fortes pour les habitations et les bâtiments touristiques et négligeables pour le bâti agricole et religieux. Dans le hameau de Montbardon (Fig. 6. 24., C-2), le bâti ancien affiche des CSE très fortes, le bâti récent des CSE fortes et le bâti agricole et religieux des CSE négligeables.

Dans la commune de Molines-en-Queyras (Fig. 6. 25., C et 6. 26., C), la répartition des CSE est relativement homogène. Quel que soit le hameau considéré, le bâti affiche principalement des CSE fortes. Dans cette apparente monotonie s'observe néanmoins quelques différences entre les hameaux de la commune. Ainsi, dans les hameaux de la Rua (Fig. 6. 25., C), du Clôt-La-Chalpe (Fig. 6. 25., C-1) et du Coin (Fig. 6. 26., C) davantage de bâtiments sont classés avec des CSE très fortes. À l'opposé, une part non négligeable du bâti du hameau de Fongillarde présente des CSE négligeables et faibles. En outre, il convient de noter que le bâti agricole de la commune (fermes et étables) affiche des CSE négligeables.

À Saint-Véran (Fig. 6. 27., C), les CSE sont similaires à celles observées dans les cinq autres communes du Queyras. La plupart du bâti affiche des CSE fortes et très fortes. Dans le détail, on observe néanmoins un certain zonage dans la répartition des CSE au sein de la commune. Dans le village (Fig. 6. 27., C), les CSE sont fortes dans le quartier des Forannes, négligeables à très fortes dans le centre-ville, et fortes à très fortes dans les quartiers de Pierre-Belle et du Villard. Dans le hameau du Raux (Fig. 6. 27., C), les CSE sont, fortes et très fortes pour les logements et le bâti touristique et négligeables pour les enjeux de stockage (cabanes et garages). Aux lieux-dits « le Cros » et « la Croix

de Juan » (Fig. 6 .27., C), les CSE sont fortes. Dans le hameau de La Chalp (Fig. 6. 27., C-1), les CSE sont fortes à très fortes, sauf pour le bâti religieux et le bâti de stockage (classes de conséquences « négligeables » et « faibles »).

Les conséquences socio-économiques potentielles liées aux avalanches sont très importantes dans le Queyras. L'essentiel du bâti affiche, en effet, des CSE fortes et très fortes. Comme pour les résultats de la classification des CC et des CSF, des différences s'observent néanmoins entre les vallées queyrassines. Dans les vallées de l'Aigue Agnelle et de l'Aigue Banche, le bâti présente des CSE très homogènes. Si l'on excepte le bâti agricole, tous les bâtiments ont des CSE fortes et très fortes. Dans la vallée du Guil, les CSE sont moins homogènes. Les centres-villes ont des CSE très fortes, les logements plus récents, situés en périphérie, ont des CSE fortes et les bâtiments agricoles et artisanaux ont des CSE négligeables à modérées. Malgré une plus forte dispersion des valeurs de CSE, la vallée du Guil, comparée aux vallées des Aigues, comptabilise davantage d'enjeux classés avec des conséquences potentielles très fortes.

3. 3. 4. Conséquences totales (CT)

La carte des conséquences potentielles totales (CT) des avalanches sur les six communes du Queyras a été obtenue en additionnant les valeurs des indices des conséquences corporelles (CC), des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) et des conséquences socio-économiques (CSE) calculés pour l'aléa « avalanche » (Fig. 6. 20., D à 6. 27., D). L'indice des CT varie entre 6 et 33,20 pour le bâti, 0,40 et 6 pour les réseaux et 0,10 et 8,40 pour l'occupation du sol. La cartographie des CT pour le bâti montre des résultats plutôt disparates. Le bâti « sensible » a des scores de CT élevés. Les enjeux liés aux fonctions agricoles et artisanales sont plutôt répartis dans les classes de conséquences « négligeables » et « faibles ». Il en va de même pour le bâti doté de fonctions de stockage (cabanes, garages et hangars). Le bâti religieux a, lui aussi, des valeurs de CT peu élevés en raison des pondérations appliquées aux EaR-D (fonction du bâti), EaR-F (nombre d'étages occupés) et EaR-G (ouvertures par façade exposée aux risques). Pour le reste, la lecture des résultats est moins évidente. D'une manière assez générale, le bâti récent et le bâti ancien, construits pour résister aux avalanches, présentent des scores de CT faibles à modérées qui les placent dans les classes de conséquences éponymes. Le bâti ancien « non protégé » affiche des scores de CT plus élevés. Néanmoins, il convient de nuancer cette interprétation car une partie du bâti ne respecte pas cette répartition.

Dans la commune de Ristolas (Fig. 6. 20, D), les CT liées aux avalanches sont faibles au regard des scores obtenus dans les autres communes. Dans le village (Fig. 6. 20., D), la majorité du bâti affiche des CT négligeables à modérées. Dans le détail, on observe néanmoins des CT fortes et très fortes au sud-est et au nord-ouest du village ainsi qu'au lieu-dit « les Maison Neuves ». Dans le hameau de La Monta (Fig. 6. 20., D-1), les CT sont négligeables pour l'église et faibles à modérées pour le gîtes et les deux maisons construites au bord du Guil. Dans le hameau de l'Échalp (Fig. 6. 20., D-2), les CT sont négligeables pour l'église et le garage qui lui fait face, et modérées à très fortes pour les enjeux d'habitat et d'hébergements touristiques.

Dans la commune d'Abriès (Fig. 6. 21., D), la cartographie fait apparaître des secteurs relativement homogènes en termes de CT. Dans le hameau de La Garcine (Fig. 6. 21., D), le bâti est principalement réparti dans les classes de conséquences « faibles » à « fortes ». Les bâtiments avec les CT les plus faibles sont situés au centre du hameau, le long de la « Sente de l'Ancien Lit ». Les bâtiments avec les CT les plus fortes sont situés à l'amont du hameau, le long de la Voie des Ribes. Dans le village d'Abriès (Fig. 6. 21., D), les CT sont faibles dans le quartier de l'Hoche, modérées le long de la Rue du Calvaire, et modérées à très fortes sur le reste du versant de rive droite du Bouchet. Dans la plaine d'Abriès, à l'aval du village, les CT sont principalement négligeables et faibles.

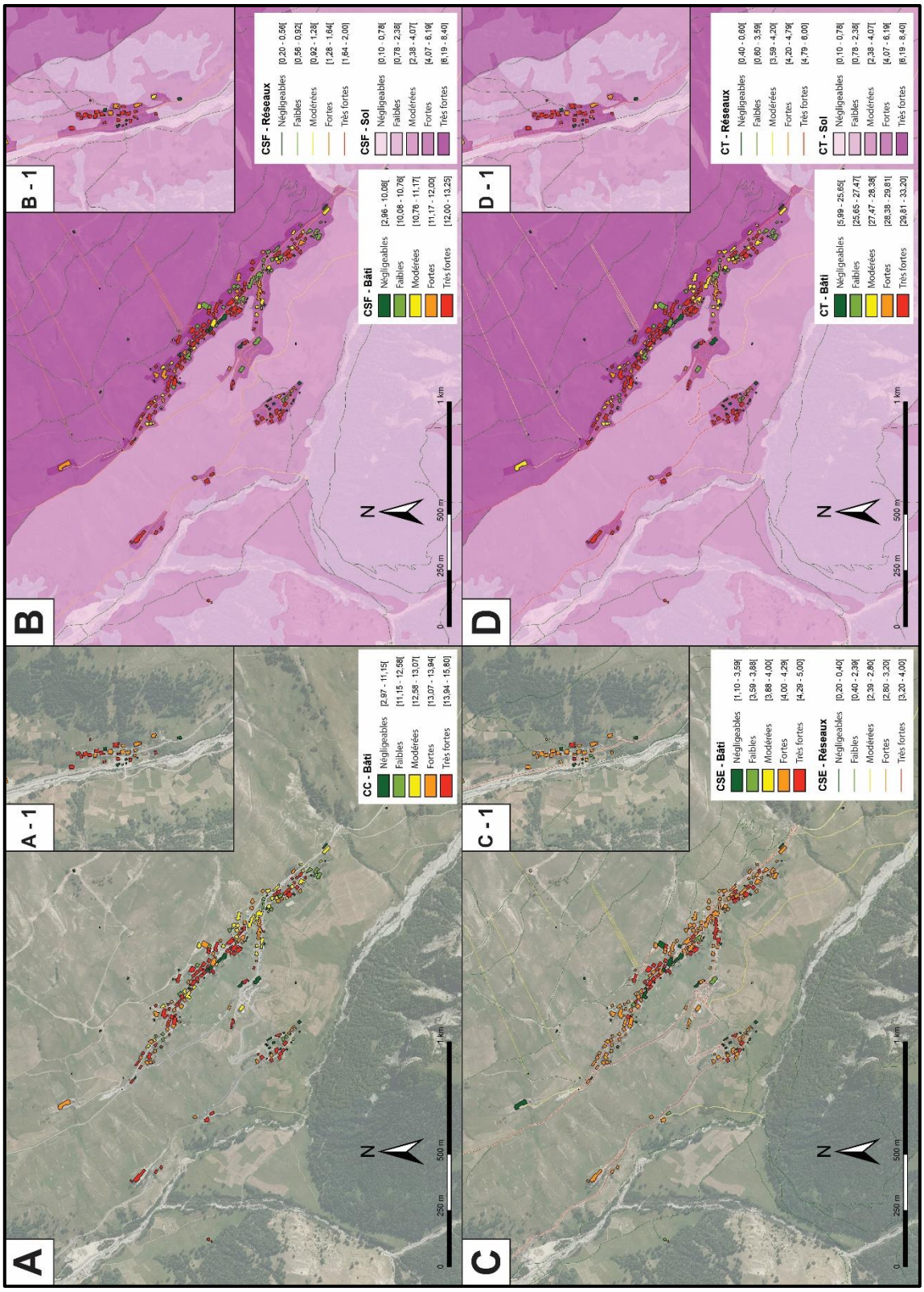


Figure 6. 27. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Saint-Véran pour l'aléa avalanche : A – indice des conséquences corporelles (CC) pour le village de Saint-Véran, A - 1 – pour le hameau de La Chalp; B – indice des conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) pour le village de Saint-Véran, B - 1 – pour le hameau de La Chalp; C – indice des conséquences socio-économiques (CSE) pour le village de Saint-Véran, C - 1 – pour le hameau de La Chalp; D – indice des conséquences totales (CT) pour le village de Saint-Véran, D - 1 – pour le hameau de la Chalp.

Dans le centre-ville (Fig. 6. 21., D), les CT sont plus importantes, avec une majorité de bâtiments classés avec des CT fortes et très fortes. Au sud et au nord du centre-ville, les CT sont plus faibles (classes de conséquences « négligeables » et « faibles »). Dans le hameau du Roux (Fig. 6. 21., D-1), les CT sont principalement faibles à modérées. Plusieurs bâtiments, dispersés dans le hameau, affichent néanmoins des CT plus fortes (classes de conséquences « fortes » et « très fortes »). Il s'agit principalement de bâtiments ne disposant pas d'une architecture à même de leur offrir une résistance supérieure aux avalanches. Dans le hameau de Valpréveyre (Fig. 6. 21., D-2), les CT sont modérées à très fortes ; sauf pour le bâti religieux.

Dans la commune d'Aiguilles (Fig. 6. 22., D), la répartition des CT fait apparaître des secteurs très différenciés en matière de conséquences potentielles. Dans le bourg ancien (Fig. 6. 22., D), les CT sont principalement modérées à très fortes (classe de conséquences dominantes : « fortes »). En aval du bourg ancien, le long de la rue principale du village (Fig. 6. 22., D), les CT sont plus faibles. La majorité du bâti affiche des CT négligeables à modérées (classe de conséquences dominantes : « faibles »). Sur les hauteurs d'Aiguilles (quartier de la Condamine, Fig. 6. 22., D), les CT sont modérées à très fortes (classe de conséquences dominante : « modérées »). Sur le cône du Peynin et sur la terrasse torrentielle de 1957 (Fig. 6. 22., D), les CT sont principalement négligeables et faibles. Dans le hameau du Lombard (Fig. 6. 22., D-1), les CT sont négligeables pour l'église et fortes et très fortes pour le bâti ayant une fonction d'habitat. Dans le hameau du Peynin (Fig. 6. 22., D-2), les CT sont négligeables pour le bâti inhabité (église, cabanes, etc.) et modérées pour les résidences secondaires.

Dans la commune de Château-Ville-Vieille (Fig. 6. 23., D et 6. 24., D), la répartition des CT varie fortement selon le village ou le hameau concerné. Dans le village de Ville-Vieille (Fig. 6. 23., D), les CT varient de négligeables à très fortes. Les bâtiments avec des CT négligeables et faibles se situent principalement dans le bourg ancien et dans le quartier de la Rua. Les bâtiments qui ont les CT les plus fortes sont situés le long de la route D 5 et dans le quartier de la Casse (Fig. 6. 23., D). Dans l'ensemble, le bâti artisanal affiche des CT faibles tandis que le bâti touristique présente des CT fortes et très fortes. Au lieu-dit « les Planissaux » (Fig. 6. 23., D), les CT sont très fortes (établissement bancaire et fromagerie). Au lieu-dit « le Brasq » (Fig. 6. 23., D), les CT sont principalement négligeables et faibles. Notons cependant que le transformateur électrique affiche des CT très fortes. Dans le village de Château-Queyras (Fig. 6. 24., D), la répartition de CT montre une opposition entre le bourg ancien, perché au pied de la citadelle, et la partie plus récente de la ville, située en fond de vallée. Dans le bourg ancien les CT sont négligeables pour le château et ses dépendances et elles sont fortes pour le bâti résidentiel et commercial. En fond de vallée, la plupart du bâti affiche des CSF négligeables à modérées. Malgré tout, plusieurs bâtiments (dont la poste et la gendarmerie) présentent des CSF fortes et très fortes. Dans le hameau de Meyriès (Fig. 6. 23., D-1), les CT sont majoritairement négligeables et faibles. Seul le bâti récent, constitué de logements à vocation touristique, affichent des CT plus fortes (classes de conséquences « fortes » et « très fortes »). Dans le hameau de Prat-bas (Fig. 6. 23., D-2), les CT sont négligeables et faibles. Dans le hameau de Prat-haut (Fig. 6. 23., D-2), les CT sont plus fortes. Le bâti ancien affiche des CT faibles et modérées et le bâti récent des CT modérées à très fortes. Dans le hameau de Soulier (Fig. 6. 24., D-1), les CT sont, négligeables pour le bâti agricole et religieux et, modérées à très fortes pour le bâti d'habitat. Dans le hameau de Montbardon (Fig. 6. 24., D-2), les CT appliquées au bâti sont principalement modérées. Le bâti agricole et religieux affiche des CT négligeables, le bâti commercial des CT modérées et l'habitat des CT faibles (habitat ancien) et fortes (habitat récent).

Dans la commune de Molines-en-Queyras (Fig. 6. 25., D et 6. 26., D), la répartition des CT est très différente selon le hameau concerné. Dans le hameau de la Rua (Fig. 6. 25., D), par exemple, les CT sont faibles à l'amont du hameau, dans le lotissement récent destiné aux touristes. À l'inverse, elles sont modérées à très fortes dans le reste du hameau, composé essentiellement de bâti ancien (donc

construit avec des matériaux traditionnels). Dans le hameau de Gaudissard (Fig. 6. 25., D), le bâti est équitablement réparti dans les classes de conséquences « modérées », « fortes » et « très fortes ». À Molines-en-Queyras (Fig. 6. 25., D), la répartition des CT fait émerger une opposition entre la partie nord-ouest et la partie sud-est du hameau. La partie nord-ouest affiche des CT plus fortes (classes de conséquences dominantes : « modérées » et « très fortes ») que la partie sud-est du hameau (classe de conséquences dominantes : « faibles »). Au lieu-dit « le pont des Marrous » et dans le hameau du Clôt-La-Chalpe (Fig. 6. 25., D-1), le bâti est réparti dans les classes de conséquences « modérées » à « très fortes » (classe dominante : « très fortes »). Ces bâtiments occupent, de fait, une fonction importante à l'échelle du territoire (équipements de sports d'hiver). Dans le hameau de Pierre-Grosse (Fig. 6. 26., D), le bâti est essentiellement réparti dans les classes de conséquences « faibles » et « modérées ». Les CT les plus faibles (classes de conséquences « négligeables » et « faibles ») s'observent essentiellement dans le bourg ancien du hameau. Le bâti doté de CT modérées se situe principalement aux deux extrémités du hameau, dans les extensions les plus récentes (Fig. 6. 26., D). Les fortes CT (classes de conséquences « fortes » et « très fortes ») concernent les bâtiments construits face au torrent de l'Aigue Agnelle. Dans le hameau de Château-Renard (Fig. 6. 26., D), le bâti est principalement réparti dans les classes de conséquences « faibles », « modérées » et « fortes » (classe de conséquences dominante : « modérées »). Les CT faibles et modérées concernent principalement les logements individuels. Par opposition, les CT fortes et très fortes concernent surtout les bâtiments de logement collectifs situés aux deux extrémités du hameau. Dans le hameau du Coin (Fig. 6. 26., D), les CT sont, dans l'ensemble, assez faibles. L'essentiel du bâti est réparti dans les classes de conséquences « négligeables » à « modérées ». Seul deux bâtiments affichent des CT très fortes ; notamment en raison de leur manque de protection face aux avalanches. Dans le hameau de Fongillarde (Fig. 6. 26., D), les CT sont globalement faibles au regard des scores de CT accumulés dans le reste de la commune. Le bâti de Fongillarde est ainsi principalement réparti dans les classes de conséquences négligeables et faibles. Environ un tiers du bâti est néanmoins réparti dans des classes de conséquences plus fortes (classes de conséquences « modérées » à « très fortes »). Ces bâtiments sont presque uniquement situés dans la partie basse du hameau, donc au point le plus éloignés de la provenance probable des avalanches et coulées de neiges (Fig. 6. 26., D).

Dans la commune de Saint-Véran (Fig. 6. 27., D), la majorité du bâti est réparti dans la classe de conséquences « très fortes ». Dans le village (Fig. 6. 27., D), on observe néanmoins un certain gradient dans la répartition des CT. Dans le quartier des Forannes et dans le centre-ville (Fig. 6. 27., D), les CT sont essentiellement fortes à très fortes (à l'exception du bâti religieux disposant de CT négligeables). Dans le quartier de Pierre-Belle, les CT sont réparties dans les classes de conséquences « faibles » à « très fortes ». Dans le quartier du Villard, les CT sont réparties dans les classes de conséquences « faibles », « modérées » et « très fortes ». Dans le hameau du Raux (Fig. 6. 27., D), les CT sont fortes à très fortes pour le bâti habité, et faibles et négligeables pour le bâti inhabité (cabanes, garages, etc.). Aux lieux-dits « le Cros » et « la Croix de Juan » (Fig. 6. 27., D), les CT sont fortes à très fortes. Dans le hameau de La Chalp (Fig. 6. 27., D), les CT sont négligeables pour le bâti inhabité (église et cabanes). Le reste du bâti, qui compose l'essentiel du hameau, a des CT fortes et très fortes.

La cartographie des conséquences potentielles totales liées aux avalanches montre une répartition inégale de ces dernières à l'échelle du Queyras. Dans la vallée de l'Aigue Agnelle les CT sont principalement faibles et modérées tandis que dans la vallée de l'Aigue Blanche elles sont fortes et très fortes. Dans la vallée du Guil, les CT sont moins tranchées. Dans les villages de Ristolas et Ville-Vieille, les CT sont faibles en centre-ville et plus fortes en périphérie ; tandis que dans les villages d'Abriès, d'Aiguilles et de Château-Queyras c'est plutôt l'inverse qui prime. Ce constat est valable pour les hameaux rattachés à ces villages. Ceux situés à l'amont de la vallée du Guil (l'Échalp, La Monta et Le Roux) ont des conséquences faibles et modérées tandis que ceux situés plus en aval affichent des

conséquences plus fortes. Paradoxalement, ce sont donc les secteurs les plus exposés aux avalanches (Guil amont et vallée de l'Aigue Agnelle) qui affichent les CT les plus faibles. La répartition des CT témoigne donc vraisemblablement d'une adaptation des populations locales à l'aléa avalancheux.

3. 3. 5. Bilan des conséquences potentielles liées aux avalanches

Les résultats ont permis de dégager le type de conséquences dominantes, les catégories d'enjeux et les espaces potentiellement les plus affectés en cas d'avalanche (Tab. 6. 5.). D'après la cartographie des conséquences potentielles réalisée sur les six communes du Queyras, ce sont les conséquences socio-économiques qui apparaissent comme les plus fortes en cas d'avalanche (Tab. 6. 5.). Les conséquences corporelles sont localement importantes, mais les enjeux classés avec de très fortes conséquences sont plus dispersés à l'échelle du territoire (Tab. 6. 5.). De tous les types de conséquences, ce sont les conséquences structurelles et fonctionnelles directes qui apparaissent comme les plus faibles. De fait, elles comptent une majorité d'enjeux dans les classes de conséquences faibles et modérées.

Méthode adaptée à l'aléa "avalanches"					
Commune	Indices / villages	CC	CSF	CSE	CT
Commune de Ristolas	L'Échalp	+	=	+ +	=
	La Monta	=	- -	+	-
	Ristolas	=	-	+ +	=
Commune d'Abriès	La Garcine	+	-	+ +	=
	Abriès	+	=	+	+
	Valpréveyre	+ +	=	+ +	+
	Le Roux	=	+	+ +	-
Commune d'Aiguilles	Aiguilles	+	+	+ +	+
	Lombard	+	=	+ +	+
	Peynin	=	-	+	-
Commune de Château-Ville-Vieille	Ville-Vieille	+	=	=	+
	Château-Queyras	+	=	+ +	+
	Les Prats	=	=	+ +	=
	Meyriès	-	-	+ +	-
	Soulier	=	-	+ +	=
	Montbardon	+	=	+ +	+
Commune de Molines-en-Queyras	La Rua	+ +	+ +	+ +	+ +
	Molines-en-Queyras	=	=	+ +	=
	Gaudissard	+	=	+ +	+ +
	Clot-la-Chalp	+ +	+ +	+ +	+ +
	Pierre-Grosse	-	-	+ +	-
	Château Renard	=	=	+ +	=
	Le Coin	=	-	+ +	-
	Fongillarde	-	- -	+	-
Commune de Saint-Véran	Saint-Véran	+ +	+ +	+ +	+ +
	Le Raux	+ +	+ +	+ +	+ +
	La Chalpe	+ +	+ +	+ +	+ +

Tableau 6. 5. : Appréciation qualitative des résultats de la classification des conséquences potentielles obtenues pour le bâti avec la méthode adaptée à l'aléa « avalanches ». Les symboles et couleurs figurent l'aspect général des entités concernés en matière de conséquences potentielles : ++ sur fond rouge : conséquences très fortes, + sur fond orange : conséquences fortes, = sur fond jaune : conséquences modérées, - sur fond vert clair : conséquences faibles, -- sur fond vert foncé : conséquences négligeables.

Les résultats obtenus suite à la classification des enjeux de bâti montrent des différences tant entre les vallées du Queyras, qu'au sein de ces dernières (Tab. 6. 5.). Quel que soit l'indice considéré, les conséquences potentielles les plus fortes s'observent dans la vallée de l'Aigues Blanche (Saint-

Véran, le Raux, La Chalp et le Clôt-La-Chalpe). Ce constat reflète à la fois l'importance des enjeux touristiques et commerciaux de la vallée et l'absence de prise en compte de l'aléa avalancheux dans la construction du bâti (absence de protections du bâti). À l'opposé, les conséquences les plus faibles s'observent dans la vallée de l'Aigue Agnelle (Fongillarde, le Coin, Château-Renard et Pierre-Grosse). Deux raisons expliquent ce fait. La première est d'ordre fonctionnel : les enjeux de la vallée sont pour l'essentiel liés à l'habitat et à l'agro-pastoralisme. La vallée compte ainsi peu d'enjeux artisanaux, commerciaux ou touristiques (hors location de meublés), d'où des poids d'indices moindres. La seconde est d'ordre structurel : la plupart du bâti de la vallée est construite de manière à mieux résister aux impacts des avalanches (murs aveugles, bâtisses construites à flanc de versant, etc.) ce qui lui vaut des poids de CC et CSF globalement plus faibles que dans le reste du Queyras.

Dans la haute vallée du Guil, on note une dichotomie entre la moitié amont (communes de Ristolas et d'Abriès) et la moitié aval de la vallée (communes d'Aiguilles et de Château-Ville-Vieille). Pour les quatre indices, le bâti situé à l'amont de la vallée affiche généralement des conséquences potentielles plus faibles que celui situé en aval. À cette dichotomie entre l'amont et l'aval de la vallée, s'ajoute une opposition entre les centres-villes et les « quartiers périphériques ». Le bâti situé en centre-ville, ancien et construit avec des matériaux traditionnels, affiche des conséquences potentielles plus importantes que le bâti périphérique, plus récent et élaboré avec des matériaux plus adaptés. Les facteurs qui déterminent la répartition des conséquences potentielles à l'échelle de la vallée du Guil sont donc avant tout structurels : matériaux et date de construction, présence ou absence de protections et nombre d'ouvertures par façades exposées. Toutes vallées confondues, ce sont donc les enjeux situés dans les espaces les plus exposés qui présentent les conséquences potentielles les moins importantes. Si ce constat peut paraître paradoxal, il témoigne en fait d'une bonne adaptation des pratiques architecturales à l'aléa avalancheux.

La classification des enjeux de réseaux est essentiellement fonction de leurs rôles dans le bon fonctionnement du territoire queyrassin (Tab. 6. 2.). En toute logique, ce sont donc les réseaux essentiels (route D 947 et ligne à haute tension) qui affichent les conséquences potentiels (CSF, CFI et CT) les plus fortes. Les réseaux secondaires (routes menant aux différents hameaux et remontées mécaniques) présentent des conséquences potentielles modérées ou fortes et les réseaux annexes (routes forestières et chemins) des conséquences faibles ou négligeables. Pour les enjeux d'occupation/usages des sols, c'est également l'aspect fonctionnel qui prime (Tab. 6. 2.). Les enjeux surfaciques présentant des conséquences potentiels fortes et très fortes (CSF et CT) sont formés par les espaces urbanisés (zones urbaines, campings et parkings) et les espaces à vocation touristique, notamment hivernal (domaines skiables, espaces ludiques et terrains de sport). Les surfaces employées à des fins agro-pastorales ont des conséquences modérées et les espaces forestiers des conséquences faibles.

L'usage d'une méthode PDI adaptée à l'aléa « avalanches » a permis d'identifier les facteurs concourant à causer d'importantes conséquences en cas d'avalanche. Via la combinaison de ces facteurs, il a ensuite été possible de spatialiser les différents types de conséquences et de faire ressortir les secteurs potentiellement les plus vulnérables (sans toutefois prendre en compte les emprises avalancheuses). Pour approfondir le modèle, plusieurs pistes devront être explorées à l'avenir. La première consisterait à mieux intégrer les différents types de dommages pouvant être causés par les avalanches, à savoir les impacts directs, les projections de matériaux exogènes (troncs, pierres, etc.) et les dommages liés aux effets de souffle (« *blast effect* »). Creuser cette voie nécessiterait, cependant, d'analyser en détail les relations entre types d'avalanche (en plaque, de neige humide ou de poudreuse), pression d'impact et résistance du bâti. Ce dernier élément étant lui-même fonction des matériaux de construction et des caractéristiques architecturales du bâti. En étudiant la relation entre les distances parcourues par les avalanches et les pressions d'impact exercées, nous pourrions également ajouter un critère de position

tel que proposé dans les conclusions sur les conséquences potentielles liées aux crues torrentielles et aux glissements de terrain (fond de vallée, cône torrentiel, pied de versant, milieu de versant et sommet de versant). Une autre perspective consisterait à mieux prendre en compte les éléments concourant à réduire les impacts des avalanches sur le bâti. Nous pourrions ainsi considérer les protections offertes par les ouvrages paravalanches ou par le bâti (une maison en protégeant une autre, par exemple). Une dernière possibilité consisterait à mettre en évidence les secteurs les plus fréquemment impactés en créant des zones tampons (*buffer*) autour des couloirs d'avalanches fonctionnant annuellement (telle que l'avalanche de la Fourche).

Conclusion

Les travaux exposés dans ce chapitre sont le fruit d'une analyse aux échelles régionale et locale des conséquences potentielles de trois types d'aléas – les crues torrentielles, les glissements de terrain et les avalanches – sur les enjeux biophysiques du Queyras (représentés par le bâti, les réseaux et l'occupation du sol). Cette analyse repose sur l'utilisation d'indices illustrant les différentes catégories de conséquences possibles : corporelles directes, structurelles et fonctionnelles directes, socio-économiques (ou fonctionnelles indirectes) et totales. Ces conséquences ont été obtenues en combinant un ensemble de critères décrivant les caractéristiques des différents types d'enjeux. Après un rappel des principaux résultats obtenus, nous aborderons, via un retour d'expérience, les limites du modèle employé et ses perspectives futures d'amélioration.

Dans la méthode PDI adaptée aux effets des crues torrentielles, les enjeux de bâti classés avec de très fortes conséquences potentielles sont les enjeux récents, à forte valeur socio-économique, et situés sur les cônes torrentiels ou dans les fonds de vallée. Les bâtiments classés avec des conséquences fortes sont principalement des logements individuels récents situés sur les hauteurs des villages et des hameaux. Du fait de leur faible exposition aux aléas torrentiels, ils ne sont, en effet, pas construits pour résister aux impacts de ces derniers. Les enjeux présentant de faibles conséquences potentielles sont composés de bâtiments anciens, construits avec des matériaux traditionnels et situés dans les centres-bourg des villages et hameaux. D'une manière générale, les enjeux non-habités, ou présentant des fonctions secondaires pour le territoire affichent des conséquences négligeables.

Dans la méthode adaptée aux effets des glissements de terrain, les enjeux de bâti classés avec de très fortes conséquences sont avant tout ceux dotés de fonctions essentielles pour le territoire. Les enjeux de bâti classés avec des conséquences fortes sont ainsi principalement liés au tourisme et à l'habitat. Parmi les logements, ce sont ceux construits sur la période 1970 – 2000 qui affichent les conséquences les plus fortes. Le bâti ancien, et non doté de fonctions essentielles affiche des conséquences plus faibles. Comme pour la méthode PDI adaptée aux crues torrentielles, les bâtiments non-habités affichent des conséquences potentielles négligeables et faibles.

Dans la méthode adaptée aux avalanches, c'est le bâti situé dans bourgs anciens et construit avec des matériaux traditionnels qui présentent les plus fortes conséquences potentielles. À l'inverse, le bâti périphérique récent, construit avec des matériaux modernes, a des conséquences potentielles plus faibles. Les facteurs qui déterminent la répartition des conséquences potentielles sont avant tout structurels : matériaux et date de construction, présence ou absence de protections et nombre d'ouvertures par façades exposées. À l'échelle du Queyras, on observe que ce sont les enjeux situés dans les espaces les plus exposés qui présentent les conséquences potentielles les moins importantes. Ce constat, paradoxal, témoigne d'une bonne adaptation des pratiques architecturales à l'aléa avalancheux.

Quelle que soit la méthode employée, la classification des enjeux de réseaux et d'occupation du sol est identique. Elle est essentiellement fonction de leurs rôles dans le bon fonctionnement du territoire.

Les réseaux principaux affichent les conséquences potentielles les plus fortes. Les réseaux secondaires présentent des conséquences potentielles modérées à fortes, et les réseaux annexes des conséquences faibles ou négligeables. Pour les enjeux d'occupation/usages des sols, ce sont les espaces urbanisés et/ou à vocation touristique qui affichent les conséquences potentielles les plus importantes. À l'opposé, les surfaces naturelles présentent des conséquences potentielles négligeables et faibles.

Les trois déclinaisons de la méthode PDI employées ont permis d'identifier les enjeux et les critères les plus susceptibles d'entraîner des conséquences négatives pour le Queyras et ses habitants. Avec du recul sur les résultats obtenus, certaines composantes de la méthode peuvent cependant encore être améliorées. L'une des principales limites de la méthode PDI a déjà été évoquée (cf. chapitre 6 : 3. 1. 5., 3. 2. 5. et 3. 3. 5.). Elle tient à la prise en compte, encore partielle, des différents impacts des aléas. Plusieurs éléments ayant d'ores et déjà été proposés en vue de mieux intégrer ces derniers ; nous nous concentrerons ici sur les moyens d'améliorer la méthode dans sa globalité (c.-à-d. tout aléa confondu).

De notre point de vue, il existe deux biais majeurs dans la méthode PDI actuelle. Le premier réside dans le déséquilibre entre les poids des indices employés pour calculer les conséquences totales. Le second tient à la prise en compte limitée des enjeux de réseaux et d'occupation/usage des sols.

Pour donner aux trois indices un poids équivalent, nous proposons de reclasser les résultats obtenus pour chaque indice en fonction des classes de conséquences attribuées aux enjeux. En donnant par exemple, une valeur de 1 à 5 à chacun des enjeux – où 1 correspondrait aux conséquences négligeables et 5 aux conséquences très fortes – nous serions en mesure de calculer les conséquences totales à l'aide d'une matrice et non plus des poids totaux obtenus par les différents enjeux. Ce faisant, les CC, les CSF et les CSE auraient un poids équivalent dans les CT ce qui faciliterait leur l'analyse.

Dans la méthode PDI, les conséquences corporelles pouvant survenir sur les réseaux (blessures ou décès) ou pouvant découler d'une coupure de réseaux (accès des secours) ne sont pas considérées. De fait, les réseaux ne sont pris en compte qu'au travers de leur seule fonction première, ce qui constitue un facteur limitant. Pour tenir compte de ces aspects, une solution consisterait à hiérarchiser les réseaux (ou tronçons de réseaux) selon l'une des méthodes employées pour l'ordination des réseaux hydrographiques : méthode de Gravelius (1914), de Horton (1945) ou de Shreve (1967). En hiérarchisant les réseaux, on pourrait faire ressortir les phénomènes d'isolement liés à leur interruption, tout en fournissant une idée de leur fréquentation. Un autre aspect à considérer serait d'ajouter un critère décrivant les fonctions secondaires des réseaux – par exemple : chemin d'exploitation forestière ou agricole, parcours de randonnée pédestre ou de VTT, piste de ski de fond ou de ski nordique, etc. Un tel critère permettrait de mieux jauger de l'importance réelle des réseaux tout en ajoutant une dimension temporelle aux différents indices. De fait, il permettrait de distinguer les pratiques et fréquentations saisonnières (estivales/hivernales) des pratiques et fréquentations annuelle. Pour renforcer le volet structurel et fonctionnel direct, on pourrait également ajouter des critères relatifs à l'état des réseaux (présences ou non de nids de poules ou d'affaissement de la chaussée, etc.) et aux matériaux employés pour leur construction (macadam, gravier, terre battue, etc.).

Dans un esprit similaire, des travaux pourraient être menés afin de mieux tenir compte des enjeux d'occupation/usage du sol. Sur le volet corporel, on pourrait envisager d'attribuer des poids aux enjeux en fonction de leur fréquentation probable. Les poids seraient importants dans les espaces de vie (centres-villes et zones commerciales) et les espaces liés au tourisme (domaines skiables, aires de piqueniques, parkings, points de vue, etc.), et faibles en dehors. Sur les volets structurels, fonctionnels et socio-économiques, certaines branches économiques, qui jouent pourtant un rôle clé dans le fonctionnement du territoire, sont encore sous-évaluées. À ce titre, on peut citer les activités liées à la sylviculture, à l'agropastoralisme ou à la construction. Un travail plus exhaustif sur les usages du sol

permettrait de mieux souligner l'importance de ces activités. On pourrait par exemple, ajouter les zones d'exploitation forestière, les alpages loués aux éleveurs, ou encore les zones de stockages de matériaux de construction (bois, sables, graviers, etc.). Sur l'aspect socio-économique, on pourrait envisager d'intégrer certains documents d'urbanisme tel que les SCOT (Schéma de Cohérence Territoriale) ou les PLU (Plan Local d'Urbanisme). Ce faisant, on serait en mesure de prendre en considération les projets de développement à court et moyen termes des communes, donc les futurs usages des sols (notamment les zones à urbaniser).

Outre ces remarques qui nécessiteraient une refonte du PDI, plusieurs modifications mineures de la méthode devraient permettre de mieux discriminer les enjeux. Des ajustements dans les pondérations devront être testés dans de futurs travaux. Il conviendrait ainsi de réduire les poids appliqués aux enjeux d'habitat (EaR-D et EaR-E, Tab. 6. 2., 6. 6. et 6. 7.). Bien que ce soit des enjeux très importants, leur donner le même poids que les enjeux touristiques s'est avéré être un mauvais choix. Il fut de fait impossible de distinguer ces deux types d'enjeux dans les cartes produites.

Ear - D	Fonction du bâti	Cep 1	Cep 2
D1	Education	1.00	1.00
D2	Secours	1.00	1.00
D3	Administration publique	0.90	0.90
D4	Touristique	0.80	0.80
D5	Habitat	**0.80**	**0.60**
D6	Commerciale	0.70	0.70
D7	Artisanale	0.70	0.70
D8	Agricole / pastorale	0.40	0.40
D9	Religieuse	0.20	0.20
D10	Stockage	0.10	0.10

Tableau 6. 6. : Proposition de modification de l'EaR-D. Cep 1 – version actuelle, Cep 2 – version modifiée.

Nous pourrions également modifier les modalités et les poids de l'EaR-E (type de bâti, Tab. 6. 26.) afin de faire ressortir les logements collectifs et de mieux intégrer le volet patrimonial. En effet, si la plupart du bâti ancien (églises, chalets, bergeries, etc.) dispose de fonctions « esthétiques » qui participent à l'attrait touristique du Queyras, cet aspect est encore mal-exploité dans nos travaux.

Ear - E	Type de bâti : propsition de modification	Cep
E1	"Sensible" (mairie, hôpital, caserne, énergie, école...)	1.00
E3	Équipement touristique	0.80
E4	Patrimonial	0.80
E2	Logement collectif	0.70
E5	Logement individuel (non patrimonial)	0.50
E6	Atelier et hangar	0.30
E7	Cabane et garage	0.10

Tableau 6. 7. : Proposition de modification de l'EaR-E.

En plus de ces modifications, nous proposons d'ajouter un critère « fonction secondaire » pour les enjeux de bâti. Ce critère permettrait de mieux faire ressortir les enjeux disposant de fonctions multiples tout en évitant à l'opérateur de faire un choix dans la fonction à prendre en compte.

Bien que la méthode PDI adaptée aux spécificités du Queyras – et ses déclinaisons pour les différents aléas – puisse encore être améliorée, elle n'en demeure pas moins un outil efficient pour estimer les conséquences potentielles des aléas sur les enjeux. À bien des égards, la méthode PDI présente des avantages certains : 1) Elle inclut l'ensemble des types de conséquences pouvant affecter

les enjeux ; 2) Elle permet l'analyse de ces conséquences aux échelles locales et régionales via la production de cartes à haute résolution ; 3) Elle prend en compte les caractéristiques des enjeux tout en ne nécessitant, ni données empiriques, ni données monétaires ; 4) Elle est suffisamment flexible pour être transposée à différents lieux et types d'aléas ; 5) elle peut rapidement être modifiée après retours d'expérience.

Chapitre 7 : Évaluation de la vulnérabilité sociale dans le Queyras

Introduction

Dans le précédent chapitre ont été exposés les résultats de l'analyse de la vulnérabilité biophysique menée dans le Queyras. Ce travail, fondé sur l'utilisation d'indices, a permis d'évaluer les conséquences potentielles de trois aléas (crues torrentielles, glissements de terrain et avalanches) sur différents types d'enjeux (représentés par le bâti, les réseaux et l'occupation du sol). Si les résultats de cette analyse sont probants, ils ne concernent qu'un des multiples aspects de la vulnérabilité (Léone, 2007 ; Fuchs, 2009 ; Birkmann *et al*., 2013 ; Papathoma-Köhle *et al*., 2017). Se borner à une telle approche pour caractériser la vulnérabilité « globale » du Queyras serait donc réducteur. Le choix a donc été fait d'aborder également la vulnérabilité dans ses composantes sociales et culturelles. À cette fin, une enquête par questionnaire, portant sur la perception des risques et de leur gestion, a été menée auprès des résidents des six communes du Queyras (Carlier *et al*., 2018b). L'objectif de cette enquête était pluriel, il s'agissait : 1) de déterminer la façon dont les Queyrassins perçoivent les risques torrentiels et gravitaires ; 2) d'évaluer la mémoire du risque et son entretien ; 3) d'estimer les connaissances des habitants sur les risques et les mesures de mitigation mises en place ; 4) d'évaluer la confiance accordée par la population aux différents acteurs de la gestion des risques.

À ce jour, de nombreux travaux ont été menés en vue de définir et de décrire la vulnérabilité sociale (Blaikie *et al*., 1994 ; Cutter *et al*., 2003 ; Dwyer *et al*., 2004 ; Birkmann, 2007 ; Steinführer *et al*., 2009 ; Van der Veen *et al*., 2009 ; Tapsell *et al*., 2010). En géographie des risques, celle-ci se réfère aussi bien aux facteurs psychologiques et sociologiques (Glatron et Beck, 2008 ; Goeldner-Gianella et Humain-Lamoure, 2010 ; Wachinger et Renn, 2010 ; Wachinger *et al*., 2013 ; Guillemot *et al*., 2014 ; Charrière *et al*., 2017) qu'aux facteurs socio-économiques et démographiques affectant la résilience des individus et des communautés face à un risque donné (Clark *et al*., 1998 ; Wu *et al*., 2002 ; Cutter *et al*., 2003 ; Chakraborty *et al*., 2005 ; Flanagan *et al*., 2012). Caractériser la vulnérabilité sociale revient donc à analyser la manière dont une communauté réagit face au risque (Glatron et Beck, 2008). L'évaluation de la vulnérabilité sociale est dès lors essentielle car elle contribue 1) à identifier où se situent les besoins les plus importants, 2) à déterminer et à prioriser les actions à mener, 3) à mesurer l'efficacité des méthodes d'atténuation mises en place, 4) à informer les décideurs et les praticiens et 5) à alerter et à sensibiliser le public (Birkmann, 2007 ; Tapsell *et al*., 2010 ; Sterlacchini *et al*., 2014).

On distingue deux méthodes principales pour évaluer la vulnérabilité sociale. La plus fréquemment employée consiste à créer des indices ou indicateurs de vulnérabilité à partir de données socio-économiques et / ou démographiques issues de recensements nationaux (Bolin, 1985 ; Blaikie *et al*., 1994 ; Clark *et al*., 1998 ; Wu *et al*., 2002 ; Cutter *et al*., 2003 ; Chakraborty *et al*., 2005 ; Birkmann, 2006c ; Rygel *et al*., 2006 ; Zahran *et al*., 2008 ; Tapsell *et al*., 2010 ; Fuchs *et al*., 2011 ; Tate, 2012 ; Lee, 2014 ; Frigerio et De Amicis, 2016 ; Ahmed *et al*., 2018 ; Frigerio *et al*., 2018). L'indice le plus couramment employé est le SoVI® (*Social Vulnerability Index* ; Cutter *et al*., 2003). Initialement développé pour estimer la vulnérabilité sociale des contés états-uniens, il a fait l'objet de nombreuses modifications et adaptations (Burton et Cutter, 2008 ; Schmidtlein *et al*., 2008 ; Fekete, 2009 ; Burton, 2010 ; Flanagan *et al*., 2012 ; Yoon, 2012 ; Armas et Gavris, 2013 ; Svare Holand et Lujala, 2013 ; Zebardast, 2013 ; Bergstrand *et al*., 2015 ; Guillard-Gonçalves *et al*., 2015 ; Gu *et al*., 2018 ; Aksha *et al*., 2019). Le succès de cette méthode tient à ce qu'elle est facilement transposable et relativement simple à mettre en œuvre (dès l'instant où les données sont disponibles). En revanche, cette méthode requiert un grand nombre d'objets d'étude (au sens d'unités spatiales) pour être représentative. Par conséquent, elle est plus adaptée aux études menées à grande échelle (nationale, régionale ou à celle de grandes agglomérations) qu'à celles menées à l'échelle locale.

La seconde méthode consiste à réaliser puis à exploiter des enquêtes de perception menées auprès d'individus résidant ou fréquentant l'espace étudié (Edwards, 1993 ; Russell *et al*. 1995 ; Beringer 2000 ; Lindell et Perry, 2000 ; Tulloch et Lupton, 2003 ; Glatron et Beck, 2008 ; Goeldner-Gianella et Humain-Lamoure, 2010 ; Wachinger et Renn, 2010 ; Sterlacchini *et al*., 2014 ; Calvello *et al*., 2015 ; Crescimbene *et al*., 2015 ; Han *et al*., 2017 ; Sullivan-Wiley et Short Gianotti, 2017 ; Xu *et al*., 2018). C'est la méthode employée dans ce chapitre. La perception du risque est un processus cognitif qui oriente le comportement des populations face à un aléa (Slovic, 2000 ; Tulloch et Lupton, 2003 ; Glatron et Beck, 2008 ; Haynes *et al*. 2008 ; Paton *et al*. 2008 ; Calvello *et al*., 2015 ; Slovic, 2016). Ce processus est à la fois individuel et collectif ; il sélectionne et interprète les signaux associés à des observations directes ou à des informations reçues des autres (Goeldner-Gianella et Humain-Lamoure, 2010 ; Calvello *et al*., 2015). Les facteurs tels que la perception, l'état de préparation, la conscience ou la mémoire du risque, occupent une place centrale dans ce type d'analyse (Slovic, 2000 ; Glatron et Beck, 2008).

Il existe deux principales approches pour étudier la perception du risque : l'approche réaliste et l'approche constructiviste (Rosa, 1998 ; Slovic, 2000 ; Harding *et al*., 2001 ; Patenaude, 2002 ; Milhabet *et al*., 2002 ; Kermisch, 2010, 2012 ; Le Bouter, 2014). La première considère que la perception du risque est objective. En d'autres termes, le risque existe en soi, indépendamment des processus sociaux et culturels (Pieret, 2012). Selon cette approche, disposer de davantage d'informations sur les risques est suffisant pour avoir une meilleure perception de ces derniers (Harding *et al*., 2001 ; Goeldner-Gianella et Humain-Lamoure, 2010). Dans l'approche constructiviste, le risque est considéré comme subjectif et socialement construit. Pour caractériser la perception du risque, il serait donc nécessaire d'examiner plusieurs points de vue (psychologique, social et culturel) ainsi que leurs interactions (Slovic, 2000 ; Harding *et al*., 2001 ; Rebotier, 2008 ; Wachinger et Renn, 2010 ; Crescimbene *et al*., 2015).

Une troisième approche est en outre proposée par Ulrich Beck dans son ouvrage « *la société du risque* » (Beck, 2001). Cette approche, dite du « constructivisme réaliste » ou du « réalisme réflexif », s'inscrit à l'intersection des deux approches susmentionnées. Selon Beck, les risques sont à la fois ancrés dans la réalité et constitués par la perception et la construction sociale (Beck, 2001 ; Glatron et Beck, 2008 ; Pieret, 2012). Par conséquent, les risques *« peuvent être transformés, réduits ou augmentés, dramatisés ou banalisés par la connaissance, et se prêtent donc tout particulièrement aux processus de définition sociale* » (Beck, 2001 ; Pieret, 2012). C'est cette dernière approche que nous avons choisi d'adopter ici.

Les enquêtes de perception se présentent le plus souvent sous la forme d'entretiens directifs ou semi-directifs (De Ketele et Roegiers, 1996 ; Salès-Wuillemin, 2006 ; Combessie, 2007 ; Sauvayre, 2013), ou bien de questionnaires standardisés (Slovic, 2000 ; Harding *et al*., 2001 ; Goeldner-Gianella et Humain-Lamoure, 2010 ; Sauvayre, 2013). Les entretiens (directifs ou semi-directifs) sont des méthodes qualitatives qui s'appuient sur des grilles de questions préétablies (Combessie, 2007). En géographie des risques, ils sont principalement adressés aux gestionnaires pour qualifier les jeux d'acteurs et évaluer les modes de gestion des risques. Les questionnaires standardisés sont, pour leur part, plutôt destinés à une population nombreuse et ce, en vue d'effectuer des traitements statistiques (Edwards, 1993 ; Lindell et Perry, 2000 ; Goeldner-Gianella et Humain-Lamoure, 2010). Ils comportent généralement une majorité de questions « fermées » (l'enquêté dispose d'un nombre prédéterminé de modalités de réponses) auxquelles s'ajoutent quelques questions « ouvertes » (l'enquêté est libre de répondre comme il le souhaite). Ils sont parfois complétés par une ou plusieurs cartes mentales visant à appréhender les relations spatiales entre le phénomène étudié, et l'enquêté (Baggio et Rouquette, 2006 ;

Wagner, 2007 ; Gueben-Venière, 2011 ; Chesneau et Clément, 2013 ; Chevillot-Miot *et al*., 2016 ; Lamarre *et al*., 2016 ; Heitz *et al*., 2018).

Encore récemment, les enquêtes par questionnaire étaient peu mobilisées dans les recherches géographiques, au regard d'autres techniques d'enquête (entretiens, observations, relevés), notamment en géographie des risques (Tapsell *et al*., 2010 ; Sterlacchini *et al*., 2014). Encore maintenant, si les travaux portant sur les aléas côtiers ou sismiques abondent (Lindell et Perry, 2000 ; Flanquart *et al*., 2006 ; Guillemot *et al*., 2014 ; Longepee *et al*., 2015 ; Nakayachi *et al*., 2015 ; Henrich *et al*., 2018 ; Lemée *et al*., 2018 ; Shapira *et al*., 2018), la perception des aléas torrentiels et gravitaires est encore peu documentée (Fanthou et Kaiser, 1990 ; Decaulne, 2001 ; November *et al*, 2007 ; Calvello *et al*., 2015 ; Charrière *et al*., 2017 ; Santoro *et al*., 2019). On reproche souvent aux enquêtes de perception de biaiser l'information en raison de la multiplicité des facteurs qui peuvent influencer les discours et les pratiques (Moscovici, 1961 ; Bailly, 1977 ; Goeldner-Gianella et Humain-Lamoure, 2010). De fait, les représentations individuelles sont fonction des caractéristiques de l'individu (éducation, position sociale, âge, position dans l'espace, etc.), en lien avec le contexte local (socio-économique, culturel, territorial, etc. ; Goeldner-Gianella et Humain-Lamoure, 2010). Quelques études ont d'ailleurs souligné que, dans de nombreux cas, il existe une différence entre la perception subjective des risques et leur évaluation objective (par les scientifiques ou les professionnels du risque ; Slovic, 2000 ; Combessie, 2007 ; Calvello *et al*., 2015 ; Crescimbene *et al*., 2015).

En dépit de leurs défauts, les questionnaires demeurent des outils utiles, sinon indispensables, pour évaluer la perception des risques « naturels » (Tapsell *et al*., 2010 ; Sterlacchini *et al*., 2014). Ils constituent un moyen efficace pour collecter, à la source, des informations sur la connaissance et la mémoire du risque, les réactions des communautés qui y sont confrontées et la confiance envers les gestionnaires (Slovic, 2000 ; Glatron et Beck, 2008 ; Wachinger *et al*., 2013). Qui plus est, les enquêtes par questionnaires permettent de traiter statistiquement ces informations donc de les quantifier (Combessie, 2007 ; Sauvayre, 2013). Récemment, elles ont acquis un intérêt croissant dans le domaine de la gestion des risques car elles contribuent à mieux cibler les populations les plus vulnérables, à accroître la préparation des populations et à adapter les mesures d'atténuation mises en œuvre (Harding *et al*., 2001 ; Kellens *et al*., 2013 ; Calvello *et al*., 2015 ; Qasim *et al*., 2015).

Prenant en considération ces éléments, notre choix s'est porté sur un questionnaire semi-directif laissant une large place à la discussion et à l'échange entre enquêté et enquêteur. Après quelques précisions sur la méthodologie employée, les résultats de l'enquête menée dans le Queyras seront présentés et analysés dans le détail. En s'attachant à comparer les différences entre villages et à interroger les spécificités de chacun des risques étudiés, cette étude offre un bon aperçu des façons dont les Queyrassins perçoivent les risques naturels, notamment en fonction de leur propre expérience du risque, et de la manière dont ils appréhendent les politiques de gestion en vigueur.

1. Méthodes et données

1. 1. Élaboration du questionnaire

Le questionnaire employé dans le Queyras a été élaboré à partir de deux sources : les travaux réalisés par Marjorie Angignard à l'occasion du projet européen « *Mountain risks* » (Angignard *et al*., 2014) et les travaux de thèse de Candide Lissak (Lissak, 2012). Pour répondre aux spécificités du terrain queyrassin (aléas, acteurs, populations, etc.), le questionnaire a été adapté et enrichi de nouveaux éléments. Il comprend ainsi une page d'accueil informant l'usager et sa famille : de l'objectif de l'enquête, de l'anonymat et de la confidentialité des réponses données et des personnes à consulter pour

toutes questions. Le questionnaire comprend 38 questions et intègre des cartes mentales adaptées aux six communes du Queyras (cf. annexes 1 ; Carlier *et al*., 2018b). Les questions se déclinent en 4 types :

- Des questions fermées à échelle ordinale (peu dangereux / dangereux / très dangereux, etc.).
- Des questions fermées dichotomiques (oui / non / ne sait pas) associées à des questions ouvertes (si non, précisez pourquoi, etc.).
- Des questions fermées à choix multiples.
- Des questions ouvertes (savez-vous que faire en cas de … ? etc.).

Ces questions sont réparties au sein de 6 rubriques :

- La première – *Quelques questions générales* – comprend 6 questions portant sur le lieu de résidence, l'habitat et le temps passé sur le territoire (en termes d'années et de générations).
- La deuxième – *Vous et les risques naturels* – se compose de 2 questions. La première question, fermée, porte sur le niveau de préoccupation vis-à-vis de différents aléas. La seconde, ouverte interroge l'expérience du risque de l'enquêté.
- La troisième – *Les risques naturels dans votre commune* – est constituée de 6 questions relatives à la connaissance des aléas et de leurs impacts potentiels sur la commune de résidence. C'est dans cette rubrique que se trouvent les cartes mentales. Celles-ci se présentent sous la forme de fonds de carte en noir et blanc centrés sur les villages et hameaux des 6 communes. Plusieurs informations sont présentes sur ces fonds de carte : le bâti, les routes principales et le tracé des cours d'eau les plus importants.
- La quatrième – *Communiquer et informer sur les risques naturels* – renferme 12 questions. Celles-ci portent sur la transmission des connaissances relatives aux risques « naturels » et les perceptions qu'ont les enquêtés des risques et de leur gestion.
- La cinquième – *Connaître les risques naturels et se préparer* – comporte 6 questions dont 2 ouvertes. Ces questions portent sur deux thèmes principaux : la connaissance des mesures de protection et d'atténuation des risques, et le niveau de préparation des enquêtés.
- La sixième – *Quelques questions personnelles* – comprend 6 questions visant à récolter des informations d'ordre démographique (âge, sexe et structure familiale) et socio-économiques (catégories socio-professionnelles et niveau de diplôme) sur les enquêtés. Cette partie a un double objectif : permettre l'identification des populations les plus sensibles et évaluer la représentativité de l'échantillon de population enquêté.

À travers ces rubriques, ce sont quatre aspects fondamentaux de la perception des risques qui sont abordés : 1) la perception des aléas torrentiels et gravitaires et de leurs dangers ; 2) la connaissance des risques et de leur gestion ; 3) la mémoire des événements passés et son entretien, et enfin ; 4) la confiance accordée aux divers acteurs de la gestion des risques (Carlier *et al*., 2018b).

1. 2. Mise en place de la démarche

Les enquêtes de perception peuvent être menées selon une approche directe ou bien indirecte. L'approche directe consiste à remplir le questionnaire avec l'enquêté à la manière d'un entretien semi-directif (De Singly, 2008). Cette approche procure plusieurs avantages : elle permet de garantir un taux de retour maximum, d'évaluer le sérieux de l'enquêté et de s'assurer qu'il répond bien à l'ensemble des questions posées et enfin, de glaner un maximum d'informations connexes à la thématique étudiée. Le principal désavantage de cette approche est qu'elle peut s'avérer hautement chronophage. Par opposition, l'approche indirecte consiste à laisser l'enquêté répondre seul au questionnaire (De Singly, 2008). Dans ce cas de figure, le questionnaire est généralement envoyé par la poste ou par internet, ou encore, déposé directement au domicile ou sur le lieu de travail de l'enquêté. Ce dernier doit alors faire la démarche de remplir seul le questionnaire puis de le renvoyer à l'enquêteur. Comparée à l'approche directe, l'approche indirecte permet d'économiser du temps et de récolter une quantité plus importante de questionnaires. Malgré cela, cette approche présente plusieurs limites importantes : 1) le taux de retour est variable et ne peut être estimé à l'avance ; 2) on ne peut jauger du sérieux de l'enquêté ; 3) les questionnaires ne sont pas toujours correctement remplis (questions sans réponses et/ou questions mal comprises) ; 4) l'échantillon n'est pas toujours représentatif de la réalité socio-démographique du territoire (on observe la plupart du temps une surreprésentation des chômeurs et des retraités).

L'enquête de perception menée dans le Queyras a nécessité trois campagnes d'investigations : printemps 2014, été 2015 et automne 2016. La première phase de l'enquête (du 19 au 30 mai 2014) a été menée exclusivement sur les communes de Ristolas, Abriès et Aiguilles. Pour cette première campagne, c'est l'approche directe qui a été privilégiée, afin de se familiariser avec le terrain et de s'assurer d'un taux de retour maximum de questionnaires. Cette première campagne a été conduite avec l'aide de Constance Dujarric, étudiante de master 1 à l'université Paris-Diderot. Les Queyrassins ont été enquêtés à l'occasion d'événements commerciaux ou culturels (marché, festival, etc.) et par la méthode du porte-à-porte.

Dans la deuxième phase de l'enquête (du 15 juillet au 15 août 2015), ce sont les communes de Château-Ville-Vieille, Molines-en-Queyras et Saint-Véran qui ont été investiguées. Cette deuxième campagne s'étant déroulée au plus fort de la saison touristique estivale, il ne nous a pas été possible de procéder de la même façon que lors de la première. De fait, nombre d'individus étaient trop occupés pour nous accorder le temps nécessaire au remplissage du questionnaire. Pour importuner le moins possible les enquêtés, seul un tiers des questionnaires a été rempli selon l'approche directe. Les deux autres tiers ont été déposés chez les habitants ou sur leur lieu de travail, puis récupérés quelques temps plus tard, une fois le questionnaire dûment rempli. Dans l'un et l'autre cas, une attention particulière a été donnée à l'explication du contexte de recherche et à l'intérêt scientifique de la démarche.

La troisième campagne d'enquête a été effectuée à l'été 2016 (du 2 au 27 juillet) sur l'ensemble des six communes du Queyras. L'objectif de cette campagne était d'ajuster l'échantillon des enquêtés, de sorte qu'il soit le plus représentatif possible de la structure socio-démographique des communes queyrassines. Pour cette campagne d'enquête, les individus interrogés ont été sélectionnés selon divers critères socio-démographiques : âge, sexe, CSP, etc. Quand cela était possible, les questionnaires ont été remplis directement avec les enquêtés. Dans le cas contraire, les questionnaires ont été distribués au public ciblé puis récupérés quelques jours plus tard. Les avantages et biais posés par cette méthodologie d'enquête seront évoqués en discussion.

1. 3. Échantillonnage et représentativité

Il y a deux paramètres fondamentaux à prendre en compte lorsque l'on réalise une enquête de perception : le choix du public cible et la sélection de l'échantillon de population à interroger. Concernant le public cible, l'enquête s'adressait avant tout aux résidents permanents du Queyras. Des résidents saisonniers ont néanmoins étés enquêtés car ils figurent parmi les populations exposées aux risques et ne sont pas forcément au fait de leur existence ou de leur emprise. La taille de l'échantillon est un facteur déterminant pour pouvoir généraliser les résultats d'une enquête à l'ensemble de la population ciblée. En règle générale, la taille d'un échantillon est fonction de la taille de la population ciblée (Tab. 7. 1.) et de la variabilité des caractéristiques de cette dernière (Tab. 7. 2.). En d'autres termes, plus la population ciblée est grande et diversifiée, et plus la taille de l'échantillon doit être importante. Cependant, la taille d'un échantillon n'augmente pas proportionnellement à la taille de la population. Quand une population est grande (> 30 individus), la taille de la population cible n'a plus guère d'influence sur la taille de l'échantillon (De Singly, 2008). Dans ce cas, la loi normale fournit une bonne approximation du nombre d'individus à enquêter. On l'utilise via la formule suivante :

$$\mathbf{n = z^2 \times p\,(1 - p) / m^2}$$

Où n = taille de l'échantillon ; z = niveau de confiance selon la loi normale centrée réduite (pour un niveau de confiance de 95 %, z = 1,96, pour un niveau de confiance de 99 %, z = 2,575) ; p = proportion estimée de la population qui présente la caractéristique (lorsque inconnue, on utilise p = 0,5 qui correspond au cas où la dispersion est la plus grande) ; et m = marge d'erreur tolérée (1 %, 5 %, 10 %).

Cette formule détermine le nombre de personnes « n » à interroger, en fonction de la marge d'erreur « m » que l'on peut tolérer sur une proportion de réponses « p ». Plus l'intervalle de confiance est élevé et plus la taille de l'échantillon est grande. Il en va de même si l'on souhaite une marge d'erreur faible.

Commune	**Population en 2016 (en nb d'hab.)**	**Superficie (en km²)**	**Densité de population en 2016 (en nb d'hab. / km²)**
Ristolas	73	80,18	0,91
Abriès	306	77,13	3,97
Aiguilles	425	40,16	10,58
Château-Ville-Vieille	338	66,90	5, 05
Molines-en-Queyras	305	53,62	5,69
Saint-Véran	236	44,75	5,27
Total	**1683**	**362,74**	**4,64**

Tableau 7. 1. : Tableau de la population queyrassine en 2015 (INSEE, 2017).

L'échantillonnage a été réalisé sur des critères à la fois socio-démographiques et spatiaux. Compte tenu de l'éloignement du terrain, de la faible main d'œuvre engagée et des impératifs de temps liés aux missions de terrain, nous nous sommes initialement fixés comme objectif d'interroger au minimum 5 % de la population de chacune des communes queyrassines (≈ 85 personnes). Notre choix s'est porté sur un intervalle de confiance de 95 % et une marge d'erreur de 10 %. La taille définitive de l'échantillon a été obtenue à l'aide de la formule :

$$\mathbf{n = (1{,}96)^2 \times (0{,}5) \times (1 - 0{,}5) / (0{,}1)^2 = 96{,}04}$$

Une fois la taille de l'échantillon définie, il a fallu sélectionner une méthode d'échantillonnage adéquate. Le choix s'est porté sur la méthode empirique des quotas (De Singly, 2008). Cette méthode consiste à sélectionner un échantillon représentatif des caractéristiques socio-démographiques de la population ciblée (âge, sexe, catégorie socio-professionnelle, niveau de diplôme, etc.). Pour assurer cette représentativité, un redressement de l'échantillon a été effectué à partir des variables sociodémographiques, lors de la troisième campagne d'investigation (Tab. 7. 2. et Tab. 7. 3.). Compte tenu du nombre restreint de questionnaires envisagés (une centaine pour l'ensemble du Queyras), il s'est avéré difficile d'obtenir une bonne représentativité de l'échantillon à l'échelle communale. Le choix a donc été fait d'insister davantage sur la représentativité de l'échantillon à l'échelle du Queyras. Ce manque de représentativité de l'échantillon à l'échelle communale est pris en compte dans l'analyse des résultats de l'enquête.

Au total, 100 questionnaires ont été collectés : 8 à Ristolas (10,96 % de la population de la commune), 20 à Abriès (6,54 %), 23 à Aiguilles (5,40 %), 17 à Château-Ville-Vieille (5,03 %), 17 à Molines-en-Queyras (5,57 %) et 15 à Saint-Véran (6,36 %). L'ensemble des hameaux associés aux communes ont fait l'objet de visites des enquêteurs, afin d'obtenir une meilleure représentativité spatiale de la population interrogée.

Globalement, l'échantillon interrogé est conforme à nos attentes en matière de représentativité (Tab. 7. 3.). Pour 19 des 24 modalités de variables prises en compte (Tab. 7. 2. et Tab. 7. 3.), la différence entre l'échantillon interrogé et le public cible n'excède pas 4,5 points. Parmi ces 19 modalités, 14 sont en deçà des 2 points de différence (Tab. 7. 2. et Tab. 7. 3.). Seules 5 modalités de variables sont assez éloignées des quotas prévus (Tab. 7. 3.) : les modalités « 0-14 ans » et « 45-59 ans » de la variable âge (avec respectivement 13 et 18,9 points d'écart), les modalités « artisans, commerçants et chefs d'entreprises » (28,6 points d'écart) et « retraités » (21,3 points d'écart) de la variable CSP, et la modalité « diplôme de l'enseignement supérieur » (7,3 points d'écart) de la variable « diplôme ».

La sous-représentation de la classe d'âge « 0-14 ans » s'explique en grande partie par la difficulté à rencontrer et à aborder des jeunes de moins de 15 ans à même de répondre au questionnaire. Les plus jeunes sont à l'école et les plus âgés sont le plus souvent en internat dans les villes du département (Guillestre, Gap et Briançon). En tant que classe d'âge majoritaire dans le Queyras, la classe « 45-59 ans » a largement absorbé le « surplus de questionnaires » dû à la faible représentation des « 0-14 ans ». La surreprésentation de la classe d'âge « 45-59 ans » découle donc directement de la sous-représentation de cette dernière.

La sous-représentation de la CSP « retraités » est à mettre en parallèle avec la surreprésentation de la CSP « artisans, commerçants et chefs d'entreprises ». De fait, les retraités ont tendance à indiquer le travail qu'ils effectuaient avant la retraite lorsqu'on les questionne sur leur activité.

La surreprésentation des diplômés de l'enseignement supérieur résulte de notre stratégie d'échantillonnage lors des deux premières campagnes d'investigation. Le tirage aléatoire des enquêtés a donné lieu à une surreprésentation de cette catégorie qui n'a pas pu être intégralement gommée par le redressement effectué à l'issue de la troisième campagne de terrain.

Variable et modalités de variables / Commune		Ristolas	Abriès	Aiguilles	Château-Ville-Vieille	Molines-en-Queyras	Saint-Véran	Queyras
Pop.	Pop. Totale (nb)	73	306	425	338	305	236	1683
sexe	Hommes (%)	50,68	51,63	50,82	53,85	49,18	52,97	51,57
	Femmes (%)	49,32	48,37	49,17	46,15	50,82	47,03	48,43
Âge	0 à 14 ans (%)	19,18	14,71	11,76	19,23	13,11	16,1	14,97
	15 à 29 ans (%)	15,07	9,15	12,94	12,13	9,51	9,32	11,05
	30 à 44 ans (%)	23,29	20,92	16.,24	15,38	17,05	16,95	17,47
	45 à 59 ans (%)	23,29	23,86	24,94	28,99	16,39	25,85	24,06
	60 à 74 ans (%)	15,07	24,18	20,71	16,86	30,49	20,76	22,1
	75 à 89 ans (%)	4,11	5,56	11,76	6,21	11,15	10,59	8,91
	90 ans ou plus (%)	0	1,63	1,65	1,18	2,3	0,42	1,43
CSP	Agriculteurs exploitants (%)	0	10,20	0	1,92	1,72	0	2,61
	Artisans, commerçants, chefs d'entreprises (%)	14,90	6,92	9,09	11,54	6,87	13,16	9,42
	Cadres et PIS (%)	7,45	0	7,79	3,85	3,43	2,63	4,06
	Professions intermédiaires (%)	14,9	10,57	19,48	11,54	10,30	15,79	13,89
	Employés (%)	39,12	10,57	9,09	19,23	12,02	21,05	14,44
	Ouvriers (%)	0	16,37	11,69	11,54	10,37	5,26	11,01
	Retraités (%)	23,62	34,73	27,27	28,85	50,11	34,21	34,31
	Autres (%)	0	10,63	15,58	11,54	5,18	7,89	10,26
Diplôme	Aucun diplôme, BEPC ou équivalent (%)	7,69	30,48	24,66	22,45	24,56	37,84	26,41
	CAP ou BEP (%)	38,46	35,41	26,03	28,57	17,54	21,62	26,39
	Baccalauréat (%)	23,08	19,02	15,07	14,29	24,56	18,92	18,44
	Diplôme de l'enseignement supérieur (%)	30,77	15,08	34,25	34,69	33,33	21,62	28,75
Logement	Propriétaires (%)	71,80	60,83	73,31	61,68	80,13	76,02	70,06
	Locataires (%)	18,94	37,18	24,34	34,13	15,15	17,65	25,93
	Logés gratuitement (%)	9,26	1,99	2,35	4,19	4,72	6,33	4,01

Tableau 7. 2. : Caractéristiques socio-démographiques du Queyras en 2015 (INSEE, 2017).

Variable et modalités de variables / Commune		Ristolas	Abriès	Aiguilles	Château-Ville-Vieille	Molines-en-Queyras	Saint-Véran	Queyras
Pop.	Pop. Enquêtée (nb)	8	20	23	17	17	15	100
sexe	Hommes (%)	50,00	55,00	43,48	41,18	64,71	60,00	52,00
	Femmes (%)	50,00	45,00	56,52	58,82	35,29	40,00	48,00
Âge	0 à 14 ans (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	5,88	6,67	2,00
	15 à 29 ans (%)	12,50	5,00	13,04	17,65	5,88	6,67	10,00
	30 à 44 ans (%)	12,50	20,00	13,04	17,65	5,88	40,00	17,00
	45 à 59 ans (%)	50,00	45,00	39,13	29,41	64,71	26,67	43,00
	60 à 74 ans (%)	12,50	25,00	26,09	17,65	17,65	13,33	20,00
	75 à 89 ans (%)	12,50	5,00	8,70	17,65	0,00	0,00	7,00
	90 ans ou plus (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,67	1,00
CSP	Agriculteurs exploitants (%)	0,00	5,00	8,70	0,00	5,88	6,67	4,00
	Artisans, commerçants, chefs d'entreprises (%)	25,00	45,00	17,39	23,53	64,71	46,67	38,00
	Cadres et PIS (%)	0,00	5,00	8,70	0,00	0,00	13,33	5,00
	Professions intermédiaires (%)	0,00	10,00	26,09	0,00	5,88	6,67	10,00
	Employés (%)	37,50	20,00	8,70	29,41	5,88	0,00	15,00
	Ouvriers (%)	12,50	10,00	13,04	17,65	0,00	0,00	9,00
	Retraités (%)	25,00	5,00	8,70	23,53	5,88	20,00	13,00
	Autres (%)	0,00	0,00	8,70	5,88	11,76	6,67	6,00
Diplôme	Aucun diplôme, BEPC ou équivalent (%)	25,00	25,00	34,78	17,65	11,76	26,67	24,00
	CAP ou BEP (%)	37,50	20,00	21,74	23,53	35,29	6,67	23,00
	Baccalauréat (%)	0,00	10,00	21,74	17,65	23,53	20,00	17,00
	Diplôme de l'enseignement supérieur (%)	37,50	45,00	21,74	41,18	29,41	46,67	36,00
Logement	Propriétaires (%)	62,50	55,00	78,26	58,82	94,12	93,33	74,00
	Locataires (%)	37,50	45,00	13,04	41,18	5,88	6,67	24,00
	Logés gratuitement (%)	0,00	0,00	8,70	0,00	0,00	0,00	2,00

Tableau 7. 3. : Caractéristiques socio-démographiques des individus interrogés lors des trois campagnes d'enquêtes menées dans le Queyras.

1. 4. Traitements statistiques

Les données issues des 100 questionnaires d'enquêtes récoltés ont été compilées au sein d'une base de données Excel®. Pour faciliter l'exploitation statistique de ces données, les réponses proposées à chacune des questions posées ont été codées à l'aide de nombres entiers (cf. annexes 2). L'ensemble des réponses aux questions posées a ensuite fait l'objet de traitement statistique à l'échelle régionale et communale.

2. Résultats de l'enquête

Pour présenter les résultats de l'enquête de perception menée dans le Queyras, nous avons opté pour une approche thématique. Plusieurs thèmes sont abordés : 1) la perception des aléas torrentiels et gravitaires et de leurs dangers potentiels ; 2) le vécu des Queyrassins en matière de risque ; 3) la connaissance des risques et de leur gestion ; 4) la diffusion des informations relatives aux risques ; 5) la confiance accordée aux acteurs de la gestion des risques. Pour compléter cette approche thématique, une ébauche d'analyse des représentations sociales des risques est présentée en fin de chapitre. Cette dernière s'appuie sur l'analyse des cartes mentales produites par les Queyrassins. Ces thèmes sont abordés aux échelles régionale et communale.

2. 1. Perception des aléas torrentiels et gravitaires et des risques associés

La présente sous-partie mobilise les réponses à plusieurs questions qui visaient à déterminer la façon dont les Queyrassins perçoivent les aléas et les risques d'origine naturelle. Trois points sont abordés : 1) est-ce que les Queyrassins se sentent ou non exposés aux risques ; 2) le cas échéant, à quels risques s'estiment-ils exposés ; 3) quels sont les risques qui les inquiètent le plus.

2. 1. 1. Les risques naturels : un sujet de préoccupation mais pas d'inquiétude

Interrogés pour savoir s'ils se sentent exposés ou non à un, ou plusieurs risques « naturels », les Queyrassins répondent généralement par l'affirmative. Ils sont 81 % à se considérer comme « un peu » à « fortement » exposés aux risques (Fig. 7. 1). Si la majorité des Queyrassins s'accordent sur ce point, ils ne sont cependant que 28 % à s'estimer « beaucoup » à « fortement » exposés (Fig. 7. 1.). Près de la moitié des individus interrogés (53 %) se déclarent en effet « un peu » à « moyennement » exposés tandis que 19 % des enquêtés n'éprouvent pas le moindre sentiment d'exposition aux risques.

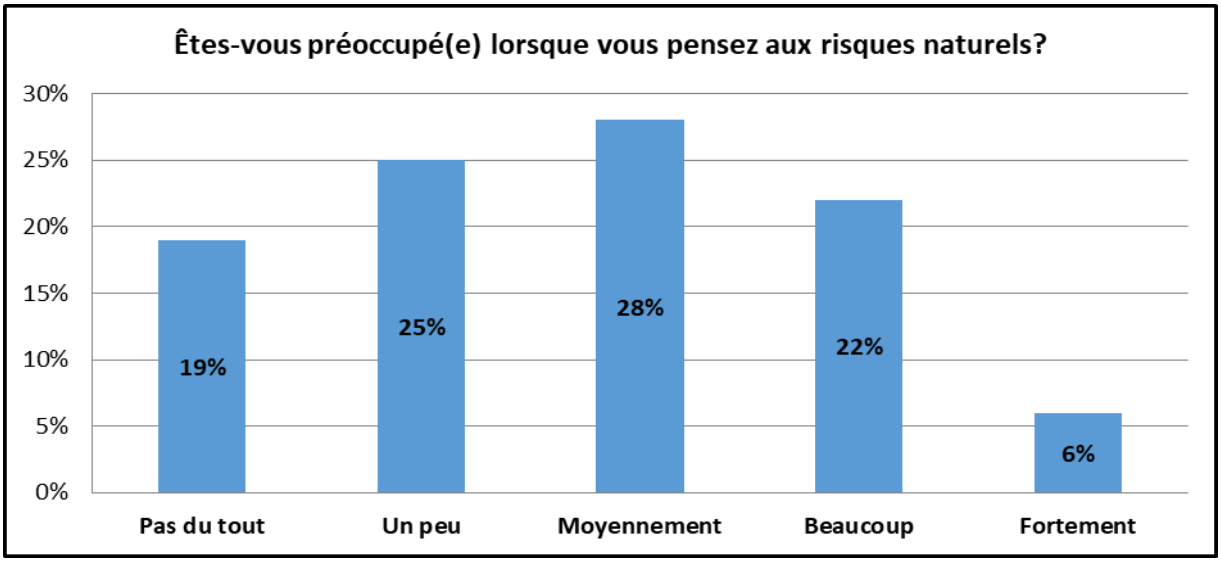


Figure 7. 1. : La préoccupation des queyrassins interrogés vis-à-vis des risques naturels.

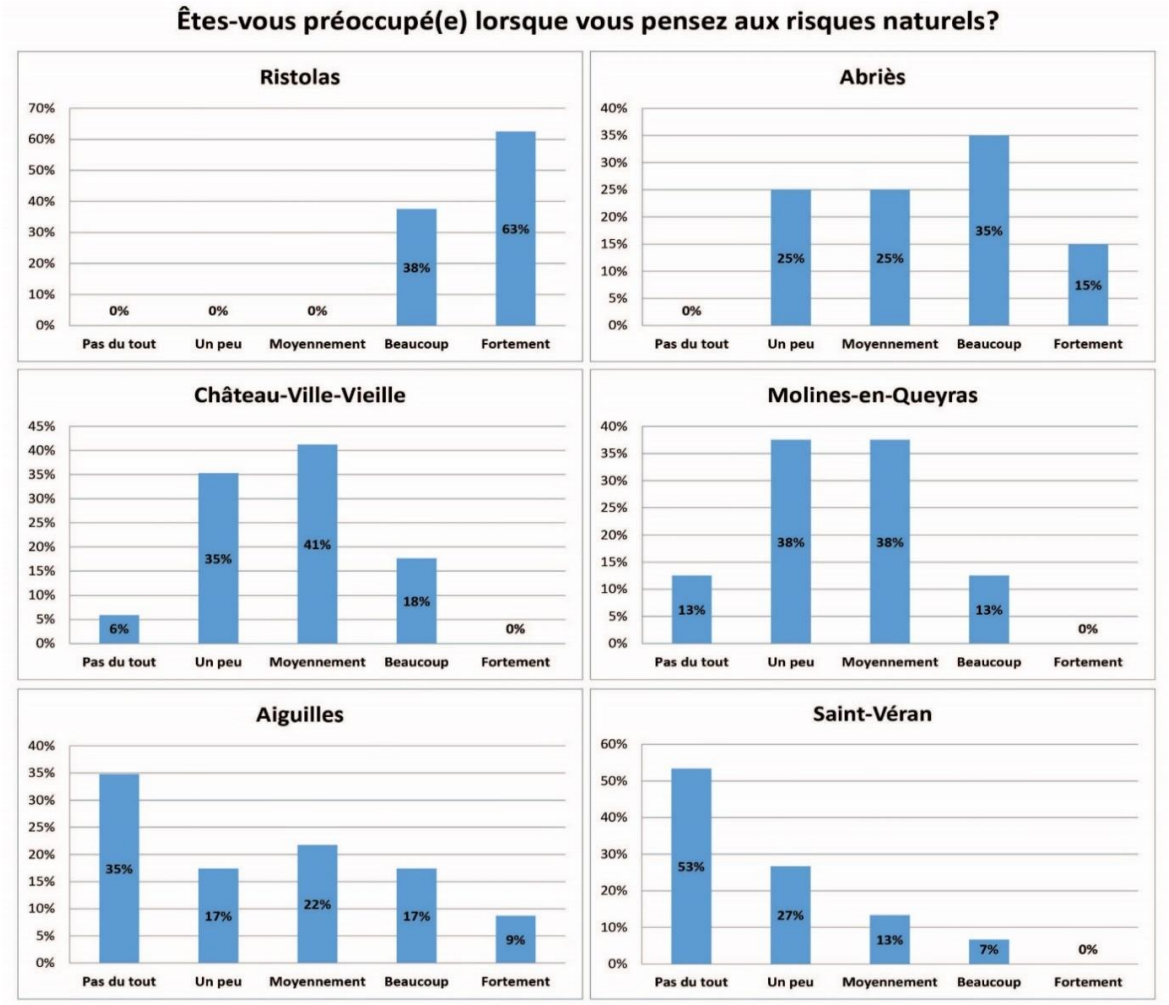


Figure 7. 2. : Le sentiment d'exposition aux risques selon la commune de résidence.

Des différences de perception assez marquées s'observent selon la commune de résidence des enquêtés (Fig. 7. 2.). Plusieurs profils de commune se dégagent : celles avec un fort sentiment d'exposition aux risques (Ristolas et Abriès), celles avec un sentiment d'exposition modéré (Château-Ville-Vieille et Molines-en-Queyras) et celles avec un faible sentiment d'exposition (Aiguilles et Saint-Véran ; Fig. 7. 2.).

2. 1. 2. Une perception de la dangerosité des aléas fortement liée à la commune de résidence

Parmi les choix d'aléas qui leur était proposés, ce sont les avalanches qui inquiètent le plus les Queyrassins (Fig. 7. 3. et 7. 4.). 82 % des interrogés les ont estimées assez dangereuses à extrêmement dangereuses (Fig. 7. 3.). Les inondations et les chutes de pierres viennent juste après, avec 77 % des enquêtés les considérant comme assez, à extrêmement dangereuses dans les deux cas (Fig. 7. 3.). Si ces aléas inquiètent les habitants dans les mêmes proportions, ce sont néanmoins les inondations qui sont perçues comme les plus dangereuses (Fig. 7. 3. et 7. 4.). Les Queyrassins sont 46 % à les considérer comme très dangereuses et extrêmement dangereuses, contre 29 % pour les chutes de pierres (Fig. 7. 3.). Dans des proportions moindres, 54 % des interrogées considèrent les glissements de terrain comme assez dangereux et plus. Notons que ce chiffre serait probablement plus élevé si l'on interrogeait de nouveau les Queyrassins à ce sujet, la catastrophe du Chambon (avril 2015) et les évolutions récentes du glissement du Pas-de-l'Ours ayant entraîné un regain d'inquiétude vis-à-vis de ces phénomènes gravitaires. En comparaison, les autres aléas évoqués dans le questionnaire inquiètent peu les Queyrassins (Fig. 7. 3.).

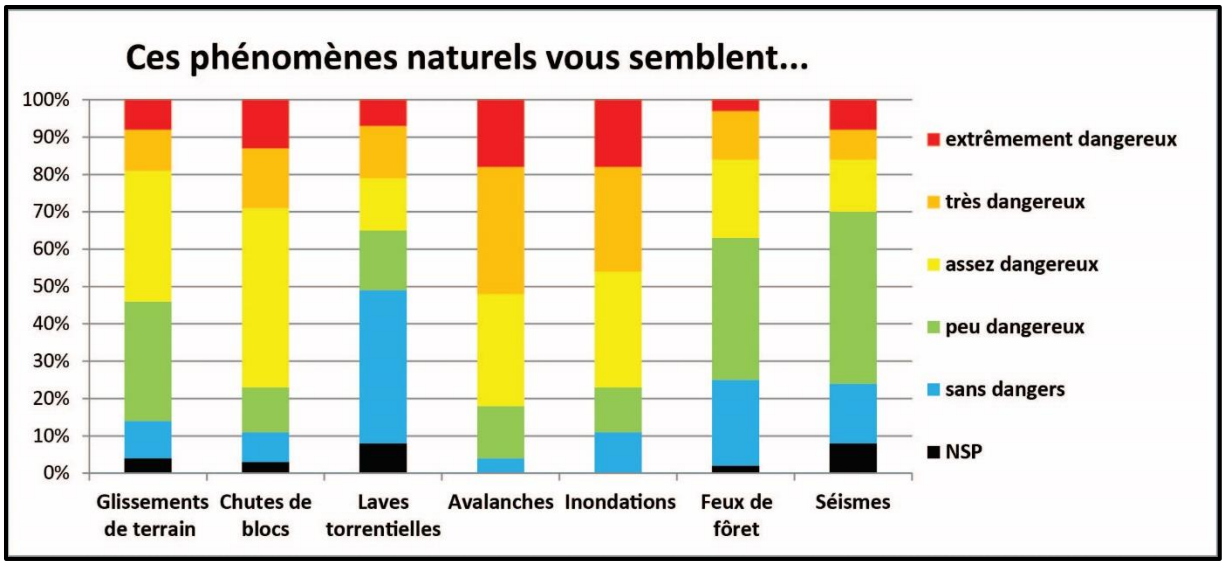


Figure 7. 3. : La perception de la dangerosité des aléas torrentiels et gravitaires par les Queyrassins interrogés.

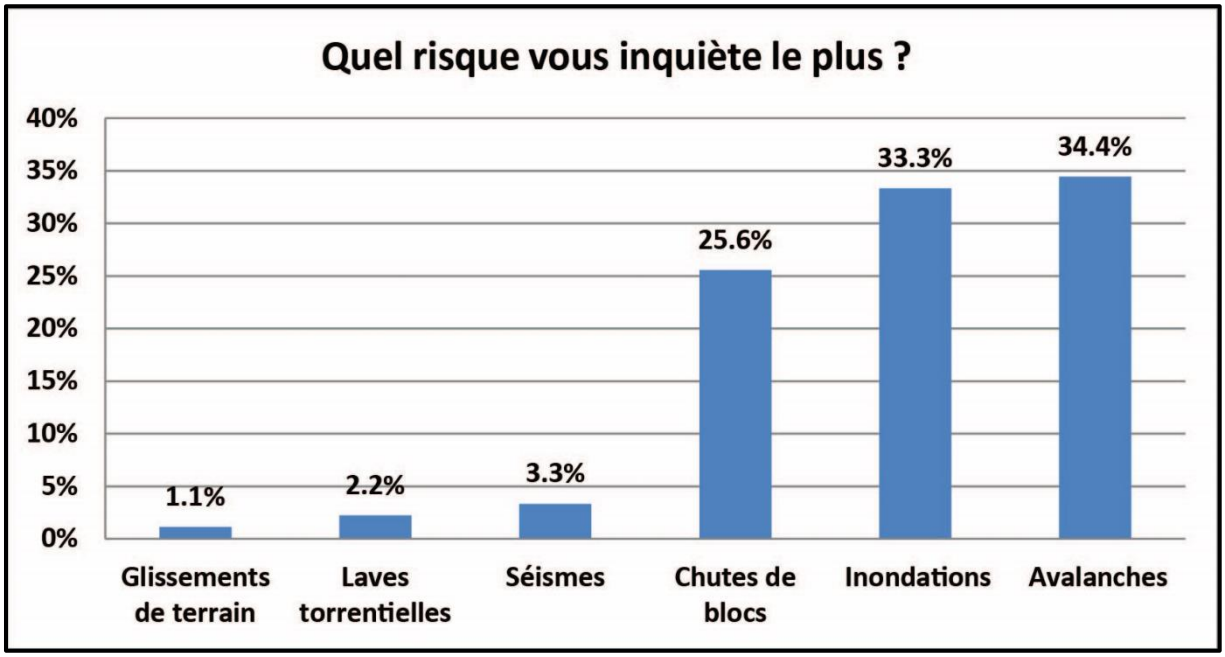


Figure 7. 4. : Les risques qui inquiètent le plus les Queyrassins interrogés.

Le ressenti envers les aléas mentionnés diffère considérablement selon le lieu de résidence des enquêtés (Fig. 7. 5.). Toutes choses égales par ailleurs, c'est dans les villages situés les plus en amont de la vallée du Guil – Ristolas, Abriès et Aiguilles – que les aléas d'origine naturelle sont perçus comme les plus dangereux. C'est notamment le cas à Ristolas, où tous les interrogés considèrent les avalanches, les inondations et les glissements de terrain comme assez dangereux et plus (Fig. 7. 5.). Dans les communes situées plus en aval de la vallée du Guil et dans les vallées des Aigues – Château-Queyras, Ville-Vieille, Molines-en-Queyras et Saint-Véran – la dangerosité des aléas est perçue comme moindre (Fig. 7. 5.).

Dans l'ensemble, et assez logiquement, les enquêtés se sont sentis davantage concernés par les aléas auxquels ils sont confrontés sur leur commune de résidence (Fig. 7. 5. et 7. 6.). Les inondations torrentielles sont ainsi perçues comme bien plus dangereuses dans les communes accolées au Guil (Ristolas, Abriès, Aiguilles et Château-Ville-Vieille) que dans les communes des vallées des Aigues ;

épargnées par les crues catastrophiques de juin 1957 et de la décennie 2000 (Fig. 7. 6.). Les exemples des communes de Château-Ville-Vieille et de Saint-Véran illustrent bien cette perception « sélective » de la dangerosité des aléas en fonction de leur répartition (Fig. 7. 5 et 7. 6) :

Dans la commune de Château-Ville-Vieille, située au débouché des gorges du Guil, l'aléa chute de pierres est très présent (cf. partie 2). En conséquence, il est considéré par l'essentiel des interrogés comme un danger bien réel, et ce, devant même les inondations (Fig. 7. 5.). À l'inverse, cette commune comporte peu d'emprises avalancheuses et les habitants perçoivent les dangers qui y sont liés comme moindres, en comparaison des chiffres obtenus dans les autres communes (Fig. 7. 5. et 7. 6.).

Dans la commune de Saint-Véran, où le risque de crue torrentielle est faible compte tenu de l'implantation en altitude du village (Fig. 7. 6.), les inondations sont perçues comme peu dangereuses ou sans danger par 86 % des interrogés (Fig. 7. 5.). Par contre, du fait des nombreuses emprises avalancheuses se trouvant sur son territoire (et très certainement de la présence d'une station de sports d'hiver) 80 % des Saint-Vérannais considèrent les avalanches comme assez, à extrêmement dangereuses (Fig. 7. 5.).

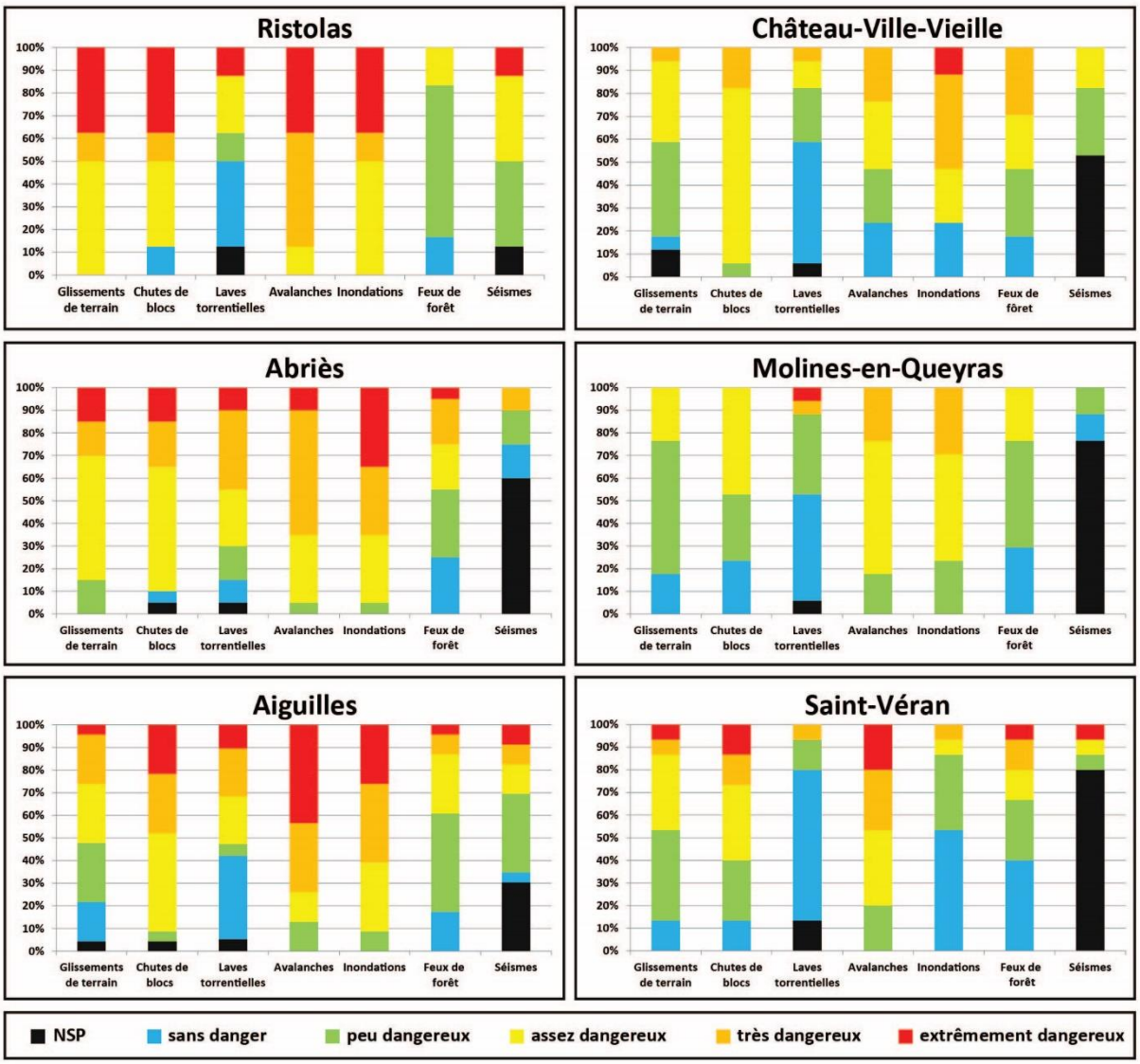


Figure 7. 5. : La perception de la dangerosité des aléas selon la commune de résidence.

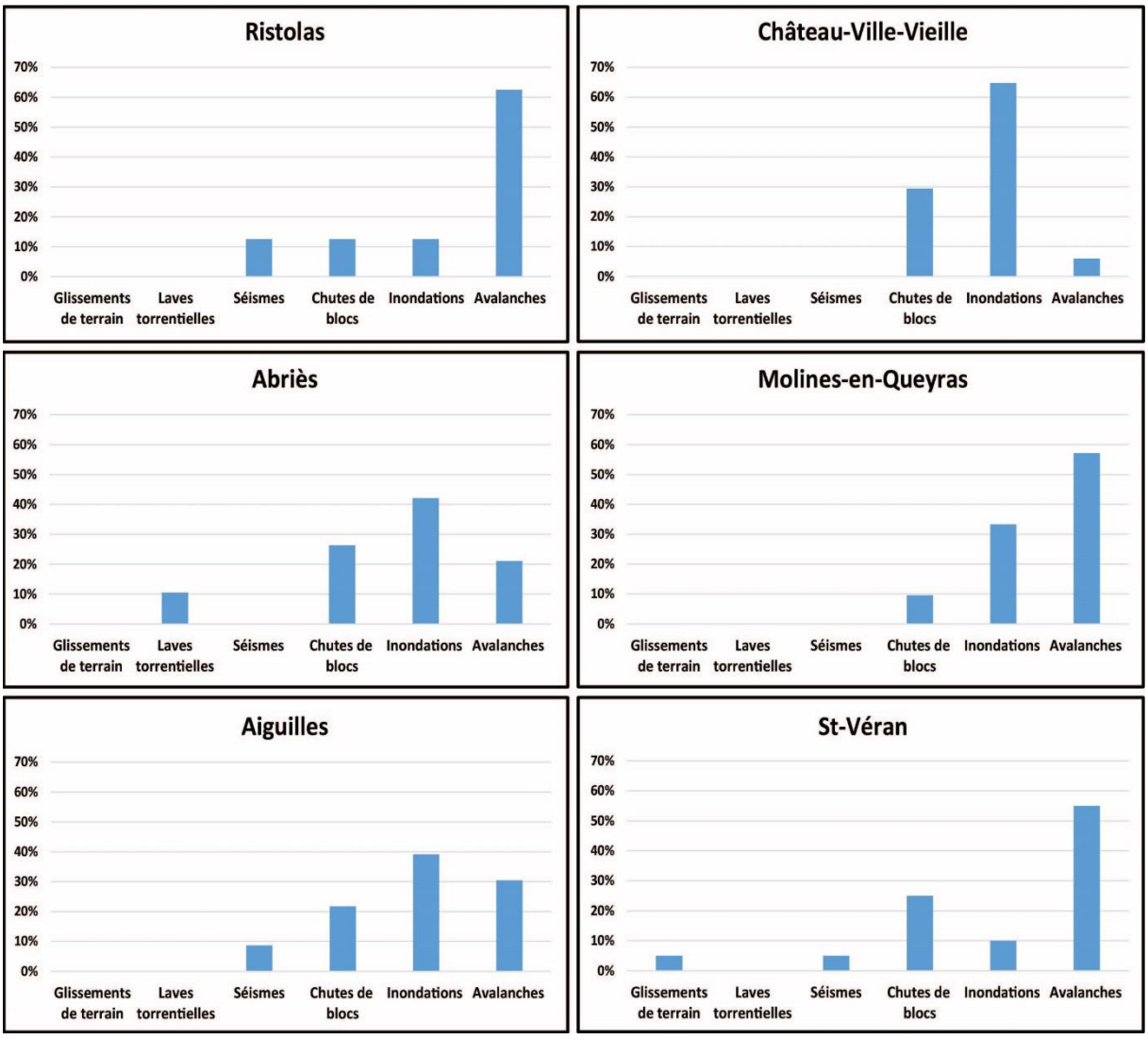


Figure 7. 6. : Les risques qui inquiètent le plus les habitants des six communes du Queyras interrogés.

Dans l'ensemble, les Queyrassins ont conscience d'être exposés à des risques d'origines naturelles. Si ce n'est vraisemblablement pas là leur sujet d'inquiétude premier, les risques constituent malgré tout un objet de préoccupation largement partagé. L'analyse de ces perceptions à l'échelle communale a mis en évidence des différences marquées selon la commune de résidence des enquêtés. Alors que dans les communes de Ristolas et d'Abriès le sentiment d'inquiétude est globalement très fort, il est plus modéré dans celles de Château-Ville-Vieille et de Molines-en-Queyras et est relativement faible dans celles d'Aiguilles et Saint-Véran. Parmi les aléas proposés, ce sont les avalanches qui inquiètent le plus les Queyrassins. Viennent ensuite les crues torrentielles, les chutes de blocs, et dans une moindre mesure, les glissements de terrains. Concernant ces aléas, les enquêtés se sont montrés plus concernés par les aléas auxquels ils sont confronté sur leur commune de résidence. Les crues torrentielles sont ainsi perçues comme plus dangereuses dans les communes accolées au Guil alors que les avalanches sont considérées comme plus dangereuses dans les vallées de l'Aigue Agnelle et de l'Aigue Blanche.

2. 2. Vécu des Queyrassins en matière de risque

Dans la présente sous partie, nous nous sommes intéressés au vécu et à l'expérience qu'ont les Queyrassins des épisodes catastrophiques qui ont eu lieu sur leur territoire. Il s'agissait ici d'évaluer la proportion de Queyrassins ayant déjà fait l'expérience d'au moins un épisode de ce genre et d'identifier les aléas qui étaient en cause. À travers ces éléments, nous avons également cherché à mettre en lumière les facteurs pouvant expliquer la perception différenciée des risques mis en évidence dans la précédente sous partie. En questionnant les Queyrassins sur leur expérience des catastrophes, il s'agissait aussi de dresser un premier bilan de la mémoire des risques dans le Queyras.

2. 2. 1. Un vécu des risques largement partagé par les Queyrassins

Près des trois quarts (72 %, Fig. 7. 7.) des Queyrassins interrogés affirment avoir déjà vécu une catastrophe et plus d'un Queyrassin sur cinq (22 %, Fig. 7. 7.) déclare avoir été directement impacté au moins une fois, lors de tels événements. Sur les 28 % qui n'en ont pas vécus, les deux tiers (71 %) sont néanmoins informés qu'une catastrophe s'est déjà déroulée sur leur commune (Fig. 7. 7.). Seul 8 % du total des enquêtés n'a donc aucune expérience des risques et ignore qu'une catastrophe s'est déjà déroulée sur leur commune (Fig. 7. 7.). Si ces chiffres illustrent bien la très forte exposition du territoire queyrassin aux aléas, ils varient cependant, là encore, selon la commune de résidence (Fig. 7. 8.).

Ainsi, 90 % des Abriessois affirment avoir vécu une catastrophe et la moitié d'entre eux déclarent avoir été directement impactés (Fig. 7. 8.). Les 10 % restant sont tous au fait qu'une catastrophe s'est déjà produite sur leur commune (Fig. 7. 8.). À l'opposé, « seul » 47 % des Saint-Vérannais ont déjà fait l'expérience d'une catastrophe et aucun n'a été directement impacté (Fig. 7. 8.). Ils sont d'ailleurs 13 % à ignorer qu'un tel épisode s'est déjà produit sur leur commune (Fig. 7. 8.). Ces différences ne sont guère étonnantes, dans la mesure où certaines communes ont étés bien plus impactées que d'autres, au cours des dernières décennies (cf. chapitre 2). Si l'on reprend les exemples des communes d'Abriès et de Saint-Véran, la première a subi non moins de 11 épisodes catastrophiques depuis 2000 (5 crues, 3 glissements de terrain et 3 épisodes avalancheux d'importance, PPRN d'Abriès, 2018) alors que la seconde n'a été le théâtre que d'une crue mineure et de quelques avalanches très localisées (PPRN de Saint-Véran, 2016).

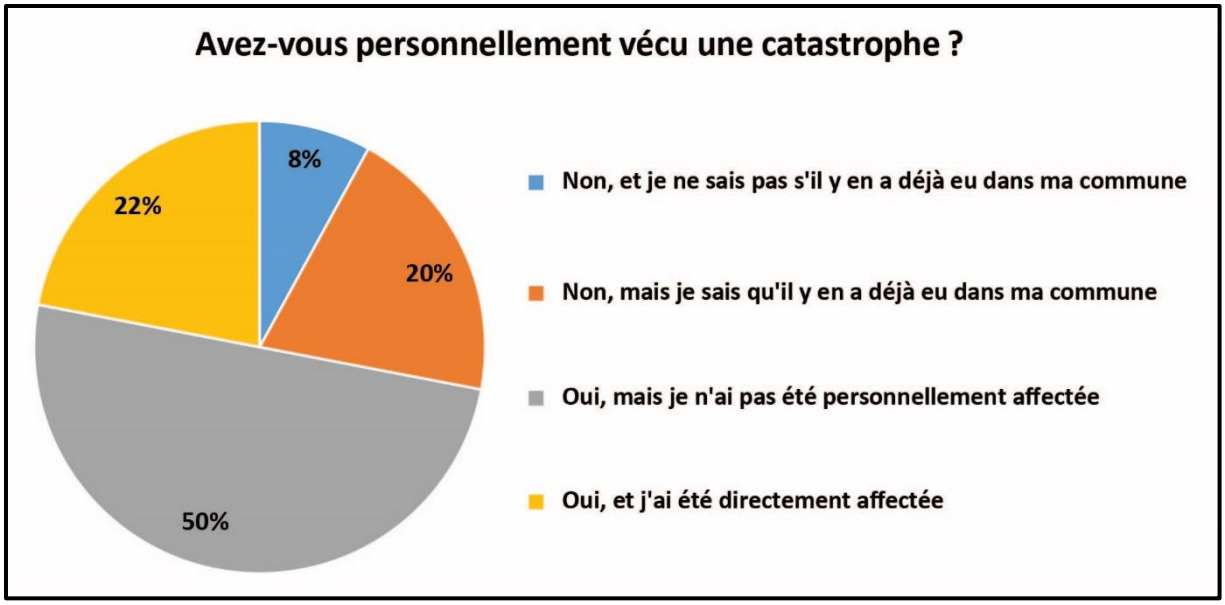


Figure 7. 7. : Les expériences des Queyrassins concernant les catastrophes « naturelles ».

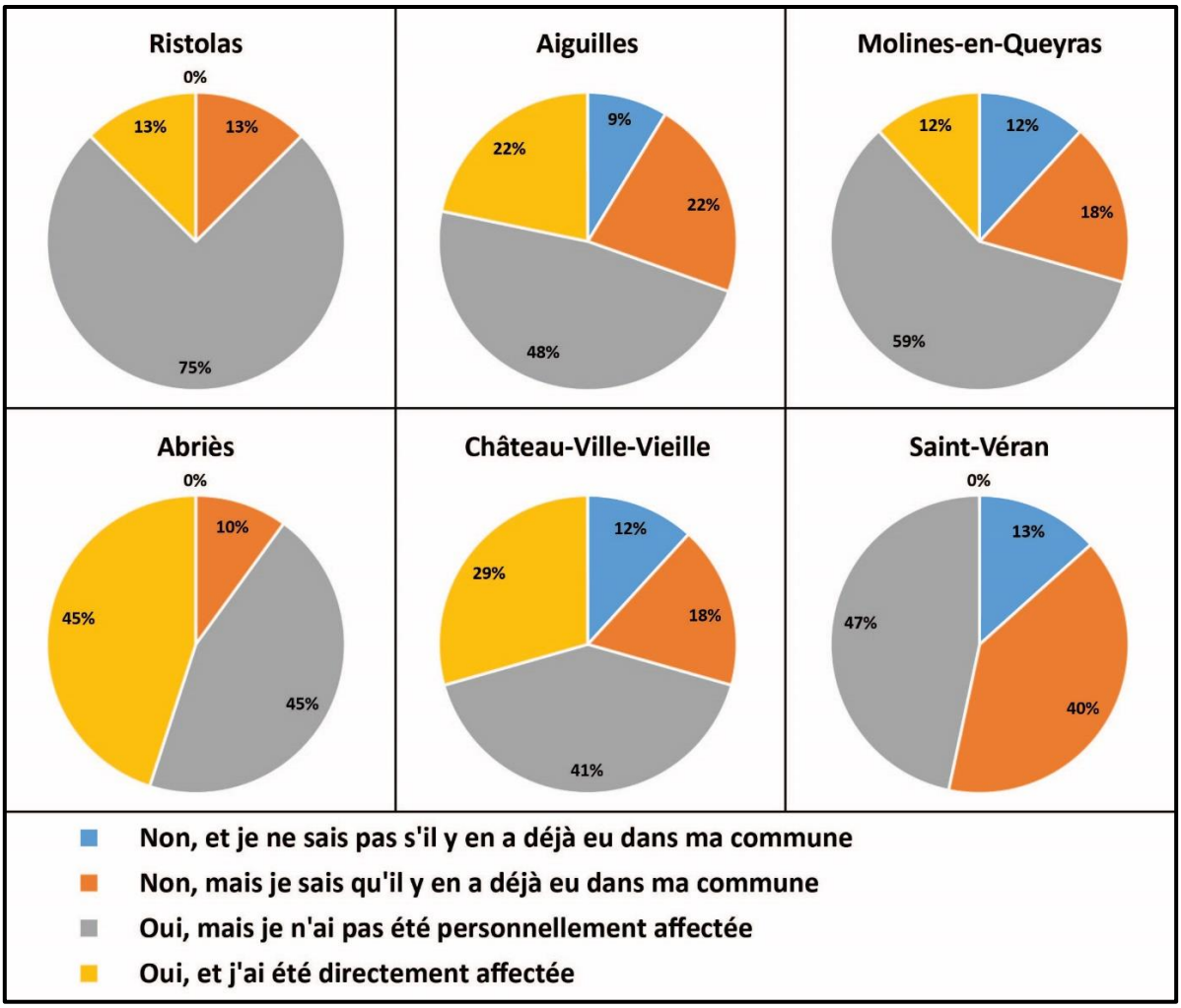


Figure 7. 8. : Les expériences concernant les catastrophes « naturelles » selon la commune de résidence.

2. 2. 2. Une mémoire des risques avant tout liée aux crues torrentielles et aux avalanches

Les personnes ayant répondu avoir déjà vécu un épisode catastrophique ont été interrogées sur les phénomènes qui étaient en cause. Dans la majorité des cas, les événements cités concernaient les inondations (74 citations) et/ou les avalanches (39 citations, Fig. 7. 9. et 7. 10.). Les séismes arrivent en troisième position (7 citations, Fig. 7. 9.), devant les chutes de blocs (3 citations, Fig. 7. 9.) et les glissements de terrain (2 citations, Fig. 7. 9.). L'expérience des crues torrentielles est donc, de loin, la plus partagée.

Les crues ont étés citées à plus de reprises que les autres aléas. Avec 6 événements différents étalés sur 63 années, c'est également l'aléa qui a marqué le plus de générations de Queyrassins (Fig. 7. 9.). Les avalanches viennent juste après avec 4 épisodes étalés sur 64 ans (Fig. 7. 9.). Les épisodes les plus emblématiques (1957 et 2000 pour les crues et 1978 et 2008 pour les avalanches) ont tous été cités au moins une fois par les Queyrassins ; signe d'une certaine permanence de la mémoire des risques.

Cet élément doit toutefois être nuancé car près des trois quarts des événements cités (≈ 74 %) par les enquêtés se sont déroulés au cours des deux dernières décennies (Fig. 7. 9. et 7. 10.). Parmi ces derniers, les événements les plus cités sont les inondations de juin et octobre 2000 et l'épisode avalancheux de décembre 2008 (Fig. 7. 9.). La crue de juin 1957 n'arrive qu'en 4ème position (12 citations, Fig. 7. 9.), derrière la crue de mai 2008 (Fig. 7. 9. et 7. 10.). En revanche, les avalanches de 1978 ont été citées à autant de reprises que la crue de 2002, pourtant plus récente (Fig. 7. 9.).

Notons que les séismes ont été mentionnés plus souvent que les glissements et chutes de blocs car les Queyrassins interrogés lors de la première campagne d'enquête ont fortement ressenti la secousse du 7 avril 2014 (magnitude : 5,2, épicentre : 5,5 km au nord-ouest de la Condamine Châtelard, Haute-Ubaye ; www.azurseisme.com). Pour autant, il ne s'agissait pas à proprement parler d'un épisode catastrophique puisqu'il n'y a pas eu de dommages dans le Queyras. L'inquiétude liée à cet épisode n'a d'ailleurs été que temporaire puisque dès la seconde campagne, les séismes n'ont plus été mentionnés.

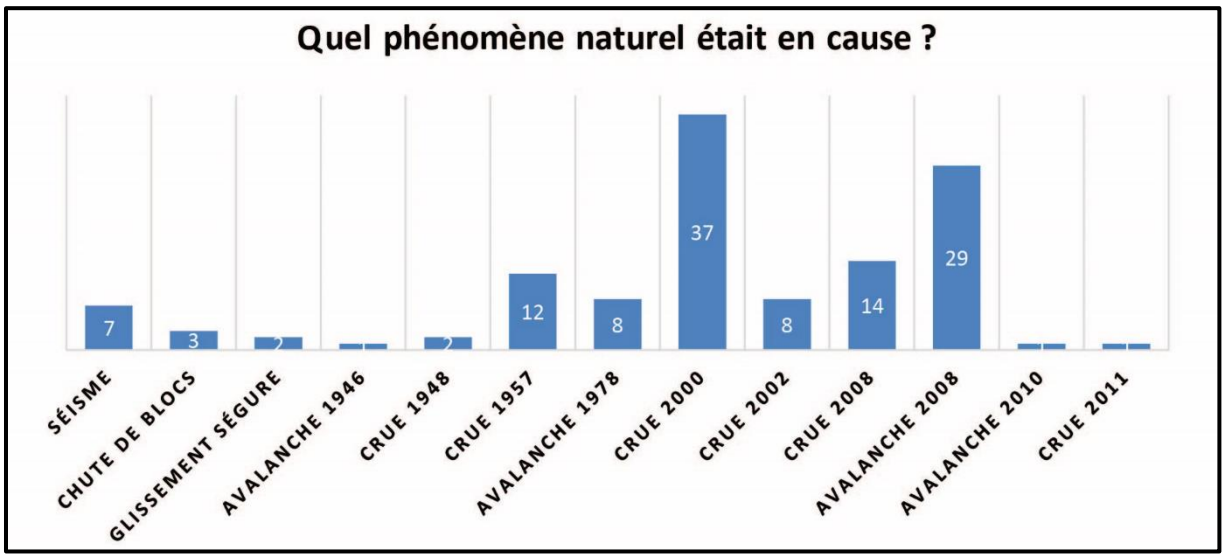


Figure 7. 9. : La connaissance qu'ont les Queyrassins des aléas catastrophiques passés.

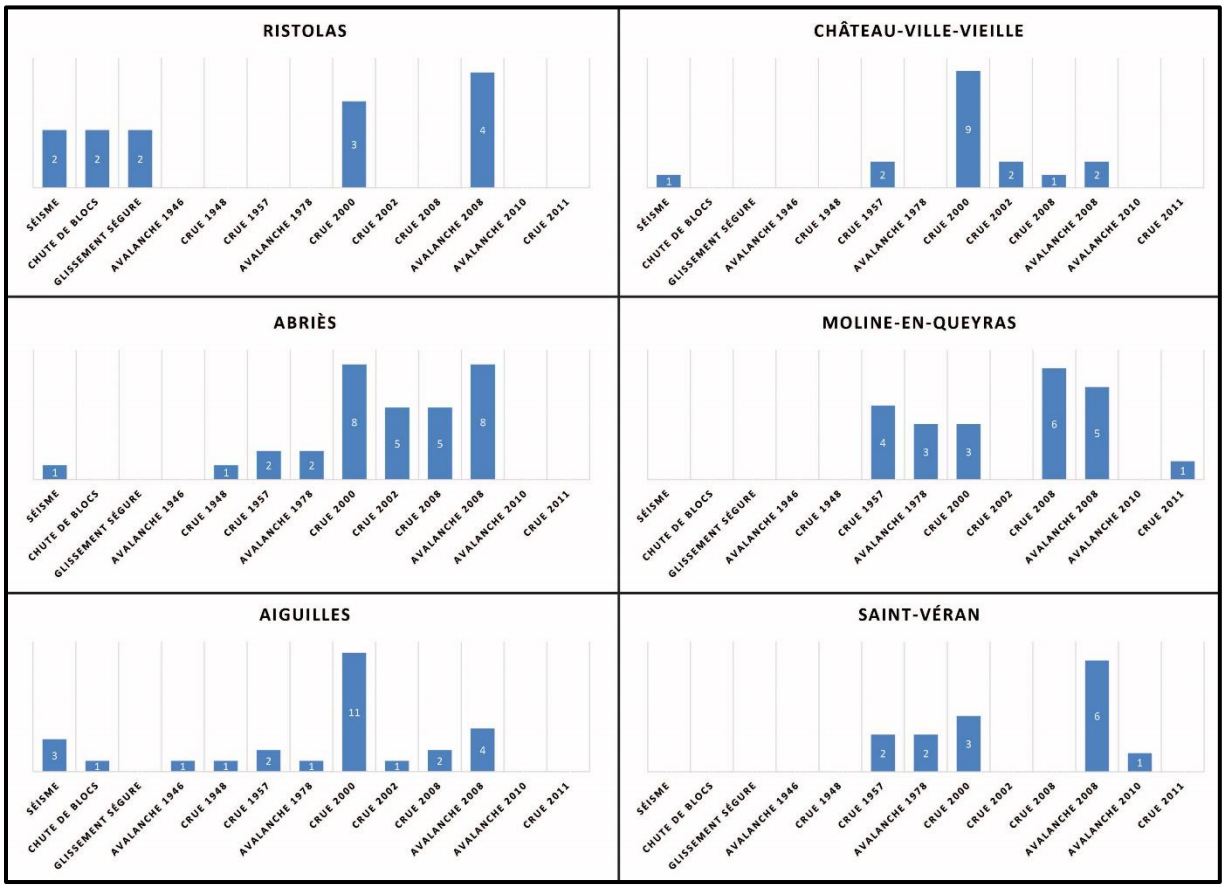


Figure 7. 10. : Le vécu des aléas catastrophiques selon le village de résidence.

On l'a vu, la part des enquêtés ayant vécu au moins un épisode catastrophique varie selon la commune de résidence (Fig. 7. 8.). À cela s'ajoutent des différences dans les types, le nombre et la fréquence des catastrophes vécues (Fig. 7. 10.). Or ces facteurs exercent généralement une influence tant sur la perception que sur l'entretien de la mémoire des risques. Une commune dans laquelle auront été vécus un grand nombre d'événements, concernant divers aléas, sur une période étendue aura ainsi tendance à avoir une population disposant d'une meilleure mémoire collective des risques qu'une commune où ce n'est pas le cas. Le détail, par commune, des événements cités semble aller en ce sens (Fig. 7. 10.). C'est dans les communes d'Abriès et de Molines-en-Queyras que les enquêtés ont été les plus nombreux à répondre à ces critères (Fig. 7. 10.). Dans les communes d'Aiguilles et de Château-Ville-Vieilles, le seul élément marquant semble avoir été la crue de juin 2000 (Fig. 7. 10.) tandis qu'à Saint-Véran on se souvient surtout des épisodes avalancheux (Fig. 7. 10.). Pour Ristolas il est difficile de se prononcer compte tenu du faible nombre de questionnaires récoltés.

La plupart des Queyrassins ont d'ores et déjà fait l'expérience d'un épisode catastrophique. Une partie non négligeable d'entre eux a même déjà eu à en souffrir personnellement. C'est dans la commune d'Abriès que cette proportion est la plus élevée et à Saint-Véran qu'elle est la plus modeste. À l'échelle du Queyras le vécu des habitants est avant tout lié aux crues torrentielles et aux avalanches. Les glissements de terrains, ont peu été cités car jusqu'à ce jour ils n'ont pas engendré de catastrophe majeure. Le vécu des Queyrassins se rapporte principalement à des événements récents puisque ce sont les crues de 2000 et les épisodes avalancheux de 2008 qui ont été cités par le plus grand nombre d'enquêtés. Dans certaines communes comme Abriès et Molines, le nombre et la fréquence des épisodes cités suggèrent néanmoins une mémoire plus vivace des risques. Il s'agit désormais de confirmer ou d'infirmer ces premières hypothèses en analysant plus en détail les connaissances qu'ont les Queyrassins des aléas et des risques qui leur sont associés.

2. 3. Connaissance des aléas, des risques et de leur gestion

Pour évaluer les connaissances qu'ont les Queyrassins des risques, des questions leurs ont été posées sur la fréquence, les emprises, et les conséquences potentielles de trois types d'aléas : les glissements de terrain, les crues torrentielles et les avalanches. Ces aléas ont été retenus car ils sont à l'origine des principales catastrophes qui se sont déroulées dans le Queyras (cf. partie 1). Dans l'ordre, les Queyrassins ont d'abord été invités à estimer la probabilité que ces aléas se manifestent prochainement sur leur commune de résidence (Fig. 7. 11., 7. 12., 7. 13. et 7. 14.). Ils ont ensuite été amenés à se prononcer sur les conséquences possibles de ces aléas (Fig. 7. 11., 7. 12., 7. 13. et 7. 14.). D'abord sur leur commune (conséquences structurelles et fonctionnelles), puis sur eux même et leur famille (conséquences corporelles et structurelles) et enfin, sur les réseaux essentiels (conséquences structurelles et fonctionnelles directes et indirectes).

2. 3. 1. La perception des conséquences potentielles des aléas sur les enjeux biophysiques

Dans l'ensemble, les Queyrassins font montre d'une bonne conscience des risques liés aux avalanches et aux crues torrentielles (Fig. 7. 11.). Ils sont respectivement 78 % et 68 % à estimer probable qu'une avalanche ou une inondation ait lieu prochainement dans leur commune (très probable : 41 % et 38 %, Fig. 7. 11.). Cette conscience est moins présente en ce qui concerne les glissements de terrain. « Seul » 42 % des interrogés ont estimé probable qu'un tel événement se déroule prochainement sur leur commune (très probable : 13 % ; Fig. 7. 11.).

Les proportions sont assez similaires en ce qui concerne la probabilité que ces aléas puissent avoir des conséquences négatives sur leur commune (Fig. 7. 11.). 73 % des interrogés s'accordent sur le fait qu'une avalanche puisse avoir des conséquences néfastes sur leur commune (très probable : 32 %).

Ils sont 79 % dans ce cas pour les inondations torrentielles (très probable : 46 %,) et 56 % pour les glissements de terrain (très probable : 15 %). Si les Queyrassins estiment que les avalanches ont davantage de chance de se produire sur leur commune, ils pensent donc également que ce sont les inondations qui ont le plus de chance d'avoir des conséquences négatives (Fig. 7. 11.).

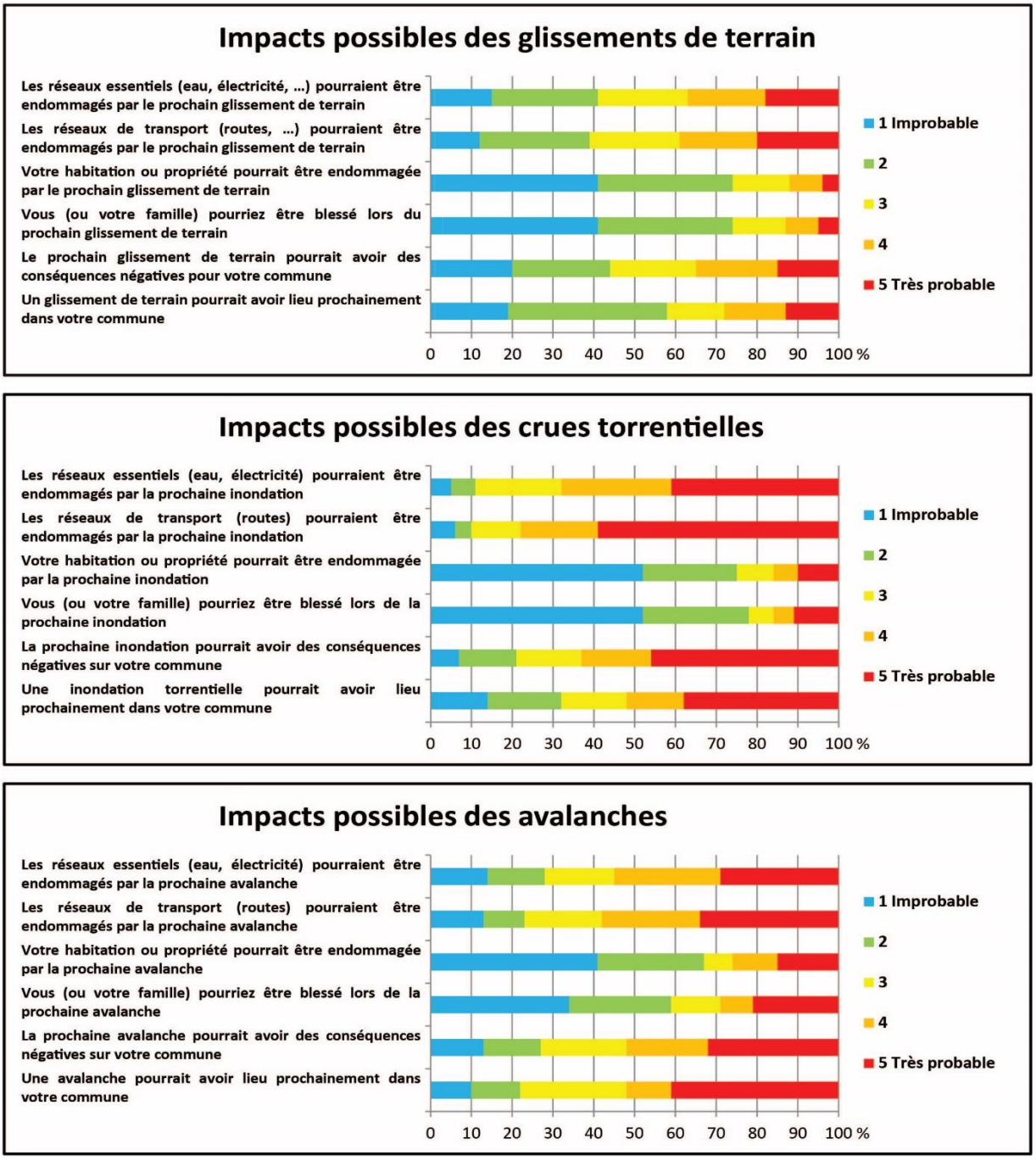


Figure 7. 11. : Perception des possibles impacts de trois différents aléas sur les enjeux biophysiques du Queyras.

Par ailleurs, si les interrogés ont conscience de vivre sur un territoire à risques, ils sont en revanche peu nombreux à se sentir directement exposés (Fig. 7. 11.). Plus des deux tiers des enquêtés jugent improbable, ou peu probable, qu'un glissement de terrain ou une inondation puisse les impacter sur le plan physique ou matériel. Ils sont plus nombreux à se sentir directement menacés par les avalanches ; 41 % des interrogés ayant jugé assez probable à très probable qu'une avalanche puisse les blesser eux, ou un membre de leur famille (Fig. 7. 11.).

La majorité des enquêtés s'accordent sur le fait que les réseaux essentiels (eau, électricités et routes) puissent être endommagés par les différents aléas évoqués (Fig. 7. 11.). D'après les résultats obtenus, ce sont les inondations qui sont considérées comme les plus dommageables (Fig. 7. 11.). De fait, huit enquêtés sur dix ont jugé assez probable à très probable qu'une inondation puisse endommager les réseaux. Cette proportion est de sept sur dix pour les avalanches et six sur dix pour les glissements de terrain (Fig. 7. 11.). Dans le cas des crues torrentielles, c'est le réseau routier qui est jugé le plus vulnérable. Six Queyrassins sur dix jugent très probable qu'une prochaine crue puisse l'endommager.

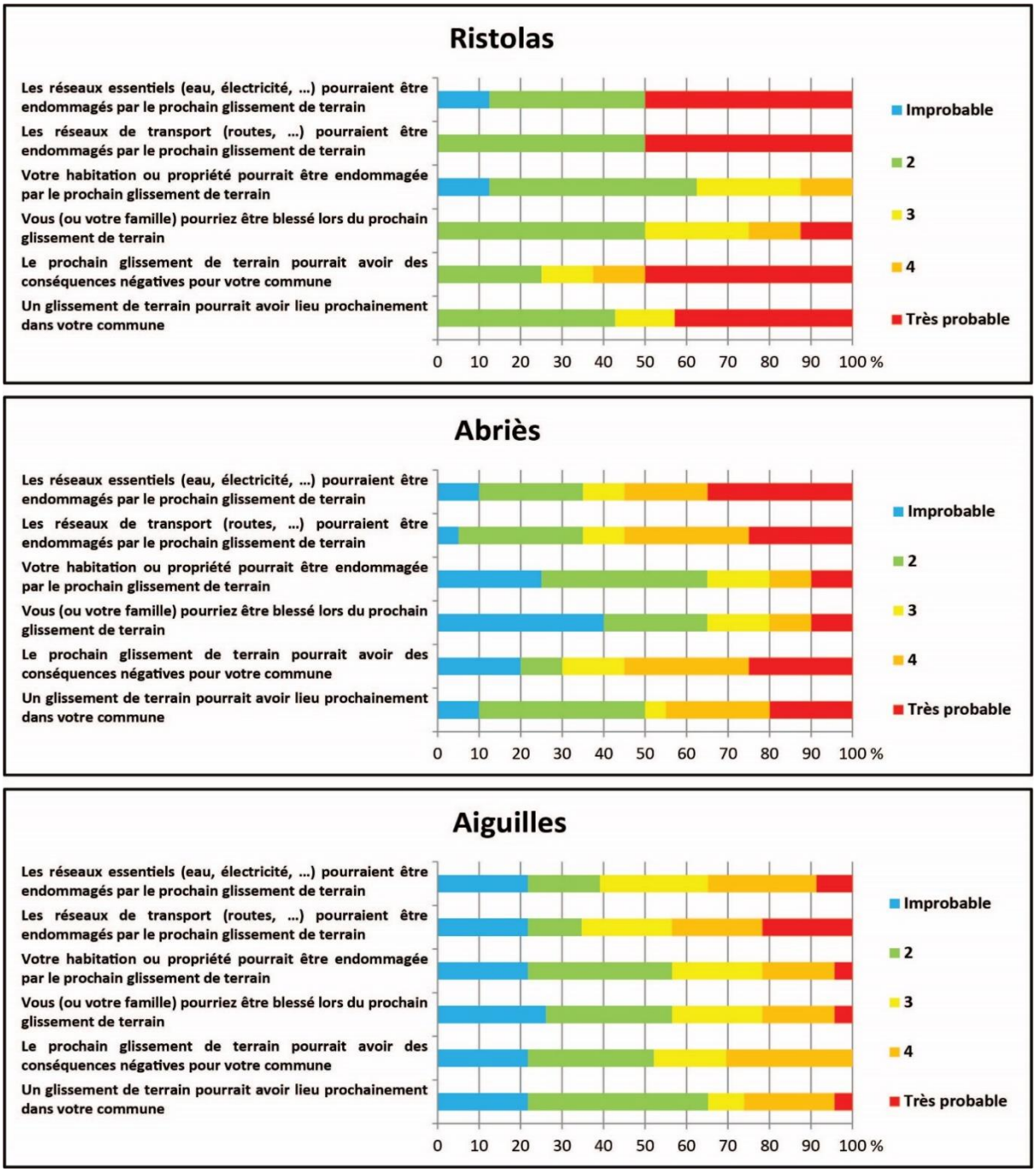


Figure 7. 12. : Perception des impacts possibles des glissements de terrain sur les communes de Ristolas, Abriès et Aiguilles.

Tout aléa confondu, c'est à l'amont de la vallée du Guil (Ristolas et Abriès, Fig. 7. 12., 7. 13. et 7. 14.) que la conscience des risques est la plus forte, et dans les vallées des Aigues (Molines-en-Queyras et Saint-Véran, Fig. 7. 12. bis, 7. 13. bis et 7. 14. bis) qu'elle est la plus ténue. Au-delà de ce premier constat, on observe des spécificités propres à chaque commune et à chaque aléa considéré. Ces spécificités sont à mettre au compte des récents événements qui y ont pris place, et donc au vécu des habitants (Fig. 7. 10.).

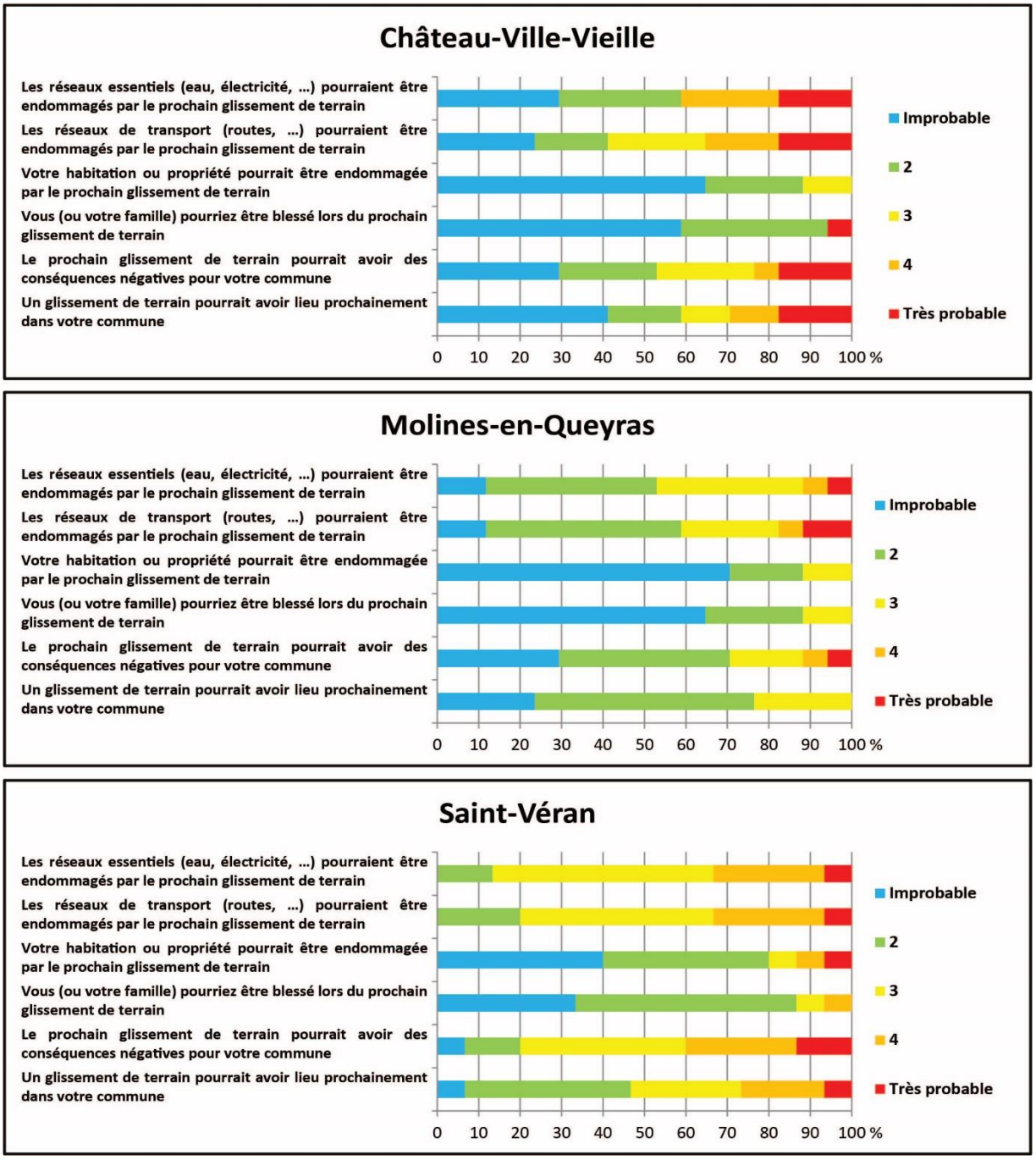


Figure 7. 12. (bis) : Perception des impacts possibles des glissements de terrain sur les communes de Château-Ville-Vieille, Molines-en-Queyras et Saint-Véran.

Concernant les inondations, c'est dans la vallée du Guil, et en particulier en fond de vallée, que le sentiment d'exposition est le plus important (Fig. 7. 13. et 7. 13. bis). À Ristolas, l'intégralité des enquêtés juge probable à très probable qu'une inondation puisse avoir lieu sur leur commune (Fig. 7. 13.).Tous s'accordent sur le fait qu'un tel événement puisse avoir des conséquences négatives sur leur commune, et notamment sur les réseaux essentiels (Fig. 7. 13.). Ces proportions sont légèrement moindres à Abriès, Aiguilles et Château-Ville-Vieille, mais elles demeurent importantes au regard des résultats observés à Molines-en-Queyras et Saint-Véran (Fig. 7. 13. et 7. 13. bis).

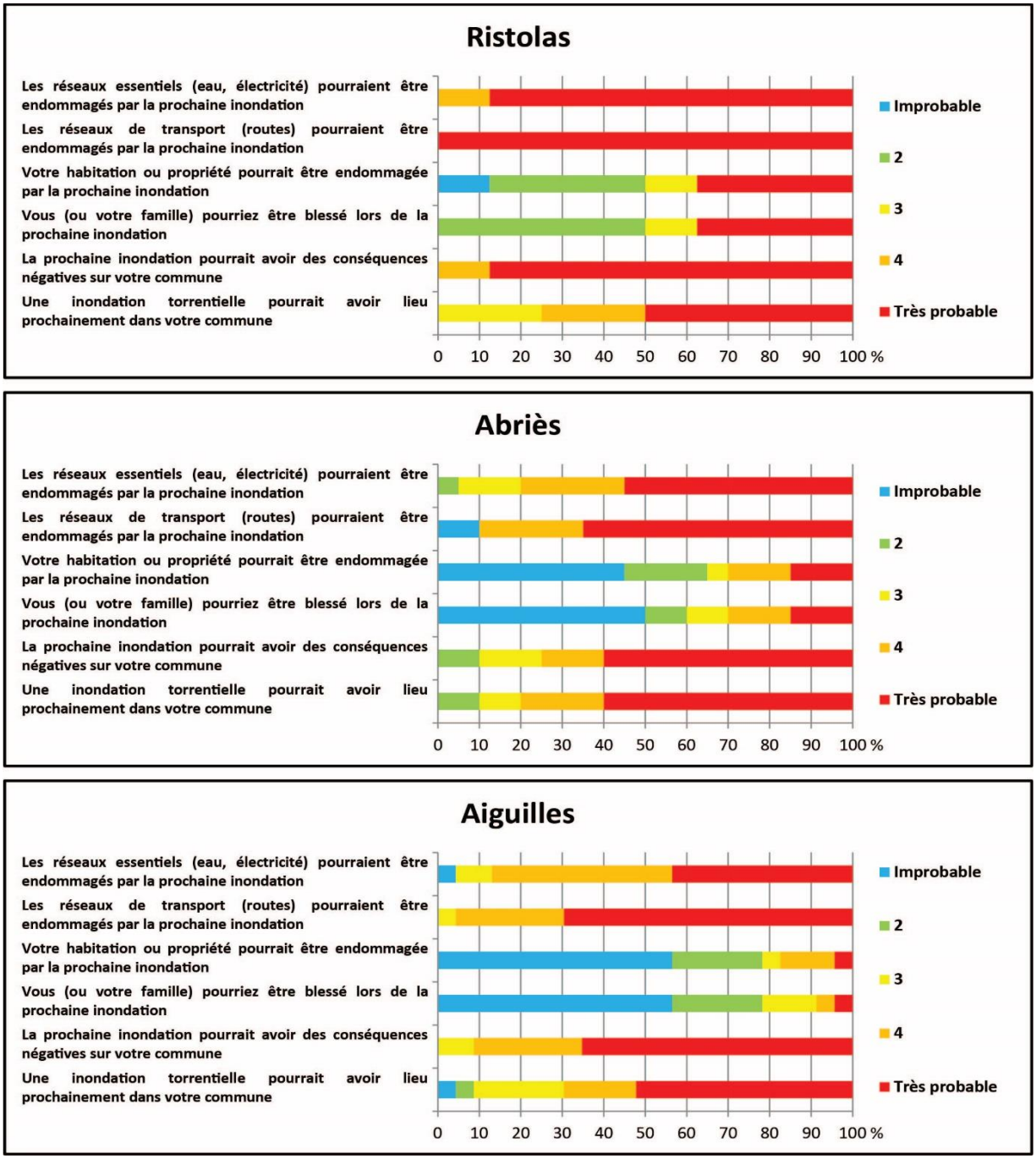


Figure 7. 13. : Perception des impacts possibles des crues torrentielles sur les communes de Ristolas, Abriès et Aiguilles.

Une fois encore, ce sentiment est à mettre au crédit du vécu des habitants. De fait la plupart des individus résidant dans la vallée a déjà vécu un épisode de crue catastrophique, ce qui est moins le cas dans les vallées adjacentes de l'Aigues Agnelle et de l'Aigue Blanche (Fig. 7. 10.). Notons qu'à Molines-en-Queyras, les habitants semblent pourtant bien au fait des impacts possibles des crues sur les réseaux routiers (Fig. 7. 13. bis). Probablement est-ce dû à l'épisode de crue de 2008 lors duquel la route D 5 reliant Molines-en-Queyras à Saint-Véran a été endommagée à hauteur du hameau du Clôt-La-Chalpe (Fig. 7. 10.). À cette occasion, la municipalité, aidée d'entrepreneurs locaux, est intervenue directement dans le torrent de l'Aigue Blanche ce qui n'a pas manqué de marquer les esprits.

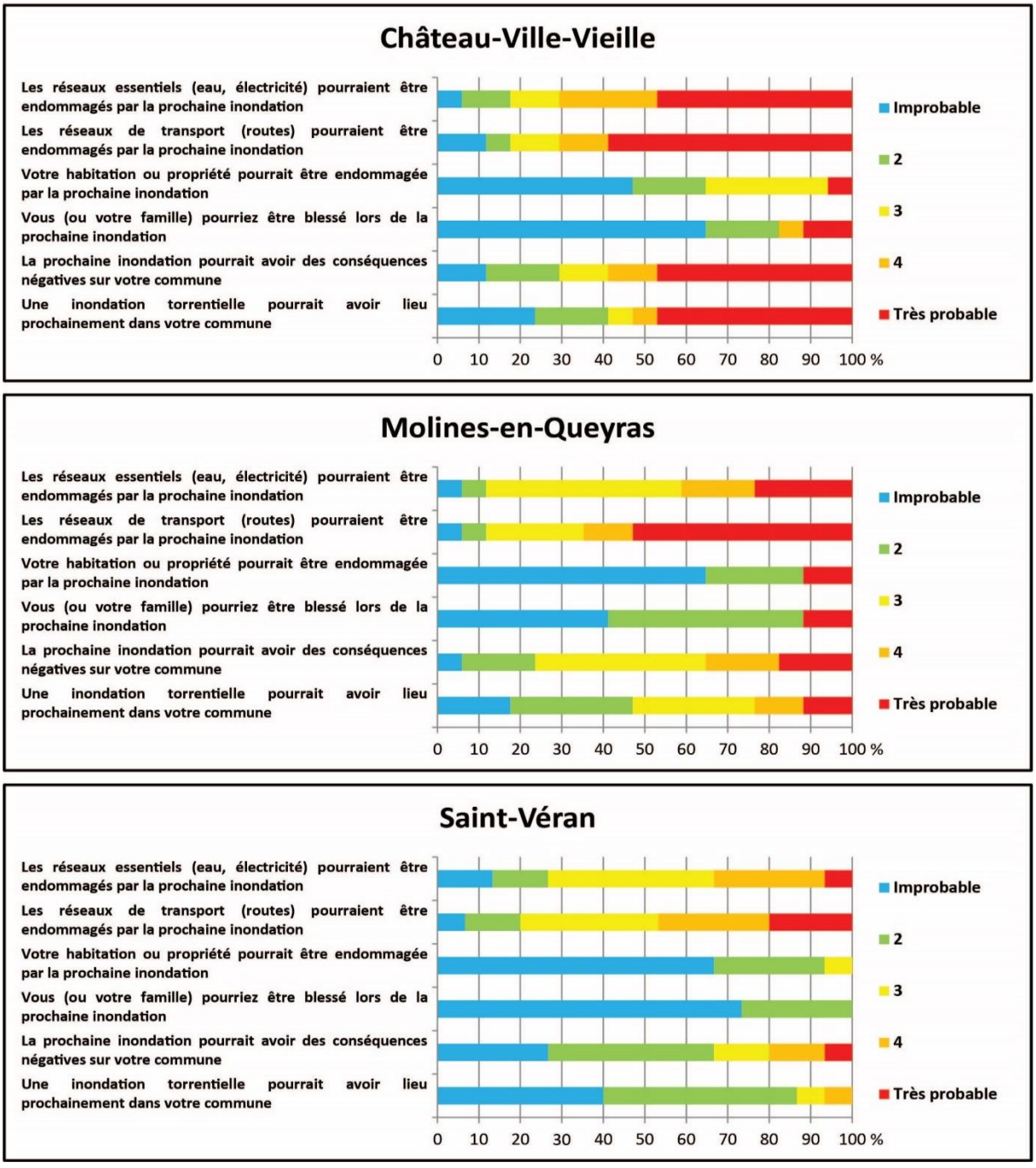


Figure 7. 13. (bis) : Perception des impacts possibles des crues torrentielles sur les communes de Château-Ville-Vieille, Molines-en-Queyras et Saint-Véran.

Pour les avalanches, c'est à Ristolas et Abriès que le sentiment d'exposition est le plus fort, et à Château-Ville-Vieille qu'il est le plus faible (Fig. 7. 14. et 7. 14. bis). Ces observations vont dans le sens d'une bonne évaluation des risques par les résidents des communes concernées. Celles de Ristolas et d'Abriès sont en effet fréquemment impactées par les avalanches en raison de leur situation, très exposée aux phénomènes de retours d'est. À l'inverse, la commune de Château-Ville-Vieille est peu exposée aux phénomènes avalancheux, d'où un sentiment limité d'exposition de la part ses résidents (Fig. 7. 14. bis).

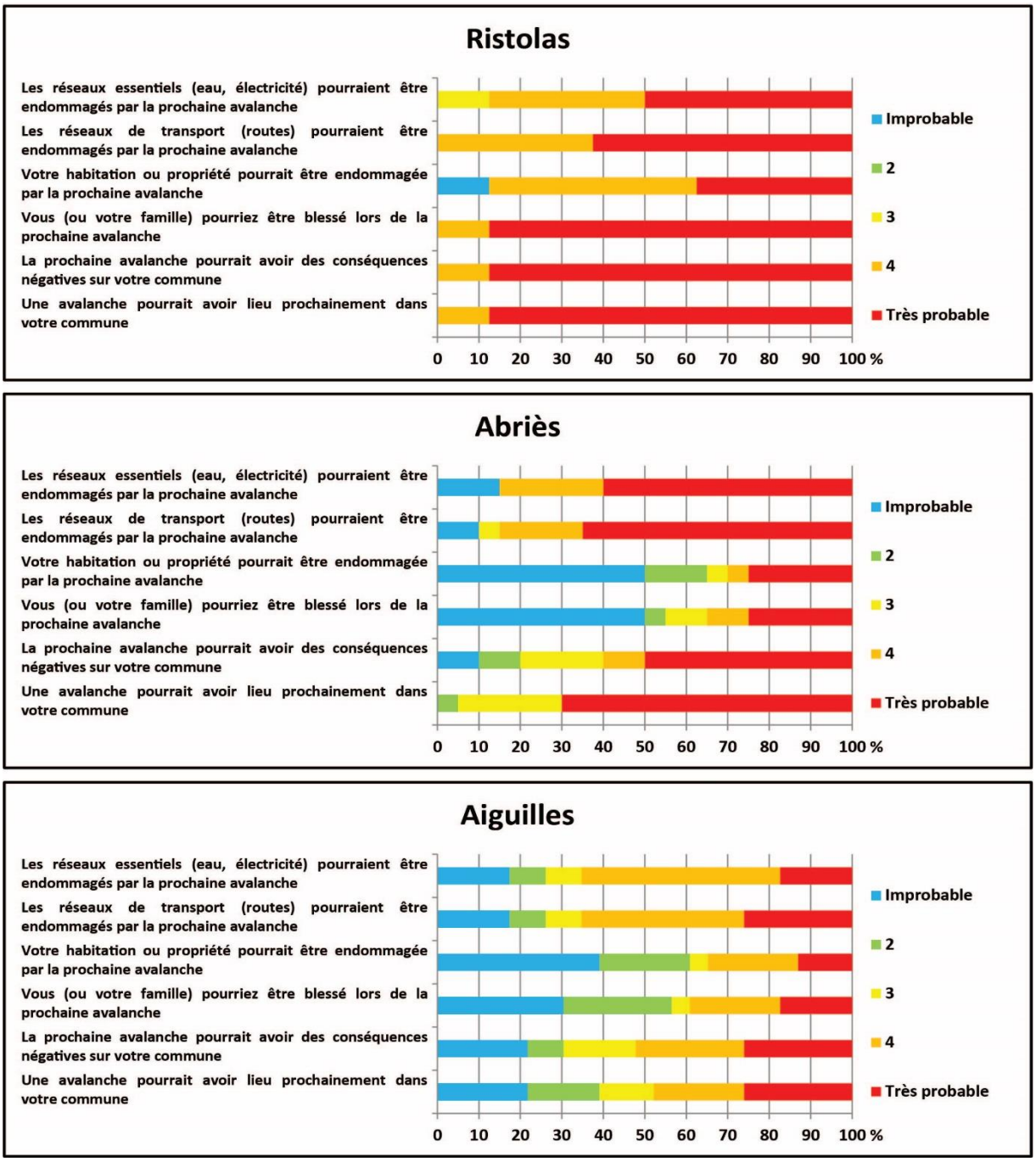


Figure 7. 14. : Perception des impacts possibles des avalanches sur les communes de Ristolas, Abriès et Aiguilles.

Tous les Ristoulins enquêtés ont ainsi jugé probable à très probable qu'une avalanche survienne prochainement sur leur commune (Fig. 7. 14.). Si tel était le cas, ils ont tous estimé qu'il y avait une forte probabilité pour qu'elle ait des conséquences négatives sur leur commune, en particulier sur les réseaux de transport (Fig. 7. 14.). De même, tous les habitants interrogés se considèrent personnellement exposés aux phénomènes avalancheux (Fig. 7. 14.). Ces sentiments sont largement partagés par les Abriessois enquêtés (Fig. 7. 14.). Il faut dire que ces deux communes, enclavées en fond de vallées, sont fréquemment isolées en hiver, à cause d'avalanches ou de coulées neigeuses sur le réseau routier (Léonne *et al*., 2014).

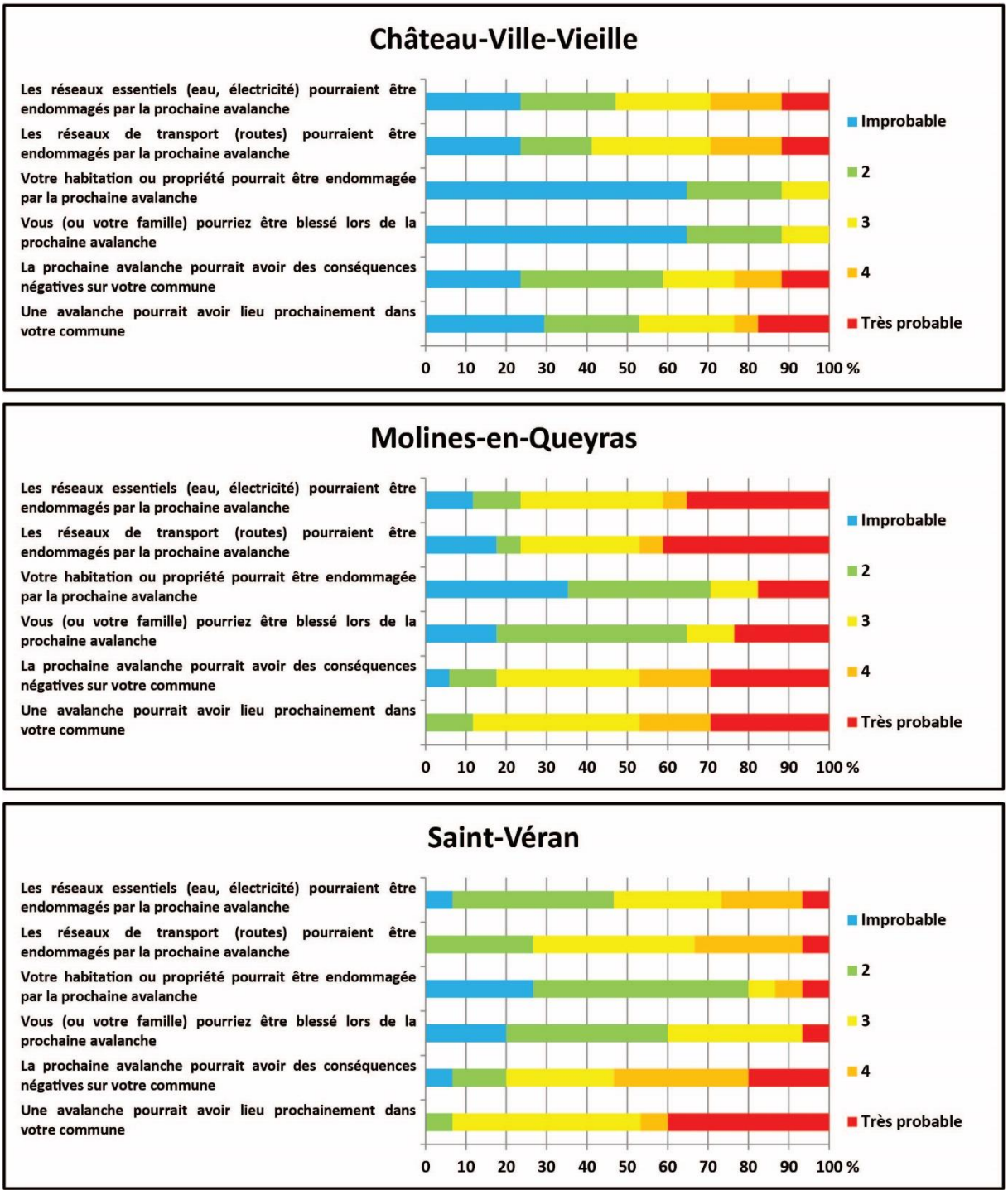


Figure 7. 14. (bis) : Perception des impacts possibles des avalanches sur les communes de Château-Ville-Vieille, Molines-en-Queyras et Saint-Véran.

Dans l'ensemble, les Queyrassins font montre d'une bonne conscience des risques. Celle-ci semble néanmoins plus ténue en ce qui concerne les risques liés aux glissements de terrain. Parmi les aléas qui leur étaient proposés, ce sont donc les avalanches et les crues torrentielles qui leur apparaissent comme les plus dangereuses. Les avalanches inquiètent surtout pour leur fréquence, tandis que pour les crues il s'agit plutôt une question de magnitude. Une différence s'observe également sur la nature des enjeux menacés. Pour les dommages matériels, ce sont les crues qui sont citées comme les plus néfastes alors que pour les dommages physiques (corporels) se sont plutôt les avalanches. Quel que soit l'aléa considéré, les Queyrassins sont toutefois peu enclin à se considérer personnellement exposés aux aléas.

2. 3. 2. La connaissance qu'ont les Queyrassins des mesures d'atténuation des risques

Après avoir évalué les connaissances qu'ont les Queyrassins des impacts potentiels des aléas sur les enjeux biophysiques de leurs communes, nous nous sommes intéressés aux connaissances qu'ils ont des mesures d'atténuation des risques. Le premier point abordé a trait à l'expérience personnelle des Queyrassins. L'objectif de ce premier volet est d'évaluer leur réaction face à l'occurrence d'un épisode catastrophique. Le second point étudié concerne leur connaissance des mesures et ouvrages de protection réalisés sur leur commune de résidence. Il s'agit ici de savoir s'ils ont connaissance de ces ouvrages, et s'ils sont conscients des mesures prises par les gestionnaires des risques. Le dernier point soulevé porte sur leur connaissance des documents d'information relatifs aux risques. Le but de ce dernier point est d'évaluer d'une part l'intérêt qu'ils portent à la thématique des risques, et d'autre part de jauger les politiques de prévention des risques mises en œuvre par les autorités compétentes.

À la question de savoir s'ils savent que faire en cas de catastrophe naturelle, les Queyrassins répondent en majorité par l'affirmative (Fig. 7. 15.). 61 % d'entre eux déclarent ainsi savoir comment réagir si un tel scénario venait à se produire. À titre de première remarque, on peut observer que cette proportion est de près de 10 points inférieur à la part des Queyrassins ayant déjà vécu un épisode catastrophique (Fig. 7. 7.). Avoir l'expérience d'un risque n'implique donc pas nécessairement que l'on sache comment réagir en cas de nouvel épisode catastrophique. Derrière ces chiffres se cachent de grandes disparités (Fig. 7. 16.). Selon la commune de résidence des enquêtés, la part des individus à avoir répondu savoir que faire en cas de catastrophe varie du simple au double (Fig. 7. 16.). Alors que 85 % des Abriessois sont au fait des comportements à adopter, seul 41 % des Moulinois sont dans ce cas (Fig. 7. 16.). D'une manière générale, ce sont dans les communes du Haut-Guil (Ristolas, Abriès et Aiguilles) que l'on se sent les plus à même de réagir efficacement face à un risque (Fig. 7. 16.). Dans les trois communes les plus en aval du bassin (Château-Ville-Vieille, Molines-en-Queyras et Saint-Véran), moins d'une personne sur deux est dans ce cas (Fig. 7. 16.).

S'il y a d'évidentes similitudes entre le vécu des Queyrassins et la part des interrogés sachant que faire face à un risque (comme à Abriès, Aiguilles ou Saint-Véran, Fig. 7. 8. et 7. 16.), ce n'est vraisemblablement pas là le seul facteur explicatif. L'intérêt personnel porté par les Queyrassins à la thématique des risques et les stratégies de communication employées par les autorités en charge de la gestion des risques ont très certainement une influence sur ce ressenti. Interroger les connaissances qu'ont les Queyrassins des mesures d'atténuations mises en place devrait permettre d'avancer sur la question.

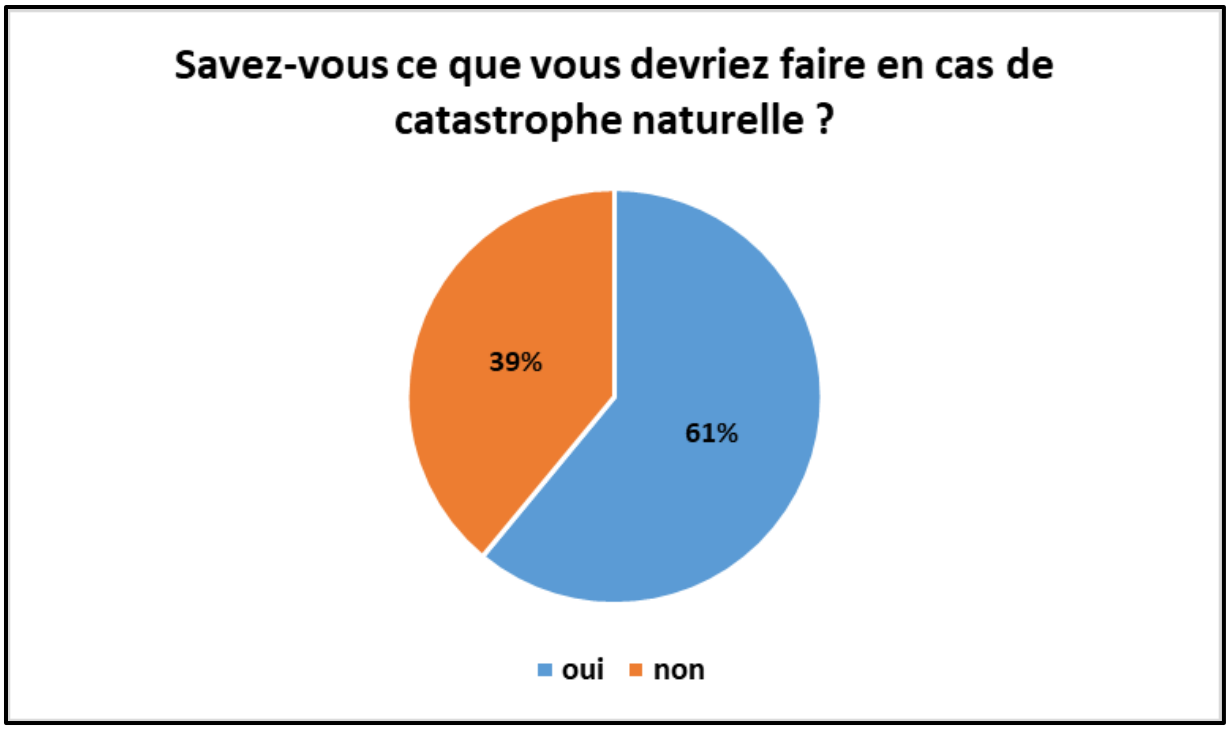


Figure 7. 15. : Les Queyrassins face aux risques.

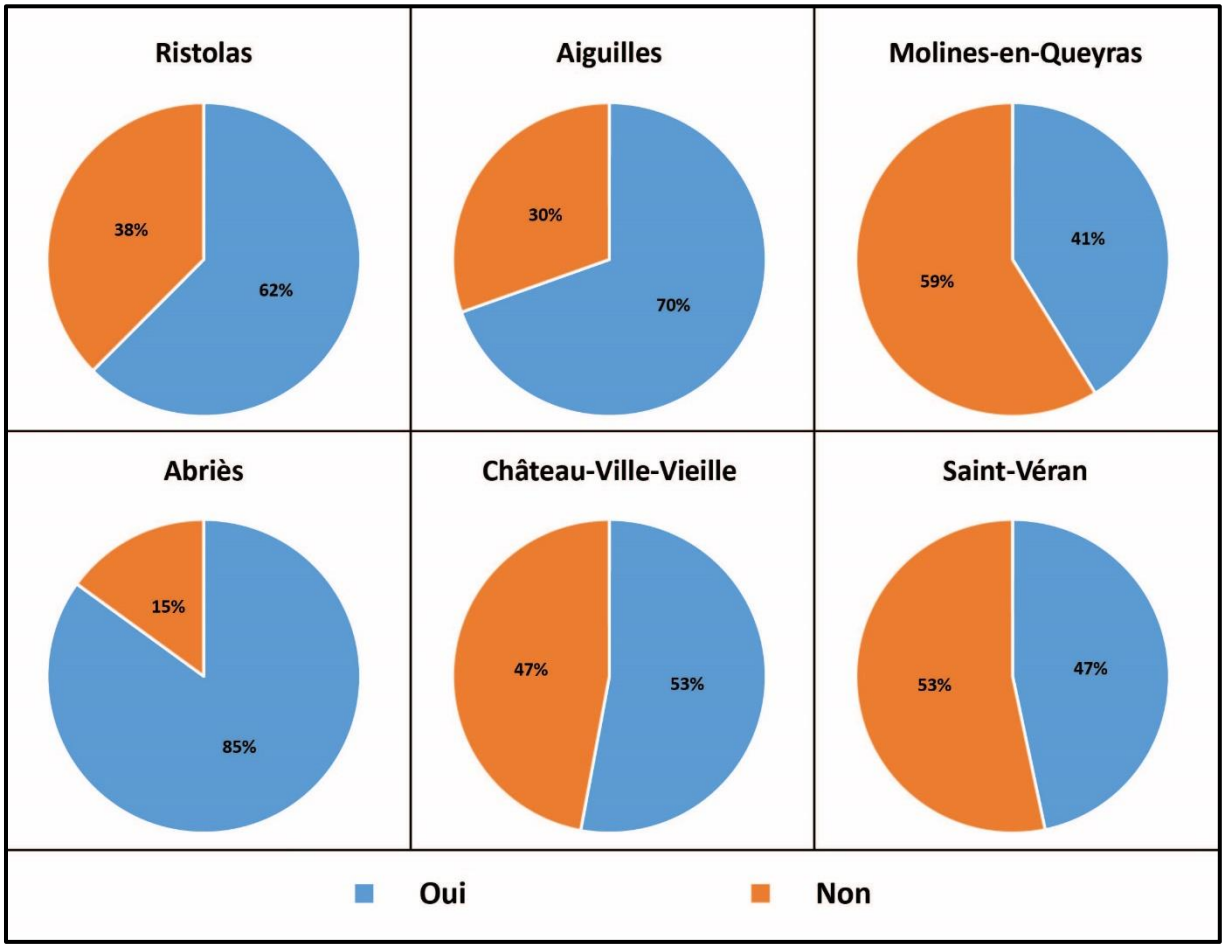


Figure 7. 16. : Les Queyrassins face aux risques : détails selon la commune de résidence.

Afin de tester les connaissances des Queyrassins et de mettre en évidence l'intérêt qu'ils portent à la thématique des risques, ces derniers ont été interrogés sur les mesures de protection réalisées sur leur commune de résidence (Fig. 7. 17. et 7. 18.).

Près de 80 % des Queyrassins interrogés ont répondu savoir que des mesures de protection ont bien été entreprises dans leur commune. (Fig. 7. 17.). 13 % d'entre eux ignorent si des mesures ont été ou non prises sur leur commune et 9 % affirment qu'aucune mesure n'a été mise en œuvre (Fig. 7. 17.).

Alors qu'à Ristolas et Abriès, l'essentiel des répondants ont au moins cité une mesure de protection (Fig. 7. 18.), près de la moitié des habitants d'Aiguilles et de Château-Ville-Vieille et environ un quart des Saint-Vérannais ont répondu ignorer que des mesures ont été prises sur leur commune.

Sans doute est-ce dû à une incompréhension de la question car on voit mal comment ces derniers pourraient ignorer, *à minima*, la présence des digues qui protègent leur commune des crues. C'est d'autant plus surprenant que les principaux axes routiers du Queyras sont précisément construits sur des digues ! Une autre interprétation consisterait à dire que les interrogés ne font pas le lien entre digues et mesures de protections.

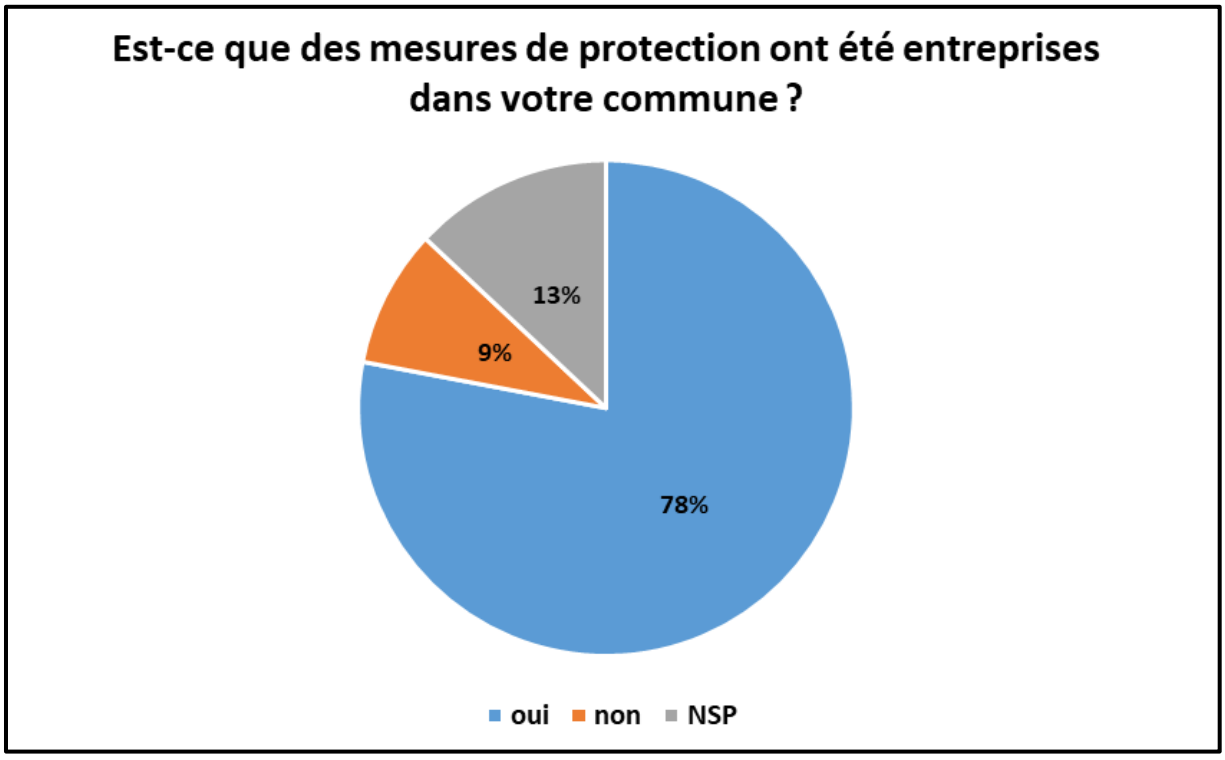


Figure 7. 17. : La connaissance qu'ont les Queyrassins des mesures de protection mise en œuvre sur le territoire.

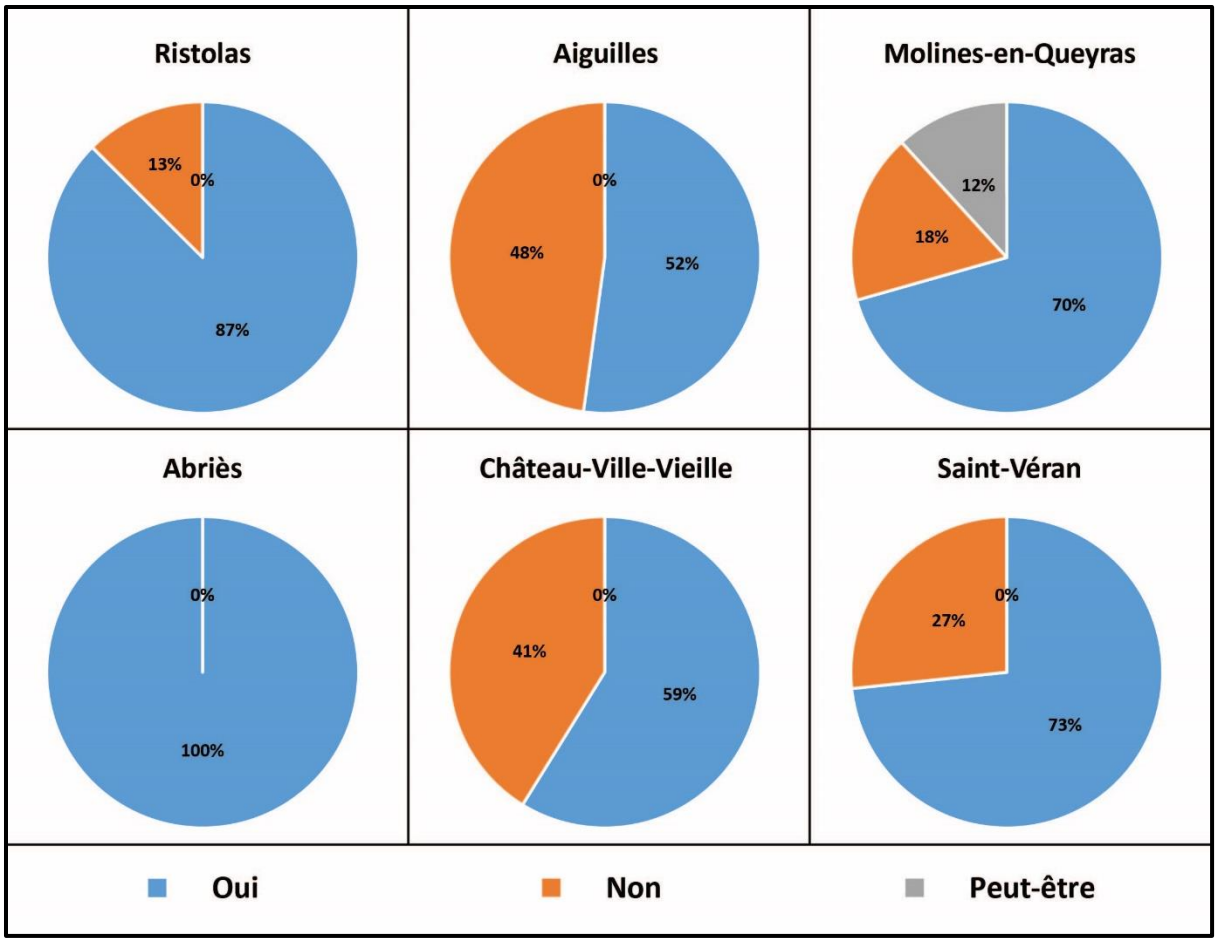


Figure 7. 18. : La connaissance qu'ont les Queyrassins des mesures de protection mise en place sur leur commune : détail selon la commune de résidence.

Parmi les mesures citées, ce sont d'ailleurs les digues qui reviennent le plus souvent (63 citations, Fig. 7. 19.). Qu'elle que soit la commune considérée, c'est le type de mesure qui a été le plus citée (Fig. 7. 20.). Viennent ensuite les paravalanches (20 citations, Fig. 7. 19.) et les filets pare-blocs (16 citations, Fig. 7. 19.). Une seule personne a évoqué une mesure en lien avec les glissements de terrain (retenue des terrains, Fig. 7. 19.) ou les feux de forêt (citernes incendies, Fig. 7. 19.). On constate que les trois mesures de protection les plus citées correspondent bien aux trois aléas qui inquiètent le plus les Queyrassins (Fig. 7. 3.).

La plupart des mesures évoquées sont en lien avec les crues torrentielles (8 des 12 éléments listés par les Queyrassins et 77 des 115 citations effectuées, Fig. 7. 19.). Pour autant, peu d'enquêtés ont fait la distinction entre les différentes mesures liées aux crues. Seule 4 personnes ont cité les seuils alors que les enrochements, les gabions ou le nettoyage des berges n'ont été cités qu'à une seule reprise (Fig. 7. 19.). Les ouvrages de dérivation réalisés sur les cônes torrentiels n'ont jamais été directement cités. D'une manière générale, ce sont les ouvrages les plus « lourds », et donc les plus visibles dans le paysage, qui ont été le plus évoqués (Fig. 7. 19.).

En dépit de ces remarques, on observe que les Queyrassins sont globalement bien au fait des ouvrages présents sur leur commune (Fig. 7. 20.). À Abriès, par exemple, la plupart des enquêtés ont à la fois cité les digues et les paravalanches. De même, à Château-Ville-Vieille les interrogées ont surtout évoqué les digues et les filets pare-blocs (Fig. 7. 20.).

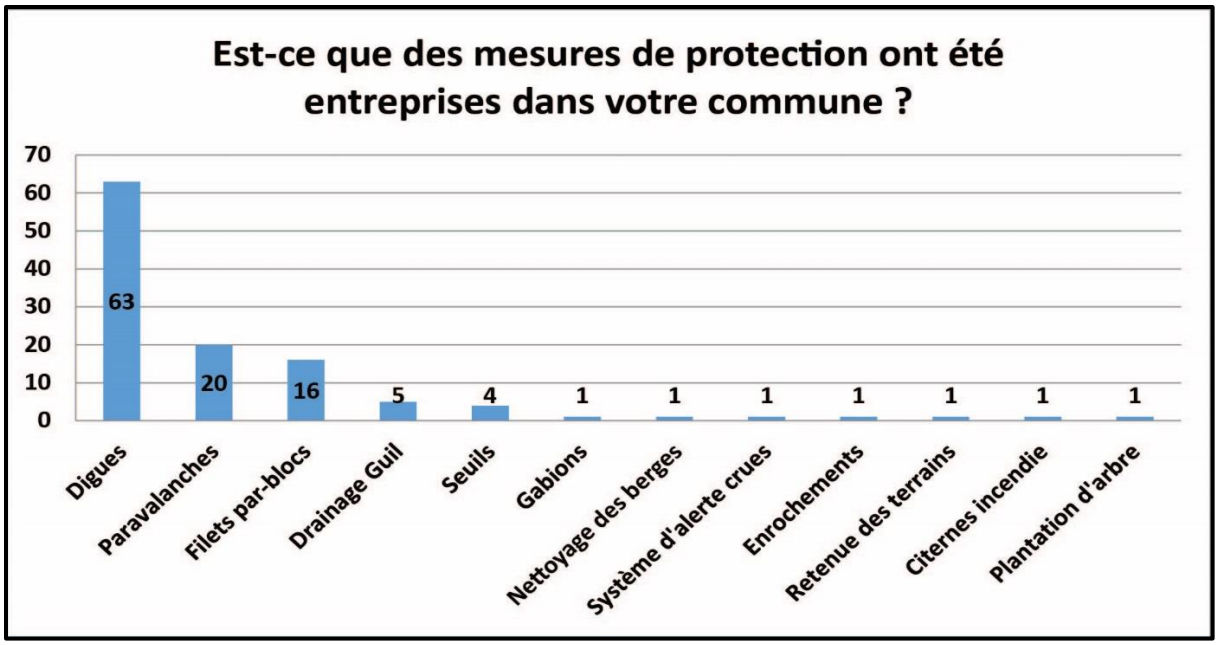


Figure 7. 19. : Les mesures de protections citées par les Queyrassins interrogés.

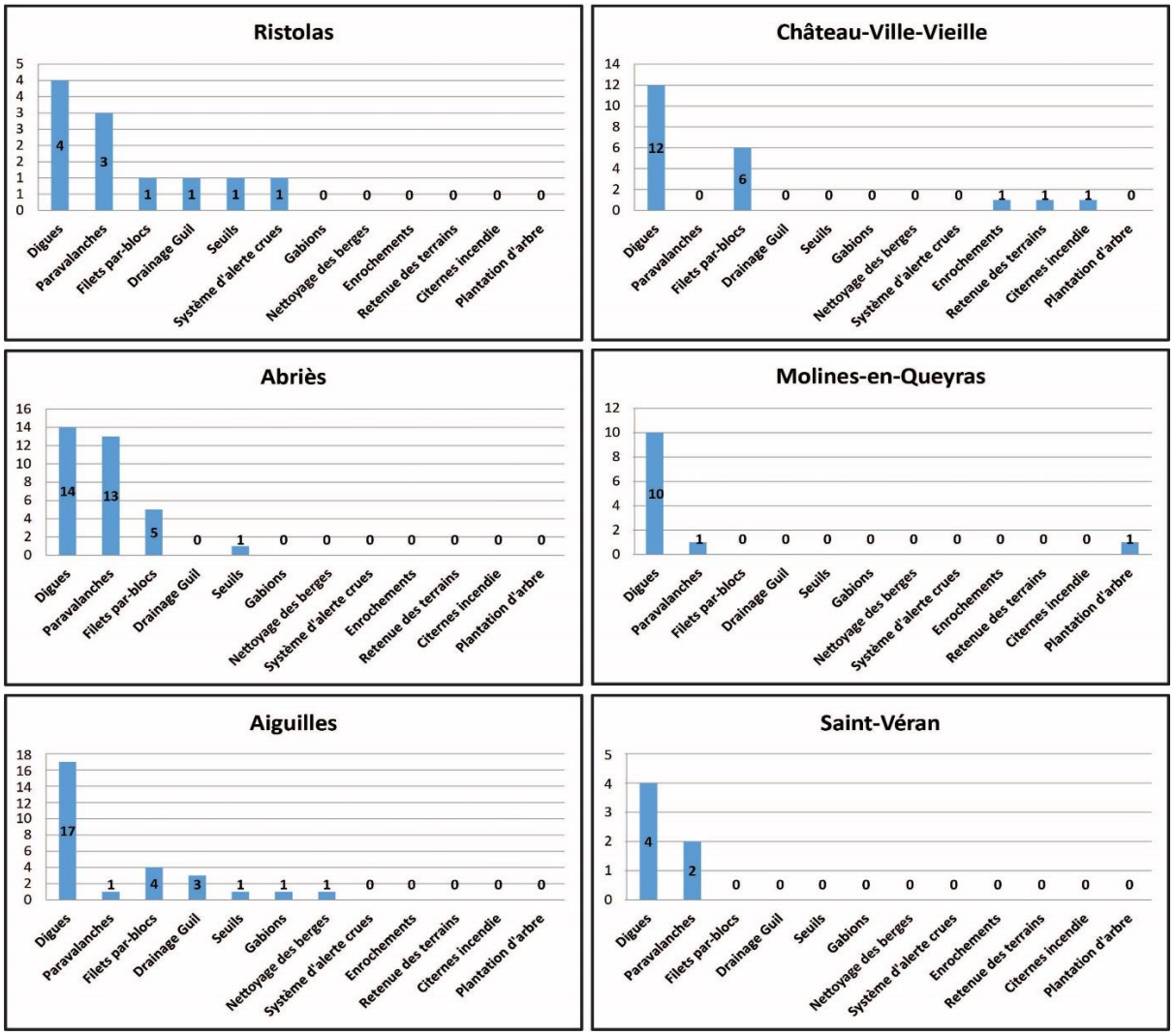


Figure 7. 20. : Les mesures de protections citées par les Queyrassins interrogés : détail selon la commune de résidence.

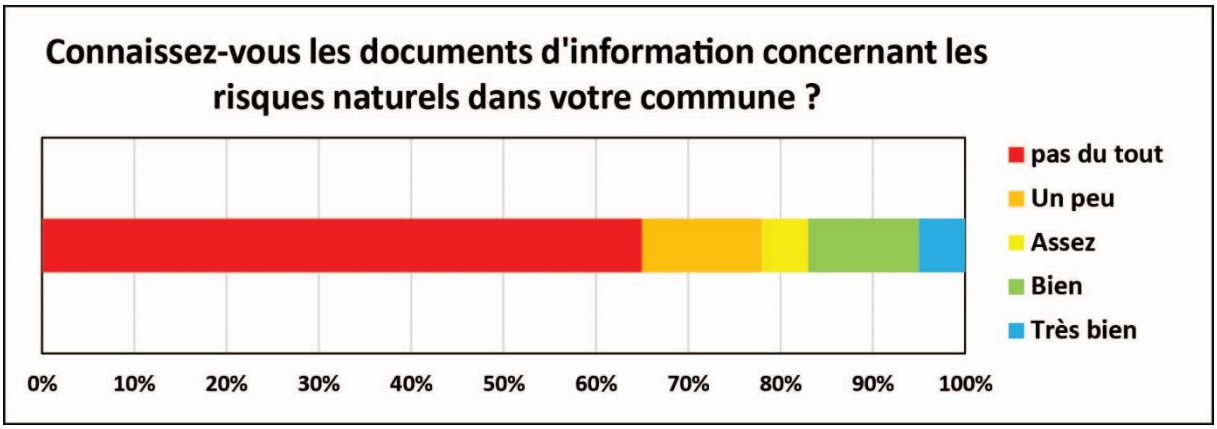


Figure 7. 21. : La connaissance qu'ont les Queyrassins des documents d'information concernant les risques naturels.

Si les Queyrassins connaissent globalement bien les mesures de protection mises en place sur leur commune, il n'en va pas de même avec la documentation sur les risques (Fig. 7. 21.). Lors de l'enquête il a bien été précisé que les documents d'information concernaient tout autant les plans de prévention des risques naturels, que les documents techniques du Parc Naturel Régional du Queyras (PNRQ) et de la Restauration des Terrains de Montagne (RTM) ou encore les documents d'information à l'échelle communale.

La majorité des Queyrassins interrogée (65 %, Fig. 7. 21.) affirment ne pas du tout connaître ces documents. Les Queyrassins affirmant bien (12 %, Fig. 7. 21.) ou très bien (5 %, Fig. 7. 21.) connaître ces documents ont tous un lien fort avec les pouvoir publics (mairie et PNRQ) et/ou la sécurité civile (pompiers et gendarmes).

Cette méconnaissance de la documentation liée au risque est commune à l'ensemble des communes queyrassine (Fig. 7. 22.). Pourtant, là encore, les Abriessois enquêtés semblent mieux informés que les autres habitants du territoire puisque 30 % d'entre eux affirment bien ou très bien connaitre cette documentation (Fig. 7. 22.). À l'opposé, aucun des enquêtés résidant sur la commune de Château-Ville-Vieille ne prétend bien ou très bien connaitre la documentation relative aux risques naturels (Fig. 7. 22.).

Globalement, les Queyrassins sont tous conscients que des mesures ont été prises pour atténuer les impacts des aléas sur leurs communes. Pour autant, ils sont surtout au courant des ouvrages visant à les protéger des aléas (au sens d'ouvrage d'art). À cet égard ils semblent surtout au fait des ouvrages les plus lourds réalisés sur leur commune (digues, paravalanches et filets pare-blocs). Et encore, seulement de ceux qui ont pour but de les protéger des risques qui les inquiètent le plus (avalanches, crues et chutes de pierres). Ils sont ainsi totalement ignorants des mesures visant à les protéger des glissements de terrain. Cette connaissance, toute relative, des mesures mises en place par les gestionnaires des risques semble indiquer que les Queyrassins ont peu recherché ces informations. Cette hypothèse semble d'ailleurs confirmée par leur large méconnaissance de la documentation relative aux risques naturels. De fait, la grande majorité des Queyrassins reconnaît ne pas du tout connaître cette documentation ; alors même qu'une partie d'entre elle est aisément disponible en mairie ou auprès du PNRQ.

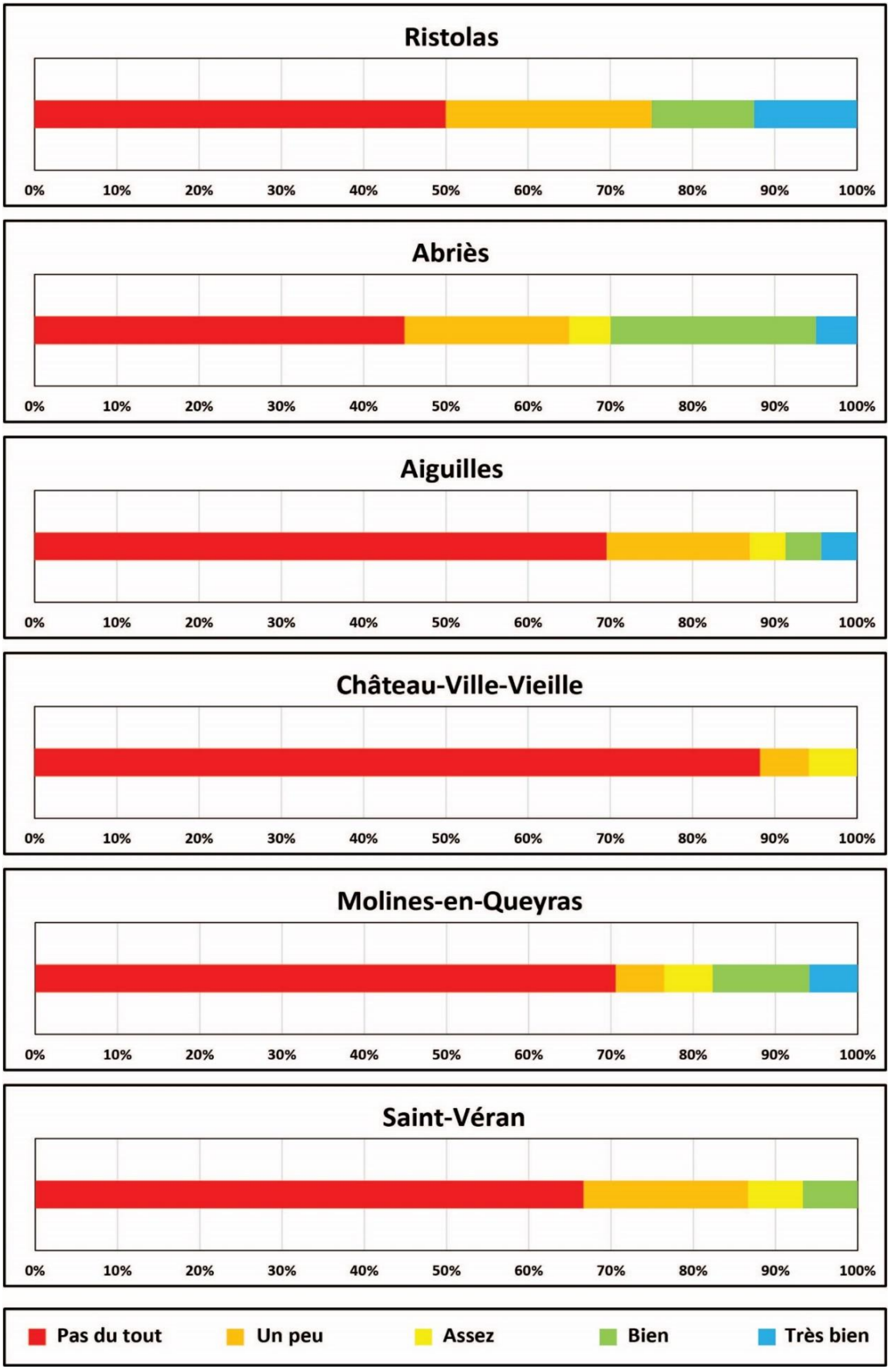


Figure 7. 22. : La connaissance qu'ont les Queyrassins des documents d'information concernant les risques naturels : détail selon la commune de résidence.

2. 4. Diffusion des informations relatives aux aléas et aux risques

Alors que les Queyrassins semblent plutôt bien au fait des impacts probables des risques sur les différents types d'enjeux, ils ont montré une certaine méconnaissance des mesures d'atténuation mises en œuvre dans leur commune. Est-ce là la marque d'un manque d'intérêt pour la thématique des risques ou bien l'expression d'une communication défaillante de la part des autorités en charge de la gestion des risques ? Pour répondre à cette interrogation, on s'est penché plus en détail sur la perception qu'ont les Queyrassins de leur propre connaissance des risques et sur les vecteurs employés pour diffuser les informations concernant les risques.

2. 4. 1. La perception qu'ont les Queyrassins de leur connaissance des risques

À la question de savoir s'ils se considèrent bien informés sur les risques naturels, les Queyrassin répondent généralement par l'affirmative (Fig. 7. 23.). Plus des deux tiers des interrogés (71,4 %) se considèrent suffisamment informés à très bien informés (Fig. 7. 23.). Ils sont 25,7 % à avoir répondu se sentir faiblement informés, et seulement 2,9 % pas du tout informés (Fig. 7. 23.). La proportion de Queyrassin se considérant suffisamment informés et plus coïncide donc avec la part des individus ayant déjà vécu un épisode catastrophique (72 %, Fig. 7. 7.).

Sur le plan de la répartition spatiale, c'est dans la commune de Molines-en-Queyras que s'observe la plus forte proportion d'enquêtés se considérant insuffisamment informés (50 %, Fig. 7. 24.) et dans celle Abriès qu'ils sont les plus nombreux à se juger bien informés et très bien informés (≈ 93 %, Fig. 7. 24.). Si le vécu des Queyrassins en matière de risque joue indéniablement un rôle dans ce jugement, il n'est donc pas seul en cause. Sans quoi, il y aurait davantage de personnes se considérant bien informées à Ristolas ou Molines (Fig. 7. 8. et Fig. 7. 24.). De fait, avoir vécu un épisode catastrophique ne signifie pas nécessairement être au courant des mesures à prendre s'il venait à s'en dérouler un autre. Sans doute le rôle des institutions en charge de la prévention et de la gestion des risques est-il aussi à interroger.

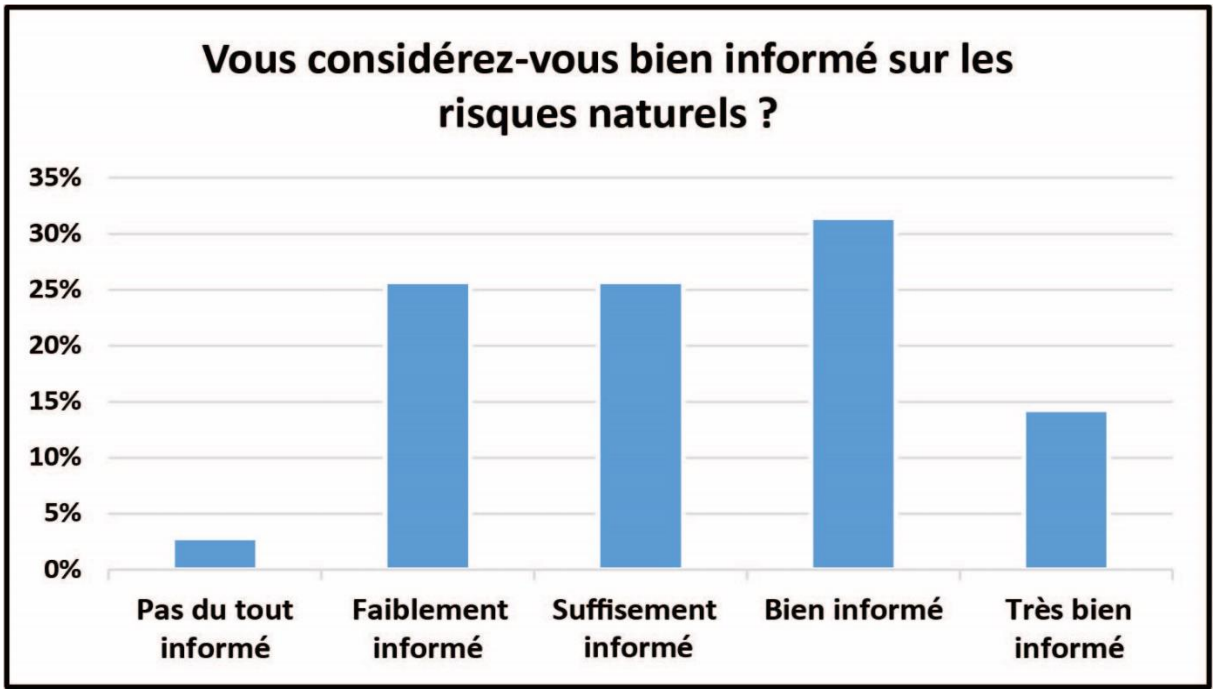


Figure 7. 23. : Perception que les Queyrassins ont de leur degré d'information sur les risques naturels.

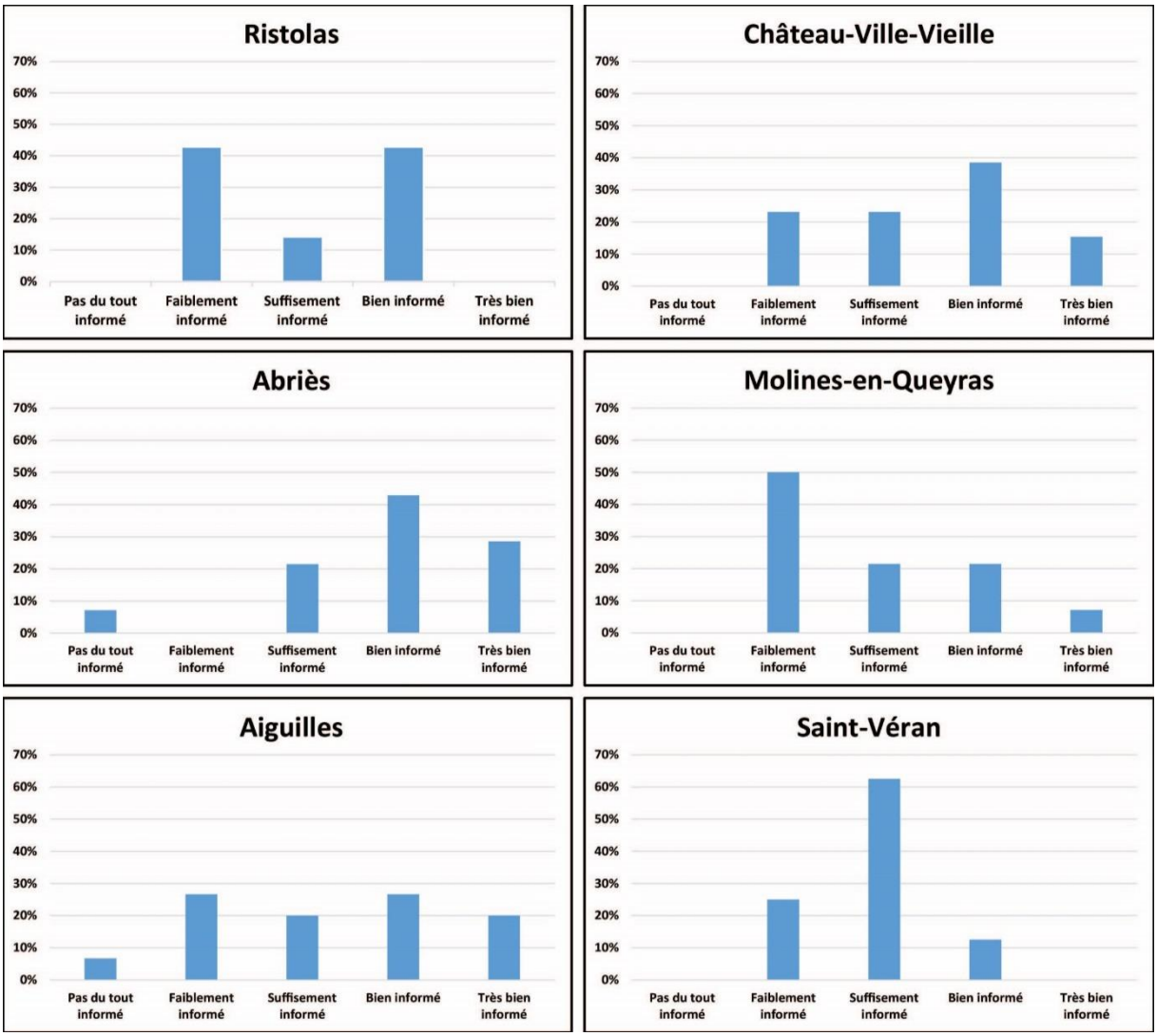


Figure 7. 24. : Perception que les Queyrassins ont de leur degré d'information sur les risques naturels : détail selon la commune de résidence des enquêtés.

2. 4. 2. La commune comme principale vecteurs des informations sur les risques

Environ 60 % des interrogés affirment avoir déjà été informés sur les risques naturels dans leur commune de résidence (Fig. 7. 25.). Paradoxalement, la répartition de ces individus au sein des 6 communes du Queyras est loin d'être identique (Fig. 7. 26.). Dans trois des six communes du Queyras, la part des interrogés affirmant avoir été informé sur les risques est significative (> à 70 %) : Ristolas, Molines-en-Queyras et Abriès (Fig. 7. 26.). À Aiguilles et Château-Ville-Vieille, seule la moitié des répondants affirme avoir été informée sur les risques tandis qu'à Saint-Véran ce chiffre tombe à 40 %.

Ces informations sur les risques leurs sont parvenues principalement *via* la mairie (Fig. 7. 27.). C'est, de loin, le vecteur le plus cité par les Queyrassins (Fig. 7. 27. et 7. 28.). Le rôle de la famille et des amis comme relais de l'information apparaît également important, notamment à Aiguilles et Molines-en-Queyras (Fig. 7. 27. et 7. 28.). En revanche, on peut noter le faible impact des médias, traditionnels ou non, ce qui semble indiquer que les Queyrassins n'ont pas vraiment recherché ces informations (Fig. 7. 27. et 7. 28.). Cette hypothèse semble confirmée par la faible proportion d'individus affirmant avoir recherché cette information par eux même (environ un tiers des enquêtés, Fig. 7. 29. et 7. 30.).

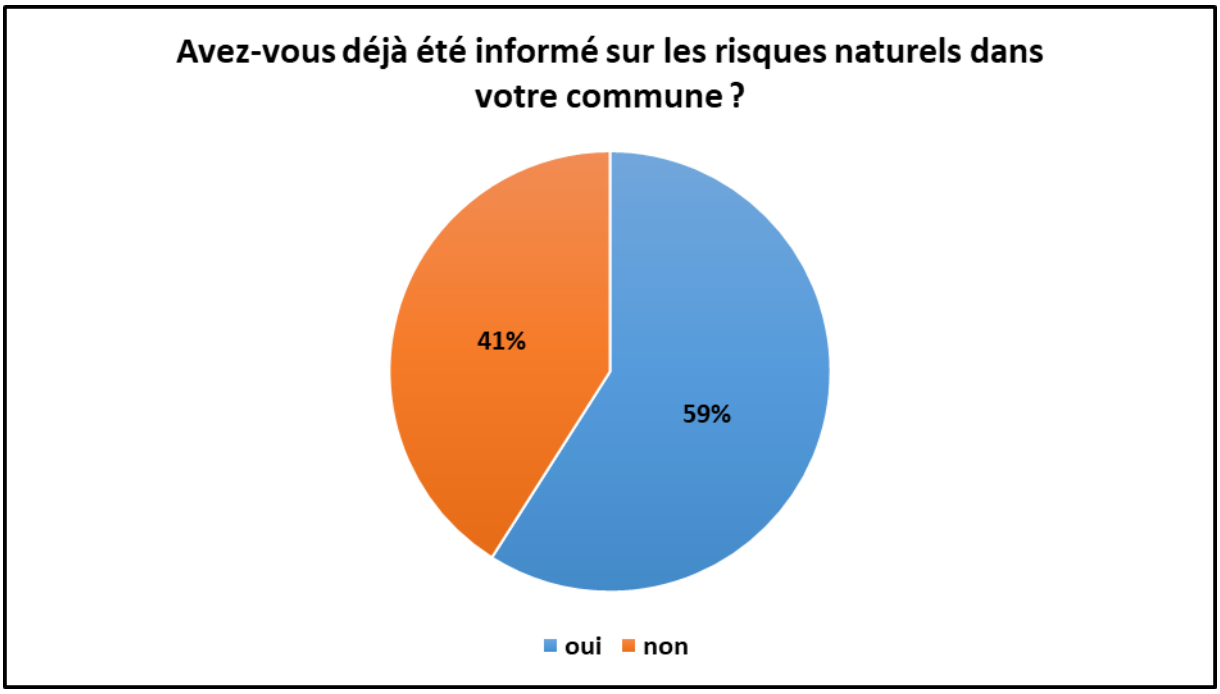


Figure 7. 25. : Avez-vous déjà été informé sur les risques naturels dans votre commune ?

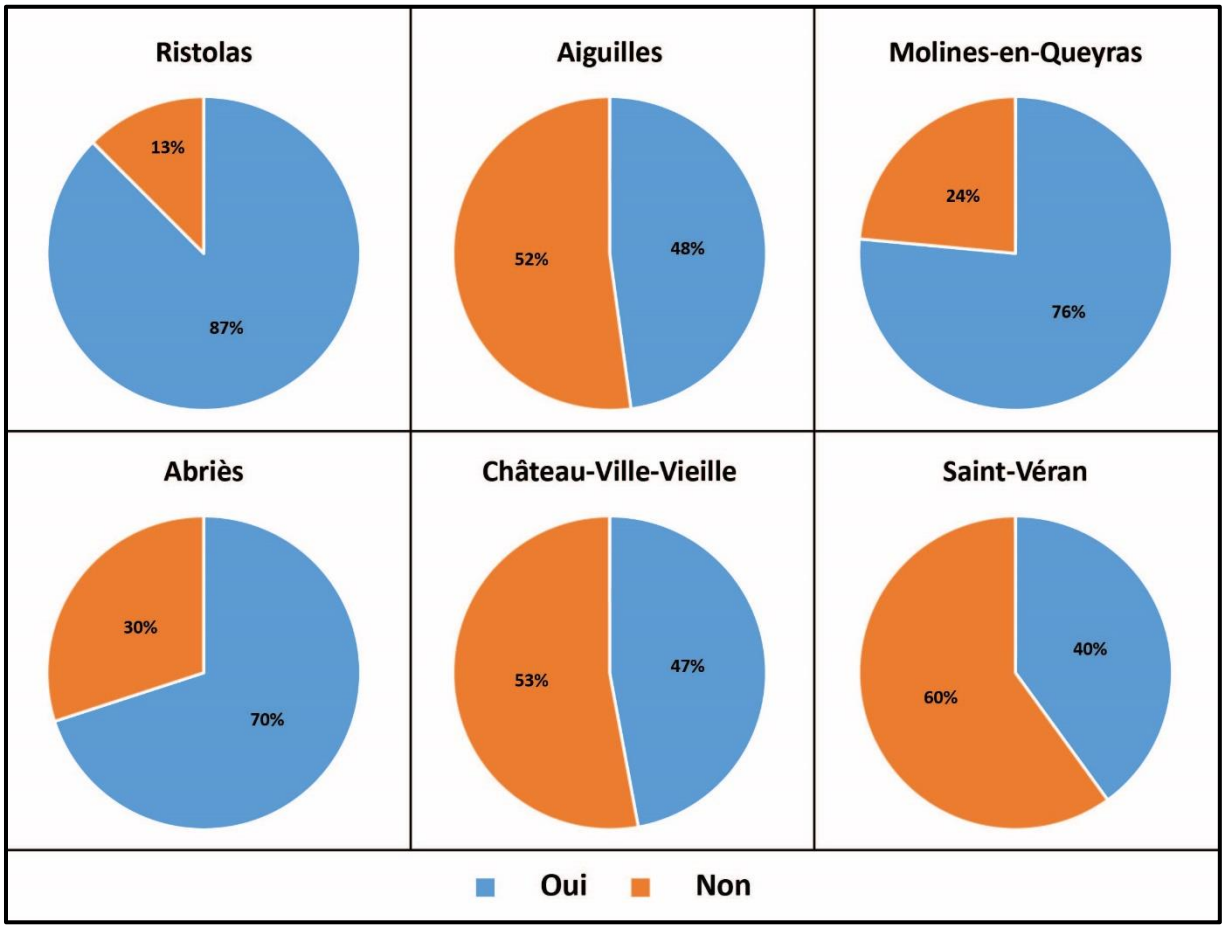


Figure 7. 26. : Avez-vous déjà été informé sur les risques naturels dans votre commune ? Détail par commune.

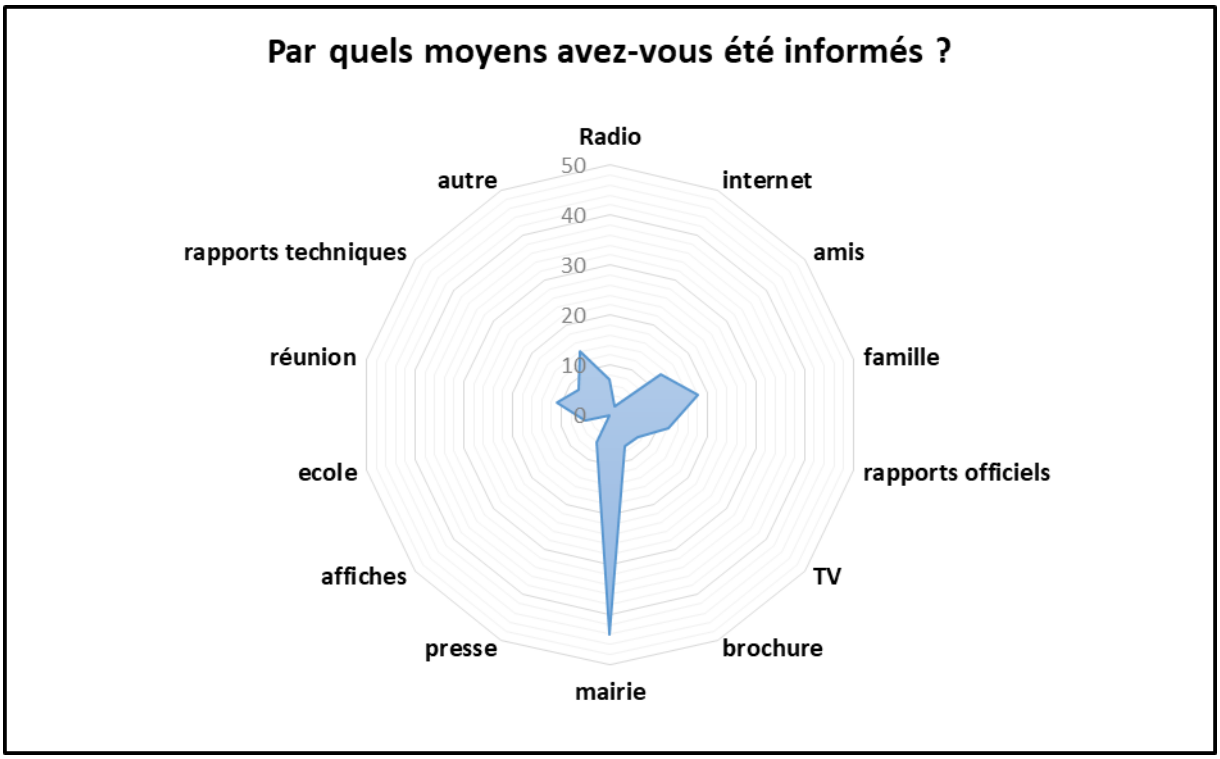


Figure 7. 27. : Les vecteurs de l'information sur les risques dans le Queyras.

Vecteur d'information / commune	Ristolas	Abriès	Aiguilles	Château-Ville-Vieille	Molines-en-Queyras	Saint-Véran	Total
Radio	0	2	2	0	2	1	**7**
Internet	0	0	0	0	2	1	**3**
Amis	2	2	6	0	3	1	**14**
Famille	3	2	2	3	7	1	**18**
Rapports officiels	0	3	4	2	5	1	**15**
Télévision	1	1	2	0	0	3	**7**
Brochure	2	1	2	0	7	1	**13**
Mairie	6	12	9	3	10	4	**44**
Presse	0	1	4	0	0	1	**6**
Affiches	0	0	0	0	0	0	**0**
École	1	0	0	2	1	1	**5**
Réunion	1	2	3	2	1	1	**10**
Rapports techniques	0	4	1	2	1	0	**8**
Autre	0	3	2	3	4	0	**12**
Total	**16**	**33**	**37**	**17**	**43**	**16**	**162**

Figure 7. 28. : Détail, par commune, des vecteurs de l'information sur les risques dans le Queyras.

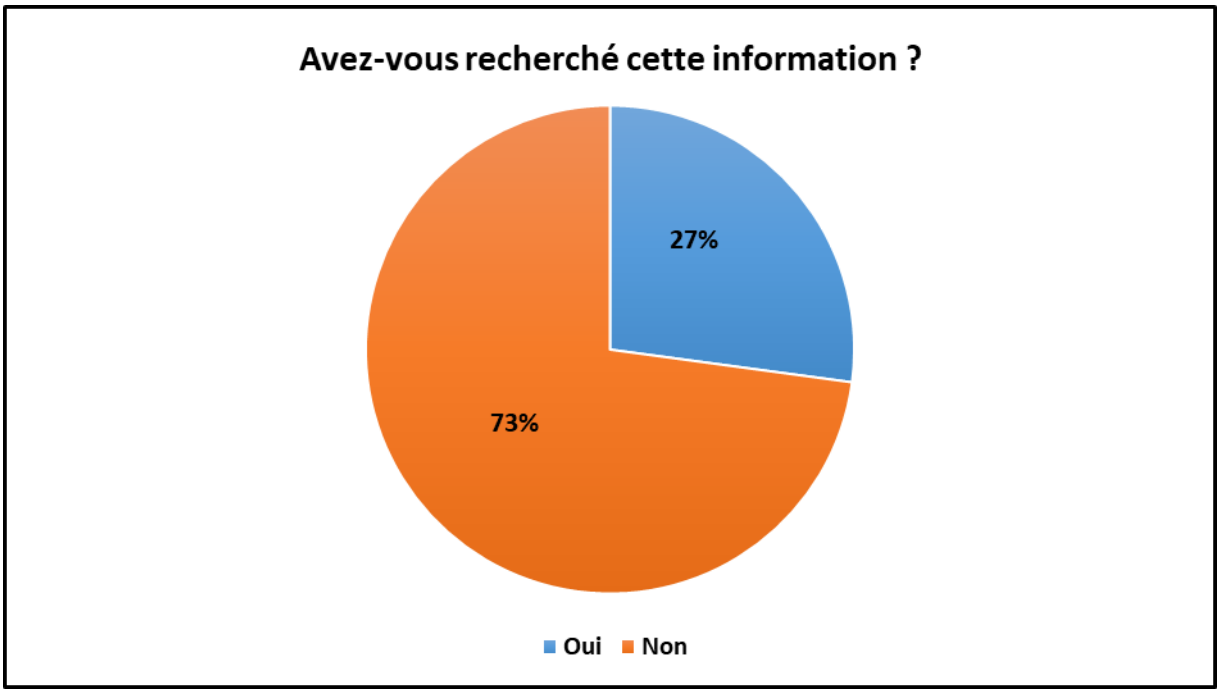


Figure 7. 29. :Avez-vous recherché cette information ?

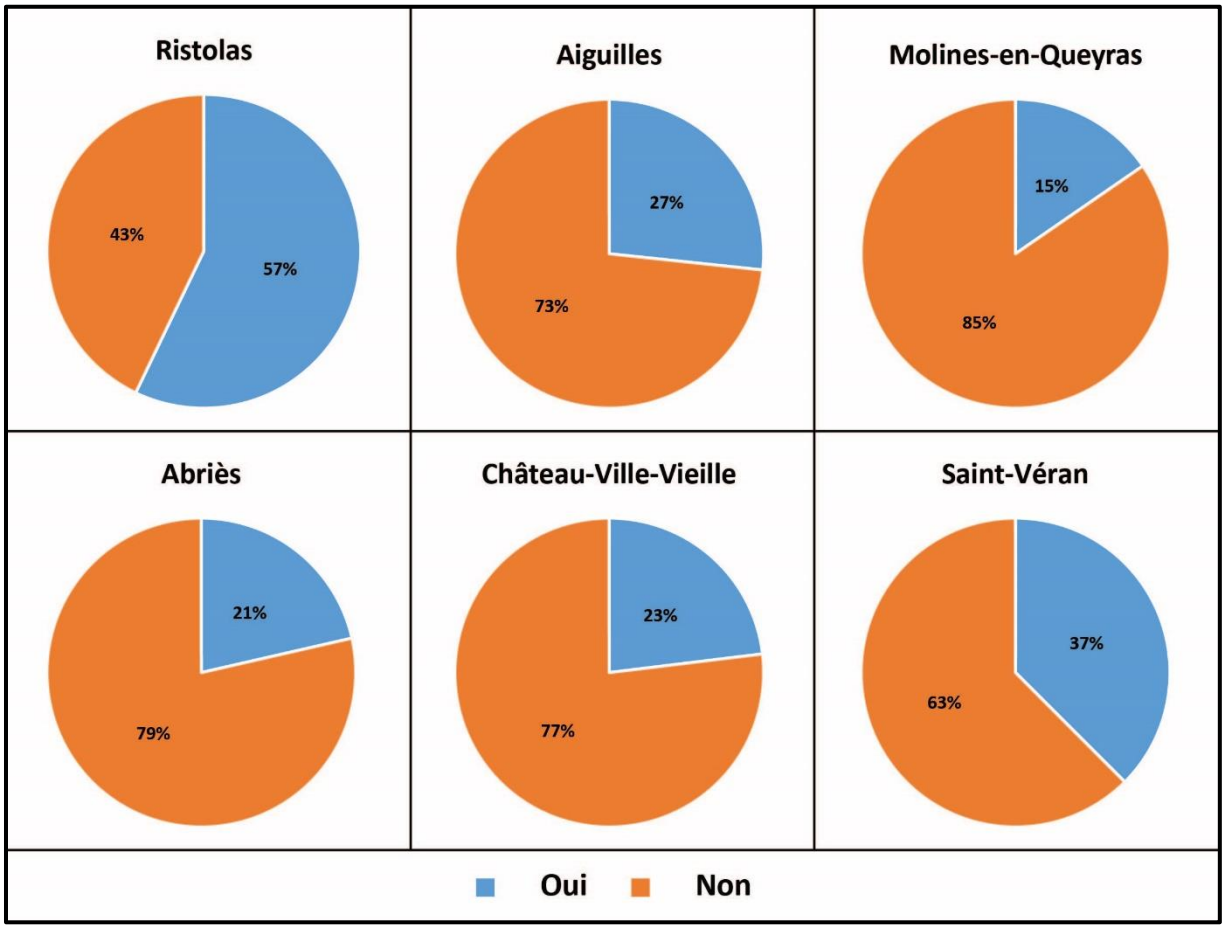


Figure 7. 30. : Avez-vous recherché cette information ? Détail selon la commune de résidence.

Plusieurs faits ressortent des travaux exposés ci-avant. Le plus important est sans doute que la majeure partie des Queyrassins a bel et bien été informée des risques présents sur sa commune de résidence. Dans la plupart des cas, c'est par le biais des autorités municipales que ces informations leur sont parvenues. En revanche, seule une faible proportion des enquêtés a cherché à acquérir des informations sur les risques par ses propres moyens. Ce dernier élément peut être interprété de plusieurs façons. Soit il suggère un certain manque d'intérêt de la part des Queyrassins envers la thématique des risques. Soit il est l'expression de politiques efficaces de communication de la part des différentes mairies du Queyras. De fait, on peut supposer qu'un individu bien informé aura moins tendance à aller chercher un surplus d'information qu'une personne qui ne l'est pas. Pour compléter cette analyse, il est nécessaire de mieux appréhender les attentes des Queyrassins en matière d'information sur les risques.

2. 4. 3. Un désir partagé d'être mieux informé sur les risques ?

Afin de mieux cerner les attentes des Queyrassins en matière de communication sur les risques, il leur a tout d'abord été demandé s'ils souhaitaient bénéficier de plus d'informations à ce sujet. Le cas échéant, il leur a été demandé s'ils étaient près à rechercher des informations à ce sujet. Enfin, ils ont été questionnés sur les moyens par lesquels ils souhaitaient être informés et sur le rôle des différents acteurs de la gestion des risques dans cette transmission des informations.

Six Queyrassins sur dix ont déclaré souhaiter bénéficier de plus d'informations sur les risques naturels (Fig. 7. 31.). Cette proportion, bien qu'importante sur le plan statistique apparaît faible au regard de la forte exposition du territoire aux risques. De fait, cela signifie que 40 % des Queyrassins n'ont aucune envie de disposer d'informations complémentaires sur ce sujet.

Selon la commune considérée, cette fraction varie de manière importante (Fig. 7. 32.). Dans les communes de la haute vallée du Guil – Ristolas, Abriès et Aiguilles – les enquêtés souhaitent pour la plupart bénéficier d'informations supplémentaires (Fig. 7. 32.). C'est particulièrement vrai pour Ristolas, où tous les enquêtés se sont prononcés en ce sens (Fig. 7. 32.). À Abriès et Aiguilles, cette proportion est moindre mais les deux tiers des interrogés ce sont néanmoins montrés favorables à cette idée (Fig. 7. 32.). Dans les trois autres communes du Queyras, les résultats sont plus mitigés (Fig. 7. 32.). À Saint-Véran, seule la moitié des enquêtés ont déclarés souhaiter disposer de plus d'informations sur les risques (Fig. 7. 32.). Dans les communes Château-Ville-Vieille et Molines-en-Queyras cette proportion chute en deçà de la barre des 50 % (Fig. 7. 32.). Ces résultats sont pour le moins paradoxaux. De fait, ce sont précisément dans ces deux dernières communes que les individus ont déclaré ne pas savoir comment réagir en cas de catastrophe naturelle (Fig. 7. 16.) ! C'est d'autant plus troublant en ce qui concerne la commune de Château-Ville-Vieille. En effet, si près de 80 % des enquêtés prétendent être suffisamment informés sur les risques, près de la moitié d'entre eux affirme pourtant n'avoir jamais été informée des risques sur sa commune. Malgré cela, il n'y a que 46 % de sa population qui souhaite obtenir davantage d'informations sur les risques (Fig. 7. 32.).

Les deux tiers des enquêtés ont néanmoins affirmé être prêts à chercher ces informations par eux-mêmes (Fig. 7. 33.). Tous les Ristoulins interrogés se sont prononcés en ce sens, de même que les trois quarts des enquêtés résidant à Château-Ville-Vieille (Fig. 7. 34.). Cette proportion est de l'ordre de 60 % dans les quatre autres communes (Fig. 7. 34.). Ces chiffres peuvent sembler incongrus compte tenu des réponses données dans les questionnaires (Fig. 7. 29. et 7. 30.). De fait, les Queyrassins ne semblaient pas particulièrement désireux de s'informer sur la thématique des risques. Peut-être y a-t-il derrière ces réponses une notion de circonstance. En d'autres mots, la majeure partie des Queyrassins serait effectivement prête à chercher des informations sur les risques si d'aventure ils s'y trouvaient confrontés directement. Ce n'est là cependant qu'une hypothèse qui demande encore à être vérifiée.

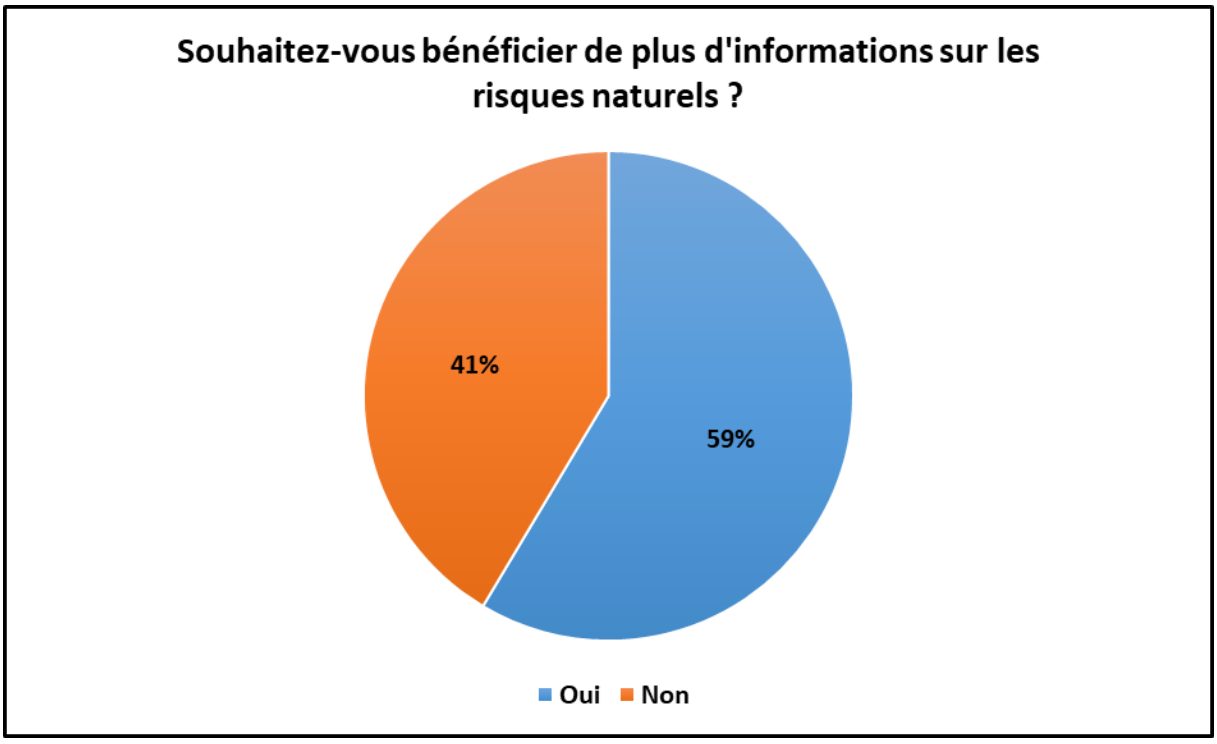


Figure 7. 31. : Souhaitez-vous bénéficier de plus d'informations sur les risques naturels ?

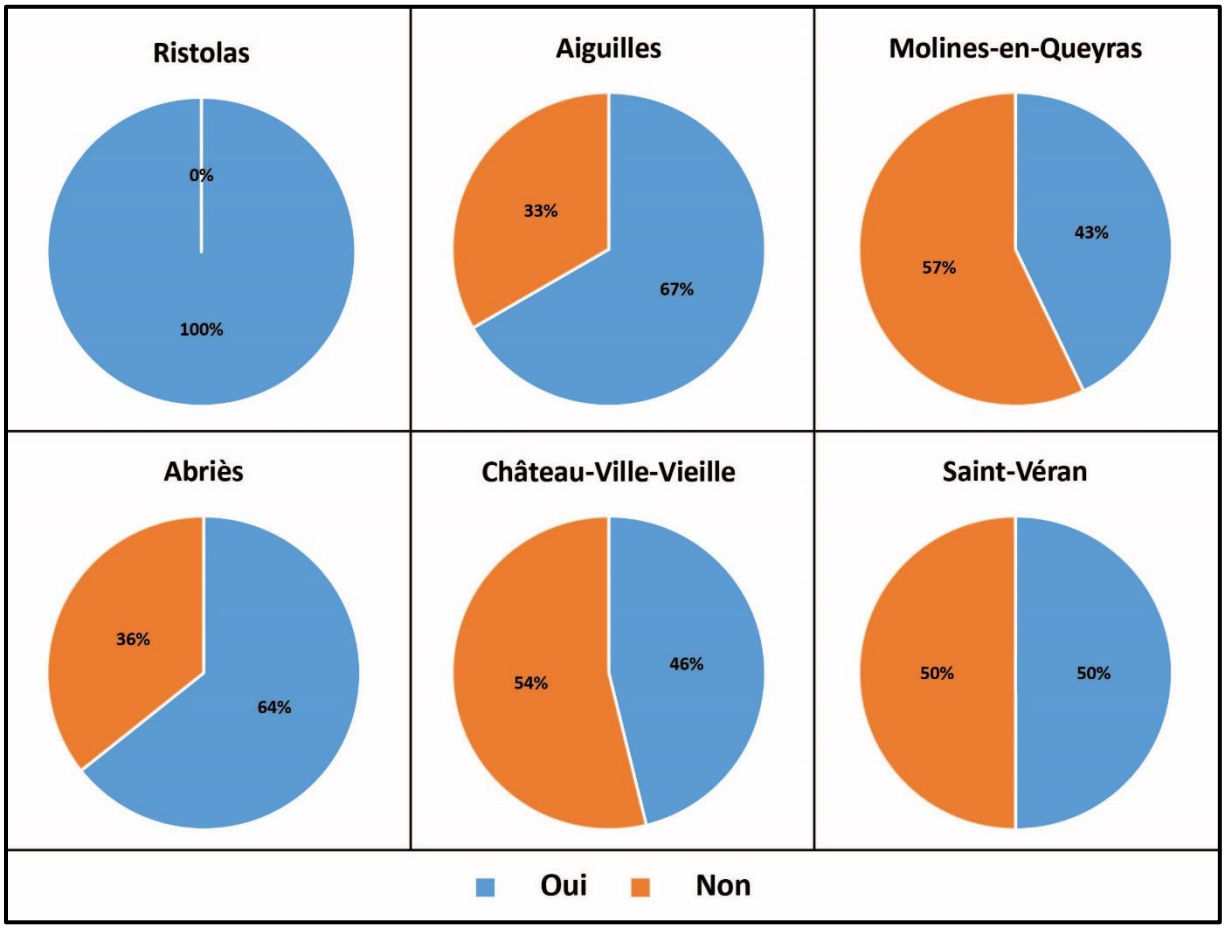


Figure 7. 32. : Souhaitez-vous bénéficier de plus d'informations sur les risques naturels ? Détail selon la commune de résidence des enquêtés.

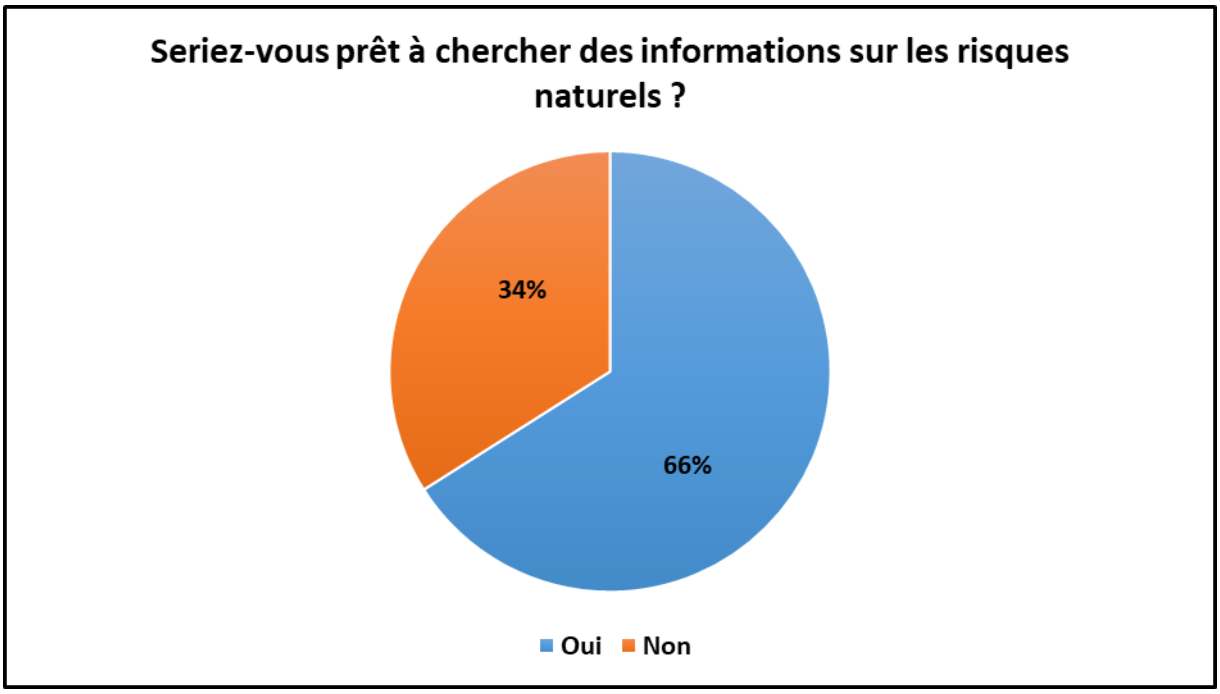


Figure 7. 33. : Seriez-vous prêt à chercher des informations sur les risques naturels ?

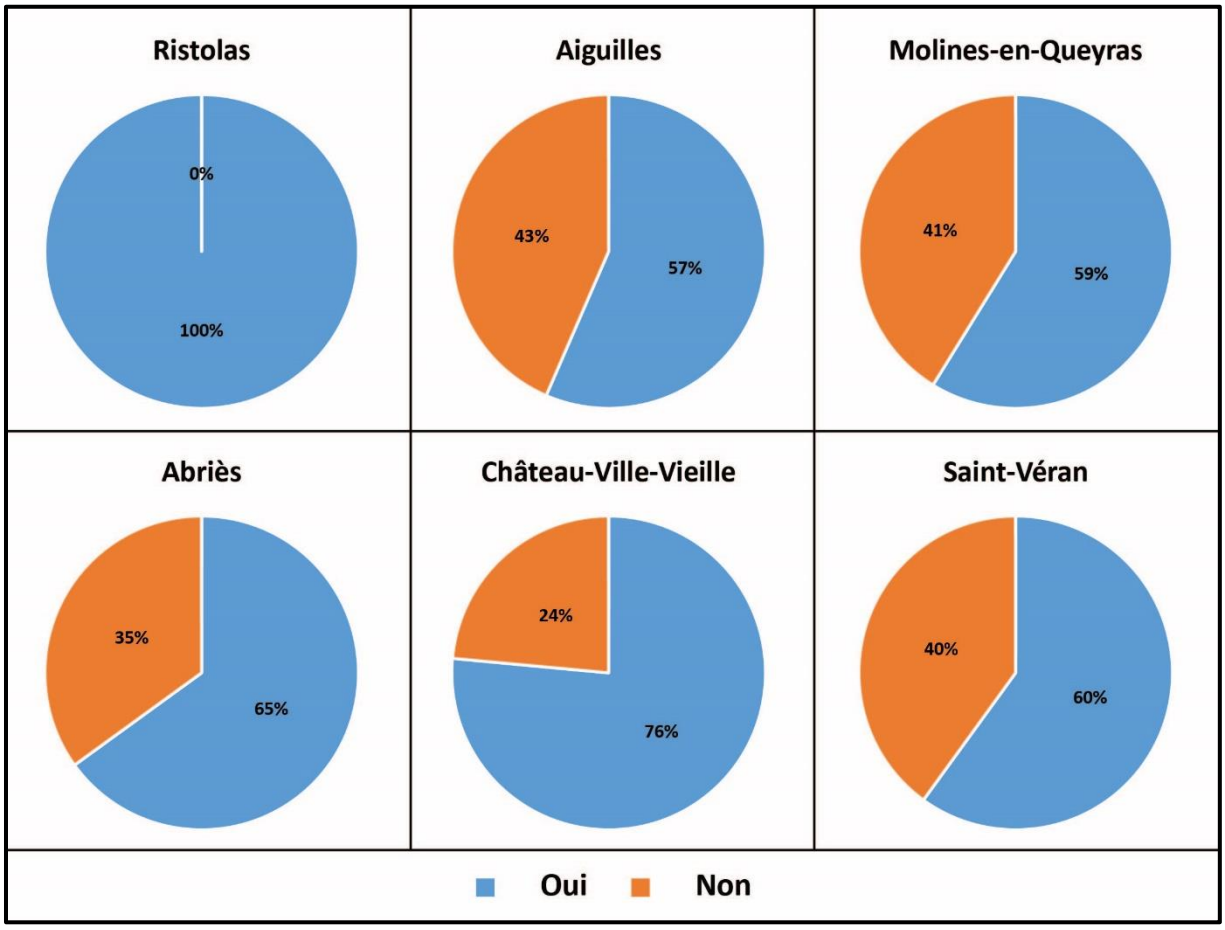


Figure 7. 34. : Seriez-vous prêt à chercher des informations sur les risques naturels ? Détail selon la commune de résidence des enquêtés.

Les Queyrassins souhaitant bénéficier de plus d'informations sur les risques ont été amenés à exprimer leurs préférences envers divers vecteurs de communication (Fig. 7. 35. et 7. 36.). Plusieurs moyens leurs étaient initialement proposés, mais ils étaient néanmoins libres d'en proposer d'autres auxquels nous n'aurions pas pensé (ex : démonstration sur le terrain, Fig. 7. 35.).

Les vecteurs de communication qui ont recueilli le plus de citations sont : les réunions publiques (20 citations), la mairie (16 citations), internet (13 citations) et les brochures (9 citations, Fig. 7. 35. et 7. 36.). Ces choix semblent témoigner tout à la fois d'une forte attente, et d'une bonne confiance envers les autorités locales (municipalités, communauté de commune). Non seulement la mairie a été citée à plusieurs reprises mais, de plus, elle est liée aux trois autres vecteurs qui ont recueilli le plus d'assentiment de la part des Queyrassins interrogés. Jusqu'à présent les réunions publiques et les brochures informatives ont, en effet, été à l'initiative de ces mêmes autorités. Par ailleurs, les sites internet des communes queyrassines ont tous un volet consacré aux risques naturels, soit à travers un historique des catastrophes s'étant déroulées sur le territoire communal, soit via la mise à disposition de documents techniques (PPR, POS et PLU). En revanche, on peut s'étonner du faible nombre de personnes ayant évoqué le PNRQ (1 citation, Fig. 7. 36.), alors même qu'il s'agit de l'un des organismes en charge de l'étude des aléas et de la gestion des risques à l'échelle du bassin-versant (Fig. 7. 36.).

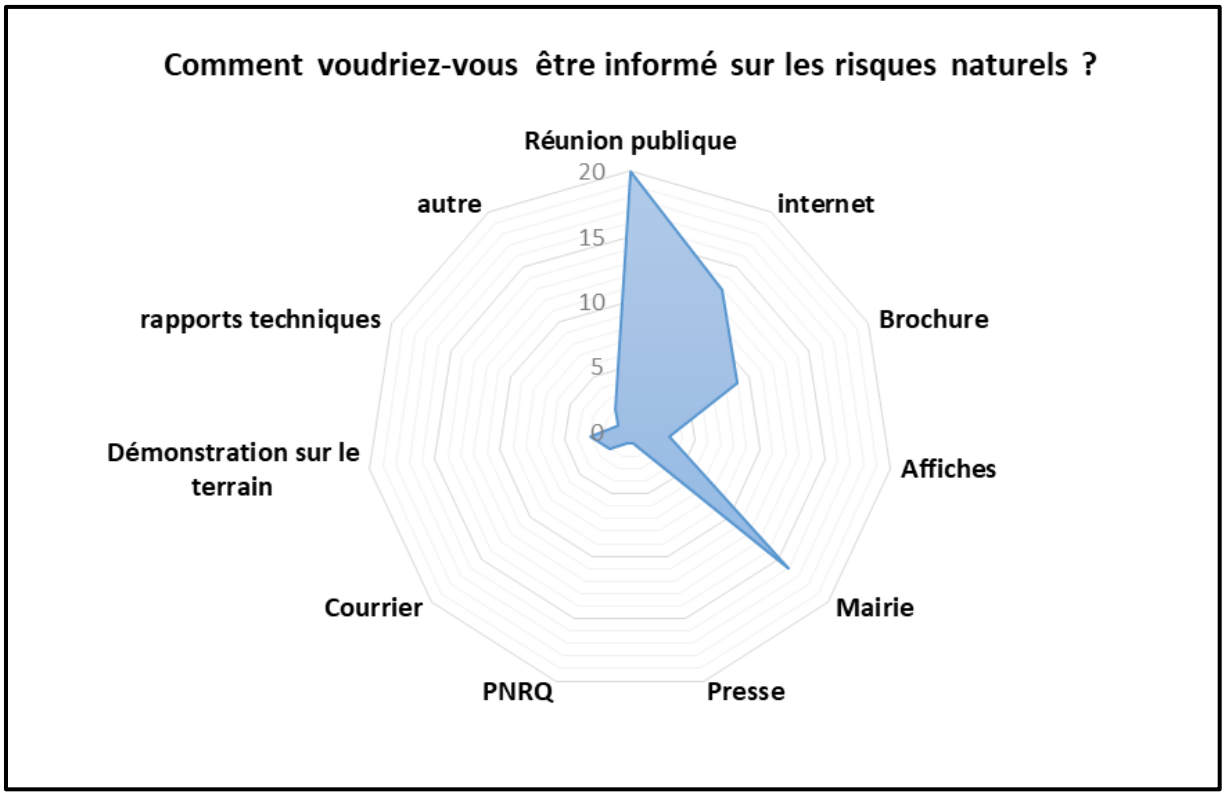


Figure 7. 35. : Comment voudriez-vous être informés sur les risques naturels ?

Vecteur d'information / commune	Ristolas	Abriès	Aiguilles	Château-Ville-Vieille	Molines-en-Queyras	Saint-Véran	Total
Affiche	0	0	**3**	1	0	0	**4**
Brochure	0	1	1	2	3	2	**9**
Courrier	0	0	0	0	1	1	**2**
Démonstration sur le terrain	1	0	0	0	0	1	**2**
Internet	**2**	0	**3**	3	3	3	**13**
Mairie	0	0	2	3	**5**	**4**	**14**
PNRQ	0	0	0	1	0	0	**1**
Presse	0	0	0	1	0	0	**1**
Rapport technique	0	1	1	0	0	0	**2**
Réunion publique	1	**9**	**3**	**6**	0	1	**20**
Autre	0	0	0	0	0	1	**1**
Total	**4**	**11**	**13**	**17**	**12**	**13**	**72**

Figure 7. 36. : Comment voudriez-vous être informés sur les risques naturels ? Détail selon la commune de résidence des enquêtés.

Les réponses données à la question de qui devrait informer les Queyrassins des risques naturels semblent corroborer l'hypothèse d'une bonne confiance envers les gestionnaires locaux (Fig. 7. 37. et 7. 38.). La plupart des Queyrassins enquêtés estiment en effet que c'est aux autorités municipales que revient la charge de les informer sur les risques (84 citations, Fig. 7. 37. et 7. 38.). Viennent ensuite la communauté de commune (46 citations), et dans une moindres mesure les autorités départementales et les scientifiques (34 citations chacune, Fig. 7. 37. et 7. 38.). Ces réponses traduisent une préférence marquée envers les autorités locales, au détriment des responsables et gestionnaires jugés plus lointains (région / Etat et ministères).

D'après les éléments de réponses donnés par les enquêtés, la majorité des enquêtés souhaite disposer de plus d'informations sur les risques. Pour autant, ce désir est loin d'être partagé par l'ensemble des Queyrassins. Selon la commune de résidence des enquêtés, une fraction plus ou moins importante de la population a fait part de son manque d'intérêt concernant les risques. Malgré tout, près des deux tiers des interrogés se sont dits prêts à chercher des informations sur les risques si le besoin s'en faisait ressentir. Interrogés sur les moyens par lesquels ils souhaitaient être informés des risques, les Queyrassins se sont majoritairement prononcés en faveur de réunions publiques ou d'autres actions menées par les autorités locales. À la question de savoir qui devrait les informer des risques, les Queyrassins ont d'ailleurs majoritairement désigné la mairie. Ces choix sont très certainement la marque d'une bonne confiance envers les autorités locales.

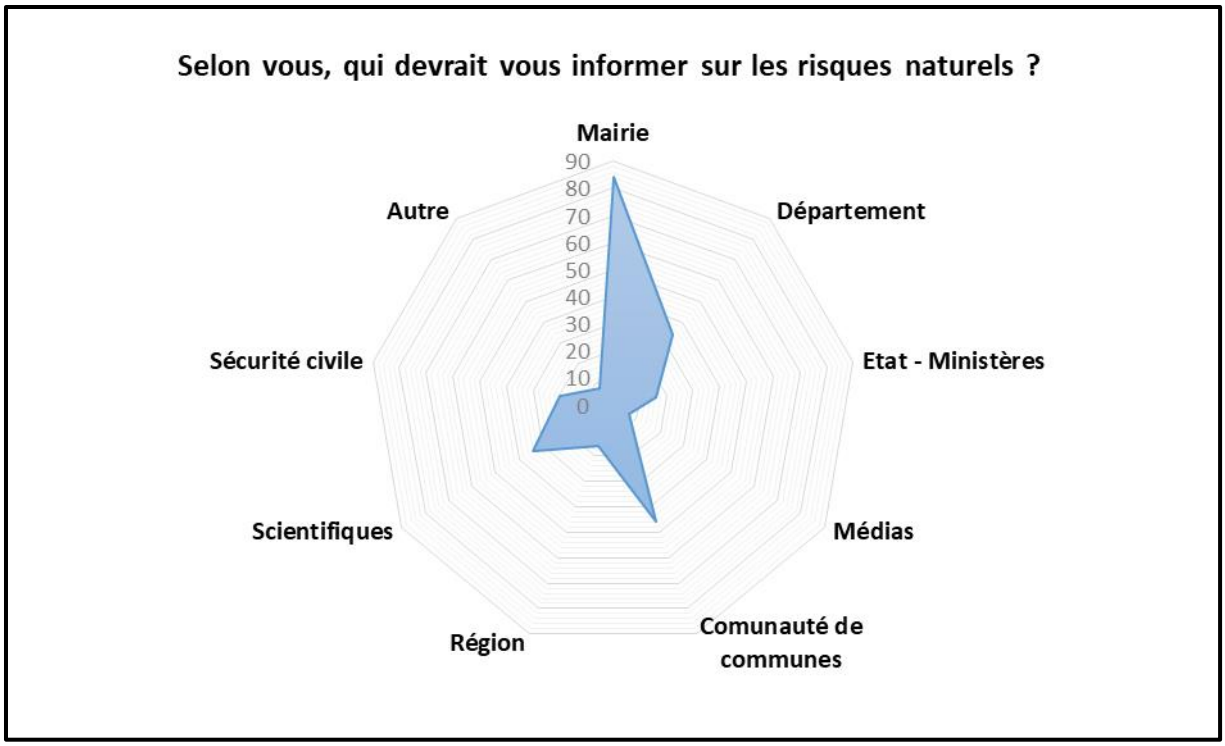


Figure 7. 37. : Selon vous, qui devrait vous informer sur les risques ?

Vecteur d'information / commune	Ristolas	Abriès	Aiguilles	Château-Ville-Vieille	Molines-en-Queyras	Saint-Véran	Total
Mairie	8	16	17	15	16	12	**84**
Département	5	6	7	5	4	7	**34**
Etat - Ministères	2	2	2	5	1	4	**16**
Médias	1	1	2	1	0	2	**7**
Communauté de communes	4	7	12	6	5	12	**46**
Région	3	3	1	3	1	5	**16**
Scientifiques	4	7	7	7	3	6	**34**
Sécurité civile	2	4	6	2	1	5	**20**
Autre	1	1	2	3	1	1	**9**
Total	**30**	**47**	**56**	**47**	**32**	**54**	**266**

Figure 7. 38. : Selon vous, qui devrait vous informer sur les risques ? Détail selon la commune de résidence des enquêtés.

2. 4. 4. Le cas particulier des réunions publiques

Les réunions publiques sont un moyen efficace et peu onéreux pour informer la population d'un phénomène et de ses éventuelles implications et/ou évolutions. À ce titre, elles sont couramment employées par les gestionnaires du risque. D'ailleurs, toutes les communes du Queyras y ont eu recours à un moment ou un autre. Emblématiques de l'action des gestionnaires locaux, elles constituent en outre, le vecteur d'information envers lequel les Queyrassins ont exprimé leur préférence. Dans cette sous-partie on s'intéresse spécifiquement à ce moyen de communication avec deux objectifs sous-jacents.Le premier est d'évaluer l'intérêt porté par les Queyrassins à la thématique des risques et d'évaluer la visibilité des actions menées par les autorités locales. Le second est d'identifier les thèmes qui intéressent le plus les habitants dans l'hypothèse où nous organiserions une telle réunion.

À l'échelle du Queyras, la majorité des interrogés (62 %, Fig. 7. 39.) est au courant qu'une réunion publique s'est déjà déroulée dans leur commune. Pour autant, ils sont peu nombreux à y avoir assisté puisqu'à peine plus d'un cinquième d'entre eux affirment y avoir participé (Fig. 7. 39.). Fait étonnant, quel que soit la commune considérée, il y a toujours au moins un tiers des enquêtés qui est convaincu qu'une telle réunion n'a jamais eu lieu (Fig. 7. 40.). C'est dans la haute vallée du Guil que les interrogés sont les plus nombreux à avoir participé à ces réunions ; et dans les vallées des Aigues qu'ils sont les moins nombreux (Fig. 7. 40.). C'est dans les villages de Molines-en-Queyras et de Saint-Véran que l'on observe les plus fortes proportions de personnes affirmant qu'il n'y a jamais eu de réunions publiques (Fig. 7. 40.).

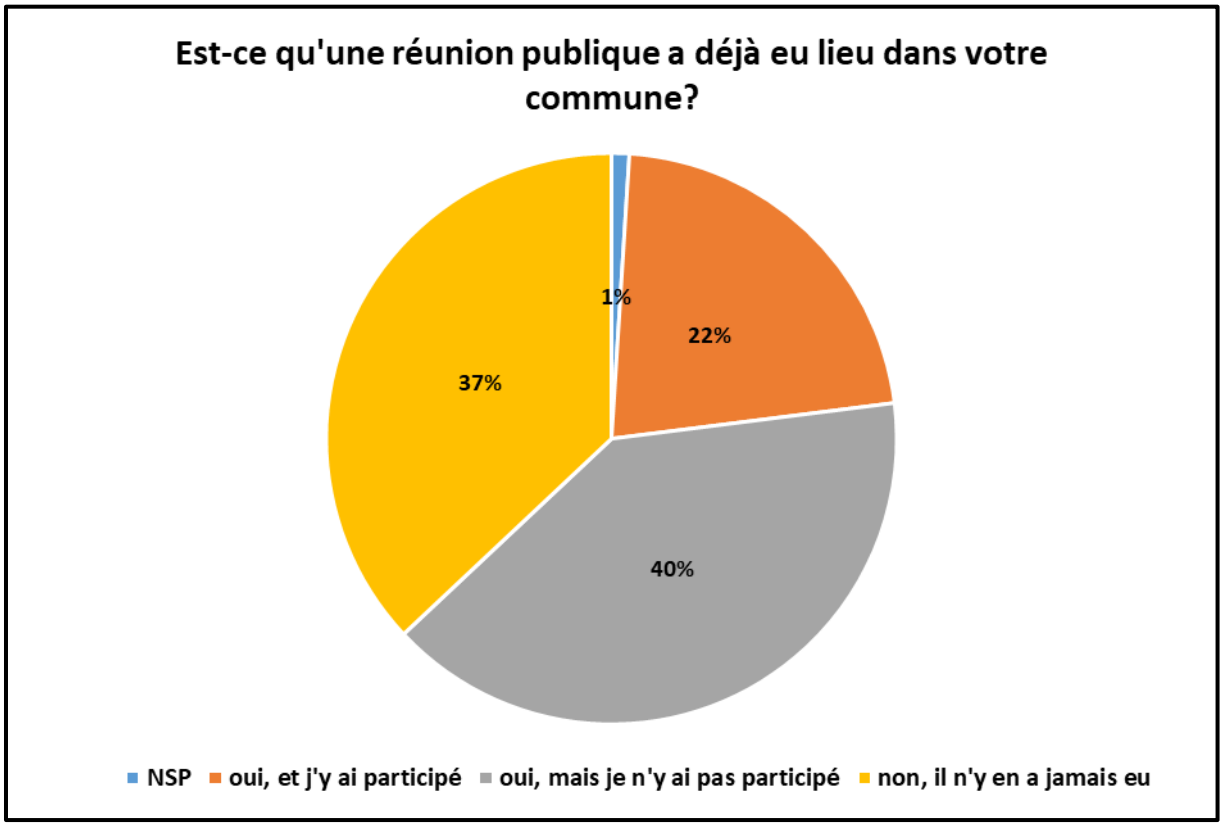


Figure 7. 39. : Est-ce qu'une réunion publique a déjà eu lieu dans votre commune ?

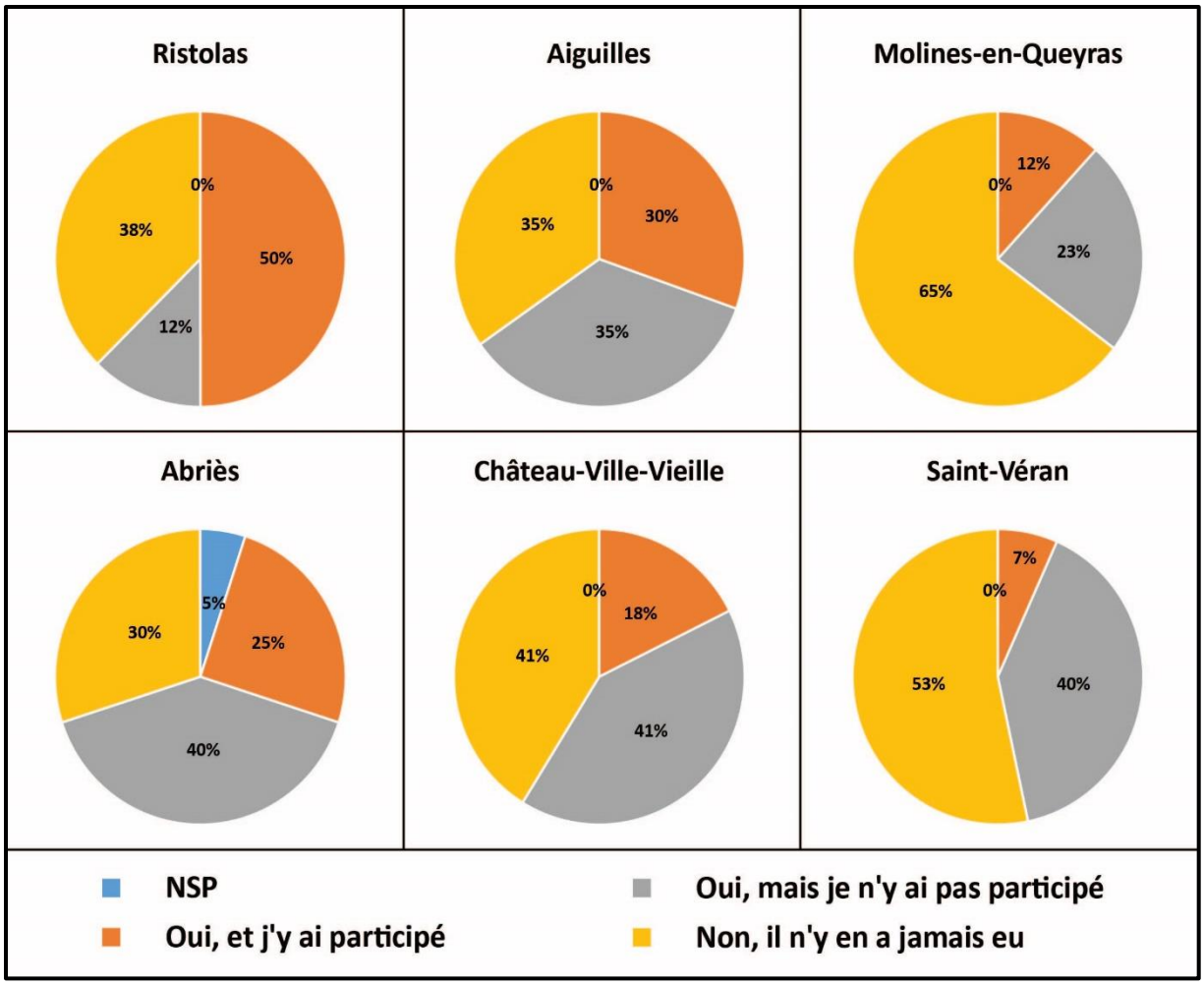


Figure 7. 40. : Est-ce qu'une réunion publique a déjà eu lieu dans votre commune ? Détail selon la commune de résidence des enquêtés.

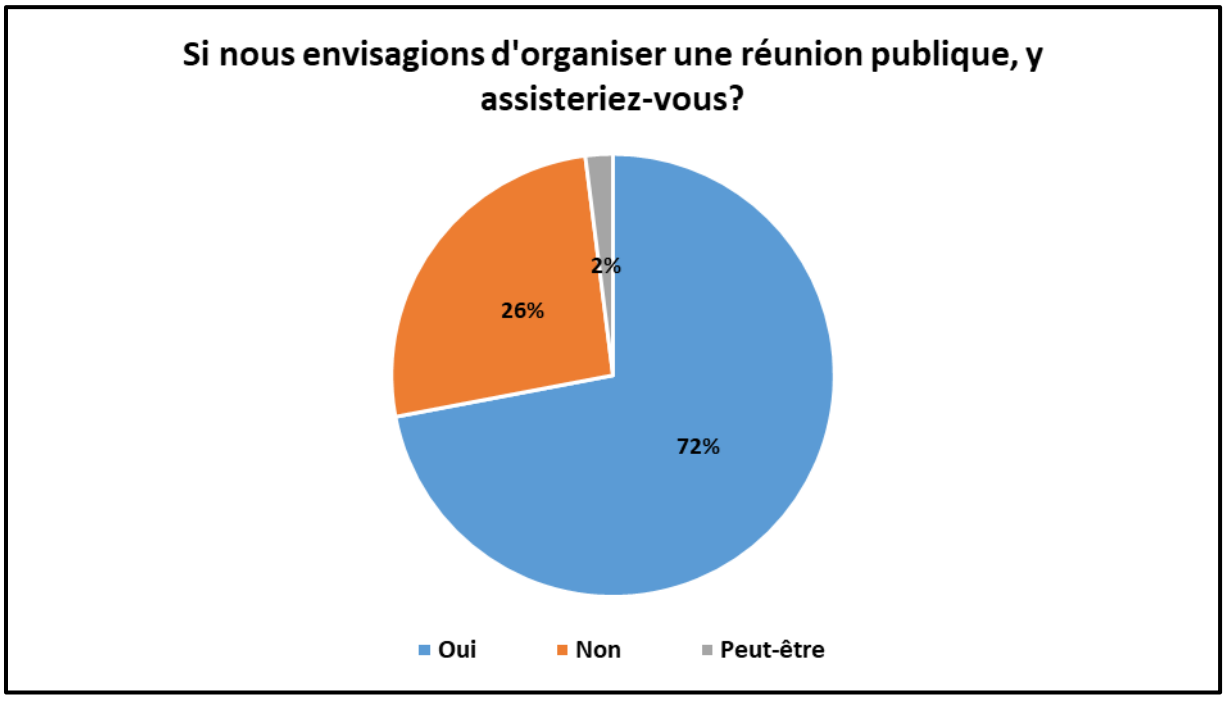


Figure 7. 41. : Si nous envisageons d'organiser une réunion publique, y assisterez-vous ?

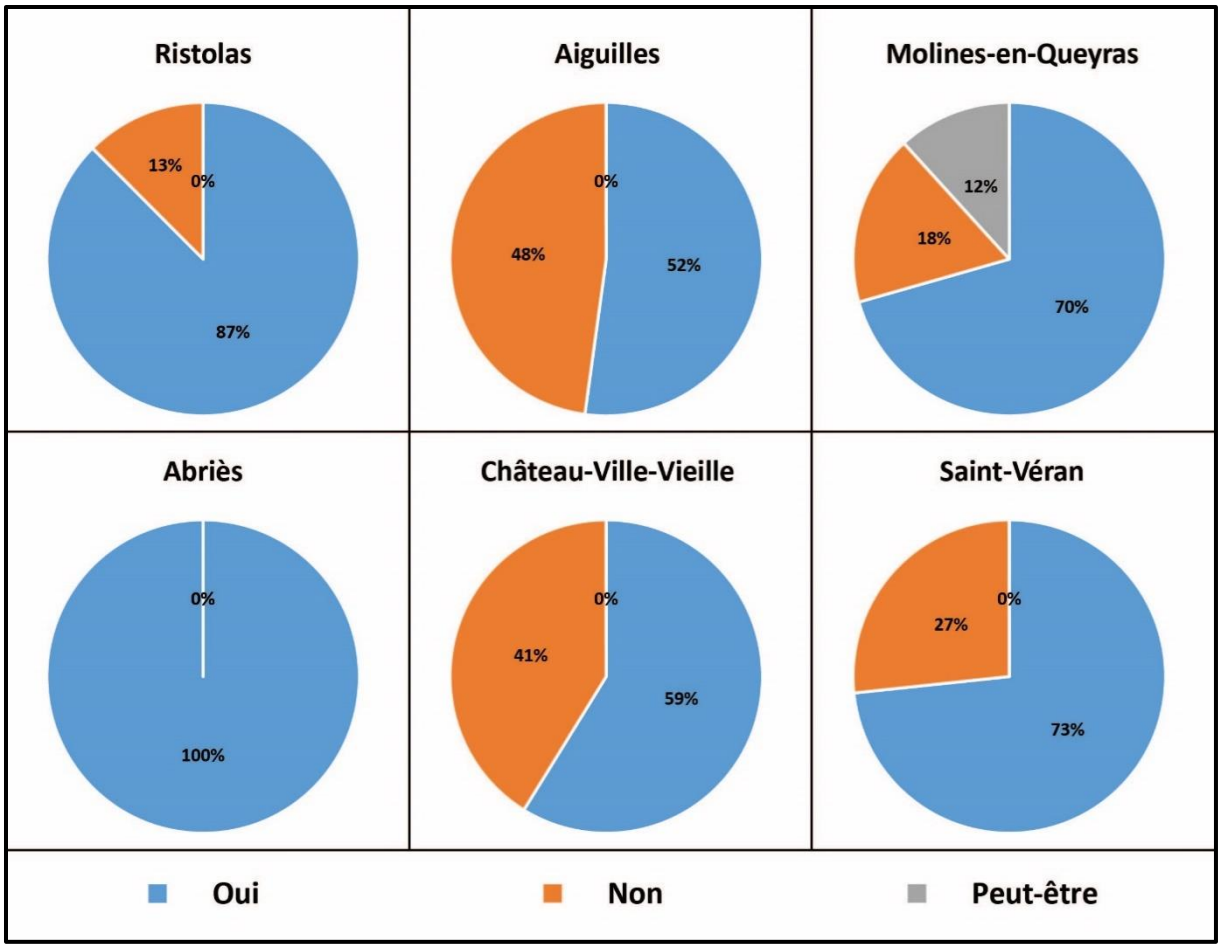


Figure 7. 42. : *Si nous envisageons d'organiser une réunion publique, y assisterez-vous ? Détail selon la commune de résidence des enquêtés.*

Dans le cas où nous en viendrions à organiser une réunion publique sur les risques naturels, la plupart des Queyrassins se sont dit prêts à y assister (Fig. 7. 41. et 7. 42.). Les résidents des communes de Ristolas et d'Abriès ont montré plus d'intérêt pour cette démarche que les habitants des quatre autres communes ; notamment ceux d'Aiguilles et de Château-Ville-Vieille (Fig. 7. 42.).

Les Queyrassins ont été questionnés sur les thèmes sur lesquels ils souhaitaient disposer de plus d'informations (Fig. 7. 43.). D'après les réponses données, ces derniers semblent montrer une préférence pour les informations concernant le temps même de la crise : plans d'évacuation, procédures d'urgence, contacts utiles en temps de crise et systèmes d'alerte (Fig. 7. 43.). Ils ont aussi montré un certain intérêt pour les zonages des différents aléas sur leur commune (Fig. 7. 43. et 7. 44.). Par contre, ils semblent moins désireux de connaître les mesures prises plus en amont, telle que la législation relative aux risques ou les mesures mises en place par les autorités pour réduire l'exposition aux risques (Fig. 7. 43. et 7. 44.).

Dans le détail, on observe quelques menues variations selon la commune de résidence des enquêtés (Fig. 7. 44.). À Ristolas, les personnes interrogées ont montré un peu plus d'intérêt pour le fonctionnement des phénomènes naturels (Fig. 7. 44.). À Aiguilles, ils ont plutôt insistés sur les conséquences probables des aléas et les mesures prises par les autorités pour y faire face (Fig. 7. 44.). À Molines-en-Queyras et Saint-Véran, l'accent a davantage été mis sur les moyens personnels de réduction de la vulnérabilité (Fig. 7. 44.). Une réunion publique future devra prendre en compte ces spécificités pour répondre aux mieux aux attentes des Queyrassins.

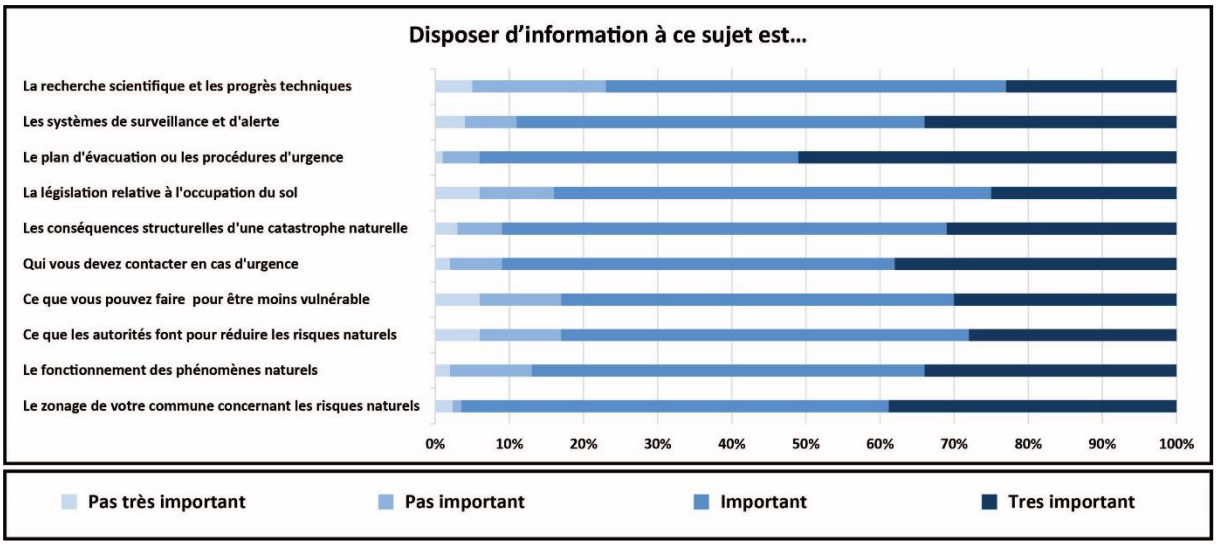


Figure 7. 43. : Ce que les Queyrassins veulent savoir des risques et de leur gestion.

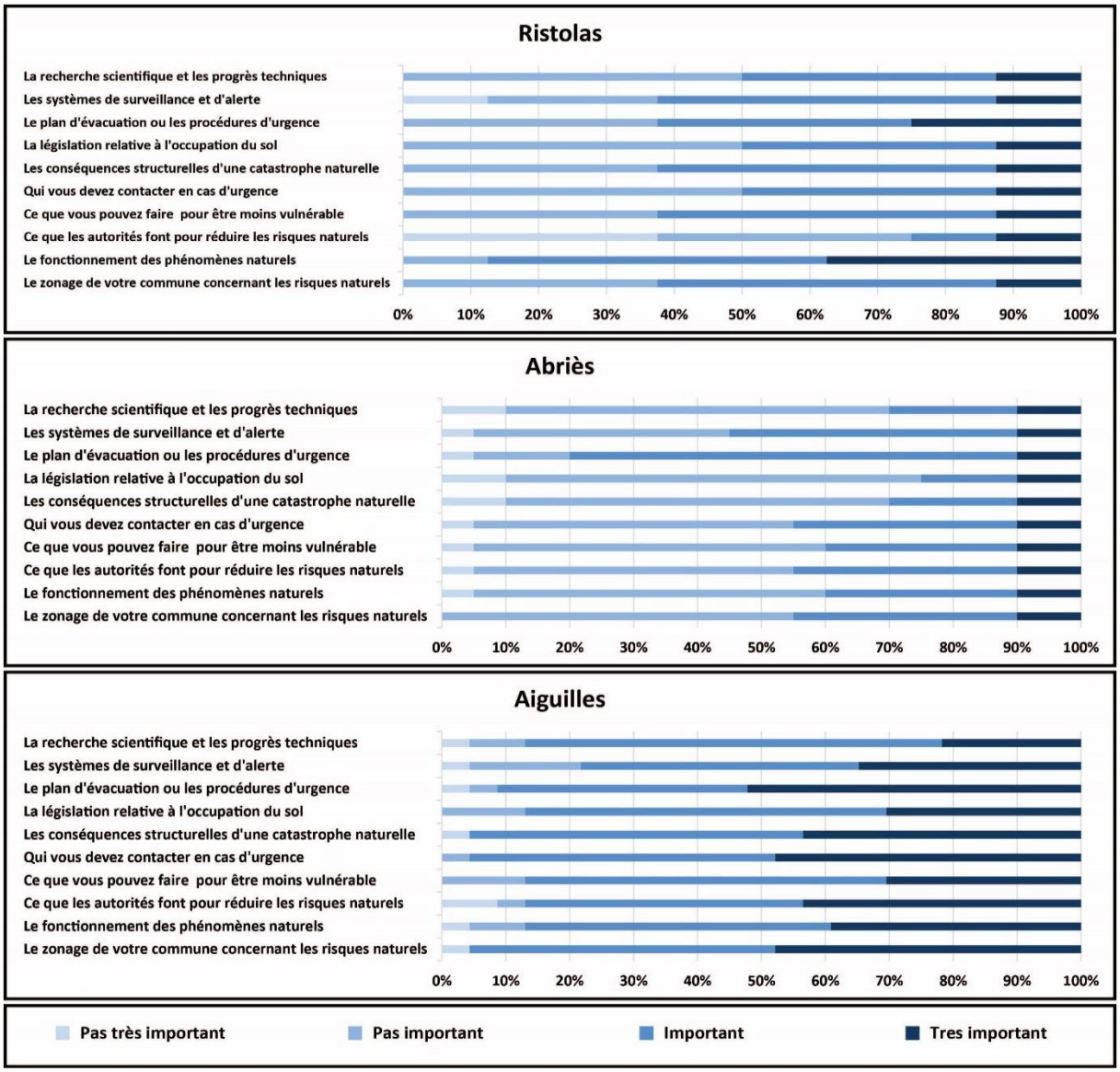


Figure 7. 44. : Ce que les Queyrassins veulent savoir des risques et de leur gestion. Détail selon la commune de résidence des enquêtés.

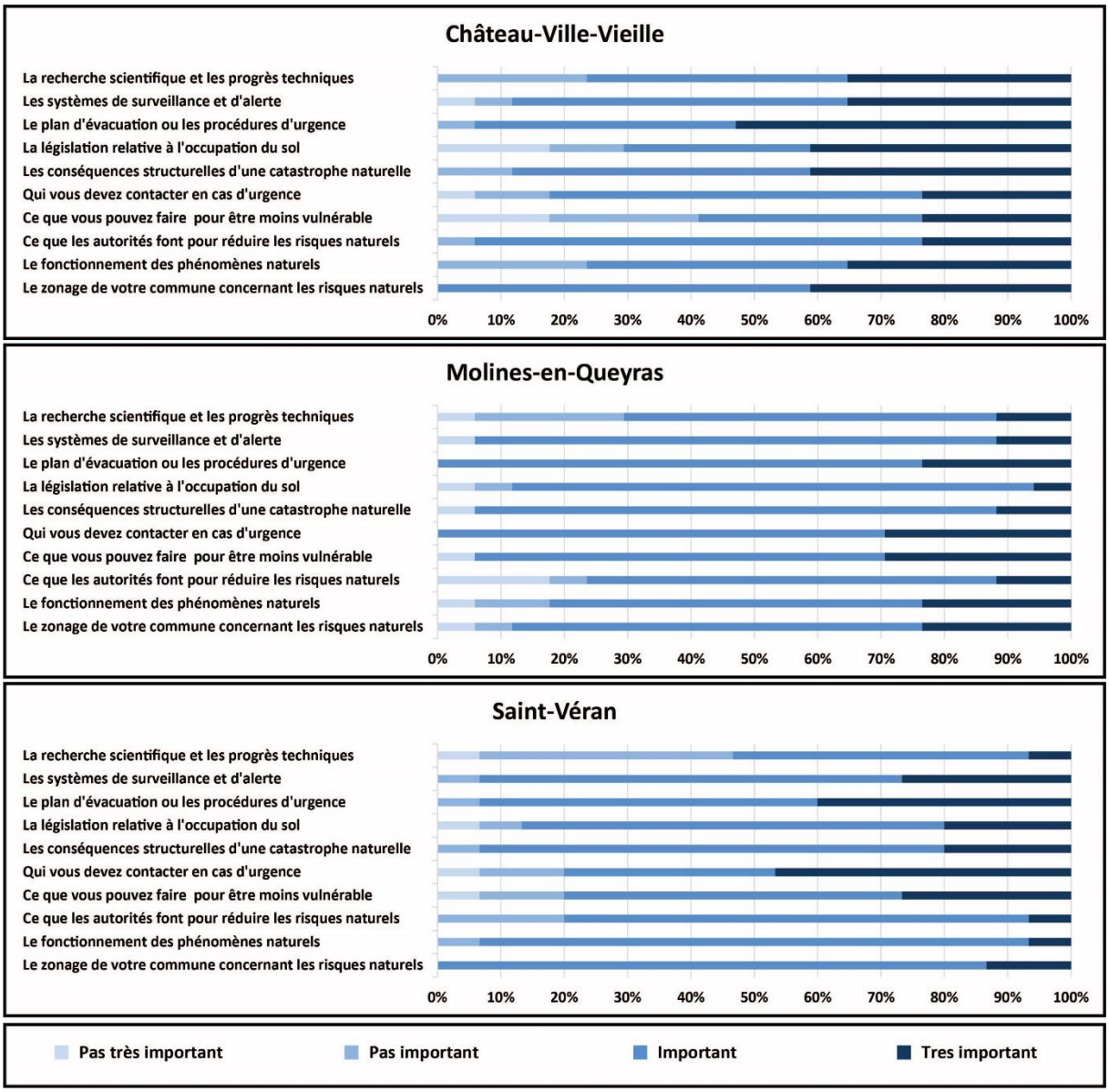


Figure 7. 44. (bis) : Ce que les Queyrassins veulent savoir des risques et de leur gestion. Détail selon la commune de résidence des enquêtés.

Bien que les réunions publiques constituent le moyen privilégié des Queyrassins pour être informés sur les risques, bien peu y ont participé jusqu'à présent. Il faut dire que près d'un tiers des Queyrassins n'étaient visiblement pas informés que de telles réunions avaient eu lieu. Est-ce lié à une mauvaise communication de la part de leurs instigateurs ?, à une fréquence trop peu importante de ces réunions ?, ou bien à un manque d'intérêt de la part des Queyrassins ? La question reste entière. Quoi qu'il en soit, dans l'hypothèse où nous organiserions une telle réunion, la majorité des habitants s'est dite prête à y participer. Au vu des réponses données, les Queyrassins semblent vouloir disposer de plus d'informations concernant les plans d'évacuation, les procédures d'urgence, ou les contacts utiles en temps de crise. Ils ont aussi montré un certain intérêt pour le fonctionnement des aléas et les zonages de ces derniers sur leur commune. Une réunion publique future devra donc prendre en compte ces *desiderata* afin de répondre aux mieux aux attentes des Queyrassins.

2. 5. Connaissance et confiance accordées aux divers acteurs des risques

Interroger le niveau de connaissance et la confiance accordée par la population aux différents acteurs du risque est primordial pour pouvoir mener une gestion efficace des risques à l'échelle d'un territoire. Ces deux éléments, connaissance et confiance, vont en partie conditionner les réactions individuelles et collectives des individus confrontés aux risques. Jusqu'à présent, divers indices suggèrent que les Queyrassins sont plus enclins à faire confiance aux acteurs locaux, qu'à ceux jugés plus lointain. On pose comme hypothèse que cette confiance est en lien avec le niveau de connaissance de ces acteurs sur les risques dans le Queyras. Pour éclaircir ce point, les Queyrassins ont été directement interrogés sur ces sujets. Une liste comportant divers acteurs de la gestion des risques leur a été soumise (Fig. 7. 45. et 7. 46.). Il leur a été demandé de se prononcer sur le niveau de connaissance de ces acteurs et sur la confiance qu'ils voulaient bien leur accorder (Fig. 7. 45. et 7. 46.).

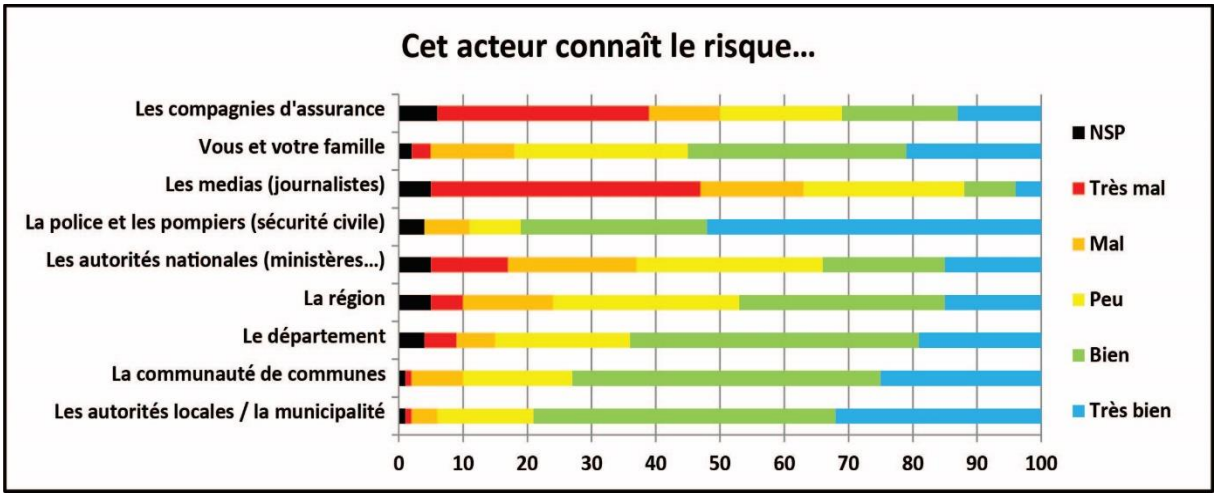


Figure 7. 45. : Niveau de connaissances octroyé par les Queyrassins aux divers acteurs du risque.

Le premier thème abordé est celui de la connaissance des différents acteurs de la gestion des risques (Fig. 7. 45.). Premier constat : les enquêtés font généralement peu de cas des connaissances des compagnies d'assurance et des différents médias (Fig. 7. 45.). Ils sont près de 90 % à estimer que les médias ont une mauvaise connaissance des risques dans le Queyras (Fig. 7. 45.). Pour les compagnies d'assurance, ce chiffre avoisine les 70 % (Fig. 7. 45.).

Deuxième constat : les enquêtés considèrent que la proximité de l'acteur est gage d'une bonne connaissance des risques (Fig. 7. 45.). On observe un gradient décroissant avec la distance dans le niveau de connaissance accordé aux différents acteurs étatiques (Fig. 7. 45.). Les Queyrassins considèrent ainsi que les acteurs locaux (sécurité civile, municipalité, communauté de communes) ont une meilleure connaissance des risques que les acteurs plus lointains (département, région, ministère ; Fig. 7. 45.). Alors qu'ils sont près de 80 % à considérer que les autorités locales ont une bonne connaissance des risques, ce chiffre passe à 64 % pour les autorités départementales, 47 % pour les autorités régionales et 34 % pour les ministères (Fig. 7. 45.) ! Notons également que les Moulinois et les Saint-Vérannais se sont montrés plus critiques que leurs voisins, et notamment envers les autorités municipales (Fig. 7. 46.). 76,5 % des enquêtés résidant à Molines et 94 % de ceux résidant à Saint-Véran considèrent que les autorités municipales ne connaissent pas bien les risques sur la commune (Fig. 7. 46.).

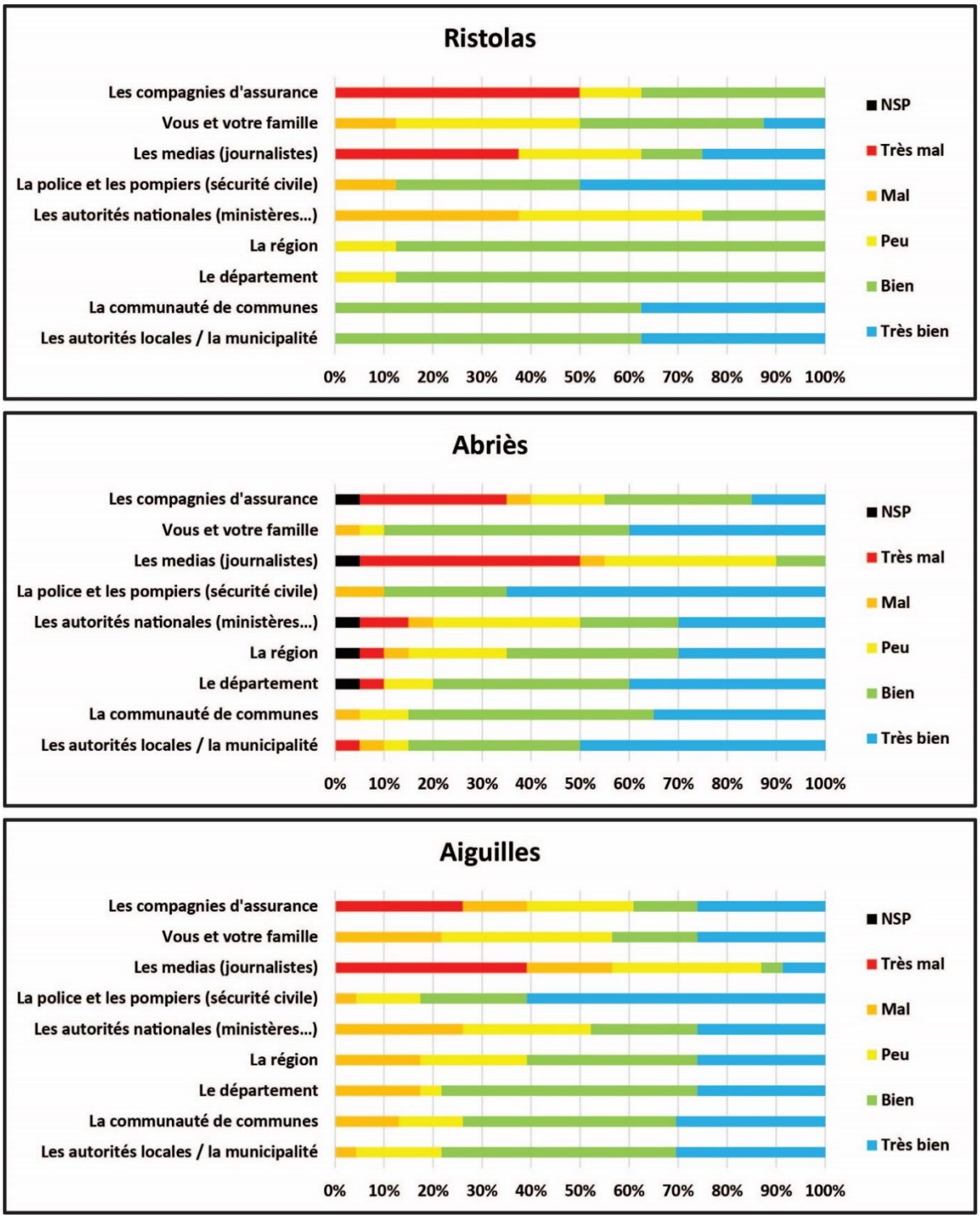


Figure 46 : Niveau de connaissances octroyé par les Queyrassins aux divers acteurs du risque : détail selon la commune de résidence des enquêtés.

Autre élément intéressant, plus de la moitié des enquêtés (55%, Fig. 7. 45.) estime avoir une bonne, voire une très bonne connaissance des risques dans le Queyras. Cette proportion, bien que cohérente avec la part des individus ayant répondu savoir comment réagir face à un épisode catastrophique (61 %, Fig. 7. 15.) est de près de 15 points inférieure à celle des individus se considérant suffisamment informés en matière de risque (71,4 %, Fig. 7. 23.). Cette différence peut s'expliquer de deux façons. Soit, une partie des enquêtés ayant répondu peu ou mal connaître les risques dans le

Queyras se juge néanmoins suffisamment informés à leur propos. Et dans ce cas, il s'agit bien d'un désintérêt pour la thématique des risques. Ou bien, une partie des individus ayant répondu être suffisamment informé sur les risques, a pris conscience, suites aux questions posées dans le questionnaire, qu'ils n'étaient pas aussi bien informés qu'ils le pensaient.

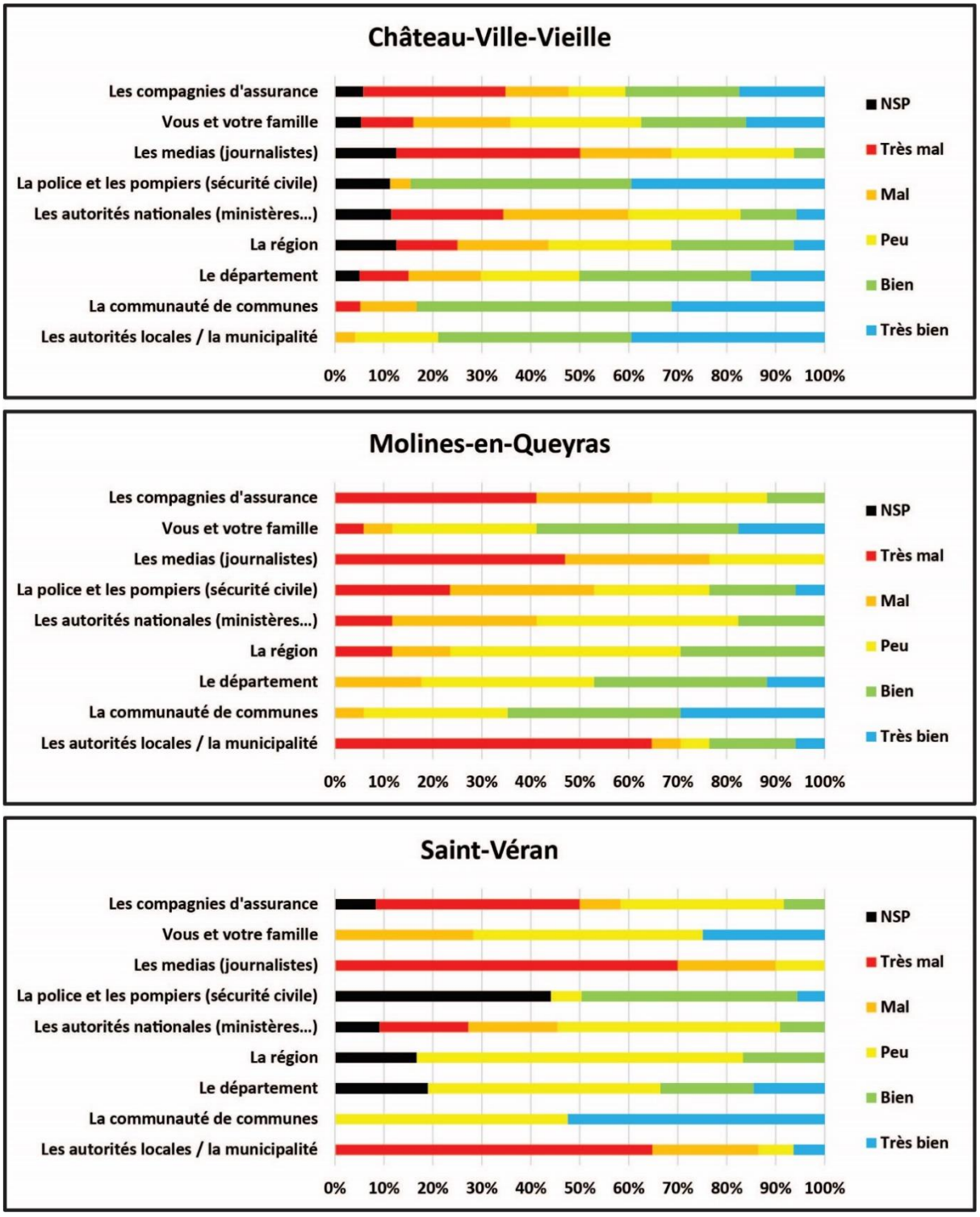


Figure 7. 46. (bis) : Niveau de connaissances octroyé par les Queyrassins aux divers acteurs du risque : détail selon la commune de résidence des enquêtés.

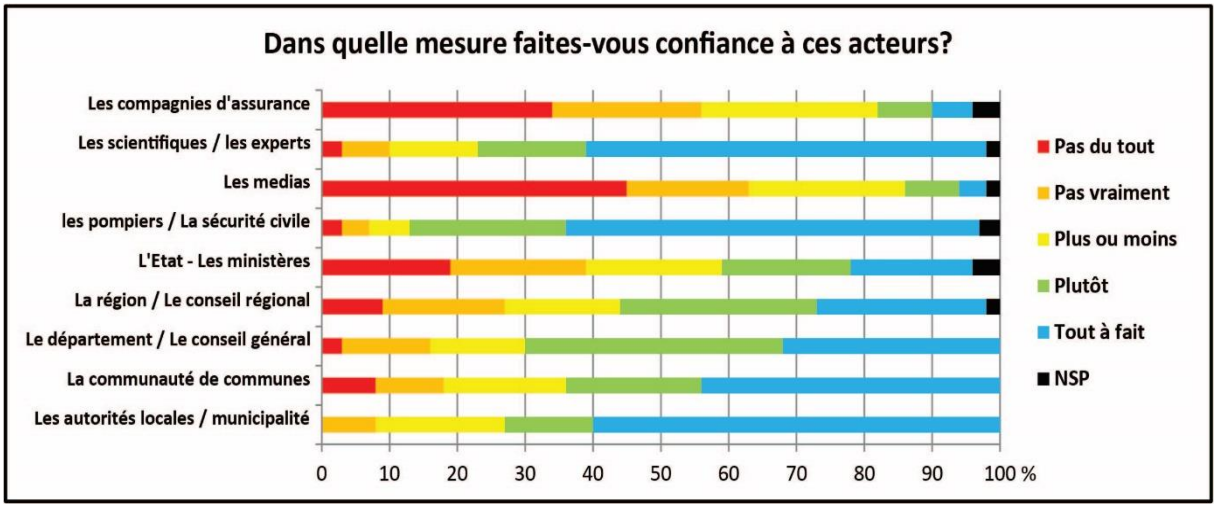


Figure 7. 47. : Degré de confiance accordé par les Queyrassins aux divers acteurs du risque.

Le second thème abordé est celui de la confiance envers les acteurs du risque (Fig. 7. 47.). Au vu des résultats obtenus, on observe une bonne adéquation entre le niveau de connaissance perçu (Fig. 7. 45.) et le degré de confiance octroyé aux différents acteurs mentionnés (Fig. 7. 47.). Comme pour la question portant sur les connaissances des acteurs, on observe un gradient de la confiance porté aux différents acteurs étatiques qui est décroissant avec la distance (Fig. 7. 47.). Les Queyrassins font pour ainsi dire davantage confiance aux acteurs locaux (sécurité civile, mairies, COMCOM) qu'aux acteurs étatiques des échelons supérieurs (département, région et ministères, Fig. 7. 47.).

Par ailleurs, les Queyrassins, qui étaient peu enclins à accorder une bonne connaissance des risques aux compagnies d'assurances et aux médias sont également peu nombreux à leur accorder leur confiance (Fig. 47). Cette opposition aux médias est particulièrement flagrante à Abriès. La raison invoquée en est le comportement peu empathique des journalistes lors de l'épisode avalancheux de décembre 2008 (notamment au Roux où ils ont refusé de mettre à disposition leurs ressources pour aider les personnes isolées dans le hameau). Les scientifiques, absents de la question précédente ont dans l'ensemble, la confiance des Queyrassins. Ce sont, après les pompiers et la sécurité civile, les acteurs qui ont le plus reçu d'assentiment de la part des habitants du Queyras (Fig. 7. 47.).

Si ces tendances concernent l'ensemble des communes du Queyras, on observe néanmoins quelques différences selon le lieu de vie des interrogés (Fig. 7. 48. et 7. 48. bis). Les résidents des communes de Château-Ville-Vieille et Molines-en-Queyras se sont ainsi montrés plus critiques que leurs voisins de la haute vallée du Guil (Fig. 7. 48. et 7. 48. bis). Ils sont davantage à avoir exprimé ne pas du tout faire confiance à certains acteurs (Etat, Région, COMCOM etc. ; Fig. 7. 48 et 7. 48. bis). C'est également dans ces communes que la confiance accordée aux autorités municipales est la plus faible (Fig. 7. 48. et 7. 48. bis). Contrairement à ce que l'on pouvait attendre, les habitants de Saint-Véran accordent une grande confiance à la municipalité, alors même qu'ils avaient considéré que celle-ci connaissait mal les risques présents sur la commune (Fig. 7. 48. et 7. 48. bis). À Abriès, les habitants ont également largement plébiscité les autorités municipales, signe que ces dernières sont perçues comme accomplissant bien leur rôle en matière de gestion des risques (Fig. 7. 48.).

Connaissance et confiance sont deux sentiments, certes différents, mais qui entretiennent d'évidentes synergies. Mise à part dans la commune de Saint-Véran, on observe une bonne adéquation entre la perception de la connaissance qu'ont les acteurs du risque et la confiance qui leur est accordée par les enquêtés. De cette étude il ressort avant tout que les Queyrassins font d'avantage confiance aux

acteurs et gestionnaires locaux des risques qu'à ceux qui sont considérés comme plus lointains. Pour partie, cette confiance est liée à une connaissance des risques perçue comme meilleure.

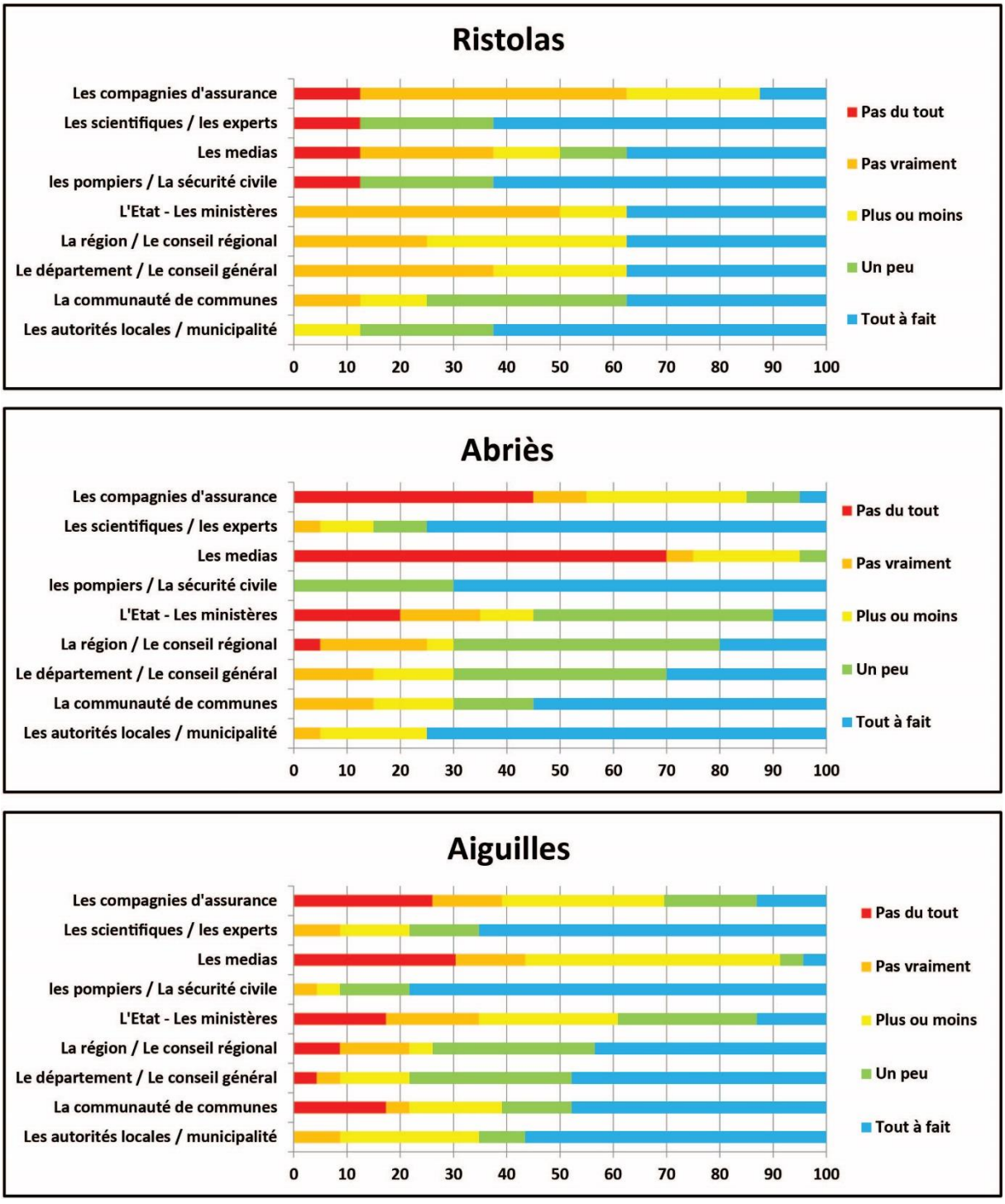


Figure 7. 48. : Degré de confiance accordé par les Queyrassins aux divers acteurs du risque : détail selon la commune de résidence des enquêtés.

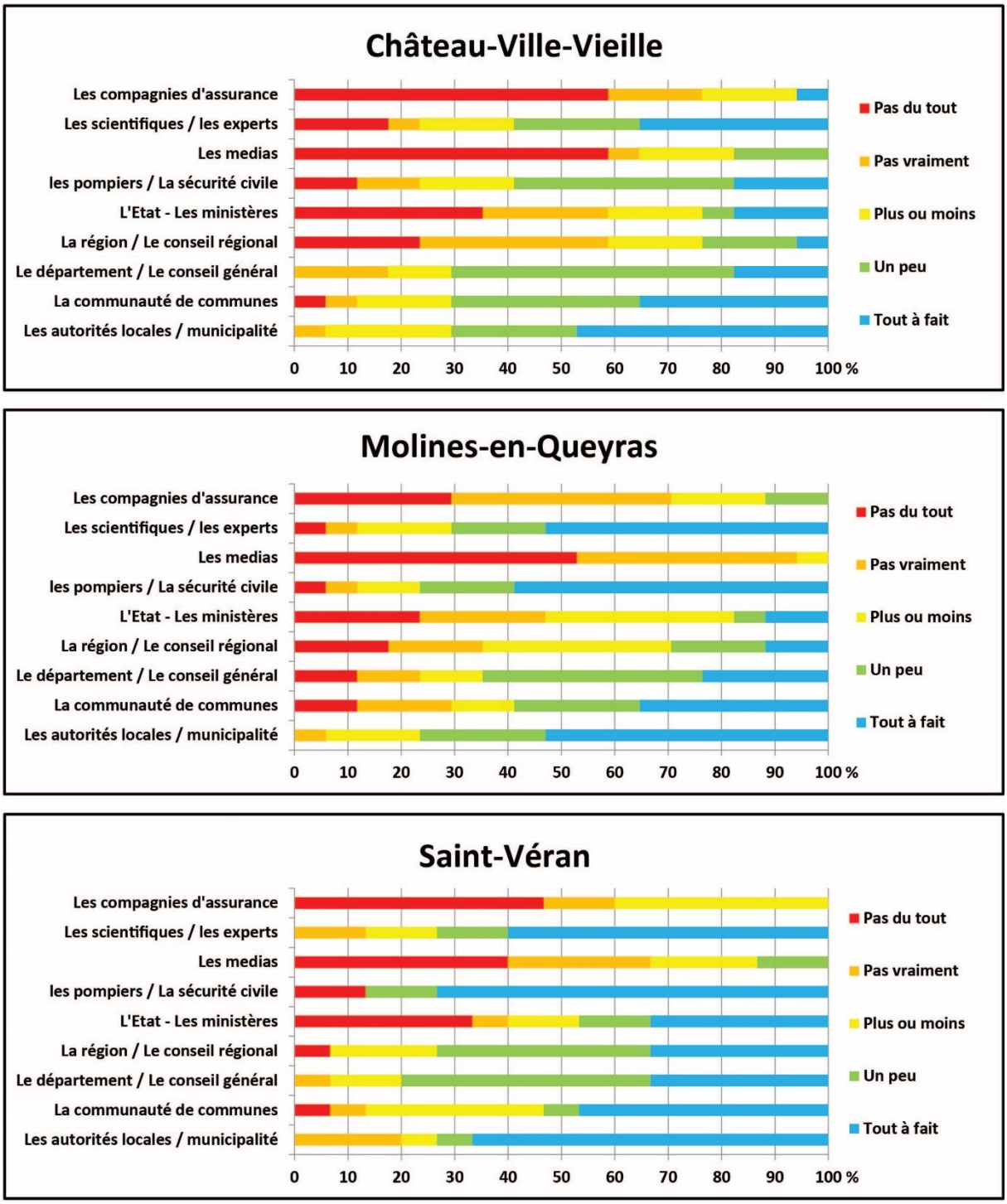


Figure 7. 48. (bis) : Degré de confiance accordé par les Queyrassins aux divers acteurs du risque : détail selon la commune de résidence des enquêtés.

3. Apport des cartes mentales

Cette sous-partie s'appuie sur l'analyse de cartes mentales réalisées par les enquêtés pour dresser une ébauche de la représentation sociale des principaux risques évoqués dans le questionnaire. L'objectif est ici de compléter les questionnaires en analysant la vision personnelle qu'ont les enquêtés de la vulnérabilité du territoire qu'ils pratiquent.

3. 1. Méthode et données

Sur le plan méthodologique, la carte mentale est une technique graphique qui reflète une réalité subjective de l'espace (Paulet, 2002 ; Gueben-Venière, 2011 ; Lamarre *et al*., 2011 ; Chevillot *et al*., 2016). Cet outil vise donc à recueillir les représentations spatiales que les individus se font de leur environnement (Gueben-Venière, 2011). Ces représentations sont fonction des perceptions individuelles (faisant référence au vécu, à l'expérience, à l'éducation, à la culture de l'individu) mais aussi des perceptions collectives partagées par un groupe social (Paulet, 2002). C'est un outil d'analyse relativement récent en perception des risques (Morange et Schmoll, 2016). Bien qu'il ne fasse pas l'unanimité en raison d'une trop grande subjectivité dans l'interprétation des tracés proposés, cette démarche offre des aspects de la perception que des réponses à un questionnaire ou à un entretien ne fournissent pas (Perron, 1994 ; Lamarre *et al*., 2011 ; Morange et Schmoll, 2016).

Il existe deux façons de recueillir des représentations spatiales par le biais des cartes mentales. La première consiste à demander aux enquêtés de dessiner une portion d'espace sur une feuille blanche (Heitz *et al*., 2018). La seconde fait appel à l'usage d'un fond de carte comportant un minimum d'informations (par exemple : le bâti, les réseaux, toponymes, etc. ; Gueben-Venière, 2011 ; Lamarre *et al*., 2011 ; Chevillot *et al*., 2016). C'est cette deuxième option qui a été retenue ici car elle présente deux avantages majeurs : 1) elle permet de réduire les réticences liées à la difficulté du dessin sur feuille blanche et, 2) elle rend plus aisée la compilation des cartes obtenues ; et donc leur analyse (Staszak, 2003 ; Gueben-Venière, 2011 ; Lamarre *et al*., 2011 ; Chevillot *et al*., 2016).

Pour chaque commune étudiée, des fonds de cartes adaptés ont été proposés aux enquêtés. Compte tenu de la superficie du terrain d'étude, et de la volonté qui était la nôtre d'obtenir des résultats à échelle fine, le choix a été fait de proposer des fonds de cartes centrés sur les principaux enjeux du bassin-versant ; à savoir, les villages et hameaux du Queyras. À postériori, ce choix n'était pas forcément des plus pertinents car il laisse de côté une part non négligeable des espaces exposés aux risques. Plusieurs éléments figuraient sur les fonds de carte proposés : le bâti, les axes de transport et les principaux cours d'eau (Guil, Aigue Agnelle et Aigue Blanche ; Fig. 7. 49.). Après avoir indiqué l'emplacement de leur logement, les enquêtés étaient invités à représenter les emprises des aléas qu'ils jugeaient dangereux pour leur commune. Aucune consigne n'a été donnée concernant les aléas à représenter.

Sur les 100 questionnaires réalisés, 81 cartes mentales ont effectivement été récoltées. Sur les 19 personnes qui ont refusés de se prêter à l'exercice, 7 l'ont fait en raison de leur métier, en rapport avec les institutions en charge de la gestion des risques (mairie ou PNRQ) et 3 en raison de leur arrivée toute récente dans le Queyras. Parmi les cartes récoltées, 73 ont été conservées (Fig. 7. 50.) et 8 ont étés exclues car elles étaient inexploitables (figurés incompréhensibles ou aléas non mentionnées). Notons que la répartition des enquêtés sur le territoire a eu une incidence certaine en termes de surreprésentation de certains secteurs par rapport à d'autres et qu'il y a donc un biais de ce point de vue (notamment sur la commune de Ristolas).

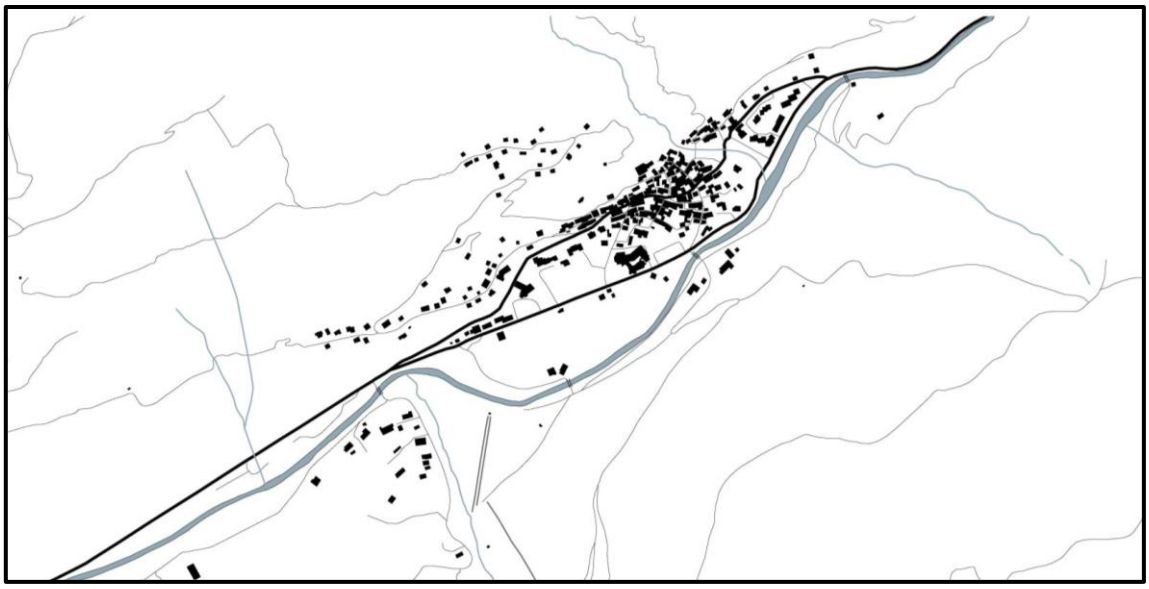


Figure 7. 49.: Exemple de fond de carte fourni aux Aiguillons enquêtés.

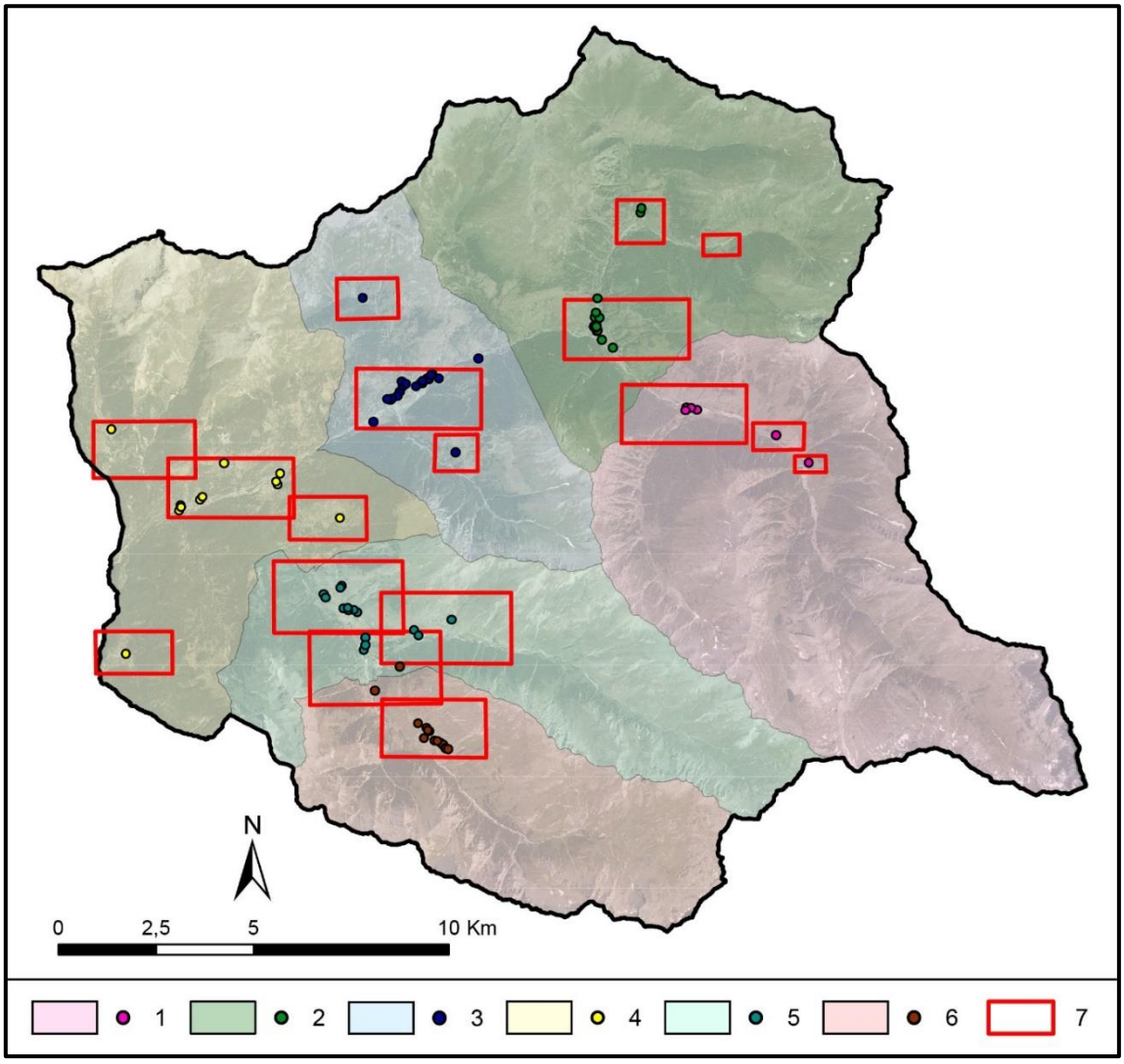


Figure 7. 50. : Emprises des fonds de cartes soumis aux Queyrassins et localisation du domicile des enquêtées : 1 – commune de Ristolas, 2 – commune d'Abriès, 3 – commune d'Aiguilles, 4 – commune de Château-Ville-Vieille, 5 – commune de Molines-en-Queyras, 6 – commune de Saint-Véran, 7 – emprises des fonds de carte.

Pour créer des cartes mentales synthétiques des différents aléas par commune, il a fallu compiler les cartes mentales produites à l'aide d'un logiciel de SIG (ArcGIS®, 10.3). Pour ce faire, toutes les cartes conservée ont été scannées puis géoréférencées. Une fois cette tâche accomplie, les éléments graphiques représentés sur les cartes ont étés digitalisés puis homogénéisés afin de s'adapter au format voulu (une couche vectrice par aléa et par commune). Chaque entité représentée s'est ensuite vue attribuer un poids de 1 dans la table attributaire du logiciel (où 1 est égal à une « citation »). Une fois les couches codées, elles ont été converties en format raster puis additionnées à l'aide de l'outil « calculatrice raster » d'ArcGIS® afin d'obtenir des cartes de récurrence des zones d'exposition au risque (Fig. 7. 51. à 7. 65.).

3. 2. Description et analyse des cartes mentales

L'intérêt premier des cartes mentales est d'évaluer le décalage entre les risques réels et leur perception chez les populations résidentes. Dans la mesure où les fonds de carte ont été distribués aux enquêtés en fonction de leur commune de résidence, nous avons choisi d'adopter la commune comme échelle d'analyse pour les cartes mentales produites.

3. 2. 1. Commune de Ristolas

Parmi les 8 enquêtés résidant à Ristolas, 6 ont bien voulu se prêter au jeu des cartes mentales (Fig. 7. 51., 7. 52. et 7. 53.). Compte tenu du faible nombre de cartes mentales récoltées pour ce secteur, il serait malvenu d'essayer de dégager des lois générales sur la perception qu'ont les Ristoulins des zones exposés aux risques. Aussi, nous nous bornerons ici à énoncer des faits et à poser des hypothèses.

Trois aléas ont été représentés : les glissements de terrain (Fig. 7. 51.), les crues torrentielles (Fig. 7. 52.) et les avalanches (Fig. 7. 53.). L'aléa « glissement de terrain » n'a été cité qu'à une seule occasion et sur une zone relativement restreinte (Fig. 7. 51.). L'emprise dessinée figure un épisode connu : le glissement du Ségure qui a fonctionné en 2002 et s'est réactivé en 2009. Sa localisation est assez précise et est, de plus, incluse dans une zone de forte susceptibilité aux glissements de terrain (Fig. 5. 29.). Le fait que cet aléa n'ait été cité qu'une seule fois semble indiquer qu'il n'est pas perçu comme une réelle source de danger à l'échelle de la commune. Or c'est bel et bien une source de danger car s'il venait à barrer le cours du torrent de Ségure, il pourrait entrainer une crue dévastatrice lors de la débâcle.

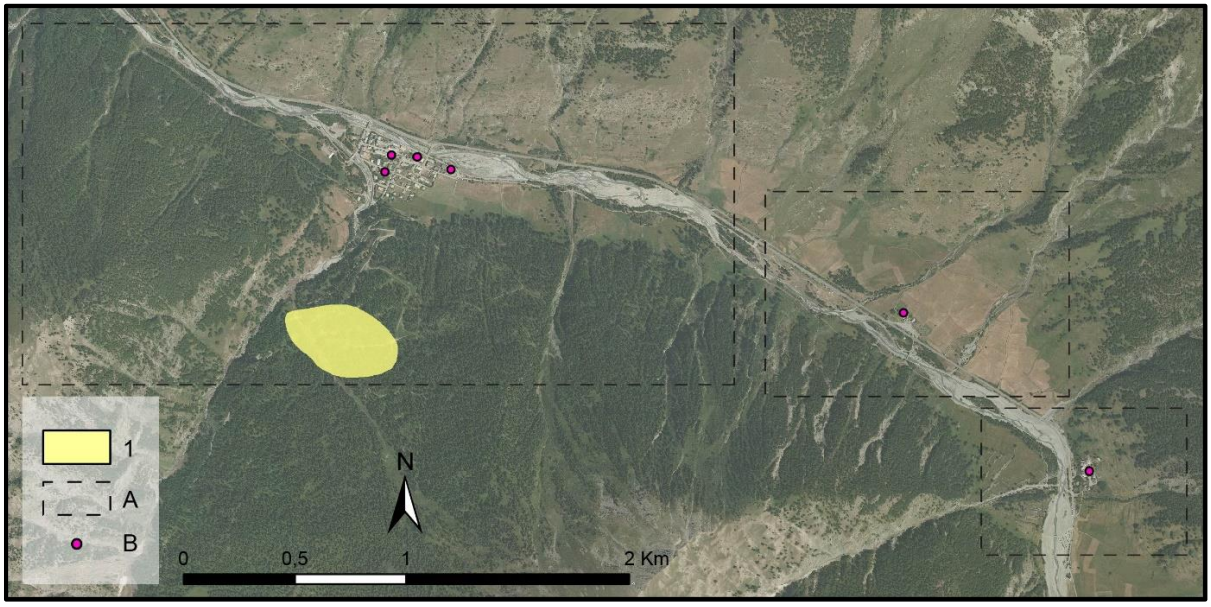


Figure 7. 51. : Représentation des emprises des glissements de terrain à Ristolas : 1 – glissements représentés et nombre de citation, A – emprise des fonds de cartes proposés, B – logements des répondants.

L'aléa « crue torrentielle » a été cité à quatre reprises, mais uniquement sur le fond de carte représentant le village de Ristolas (Fig. 7. 52.). Probablement est-ce là une expression du sentiment de sécurité des personnes enquêtées à La Monta et à l'Échalp, dont les logements sont perchés par rapport au Guil (Fig. 7. 52.). À noter qu'aucun des enquêtés n'a fait figurer son logement dans une zone de risque potentiel (Fig. 7. 52.). Les emprises dessinées concernent 3 cours d'eaux : le Guil (4 citations), le torrent des Vaches (3 citations) et le torrent de Ségure (1 citation). Si l'on se réfère aux emprises dessinées (Fig. 7. 52.), les deux secteurs qui sont perçus comme les plus exposés sont situés : 1) à la confluence du Guil et du torrent des Vaches et, 2) le long du chenal du Guil entre le torrent du Fontenil et la confluence avec le Ségure. Ces deux secteurs ne comportent pas d'enjeux de bâti mais ils intègrent en revanche une partie du linéaire de la D 947. Sans doute est-ce là une illustration du vécu des Ristoulins puisque cette route a effectivement été endommagée en 1957, 2000, 2008 et 2012 (Fig. 5. 2. et 5. 8.). Il n'y a qu'une seule personne qui ait dessiné une enveloppe de crue comprenant des enjeux de bâti en son sein (Fig. 7. 52.). Cette même personne est également la seule à avoir considéré le torrent de Ségure comme source de danger potentiel. On peut s'étonner que ce dernier n'ai pas été davantage représenté par les enquêtés, sachant qu'il a engendré un engravement complet du village en juin 1957 (Fig. 5. 2.). Il faut certainement y voir l'expression de ce que l'on nommera ici « l'effet digue » par lequel on entend : « sentiment de sécurité dû à la présence d'ouvrages de protection lourds » (digue, dérivation, etc.). Il est vrai que depuis juin 1957 l'ouvrage mis en place pour rectifier la confluence entre le Guil et le Ségure a parfaitement rempli son rôle ; néanmoins le risque est toujours bien présent.

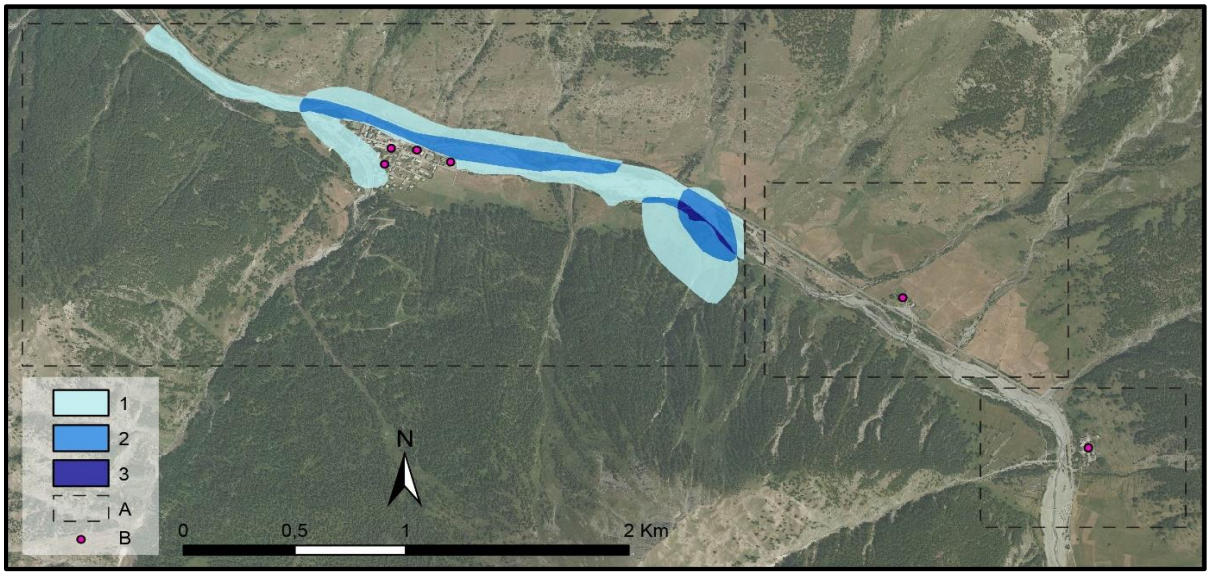


Figure 7. 52. : Représentation des glissements de terrain à Ristolas : 1 à 3 – emprises des crues torrentielles représentés et nombre de citation, A – emprise des fonds de cartes proposés, B – logements des répondants.

L'aléa « avalanche » a été graphiquement cité à 5 reprises par les enquêtés (Fig. 7. 53.). À ce titre, c'est l'aléa qui semble être considéré comme le plus dangereux par ces derniers ; ce qui va dans le sens des déclarations faites auparavant (Fig. 7. 5. et 7. 6.). La plupart des emprises dessinées correspondent bel et bien à des zones à risques (Fig. 5. 31.). Il convient cependant de noter que les deux emprises dessinées en aval du village de Ristolas, sur le versant de rive gauche du Guil, ne correspondent pas à des zones à risques identifiées dans la Cartographie de Localisation des Phénomènes Avalancheux (CLPA). Etrangement, on observe peu de croisements dans les emprises dessinées (Fig. 7. 53.). Les seuls secteurs ayant fait l'objet de deux citations sont situés à La Monta et sur le versant de rive gauche du Guil en amont de Ristolas (Fig. 7. 53.). La première correspond aux emprises de la double avalanche de 1885 qui a fait 6 morts et a détruit 3 maisons à La Monta (emprise n°8 de la CLPA, IRSTEA, 2016). Le gîte d'étape de La Monta, qui devrait figurer dans cette emprise, en est cependant exclu (Fig. 7. 53.).

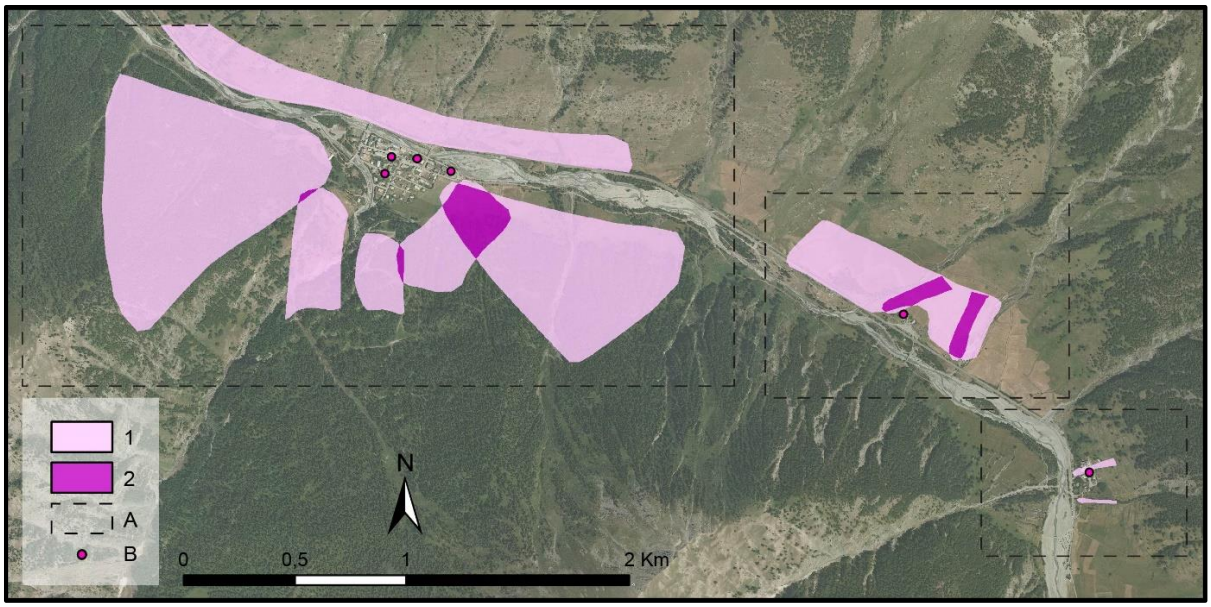


Figure 7. 53. : Représentation des avalanches à Ristolas : 1 à 2 – emprises d'avalanche représentés et nombre de citation, A – emprise des fonds de cartes proposés, B – logements des répondants.

La seconde zone figure l'avalanche de décembre 2008 qui s'est arrêté au pied du centre hôtelier du Fontenil, l'endommageant légèrement (emprise n°26 de la CLPA, IRSTEA, 2016). Là encore, l'emprise dessinée s'arrête légèrement avant le bâtiment (Fig. 7. 53.). L'emprise de l'avalanche meurtrière de l'Échalp (mars 1946) n'a été citée qu'à une seule reprise (Fig. 7. 53.). C'est la seule emprise représentée qui comprend en son sein des enjeux de bâti, et qui inclut le logement de l'un des répondants (qui n'est cependant pas celui qui l'a dessiné ; Fig. 7. 53.). En termes d'enjeux menacés, ne figure que le réseau routier, en particulier la D 947, incluse dans 2 emprises différentes (Fig. 7. 53.).

Les cartes mentales produites par les Ristoulins semblent indiquer une plutôt bonne connaissance des risques présents sur leur commune. En cela, elles sont conformes à ce qui a été mis en évidence à travers les réponses données au questionnaire. C'est sur les risques liés aux glissements de terrain que le bât blesse. Avec une seule citation (certes bien localisée), les Ristoulins ne semblent pas considérer cet aléa comme une réelle source de danger. Autre constat, il semblerait que les Ristoulins aient tendance à minimiser les conséquences potentielles des aléas sur les enjeux biophysiques de leur commune. C'est notamment le cas pour les crues torrentielles, puisqu'une seule personne a dessiné une enveloppe de crue contenant des enjeux de bâti. En revanche, les Ristoulins semblent bien au fait des impacts des aléas sur le réseau routier ; chose qui avait déjà été évoquée dans le questionnaire (Fig. 7. 12., 7. 13. et 7. 14.). Etant donné le faible nombre de cartes collectées sur la commune il serait néanmoins hasardeux de pousser plus loin cette analyse.

3. 2. 2. Commune d'Abriès

Sur les 20 personnes qui ont accepté de répondre au questionnaire, 17 ont réalisé des cartes mentales exploitables. Tous comme les Ristoulins, les Abriessois ont choisi de représenter 3 types d'aléas : les glissements de terrain (2 citations, Fig. 7. 54.), les crues torrentielles (14 citations, Fig. 7. 55.) et les avalanches (13 citations, Fig. 7. 56.). Le nombre de citations relatives à chacun de ces aléas est en tout point conforme aux déclarations effectuées dans la première partie du questionnaire (Fig. 7. 5).

L'aléa glissement de terrain n'a été cité qu'à deux reprises (Fig. 7. 54.), mais dans des espaces qui présentent bien une forte susceptibilité aux glissements de terrain (Fig. 5. 29.). Les individus ayant cité cet aléa ont visiblement conscience des impacts potentiels de ces derniers. L'une des deux emprises

dessinées englobe l'intégralité du quartier (récent) de l'Hoche (Fig. 7. 54.). La personne qui l'a représenté y a d'ailleurs inclus son propre logement, signe d'une certaine conscience des risques (Fig. 7. 54.). La seconde emprise, plus localisée, correspond à un secteur où l'enquêté a vu des indices témoignant d'un glissement de terrain (fissures dans le bâti et déformation du sol) ce qui va, là encore dans le sens d'une bonne connaissance des risques. Il convient néanmoins de nuancer ces propos puisque seuls deux individus ont choisi de représenter cet aléa.

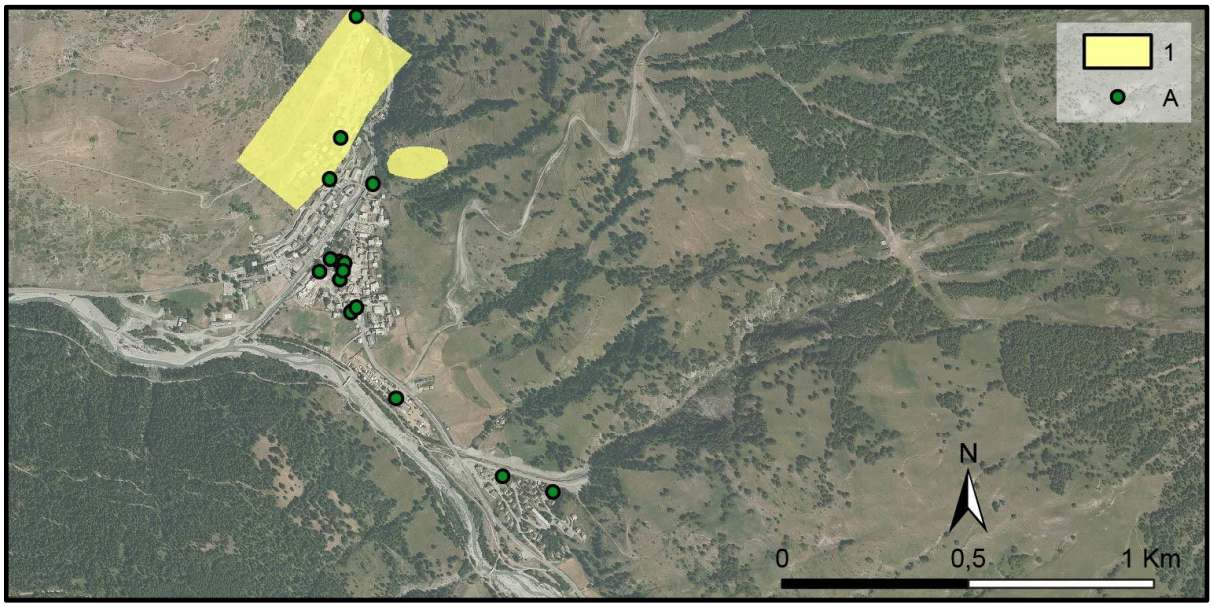


Figure 7. 54. : Représentation des emprises des glissements de terrain à Abriès : 1 – emprises de glissement représentées et nombre de citations, A – logements des répondants.

L'aléa « crue torrentielle » a été cité et représenté par la majeure partie des personnes enquêtées sur la commune d'Abriès (14 sur 17). Sur la carte mentale de synthèse, la superposition des évaluations des zones exposées au risque recouvre l'ensemble du linéaire des cours d'eau situés dans, ou à proximité, du village (le Guil, le torrent du Bouchet et le torrent de la Garcine ; Fig. 55).

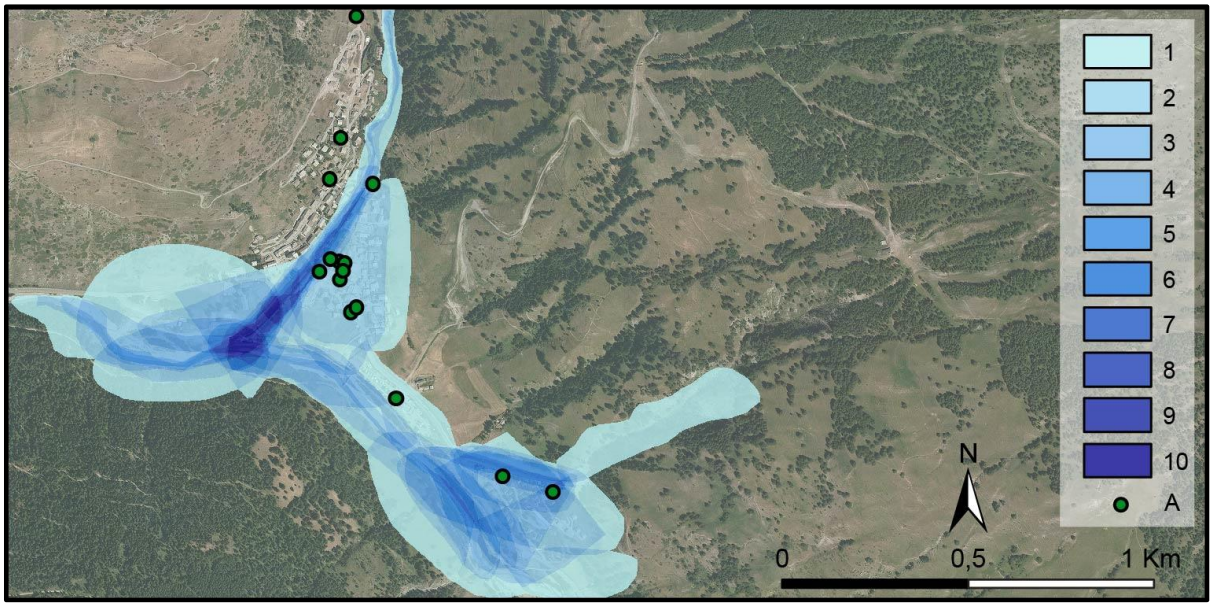


Figure 7. 55. : Représentation des emprises des crues torrentielles à Abriès : 1 à 10 – emprises de crue représentées et nombre de citations, A – logements des répondants.

Exception faite des espaces bâtis à flanc de versant, la totalité du village est comprise dans au moins une des emprises de crues dessinées (Fig. 7. 55.). Les secteurs qui ont été le plus cités sont situés 1) au niveau de la confluence entre le Guil et le torrent du Bouchet, 2) le long du tracé du Guil et du torrent de la Garcine, en amont de la confluence de ces deux cours d'eau (Fig. 7. 55.). Ces deux espaces ont été impactés lors des crues de juin 1957 et juin 2000 et font partie des espaces les plus susceptibles d'être impactés à nouveaux (Fig. 5. 3., 5. 9. et 5. 18.). Plusieurs autres secteurs ont fait l'objet de citations multiples : le cône de déjection torrentiel de la Garcine (où est situé le hameau éponyme), la zone de mobilité du Guil longeant le camping, la plaine située en aval de la confluence Guil-Bouchet et enfin le bourg ancien (cœur du village, Fig. 7. 55.). Bien que ce dernier ne figure pas au titre des espaces considérés comme étant soumis à un risque fort (Fig. 5. 3., 5. 9. et 5. 18.), il a néanmoins déjà été impacté par le passé, comme en témoigne les « Pierres écrites » d'Abriès (repères de crues évoquant au travers de maximes poétiques l'inondation catastrophique du Bouchet de 1722). La perception du risque par les habitants d'Abriès est donc en adéquation avec les risques scientifiquement avérés sur le village (Fig. 5. 3.). Pour autant, aucun des répondants n'a situé son logement dans une zone considérée comme exposée au risque.

L'aléa « avalanche » a lui aussi été représenté par la majorité des Abriessois (Fig. 7. 56.). La superposition des emprises dessinées met en exergue deux secteurs considérés comme particulièrement vulnérables : 1) la zone qui surplombe le hameau de La Garcine et, 2) celle qui domine le quartier de l'Hoche (Fig. 7. 56.). Ces lieux correspondent effectivement à des espaces où le risque avalancheux est scientifiquement avéré (Fig. 5. 35.). Ces espaces incorporent, au demeurant, les ouvrages de protection situés en amont des zones à risques : claies paravalanches pour La Garcine et filets paravalanches pour le quartier de l'Hoche. D'après la CLPA, ce sont d'ailleurs les seuls secteurs exposés du village. Les autres emprises représentées sur la carte ne sont donc pas des secteurs où le risque est attesté (Fig. 7. 56.). L'une de ces emprises est située en fond de vallée tandis que les trois autres coïncident avec des espaces boisés (Fig. 7. 56.). Dans un cas comme dans l'autre, les conditions nécessaires au déclenchement des avalanches ne sont pas remplies (pente > 30° et bassin d'accumulation). Une seule personne a fait figurer son logement dans une zone exposée aux avalanches. La personne en question a personnellement été impactée, son logement ayant été partiellement détruit par l'avalanche tombée en 2008 sur le lotissement de La Garcine (emprise n°26 de la CLPA, IRSTEA, 2016).

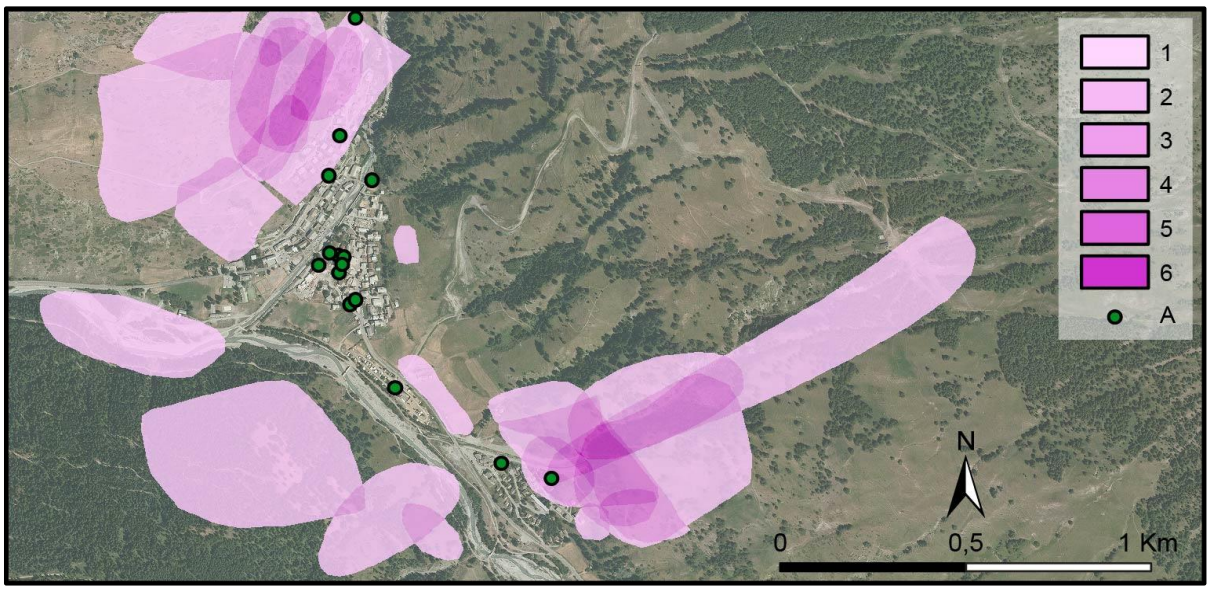


Figure 7. 56. : Représentation des emprises des avalanches à Abriès : 1 à 6 – emprises d'avalanches représentées et nombre de citations, A – logements des répondants.

Les cartes mentales produites par les Abriessois indiquent une bonne connaissance des aléas pouvant affecter le village. Elles confirment leur bonne appréhension des risques, déjà mise en évidence au travers des réponses délivrées *via* le questionnaire. À l'image de ce qui a été observé pour la commune de Ristolas, l'aléa glissements de terrain est de loin le plus méconnu des aléas pouvant affecter le village. Comme leurs voisins, les Abriessois ont tendance à minimiser les risques pouvant les affecter personnellement. C'est le cas pour les crues, mais également pour les avalanches.

3. 2. 3. Commune d'Aiguilles

Sur la commune d'Aiguilles, 19 des 23 personnes qui ont accepté de répondre au questionnaire ont également produit des cartes mentales. 4 types d'aléas ont été représentés : les chutes de pierre (3 citations ; non traités dans le cas présent), les glissements de terrain (6 citations, Fig. 7. 57.), les crues torrentielles (19 citations, Fig. 7. 58.) et les avalanches (11 citations, Fig. 7. 59.). Vraisemblablement, ce sont donc les crues puis les avalanches qui inquiètent le plus les Aiguillons. L'occurrence de ces citations corrobore donc les réponses données dans le questionnaire (Fig. 7. 6.).

L'aléa « glissement de terrain » a été davantage cité à Aiguilles que dans les autres communes du Queyras (Fig. 7. 57.). Ce fait constitue une nouveauté par rapport aux réponses données au questionnaire (Fig. 7. 5. et 7. 6.). De plus, les emprises de glissements représentées (Fig. 7. 57.) sont pour l'essentiel comprises dans des zones qui présentent effectivement une forte susceptibilité aux glissements de terrain (Fig. 5. 29.). Un individu a même représenté (hors fond de carte) le glissement du Pas-de-l'Ours situé juste en amont du village. Une des emprises représentées sur la carte semble quelque peu étrange de par sa forme oblongue (Fig. 7. 57.). C'est sans doute l'expression d'une coulée boueuse ou d'une lave torrentielle. Dans ce cas, peut-être l'enquêté a-t-il voulu la placer au niveau du chenal du Lombard ?

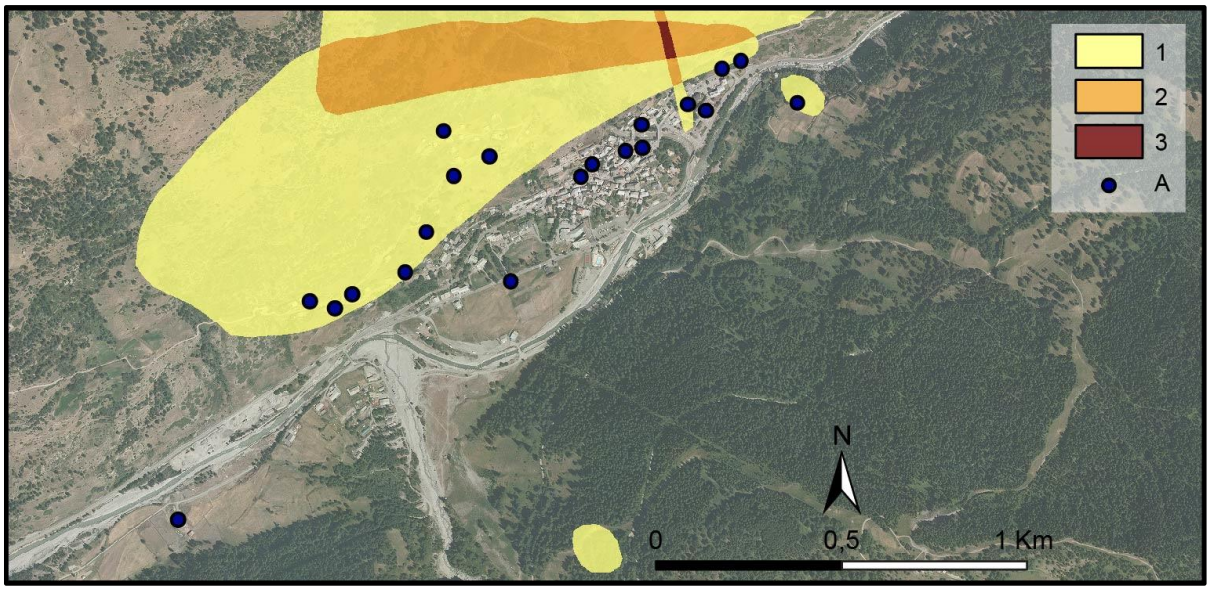


Figure 57 : Représentation des emprises des glissements de terrain à Aiguilles : 1 à 3 – emprises de glissement représentées et nombre de citations, A – logements des répondants.

L'aléa « crue torrentielle » a été représenté dans toutes les cartes produites par les Aiguillons, signe que ce risque est bien connu (Fig. 7. 58.). La superposition des zones considérées comme exposées au risque recouvre l'ensemble du linéaire des cours d'eau présentés sur le fond de carte : le Guil, le torrent du Lombard, le torrent de Peynin, le ravin de Combe Croze et le torrent du Chalvet (Fig. 7. 58.). Les espaces qui ont le plus étés cités se situent : 1) au point de confluence du Guil et du torrent de Peynin, 2) dans la plaine des Ribes, et 3) en aval de la confluence entre le Guil et le torrent du Lombard

(Fig. 7. 58.). Le cône du Peynin, engravé en juin 1957 et 2000 est lui aussi très largement cité. Le quartier de La Chalp (séparé du bourg par le torrent du Lombard) et la terrasse torrentielle de juin 1957 (situé en aval du cône du Peynin) ont, en revanche, fait l'objet de moins de citations (Fig. 7. 58.). À peu de choses près, c'est donc l'ensemble du fond de vallée qui est considéré comme une zone à haut risque par les résidents d'Aiguilles (Fig. 7. 58.). Si l'on compare les emprises dessinées par les Aiguillons avec les cartes d'aléas produites (Fig. 5. 4., 5. 10. et 5. 19.) on observe donc de très fortes similitudes. Malgré cela, seul l'un des enquêtés a représenté son logement dans une zone à risques. Alors même que l'on comptabilise huit logements dans les zones représentées par ses concitoyens (Fig. 7. 58.).

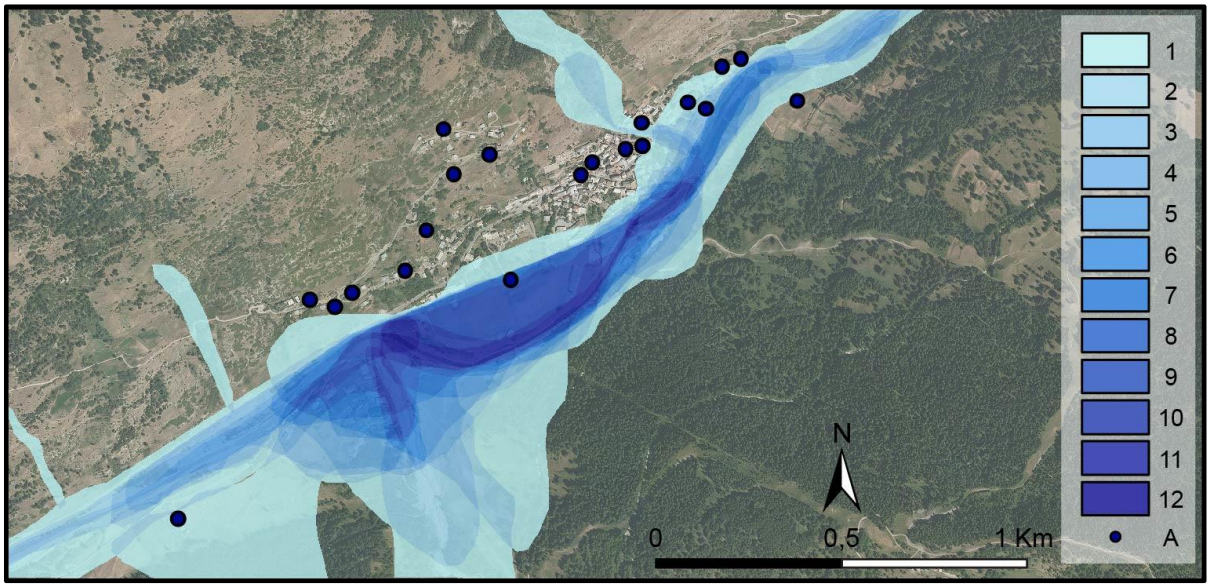


Figure 7. 58. : Représentation des emprises des crues torrentielles à Aiguilles : 1 à 12 – emprises de crue représentées et nombre de citations, A – logements des répondants.

L'aléa « avalanche » a été représenté par 11 personnes (Fig. 7. 59.). Les surfaces dessinées recouvrent une bonne partie du versant qui surplombe le village d'Aiguilles en rive droite du Guil (Fig. 7. 59.). Fait étonnant, l'essentiel de ces surfaces n'a aucune réalité scientifique (Fig. 5. 30.).

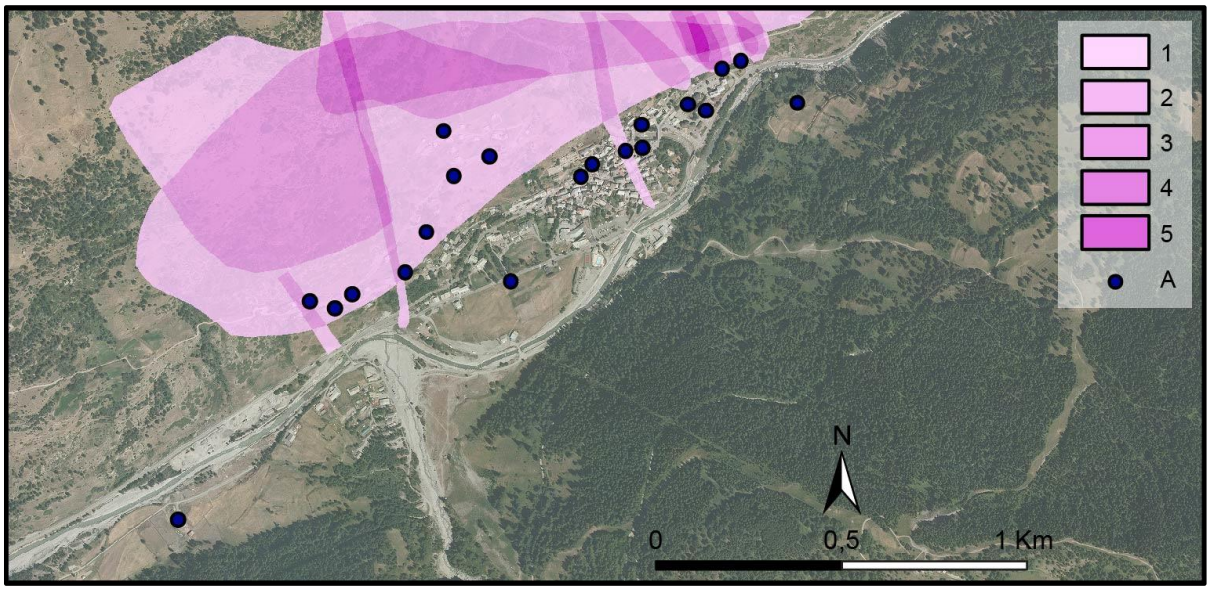


Figure 7. 59. : Représentation des emprises d'avalanche à Aiguilles : 1 à 5 – emprises d'avalanche représentées et nombre de citations, A – logements des répondants.

De fait, le village est plutôt bien protégé des avalanches. Des trois emprises répertoriées dans la CLPA, une seule est située en rive droite du Guil, mais en aval du village (ravin de combe Croze ; IRSTEA, 2016). Les deux autres sont localisées en rive gauche du Guil, dans la forêt de Marassan. Il y a bien eu une coulée neigeuse qui a atteint un chalet à l'amont du village mais elle n'est pas mentionnée dans la CLPA (ce n'est pas à strictement parler une avalanche). Au moins 5 personnes l'ont pourtant représentée sur leur carte mentale, mais deux seulement l'ont bien positionnée (Fig. 7. 59.). Pour ce qui est des avalanches, les Aiguillons ont donc largement surestimé les risques. C'est d'autant plus vrai que trois d'entre eux ont positionné leur logement dans des emprises qui n'existent pas ! (Fig. 7. 59.).

Les cartes mentales produites par les Aiguillons sont assez paradoxales. Si ces derniers font montre d'une bonne connaissance des risques liés aux glissements de terrain et d'une très bonne connaissance des risques liés aux crues torrentielles, c'est moins le cas en ce qui concerne les avalanches. Pour ce qui est des glissements de terrain, les faits énoncés plus hauts sont à nuancer dans la mesure où seul un tiers des enquêtés les ont représentés. Contrairement à leurs voisins de Ristolas et d'Abriès, les Aiguillons ont tendance à surestimer les risques auxquels ils sont exposés. C'est particulièrement vrai en ce qui concerne les avalanches.

3. 2. 4. Commune de Château-Ville-Vieille

Sur les 17 questionnaires réalisés sur la commune, 12 comportaient des cartes mentales. La plupart des cartes récupérées concernaient uniquement les villages de Ville-Vieille et Château-Queyras. Cela est probablement lié au fait que seule une partie des questionnaires a été effectuée directement avec les habitants (au demeurant, principalement dans les villages Ville-Vieille et Château-Queyras). Les habitants de Château-Ville-Vieille ont choisi de ne représenter que l'aléa « crue torrentielle » (Fig. 7. 60.). Si l'on se réfère aux réponses apportées dans le questionnaire (Fig. 7. 6.), c'est de loin l'aléa qui les inquiète le plus. Certaines personnes ont cité d'autres aléas (chutes de bloc, glissements de terrain, feux de forêt et avalanches), accompagnés de nom de lieux (Montbardon, Soulier, les Prats) mais sans les représenter graphiquement. Toutes les cartes récupérées ont par contre fait l'objet d'au moins une illustration d'espace soumis aux crues, signe que cet aléa est bien connu dans la commune (Fig. 7. 60.). Pour ce qui est des crues, la superposition des zones supposées exposées au risque recouvre principalement le linéaire du Guil et une partie du cône de l'Aigue Blanche (Fig. 7. 60.).

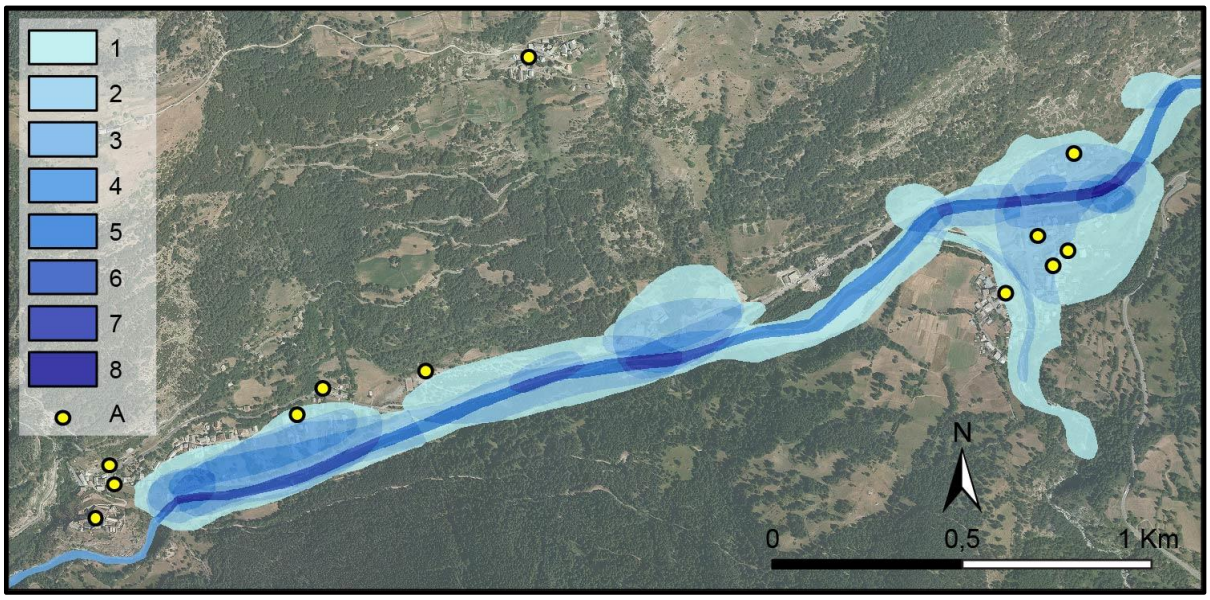


Figure 60 : Représentation des emprises de crue torrentielle à Château-Ville-Vieille : 1 à 8 – emprises de crue représentées et nombre de citations, A – logements des répondants.

Les torrents de Platenq, de Bramousse et de Soulier n'ont en revanche fait l'objet d'aucune citation. Fait intéressant, c'est le lit mineur du Guil qui fait l'objet du plus grand nombre de représentations graphiques (Fig. 7. 60.). Si dans les secteurs de gorges ce constat n'est guère étonnant (ex : en amont et en aval de Ville-Vieille, Fig. 7. 60.), il n'est est pas de même pour ceux où le lit majeur du Guil est plus large (ex : entre les Planissaux et Château-Queyras, Fig. 7. 60.). On a probablement ici une autre expression de ce qui a été défini précédemment comme « l'effet digue ». De fait, les ouvrages maçonnés, réalisés suite à la crue de juin 1957 (digue et ouvrage de dérivation de l'Aigue Blanche), ont bien rempli leur rôle lors des crues de la décennie 2000 et la commune a été très peu impactée sur cette période. D'où, peut-être, un faible sentiment d'exposition de la part de ses habitants. Notons que les personnes qui ont dessiné ces emprises sont en majorité des « néo-Queyrassin ». Outre le lit mineur du Guil, plusieurs autres espaces ont été décrits comme étant exposés aux risques (Fig. 7. 60.). Il s'agit : 1) de la partie est du cône de l'Aigue Blanche et du lieu-dit « la Casse », 2) de la zone artisanale et commerciale située en contrebas du torrent de Platenq, 3) du camping de Château-Queyras et, 4) de la plaine de Château-Queyras (au pied du château), (Fig. 7. 60.). Ces espaces, correspondent aux zones immergées ou engravées lors de la crue de juin 1957 (Fig. 5. 5.). Une partie des habitants de la commune a donc vraisemblablement une certaine connaissance des espaces affectés lors de cet épisode. Ces espaces sont protégés par des digues, ce qui nous amène à nuancer quelque peu les propos concernant le sentiment de sécurité des habitants de la commune. Deux enquêtés ont d'ailleurs inclus leur logement dans les emprises qu'ils ont dessinées : un à Ville-Vieille et un à Château Queyras (Fig. 7. 60.). Ces deux personnes ont vécu l'épisode de juin 1957 et sont donc bien au fait des risques liés aux crues torrentielles.

Les habitants de la commune de Château-Ville-Vieille ont choisi de ne représenter que les risques liés aux crues torrentielles. En soi, ce n'est pas l'expression d'une mauvaise appréciation des risques dans la mesure où la commune est relativement épargnée par les autres aléas présents dans le Queyras (Fig. 5. 29. et 5. 30.). La carte mentale de synthèse produite pour l'aléa de crue torrentielle montre une certaine dualité dans la perception des risques qui y sont liés. Si la majorité des enquêtés tend à circonscrire le risque au seul lit mineur du Guil, une partie d'entre eux est néanmoins bien au fait des emprises des crues historiques ayant affecté la commune.

3. 2. 5. Commune de Molines-en-Queyras

Sur la commune de Moline-en-Queyras, 10 des 17 enquêtés ont accepté de réaliser des cartes mentales. En dépit du faible nombre de cartes collectées, les trois secteurs proposés dans les fond de cartes ont été illustrés (Fig. 7. 61., 7. 62. et 7. 63.). Les Moulinois ont choisi de représenter trois types d'aléas : les glissements de terrain (1 citation, Fig. 7. 61.), les crues torrentielles (22 citations, Fig. 7. 62.) et les avalanches (11 citations, Fig. 7. 63.). En dépit du fort sentiment d'exposition aux avalanches dont ont fait preuve les Moulinois (Fig. 7. 6.), ce sont les crues torrentielles qui ont été le plus représentées sur les fonds de cartes distribués.

Les glissements de terrain ont été peu considérés par les Moulinois puisqu'ils n'ont fait l'objet que d'une seule citation (Fig. 7. 61.). Située au niveau du hameau du Coin, cette dernière correspond davantage à des marques d'érosion régressive le long du Rif de la Sacle qu'à un réel glissement de terrain. Néanmoins, une partie de l'emprise dessinée figure au titre des zones présentant un risque de glissement dans la carte d'aléa du PPR de la commune (sans toutefois de précision sur la nature du processus en cause, http://www.hautes-alpes.gouv.fr). S'il est vrai qu'aucun événement de grande ampleur n'est cité dans la littérature, l'ensemble du versant de rive droite de l'Aigue Agnelle présente une forte susceptibilité aux glissements de terrain (Fig. 5. 29.).

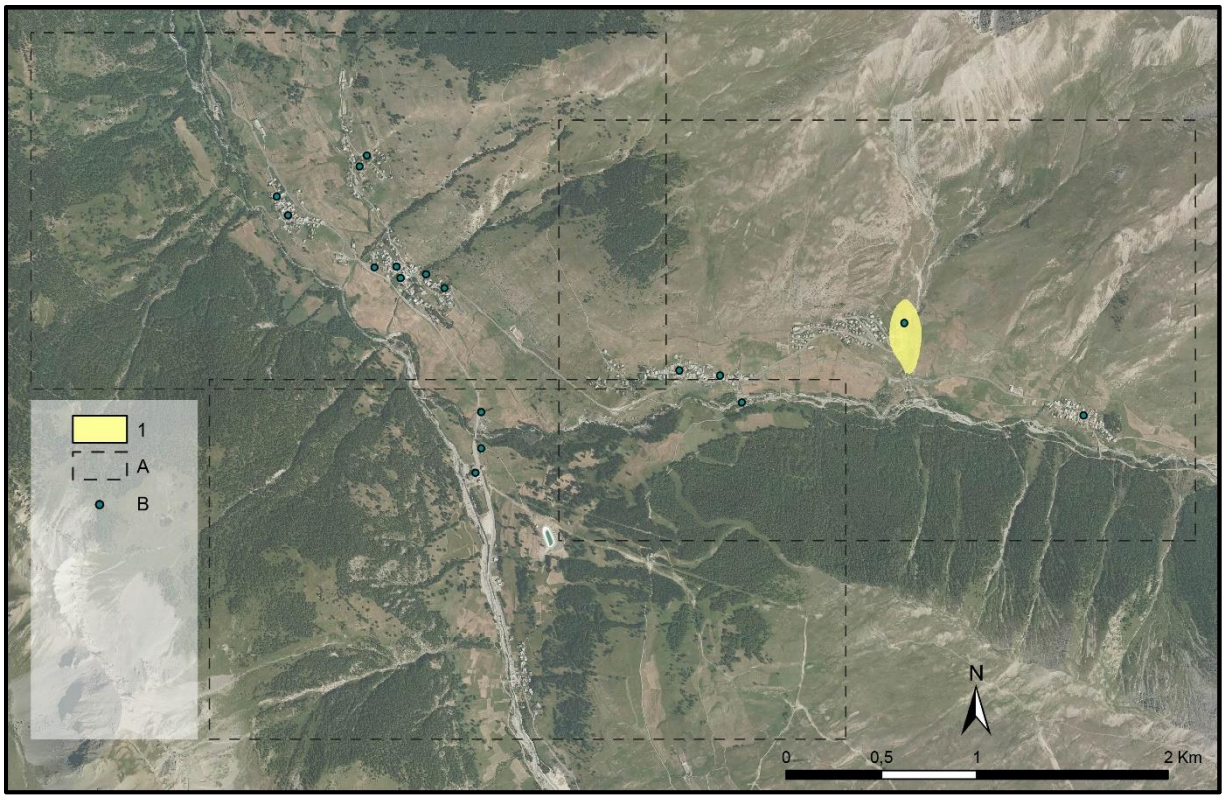


Figure 7. 61. : Représentation des emprises des glissements de terrain à Molines-en-Queyras : 1 – emprises de glissement représentées et nombre de citations, A – emprises des fonds de cartes proposés, B – logements des répondants.

L'aléa « crue torrentielle » a fait l'objet de nombreuses citations de la part des Moulinois (Fig. 7. 62.). Cinq cours d'eau ont été identifiés comme présentant un risque pour la commune : l'Aigue Agnelle, l'Aigue Blanche, le Rif de la Sacle, le Rif du Garcin et le Rif des Borels (Fig. 7. 62.).La superposition des emprises dessinées fait ressortir trois secteurs bien distincts : 1) le linéaire du Rif de la Sacle en bordure du hameau du Coin, 2) une portion de l'Aigue Blanche en bordure du hameau du Clôt-La-Chalpe, et 3) le linéaire du Rif du Garcin dans sa traversée du hameau de Molines (Fig. 7. 62.). En dehors de ces espaces, bien identifiés, les abords des cours d'eau ont été très peu cités (Fig. 7. 62.). Les enquêtés n'ont donc mis en évidence que les zones où ils considèrent que le risque est le plus important, à savoir les espaces urbanisés. L'enjeu majeur pour les Moulinois semble donc être l'exposition de l'habitant.

Il convient de noter que les trois secteurs identifiés ont déjà été impactés par des épisodes à caractère catastrophique. Le Rif de la Sacle a été le théâtre d'écoulements hyper-concentrés lors de la crue de juin 1957 (Fig. 5. 6.). La chaussée de la route D 5 a, pour sa part, été endommagée lors de la crue de 2008 en bordure du hameau du Clôt-La-Chalpe (photo 2. 5., B). Quant au Rif du Garcin, il a fonctionné sous la forme d'écoulements hyper-concentrés lors de l'épisode orageux du 9 août 2015 (chapitre 4 – 2. 3. 2). Pour ces deux derniers événements, la mémoire du risque était donc encore vivace. Deux personnes ont d'ailleurs positionné leur logement dans les emprises de crues du Rif du Garcin (Fig. 7. 62.).

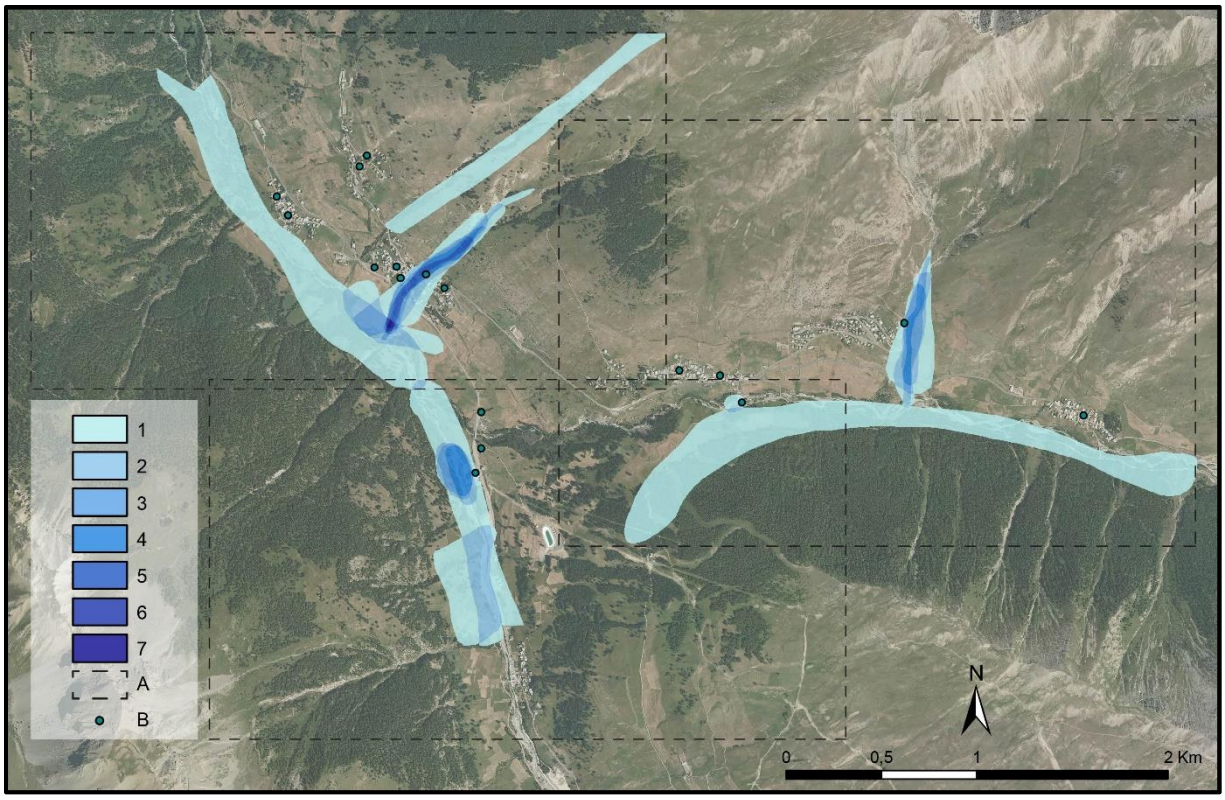


Figure 7. 62. : Représentation des emprises de crue torrentielle à Molines-en-Queyras : 1 à 7 – emprises de crue représentées et nombre de citations, A – emprises des fonds de cartes proposés, B – logements des répondants.

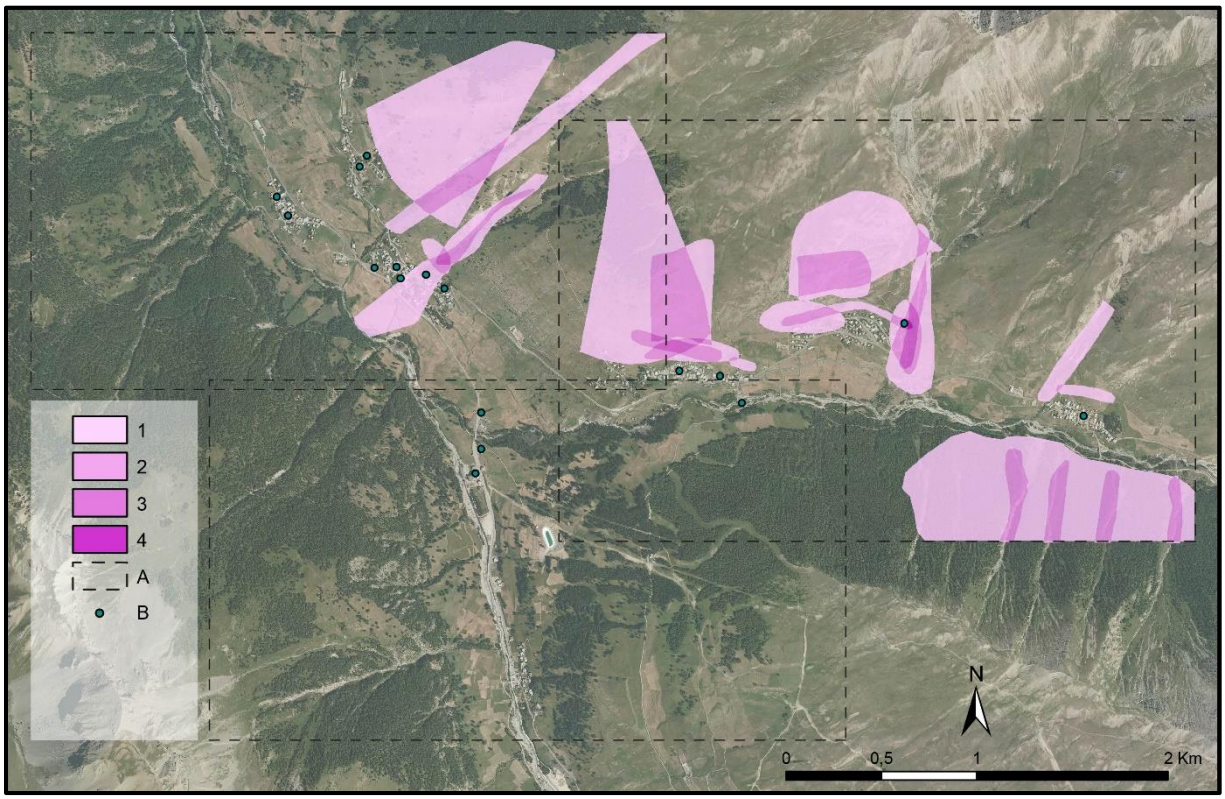


Figure 7. 63. : Représentation des emprises d'avalanche à Molines-en-Queyras : 1 à 4 – emprises d'avalanche représentées et nombre de citations, A – emprises des fonds de cartes proposés, B – logements des répondants.

Moins représentées que les crues, les avalanches ont néanmoins fait l'objet de 11 citations de la part des Moulinois (Fig. 7. 63.). La distribution spatiale des emprises dessinées fait état d'un fort sentiment d'exposition à l'aléa avalancheux (Fig. 7. 63.). La compilation des cartes mentales effectuées laisse entrevoir plusieurs secteurs considérés comme plus exposés : 1) le hameau du Coin (ravin du Rif de la Sacle), 2) le versant surplombant le hameau de Pierre-Grosse et, 3) le ravin du Rif de Garcin (Fig. 7. 63.). D'autres secteurs ont été cités à une ou deux reprises : le versant situé à l'amont du hameau de Fongillarde (ravin de Combe d'Eymard), le versant qui lui fait face, celui qui surplombe le hameau de Château-Renard, le ravin du Rif des Borels, et le versant surplombant Gaudissart (Fig. 7. 63.). La plupart de ces emprises dénotent une certaine connaissance de l'aléa avalancheux (Fig. 7. 64. et 5. 30.). Pour autant, plusieurs limites viennent contrebalancer ces propos. D'une part, plusieurs emprises représentées par les Moulinois ne sont pas scientifiquement avérées. C'est le cas des emprises couvrant le hameau de Molines et de celles surplombant le hameau de Gaudissart (Fig. 7. 64. et 5. 30.). D'autre part, si les Moulinois ont globalement bien identifié les secteurs affectés par les avalanches, ils ont presque toujours sous-estimé les emprises réelles de ces phénomènes (Fig. 7. 63. et 5. 30.). Plusieurs d'entre elles s'arrêtent juste au-dessus des zones habitées (Fig. 7. 63.). C'est le cas de celles surplombant les hameaux de Fongillarde (emprise n°4 de la CLPA, IRSTEA, 2016), de Château-Renard (emprises 21 et 22 de la CLPA, IRSTEA, 2016) et de Pierre-Grosse (emprise n°2 de la CLPA, IRSTEA, 2016).

D'une manière générale, les cartes mentales produites par les Moulinois montrent une bonne connaissance des aléas pouvant affecter le village. Que ce soit pour les crues ou les avalanches, les secteurs les plus sensibles ont bien été identifiés et les habitants sont au fait des événements passés. En dépit de ces connaissances, les Moulinois ont montré une certaine tendance à sous-estimer les emprises maximales des avalanches. Comme dans les autres secteurs du Queyras, l'aléa « glissements de terrain » est peu considéré ; alors même que le risque est très présent sur le territoire de la commune.

3. 2. 6. Commune de Saint-Véran

Sur la commune de Saint-Véran, 11 des 15 enquêtés ont produit des cartes mentales (Fig. 7. 64. et 7. 65.). Ces derniers ont choisi de ne représenter que deux aléas : les crues torrentielles (1 citation, Fig. 7. 64.) et les avalanches (10 citations, Fig. 7. 65.). En toute logique, l'aléa le plus représenté, les avalanches, est aussi l'aléa qui inquiète le plus les Saint-Vérannais (Fig. 7. 5. et 7. 6.).

A la lecture de la carte représentant la perception des aléas torrentiels, force est de constater que les Saint-Vérannais se sentent peu concernés par ces phénomènes. En cela, les cartes mentales confirment les réponses données au questionnaire (Fig. 7. 5 et 7. 6.). Seuls deux des quinze interrogés s'étaient dits inquiétés par les aléas torrentiels (Fig. 7. 5. et 7. 6.). De fait, une seule emprise de crue a été représentée (Fig. 7. 64.). Celle-ci concerne un torrent aux écoulements intermittents qui traverse le village entre les quartiers de Pierre Belle et du Villard (Fig. 7. 64.). Notons que l'emprise dessinée est située en amont des zones bâties et n'intègre, dès lors, aucun des enjeux biophysiques qui pourraient être menacés par le cours d'eau (Fig. 7. 64.). Si les risques liés aux crues sont, il est vrai, peu présents sur le territoire de la commune, certains enjeux y sont néanmoins exposés (Fig. 5. 6.). C'est le cas de la route menant à la chapelle de Clausis, menacée à proximité du village par les écoulements du Rif de Sainte-Luce. C'est également le cas des enjeux présents sur le cône du torrent de Curlet (pont des Moulins et Pré la Chalp). Enfin, et surtout, d'importants enjeux sont présents en bordure de l'Aigue Blanche à hauteur du hameau de La Chalp (Fig. 7. 64.). Une crue pourrait, selon toute vraisemblance, endommager le bâti qui s'y trouve et couper la principale voie d'accès au village (Fig. 7. 64.). Pour autant, ces secteurs n'ont pas été évoqués par les Saint-Vérannais.

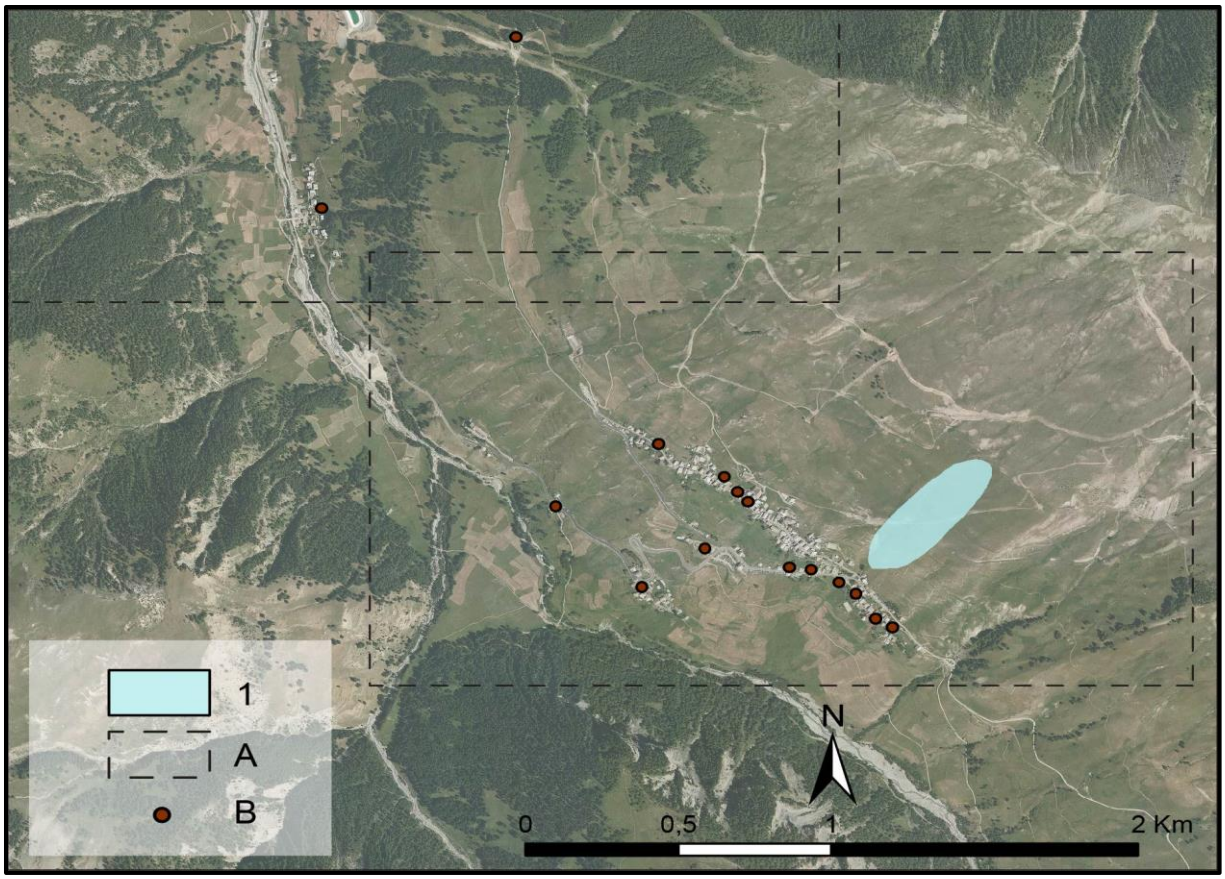


Figure 7. 64. : Représentation des emprises de crue torrentielle à Saint-Véran : 1 – emprises de crue représentées et nombre de citations, A – emprises des fonds de cartes proposés, B – logements des répondants.

Le risque avalancheux a été plus abondamment représenté par les habitants de la commune (Fig. 7. 65.). L'intégralité du versant qui surplombe le village est présenté comme exposé aux avalanches (Fig. 7. 65.). C'est également le cas des versants qui lui font face (Fig. 7. 65.). La superposition des emprises cartographiées montre un sentiment d'exposition plus aigüe à l'amont des quartiers de Pierre Belle et du Villard ainsi que le long du ravin du Rif de Sainte Luce (Fig. 7. 65.). Il est toutefois intéressant de constater que les espaces bâtis n'apparaissent jamais directement menacés par les avalanches (Fig. 7. 65.). Dans les faits, les espaces soumis aux avalanches sont bien plus localisés qu'il n'y paraît (Fig. 5. 33.). S'il y a bien un risque d'avalanche dans le ravin du Rif de Sainte Luce (emprises n°22 et 25 de la CLPA ; IRSTEA, 2016), il n'y a, en revanche, qu'une seule emprise notable à l'amont du village même (emprise de combe Croze, Fig. 5. 33.). Cette dernière ne présente qu'un faible risque pour le village, mais menace plus directement les installations de sport d'hiver (pistes et téléski des Cassottes). L'emprise dessinée en hauteur des lieux-dits du Cros et de la Croix de Juan, correspond à une zone exposée à de multiples coulées neigeuses de faibles envergures, mais seule une personne l'a mentionnée (Fig. 7. 65.). Il en va de même des emprises dessinées sur les versants qui font face au village. Paradoxalement, les Saint-Vérannais ont donc surestimé les risques présents à l'amont du village et les ont sous-estimés sur les secteurs réellement exposés.

Globalement, les habitants de Saint-Véran se sentent peu exposés aux risques. Ils l'ont montré avec les réponses données au questionnaire (Fig. 7. 5.) et l'ont confirmé avec les cartes mentales (Fig. 7. 64. et 7. 65.). Au vu des cartes produites, le seul aléa qui les préoccupe vraiment est l'aléa avalancheux. Pour autant, très peu de Saint-Vérannais ont été capables de localiser avec précision les emprises de ces phénomènes. Il est vrai que le village est en lui-même peu exposé de par son altitude, comme en témoigne la présence en nombre de bâtiments anciens. Néanmoins les risques sont bien

présents.Le hameau de la Chalp, exposé tant aux glissements de terrain qu'aux crues torrentielles et aux avalanches n'a pas du tout été représenté par les habitants interrogés de Saint-Véran.

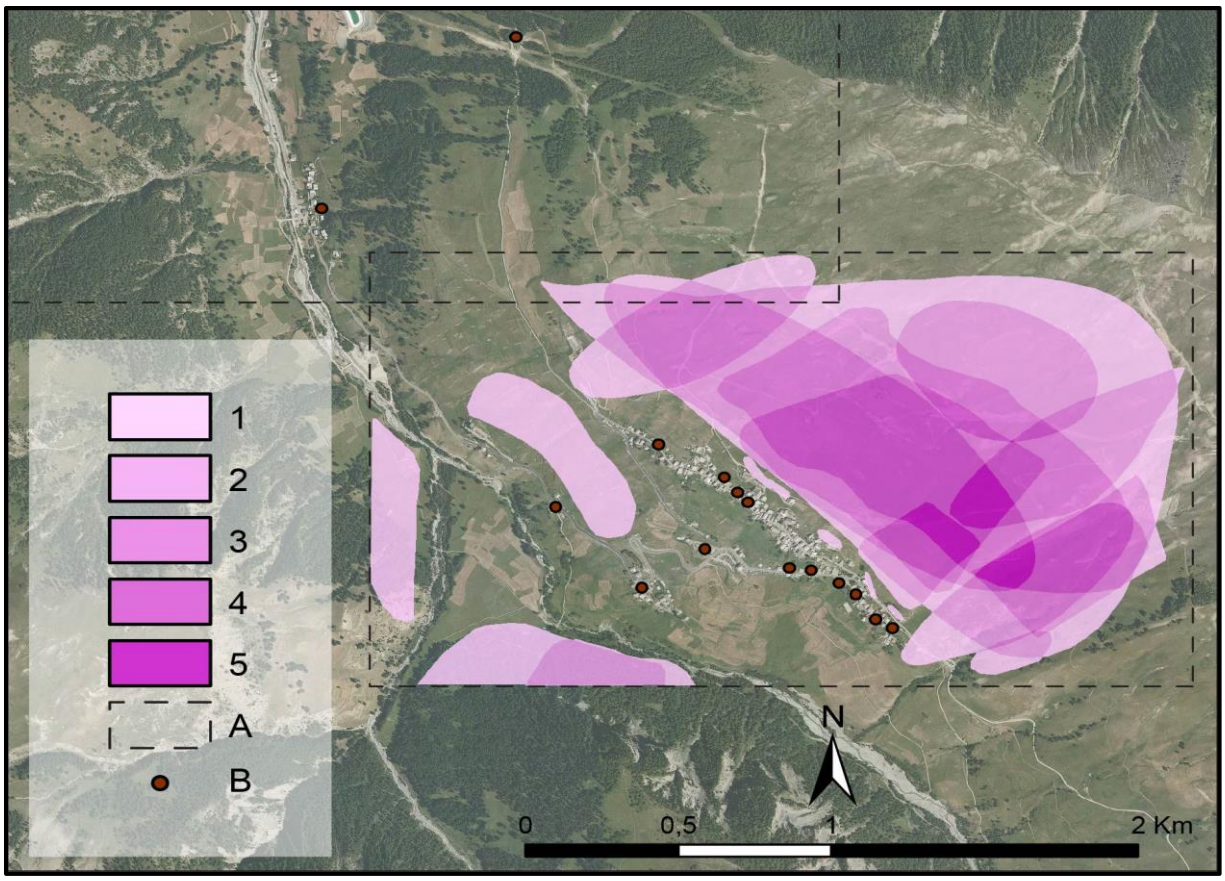


Figure 7. 65. : Représentation des emprises d'avalanche à Saint-Véran : 1 à 5 – emprises d'avalanche représentées et nombre de citations, A – emprises des fonds de cartes proposés, B – logements des répondants.

Toutes communes considérées, les enquêtés ont globalement fait montre d'une bonne connaissance des zones les plus exposées aux aléas torrentiels et avalancheux. Les secteurs fréquemment exposés ont été plutôt bien identifiés et les Queyrassins ont montré une bonne connaissance des emprises historiques de ces aléas. Pour autant, rares sont les Queyrassins à avoir intégré leur lieu de vie dans des zones à risques, que ce soit dans les questionnaires ou les cartes. Est-ce un refus de reconnaître leur propre vulnérabilité alors même qu'ils montrent une bonne connaissance de la problématique ? Les risques liés aux glissements de terrain, sans doute moins perceptibles dans le paysage, semblent par contre largement méconnus des habitants. Rappelons toutefois que cette étude a été menée avant que le glissement du Pas de l'Ours ne soit réellement connu des Queyrassins. Il est donc très probable qu'une nouvelle enquête mènerait à des résultats tout autres.

Conclusion

Les questionnaires constituent des outils efficaces pour recueillir et analyser les perceptions et les représentations que se font les individus ou les communautés des risques auxquels ils sont soumis. En s'attachant à décrire et à comparer les perceptions qu'ont les Queyrassins des risques et de leur gestion, tout en interrogeant les spécificités de chacun des secteurs étudiés, l'enquête présentée ci-avant dresse un bon aperçu de la vulnérabilité sociale du territoire. *In fine*, le bilan s'avère plutôt positif.

Le premier élément qui ressort de l'enquête est que la majorité des Queyrassins a bel et bien conscience d'être exposée à un ou plusieurs risques. Parmi ces derniers, ce sont les risques liés aux

avalanches et aux crues torrentielles qui sont les mieux identifiés et les mieux localisés. Seul point noir au tableau, les Queyrassins ont montré une certaine méconnaissance des risques liés aux glissements de terrain. Au regard des récents événements du Pas de l'Ours il est cependant très probable que les mentalités aient évolué sur ce point.

Le second élément qui transparaît est que la perception des risques, et de leur dangers, est fortement liée à la commune de résidence des enquêtés. Toute chose égale par ailleurs, les Queyrassins résidant dans les communes du Haut-Guil (Ristolas, Abriès et Aiguilles) ont une conscience plus aigüe des risques et de leurs dangers que les résidents des trois autres communes du Queyras (Château-Ville-Vieille, Molines-en-Queyras et Saint-Véran). Cette perception différenciée apparaît liée à plusieurs facteurs : le degré d'exposition de la commune, le vécu personnel des interrogés et l'investissement des autorités locales en matière de prévention et de gestion des risques.

Les Queyrassins se sont ainsi montrés plus sensibles aux risques qui sont présents dans leur commune de résidence. D'une manière générale, la mémoire des risques est encore très vivace dans le Queyras. Les trois quarts des enquêtés ont déclaré avoir vécu un épisode catastrophique durant leurs années de vie sur le territoire. Moins de 10 % des interrogés ignorent qu'une catastrophe naturelle s'est déjà produite sur leur territoire. Pour les plus anciens, le souvenir de la crue de 1957 et de l'épisode avalancheux de 1978 est encore présent tandis que pour les plus jeunes, les crues à répétition de la décennie 2000 et l'épisode avalancheux de l'hiver 2008 font bien souvent figure de premières expériences.

Ces bons résultats en termes de connaissance et de mémoire du risque sont à mettre au crédit des efforts, parfois considérables, déployés par les gestionnaires locaux en matière de prévention et de gestion des risques. Bien que les résultats varient là encore d'un village à l'autre, toutes communes confondues, 60% des interrogés affirment avoir été informés sur les risques. Si ces résultats peuvent sembler relativement modestes en première lecture, ils sont à nuancer dans la mesure où un peu moins d'un tiers des individus interrogés affirment avoir recherché cette information. Il en découle que dans l'ensemble, les gestionnaires locaux jouissent d'une bonne confiance de la part des Queyrassins interrogés. Près des trois quarts d'entre eux font ainsi confiance aux autorités municipales pour gérer les questions relatives aux risques naturels.

Si le tableau dressé est globalement positif on se doit néanmoins d'y apporter quelques nuances. En premier lieu, une part non négligeable des interrogés a montré un certain manque d'intérêt pour la thématique des risques, celui-ci se traduisant par un refus d'obtenir davantage d'informations sur les risques, un manque de volonté en matière de recherche personnelle d'information et une certaine méconnaissance des mesures prises pour atténuer les impacts des aléas. En outre, si les Queyrassins sont plutôt bien au fait des emprises spatiales des aléas et de leurs conséquences sur les enjeux biophysiques, ils ont tendance à ne pas se considérer eux même exposés.

L'étude menée ici a conduit à l'acquisition d'un certain nombre d'informations qui pourraient se révéler utiles pour les gestionnaires des risques. En dressant un état des lieux de la perception qu'ont les Queyrassins des risques et de leur gestion, cette étude a permis d'identifier les populations les plus vulnérables et de mettre en exergue les lacunes concernant la connaissance des risques et la communication des informations qui y sont liées. En interrogeant les moyens par lesquelles les Queyrassins souhaitent être informés des risques et les sujets qui leur paraissent les plus importants, ce travail devrait, en outre, permettre d'adapter au mieux les futures campagnes d'informations.

En dépit d'avantages certains, l'analyse développée ici présente des limites qui doivent être clarifiées. La première d'entre elles tient à la conception même du questionnaire. D'une manière générale, les questions posées étaient trop axées sur l'échelle communale d'où un certain biais dans les réponses données. C'est le cas notamment des questions n°9 à n°13 (cf. annexes 1). De fait, leur traitement n'a pas permis de tirer de conclusions valables à l'échelle du Queyras. Bien que l'échelle fine puisse présenter des avantages, elle n'a pas permis de mettre en avant les zones exposées aux risques situés hors des zones urbanisées ou d'interroger les Queyrassins sur leur connaissance du reste du territoire (avalanche de la Fourche, route du Roux, gorges du Guil, glissement du Pas de l'Ours, etc.). La même critique peut être énoncée en ce qui concerne les cartes mentales. Certaines des questions posées manquaient par ailleurs de précision. La question n°27 (cf. annexes 1), par exemple, aurait gagné à être présentée de manière ordinale afin de mieux faire ressortir les attentes des Queyrassins. Enfin, certains enquêtés nous ont fait part du nombre trop important de questions posées. Cet élément est loin d'être anodin car il peut entraîner une lassitude de la part des enquêtés. Cette dernière pouvant se traduire par des réponses plus hasardeuses.

D'autres limites relevant davantage de la mise en œuvre de l'enquête sur le terrain sont à souligner. Le fait d'avoir mené l'enquête en trois temps, avec des méthodes d'acquisition différentes a pu conduire à des biais dans l'analyse des réponses données. En trois ans, le contexte local a nécessairement évolué, que ce soit sur le plan de la perception des risques ou bien de leur gestion. S'il est difficile de mesurer l'évolution des mentalités sur ces sujets, quelques indices peuvent néanmoins les suggérer. On en a une expression assez nette en ce qui concerne la perception du risque sismique. Une autre incertitude qu'il convient de mettre en avant tient au volume de questionnaires récolté et à la pertinence de l'échantillonnage. Bien qu'à l'échelle du Queyras l'objectif initial ait été respecté, tant en terme de nombre de questionnaires que de quotas, l'échantillon n'en demeure pas moins restreint. Se pose alors le problème de la représentativité de l'échantillon à l'échelle communale et de la pertinence des analyses statistiques menées. C'est particulièrement vrai en ce qui concerne la commune de Ristolas, puisque seul 8 questionnaires y ont été collectés

En vue de compléter cette analyse, deux pistes devront, à l'avenir, être explorées. La première a trait à la nature des analyses menées jusqu'à présent. Les résultats présentés dans ce chapitre sont, en effet, essentiellement le fruit d'analyses statistiques univariées ou bivariées. Les tests menés en vue de produire des statistiques multivariées n'ont, pour l'heure, pas donné de résultats probants. Une étude plus poussée dans ce domaine devrait à coup sûr permettre de déceler des tendances dans les réponses données par les différents groupes sociaux auxquels appartiennent les Queyrassins. Ce faisant, on devrait être en mesure de mieux cerner les populations les plus vulnérables. Une autre voie consisterait à élaborer des indices thématiques. En compilant les réponses données à des questions portant sur des thèmes connexes (perception des risques, connaissance des mesures d'atténuation, confiance envers les acteurs, etc.), il devrait être possible de quantifier des tendances jusqu'alors simplement soulignées. À terme, de tels indices pourraient permettre de donner un aperçu semi-quantitatif de la résilience du territoire et des communes qui le composent.

Dans le chapitre qui suit, une partie des résultats évoqués ci-avant seront réemployés en vue d'évaluer conjointement les aspects biophysiques et socio-économiques de la vulnérabilité. Il s'agit là d'un travail exploratoire qui s'attache à l'un des enjeux majeur de la recherche en géographie des risques : combiner vulnérabilité physique et vulnérabilité sociale.

Chapitre 8 : Évaluation conjointe des vulnérabilités biophysiques et sociales

Introduction

La vulnérabilité est polysémique et multiscalaire (Fabiani et Theys, 1987 ; Pigeon, 2005 ; Léone, 2007 ; Fuchs *et al*., 2007, 2009 ; Birkmann *et al*., 2013 ; Papathoma-Köhle *et al*., 2017). À ce titre, c'est un objet complexe qui fait appel à des concepts issus aussi bien des sciences physiques que des sciences humaines (Fuchs, 2007; Fuchs *et al*., 2009 ; Birkmann *et al*., 2013 ; Papathoma-Köhle *et al*., 2017). Actuellement, bien que le nombre exact de ses composantes soit encore débattu (Tapsell *et al*., 2010 ; Ciurean *et al*., 2013), deux courants dominent la recherche dans ce domaine : l'approche biophysique et l'approche sociale (cf. introduction). Trouver un moyen pour combiner ces deux approches est un enjeu crucial pour évoluer vers une prise en compte de la vulnérabilité globale d'un territoire dans les études de risque (Fuchs, 2009 ; Fuchs *et al*., 2012 ; Birkmann *et al*., 2013).

Alors que dans les précédents chapitres (cf. chapitres 6 et 7), nous nous sommes efforcés de qualifier ces deux volets de la vulnérabilité de manière séparée, nous proposons ici un travail exploratoire visant à les appréhender conjointement. Pour associer vulnérabilité physique et vulnérabilité sociale, nous avons choisi d'employer et d'améliorer un indice qui nous était déjà familier : le PDI (*Potential Damage Index*, cf. chapitre 6). À l'origine, ce dernier a été développé pour évaluer les conséquences physiques potentielles d'un aléa sur les enjeux exposés aux risques : personnes, bâti, réseaux et occupation du sol. Le PDI est basé sur le calcul de trois sous-indices représentant les différents types de conséquences pouvant affecter ces enjeux : corporelles directes, structurelles et fonctionnelles directes et fonctionnelles indirectes (Puissant *et al*., 2013). Nous proposons ici d'y adjoindre un quatrième sous-indice illustrant la vulnérabilité sociale des populations résidant dans les communes du Queyras. Ce nouveau sous-indice, dit indice des « conséquences sociales », est obtenu en combinant des critères issus des données de recensement publiques (INSEE, 2006, 2012, 2015) et des variables dérivées de l'enquête de perception des risques menée dans le Queyras (cf. chapitre 7). À l'origine, 21 critères ont été sélectionnés à partir de la bibliographie pour être testés statistiquement. *In fine*, seuls six critères ont été conservés : 1) l'âge ; 2) les revenus des ménages ; 3) le niveau de diplôme ; 4) le niveau de perception des risques liés aux crues ; 5) le degré d'information sur les risques liés aux crues ; 6) la confiance octroyée aux gestionnaires locaux des risques. L'association par combinaison linéaire des trois sous-indices préexistants et du sous-indice nouvellement créé, a permis d'obtenir un nouvel indice synthétique de la vulnérabilité des enjeux queyrassins. Ce nouvel indice, intitulé « indice des conséquences potentielles », a été testé pour évaluer les conséquences potentielles totales d'une crue de basse fréquence et haute magnitude (intervalle de récurrence ≥ 100 ans). Afin de mettre en avant les avantages et inconvénients de notre modèle, ce dernier a été comparé avec une version simplifiée du PDI. Les résultats ont mis en évidence des différences significatives en termes de vulnérabilité des enjeux exposés. L'introduction de variables socio-économiques au sein d'un indice de vulnérabilité physique ajoute une dimension supplémentaire aux cartes de conséquences produites. L'indice des conséquences sociales, en apportant des informations sur les différentes temporalités de la gestion des risques (préparation, gestion de crise et récupération), permet ainsi de nuancer les conséquences physiques potentielles sur les enjeux en tenant compte de la résilience globale des communautés queyrassines.

Les travaux présentés ci-après sont le fruit d'un travail collaboratif impliquant divers membres du projet ANR SAMCO. Ils ont été publiés dans la revue *Natural Hazards and Earth Proccesses Sciences* (NHESS) sous l'intitulé : « *Upgrading of an index-oriented methodology for consequence analysis of natural hazards: application to the Upper Guil catchment* » (Carlier *et al*., 2018b).

Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 18, 2221–2239, 2018
https://doi.org/10.5194/nhess-18-2221-2018
© Author(s) 2018. This work is distributed under
the Creative Commons Attribution 4.0 License.

Natural Hazards and Earth System Sciences
Open Access
EGU

Upgrading of an index-oriented methodology for consequence analysis of natural hazards: application to the Upper Guil catchment (southern French Alps)

Benoît Carlier[1], Anne Puissant[2], Constance Dujarric[1], and Gilles Arnaud-Fassetta[1]

[1]Université Paris-Diderot (Paris 7), Sorbonne Paris Cité, UMR 8586 PRODIG, 5 rue Thomas Mann, 75013 Paris, France
[2]Université de Strasbourg, UMR 7362 LIVE, 3 rue de l'Argonne, 67000 Strasbourg, France

Correspondence: Benoît Carlier (carlierbenoit@hotmail.fr) and Anne Puissant (anne.puissant@live-cnrs.unistra.fr)

Received: 8 September 2017 – Discussion started: 15 September 2017
Revised: 28 May 2018 – Accepted: 4 June 2018 – Published: 23 August 2018

Abstract. Vulnerability is a complex concept involving a variety of disciplines from both the physical and socio-economic sciences. Currently, two opposite trends exist: the physical approach in which vulnerability is analysed as a sum of potential impacts on elements at risk and the social approach in which vulnerability is mostly viewed as a combination of socio-economic variables determining people's ability to anticipate, cope with and recover from a catastrophic event. Finding a way to combine these two approaches is a key issue for a global vulnerability assessment. In this paper we propose to combine elements from these two approaches through the analysis of the potential consequences of a high-magnitude flood event (recurrence interval (RI) > 100 years) on human and material stakeholders. To perform our analysis, we choose to upgrade an existing index, the Potential Damage Index (PDI; Puissant et al., 2013), by including social criteria. The PDI was originally developed to assess the physical consequences of hazards on the elements at risk (people, building and lands). It is based on the calculation of three sub-indices representing different types of direct and indirect consequences: physical injury consequences (PIC), structural and functional consequences (SFC), indirect functional consequences (IC). Here, we propose to add a fourth sub-index representing the social consequences. This new sub-index, called social consequences (SC) is obtained by combining criteria derived from INSEE French census data and a risk-perception survey conducted in the field. By combining the four indices (PIC, SFC, IC and SC), we managed to create a new index called the Potential Consequences Index (PCI). The new PCI was tested on the Upper Guil catchment to assess the consequences of a high-magnitude flood event (RI > 100 years). Results of the PDI were compared with the PCI and show significant differences. The upgrade to the PDI method provided us with many inputs. The introduction of elements from social vulnerability added an extra dimension to the total consequence map. It allowed us to qualify the potential physical consequences (physical injury, structural and functional consequences) on elements at risk by considering the global resilience of local communities.

1 Introduction

In Europe, small Alpine communities are particularly exposed to natural hazards due to characteristics inherent to the physical and the socio-economic environment (Zingari and Fiebiger, 2002). Alpine areas are generally characterised by step gradient, tectonic activity and harsh climates resulting in dynamic gravitational and torrential processes causing hazards (Keiler and Fuchs, 2016; Papathoma-Köhle et al., 2011). They are also characterised by a high level of vulnerability caused by scattered populations and resources (Hewitt and Metha, 2012), limited accessibility (Leone et al., 2014) and strong dependencies to seasonal tourism activities (Elsasser and Bürki, 2002; Muhar et al., 2007). In addition, the lack of building zones leads to a concentration of stakeholders in areas exposed to natural hazards (debris fans, floodplains, unstable terrains, etc.), causing risk (Arnaud-Fassetta et al., 2005; Puissant et al., 2013). For communities with limited resources, risk management leads to important costs and has a significant impact on public opinion (Barroca et al.,

Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union.

2005). As the global climatic and socio-economic environment changes drastically, this concern is increasing (Pachauri et al., 2014; Papathoma-Köhle et al., 2011, 2016; Aitsi-Selmi et al., 2015; Alcántara-Ayala et al., 2015). The alpine environment is, in fact, very sensitive to global changes (IPCC, 2012). The impact of such changes on hazard magnitudes and frequencies will be significant and may increase the probability of occurrence of a catastrophic event (Schoeneich and De Jong, 2008; Keiler et al., 2010; Lafaysse, 2011; IPCC, 2012; Papathoma-Köhle et al., 2016).

However, studies on risk assessment on a regional or local scale are frequently hazard centred. As a consequence, the vulnerability component is often limited (Reghezza, 2006; Reghezza and Rufat, 2015; Zahran et al., 2008; Jeffers, 2013). It is now recognised that risk assessment cannot be reduced by focusing solely on hazards (Birkmann et al., 2013). Vulnerability is also an essential part of the risk assessment (Varnes, 1984; Fuchs et al., 2017). Vulnerability assessment related to natural hazards is a relatively recent research field (Totschnig and Fuchs, 2013). There is still no consensus on a single definition of vulnerability (Fuchs et al., 2007; Birkmann et al., 2013). It is a complex concept involving a variety of disciplines from both the physical and socio-economic sciences (Fuchs, 2007; Fuchs et al., 2009; Birkmann et al., 2013; Papathoma-Köhle et al., 2017). If the number of vulnerability components is also debated (Tapsell et al., 2010; Ciurean et al., 2013), two main research approaches dominate: the "physical approach" and the "social approach". For environmental researchers and engineers, vulnerability is defined as "a degree of loss to a given element within the area affected by a hazard" (UNDRO, 1984). Vulnerability is considered to be the total potential consequences of a process impacting human interests (Glade, 2003; Fuchs et al., 2007; Puissant et al., 2013). Social scientists define vulnerability as "the characteristics of a person or group in terms of their capacity to anticipate, cope with, resist and recover from impacts of a hazard" (Blaikie et al., 1994; Cutter et al., 2003; Steinführer et al., 2009). It refers to socio-economic and demographic factors that may affect the resilience of communities (Clark et al., 1998; Cutter et al., 2003; Wu et al., 2002; Chakraborty et al., 2005; Flanagan et al., 2012). These two theories must be combined in order to reduce susceptibility to hazard and to create disaster-resilient communities (Fuchs, 2009; Fuchs et al., 2012; Birkmann et al., 2013). Recently, significant efforts were made to combine social and physical vulnerability. For example, Ebert et al. (2009) combined social vulnerability indicators with physical characteristics derived from airborne imagery and GIS data. Armas and Gavris (2013) and Armas et al. (2017) combined social and economic vulnerability with housing quality. Koks et al. (2015) combined hazard and exposure with a social vulnerability index to assess flood risk in the Netherlands. In the same way, Chang et al. (2015) used vulnerability indicators considering the economic, social, built and natural capital. Karagiorgos et al. (2016) used vulnerability function and socio-economic variables to assess physical and social vulnerability of the elements at risk face to a flash-flood event in East Attica, Greece. Eidsvig et al. (2017) used a physical vulnerability indicator together with a social vulnerability indicator to assess the risk induced by natural hazards to infrastructure.

Currently, three different methods are commonly used to assess vulnerability: (1) vulnerability matrices, (2) vulnerability functions and (3) vulnerability indicators (Messner et al., 2007; Papathoma-Köhle et al., 2017). (1) Vulnerability matrices are a qualitative method which provides some advantages. The relationship between the process and consequence is clearly expressed and easy to understand by non-experts. The information on the exact intensity of the processes is not needed and the costs of the exact damages expressed in monetary value are not requested (Fuchs et al., 2007; Papathoma-Köhle et al., 2017). The main default of matrices remains in the description of damages. They may be very subjective, making it difficult to replicate in another sector. By contrast, vulnerability functions (i.e. damage curves and fragility functions), (2) express vulnerability in a quantitative way, by translating damage into monetary value (Fuchs et al., 2007; Messner et al., 2007; Tarbotton et al., 2015). As a result, the vulnerability function allows us to establish a clear relation between financial losses and hazard intensity and perform a cost–benefit analysis (Tarbotton et al., 2015; Papathoma-Köhle et al., 2017). On the other hand, vulnerability functions are dependent on the quality and the quantity of the data collected. They require a large number of the elements at risk to be efficient and they cannot be transferred to areas with different housing types. Last but not least, important characteristics of the elements at risk are not taken into account (Papathoma-Köhle et al., 2017). For Rygel et al. (2006), Birkmann (2006) and Kappes et al. (2012) the more effective way to assess vulnerability is to create an index from a suite of indicators. (3) This approach provides many advantages: it includes the analysis of all the relevant types of consequences without monetary measures (Meyer et al., 2009), no empirical data are needed (Papathoma-Köhle et al., 2017), it considers the different characteristics of the elements at risk (Puissant et al., 2013) and it is flexible enough to be adjusted to different hazards and places (Kappes et al., 2012). Furthermore, the improvement of GIS technology with the ability to integrate information from various fields makes it easy to develop a high-resolution vulnerability index with an operative perspective (Wood and Good, 2004; Nelson et al., 2015).

In the context of the French-funded ANR project SAMCO (Society Adaptation for coping with Mountain risks in a global change COntext), a comparative analysis on the topic of mountain risks was engaged on three representative mountain case studies: the Upper Guil catchment (southern French Alps), prone to torrential floods; the Ubaye catchment (southern French Alps), predisposed to landslides; and the Cauterets Valley (French Pyrenees), affected by rockfalls.

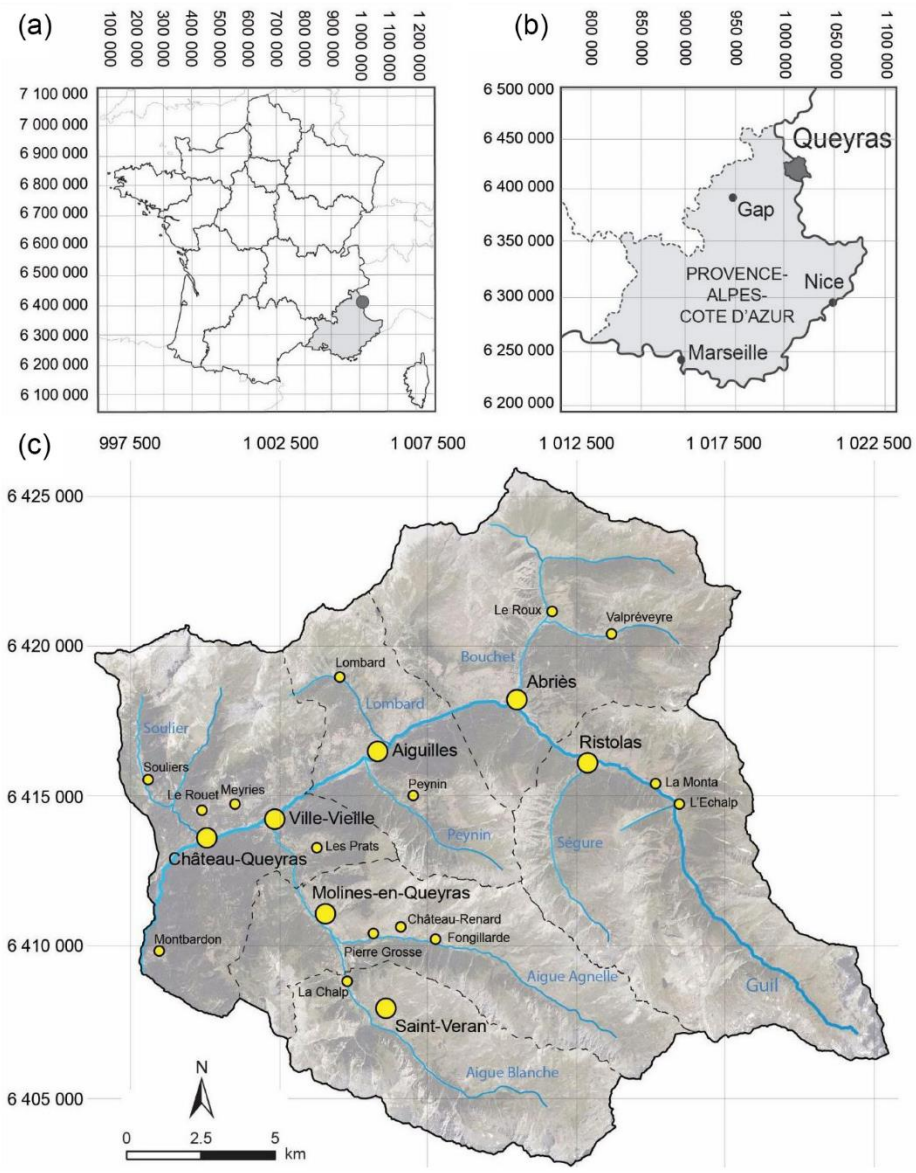


Figure 1. Location map of the Upper Guil catchment and its six communities.

The aim of the project was to develop methodological tools to characterise and measure societal resilience with an operative perspective (http://www.anr-samco.com/, last access: 1 July 2018, SAMCO ANR project, 2017). In this regard, studies were conducted with consideration to the different steps of risk analysis – i.e. hazard analysis, exposure analysis and consequence analysis (Bründl et al., 2009). The final product of the SAMCO project is a GIS-based demonstration platform for elected officials and local stakeholders. The present paper is focused on a new method that assesses physical and social vulnerability together. This method was developed to assess the vulnerability of elements at risk in the Upper Guil catchment (Fig. 1) in front of a high-magnitude flood event (recurrence interval (RI) $>$ 100 years). To perform this work, we opted for an indicator-based vulnerability approach. The proposed indicator, called the Potential Consequences Index (PCI) is oriented on a potential consequences assessment. According to Fell et al. (2008), consequences may be defined

as "the potential outcomes arising from the occurrence of a hazard expressed qualitatively or quantitatively in terms of loss, disadvantage or gain, damage, injury or loss of life". Consequence analysis is, together with hazard evaluation, one of the major steps of flood risk assessment (Bründl et al., 2009; Kappes et al., 2012; Puissant et al., 2013).

The PCI consists of upgrading an existing index called the Potential Damage Index (PDI). The PDI was developed and improved by Puissant et al. (2006, 2013) to estimate the potential consequences of a natural hazard on elements at risk (building, network and land occupation). It is obtained by combining three indices representing direct physical injury, structural and functional consequences, and indirect consequences – indirect functional consequences – of hazards on the element at risk. These three indices are built with data representing the characteristics of each element at risk (material, age, number of occupied floors, etc.). In the PCI we added a fourth index called Social Consequences Index (SCI) representing the socio-economic consequences of a hazard on the community resilience. SCI variables are derived from French national census data at community level (INSEE) and data from a risk-perception survey conducted in the six municipalities of the Upper Guil catchment (Ristolas, Abriès, Aiguilles, Château-Ville-Vieille, Molines-en-Queyras and Saint-Véran). The PCI is obtained by combining the new Social Consequences Index (SCI) with the Physical Injury Index (PII), the Structural and Functional Index (SFI) and the Indirect Functional Index (IFI) from the PDI. Results obtained for the PCI are then applied to the Upper Guil catchment and compared to those obtained with the PDI.

2 Study area

The area of interest is the Upper Guil catchment, a 366 km^2 area covering six small municipalities (<400 inhabitants): Ristolas, Abriès, Aiguilles, Château-Ville-Vieille, Molines-en-Queyras and St-Véran. It broadly corresponds to the historic territory of Queyras, a landlocked area located in the Hautes-Alpes French department, near the Italian border (Fig. 1). The altitude ranges from 1200 m a.s.l. at the outflow of the River Guil to over 3300 m a.s.l. along the highest summits surrounding the catchment.

2.1 Physical context

Due to some predisposing (schist bedrock supplying abundant debris, structural opposite slopes, strong hillslope channel connectivity) and triggering (summer and winter Mediterranean rainstorms) factors, the Upper Guil catchment is particularly prone to hydrogeomorphic hazards such as torrential floods, debris flows, landslides, rockfalls or avalanches (Fort et al., 2002, 2014; Arnaud-Fassetta et al., 2004, 2005, 2014). These hazards frequently impact the local population (fatalities, destruction of buildings and infrastructure, loss of agricultural land, road closures) causing difficulties for local managers, who also have to cope with the legislation and management procedures of the *Parc Naturel Régional du Queyras* (PNRQ) (Arnaud-Fassetta et al., 2004, 2005). Most catastrophic episodes are related to torrential floods as in 1957, 2000, 2002, 2008 and 2011 (PNRQ, 2016). The two main events described in the literature took place in June 1957 (>100 year RI, EUR 15 million damage) and June 2000 (30 year RI, ≈ EUR 5 million damage) (Arnaud-Fassetta et al., 2004; Tricart, 1958). These catastrophic episodes have severely impacted the mentalities and entailed considerable expenses in terms of risk management and protective structures (dykes, embankments, thresholds, etc.) (Fig. 2). Due to the obsolescence of protective measures and local planner requirements in new studies, it was necessary to assess vulnerability in this area.

2.2 Socio-economic context

Today, the area counts 1770 inhabitants (INSEE, 2012), making it one of France's less densely populated districts (<5 inhabitants by km^2). However, during the peak of the touristic season (summer and winter holidays), the resident population can be multiplied by a factor of 10 (INSEE, 2008). Since the second half of the 20th century, Alpine territories have experienced significant changes on their land cover/uses and economic activities (Fuchs et al., 2013). In the Queyras, the progressive decline of agro-pastoralism and the development of skiing tourism activities led to a concentration of human stakeholders in areas that are particularly exposed to several natural hazards (torrential fans and valley bottom). The current land cover/use is the result of a combination of these important changes in human activities together with the impacts of past catastrophic events. Actually, land cover classes are 29 % forest, around 30 % bare rocks and alluvial deposits, 38 % grassland, 3 % agricultural lands and less than 1 % building areas. Apart from houses, major stakeholders are public and administrative services (city hall, schools, hospital, fire station, etc.), industrial and artisanal warehouses and, of course, touristic infrastructure (shops, hotels, museum, ski resorts, etc.). The departmental road (D947) is the most important lifeline ensuring the link with the nearest urban centres (Guillestre, Embrun, Gap). These relatively recent stakeholders are mostly located in areas exposed to natural hazards (Arnaud-Fassetta et al., 2004).

3 Methods and data

PCI is used to assess the physical and social consequences of a hazard on elements at risk (people, buildings, networks and land cover/uses). It consists of an upgrade of the PDI developed by Puissant et al. (2006, 2013). To better understand the method, we will first describe the PDI methodology and then take a look at the upgrade used to obtain the PCI.

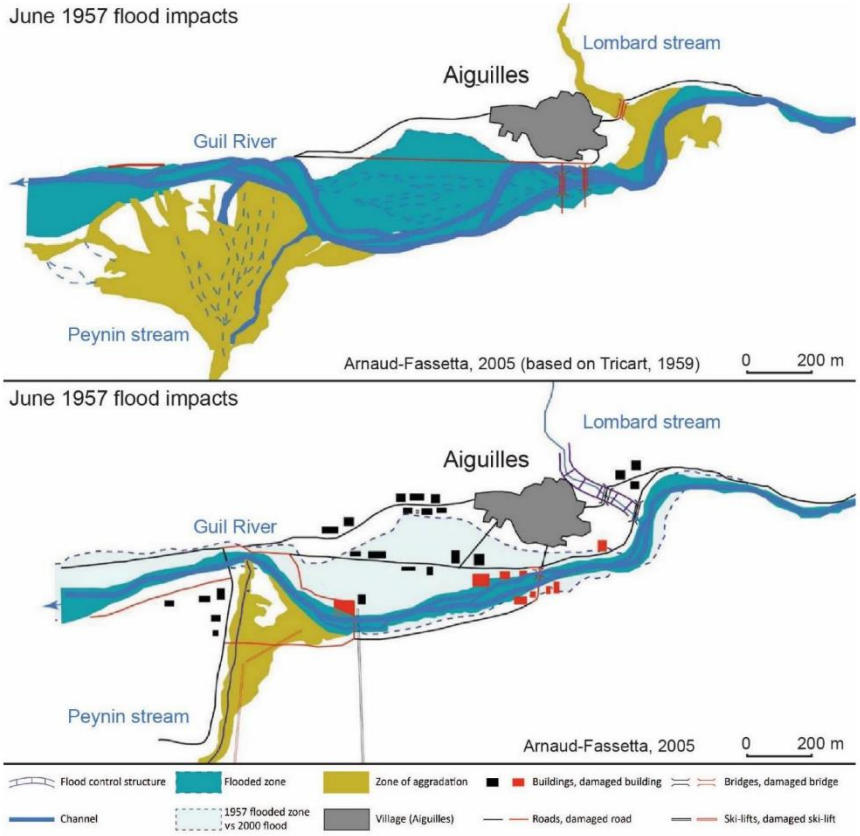


Figure 2. Impacts of the June 1957 and June 2000 floods on the village of Aiguilles.

3.1 General framework of the Potential Damage Index (PDI)

The PDI methodology is indicator oriented. To be used in practice, it is based on the use of commercial databases, aerial imagery and GIS technologies. In the PDI, consequences are expressed in a semi-quantitative way through an index called Total Consequences Index (CTI). CTI is obtained by combining three sub-indices representing the direct and indirect consequences of a hazard on elements at risk (Fig. 3): (1) the PII represents the consequences on people in their physical integrity, (2) the direct SFI expresses the direct and short-term effects on buildings, infrastructure and human activities, and (3) the IFI illustrates the long-term effects on socio-economic activities (Puissant et al., 2013). To obtain these indices and compute the TCI, three steps are required (Puissant et al., 2006). First, the element at risk and its relevant attribute are identified and compiled into a complete database. Then, each modality of the attribute compiled is ranked through an expert weighting (Fig. 3 and Table 1). The value applied is called the Damage Index (di). It is standardised on a scale from zero to one, with higher index values indicating higher potential consequences (Table 1). In the third step, direct (PII and SFI) and indirect (IFI) consequences are modelled using a linear combination. In this step, a coefficient is assigned to each variable with respect to the socio-economic context of the region and the type of consequence assessed (direct or indirect) (Fig. 3 and Table 1). The coefficient, called the local index (L_i) varies from 1 to 4. To finish, the three sub-indices are combined to obtain the PDI. In order to be used in a risk analysis, PDI is reclassified in five classes and mapped. With a matrix, PDI map is then combined with a hazard map (reclassified in five classes as well) to obtain a type 1957 flood risk map (Table 2). As support for this work, data sets from *Institut National de l'Information Géographique et forestière* (IGN BD ORTHO/BD TOPO, 2009) were used. To complete our database, an intensive field investigation was carried out in association with the use of Google Street View® and OpenStreetMap® software. Land cover and land uses maps were produced on GIS by combining photo interpretative work with data on natural protected areas (DREAL PACA, 2016), agricultural

Table 1. Detail of weights assigned to the criteria used in PDI calculation.

EaR – A	Building material	ID	$I_{L-\mathrm{PIC}}$	$I_{L-\mathrm{SFC}}$	$I_{L-\mathrm{IFC}}$
A1	Wood	1.00			
A2	Concrete	0.80			
A3	Mixture (wood and concrete)	0.80	2	2	2
A4	Stone and wood (traditional)	0.60			
A5	Metal	0.40			
Ear – B	**Building state**	**ID**	$I_{L-\mathrm{PIC}}$	$I_{L-\mathrm{SFC}}$	$I_{L-\mathrm{IFC}}$
B1	Good	1.00			
B2	Moderate	0.70	2	2	n/a
B3	Bad	0.30			
B4	Very bad (ruin)	0.10			
Ear – C	**Building age**	**ID**	$I_{L-\mathrm{PIC}}$	$I_{L-\mathrm{SFC}}$	$I_{L-\mathrm{IFC}}$
C1	>2010	0.80			
C2	2000–2010	1.00			
C3	1990–2000	1.00			
C4	1970–1990	0.90	2	2	n/a
C5	1950–1970	0.70			
C6	1900–1950	0.50			
C7	<1900	0.30			
Ear – D	**Building function**	**ID**	$I_{L-\mathrm{PIC}}$	$I_{L-\mathrm{SFC}}$	$I_{L-\mathrm{IFC}}$
D1	Education	1.00			
D2	Emergency	1.00			
D3	Public administration	0.90			
D4	Tourism	0.80			
D5	Trade	0.80	2	3	3
D6	Accommodation	0.80			
D7	Industry/craft	0.70			
D8	Agricultural	0.40			
D9	Religious	0.20			
Ear – E	**Building type**	**ID**	$I_{L-\mathrm{PIC}}$	$I_{L-\mathrm{SFC}}$	$I_{L-\mathrm{IFC}}$
E1	Sensitive (city hall, hospital, fire station)	1.00			
E2	Housing	0.90			
E3	Tourism activity	0.70	1	1	n/a
E4	Shed and warehouse	0.50			
E5	Cultural heritage	0.30			
E6	Hut	0.10			

EaR – F	Occupied floors	ID	$I_{L-\mathrm{PIC}}$	$I_{L-\mathrm{SFC}}$	$I_{L-\mathrm{IFC}}$
F1	>6	1.00			
F2	4–6	0.80			
F3	2–3	0.60	3	n/a	n/a
F4	1	0.40			
F5	0	0.10			
EaR – G	**Opening on endangered facade**	**ID**	$I_{L-\mathrm{PIC}}$	$I_{L-\mathrm{SFC}}$	$I_{L-\mathrm{IFC}}$
G1	>6 (or glass wall)	1.00			
G2	4–6	0.80	2	1	n/a
G3	1–3	0.60			
G4	Absence	0.10			
EaR – H	**Building in area affected by flood**	**ID**	$I_{L-\mathrm{PIC}}$	$I_{L-\mathrm{SFC}}$	$I_{L-\mathrm{IFC}}$
H1	RI = 10 and RI = 30–50 and RI = 100 and RI > 100 flood	1.00			
H2	RI = 30–50 and RI = 100 and RI > 100 flood	0.80	3	3	3
H3	RI = 100 and RI > 100 flood	0.60			
H4	RI > 100 flood	0.40			
H5	Absence	0.10			
EaR – I	**Transport and energy systems**	**ID**	$I_{L-\mathrm{PIC}}$	$I_{L-\mathrm{SFC}}$	$I_{L-\mathrm{IFC}}$
I1	High-voltage line	1.00			
I2	Main road	1.00			
I3	Secondary road	0.80	n/a	2	4
I4	Ski lift	0.70			
I5	Gravel road	0.50			
I6	Track	0.10			
EaR – J	**Land cover**	**ID**	$I_{L-\mathrm{PIC}}$	$I_{L-\mathrm{SFC}}$	$I_{L-\mathrm{IFC}}$
J1	Urban	0.60			
J2	Farming/pasture	0.35			
J3	Forest	0.20	n/a	2	n/a
J4	Grass	0.15			
J5	Water surface	0.10			
J6	Bare rock, colluvium and alluvium	0.05			
EaR – K	**Land use**	**ID**	$I_{L-\mathrm{PIC}}$	$I_{L-\mathrm{SFC}}$	$I_{L-\mathrm{IFC}}$
K1	Urban	1.00			
K2	Winter tourist activities	0.80			
K3	Summer tourist activities	0.60	n/a	4	n/a
K4	Arable land	0.40			
K5	Protected area	0.20			

land (PRG, 2012) and touristic infrastructure (prospectuses, touristic maps, etc.).

3.2 General framework of the Potential Consequences Index (PCI)

In the proposed PCI, PDI methodology has been modified to assess both physical and social consequences. The upgrade consists of the addition of a fourth sub-index in the calculation of the TCI (Fig. 3). This sub-index, called the SCI, is built to represent the social consequences of a hazard on community resilience. The use of an indicator to assess social consequences requires the selection of specific criteria that unequivocally represent the different aspects of social vulnerability (Cutter et al., 2003; Rygel et al., 2006). Literature on vulnerability identifies many elements that contribute to different abilities to cope with hazards (Table 3). Today, the majority of the analyses produced use data from national census to build social vulnerability indices (Cutter et al., 2000, 2008; Wu et al., 2002; Chakraborty et al., 2005; Fekete, 2009; Guillard-Gonçalves et al., 2014, Zhang and You, 2014; Huang et al., 2015; Koks et al., 2015; Nelson et al., 2015; Frigerio et al., 2016; Karagiorgos et al., 2016; Rogelis et al., 2016; Aroca-Jimenez et al., 2017; Heß, 2017). Some indicators repeatedly appear in these analyses such as poverty, age, education or disabilities (Table 3). In agreement with these

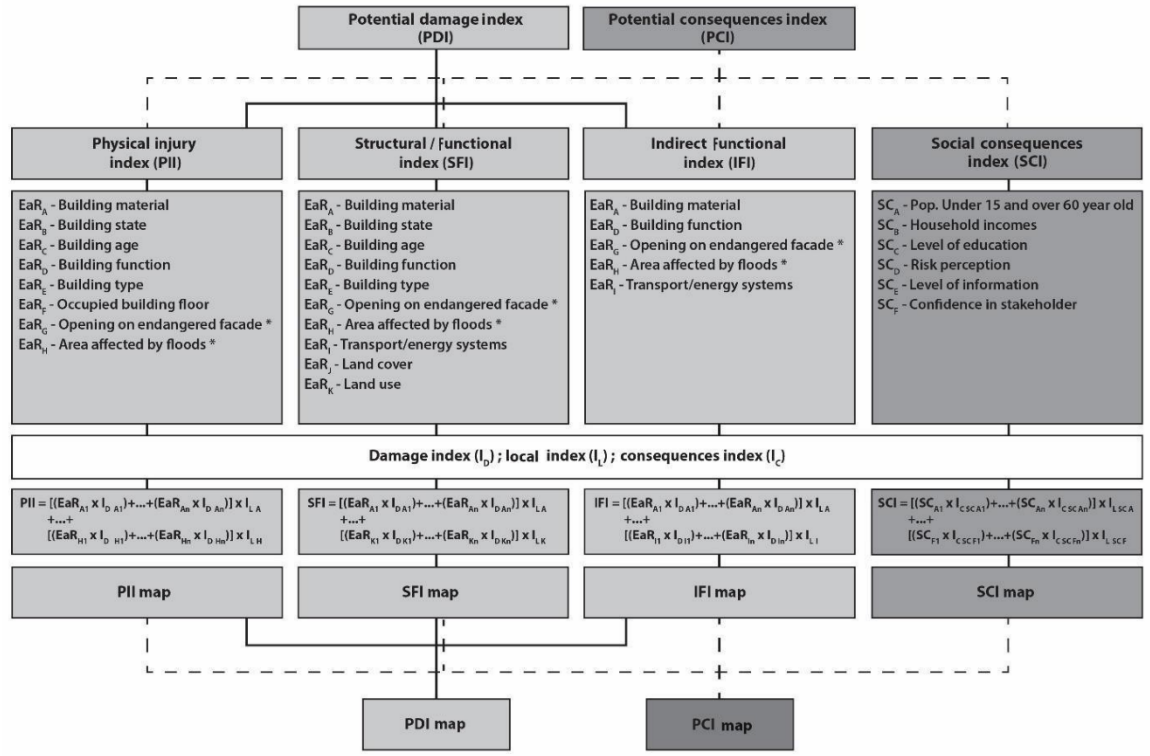


Figure 3. Framework of the Potential Damage Index (PDI) compared to the Potential Consequences Index (PCI).

Table 2. Matrix used to combine hazard exposure with PDI and PCI.

		Hazard exposure				
		1	2	3	4	5
Consequences	10	11	12	13	14	15
	20	21	22	23	24	25
	30	31	32	33	34	35
	40	41	42	43	44	45
	50	51	52	53	54	55

existing published references, socio-economic data were collected for the six municipalities of the Upper Guil catchment. A set of 21 criteria was first selected (Table 4). Sixteen of them come from the open-access French national statistical database of the *Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques* (INSEE) (INSEE, 2006, 2012, 2015). Five others were selected in a risk-perception survey taken during the SAMCO project. This survey consisted in a questionnaire (38 questions) carried out during autumn 2014 and summer 2015 and 2016 on the six municipalities of the Upper Guil catchment (Fig. 1). It is focused on three main issues: (1) inhabitant perception of the different risks (torrential floods, avalanches, landslides and rockfalls), (2) inhabitant knowledge of preventive and protective measures and (3) inhabitant confidence in stakeholders. A hundred questionnaires were collected (about 5 % of the total population): 8 in Ristolas (10.53 %), 22 in Abriès (6.85 %), 22 in Aiguilles (4.95 %), 16 in Château-Ville-Vieille (4.58 %), 17 in Molines-en-Queyras (5.45 %) and 15 in St-Véran (5.86 %). People were interviewed in-person or by paper questionnaires that were delivered and recovered in person. Special attention was given to a representative view of the socio-economic characteristics of the local population. Indeed, in the second and third campaigns, the surveyed people were selected for their demographic and socio-economic characteristics according to INSEE census data (INSEE, 2012, 2015).

To reduce the number of variables and avoid useless repetition we performed a principal component analysis (PCA) on our data set. We conserved only the criteria containing the highest percentage of information on axis F1 and F2 (Fig. 4). There were six: (1) age, (2) household income, (3) level of education, (4) flood risk perception, (5) level of information

Table 3. Synthesis of the criteria usually used for the social vulnerability assessment.

Criteria/authors	Clark et al. (1998)	Cutter et al. (2003)	Fekete (2009)	Flanagan et al. (2012)	Guillard-Goncalves et al. (2014)	Zhang and You (2014)	Chang et al. (2015)	Huang et al. (2015)	Koks et al. (2015)	Nelson et al. (2015)	Frigerio et al. (2016)	Karagiorgos et al. (2016)	Rogelis et al. (2016)	Armas et al. (2017)	Aroca-Jimenez (2017)	Heß (2017)	Total
Age	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	16
Education level	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	14
Employment	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X		14
Special need population	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	X		13
Income	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X			X	12
Gender	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X	X		X	11
Race and ethnicity	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X						10
Family structure	X	X			X			X	X	X	X	X		X			9
Medical service		X	X		X	X		X		X	X		X		X		9
Population (number or density)			X		X		X		X		X			X	X	X	8
Mobility	X			X		X	X	X		X	X						7
Equipment	X	X		X	X	X		X							X		7
Recent arrival	X		X					X		X					X	X	6
Employment in primary sector	X				X	X	X	X									5
Owner/Tenant		X			X							X		X			4
Municipality budget			X			X									X		3

Table 4. First set of criteria selected for the calculation of SCI and their impacts on social vulnerability.

Variable	Increase (+) or decrease (−) in social vulnerability if high
Percent of children 15 and under	+
Percent of population 60 years or older	+
Population density (inhabitants/km^2)	+
Percent of unemployed people	+
Percent of population with high socio-economic status*	−
Percent of population employed in primary sector	+
Percent of household with no vehicle available	+
Household income/average national household income	−
Percent of population which is mentally disabled	+
Percent of foreign population	+
Percent of population with no high diploma (> BAC)	+
Percent of single-parent families	+
Percent of principal residence	−
Percent of the population that moved in less than 2 years ago	+
Distance to nearest medical centre (in decimal hour)	−
Communities financial solvency (cash flow = operating charges − debt annuity / income)	+
Percent of IP who never experienced a catastrophic event**	+
Percent of IP considering flood risk as low**	+
Percent of IP considering themselves as insufficiently informed on risk**	−
Percent of IP who responded not knowing what to do if a catastrophic event occurs**	+
Percent of IP who have no confidence in local planners**	+

IP: investigated population. *Artisants, Commerçants et Chefs d'Entreprise ou Cadres et Professions Intellectuelle Supérieur. **Data from SAMCO risk-perception survey.

on flood risk and (6) confidence in stakeholders (Fig. 4). With respect to PDI methodology, the modalities of the six selected criteria were ranked and a value of 0 to 1 was assigned to them (Table 5). In PCI methodology the term of the consequence index (ci) is preferred to the damage index (id) from PDI. A local index (il) is then assigned to the six criteria with respect to their relative importance in the PCA produced. SCI is calculated using linear combinations on GIS (raster calculator tool on ArcGIS) and applied to each building of the six studied municipalities. Due to the lack of data on a building scale, SCI is equally applied for all the buildings of a same community. The PCI is then calculated by adding the index scores of the four sub-indices (SCI, PII, SFI and IFI) (Fig. 3). PCI is finally reclassified in five classes and mapped. Using a matrix, PCI map is combined with a flood hazard map (in five classes) to obtain a type 1957 flood risk map (Table 2).

3.3 Flood hazard mapping

Several hazard maps were produced in the SAMCO project. To focus on the new method found to assess physical and social consequences, a single scenario of flooding is considered in this paper. The selected scenario represents a flood type 1957 (RI > 100 years). We voluntarily selected a scenario with the more important spatial extent to highlight the differences between the PDI and the PCI. The type 1957 flood map was made using the hydraulic modelling software HecRAS®. Fifteen cross sections representing a linear stream of 58.2 km were characterised (Table 6). Due to the lack of accurate data for all the streams of the subcatchment, only eight of them were taken into account in our model (Table 6). Geometry (stream, river banks and flood plains) was extracted from a DEM (digital elevation model) at 1 m resolution. This DEM was produced with lidar data provided by the Regional Natural Park of Queyras (PNRQ). Flooded surfaces (extent, depth, speed) were extrapolated using 371 sections, extracted from our DEM. To take into account the protection along the reaches, dykes and artificial channels were incorporated into the model. The generated flooded surface has an extension of 2.88 km^2. This envelope provides a good overview of the water flows and allows a quick and clear visualisation of the potentially flooded areas. The flood map used in this paper was reclassified into five classes considering water elevation (Fig. 5).

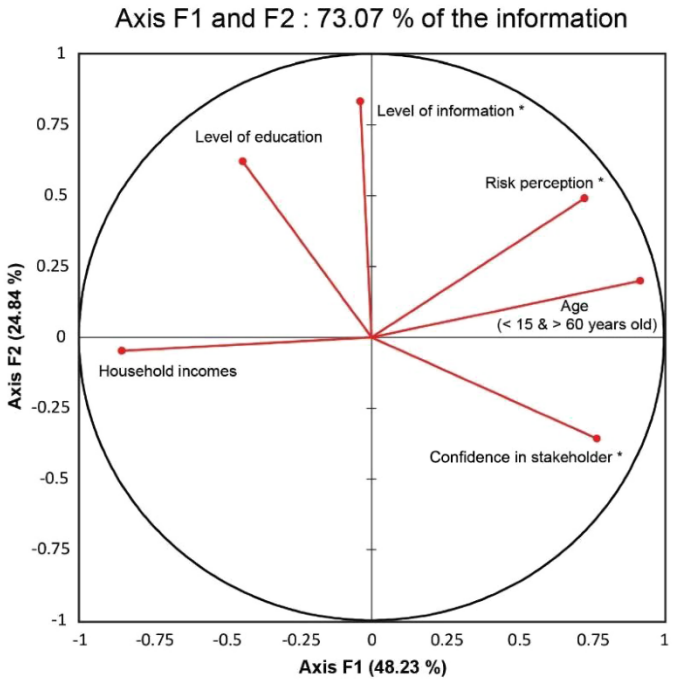
4 Results

Using the methods previously described, PDI and PCI were calculated and mapped for the six municipalities of the Upper Guil catchment. The distribution of the values calculated

Table 5. Details of weights assigned to the criteria used in SCI calculation. Criteria with an * are those derived from the risk-perception survey.

SC – A	Population under 15 and over 60 years old Population under 15 or over 60 years old (in %)	$I_{C-\mathrm{SC}}$	$I_{L-\mathrm{SC}}$
SC – A1	More than 50 %	1.00	
SC – A2	45 to 50 %	0.80	
SC – A3	40 to 45 %	0.60	2
SC – A4	35 to 40 %	0.40	
SC – A5	Less than 35 %	0.10	
SC – B	Household income Household income/average national household income (in %)	$I_{C-\mathrm{SC}}$	$I_{L-\mathrm{SC}}$
SC – B1	Less than 60 %	1.00	
SC – B2	60 to 70 %	0.80	
SC – B3	70 to 80 %	0.60	2
SC – B4	80 to 90 %	0.40	
SC – B5	90 to 100 %	0.10	
SC – C	Level of education Population with no high diploma (> BAC) (in %)	$I_{C-\mathrm{SC}}$	$I_{L-\mathrm{SC}}$
SC – C1	75 to 100 %	1	
SC – C2	50 to 75 %	0.7	2
SC – C3	25 to 50 %	0.4	
SC – C4	Less than 25 %	0.1	
SC – D	Risk perception Investigated population considering flood risk as low* (in %)	$I_{C-\mathrm{SC}}$	$I_{L-\mathrm{SC}}$
SC – D1	75 to 100 %	1.00	
SC – D2	50 to 75 %	0.80	
SC – D3	25 to 50 %	0.60	2
SC – D4	10 to 25 %	0.40	
SC – D5	Less than 10 %	0.10	
SC – E	Level of information Investigated population considering themselves as insufficiently informed on risk* (in %)	$I_{C-\mathrm{SC}}$	$I_{L-\mathrm{SC}}$
SC – E1	75 to 100 %	1.00	
SC – E2	50 to 75 %	0.80	
SC – E3	25 to 50 %	0.60	2
SC – E4	10 to 25 %	0.40	
SC – E5	Less than 10 %	0.10	
SC – F	Confidence in stakeholder Investigated population who have not confidence in local planers* (in %)	$I_{C-\mathrm{SC}}$	$I_{L-\mathrm{SC}}$
SC – F1	75 to 100 %	1.00	
SC – F2	50 to 75 %	0.80	
SC – F3	25 to 50 %	0.60	2
SC – F4	10 to 25 %	0.40	
SC – F5	Less than 10 %	0.10	

*Data from SAMCO risk-perception survey.



Social consequences (SC) variables	Contribution of SC variables on axis F1 (in %):	Contribution of SC variables on axis F2 (in %):
SC - A: Age (under 15 and over 60 years old)	29.190	2.671
SC - B: Household incomes	25.197	0.153
SC - C: Level of education	6.691	25.876
SC - D: Risk perception *	18.326	16.163
SC - E: Level of information *	0.052	46.537
SC - F: Confidence in stakeholders *	20.544	8.600

Figure 4. Principal component analysis (PCA) and criteria selected for the SCI calculation.

for both PDI and PCI are symmetric. As a consequence we chose to classify all the maps in five classes using averaging and standard deviation. To get a better understanding, PDI results are described before PCI results. Then, a complete comparison between PDI and PCI results is proposed. To highlight differences between the two models, networks and land cover/uses are ignored in this part of the analysis.

4.1 Description of the PDI results

The PDI map for flooding is obtained for the Upper Guil catchment by summing the direct PII, SFI and IFI (Fig. 3). CTI scores for buildings ranging between 8.9 and 34.8 (mean: 24.5) (Fig. 7a, b and c). For the sub-indices, the highest scores are generally observed for the PII (mean: 10.9) and the lowest for the Socio-Economic Index (mean: 4.1). SFI scores are the average of them (mean: 9.5). Close-up of Aiguilles, Abriès and Ristolas villages are shown in Fig. 6a, b and c. The produced map displays a majority of buildings with moderate to high scores of total potential consequences for the all studied communities. Buildings with the highest scores are mainly located in the vicinity of the Guil River or one of its main tributaries (Fig. 6a, b and c). Major stakeholders such as rescue centres (hospital, fire station, etc.), town halls and schools are also classified with a high degree of potential consequences. This is due to their important function in local life. Conversely, churches, sheds and warehouses have a low degree of potential consequences. In town centres, buildings with trading or touristic functions are generally in the "high" consequence class, whereas those which only have a housing function are classified as "moderate". Sparse housing areas (mostly located on the heights) have a high degree of total potential consequences because they were not constructed to resist floods (large opening on ground floor, less resistant building materials, etc.). In most cases, these houses have virtually no chance of being im-

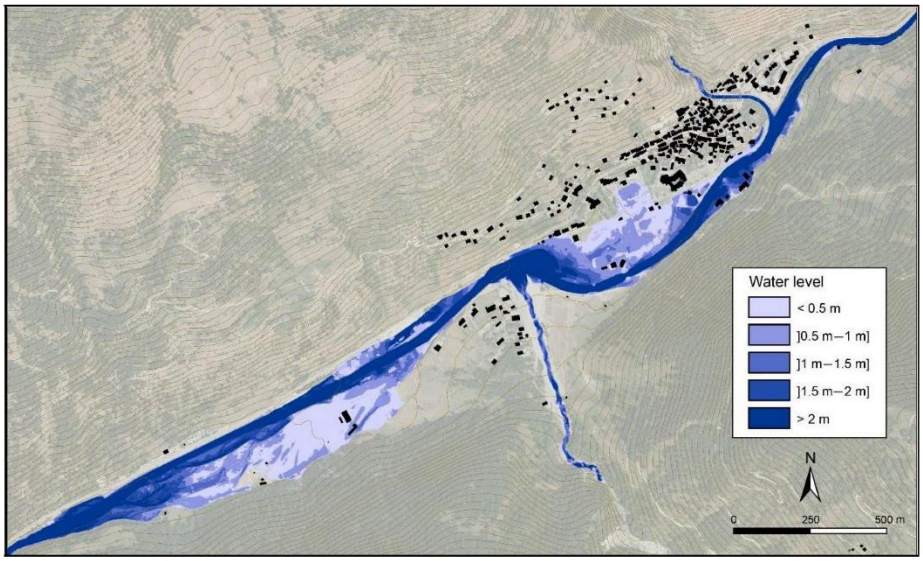


Figure 5. Close-up of type 1957 flood map produced for the village of Aiguilles.

Table 6. Additional information on the hydrological model produced with HecRAS® software.

Reach	Reach description	Length (in m)	Cross section (nb)	Flow type 1957 (in $m^3 s^{-1}$)
T1	Guil River, upstream of the confluence with the Ségure torrent	11.30	50	180
T2	Ségure torrent	1.29	17	89
T3	Guil River, upstream of the confluence with the Bouchet Torrent	3.05	17	269
T4	Bouchet torrent, upstream of the confluence with the Montette torrent	3.15	42	30
T5	Montette torrent	0.48	8	30
T6	Bouchet torrent, upstream of the confluence with the Guil River	3.31	20	160
T7	Guil River, upstream of the confluence with the Lombard torrent	4.54	23	429
T8	Lombard torrent	0.52	16	50
T9	Guil River, upstream of the confluence with the Peynin torrent	1.09	11	479
T10	Peynin torrent	0.90	24	5
T11	Guil River, upstream of the confluence with the Aigues torrent	4.10	23	534
T12	Aigue Agnelle torrent	5.10	26	136
T13	Aigue Blanche torrent	5.18	26	103
T14	Aigues torrent, downstream to the confluence between the 2 Aigues torrents	5.43	37	239
T15	Guil River, downstream the confluence with the Aigues torrent	8.84	21	773

pacted by a flood because they are located away from the torrential streams.

4.2 Description of the PCI results

The PCI is obtained by summing the direct PII, the direct SFI, the IFI and the new SCI (Fig. 3). PCI scores calculated for building range from 14.7 to 44 (mean: 31.8) (Fig. 7d, e and f). SCI scores calculated for the six municipalities ranged between 5.2 and 9.2 (mean: 7.2) (Table 7). They are in the same order of magnitude than those of the three other indices used in PCI calculation (PII, SFI and IFI). The PCI map produced for the Upper Guil catchment displays a majority of buildings classified with moderate degree of total potential consequences. (Fig. 6d, e, f). At the community level, buildings classified with high or very high degree of potential consequences are mainly located near the Guil River or one of its main tributaries. Collective housing and major stakeholders (hospital, town halls, schools, etc.) are generally classified with higher potential consequences (Fig. 6d, e,

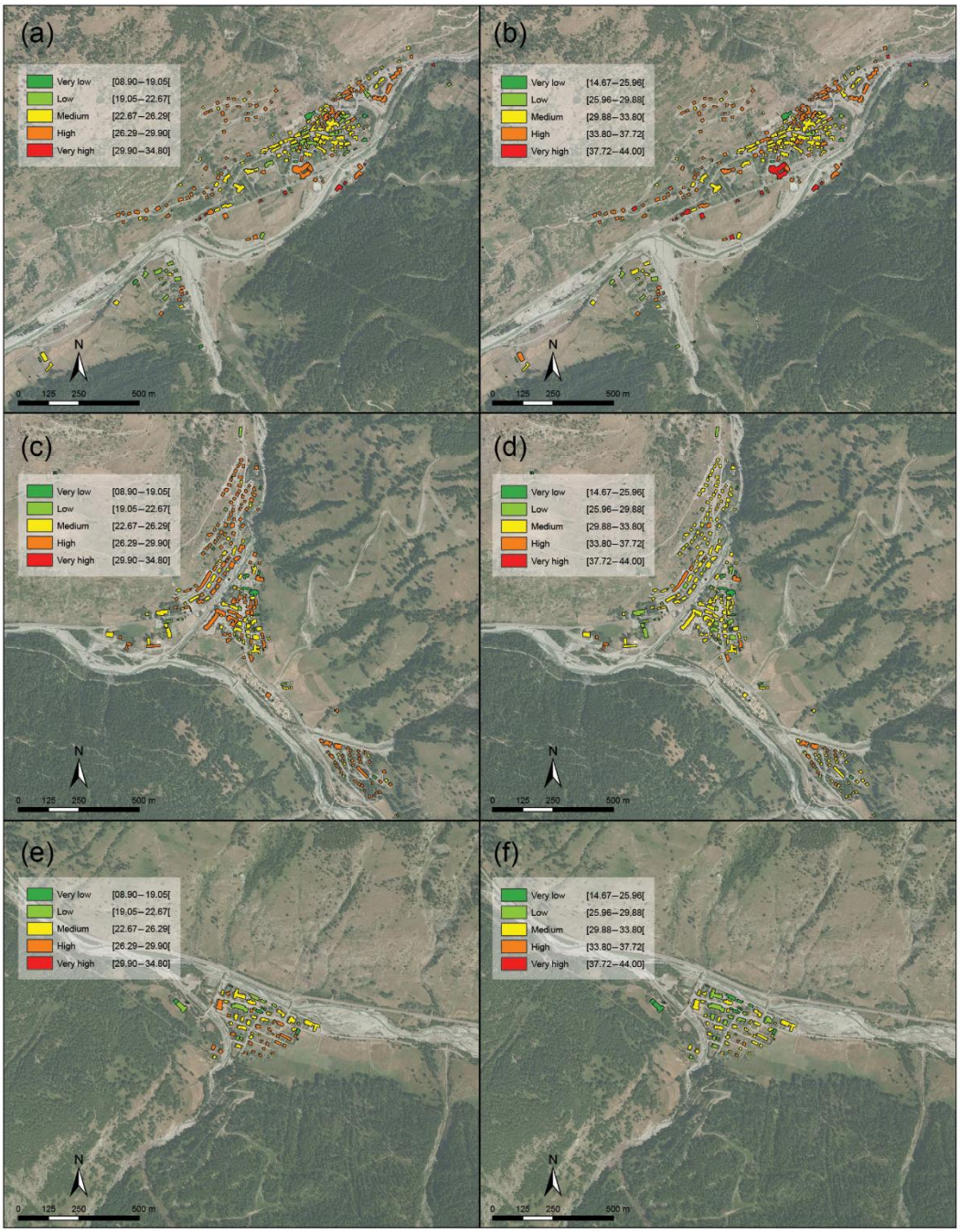


Figure 6. Comparison between PDI and PCI maps. **(a)** Close-up of PDI map produced for the village of Aiguilles; **(b)** close-up of PDI map produced for the village of Abriès; **(c)** close-up of PDI map produced for the village of Ristolas; **(d)** close-up of PCI map produced for Aiguilles; **(e)** close-up of PCI map produced for Abriès **(f)** close-up of PCI map produced for Ristolas.

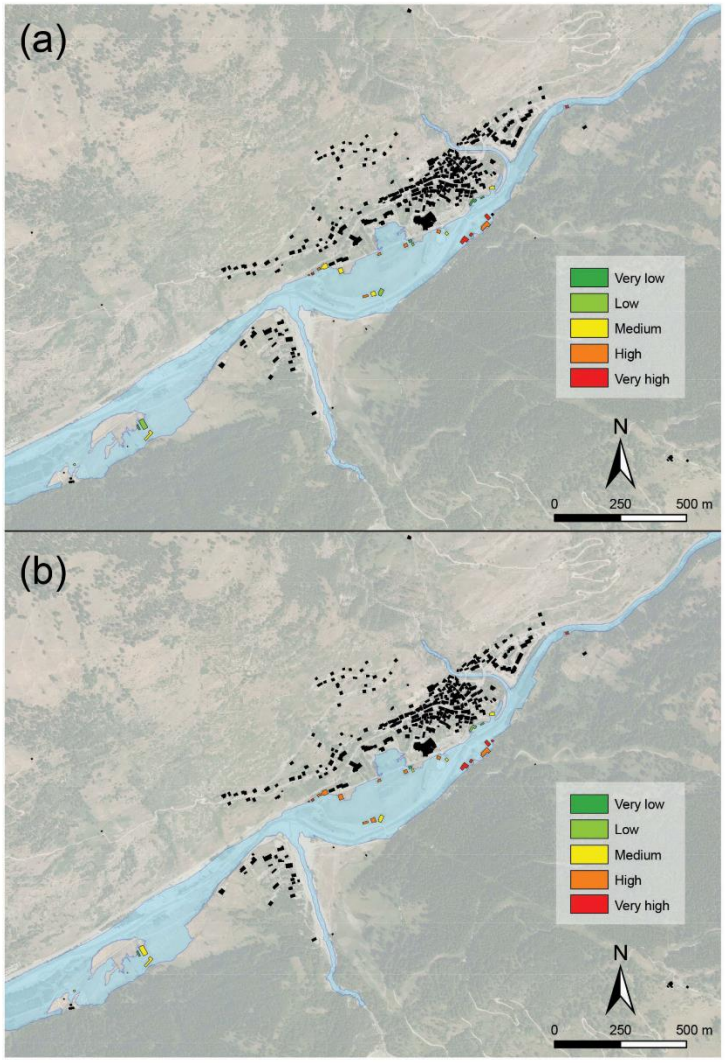


Figure 7. Comparison between type 1957 flood risk maps produced using PDI and those using PCI. **(a)** Flood risk map produced using PDI. **(b)** Flood risk map produced using PCI.

f) than individual housing. In most cases, churches, sheds and warehouses are classified with a low or very low degree of potential consequences. Despite these general tendencies, we observe differences from one community to another. At the Upper Guil catchment level, the studied communities can be divided into three groups (Fig. 6 and Table 7). The first group is made up of communities with a large number of buildings classified with a high and very high degree of total potential consequences: Aiguilles and Saint Véran. A second one is formed by communities with most of their buildings being classified with moderate potential consequences: Château-Ville-Vieille and Molines-en-Queyras. The third group is composed of communities with buildings classified with low to moderate total potential consequences: Abriès and Ristolas. These differences between communities are directly related to SCI scores. The comparison between Ristolas and Aiguilles communities speaks for itself (Fig. 6d, f). The Ristolas community has the lowest SCI score (Table 7). People living here have a good perception of flood-related risks, indicating a high level of preparedness. They have confidence in local managers and there are only a few dependent people (children or elderly people) to care for when an unexpected situation arises. This suggests a high capacity to react when confronted to a catastrophic episode.

In addition, they are globally wealthier than the other studied communities. They theoretically have a better ability to quickly recover after a material loss. By contrast, the Aiguilles community has high CTI and SCI scores indicating a lower ability to cope with hazards (Table 7). Compared to other communities, Aiguilles have more dependant people to care for. In addition, people have a lack of information on flood risks and tend to underestimate the danger represented by floods. Aiguilles citizens earn less and have less confidence in their local managers. In the case of Ristolas, CSI tends to reduce the total potential consequences, contrary to Aiguilles. In other words, a community with a resilient population can qualify results obtained for physical consequences.

4.3 Comparison between PDI and PCI maps

The PCI is developed as an upgrade of the PDI method. As a consequence, we can observe some similarities between PDI and PCI maps produced (Fig. 6). In most cases, buildings classified with the highest level of potential consequences are buildings considered essential in local life (city hall, hospital, police and fire stations, etc.). In both maps, buildings located in a previously inundated area are also classified with a high degree of total potential consequences (Fig. 6a, b, d, e). Likewise, buildings classified with low or very low potential consequences are generally buildings with no essential function in local life like churches, sheds, warehouses or empty buildings. Moreover, buildings constructed in the last 20 years (mostly individual housing) generally have a higher degree of potential consequences than older buildings. With the PCI method, the influence of the physical consequences indices (PII, SFI and IFI) is thus globally preserved at the community level. The introduction of SCI allows us to qualify the total potential consequences of the elements at risk with regard to the ability of each community to cope with hazards. Ristolas and Abriès have low SCI scores. Floods will have less of an impact on these communities. As a result, elements at risk are classified with lower total potential consequences in comparison with PDI. By contrast Aiguilles and Saint Véran communities have high SCI scores indicating a low ability to cope with hazards. The buildings of these two communities are thus classified with higher total potential consequences in the PCI map and higher potential risk in the risk map produced (Fig. 7). As SCI is equally applied to all the buildings of a community, it tends to homogenise PCI scores at the community level. In comparison with the PDI map, the minimum score values are uplifted, resulting in a partial loss of information. This is particularly true in the communities with the highest SCI scores (Aiguilles and Saint-Véran). This partial loss has, however, a positive impact on the readability of the maps. The global level of potential consequences of each community is evident and allows us to compare each community with one another. This is not so clear with the PDI method. In addition, the smoothing of the results tends to highlight the most vulnerable stakeholders. As a result, the PCI map is easier to understand for local managers than the PDI map.

5 Conclusions and perspectives

In the present paper we explored the possibility to assess the physical and the social vulnerability together through an indicator-based method. To perform this study, we opted for an upgrade of the PDI method, which was originally developed to assess the physical consequences of defined hazards on elements at risk. After an intensive review of the existing published reference on social vulnerability we selected six criteria derived from national French census data and a risk perception survey carried out in the field. These criteria were combined to produce a new sub-index representing the ability of communities to cope with hazards. The new Social Consequence Index was integrated into the PDI methodology to obtain the PCI. The PCI is then tested on the six municipalities of the Upper Guil catchment to assess the potential consequences of a high-magnitude flood event on elements at risk (RI > 100 years).

The upgrade to the PDI method provides many benefits. First, the new SCI introduces criteria providing information on the three phases of risk management: preparedness, crisis management and recovery. By using data derived from a survey, the PCI method also displays information on the perception of the inhabitants regarding risk management. The introduction of elements from social vulnerability thus adds an extra dimension to the total consequence map. It allows us to qualify the potential physical consequences (physical injury, structural and functional consequences) on element at risk considering the global resilience of local communities. Then, with the PCI method the level of potential consequences of each community is clearly displayed and the most vulnerable elements at risks are easy to identify. Therefore, the PCI method allows us to quickly compare communities in their ability to cope with hazards. The PCI map is consequently easily understood by risk managers or local decision makers and will help them set up adapted mitigation measures in the most vulnerable areas. Another benefit of the method results in the data used. Because it is mostly based on national data, it is easy to transpose to other places.

The main limitation of the PCI method is that a unique value of the SCI is applied to the overall building of a community. By proceeding so, SCI tends to homogenise PCI by uplifting minimum values. For the communities with high SCI scores, this may simplify the information displayed. This scaling issue can imply a loss of information, which may affect the distribution of PCI scores, and thus, the choices in mapping classes. The amount of data required to perform this kind of analysis represents another limit. The method is based on the utilisation of many different criteria. Collecting them requires consequent fieldwork and must be time consuming. This is especially true for criteria derived from a risk

Table 7. SCI scores calculated for the six municipalities of the Upper Guil catchment.

Community / SC – Variable	SC – A	SC – B	SC – C	SC – D	SC – E	SC – F	Score obtained for social consequences
Ristolas	0.10	0.10	1.00	0.10	0.60	0.40	5.20
Abriès	0.60	0.40	0.70	0.40	0.10	0.60	5.70
Aiguilles	0.80	0.80	0.70	0.80	0.60	0.60	9.20
Château – Ville-Vieille	0.40	0.40	0.70	0.60	0.40	0.60	6.60
Molines-en-Queyras	0.80	0.40	0.70	0.60	0.60	0.40	7.60
Saint-Véran	0.80	0.40	1.00	1.00	0.60	0.40	9.00

perception survey. Consequently, the use of the PCI model on a large scale will be quite difficult.

Some elements which may improve the PCI model will be investigated in future work. First of all, we will expand the scale of our study by including other communities of the southern French Alps studied in the SAMCO project. Located in the Ubaye valley, near our study area, these communities display similar physical and socio-economic characteristics. Their inclusion will provide a more representative selection of statistical investigations. Another lead will be an adaptation of the survey protocol in order to get data on a smaller scale such as a district scale. Another solution for increasing precision will be the use of a desegregation model to distribute PCI on a building scale.

The method presented in this paper will be a source of significant progress for vulnerability assessment. By considering the two main components of vulnerability, the physical one and the socio-economic one, this work may be an important tool for local authorities. The PCI will help them to better understand their strengths and weaknesses and will be useful in developing appropriate mitigation measures at local and regional levels.

Data availability. This work was carried out as part of the ANR SAMCO project. The ANR (Agence nationale de la recherche) is a French governmental agency which provides funding for research projects. The data produced are confidential in accordance with the attached ANR Charter. http://www.agence-nationale-recherche.fr/fileadmin/user_upload (Agence National de la Recherche, 2009).

Supplement. The supplement related to this article is available online at: https://doi.org/10.5194/nhess-18-2221-2018-supplement.

Author contributions. BC and AP designed and carried out the experiments. BC developed the model and performed the simulations. BC and CD carried out the questionnaire survey. GAF supervised BC and CD. BC prepared the manuscript with contributions from all co-authors.

Competing interests. The authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgements. This paper is part of a larger research project (SAMCO project ANR-12-SENV-0004.) bringing together research centres (BRGM, IPGS, IRSTEA), laboratories (LIVE-UMR7362, PRODIG-UMR8586, GEODE-UMR5602) and a technologically advanced SME (GEO-HYD) to evaluate mountain risk in a context of global changes (i.e. socio-economic and climatic).

This research is a part of the PhD research work of Benoît Carlier (*Evaluation, cost and management of torrential and gravitational risk in mountainous environment*; defence thesis in 2018).

We would like to thank Bérengère Charnay from the Parc Naturel Régional du Queyras and the municipality councils of Ristolas, Abriès, Aiguilles, Château-Ville-Vieille, Molines-en-Queyras and St Véran for their hospitality, their help and their interest in our works.

Edited by: Sven Fuchs
Reviewed by: two anonymous referees

References

Aitsi-Selmi, A., Egawa, S., Sasaki, H., Wannous, C., and Murray, V.: The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction: Renewing the Global Commitment to People's Resilience, Health, and Well-being, Int. J. Disast. Risk Sc., 6, 164–176, https://doi.org/10.1007/s13753-015-0050-9, 2015.

Alcántara-Ayala, I., Altan, O., Baker, D., Briceño, S., Cutter, S., Gupta, H., Holloway, A., Ismail-Zadeh, A., Jiménez Díaz, V., Johnston, D., McBean, G., Ogawa, Y., Paton, D., Porio, E., Silbereisen, R., Kuniyoshi, T., Valsecchi, G., Vogel, C., Wu, G., and Zhai, P.: Disaster Risks Research and Assessment to Promote Risk Reduction and Management, ICSU-ISSC AD-HOC Group on Disaster Risk Assessment, Paris, ICSU, 12 March 2015, 1–47, available at: https://www.preventionweb.net/files/43219 (last access: 1 July 2018), 2015.

Agence National de la Recherche (ANR): Charte de déontologie, DIR-REG-090309-L-01-01, p. 6, available at: http://www.agence-nationale-recherche.fr/fileadmin/user (last access: 1 July 2018), 2009.

Armas, I. and Gavriş, A.: Social vulnerability assessment using spatial multi-criteria analysis (SEVI model) and the So-

cial Vulnerability Index (SoVI model) – a case study for Bucharest, Romania, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 13, 1481–1499, https://doi.org/10.5194/nhess-13-1481-2013, 2013.

Armas, I., Toma-Danila, D., Ionescu, R., and Gavris, A.: Vulnerability to Earthquake Hazard: Bucharest Case Study, Romania, Int. J. Disast. Risk Sc., 8, 182–195, https://doi.org/10.1007/s13753-017-0132-y, 2017.

Arnaud-Fassetta, G. and Fort, M.: La part respective des facteurs hydro-climatiques et anthropiques dans l'évolution récente (1956–2000) de la bande active du Haut-Guil, Queyras, Alpes françaises du Sud, Géosystèmes méditerranéens et montagnards, Un mélange offert à Maurice Jorda, Méditerranée, 1–2, 143–156, https://doi.org/10.3406/medit.2004.3350, 2004.

Arnaud-Fassetta, G. and Fort, M.: Hydro-bio-morphological changes and control factors of an upper Alpine valley bottom since the mid-19th century, Case study of the Guil River, Durance catchment, southern French Alps, The Little Ice Age in the Mediterranean, Méditerranée, 122, 159–182, https://doi.org/10.4000/mediterranee.7245, 2014.

Arnaud-Fassetta, G., Cossart, E., and Fort, M.: Hydro-geomorphic hazards and impact of man-made structures during the catastrophic flood of June 2000 in the Upper Guil catchment (Queyras, French Alps), Geomorphology, 66, 41–67, https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.03.014, 2005.

Aroca-Jimenez, E., Bodoque, J. M., Garcia, J. A., and Diez-Herrero, A.: Construction of an integrated social vulnerability index in urban areas prone to flash flooding, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 17, 1541–1557, https://doi.org/10.5194/nhess-17-1541-2017, 2017.

Barroca, B., Pottier, N., and Lefort, E.: Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'Orge aval, Septièmes Rencontres de Théo Quant, janvier 2005, 1–12, 2005.

Birkmann, J.: Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies, United Nations Publications, New York, 2, 55–77, 2006.

Birkmann, J., Cardona, O. D., Carreño, M. L., Barbat, A. H., Pelling, M., Schneiderbauer, S., Kienberger, S., Keiler, M., Alexander, D., Zeil, P., and Welle, T.: Framing vulnerability, risk andbsocietal responses: the MOVE framework, Nat. Hazards, 67, 193–211, https://doi.org/10.1007/s11069-013-0558-5, 2013.

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., and Wisner, B.: At Risk: Natural Hazards, Peoples' Vulnerability and Disasters, Routledge, London, p. 134, 1994.

Bründl, M., Romang, H. E., Bischof, N., and Rheinberger, C. M.: The risk concept and its application in natural hazard risk management in Switzerland, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 801–813, https://doi.org/10.5194/nhess-9-801-2009, 2009.

Chakraborty, J., Tobin, G. A., and Montz, B. E.: Population Evacuation: Assessing Spatial Variability in Geophysical Risk and Social Vulnerability to Natural Hazards, Nat. Hazards, 6, 23–33, https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2005)6:1(23), 2005.

Chang, S. E., Yip, J. Z. K., Van Zijll de Jong, S. L., Chaster, R., and Lowcock, A.: Using vulnerability indicators to develop resilience networks: a similarity approach, Nat. Hazards, 78, 1827–1841, https://doi.org/10.1007/s11069-015-1803-x, 2015.

Ciurean, R. L., Schröter, D., and Glade, T.: Conceptual Frameworks of Vulnerability Assessments for Natural Disasters Reduction, in: Approaches to Disaster Management – Examining the Implications of Hazards, Emergencies and Disasters, Social Sciences, edited by: Tiefenbacher, J., 228 pp., https://doi.org/10.5772/55538, 2013.

Clark, G. E., Moser, S. C., Ratick, S. J., Dow, K., Meyer, W. B., Emani, S., Jin, W., Kasperson, J. X., Kasperson, R. E., and Schwarz, H. E.: Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: the case of Revere, MA, USA, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 3, 59–82, https://doi.org/10.1023/A:1009609710795, 1998.

Cutter, L. S. and Finch, C.: Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards, P. Natl. Acad. Sci. USA, 107, 2301–2306, https://doi.org/10.1073/pnas.0710375105, 2008.

Cutter, L. S., Boruff, B. J., and Lynn Shirley, W.: Social Vulnerability to Environmental Hazards, Soc. Sci. Quart., 84, 242–260, https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002, 2003.

DREAL PACA : Reseau Natura 2000 – Documents d'objectifs, http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr (last access: 1 July 2018), 2016.

Ebert, A., Kerle, N., and Stein, A.: Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air- and spaceborne imagery and GIS data, Nat. Hazards, 48, 275–294, https://doi.org/10.1007/s11069-008-9264-0, 2009.

Eidsvig, U. M. K., Kristensen, K., and Vangelsten, B. V.: Assessing the risk posed by natural hazards to infrastructures, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 17, 481–504, https://doi.org/10.5194/nhess-17-481-2017, 2017.

Elsasser, H. and Bürki R.: Climate change as a threat to tourism in the Alps, Clim. Res., 20, 253–257, https://doi.org/10.3354/cr020253, 2002.

Fekete, A.: Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 393–403, https://doi.org/10.5194/nhess-9-393-2009, 2009.

Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., and Savage, W. Z.: Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning, Eng. Geol., 102, 85–89, https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022, 2008.

Flanagan, B. E., Gregory, E. W., Hallisey, E. J., Heitgerd, J. L., and Lewis, B.: A Social Vulnerability Index for Disaster Management, J. Homel. Secur. Emerg., 8, 1547–7355, https://doi.org/10.2202/1547-7355.1792, 2012.

Fort, M., Arnaud-Fassetta, G., Cossart, E., Beaudouin, B., Bourbon, C., Debail, B., and Einhorn, B.: Impacts et signification hydromorphologique de la crue du Guil de juin 2000 (Haut Queyras), Geomorphology: from Expert Opinion to Modelling, A tribute to Professor Jean-Claude Flageollet, Proceedings of the Symposium held in Strasbourg, France, 26–27 April 2002, CERG Editions, 159–166, 2002.

Fort, M., Arnaud-Fassetta, G., Bétard, F., Cossart, E., Madelin, M., Lissak, C., Viel, V., Bouccara, F., Carlier, B., Sourdot, G., Tassel, A., Geai, M-L., Bletterie, X., and Charnay, B.: Sediment dynamics and channel adjustments following torrential floods in an upper Alpine valley (Guil River, Southern French Alps), Engineering Geology for Society and Territory, Vol. 3: River Basins, Reservoir Sedimentation and Water Resources, chap. 65, Springer, Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London, 313–317, https://doi.org/10.1007/978-3-319-09054-2_65, 2014.

Frigerio, I., Ventura, S., Strigaro, D., Mattavelli, M., De Amicis, M., Mugnano, S., and Boffi, M.: A GIS-based approach to identify the spatial variability of social vulnera-

bility to seismic hazard in Italy, Appl. Geogr., 74, 12–22, https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.06.014, 2016.

Fuchs, S.: Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria – paradigms of vulnerability revisited, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 337–352, https://doi.org/10.5194/nhess-9-337-2009, 2009.

Fuchs, S., Heiss, K., and Hübl, J.: Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 7, 495–506, https://doi.org/10.5194/nhess-7-495-2007, 2007.

Fuchs, S., Birkmann, J., and Glade, T.: Vulnerability assessment in natural hazard and risk analysis: current approaches and future challenges, Nat. Hazards, 64, 1969–1975, do:10.1007/s11069-012-0352-9, 2012.

Fuchs, S., Keiler, M., Sokratov, S., and Shnyparkov, A.: Spatiotemporal dynamics: the need for an innovative approach in mountain hazard risk management, Nat. Hazards, 68, 1217–1241, https://doi.org/10.1007/s11069-012-0508-7, 2013.

Fuchs, S., Röthlisberger, V., Thaler, T., Zischg, A. P., and Keiler, M.: Natural hazard management from a co-evolutionary perspective: exposure and policy response in the European Alps, Ann. Am. Assoc. Geogr., 107, 382–392, https://doi.org/10.1080/24694452.2016.1235494, 2017

Glade, T.: Vulnerability assessment in landslide risk analysis, Die Erde, Beitrag zur Erdsystemforschung, 134, 123–146, 2003.

Guillard-Gonçalves, C., Cutter, S. L., Emrich, C. T, and Zêzere, J. L.: Application of Social Vulnerability Index (SoVI) and delineation of natural risk zones in Greater Lisbon, Portugal, J. Risk. Res., 18, 651–674, https://doi.org/10.1080/13669877.2014.910689, 2014.

Heß, V. D. C.: Weigh(t)ing the dimensions of social vulnerability based on a regression analysis of disaster damages, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., https://doi.org/https://doi.org/10.5194/nhess-2017-74, 2017.

Hewitt, K. and Metha, M.: Rethinking risk and disasters in mountain areas, Journal of Alpine Research, 100, p. 13, https://doi.org/10.4000/rga.1653, 2012.

Huang, J., Su, F., and Zhang, P.: Measuring Social Vulnerability to Natural Hazards in Beijing-Tianjin-Hebei Region, China, Chin. Geogra. Sci., 25, 472–485, https://doi.org/10.1007/s11769-015-0769-7, 2015.

IGN BD ORTHO/BD TOPO: Hautes-Alpes, 2009.

INSEE: Recensement de la Population 2006, Hautes-Alpes, exploitation principal, 2008.

INSEE: Recensement de la Population 2012, Hautes-Alpes, exploitation principal, 2014.

INSEE: Recensement de la Population 2014, Hautes-Alpes, exploitation principal, 2014.

IPCC: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S. K., Tignor, M., and Midgley, P. M., Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp., 2012.

Jeffers, J. M.: Integrating vulnerability analysis and risk assessment in flood loss mitigation: An evaluation of barriers and challenges based on evidence from Ireland, Appl. Geogr., 37, 44–51, https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.10.011, 2013.

Kappes, M. S., Papathoma-Köhle, M., and Keiler, M.: Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology, Appl. Geogr., 32, 577–590, https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.07.002, 2012.

Karagiorgos, K., Thaler, T., Hübl, J., Maris, F., and Fuchs, S.: Multivulnerability analysis for flash flood risk management, Nat. Hazards, 82, 63–87, https://doi.org/10.1007/s11069-016-2296-y, 2016.

Keiler, M. and Fuchs, S.: Vulnerability and Exposure to Geomorphic Hazards: Some Insights from the European Alps, in: Geomorphology and Society, Advances in Geographical and Environmental Sciences, edited by: Meadows, M. and Lin, J. C., Springer, Tokyo, Japan, 165–180, https://doi.org/10.1007/978-4-431-56000-5_10, 2016.

Keiler, M., Knight, J., and Harrison, S.: Climate change and geomorphological hazards in the eastern European Alps, Philos. T. R. Soc. A., 368, 2461–2479, https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0047, 2010.

Koks, E. E., Jongman, B., Husby, T. G., and Botzen, W. J. W.: Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management, Environ. Sci. Policy, 47, 42–52, https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.10.013, 2015.

Lafaysse, M.: Changement climatique et régime hydrologique d'un basin alpin, Génération de scénarios sur la Haute-Durance, méthodologie d'évaluation et incertitudes associées, Thesis, University Toulouse III – Paul Sabatier, Toulouse, France, 2011.

Leone, F., Colas, A., Garcin, Y., Eckert, N., Jomelli, V., and Gherardi, M.: The snow avalanches risk on Alpine roads network: Assessment of impacts and mapping of accessibility loss, Journal of Alpine Research, 102, p. 19, https://doi.org/10.4000/rga.2491, 2014.

Messner, F., Penning-Roswell, E., Green, C., Meyer, V., Tunstall, S., and van der Veen, A.: Evaluating flood damage: guidance and recommendations on principles and methods, FLOOD Site Project Report, p. 128, available at: http://www.floodsite.net/ (last access: 1 July 2018), 2007.

Meyer, V., Scheuer, S., and Haase, D.: A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde River, Germany, Nat. Hazards, 48, 17–39, https://doi.org/10.1007/s11069-008-9244-4, 2009.

Muhar, A., Schauppenlehner, T., Brandenburg, C., and Arnberger, A.: Alpine summer tourism: The mountaineers' perspective and consequences for tourism strategies in Austria, For. Snow Landsc. Res., 81, 7–17, https://www.researchgate.net/profile/Thomas_Schauppenlehner (last access: 1 July 2018), 2007.

Nelson, K. S., Abkowitz, M. D., and Camp, J. V.: A method for creating high resolution maps of social vulnerability in the context of environmental hazards, Appl. Geogr., 63, 89–100, https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.06.011, 2015.

Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., Dubash, N. K., Edenhofer, O., Elgizouli, I., Field, C. B., Forster, P., Friedlingstein, P., Fuglestvedt, J., Gomez-Echeverri, L., Hallegatte, S., Hegerl, G., Howden, M., Jiang, K., Jimenez Cisneroz, B., Kattsov, V., Lee, H., Mach, K. J., Marotzke, J., Mastrandrea, M. D., Meyer, L., Minx, J., Mulugetta, Y., O'Brien, K., Oppen-

heimer, M., Pereira, J. J., Pichs-Madruga, R., Plattner, G. K., Pörtner, H. O. , Power, S. B., Preston, B., Ravindranath, N. H., Reisinger, A., Riahi, K., Rusticucci, M., Scholes, R., Seyboth, K., Sokona, Y., Stavins, R., Stocker, T. F., Tschakert, P., van Vuuren, D., and van Ypserle, J. P.: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: Pachauri, R. and Meyer, L., Geneva, Switzerland, IPCC, p. 151, 2014.

Papathoma-Köhle, M., Kappes, M., Keiler, M., and Glade, T.: Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs, Nat. Hazards, 58, 645–680, https://doi.org/10.1007/s11069-010-9632-4, 2011.

Papathoma-Köhle, M., Promper, C., and Glade, T.: A Common Methodology for Risk Assessment and Mapping of Climate Change Related Hazards – Implications for Climate Change Adaptation Policies, Climate, 4, p. 23, https://doi.org/10.3390/cli4010008, 2016.

Papathoma-Köhle, M., Gems, B., Sturm, M., and Fuchs, S.: Matrices, curves and indicators: A review of approaches to assess physical vulnerability to debris flows, Earth-Sci. Rev., 171, 272–288, https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.06.007, 2017.

PNRQ (Parc Naturel Régional du Queyras): Diagnostic de vulnérabilité du bassin versant du Guil aux inondations, Rapport définitif, Avril 2016, 1–48, 2016.

PRG 2012: Registre Parcellaire Graphique 2012 – Département Hautes-Alpes (05), availabel at: https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/r/ (last access: 1 July 2018), 2012.

Puissant, A., Malet, J. P., and Maquaire, O.: Mapping landslide consequences in mountain areas: a tentative approach with a semi-quantitative procedure, SAGEO, Strasbourg, France, 1–16, 2006.

Puissant, A., Van Den Eeckhaut, M., Malet, J. P., and Maquaire, O.: Landslide consequence analysis: a region-scale indicator-based methodology, Landslides, 11, 843–858, https://doi.org/10.1007/s10346-013-0429-x, 2013.

Reghezza, M.: Vulnérabilité et risques: L'approche récente de la vulnérabilité, Responsabilité et environnement, 43, 9–13, 2006.

Reghezza, M. and Rufat, S.: The Resilience Imperative: Uncertainty, Risks and Disasters, Elsevier-ISTE, London, p. 262, 2015.

Rogelis, M. C., Werner, M., Obregón, N., and Wright, N.: Regional prioritisation of flood risk in mountainous areas, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 16, 833–853, https://doi.org/10.5194/nhess-16-833-2016, 2016.

Rygel, L., O'Sullivan, D., and Yarnal, B.: A method for constructing a social vulnerability index: an application to hurricane storm surges in a developed country, Mitig. Adapt. Strat. Gl., 11, 741–764, https://doi.org/10.1007/s11027-006-0265-6, 2006.

SAMCO ANR project: available at: http://www.anr-samco.com (last access: 1 July 2018), 2017.

Schoeneich, P. and De Jong, C.: Changes in the Alpine environment, Journal of Alpine Research, 96, 65–76, https://doi.org/10.4000/rga.603, 2008.

Steinführer, A., Kuhlicke, C., De Marchi, B., Scolobig, A., Tapsell, S., and Tunstall, S.: Local communities at risk from flooding: social vulnerability, resilience and recommendations for flood risk management in Europe, Report, Helmholtz Center for Environmental Research–UFZ, Leipzig, 2009.

Tapsell, S., McCarthy, S., Faulkner, H., and Alexander, M.: Social vulnerability and natural hazards, Flood Hazard Research Centre-FHRC, CapHaz-Net WP4 Report, Middlesex University, London, p. 87, available at: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download? (last access: 1 July 2018), 2010.

Tarbotton, C., Dall'osso, F., Dominey-Howes, D., and Goff, J.: The use of empirical vulnerability functions to assess the response of buildings to tsunami impact: comparative review and summary of best practice, Earth-Sci. Rev., 142, 120–134, https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.01.002, 2015.

Totschnig, R. and Fuchs, S.: Mountain torrents: Quantifying vulnerability and assessing uncertainties, Eng. Geol., 155, 31–44, https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.12.019, 2013.

Tricart, J.: Etude de la crue de la mi-Juin 1957 dans la vallée du Guil, de l'Ubaye et de la Cerveyrette, Revue de géographie Alpine, 4, 565–627, https://doi.org/10.3406/rga.1958.1846, 1958.

UNDRO: Disaster prevention and mitigation – a compendium of current knowledge, vol. 11, Preparedness Aspects, Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator, New York, 1984.

Varnes, D. J.: Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice, UNESCO, Paris, Nat. Hazards, 3, 63 pp., 1984.

Wood, N. J. and Good, J. W.: Vulnerability of Port and Harbor Communities to Earthquake and Tsunami Hazards: The Use of GIS in Community Hazard Planning, Coast. Manage., 32, 243–269, https://doi.org/10.1080/08920750490448622, 2004.

Wu, S. Y., Yarnal, B., and Fisher, A.: Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May County, New Jersey, USA, Clim. Res., 22, 255–270, https://doi.org/10.3354/cr022255, 2002.

Zahran, S., Brody, S. D., Peacock, W. G., Vedlitz, A., and Grover, H.: Social vulnerability and the natural and built environment: a model of flood casualties in Texas, Disasters, 32, 537–560, https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2008.01054.x, 2008.

Zhang, Y. L. and You, W. J.: Social vulnerability to floods: a case study of Huaihe River Basin, Nat. Hazards, 71, 2113–2125, https://doi.org/10.1007/s11069-013-0996-0, 2014.

Zingari, P. C. and Fiebiger, G.: Mountain risks and hazards, Unasylva, 53, 71–77, 2002.

Conclusion

Évaluer la vulnérabilité globale d'un territoire est une tâche complexe qui nécessite de bien appréhender les interactions entre le milieu naturel et la sphère humaine. La vulnérabilité présente, *de facto*, une multitude de facettes. Selon le point de vue adopté (biophysique, socio-économique, institutionnel, etc.) et l'échelle d'analyse recherchée (locale, régionale, nationale, etc.), les paramètres à prendre en comptes pour l'évaluer diffèrent du tout au tout. Bien que l'on ait cherché à analyser cette thématique sous l'angle systémique, nos travaux n'ont pas la prétention d'être exhaustifs. Il nous a fallu faire des choix tant sur le plan conceptuel qu'opérationnel. À travers ces choix, nous nous sommes efforcés de traduire la complexité de la vulnérabilité dans le Queyras. En intégrant plusieurs aspects de la vulnérabilité (biophysique et sociale), d'une part, et en s'attachant à trouver un moyen de les combiner ensemble, d'autre part. Ainsi, la vulnérabilité des enjeux queyrassins a été analysée selon trois prismes : 1) celui des sciences physiques *via* l'analyse des conséquences potentielles des crues, des glissements de terrain et des avalanches sur les enjeux biophysiques du Queyras (personnes, bâti, réseaux et sol) ; 2) celui des sciences humaines, à travers l'analyse des perceptions individuelles et collectives de ces risques et de leur gestion ; 3) celui d'une approche combinée biophysique et socio-économique dans le cadre du *Potential Consequence Index* (PCI). Bien que tous les aspects de la vulnérabilité n'aient pas été traités (notamment les aspects institutionnels), ces travaux n'en contribuent pas moins à mieux cerner la vulnérabilité des enjeux queyrassins.

Le chapitre 6 a présenté les résultats d'une analyse menée aux échelles régionale et locale, des conséquences potentielles (corporelles directes, structurelles et fonctionnelles directes et indirectes) de trois aléas (crues torrentielles, glissements de terrain et avalanches) sur les enjeux biophysiques du Queyras (bâti, réseaux et sols). Cette analyse a permis d'identifier les enjeux ou catégories d'enjeux les plus susceptibles de causer des conséquences négatives pour le territoire. Face aux crues torrentielles, ce sont les enjeux récents, à forte valeur socio-économique, situés sur les cônes torrentiels ou dans les fonds de vallée, qui sont les plus susceptibles d'entraîner des conséquences négatives. Face aux glissements de terrain, ce sont les enjeux dotés de fonctions essentielles pour le territoire et construits sur la période 1970 – 2000 qui sont les plus susceptibles d'entraîner de telles conséquences. Face aux avalanches, ce sont les bourgs anciens, où les matériaux traditionnels dominent, qui présentent les plus fortes conséquences potentielles. Quel que soit l'aléa concerné, les conséquences potentielles sur les réseaux et le sol sont fonctions de leur rôle dans le bon fonctionnement du territoire. Ce sont par conséquent les principaux axes de transport et les terrains artificialisés (zones bâties, camping et parkings) qui affichent de fortes conséquences potentielles.

Dans le chapitre 7, ont été exposés les résultats de l'enquête de perception des risques menés dans le Queyras. Pour cette enquête, 100 Queyrassins ont été invités à se prononcer sur des thématiques en lien avec les risques et leur gestion : 1) la perception des aléas et de leur dangerosité ; 2) la connaissance des risques et de leur gestion ; 3) la diffusion des informations sur les risques et leur gestion ; 4) la confiance envers les gestionnaires et acteurs du risque. En complément de cette enquête, des cartes mentales ont été soumises aux Queyrassins afin de mettre en lumière les représentations qu'ils se font des risques dans leur commune de résidence. Les résultats de l'enquête ont ainsi permis de dresser un premier bilan de la vulnérabilité sociale des Queyrassins. Dans l'ensemble, ces derniers sont conscients d'être exposées à un ou plusieurs aléas. Parmi ces derniers, ce sont les avalanches et les crues torrentielles qui sont perçues comme les plus dangereuses. Pour ces aléas, les zones à risques sont généralement bien identifiées de même que les impacts potentiels sur les différents enjeux biophysiques. En revanche, les Queyrassins ont montré une certaine méconnaissance des risques liés aux glissements de terrain. Dans la mesure où cette enquête a été menée avant que les événements du Pas de l'Ours ne soient connus des Queyrassins, il y a fort à parier que cette tendance se soit inversée depuis. Cette bonne

perception des risques est avant tout liée au vécu des enquêtés donc à leur commune de résidence. Seul point noir au tableau : peu de Queyrassins se considèrent eux-mêmes exposés aux risques. Il en résulte que nombre d'entre eux se considèrent suffisamment informés sur les risques et montrent une faible volonté d'en apprendre plus sur ces derniers. Il est probable que ce sentiment de sécurité soit lié, pour partie, à la présence d'importants ouvrages de protection (digues et paravalanches) et, pour partie, à la bonne confiance octroyée aux gestionnaires locaux des risques. En dépit d'une forte exposition aux aléas, les Queyrassins sont relativement peu inquiétés par ces derniers. Ce « vivre avec le risque » qui caractérise les Queyrassins est assez typique des sociétés montagnardes (Hébert, 2014 ; Ianni *et al*., 2015 ; Wilson *et al*., 2018).

Dans le chapitre 8, une méthode innovante visant à combiner les approches biophysiques et sociales de la vulnérabilité a été explorée. Cette méthode, basée sur l'exploitation d'indices semi-quantitatifs, a été testée pour un scénario de crue de basse fréquence et haute magnitude (F.R. > 100 ans). L'objectif était de quantifier simultanément les conséquences physiques et socio-économiques potentielles d'un aléa sur les communautés du Queyras. Pour répondre à cet objectif, la méthode PDI, employée dans le chapitre 6, a été améliorée de manière à intégrer des données issues de recensements nationaux et de l'enquête de perception réalisée dans le Queyras. Le nouveau PCI intègre six critères représentant les différentes phases de la gestion des risques (préparation, gestion de crise et récupération). Ces critères concernent : 1) l'âge ; 2) les revenus des ménages ; 3) le niveau de diplôme ; 4) le degré de perception des risques liés aux crues ; 5) le degré d'information sur les risques liés aux crues ; 6) la confiance octroyée aux gestionnaires locaux des risques. L'une des originalités de ce travail tient à l'intégration du point de vue des Queyrassins comme critère déterminant de la vulnérabilité des enjeux. En outre, l'inclusion de variables socio-économiques dans une méthode orientée vulnérabilité physique a permis de nuancer quelques peu les résultats obtenus dans le chapitre 6. L'intégration de variables socio-économiques ajoute en effet une dimension supplémentaire aux cartes de conséquences produites. Avec la méthode PCI, le degré de vulnérabilité de chaque commune est ainsi clairement exposé et les éléments les plus susceptibles d'entraîner des conséquences potentielles restent aisément identifiables par des non-experts. La méthode PCI permet donc de comparer rapidement les différentes communes entres elles en fonction de leur résilience probable aux risques.

Sur l'aspect biophysique, ce sont les communes de la haute-vallée du Guil qui apparaissent les plus vulnérables. Eu égard à leur exposition moindre aux aléas, les enjeux des communes des vallées des Aigues présentent de faibles conséquences potentielles. Sur le volet social, la tendance est inverse. Les communes de la haute-vallée du Guil, régulièrement impactées par les aléas, ont une population disposant d'une plus grande expérience des risques que dans le reste du Queyras. Cette expérience s'accompagne non seulement d'une meilleure appréciation des risques et de leurs dangers mais aussi d'une plus grande confiance envers les acteurs et gestionnaires locaux des risques. *A priori*, ces communes devraient se montrer plus résilientes en cas de catastrophe. *In fine*, les communes qui s'avèrent les plus vulnérables sont celles d'Aiguilles et de Château-Ville-Vieille. Toutes deux affichent d'importantes conséquences potentielles et leur population n'est que partiellement au fait des risques et de leurs dangers. À elles deux, ces communes concentrent la plupart des enjeux « sensibles » (hôpital, caserne de gendarmerie, caserne de pompier, office du tourisme, écoles, etc.) et les principaux bassins d'emplois du Queyras. Ce sont, par conséquent, les communes où la population est la plus hétéroclite et où la proportion de néo-ruraux est la plus forte.

Si les communes d'Aiguilles et de Château-Ville Vieille peuvent sembler proches, on observe également des synergies plus évidentes entre certaines des autres communes du Queyras, que ce soit en matière d'enjeux ou de perception des risques. Situées au fond de la vallée du Guil, les habitants des communes de Ristolas et d'Abriès partagent une « vie commune » depuis de nombreuses années.

Plusieurs services sont mutualisés, comme l'école ou l'office de tourisme. Ces communes sont très complémentaires, que ce soit pour l'hébergement ou pour la répartition des activités touristiques (Abriès dispose de la station de ski alpin et Ristolas des circuits de fond et de la réserve du Viso). Elles sont toutes deux fréquemment isolées par les aléas et partagent une expérience des risques assez proche. Leur population sait qu'elle est exposée à différents aléas et est consciente de leurs impacts potentiels. En outre, leurs populations font montre d'une bonne confiance envers leurs élus, ce qui témoigne de l'efficacité de la gestion locale des risques. Ces communes, qui travaillent main dans la main depuis de nombreuses années, ont d'ailleurs fusionné au premier janvier 2019 dans le cadre du régime des communes nouvelles. De telles synergies s'observent également en ce qui concerne les communes de Molines-en-Queyras et Saint-Véran. Proches géographiquement, ces dernières partagent de nombreux points communs (histoire, nature des enjeux, architecture, activités touristiques, etc.). Elles se partagent la plus grande station de ski du Queyras et devraient prochainement fusionner, à l'image de Ristolas et Abriès. En matière d'exposition aux aléas et de perception des risques, ces communes et leurs populations sont assez proches. Alors que dans la vallée du Guil, ce sont les crues qui dominent, dans la vallée des Aigues, ce sont les avalanches. En matière de perception, les Moulinois comme les Saint-Vérannais montrent un intérêt limité pour la thématique des risques du fait d'une exposition assez faible aux aléas.

Dans les travaux exposés, plusieurs composantes de la vulnérabilité du Queyras ont été considérées. À travers l'analyse des conséquences biophysiques des aléas, ce sont les aspects corporels, structurels et fonctionnels de la vulnérabilité qui ont été pris en compte. Dans le cadre de l'évaluation de la vulnérabilité sociale, ce sont ses aspects non seulement démographiques, économiques et sociologiques mais aussi psychologiques qui ont été analysés. Évaluer ces différentes facettes séparément, puis conjointement, nous a permis de dresser un tableau relativement complet de la vulnérabilité du Queyras et de ses enjeux.

Dans la partie suivante, consacrée aux risques et à leur gestion, les cartes des conséquences potentielles produites ci-dessus seront croisées avec les cartes d'aléa afin de donner une première évaluation du risque dans le Queyras. Les risques mis en évidence seront discutés par la suite en tenant compte de la vulnérabilité sociale des communautés queyrassines ainsi que des politiques de gestion qui y ont été mises en place.

- Partie 5 -
Évaluation et gestion des risques

Introduction

Le risque est généralement considéré comme étant situé à la croisée du danger et de sa probabilité (UNDRO, 1979 ; Hahn et *al*., 2003 ; Schneiderbauer et Ehrlich, 2004 ; Bourrelier, 2006 ; Léone, 2007 ; Metzger et D'Ercole, 2011). En l'absence d'une définition claire et consensuelle du risque, les méthodes pour l'évaluer diffèrent encore fréquemment d'une étude à l'autre (Villagràn De León, 2001 ; Füssel et Klein, 2006 ; Veyret et Reghezza, 2005 ; Metzger et D'Ercole, 2011 ; Aitsi-Selmi *et al*., 2015 ; Alcántara-Ayala *et al*., 2015). La plupart des acteurs concernés s'accordent néanmoins sur un point : l'importance fondamentale du couple aléa/vulnérabilité (UNDRO, 1984 ; Alexander, 2000 ; Villagràn De León, 2001 ; Hahn, 2003 ; Dilley *et al*., 2005 ; Léone et Vinet, 2006). C'est aussi le parti pris qui est le nôtre dans ce travail de thèse. Dans les parties précédentes, nous nous sommes en effet efforcés d'identifier et d'analyser les différentes composantes du risque ainsi que leurs expressions aux échelles régionale (le Queyras) et locale (les six communes).

Dans la première partie de la thèse, on s'est intéressé à la genèse des risques dans le Queyras, d'abord *via* la mise en évidence des facteurs de prédisposition et de déclenchement à l'origine des principaux épisodes catastrophiques qui ont touché le territoire (cf. chapitres 1 et 2) puis, au travers d'une rétrospective de ces derniers et de leurs impacts sur les enjeux biophysiques (cf. chapitres 2). Dans la deuxième partie (cf. chapitres 3 et 4), on s'est davantage intéressé aux processus et relais de processus concourant au déclenchement des aléas à l'origine des risques torrentiels et gravitaires. Dans la troisième partie (cf. chapitre 5), ces informations ont été remobilisées afin de cartographier les trois grands types d'aléas en cause dans les principales catastrophes qui ont eu lieu dans le Queyras : les crues torrentielles, les glissements de terrain et les avalanches. Dans la quatrième partie (cf. chapitres 6, 7 et 8), nous nous sommes employés à caractériser la vulnérabilité des enjeux queyrassins à ces aléas en adoptant plusieurs points de vue : 1) celui des sciences physiques, *via* l'analyse des conséquences potentielles (corporelles, structurelles et fonctionnelles) des aléas sur les enjeux biophysiques du Queyras (matérialisés par le bâti, les réseaux et l'occupation du sol ; cf. chapitre 6 et 8), et 2) celui des sciences humaines et comportementales, *via* l'évaluation de la vulnérabilité sociale, économique et psychologique des populations queyrassines (cf. chapitres 7 et 8).

Dans cette cinquième partie de la thèse, nous proposons de nous pencher sur les risques en eux-mêmes et sur la gestion qui en est faite. Dans le chapitre 9, sont ainsi exposés les travaux relatifs à notre évaluation et à notre analyse des risques d'origine torrentielle et gravitaire dans le Queyras. Ces travaux s'articulent autour des cartes de risque produites par croisement matriciel des cartes d'aléas et de vulnérabilités présentées dans les chapitres précédents. Ils s'accompagnent d'une réflexion sur la résilience des communautés queyrassines et sur les modalités de la gestion des risques à l'échelle du bassin-versant et de la commune. Dans le chapitre 10, nous proposons quatre scénarios d'évolution de l'occupation du sol qui traduisent les évolutions possibles du territoire et de ses risques à horizon 2050 et 2100. Ces scénarios simulent les évolutions possibles du territoire face à différents contextes socio-économiques. L'objectif est de fournir aux gestionnaires locaux les moyens d'une réflexion prospective sur l'avenir des risques et de leur gestion dans le Queyras.

Chapitre 9 : Évaluation et cartographie des risques dans le Queyras

Introduction

L'objectif de ce neuvième chapitre est d'identifier et d'analyser les risques liés aux crues torrentielles, aux glissements de terrain et aux avalanches dans les six communes du Queyras (Ristolas, Abriès, Aiguilles, Château-Ville-vieille, Molines-en-Queyras et Saint-Véran). Bien que le terme de risque ait déjà été discuté en introduction, il convient de rappeler brièvement notre positionnement à son sujet avant d'exposer les résultats obtenus.

Tout comme la notion de vulnérabilité, la notion de risque est complexe car polysémique (Füssel et Klein, 2006 ; Villagràn De León, 2006a ; Renard et Soto, 2015). Ce concept ayant émergé simultanément au sein de différentes disciplines scientifiques (médecine, géographie, économie, etc.), il existe encore des ambiguïtés, voire certaines contradictions, concernant sa définition (Moser, 2010 ; Renard et Soto, 2015). Selon le contexte dans lequel il est employé, sa définition peut varier considérablement (Villagràn De León, 2006a ; Thomi, 2010 ; Renard et Soto, 2015). En géographie des risques, ce sont les modalités de la prise en compte de la vulnérabilité qui vont constituer bien souvent les facteurs déterminant son orientation conceptuelle (Alexander, 2000 ; Kron, 2002 ; Hahn *et al*., 2003 ; Wisner *et al*., 2004 ; Fell *et al*., 2005 ; Lhomme, 2012 ; Reghezza-Zitt, *et al*., 2013). Dans certains cas, l'accent est mis sur les aspects structurels et/ou fonctionnels tandis que dans d'autres, c'est plutôt la dimension sociale et psychologique qui prime (Beck, 2001 ; Thomi, 2010).

Certains éléments de la définition du risque font malgré tout l'objet d'un consensus en géographie des risques. Ainsi, dans la plupart des études, le risque est perçu comme le produit des interactions entre une société et son environnement sur un espace donné (Kron, 2002 ; Wisner *et al*., 2004 ; Demoraes et D'Ercole, 2009 ; UNISDR, 2009 ; Djament-Tran et Reghezza, 2012 ; Poussin *et al*., 2012 ; Serre *et al*., 2012 ; Barroca *et al*., 2013). Cette vision met en avant l'importance du couple aléa/vulnérabilité (Veyret et Reghezza, 2005 ; Bourrelier, 2006 ; Füssel et Klein, 2006 ; Léone, 2007 ; November, 2007 ; Demoraes et D'Ercole, 2009 ; Meschinet de Richemond, 2010 ; Renard et Soto, 2015). Dans l'approche traditionnelle des risques, l'aléa désigne un processus physique source de dangers potentiels et la vulnérabilité renvoie à une propension des enjeux à subir ou à entrainer des conséquences négatives sur un territoire donné (Wisner *et al*., 2004 ; Demoraes et D'Ercole, 2009 ; UNISDR, 2009). Cette définition fait également de la notion de « territorialité » l'une des constituantes essentielles du risque (Meschinet de Richemond, 2010 ; Renard et Soto, 2015). Un autre élément largement partagé tient à la notion de probabilité (Veyret et Reghezza, 2005 ; Léone, 2007 ; Demoraes et D'Ercole, 2009). Le risque est ainsi perçu comme « quelque chose de potentiel » pouvant avoir des conséquences négatives s'il venait à se concrétiser (Léone, 2007 ; Demoraes et D'Ercole, 2009). Ces composantes (*i.e*., aléa, vulnérabilité, probabilité et territorialité) sont au cœur de notre analyse des risques.

L'objectif de ce neuvième chapitre est d'identifier les risques dans les six communes du Queyras, afin d'en analyser les conséquences potentielles. Pour ce faire, les cartes d'aléas produites (cf. chapitre 5) et les cartes illustrant leurs conséquences potentielles sur les enjeux biophysiques du Queyras (cf. chapitre 6) ont été combinées sur une plateforme SIG afin d'obtenir des cartes de risques. Le choix des aléas et des scénarios d'aléas cartographiés ainsi que la prise en compte des caractéristiques des enjeux au travers de notre analyse des conséquences potentielles font que cette étude est adaptée aux spécificités du territoire queyrassin. En combinant des cartes d'aléas avec des cartes de conséquences potentielles, nous avons fait le choix d'une approche physique des risques. Pour sortir un peu de cette approche aléa-centrée, nous proposons de remettre en perspective les risques identifiés eu égard à la vulnérabilité sociétale des Queyrassins.

1. Données et méthodes

Les cartes de risque produites ont été obtenues en combinant les couches rasters correspondant à chacun des aléas (ou scénarios d'aléas) cartographiés avec les couches rasters des conséquences potentielles totales correspondantes. Pour figurer les aléas, nous avons choisi d'utiliser les cartes exposées et décrites dans le chapitre 5. Sont concernées les cartes issues des quatre scénarios de crue modélisés avec le logiciel HEC-RAS® (cf. partie 1, chapitre 5), la carte de susceptibilité aux glissements de terrain produite à l'aide d'XLSTAT® et d'ArcGIS® (cf. partie 2, chapitre 5) et la carte des emprises avalancheuses réalisée avec ArcGIS sur la base de la carte de la CLPA de 2001 (cf. partie 3, chapitre 5). Pour figurer la vulnérabilité, nous avons choisi d'employer les cartes des conséquences potentielles totales (CT) adaptées à chacun des trois grands types d'aléas considérés (cf. partie 3, chapitre 6).

Compte tenu du caractère non-homogène des cartes d'aléas produites, nous avons dû recourir à deux méthodes distinctes pour combiner les cartes d'aléa et de vulnérabilité. De fait, sur les cartes représentant les crues torrentielles et les glissements de terrain, les aléas sont exprimés au moyen de cinq classes (hauteurs d'eau pour les crues et classe de susceptibilité pour les glissements) tandis que sur la carte des phénomènes avalancheux, l'aléa est exprimé de façon binaire (1 : avalanche et 0 : absence d'avalanche). Or les conséquences potentielles sont exprimées en 5 classes de conséquences.

Pour obtenir les cartes des risques liées aux crues torrentielles et aux glissements de terrain, la combinaison du couple aléa/vulnérabilité a été effectuée en s'appuyant sur une matrice de risque élaborée par nos partenaires de l'UMR LIVE dans le cadre du projet SAMCO, et commune à l'ensemble des partenaires (Fig. 1). Ce choix s'est imposé car les matrices de risque se démarquent des autres outils d'évaluation des risques par leur simplicité de gestion et leur grand pouvoir de communication visuelle (Huihui *et al*., 2010 ; COSO, 2012 ; Embry *et al*., 2014 ; Ale *et al*., 2015 ; Chunbing *et al*., 2017 ; Marin-Garcia *et al*., 2017). Plusieurs traitements ont été requis pour cela : 1) le recodage des couches rasters correspondant aux aléas (en nombres entiers de 1 à 5) et aux conséquences potentielles totales (en dizaines de 10 à 50), 2) la combinaison des couches recodées d'aléas avec les conséquences potentielles correspondantes à l'aide de l'outil calculatrice raster d'ArcGIS® (addition) et, 3) la reclassification des résultats à l'aide de la matrice de risque (Fig. 1).

		Aléas				
		1	2	3	4	5
Consequences	10	11	12	13	14	15
	20	21	22	23	24	25
	30	31	32	33	34	35
	40	41	42	43	44	45
	50	51	52	53	54	55

Figure 9. 1. : Matrice employée pour le calcul des risques liés aux crues torrentielles et aux glissements de terrain.

Pour la cartographie des risques liés aux avalanches, nous nous sommes contentés de croiser les emprises avalancheuses connues avec les conséquences potentielles. Cette opération a été effectuée en

multipliant les premières aux secondes en utilisant l'outil « calculatrice raster » d'ArcGIS®. Sur le plan épistémique, le produit de cette opération ne peut pas être qualifié de risque puisque ni la fréquence, ni l'intensité des processus ne sont prises en compte dans notre carte d'aléa. Pour autant, la carte illustre bien l'exposition des enjeux aux phénomènes avalancheux et elle a donc été conservée.

2. Cartographie et analyse des risques liés aux crues torrentielles

Quatre scénarios de crue ont été modélisés dans le cadre de l'évaluation de l'aléa « crue torrentielle » : un scénario de crue décennale, un de crue trentennale-cinquantennale (type crue de juin 2000), un de crue centennale, et un de crue supra-centennale (type crue de juin 1957). Ces scénarios ont été combinés à la carte des conséquences potentielles totales adaptée à l'aléa « crue torrentielle » afin d'obtenir un aperçu aussi complet que possible des risques pouvant affecter le Queyras. En complément de ces travaux, nous proposons une combinaison simple (identique à celle effectuée pour caractériser les risques liés aux avalanches) des conséquences potentielles totales liées aux crues avec l'enveloppe historique de la crue de la mi-juin 1957. L'objectif de ce volet additionnel est d'illustrer : 1) les risques potentiels à l'exutoire des sous-bassins versants des cours d'eau, non-intégrés dans la modélisation (cf. chapitre 5) et 2) les risques inhérents à un dysfonctionnement ou à un endommagement des ouvrages de protection contre les crues (digues, enrochements, seuils).

2. 1. Cartographie et analyse des risques liés à une crue décennale

À l'échelle du Queyras, les risques inhérents à une crue décennale apparaissent limités (Fig. 9. 2.). Plutôt que de présenter un descriptif détaillé de l'ensemble du linéaire du Guil, nous nous bornerons ici à un commentaire des secteurs présentant les risques les plus importants. Pour une meilleure lisibilité de ces derniers, l'analyse va s'appuyer sur des zooms à grande échelle (Fig. 9. 3 à 9. 6.).

En cas de crue de basse fréquence et de haute magnitude (F.R. = 10 ans), le risque est cantonné à la partie amont de la vallée du Guil, entre le hameau de La Monta et le village d'Aiguilles (Fig. 9. 3. à 9. 6.). Les ouvrages de protection construits suite à la crue de juin 1957 semblent protéger efficacement la plupart des enjeux biophysiques du Queyras face à un tel scénario. Ainsi, dans leur traversée des villages, le Guil, le Ségure, le Bouchet et le Lombard sont circonscrits dans leur lit mineur (Fig. 9. 3., 9. 4. et 9. 6.). Si les hameaux et les villages du Haut-Guil apparaissent bien protégés, deux secteurs situés à leur périphérie affichent néanmoins un risque important.

Le premier est situé dans la plaine du Guil à Abriès, en aval de confluence avec le Bouchet (Fig. 9. 4.). Trois bâtiments agricoles y sont situés dans une zone à risque. Deux de ces bâtiments présentent un risque fort tandis que le troisième présente un risque modéré (Fig. 9. 4.). En amont de cet espace, un tronçon du Chemin des Digues affiche un risque modéré à très fort (Fig. 9. 4.). La passerelle qui fait la jonction entre les rives droite et gauche du Guil présente aussi un risque modéré (Fig. 9. 4.).

Le second secteur présentant un risque important est situé entre les villages d'Abriès et d'Aiguilles (Fig. 9. 5.). Il englobe toute la partie aval du camping municipal d'Aiguilles (camping du Gouret). Deux bâtiments affichent une très forte exposition au risque : le bâtiment d'accueil du camping et le snack-bar (Fig. 9. 5.). Une partie de la nouvelle route de dérivation de la D 947 pourrait également être menacée (bien qu'elle ne figure pas sur la carte). Sur ce secteur, le risque est bien connu des autorités comme des populations puisqu'il a été impacté à plusieurs reprises lors des crues de la décennie 2000-2010. La partie amont du camping a été définitivement fermée suite à la crue de juin 2000 et le reste du camping est menacé de fermeture si jamais il est de nouveau impacté (PPR Aiguilles, 2016). Le camping (qui appartient à la commune d'Aiguilles) est pourvu d'un plan d'évacuation affiché en plusieurs points pour alerter les touristes et la municipalité n'hésite pas à faire évacuer le site lors d'épisodes pluvieux importants. Aussi, le risque corporel est-il limité. En revanche, le camping représente une source de revenu importante pour la commune d'Aiguilles et il constitue, par la même, un enjeu majeur.

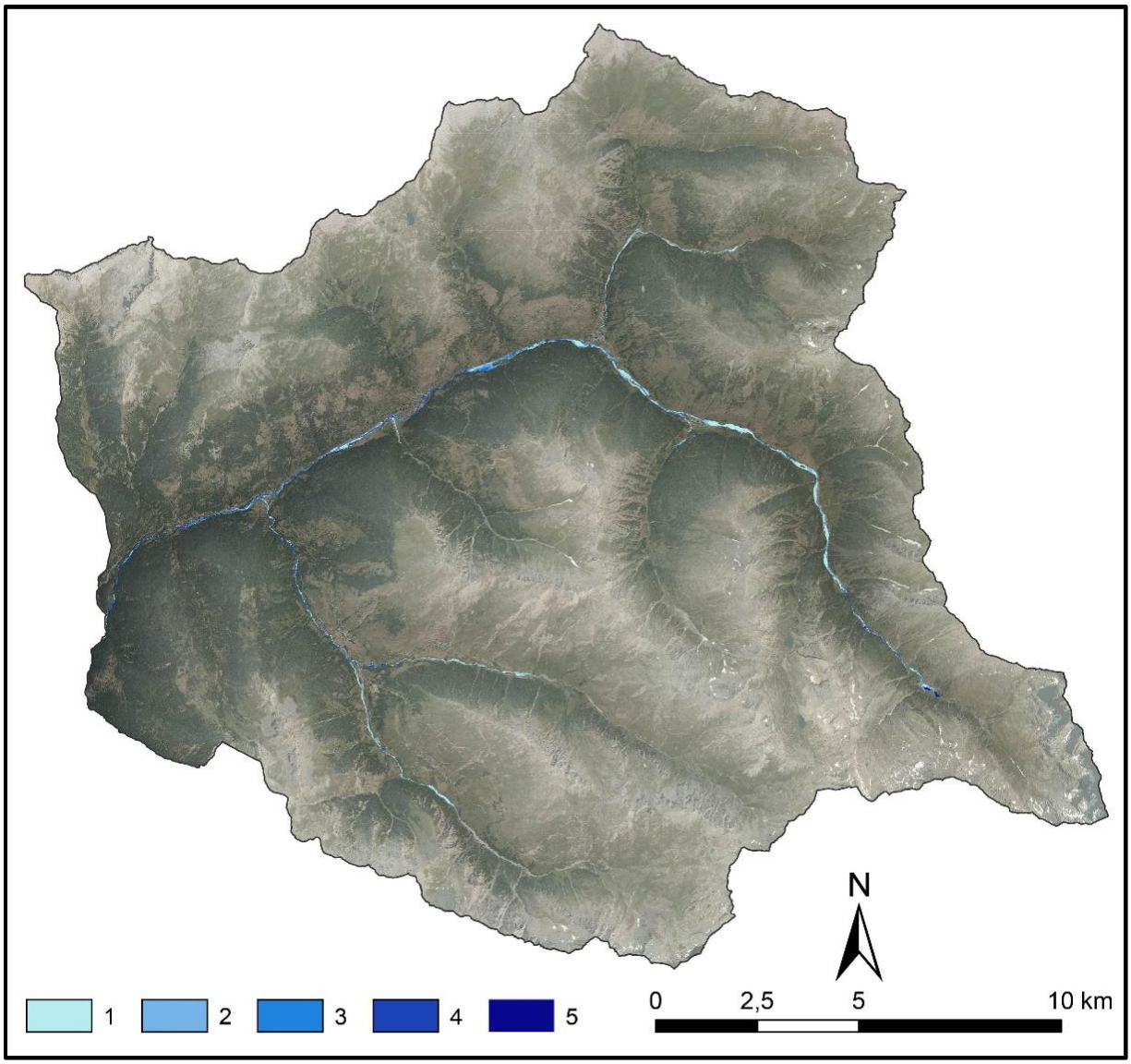


Figure 9. 2. : Cartographie des risques liés à une crue décennale à l'échelle régionale : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort.

En dehors de ces espaces, ce sont surtout les enjeux de réseau qui sont exposés au risque. Aucun réseau essentiel n'est cependant réellement menacé, à l'exception des ponts et passerelles qui enjambent le Guil. Ces passerelles peuvent d'ailleurs être ôtées si le risque est trop important. Cela s'est déjà produit en amont des crues de 2008, 2010 et 2012. Même le tronçon de la D 947 situé entre Ristolas et l'Échalp, pourtant endommagé à plusieurs reprises lors des crues de la décennie 2000-2010, n'apparaît pas exposé au risque dans cette modélisation. Ce sont surtout les réseaux secondaires situés en rive gauche du Guil, où les digues sont moins nombreuses, qui présentent un risque (Fig. 9. 3. à 9. 6.).

En cas de crue de haute fréquence mais de faible magnitude (F.R. = 10 ans), les risques sont limités dans le Queyras. À l'exception de deux secteurs bien délimités dans la plaine d'Abriès et au niveau du camping du Gouret, peu d'enjeux sont exposés aux risques. Aucune habitation, ni aucun enjeu essentiel au fonctionnement de la vallée, n'est situé dans une zone exposée au risque. Dans le scénario de risque exploré, les conséquences les plus graves concerneraient la commune d'Aiguilles qui se verrait contrainte de fermer son camping municipal (avec à la clé une perte de revenus).

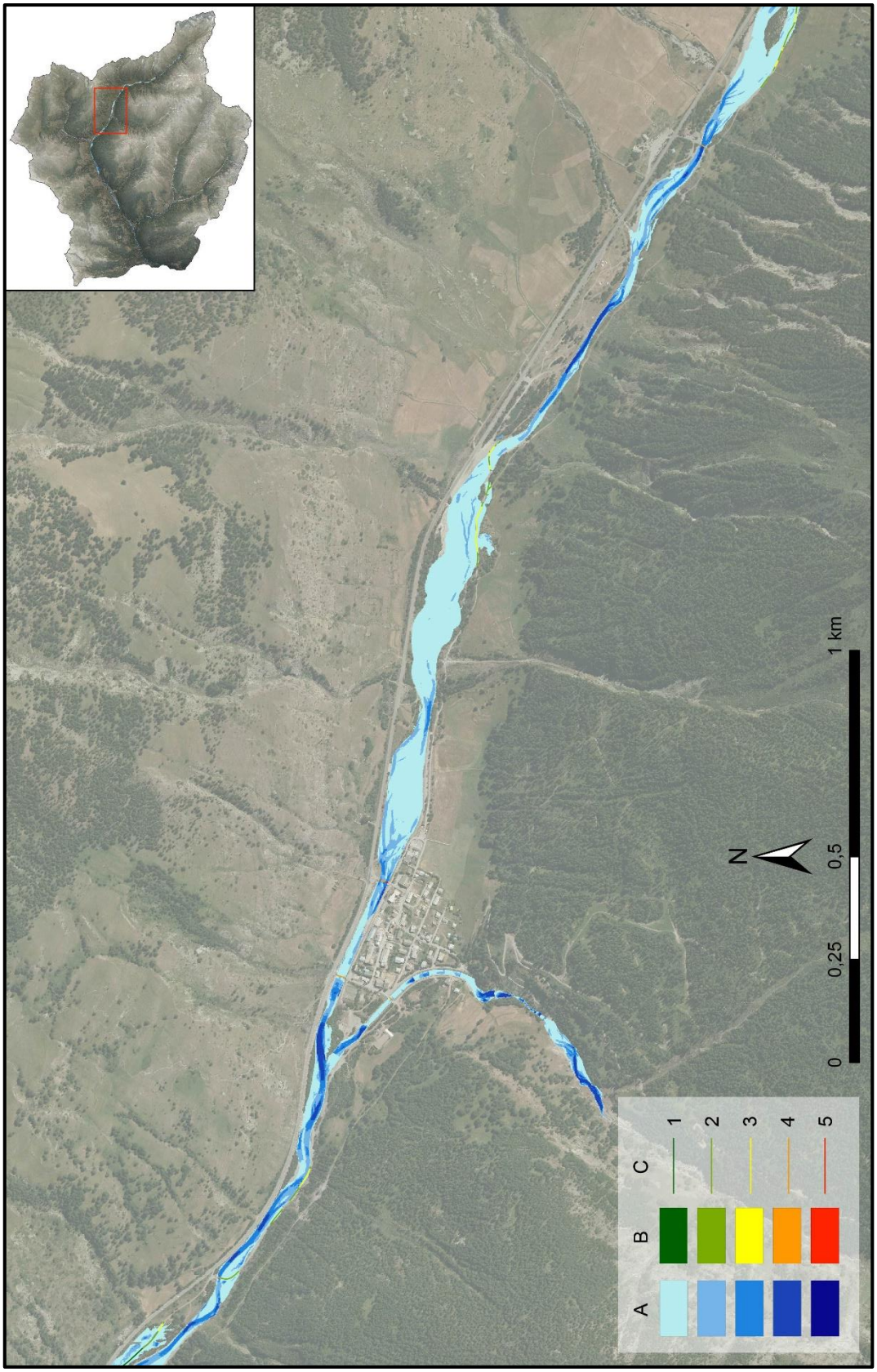


Figure 9. 3. : Les risques liés à une crue décennale dans le secteur de La Monta-Ristolas : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

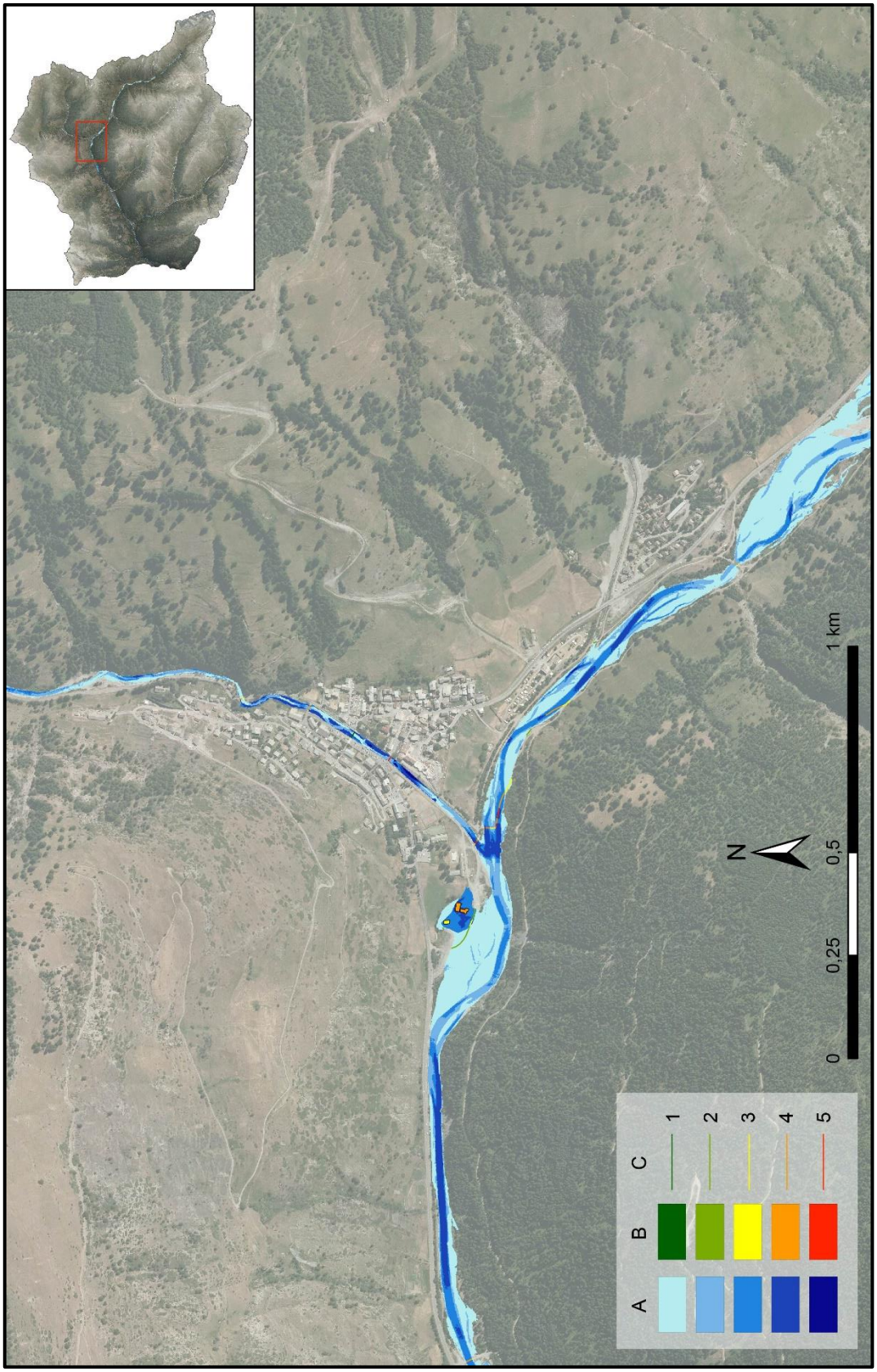


Figure 9. 4. : Les risques liés à une crue décennale dans le secteur d'Abriès : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

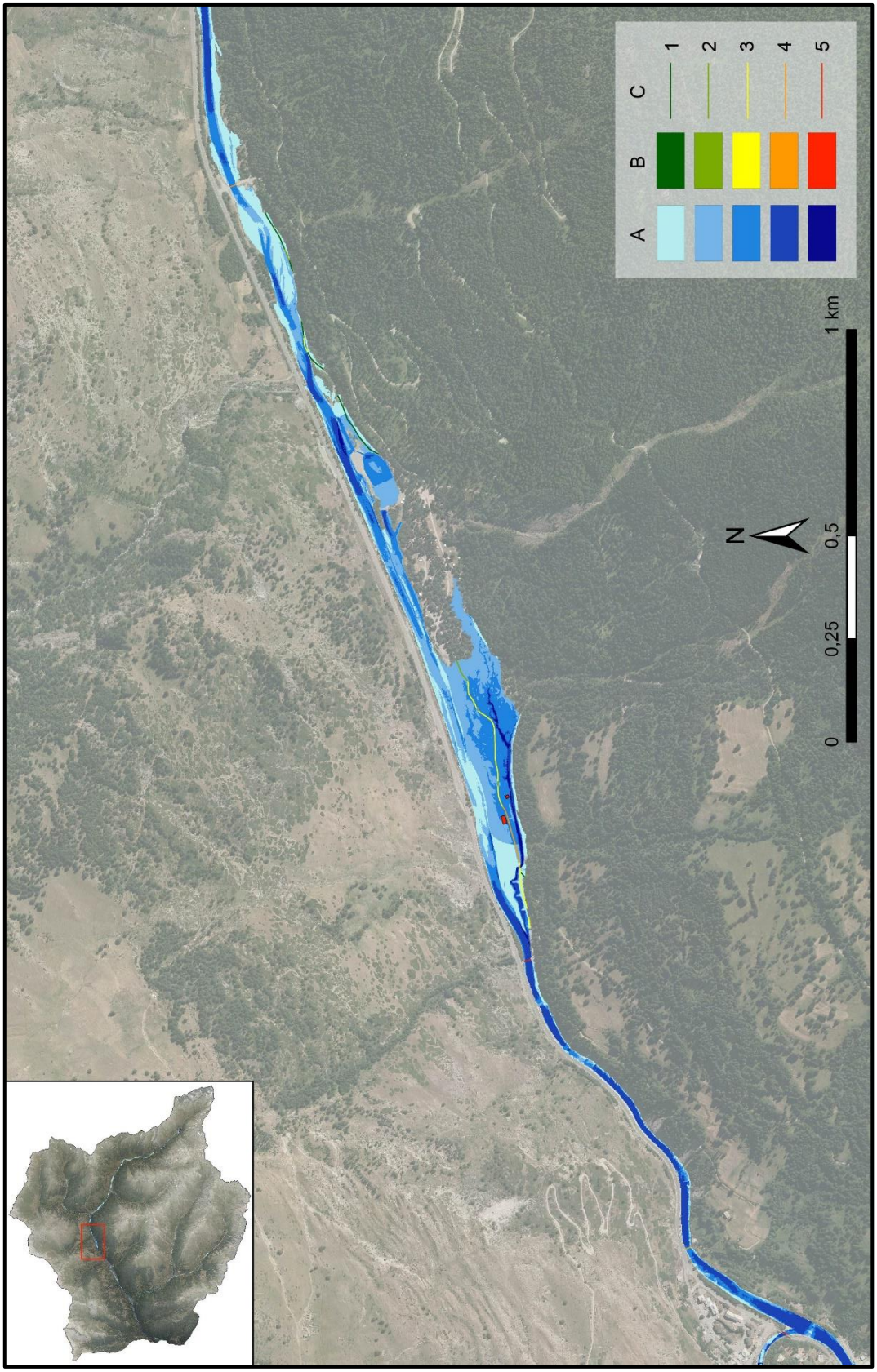


Figure 9. 5. : Les risques liés à une crue décennale dans le secteur du camping du Gouret : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

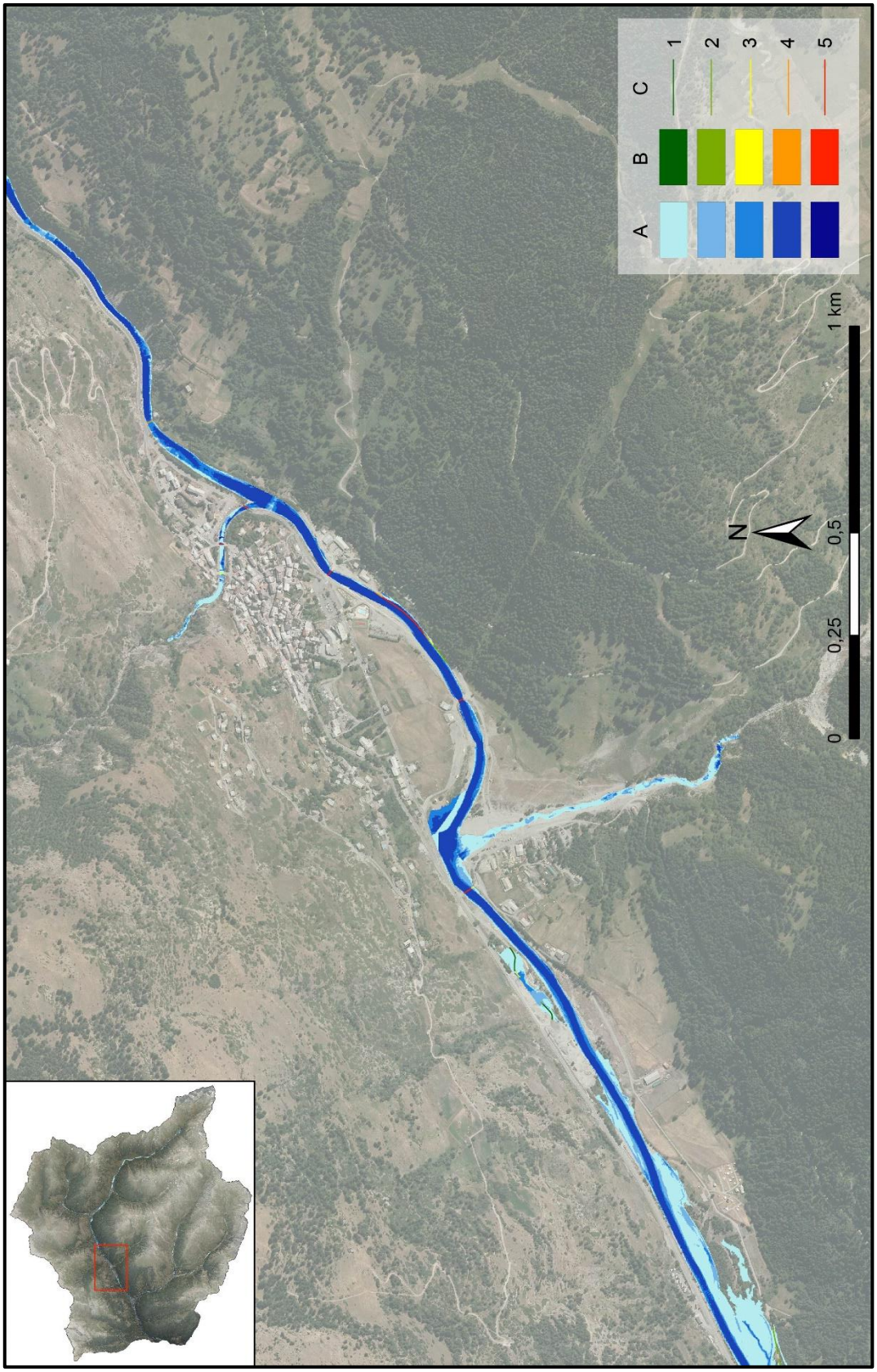


Figure 9. 6. : Les risques liés à une crue décennale dans le secteur d'Aiguilles : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

2. 2. Cartographie et analyse des risques liés à une crue trentennale-cinquantennale

Le scénario de risque trentennal-cinquantennal illustre les impacts d'une crue d'une intensité comparable à celle de juin 2000 (cf. chapitre 5). Pour un tel scénario, le risque est important sans pour autant être généralisé à l'ensemble du Queyras (Fig. 9. 7.). À l'image du scénario décennal, le risque se situe principalement dans la partie amont de la vallée du Guil, sur le territoire des communes de Ristolas, Abriès et Aiguilles (Fig. 9. 7.). Les quatre scénarios de crue torrentielle étant issus du même modèle hydraulique et les débits en entrée étant croissants, les espaces inondés dans le scénario décennal le sont également dans le scénario trentennal-cinquantennal. Afin d'éviter qu'il n'y ait trop de redites, nous insisterons ici davantage sur les zones qui n'étaient pas exposées au risque dans le scénario décennal mais qui le sont dans le scénario trentennal-cinquantennal.

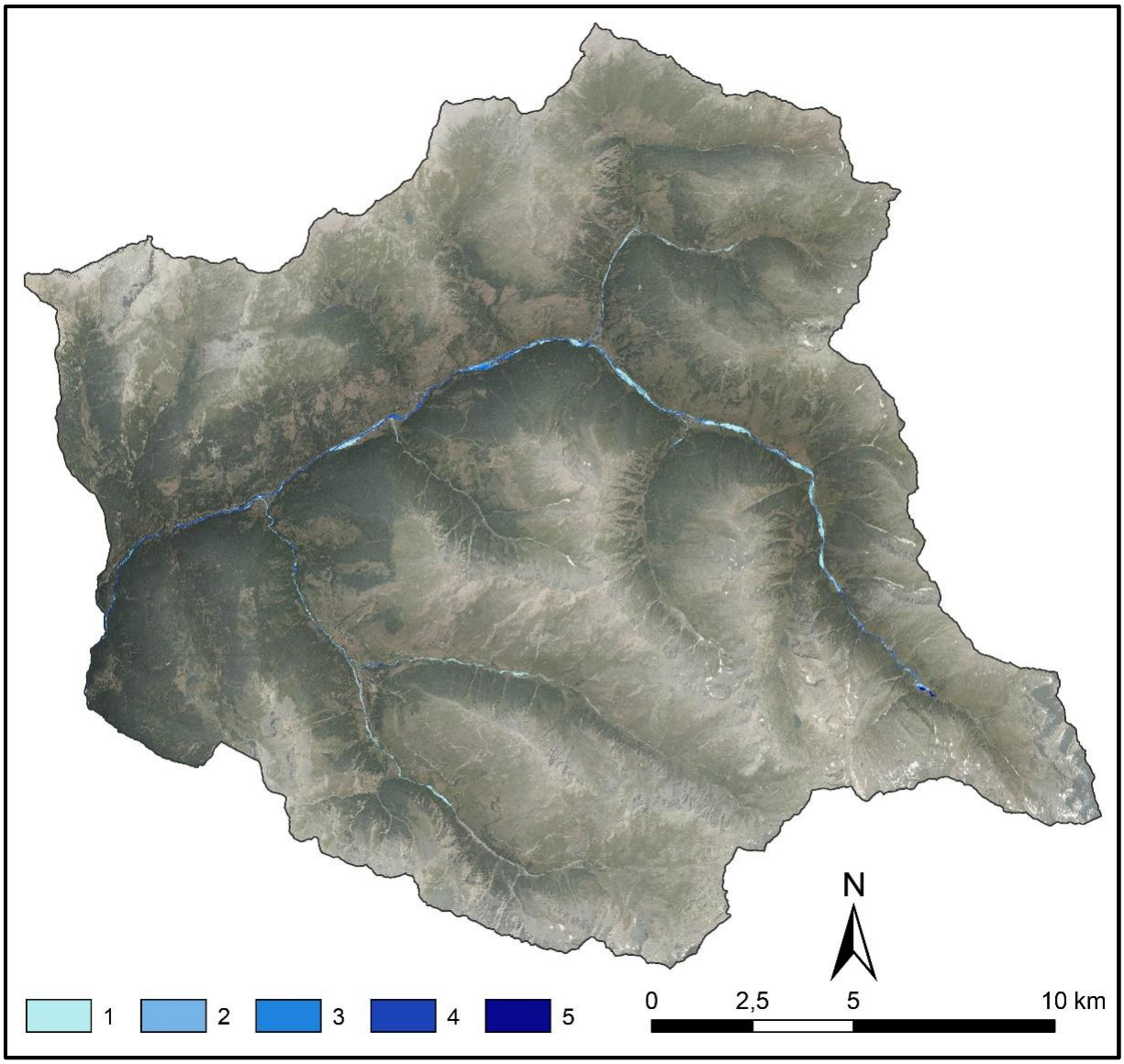


Figure 7 : Cartographie des risques liés à une crue trentennale-cinquantennale à l'échelle régionale : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort.

Dans le scénario décennal, les enjeux biophysiques situés sur la commune de Ristolas étaient peu exposés au risque. Dans le scénario trentennal-cinquantennal, cet espace présente des risques plus marqués (Fig. 9. 8. et 9. 9.). Si aucun bâtiment n'apparaît exposé, plusieurs enjeux touristiques sont menacés. Dans le secteur de la Roche Écroulée (Fig. 9 .8.), le parking situé en rive gauche du Guil

pourrait ainsi être partiellement inondé. Les chemins de randonnée en amont de la passerelle et en rive gauche du Guil présentent quant à eux des risques de coupure. Bien que le risque soit faible, la route empierrée qui prolonge la D 947 pourrait cependant être endommagée. Rappelons que le modèle hydraulique employé, très dépendant de la topographie, ne tient pas compte des phénomènes d'érosion de berge. Or, dans ce secteur, la route est particulièrement vulnérable à ce phénomène. Les protections (gabions et digues en terre) sont au mieux en mauvais état et des traces de sapement de berge sont clairement visibles (PNRQ, 2014). Il y a donc fort à parier que cette route puisse subir des impacts bien supérieurs à ce qui apparaît dans la cartographie (Fig. 9. 8.). Plus en aval, dans le secteur de l'Échalp (Fig. 9. 9.), les enjeux exposés au risque sont du même acabit. Le parking situé dans la bande active du Guil, en amont du hameau, pourrait être partiellement submergé et/ou dégradé par les chenaux de crue du Guil. Le chemin qui traverse le Guil au niveau du parking (ainsi que la passerelle qui s'y trouve) pourrait également être endommagé (Fig. 9. 9.). Il en va de même pour le chemin qui borde le Guil sur sa rive gauche, entre l'aval du cône du Maloqueste et le hameau de La Monta. Dans ce dernier hameau (Fig. 9. 9.), le risque est, en sus, présent en bordure du Guil et au niveau de la passerelle. L'endommagement de parkings et de chemins de randonnée à forte valeur touristique pourrait avoir des conséquences négatives importantes, pour la commune de Ristolas, déjà exsangue financièrement.

Plus en aval, dans les secteurs d'Abriès (Fig. 9. 10.), les enjeux exposés aux risques sont les mêmes que pour le scénario décennal. À ceci près que les surfaces inondées sont légèrement plus importantes (Fig. 9. 10. et 9. 11.). Les bâtiments déjà compris dans la zone à risque de la crue décennale (Fig. 9. 4.) sont, cette fois ci, tous trois exposés à un risque fort.

Dans ce scénario de crue trentennale-cinquantennale, c'est dans la commune d'Aiguilles que les conséquences négatives pourraient être les plus importantes (Fig. 9. 11. et 9. 12.). Nous n'insisterons pas ici sur les enjeux du camping du Gouret exposés au risque puisque ceux-ci ont déjà été décrits dans le scénario décennal. En revanche, en amont du pont du Gouret (Fig. 9. 11.), un tronçon de la route D 947 affiche un très fort risque d'endommagement. Une coupure de cet axe majeur pour le Queyras pourrait entraîner l'isolement des communes de Ristolas et d'Abriès, d'où un risque majeur à considérer. Au sein même du village d'Aiguilles, plusieurs enjeux importants pourraient être menacés (Fig. 9. 12.). C'est le cas des cinq bâtiments situés en rive gauche du Guil, de part et d'autre de l'amorce de la route forestière du Peynin (Fig. 9. 12.). Deux de ces bâtiments sont exposés à un risque faible, deux à un risque fort et le dernier à un risque très fort (Fig. 9. 12.). Les deux bâtiments situés les plus en aval (ceux qui présentent le risque le plus important) correspondent à des logements, tandis que les autres sont des bâtiments à vocation artisanale. Plusieurs tronçons du chemin qui longe le Guil affichent également un risque échelonné de faible à très fort (Fig. 9. 12.). Dans la partie aval de la plaine des Ribes, la digue protégeant l'Espace Ludique d'Aiguilles pourrait être submergée, entraînant une inondation du parking et de l'espace de pique-nique (Fig. 9. 12.). Cependant, la commune dispose de blocs rocheux en réserve de manière à pouvoir rapidement intervenir en cas d'endommagement des digues protégeant les berges. En aval du cône du Peynin, la zone de stockage de matériaux, allouée aux entreprises de BTP de la zone d'activité de la Pignée, présente également un risque de submersion (Fig. 9. 12.). C'est aussi le cas de la partie terminale de la terrasse de la crue de juin 1957, située en aval du cône du Peynin. La ripisylve et la route qui la traverse pourraient subir des dommages, de même que certains terrains à vocation agricole, voire une partie du camping GCU (Fig. 9. 12.).

Si une partie importante de la haute-vallée du Guil est sujette au risque en cas de crue trentennale-cinquantennale, ce sont les villages d'Abriès et surtout d'Aiguilles qui apparaissent les plus menacés. Bien que les zones exposées soient bien connues des gestionnaires, car impactées lors des crues de 1957 et 2000, les dangers restent néanmoins présents, d'autant que plusieurs bâtiments sont concernés, dont certains correspondent à de l'habitat. Il faut aussi garder en tête le risque d'une coupure de la D 947 qui entraînerait un isolement des communes de Ristolas et Abriès.

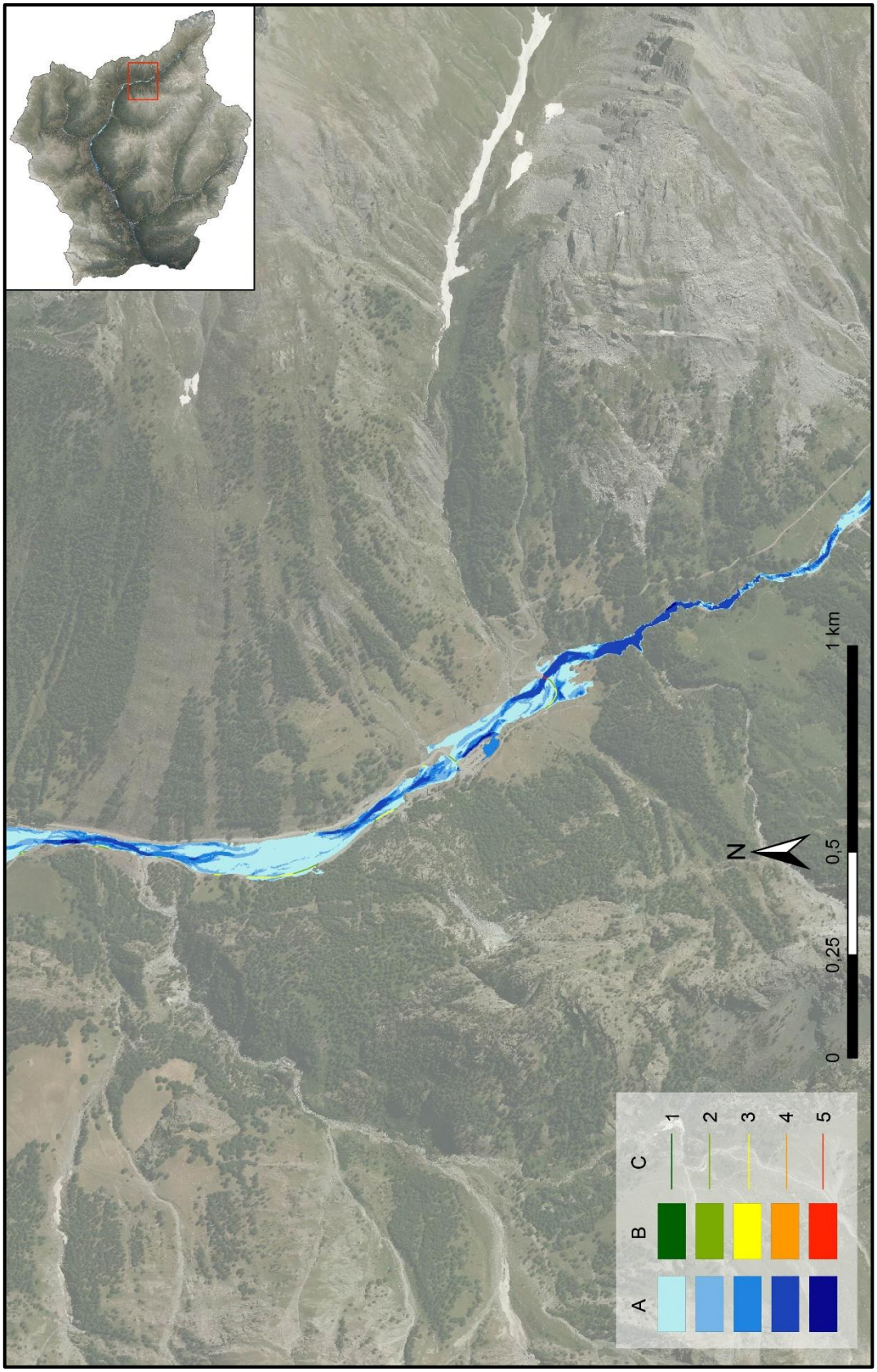


Figure 9. 8. : Les risques liés à une crue trentennale-cinquantennale dans le secteur de la Roche Écroulée : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

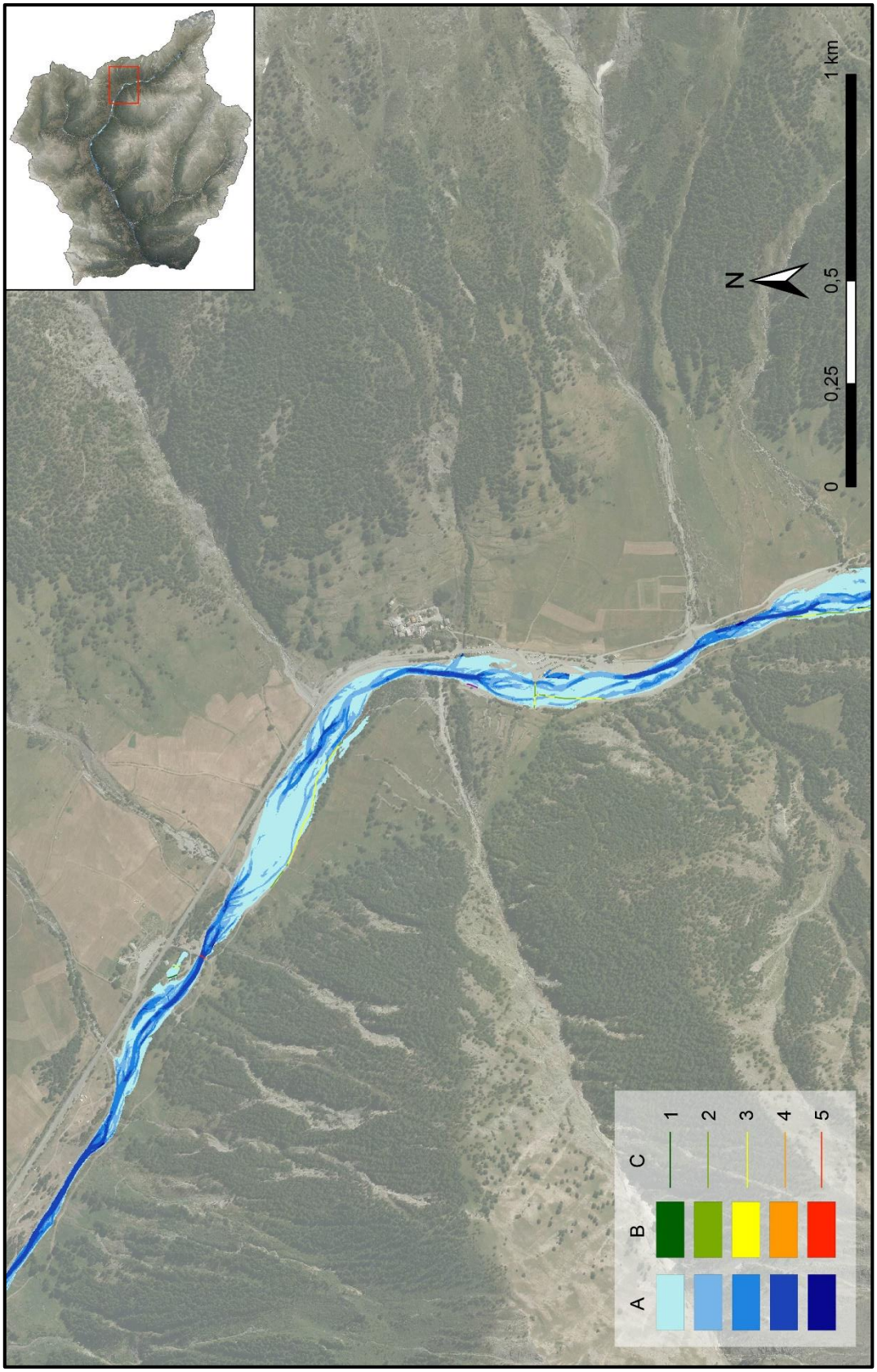


Figure 9. 9. : Les risques liés à une crue trentennale-cinquantennale dans le secteur de l'Échalp : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

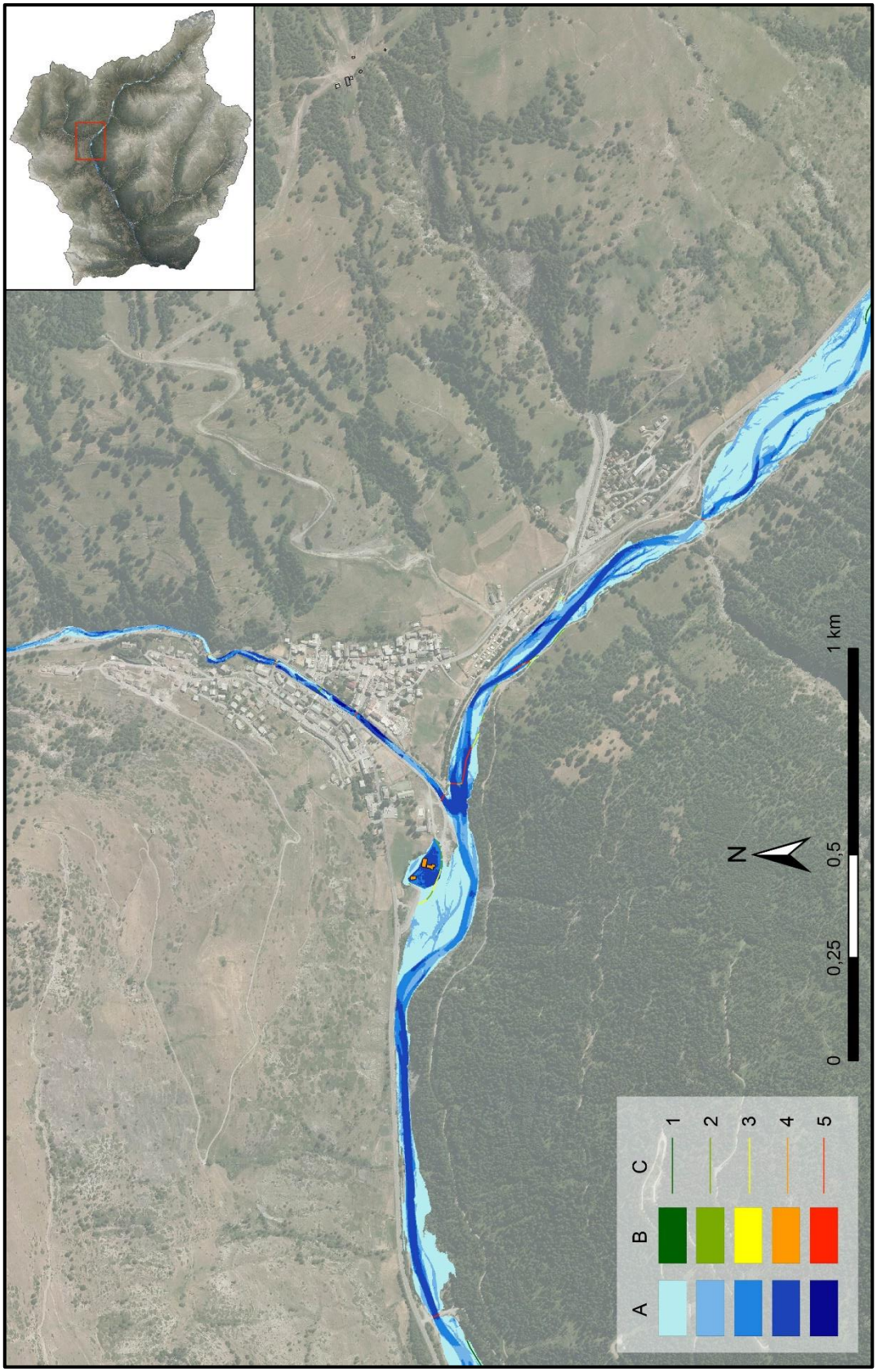


Figure 9. 10. : Les risques liés à une crue trentennale-cinquantennale dans le secteur d'Abriès : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

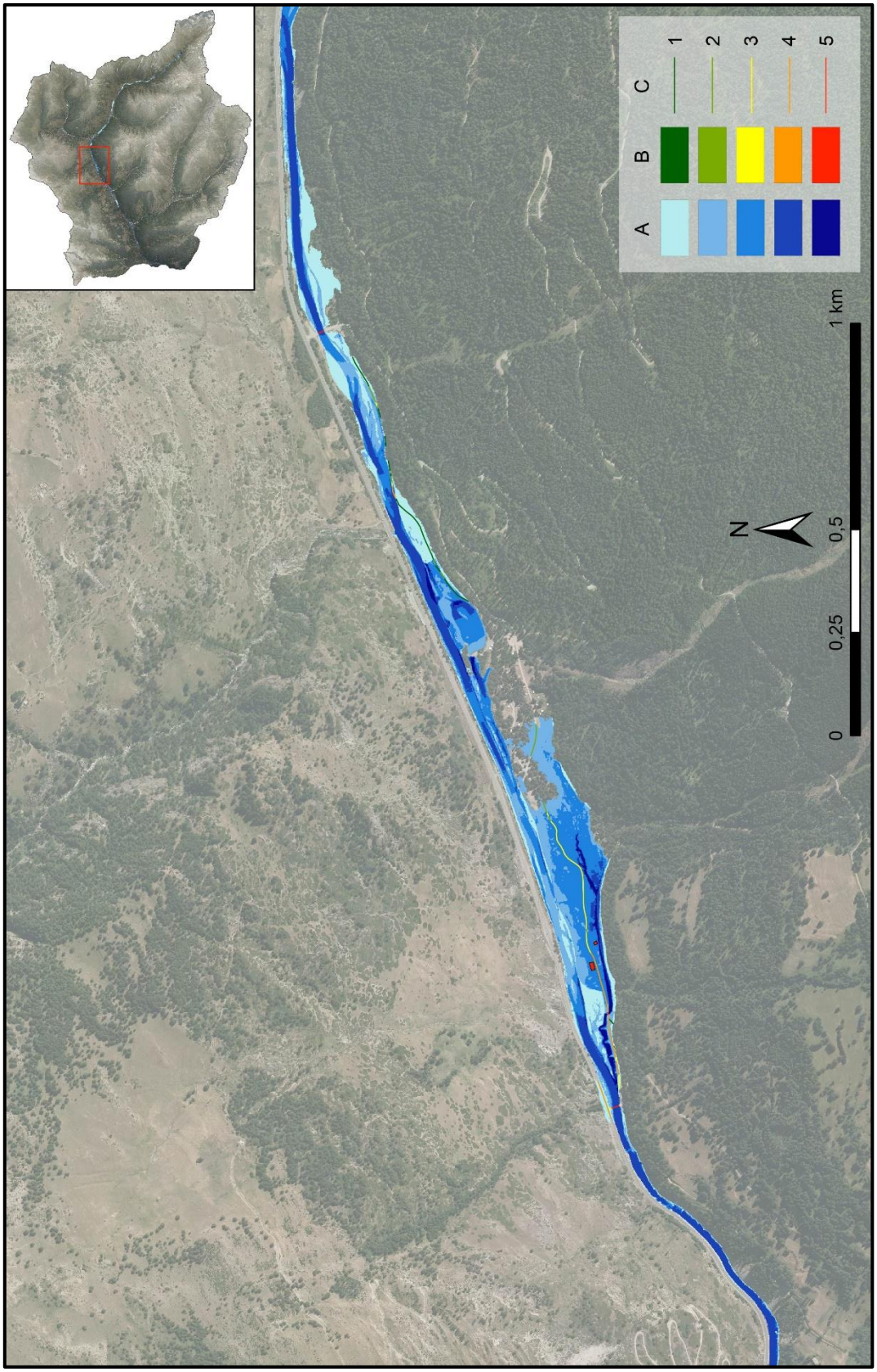


Figure 9. 11. : Les risques liés à une crue trentennale-cinquantennale dans le secteur du camping du Gouret : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

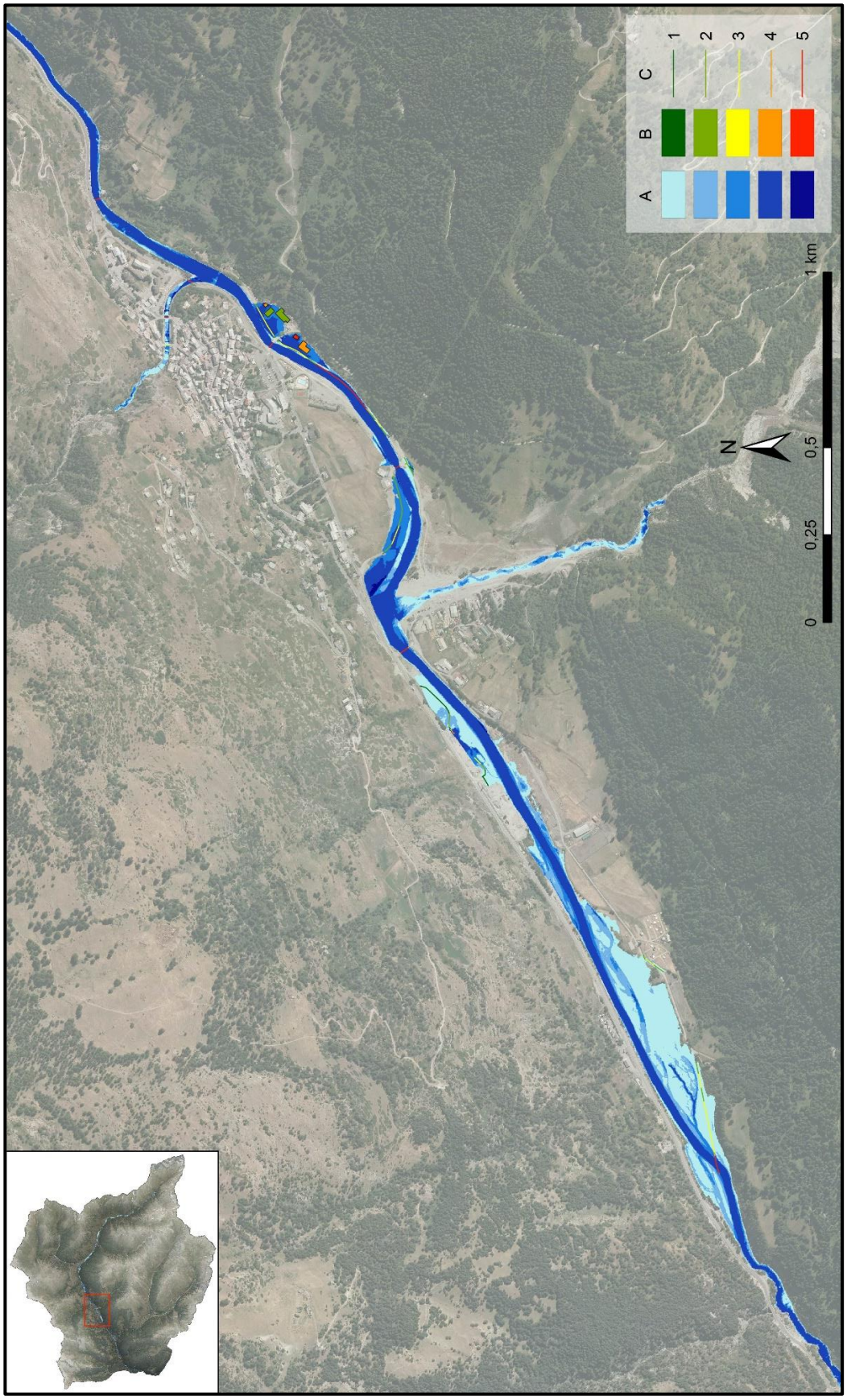


Figure 9. 12. : Les risques liés à une crue trentennale-cinquantennale dans le secteur d'Aiguilles : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

2. 3. Cartographie et analyse des risques liés à une crue centennale

Le scénario de risque centennal illustre les impacts possibles d'une crue de basse fréquence et de haute magnitude (cf. chapitre 5). Dans ce scénario, le risque est généralisé à l'ensemble de la vallée du Guil mais n'impacte que peu les vallées adjacentes du Bouchet et de l'Aigue Blanche (Fig. 9. 13.). Dans la vallée du Guil, la rivière occupe l'intégralité de sa bande active mais reste très contrainte par les digues construites suite à la crue de juin 1957 (Fig. 9. 13.). En revanche, dans les secteurs non-endigués, le Guil réoccupe tout ou partie de sa plaine d'inondation (Fig. 9. 13.). À Aiguilles et Château-Queyras, le cours d'eau inonde des espaces urbanisés ou artificialisés par surverse de la digue de 1957 (Fig. 9. 13.). Dans ce scénario, de nombreux enjeux sont donc exposés au risque. Comme pour la sous-partie précédente, nous insisterons davantage sur les enjeux qui sont exposés au risque dans ce scénario mais qui ne l'étaient pas dans les scenarii précédemment commentés. Pour plus de clarté, les commentaires sont ici présentés à l'échelle communale en respectant une logique amont-aval.

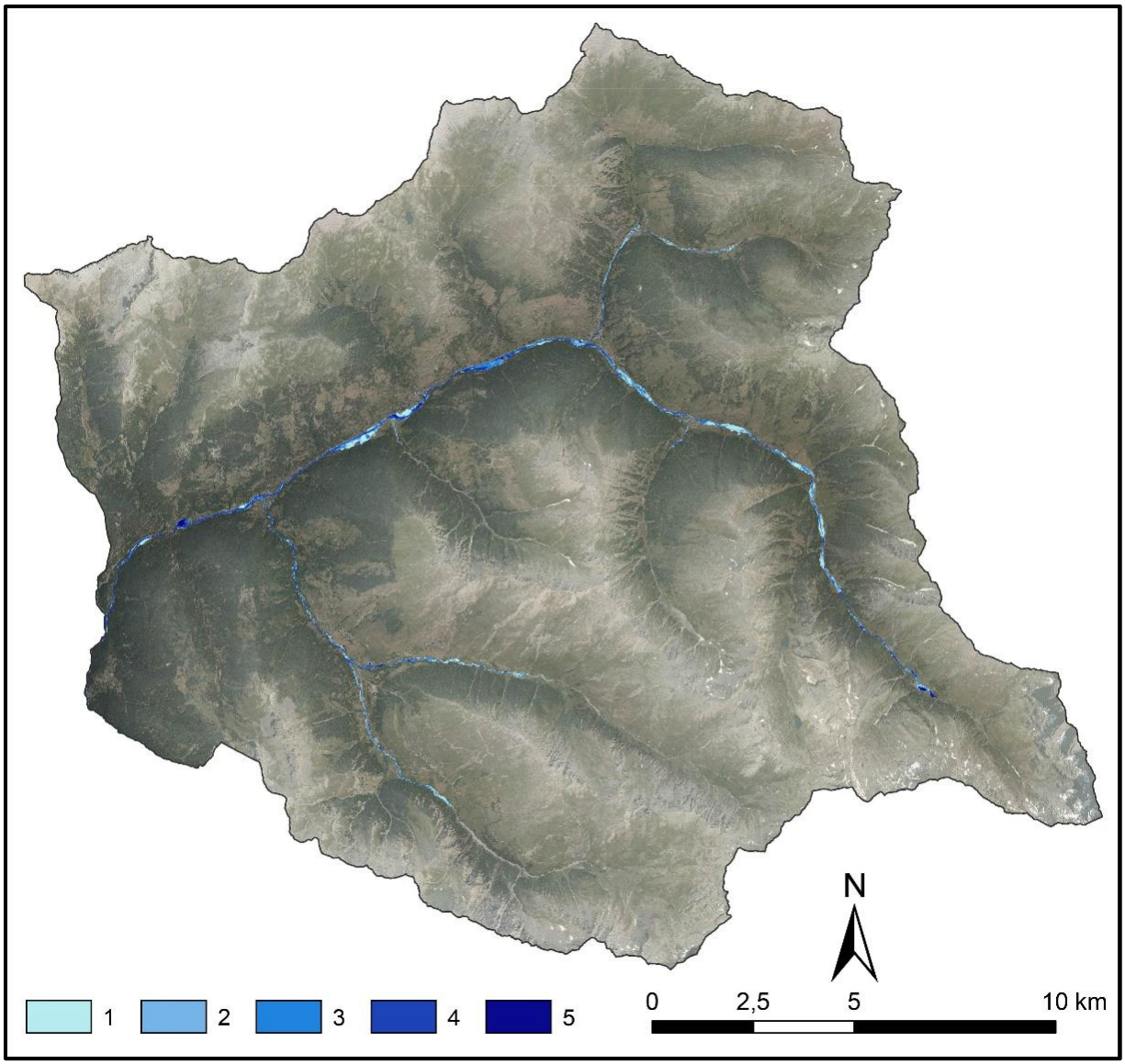


Figure 9. 13. : Cartographie des risques liés à une crue centennale à l'échelle régionale : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort.

Sur la commune de Ristolas, les risques sont comparables à ceux évoqués dans le scénario trentennale-cinquantennale (Fig. 9. 14., 9. 15. et 9. 16.). Le risque est certes plus important mais les enjeux exposés sont les mêmes. Dans la cartographie produite, aucun bâtiment n'apparaît exposé au risque. En revanche, de nombreux enjeux de réseaux et d'occupation du sol le sont (Fig. 9. 14., 9. 15. et 9. 16.). Comme pour le scenario précédent, les parkings de la Roche Écroulée et de l'Échalp sont partiellement inondés mais à un degré plus important (Fig. 9. 14. et 9. 15.). Les chemins situés en rive gauche du Guil (dont plusieurs tronçons du GR 58) sont fortement menacés par les flots (Fig. 9. 14., 9. 15. et 9. 16.). Les différences majeures entre ce scénario et le précédent résident dans l'exposition accrue de la prolongation de la D 947 (Fig. 9. 14.) et du camping de Ristolas (Camping municipal du Chardonnet ou La Monta ; Fig. 9. 16.). On a déjà évoqué le risque d'endommagement de la route de la Roche Écroulée mais dans ce scénario-ci, une coupure nette de la route a été modélisée environ 200 m en aval du parking. Elle est due à une surverse de digue et elle implique la submersion partielle d'une aire de repos affectionnée par les vacanciers possédant des camping-cars (d'ailleurs visibles sur le fond de carte ; Fig. 9. 14.). Pour ce qui est du camping (Fig. 9. 16.), le risque apparaît encore faible. Cependant, des marques de débordement sont visibles dans sa partie aval, signes que ce dernier pourrait être envahi par les eaux. C'est d'autant plus dangereux que la digue qui le protège pourrait entraîner la formation d'un lac en lieu et place du camping. Dans le village de Ristolas (Fig. 9. 16.), les ouvrages de protection semblent bien assurer leur rôle puisqu'aucun débordement n'est constaté. Rappelons que ces ouvrages ont été précisément calibrés pour assurer une protection efficace en cas de crue centennale.

Sur la commune d'Abriès, les espaces immergés sont sensiblement les mêmes que pour le scénario de crue trentennale-cinquantennale (Fig. 9. 16., 9. 17. et 9. 18.). Les enjeux exposés au risque sont principalement localisés dans la plaine d'Abriès et le long des berges de rive gauche du Guil. La principale différence entre les deux modélisations se situe à l'amont de la commune, à proximité immédiate de la limite administrative qui sépare Abriès de Ristolas (Fig. 9. 16.). Sur ce secteur on observe une surverse de la digue de 1957. Cette dernière pourrait entraîner une coupure de la D 947 et endommager le terrain agricole et la station de pompage placés en arrière de la digue-route (Fig. 9. 16.). Une interruption de la D 947 sur ce point entraînerait l'isolement de la commune de Ristolas, d'où un risque important pour sa population. Si les risques peuvent sembler relativement limités sur la commune, il convient néanmoins de rappeler les incertitudes liées au processus de modélisation des crues. Dans le scénario modélisé, les flots du Guil et du Bouchet ne parviennent pas à franchir les digues au niveau du village d'Abriès (Fig. 9. 17.). Cependant, la carte d'aléa produite (Fig. 5. 18., C) nous indique que les chenaux de ces deux cours d'eau sont à pleins bords. Des débordements au niveau du chenal intérieur du village et le long de la digue protégeant le camping ne sont donc pas à exclure (Fig. 9. 17.). En outre, faute de données les concernant, les torrents de la Garcine et du Malrif n'ont pu être intégrés au modèle hydraulique. Or, ces torrents présentent de sérieux dangers comme en témoigne leur toponyme (Garcine provient de « garce » et Malrif signifie littéralement « mauvais torrent ») et les importants ouvrages d'art qui ont été réalisés à leur aval (Fig. 9. 17. et 9. 18.). Si une crue centennale venait à se produire, les risques seraient donc bien plus conséquents que ceux affichés sur les cartes.

Sur la commune d'Aiguilles, les risques engendrés par une crue centennale apparaissent considérables (Fig. 9. 18. et 9. 19.). Comme pour les scénarios précédents, le camping du Gouret est fortement impacté (Fig. 9. 18.). La quasi-totalité de sa surface est immergée dans le scénario centennal. En plus des bâtiments situés à l'entrée du camping (déjà menacés dans les précédents scénarios), deux autres bâtiments apparaissent exposés au risque (sanitaires et douches ; Fig. 9. 18.). La portion de la route D 947 qui pourrait être impactée est également plus importante que dans le scénario précédent, d'où un risque d'isolement accru pour les communes d'Abriès et de Ristolas (Fig. 9. 18.). Dans, et à proximité du village, les enjeux exposés au risque sont également bien plus importants que dans le scénario précédent (Fig. 9. 19.). La Plaine des Ribes et les marges de la bande active de 1957 sont

presque intégralement immergées. Au total, 21 bâtiments et plusieurs centaines de mètres de réseaux (≈3,5 km) sont exposés à des degrés divers. Tout en amont du village, le pont qui marquera l'accès de la future voie alternative à la D 947 est menacé, de même que la bâtisse qui lui est accolée. Dans la plaine des Ribes (Fig. 9. 19.), toutes les infrastructures touristiques pourraient être touchées : le minigolf, la piscine, les terrains de sport, le parking et l'accueil de l'Espace Ludique d'Aiguilles. Le boulevard des Ribes est coupé en deux points, ce qui pourrait restreindre fortement l'accès au centre hospitalier. Le pont et la passerelle qui enjambent le Guil sont classés avec un risque fort. Sachant que la crue de juin 2000 a mis en évidence leur sous-calibration, ce dernier risque est à prendre avec le plus grand sérieux (Arnaud-Fassetta *et al*., 2005). Sur les marges de la bande active de 1957 (Fig. 9. 19.), la ferme et le camping GCU pourraient être immergés, même si le risque est considéré comme faible. Compte tenu de la charge solide transportée par le Guil en crue, le risque d'engravement des terrains agricoles est par contre bien présent. Pour un scénario de crue centennale, les risques sur la commune d'Aiguilles sont donc considérables.

Sur la commune de Château-Ville-Vieille (Fig. 9. 20.), les dommages attendus sont également très importants. Ces derniers se concentrent dans la plaine de Château-Queyras, au pied du château (Fig. 9. 20.). La zone immergée reprend une partie de l'enveloppe de la crue de juin 1957 (Fig. 5. 5.). Au total, 27 bâtiments et près de 700 m de réseau apparaissent exposés au risque. À cela s'ajoutent le parking et l'aire de pique-nique et de loisirs. Le pont de la D 902, qui avait été la cause d'embâcles en juin 1957, est aussi concerné. Contrairement à la crue de juin 1957, le village de Ville-Vieille et les zones artisanales et économiques situées entre ce dernier et Château Queyras n'apparaissent pas menacés (Fig. 9. 20.). Les ouvrages de protection limitent donc fortement le risque dans ce secteur. Toutefois, ce qui a été évoqué pour le village d'Abriès reste valable pour Ville-Vieille, à savoir que le chenal du Guil est à pleins bords, d'où d'éventuels débordements qui pourraient avoir des conséquences désastreuses pour les enjeux cloisonnés derrière les digues (Fig. 5. 20., C). Peu inquiétée par les crues de faibles à moyennes intensités, la commune de Château-Ville-Vieille n'en demeure pas moins exposée aux crues de fortes magnitudes.

Ce constat est aussi valable pour les communes de Molines-en-Queyras et Saint-Véran (Fig. 9. 21.). Certes, ces dernières ne disposent que de peu d'enjeux en fond de vallée mais ceux-ci sont essentiels à leur fonctionnement (routes départementales D 5 et D 205 et enjeux touristiques majeurs). En outre, si l'Aigue Blanche et l'Aigue Agnelle ne souffrent pas la comparaison avec le Guil en matière de débit de crue, elles n'en restent pas moins des rivières torrentielles. Dans la vallée de l'Aigue Blanche, la zone potentiellement inondable s'étend du hameau de La Chalp au lieudit « le Pont des Marrous » (Fig. 9. 21.). Dans la vallée de l'Aigue Agnelle, l'espace le plus sensible est situé en contrebas du hameau de Pierre-Grosse, entre les ponts de Chanterane et du Moulin (Fig. 9. 21.). Dans le scénario de crue centennale, ces deux espaces comportent des enjeux exposés au risque. Dans le premier cas, il s'agit essentiellement de réseaux secondaires (Fig. 9. 21.). Dans ce scénario, la route D 5 apparaît protégée par les ouvrages d'art. Elle n'en reste pas moins menacée, comme en témoignent les événements de 2008 (cf. partie 1, chapitre 2). C'est d'autant plus vrai que depuis la construction du rond-point du Clôt-La-Chalpe, la D 5 longe désormais l'Aigue Blanche. Or, un débordement ou une rupture de digue le long du cours d'eau pourrait menacer les bâtiments et infrastructures des hameaux de La Chalp et du Clôt-La-Chalpe, tout en coupant la principale voie d'accès au village de Saint-Véran (Fig. 9. 21.). En contrebas de Pierre-Grosse, les enjeux exposés comprennent les ponts de Chanterane et du Moulin, le camping de Chanterane et plusieurs enjeux de réseau (dont un tronçon de la route des Amoureux, seule autre route carrossable permettant d'accéder au village de Saint-Véran). Ces enjeux sont loin d'être négligeables et montrent bien qu'en dépit d'une faible exposition, les communes de Molines-en-Queyras et Saint-Véran sont bel et bien exposées au risque inondation.

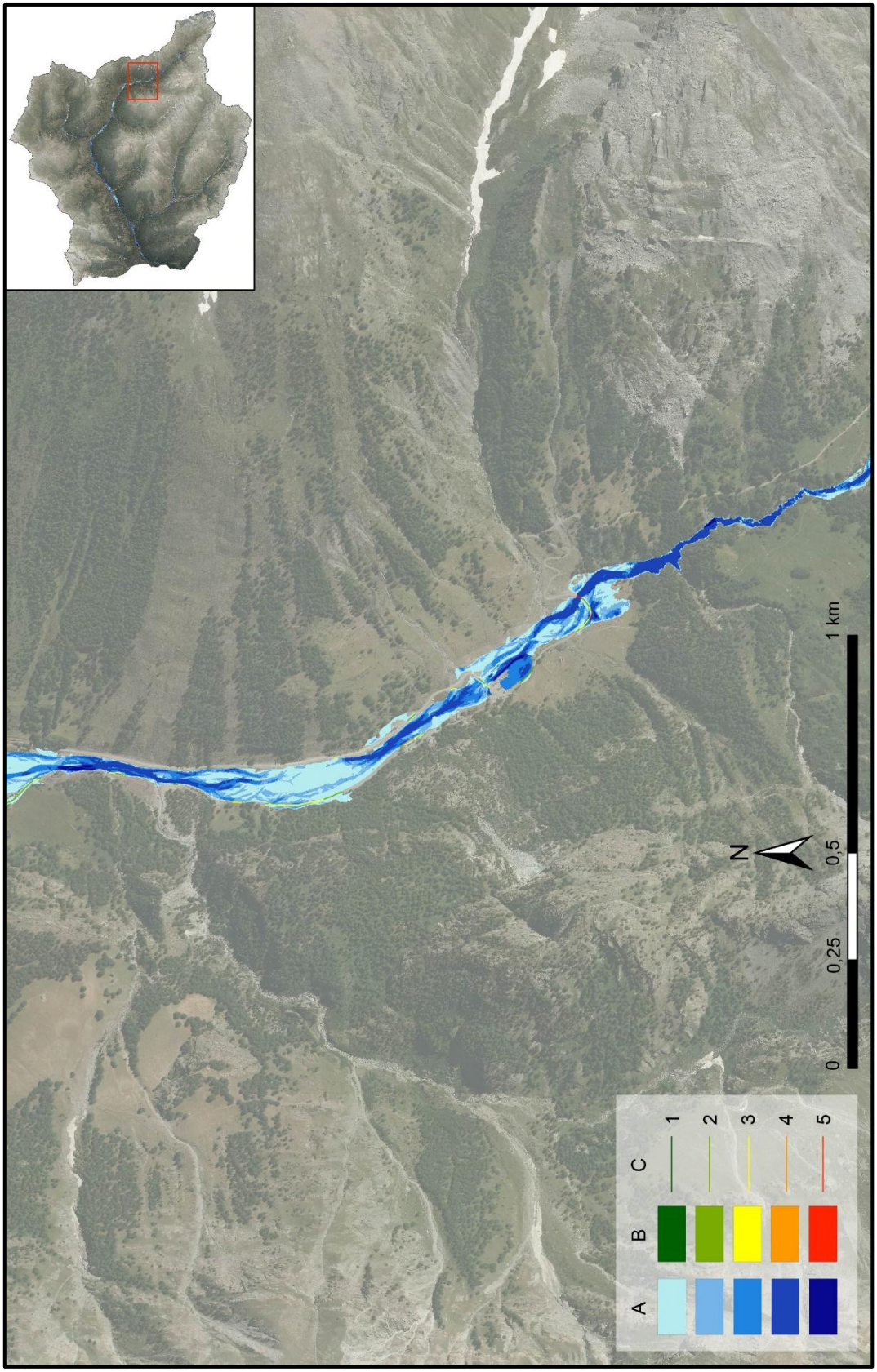


Figure 9. 14. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur de la Roche Écroulée : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

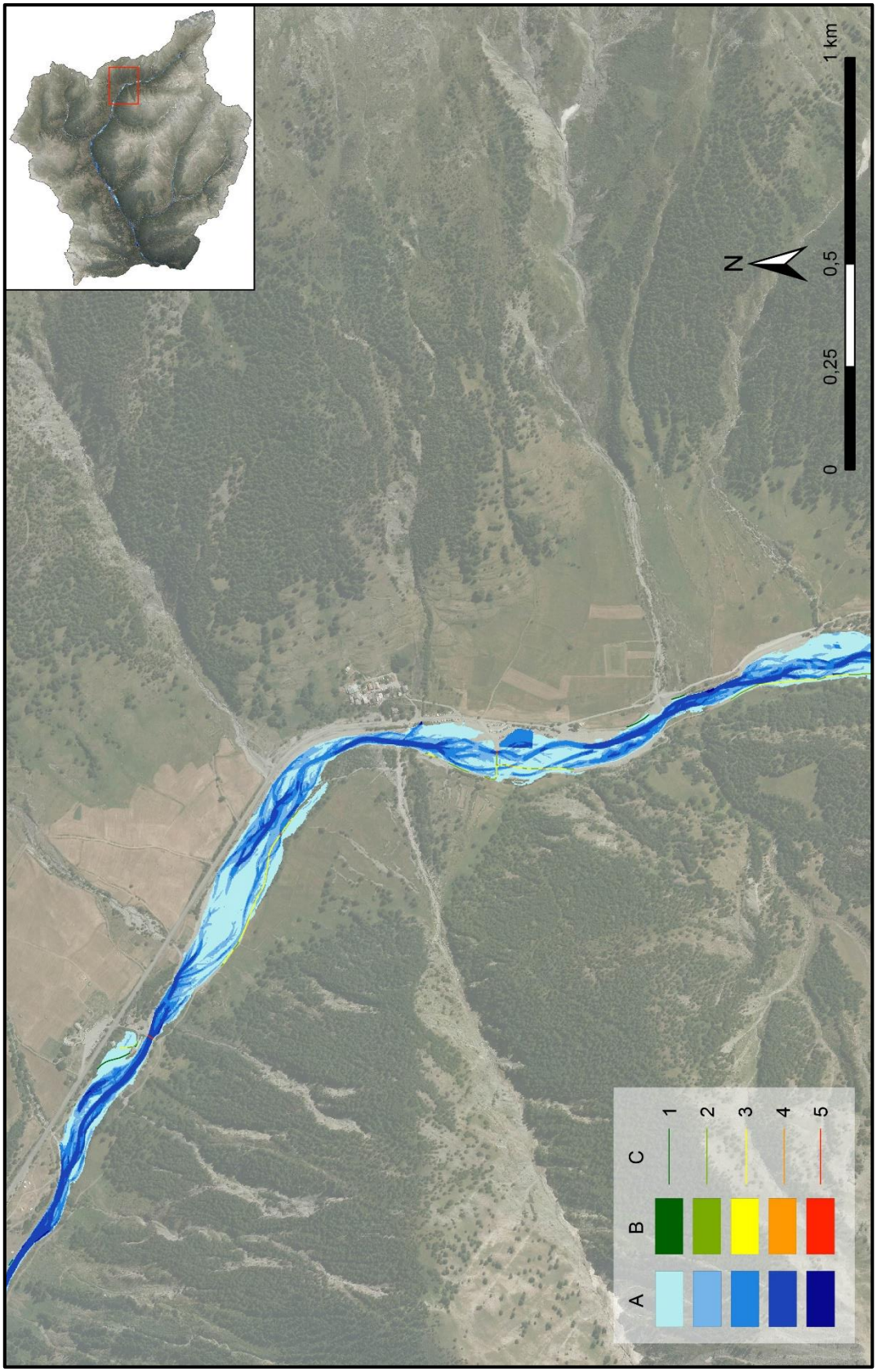


Figure 9. 15. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur de l'Échalp : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

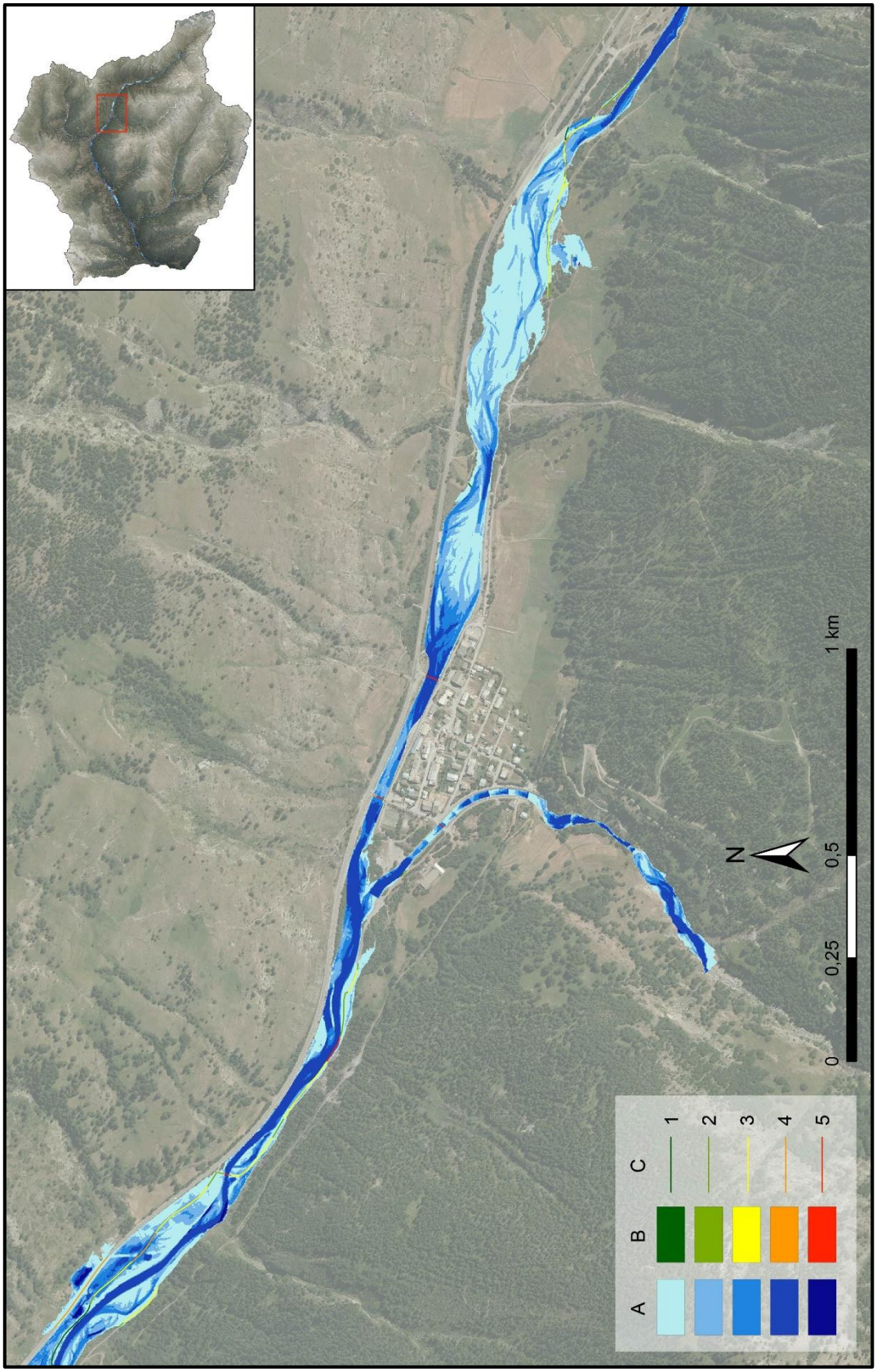


Figure 9. 16. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur de Ristolas : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

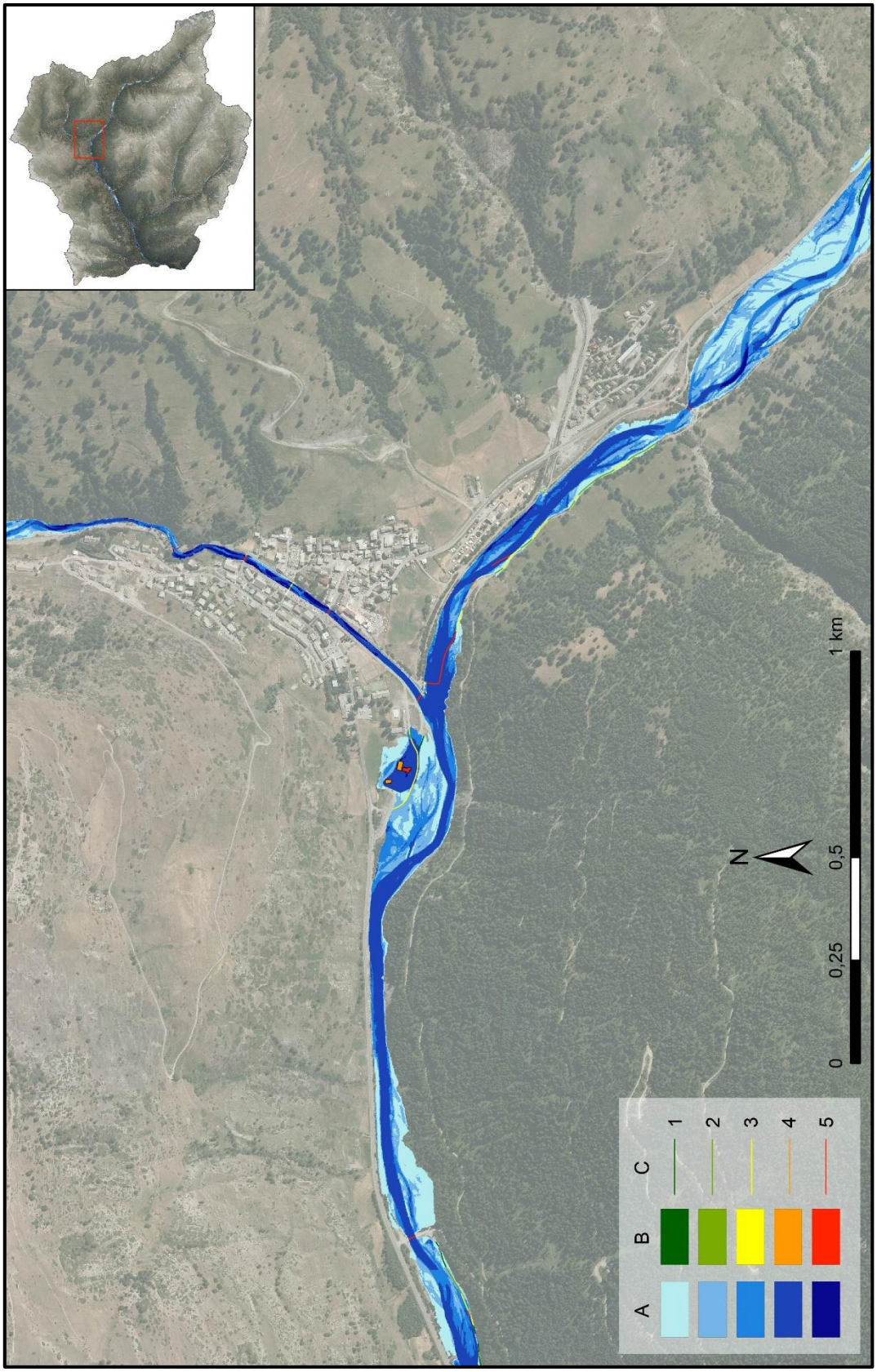


Figure 9. 17. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur d'Abriès : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

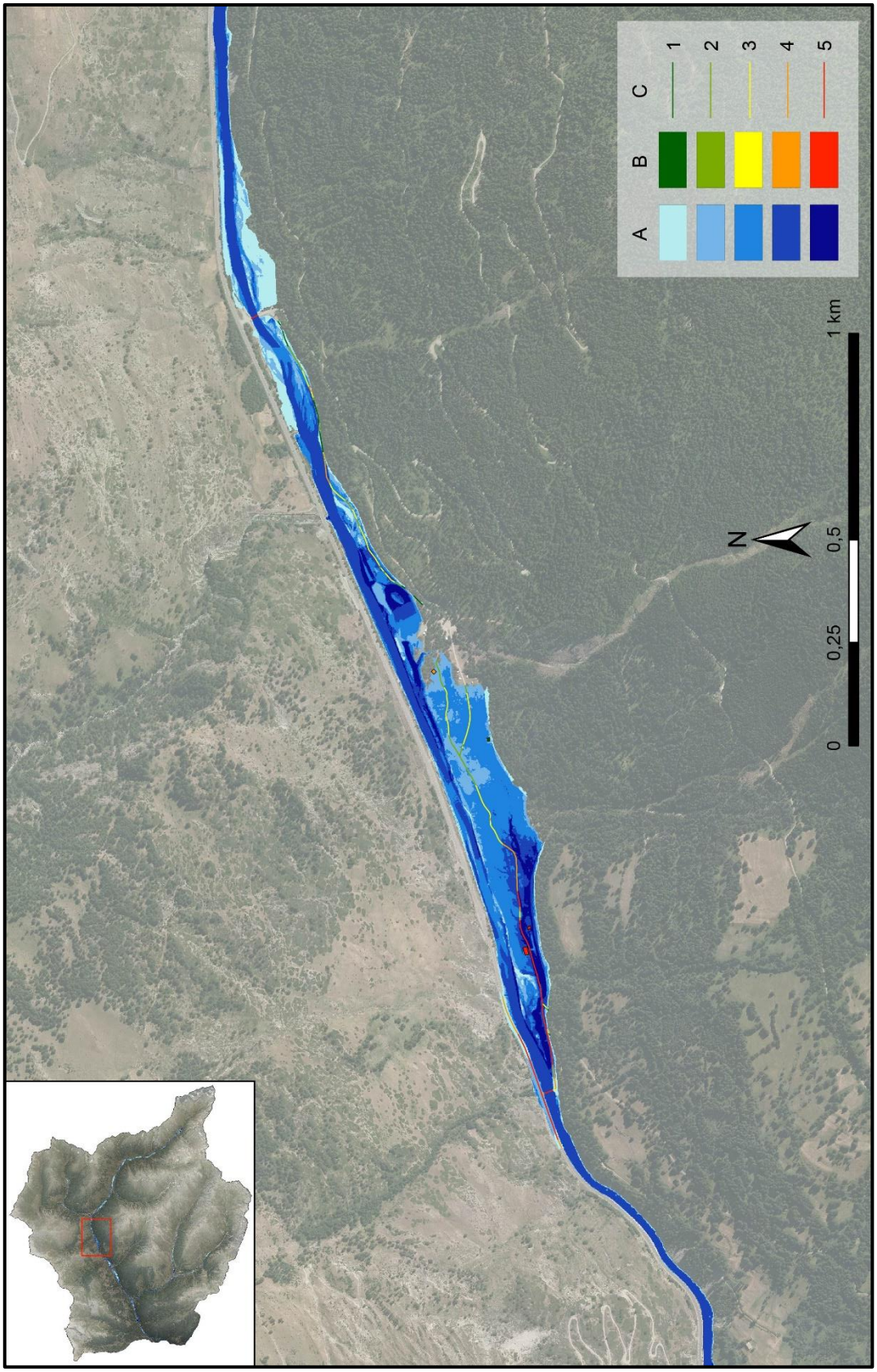


Figure 9. 18. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur du camping du Gouret : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

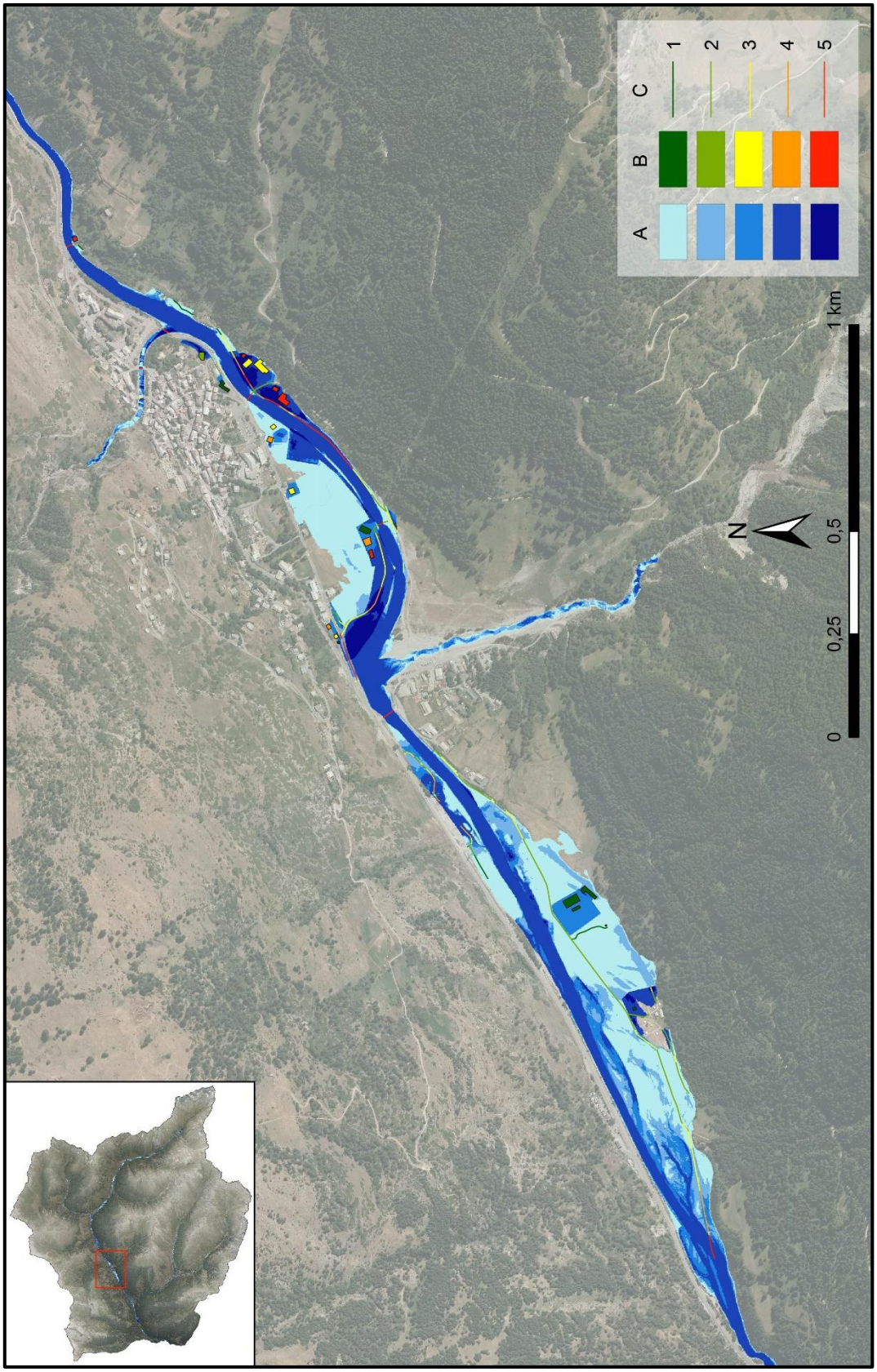


Figure 9. 19. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur d'Aiguilles : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

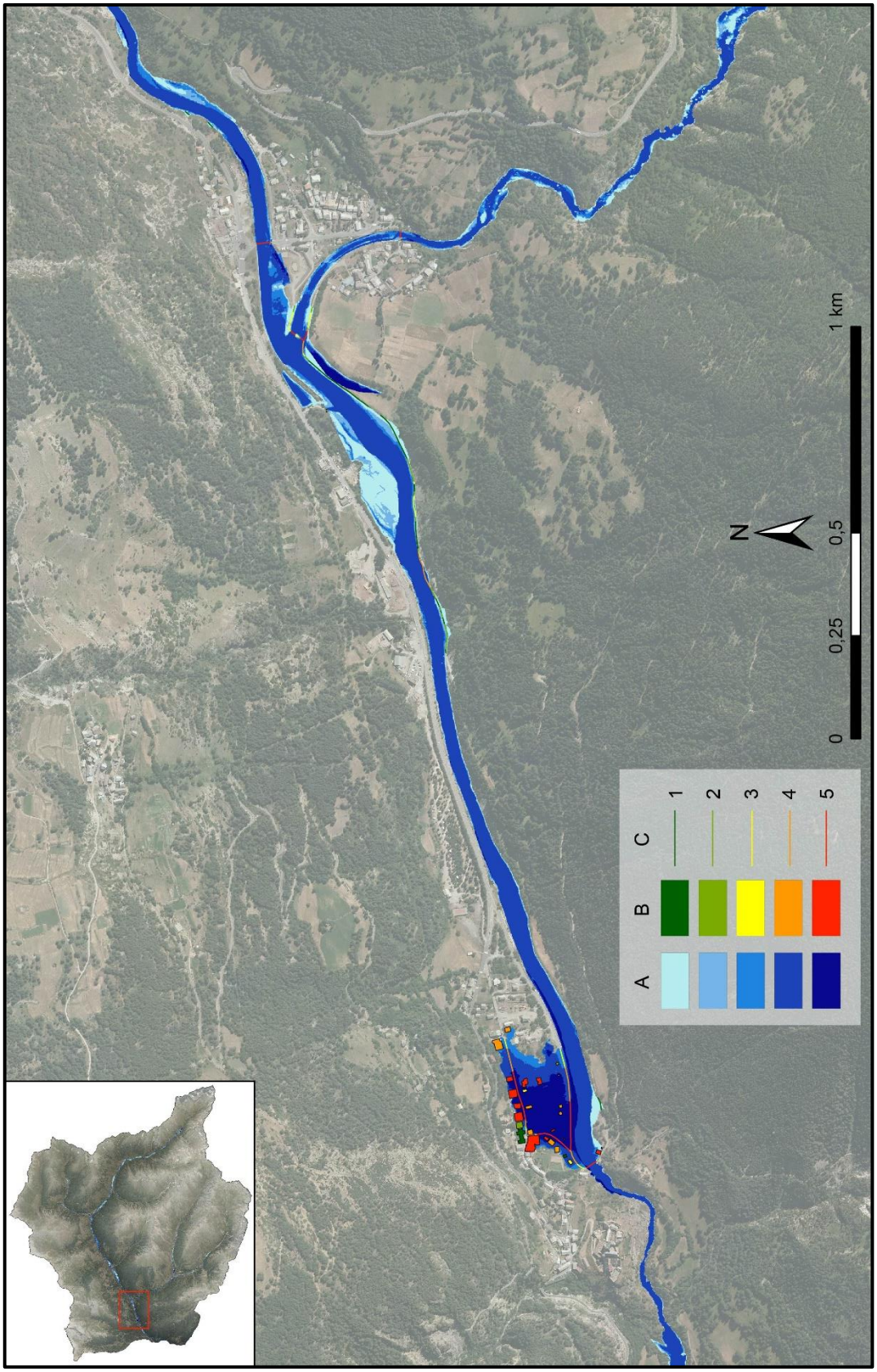


Figure 9. 20. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur de Château-Queyras et Ville-Vieille : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

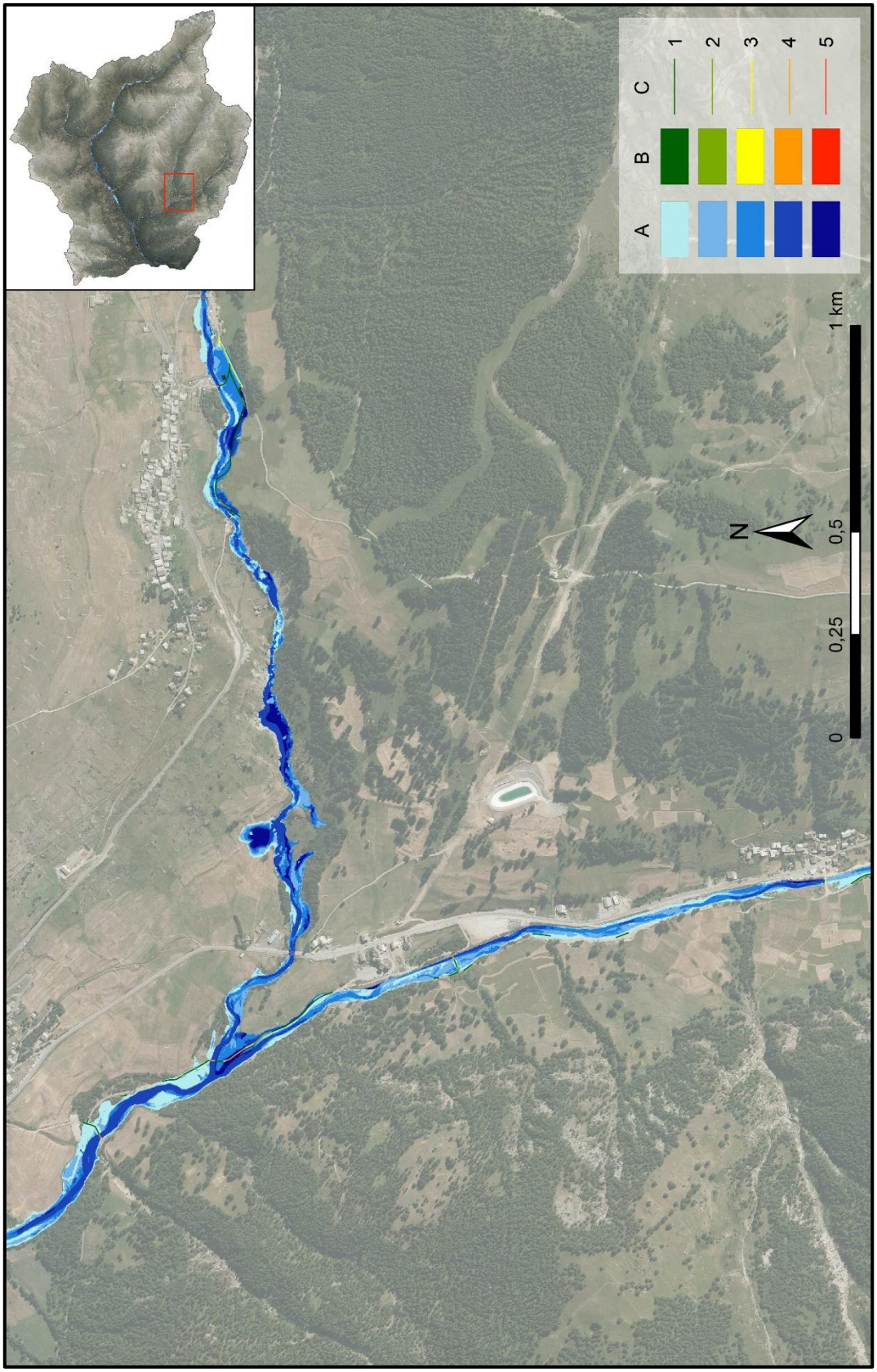


Figure 9. 21. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur de Molines-en-Queyras : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

2. 4. Cartographie et analyse des risques liés à une crue supra-centennale

Le scénario de crue exceptionnelle s'appuie sur un aléa modélisé d'après les débits estimés lors de la crue de juin 1957 (Tab. 5. 1.). L'objectif de ce scénario est de comprendre quels seraient aujourd'hui les impacts d'une telle crue (cheminement des flots et enjeux exposés) compte tenu des importants aménagements réalisés depuis. Ce scénario est proche du scénario centennal par son intensité, mais diffère de ce dernier par les débits des cours d'eau pris en compte dans le modèle hydraulique (Tab. 5. 1.). Dans ce scénario, le torrent du Bouchet présente des débits plus faibles que pour le scénario centennal tandis que les autres affluents du Guil ont des débits renforcés. C'est donc encore une fois dans la vallée du Guil que les risques modélisés sont les plus importants (Fig. 9. 22.). Les débits de l'Aigue Agnelle et de l'Aigue Blanche ayant été renforcés, le risque y est également plus important (Fig. 9. 22.). Au vu de la similarité des scénarios centennal et supra-centennal, seuls les enjeux non-exposés dans le premier cas mais exposés dans le second sont ici commentés.

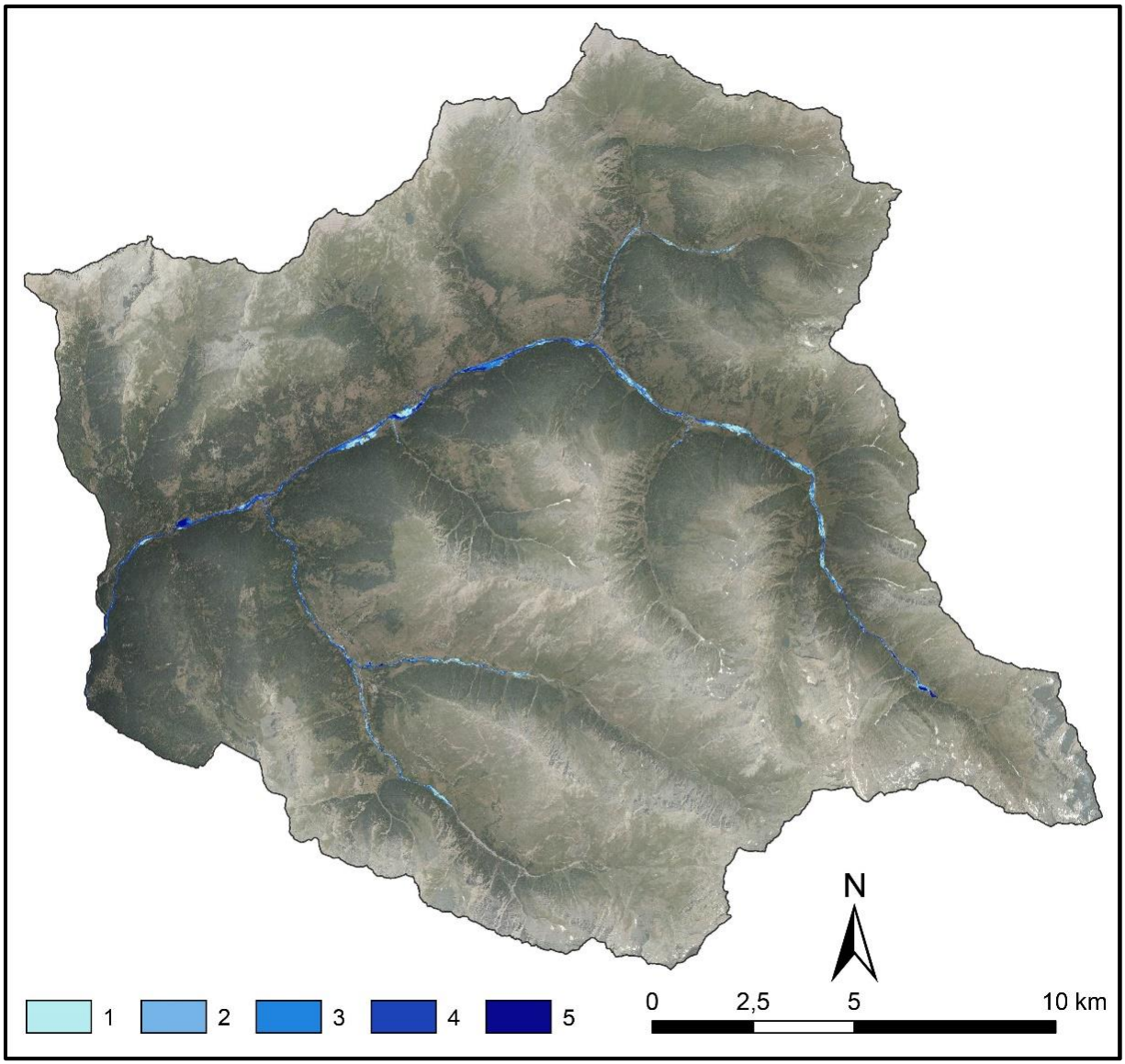


Figure 9. 22. : Cartographie des risques liés à une crue supra-centennale à l'échelle régionale : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort.

Sur les communes de Ristolas et d'Abriès (Fig. 9. 23. à 9. 27.), les risques modélisés sont sensiblement identiques à ceux mis en évidence dans le scénario centennal. Entre les deux cartes, aucun accroissement important des surfaces inondées n'est en effet observé sur ces secteurs. En revanche, on observe un renforcement des risques sur les enjeux déjà exposés dans le précédent scénario. C'est notamment le cas dans le secteur de la Roche Écroulée où les risques sur le parking et le réseau routier sont plus importants (Fig. 9. 23.). C'est également le cas au niveau du camping de Ristolas (camping du Chardonnet, Fig. 9. 24.). Contrairement au scénario précédent, on observe plusieurs zones de débordement, certes de faibles ampleurs mais néanmoins présentes. Ce renforcement des risques apparaît aussi au niveau de la coupure de la D 947, entre le village de Ristolas et le hameau de La Garcine (Fig. 9. 25. et 9. 26.). À Abriès même, les risques apparaissent par contre légèrement moins importants en raison de la réduction des débits du torrent du Bouchet (Fig. 9. 26.). Hormis quelques menues différences, les risques liés au scénario supra-centennal sont donc très proches de ceux observés pour le scénario centennal pour ces deux communes.

Sur la commune d'Aiguilles, l'accroissement des risques est plus significatif (Fig. 9. 27. et 9. 28.). Outre le renforcement des risques sur les enjeux déjà exposés dans le précédent scénario, on observe une augmentation notable des surfaces inondées (Fig. 9. 28.). Dans le secteur du Gouret (Fig. 9. 27.), les risques évoluent peu en comparaison du scénario centennal. De fait, dans ce scénario, le Guil occupait déjà l'essentiel de son lit majeur d'où un potentiel de croissance des surfaces inondées limité. En revanche, dans le village d'Aiguilles, le nombre d'enjeux exposés au risque augmente (Fig. 9. 28.). Dans le scénario supra-centennal, on dénombre ainsi 27 bâtiments exposés au risque, soit 6 de plus que pour le scénario centennal (Fig. 9. 28.). L'accroissement des risques concerne principalement la plaine des Ribes. La totalité des enjeux qui y sont présents est désormais exposée, de même que l'espace vert situé face à l'école élémentaire. Cette extension des surfaces inondées implique une nouvelle coupure du boulevard des Ribes qui tend à renforcer l'isolement du centre hospitalier (Fig. 9. 28.). Notons toutefois que ce dernier n'est toujours pas directement menacé (il n'est d'ailleurs pas compris dans l'emprise de la crue de juin 1957, Fig. 5. 5.).

À l'aval d'Aiguilles, l'augmentation du risque se concentre essentiellement au niveau du village de Château-Queyras (Fig. 9. 29.). Les surfaces inondées dans la plaine, en amont du verrou glaciaire, augmentent fortement au détriment des espaces urbanisés. 31 bâtiments sont exposés au risque contre 27 dans le scénario centennal (Fig. 9. 29.). Plus des deux tiers des bâtiments exposés (20 sur 27) sont classés avec un risque fort et très fort. Bien que le risque soit conséquent, les surfaces inondées sont bien moins importantes que lors de la crue de juin 1957 (Fig. 5. 5.). Cette différence témoigne de l'efficacité des ouvrages de protection réalisés suite à la crue de juin 1957, notamment de l'ouvrage de dérivation de l'Aigue Blanche dans le village de Ville-Vieille (Fig. 9. 29.). La prudence est cependant de mise en ce qui concerne les enjeux situés entre les deux villages du fait de possibles ruptures ou surverses de digue sur ce secteur (Fig. 9. 29. et 5. 5.).

Dans les vallées des Aigues, les risques sont comparables à ceux mis en évidence dans le scénario centennal (Fig. 9. 30. et 9. 31.) et ce, en dépit d'un accroissement des débits de l'Aigues Agnelle et de l'Aigue Blanche pour la modélisation de la composante « aléa » du risque. À l'image de ce qui a été évoqué pour le Guil amont, les enjeux exposés restent les mêmes mais l'intensité du risque augmente.

Dans le scénario supra-centennal, les risques sont importants mais restent comparables à ceux engendrés par une crue centennale. Comparé à cette dernière, l'augmentation du risque concerne essentiellement les villages d'Aiguilles et de Château-Queyras. Les ouvrages de protection mis en place suite à la crue de juin 1957 ont été bien conçus et bien calibrés, de sorte que le risque est désormais limité en comparaison de ce qu'il était par le passé.

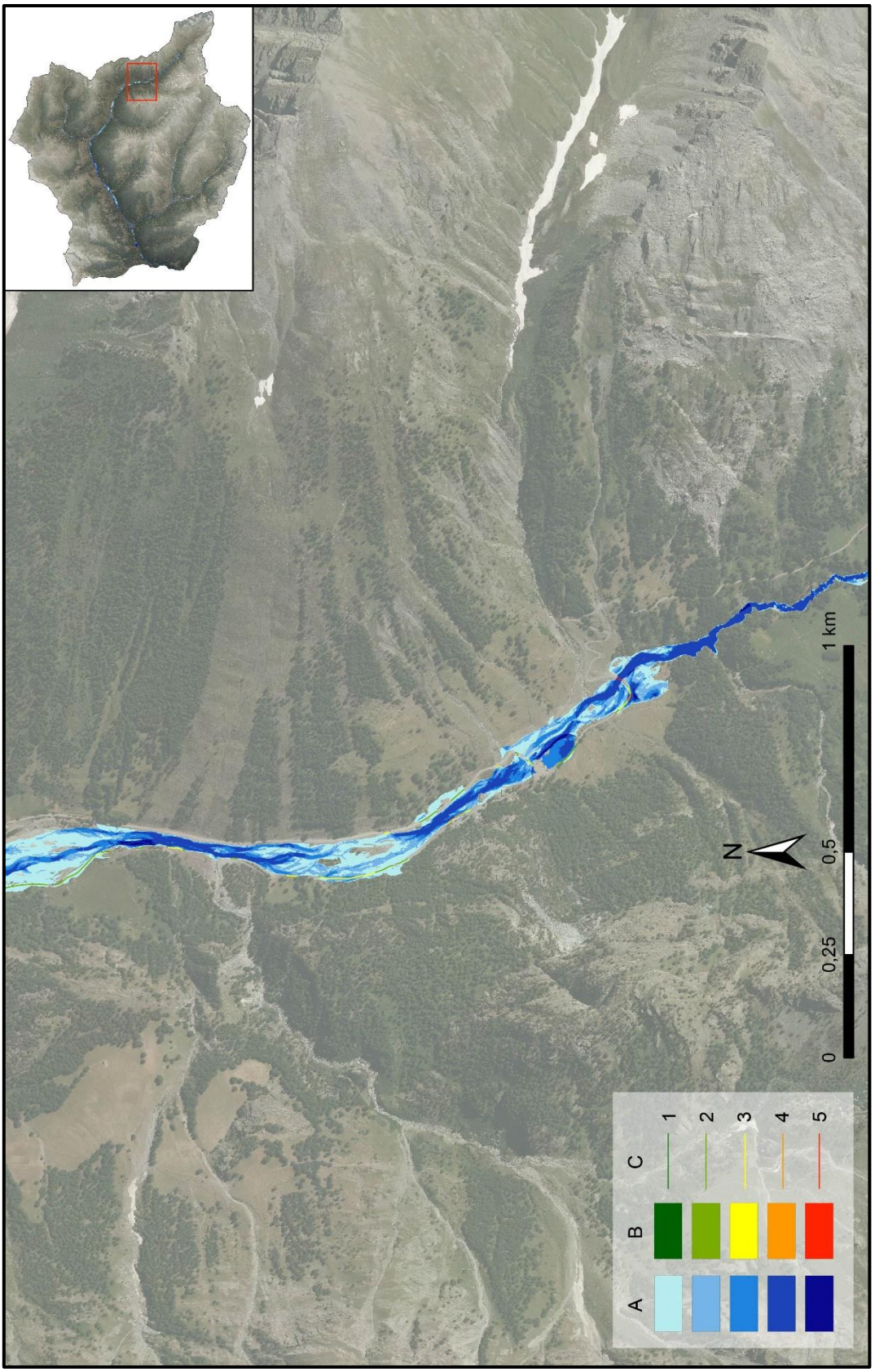


Figure 9. 23. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur de la Roche Écroulée : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

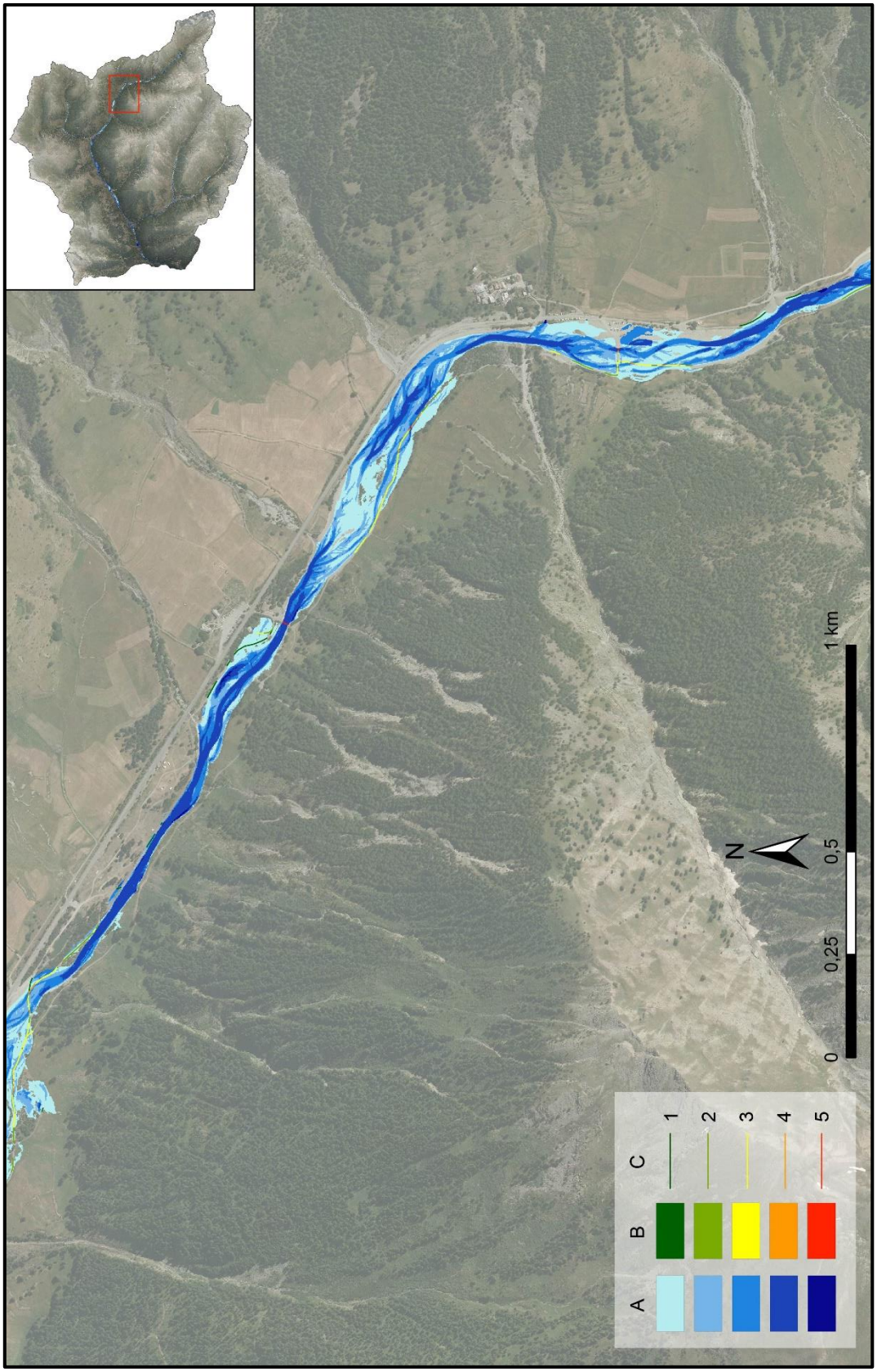


Figure 9. 24. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur de l'Échalp : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

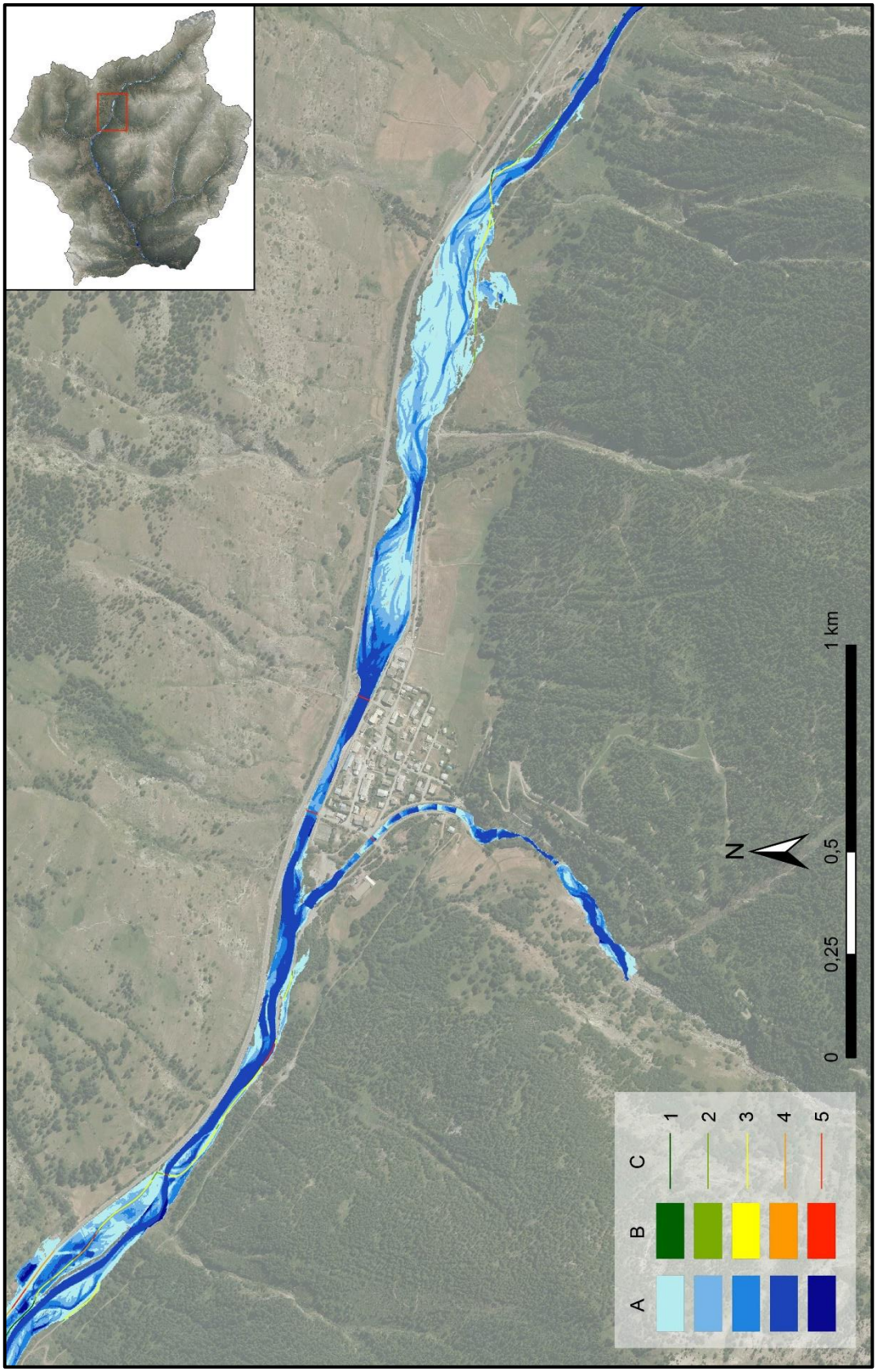


Figure 9. 25. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur de Ristolas : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

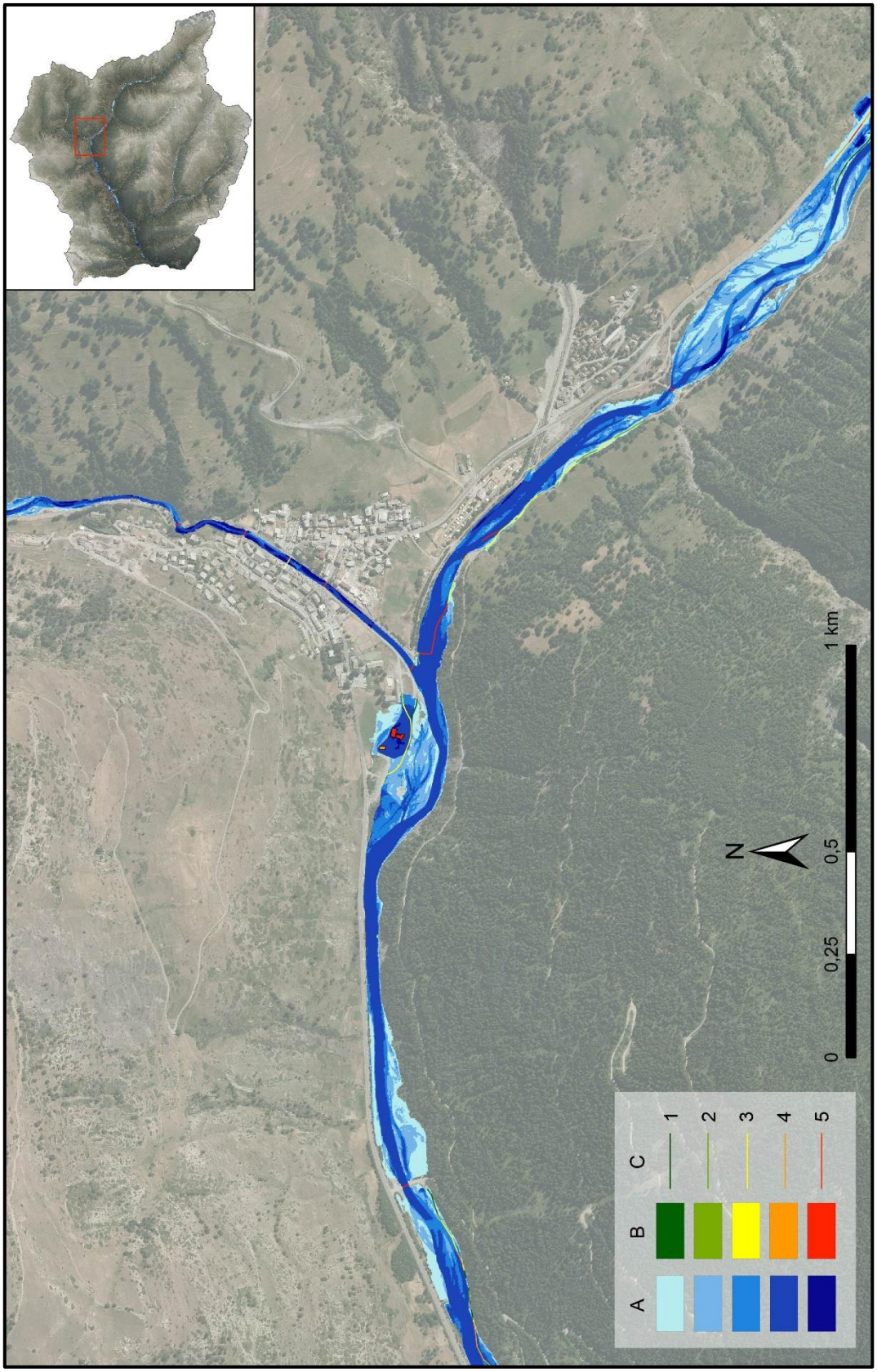


Figure 9. 26. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur d'Abriès : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

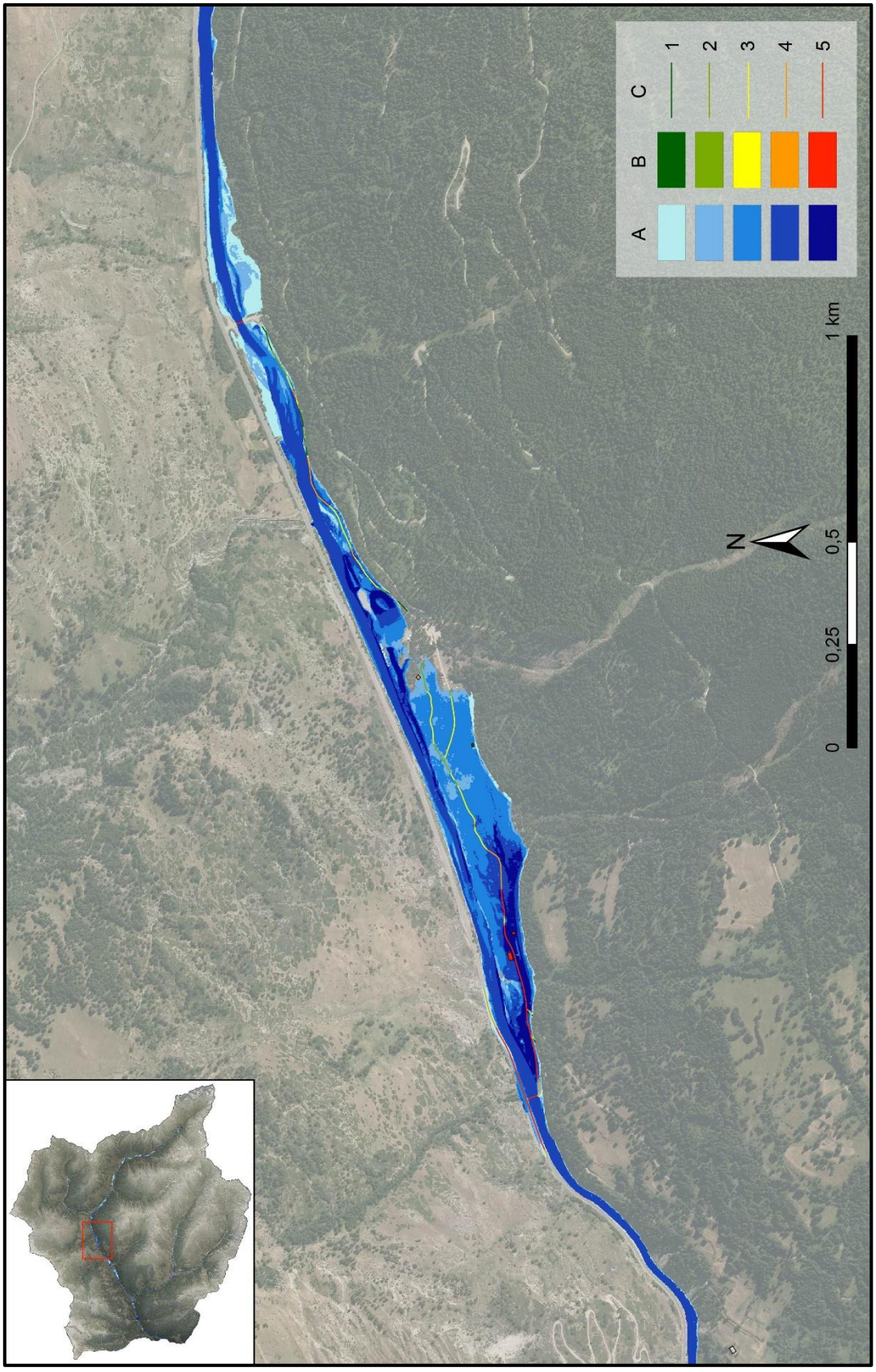


Figure 9. 27. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur du camping du Gouret : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

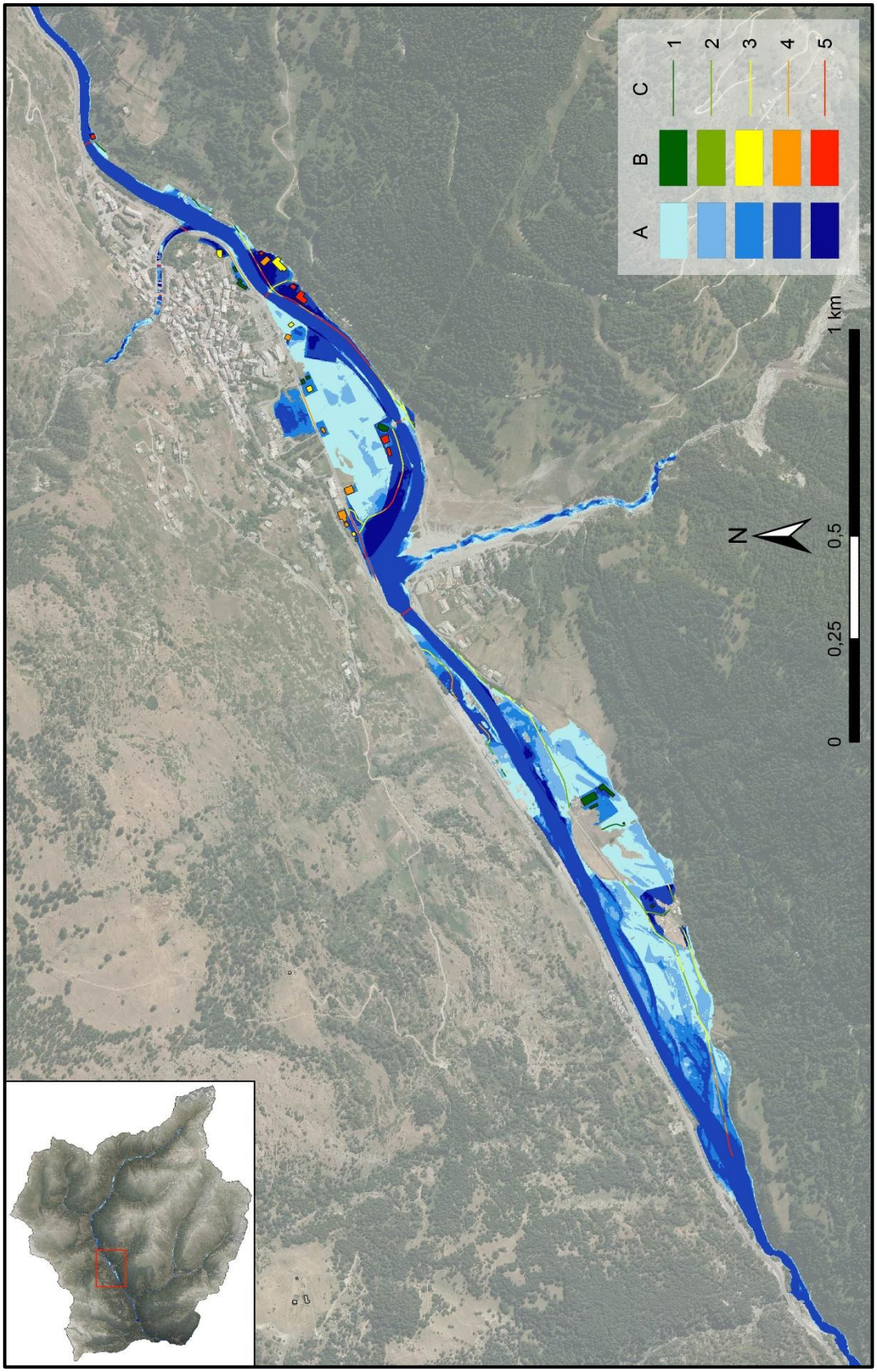


Figure 9. 28. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur du camping d'Aiguilles : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

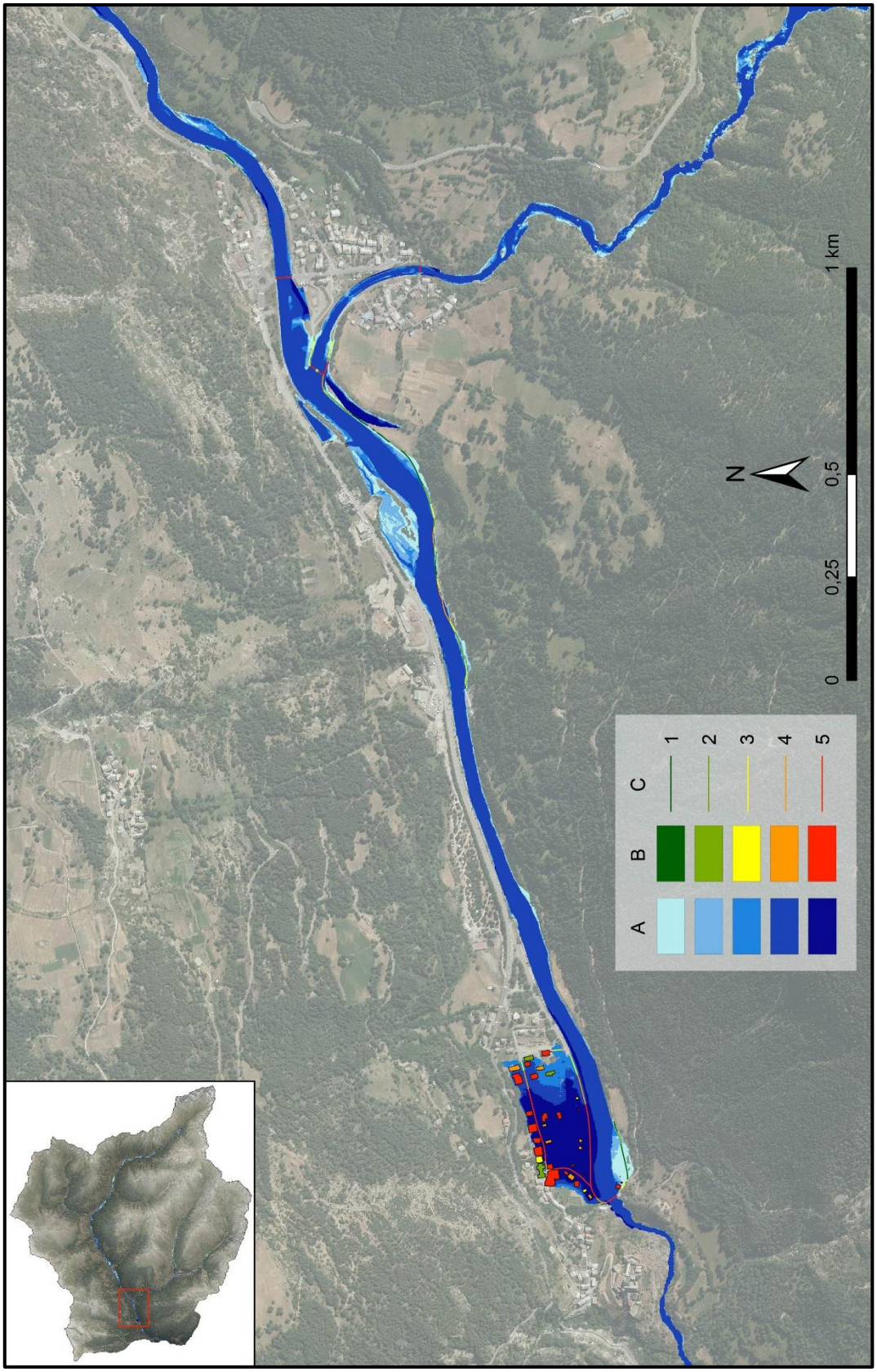


Figure 9. 29. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur de Château-Queyras et Ville-Vieille : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

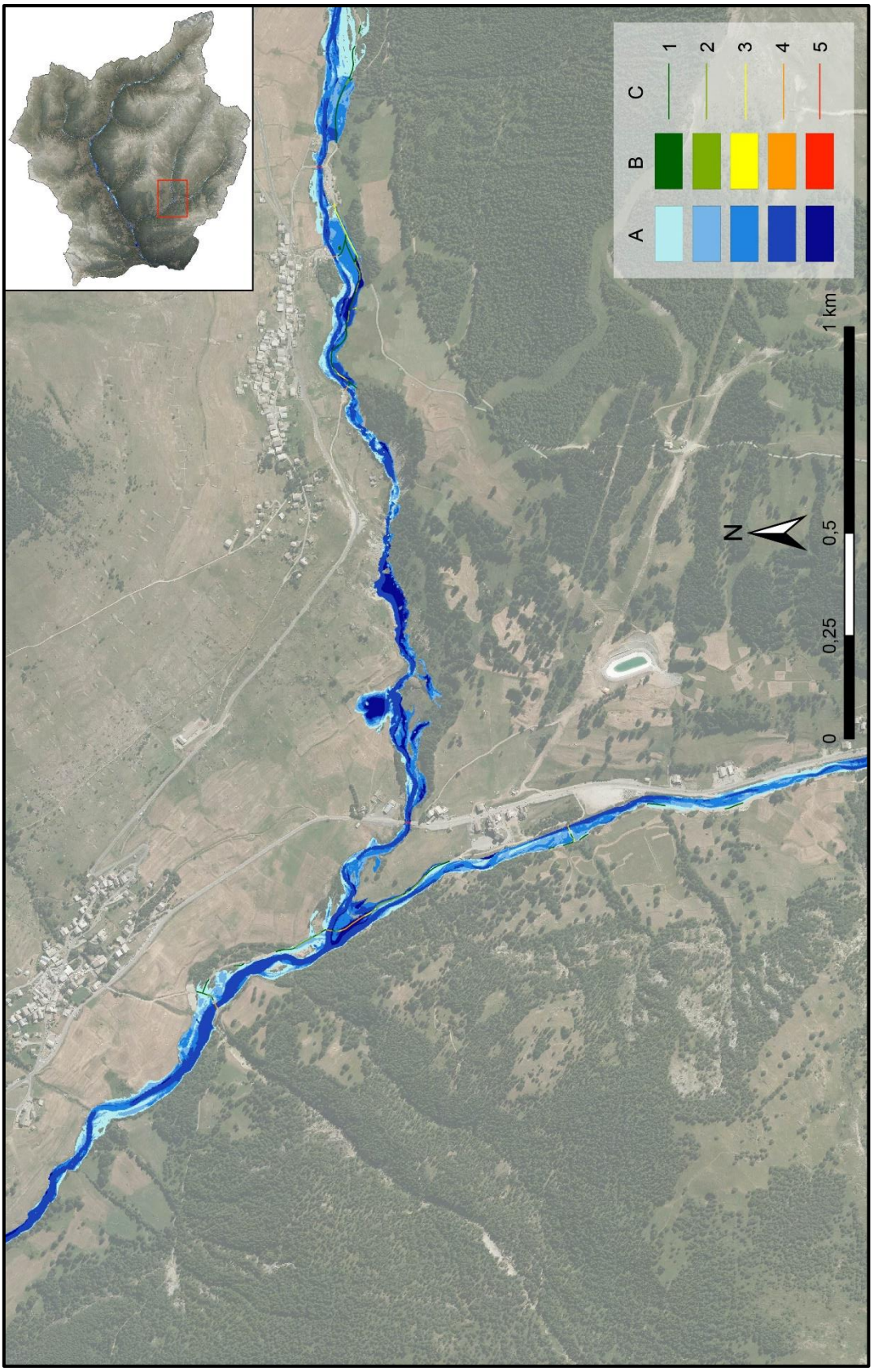


Figure 9. 30. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur de Molines-en-Queyras : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

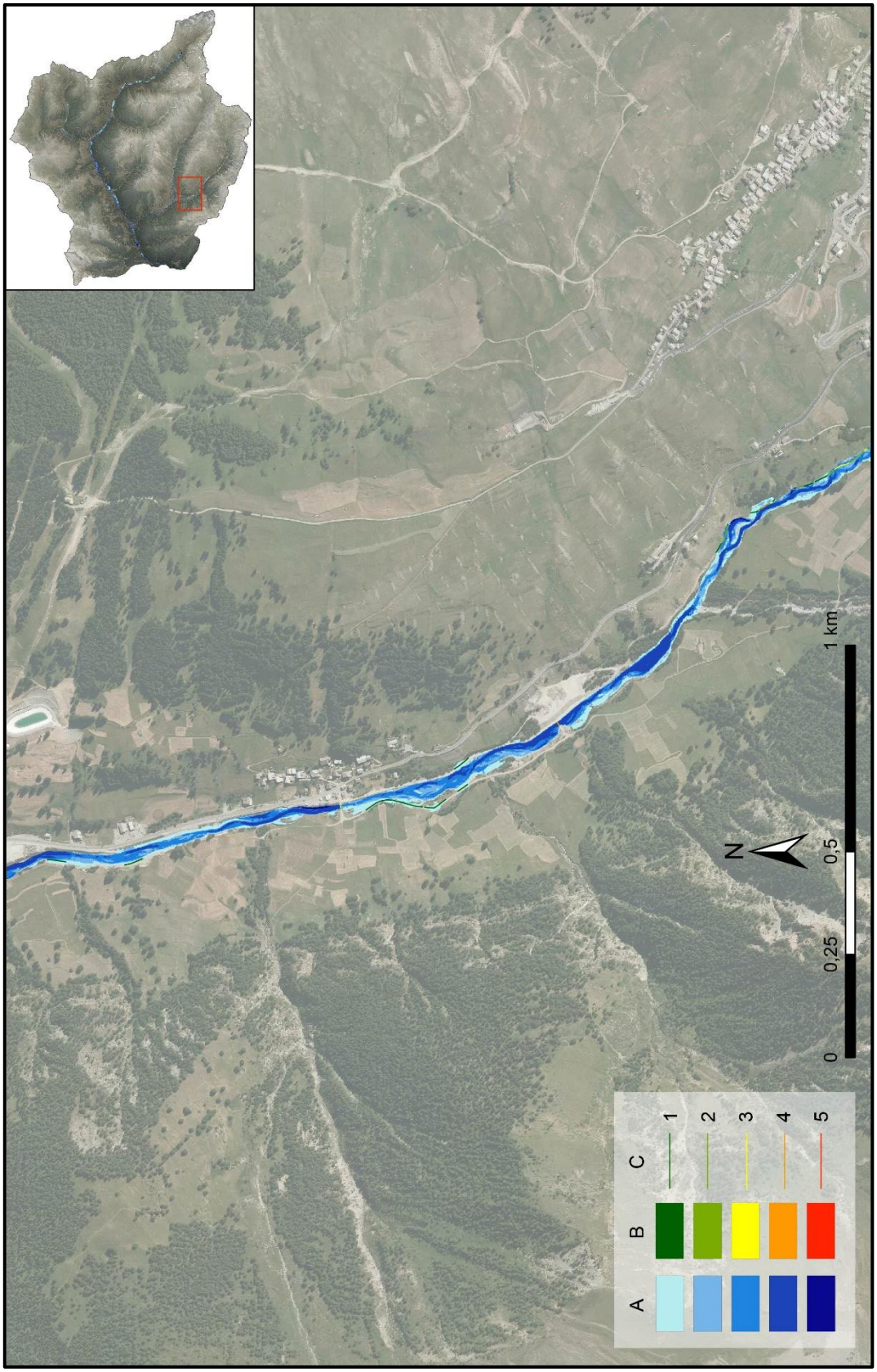


Figure 9. 31. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur de La Chalpe-Saint-Véran : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

2. 5. Vers une remise en perspective des risques modélisés

Au regard des incertitudes liées à la modélisation de l'aléa « crue torrentielle », il est nécessaire de remettre en perspective les évaluations des risques présentées ci-avant. En effet, le modèle employé pour cartographier les scénarios de crues souffre de limites qui ont tendance à minimiser le risque : 1) non-prise en compte des flux sédimentaires ; 2) incapacité à modéliser les embâcles et les ruptures de digues ; 3) forte dépendance à la topographie ; 4) non-intégration de l'ensemble des affluents du bassin-versant (cf. 1. 2., chapitre 5). De plus, les scénarios de crue ont été élaborés à l'aide de débits estimés d'après les crues qui ont déjà impactés le Queyras. Or, ces derniers varient considérablement d'un épisode à l'autre en raison de leur dépendance aux capricieux phénomènes de retours d'Est. Pour nuancer les travaux exposés précédemment, nous proposons ici une cartographie combinant l'enveloppe de crue de juin 1957 avec la cartographie des conséquences potentielles totales liées aux crues (Fig. 9. 32.). Le choix de ce scénario n'est pas anodin. C'est lors de cette crue que l'on a dénombré le plus d'affluents ayant fonctionné. Qui plus est, le Guil a occupé l'essentiel de sa plaine alluviale à cette occasion. À l'heure actuelle, c'est donc la meilleure expression des risques potentiels liés aux crues torrentielles.

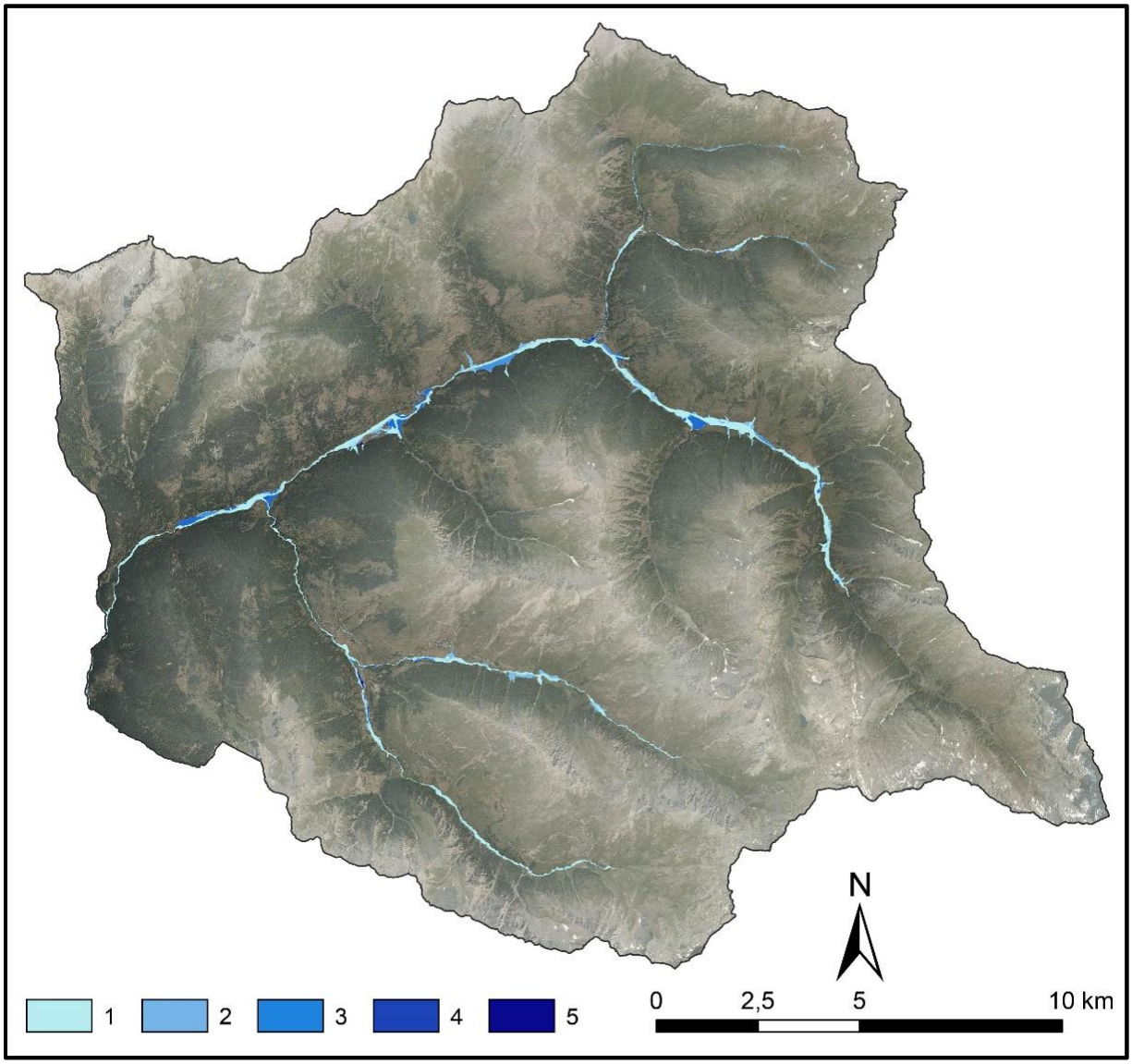


Figure 9. 32. : Cartographie des risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 à l'échelle régionale : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort.

L'objectif n'est pas ici de présenter une vision catastrophiste des risques dans le Queyras mais bien de balayer l'ensemble du spectre des possibles en matière d'exposition aux crues. Une telle démarche peut sembler ambigüe sur le plan scientifique mais elle peut aussi présenter des avantages en termes de communication sur le risque. De fait, un individu aura tendance à mieux intégrer un risque s'il est conscient d'évoluer dans un espace qui y a d'ores et déjà été soumis. L'objectif étant d'évoquer les zones à risque ignorées par le modèle, nous n'insisterons pas sur les ressemblances entre les cartes modélisées mais bien sur les espaces potentiellement impactés et non-modélisés dans les scénarios. Les principales différences entre la cartographie proposée et les scénarios modélisés concernent l'exposition des enjeux situés 1) à l'aval des torrents affluents du Guil et des Aigues (surtout sur les cônes de déjection torrentiels) et 2) dans la plaine d'inondation du Guil, en arrière des ouvrages de protection linéaires (digues et enrochements). Nous allons procéder ci-dessous à un commentaire amont-aval de ces espaces.

Si l'on ne tient pas compte des aménagements réalisés post crue de juin 1957, l'essentiel des enjeux biophysiques de l'amont de la vallée du Guil sont exposés au risque (Fig. 9. 33., 9. 34. et 9. 35.). Sont concernés le parking de la Roche Écroulée, la prolongation de la D 947, le parking de l'Échalp, la route D 947, la partie basse du hameau de La Monta, le camping du Chardonnet et le village de Ristolas. Si ces enjeux sont principalement exposés aux flux hydro-sédimentaires et à la capacité érosive du Guil, il faut aussi tenir compte du rôle de ses torrents affluents. La prolongation de la D 947 est menacée par les torrents de Bouchouse et des Gavies en rive gauche et de Nalbert en rive droite (Fig. 9. 33.). La D 947 est, quant à elle, exposée aux torrents des Orts et de Combe Morel en amont et à l'aval de l'Échalp (Fig. 9. 34.). Le torrent des Orts contribue à accroître le risque sur le parking de l'Échalp. Plus en aval, ce sont deux maisons qui sont exposées aux crues du Guil au pied du hameau de La Monta (Fig. 9. 34.). Quant au camping du Chardonnet, les deux tiers de sa surface sont dans l'emprise de la crue de juin 1957. En cas de surverse ou de rupture de la digue qui le protège, cet espace risque donc à nouveau d'être immergé (Fig. 9. 35.). Entre le camping et le village de Ristolas (Fig. 9. 35.), la D 947 est menacée par le Guil et les torrents de Jalinette et du Passet. En rive gauche du Guil, les torrents des Vaches et du Fontenil menacent une partie du GR 58. Le cas du village de Ristolas est particulier (Fig. 9. 35.) : en juin 1957, il a été intégralement enseveli sous les flux hydrosédimentaires du Ségure. Or, un scénario du même acabit est hautement improbable au vu des ouvrages de protection réalisés depuis (seuils torrentiels dans le lit du Ségure et dérivation du torrent sur son cône de déjection). Il reste néanmoins du domaine du possible si d'aventure, le glissement de terrain du Ségure venait à barrer le cours du torrent éponyme. Si les facteurs sont réunis, un lac pourrait se former en amont du glissement. La débâcle qui suivrait pourrait avoir des effets catastrophiques pour le village. La cartographie présentée ici montre ce qui pourrait advenir en cas de dysfonctionnement des ouvrages de protection.

Dans la commune d'Abriès, d'importants enjeux biophysiques pourraient être impactés en cas de surverse ou d'endommagement des ouvrages de protection linéaires (Fig. 9. 35.). Sur le cône torrentiel de la Garcine, un tiers du hameau peut être menacé par le torrent. C'est d'autant plus vrai que le pont situé en amont de la confluence entre la Garcine et le Guil est largement sous-calibré, d'où un risque d'embâcle persistant. En terme d'enjeux, cela représente 12 bâtiments (dont au moins trois ont des fonctions touristiques) et plusieurs routes et voies secondaires (dont un tronçon de la route D 947). En aval du hameau de La Garcine, l'un des deux campings d'Abriès (Queyras Caravaneige) est entièrement compris dans l'emprise de la crue de 1957 (Fig. 9. 35.). En cas de rupture ou de surverse de sa digue de protection, il pourrait éventuellement se transformer momentanément en plan d'eau. Dans la partie ouest du cône torrentiel du Bouchet, les enjeux potentiellement impactés sont importants. En cas de débordement du Bouchet, à l'aval du Pont de la D 947, l'ensemble du complexe sportif d'Abriès ainsi que la station d'épuration pourraient être impactés (Fig. 9. 35.). Cependant, cette dernière est protégée par sa propre digue, d'où un risque moindre. Entre Abriès et Aiguilles, l'ensemble du linéaire

de la D 947 pourrait être endommagé par les écoulements du Guil et ceux du torrent du Malrif et des ravins de Strandès et de Choudane (Fig. 9. 35. et 9. 36.).

Sur la commune d'Aiguilles (Fig. 9. 36. et 9. 37.), les enjeux exposés au risque sont potentiellement plus importants qu'il n'y paraît. Contrairement à ce qui a pu être modélisé dans les scénarios de crue, c'est bien l'intégralité du camping du Gouret qui est exposée au risque (Fig. 9. 36.). Le torrent de Fond Froide et les ravins adjacents menacent en effet les parties amont du camping qui étaient épargnées dans les scénarios (Fig. 9. 36.). Dans le village d'Aiguilles (Fig. 9. 37.), les principaux risques non mis en exergue dans les scénarios sont dus aux torrents du Lombard et du Peynin. Lors de la crue de 1957, le quartier de La Chalp a ainsi été presque intégralement submergé par les écoulements du Lombard et plusieurs bâtiments et infrastructures ont été endommagés le long de son chenal. Actuellement, le risque est faible en raison des importants aménagements réalisés sur le cône du Lombard (dérivation du torrent sur son cône, digues maçonnées et batterie de seuils). Pour autant, cette zone qui, auparavant, ne présentait que peu d'enjeux en accueille aujourd'hui des importants tels que la caserne des pompiers, la salle des fêtes et plusieurs immeubles bas (3 ou 4 étages, Fig. 9. 37.). Dans la plaine des Ribes, la conjonction des flots du Guil et du Lombard a entraîné l'inondation d'un espace englobant la totalité du parking du Guigonnet et une partie du centre hospitalier d'Aiguilles (Fig. 9. 37.). En cas de dysfonctionnement des ouvrages de protection, ces enjeux pourraient être à nouveau exposés au risque. Cependant, les principaux risques qui demeurent dans le village sont liés au torrent du Peynin (Fig. 9. 37.). Contrairement aux autres affluents majeurs du Guil (Ségure, Bouchet, Lombard et Aigue Blanche), ce dernier n'a pas été réaménagé sur son cône après la crue de 1957 et il conflue toujours perpendiculairement au Guil. Or, en juin 1957, les écoulements du Peynin ont recouvert la quasi-totalité de son cône de déjection. Alors qu'à cette période ne s'y trouvaient que des champs, il accueille aujourd'hui des enjeux de taille (Fig.9. 37.). Sur la partie est du cône du Peynin se trouve la plupart des équipements de l'Espace Ludique d'Aiguilles : remontées mécaniques, piste de luge, snowpark/skatepark, parcours de VTT, etc. Sur la partie ouest du cône se trouve la Z.A. de la Pignée, avec son important bâti artisanal et agricole. Qui plus est, en raison de l'angle avec lequel le Peynin conflue avec le Guil, le risque d'endommagement de la route D 947 reste important face au cône, et ce malgré la présence de la digue-route (Fig. 9. 37.). Plusieurs études ont déjà été menées en vue de réduire les risques sur cet espace, mais encore aucun aménagement n'a pu être effectué faute de financements (Koulinki 2000a, 2000b, 2001 ; Koulinski et Lefort, 2000). Plus en aval, en rive droite du Guil, une partie de la déchetterie d'Aiguilles est également comprise dans l'emprise de la crue de 1957. À Aiguilles comme à Abriès, les risques liés aux crues torrentielles pourraient donc s'avérer plus importants que ceux qui ont été modélisés auparavant, notamment en raison des apports des torrents affluents du Guil.

Sur la commune de Château-Ville-Vieille (Fig. 9. 38.), l'intégralité du fond de vallée est potentiellement exposée aux inondations torrentielles. En juin 1957, l'Aigue Blanche a inondé une partie du village de Ville-Vieille et un plan d'eau s'est formé face au village dans le quartier de la Casse (Fig. 9. 38.). Comme pour les torrents du Ségure, du Bouchet et du Lombard, le chenal de l'Aigue Blanche a été déplacé sur son cône de déjection et des digues ont été construites afin de limiter les risques sur les enjeux biophysiques. Aujourd'hui le risque est donc limité sur le village. Entre Ville-Vieille et Château-Queyras, la largeur de bande active du Guil a été fortement réduite de manière à protéger les enjeux derrière la digue-route de la D 947 (Fig. 9. 38.). Ces enjeux (scierie, zone commerciale et camping) restent exposés néanmoins au risque en cas de surverse ou de rupture de digue. Il en est de même pour l'ensemble de la plaine de Château-Queyras.

Sur les communes de Molines-en-Queyras (Fig. 9. 39.) et de Saint-Véran (Fig. 9. 40.), la cartographie produite donne une bonne idée des impacts potentiels d'une crue catastrophique des Aigues et de leurs affluents sur les enjeux situés en fond de vallée. Dans la vallée de l'Aigue Agnelle (Fig. 9. 39.), le principal risque à n'avoir pas encore été mis en évidence provient du Rif de la Salce qui longe le hameau du Coin. Les écoulements hyper-concentrés de ce torrent pourraient couper la route D 205 entre Pierre-Grosse et Fongillarde et endommager l'antenne relais et le transformateur situés sur son cône de déjection. Dans la vallée de l'Aigue Blanche (Fig. 9. 39. et 9. 40.), le risque est présent le long de la route D 5. À hauteur du hameau du Clôt-La-Chalpe (Fig. 9. 39.), l'enveloppe de la crue de 1957 englobe des enjeux importants pour la commune : un hôtel, un parking, un tunnel souterrain et une partie de la route D 5. Il en est de même pour les enjeux situés au niveau de hameau de La Chalp de Saint-Véran (Fig. 9. 40.). Sur ce secteur, 6 bâtiments sont potentiellement exposés aux crues de l'Aigue Blanche. Une partie de la route D 5 et du GR de Pays Tour de la Dent du Ratier pourrait être impactée (Fig. 9. 40.). En cas de rupture ou de surverse de la digue qui longe l'Aigue Blanche, ces enjeux pourraient se retrouver exposés au risque. Bien que moins exposées aux crues que la vallée du Guil, les vallées de l'Aigue Agnelle et de l'Aigue Blanche présentent néanmoins des enjeux importants en fond de vallée. Ces enjeux sont protégés pour des scénarios de crues faible intensité mais pourraient bien être exposés en cas de crue plus importante.

Dans cette sous-partie, nous avons cherché à compléter les résultats obtenus *via* les quatre scénarios de crues modélisés de manière à faire ressortir l'intégralité des espaces potentiellement exposés au risque d'inondation torrentielle. L'objectif était de dépasser les limites du modèle hydraulique en prenant en compte les écoulements des torrents affluents du Guil et des Aigues qui n'ont pu être modélisés, faute de données suffisantes. Il s'agissait également de mettre en lumière les zones potentiellement inondables en cas de dysfonctionnement des ouvrages de protection linéaires. Face à l'obsolescence d'une partie des mesures de protection mises en place dans le Queyras (Photo 1. 10.), il était en effet nécessaire d'intégrer cette possibilité dans notre évaluation des risques. Cette démarche nous aura permis d'identifier un certain nombre de secteurs sensibles qui devront faire l'objet d'une attention particulière lors des prochaines crues du Guil ou de ses affluents. Parmi ces secteurs figurent notamment : 1) l'Échalp, où la route D 947 pourrait être sévèrement endommagée ; 2) la zone comprise entre La Monta et Ristolas où le camping et la route D 947 pourraient être submergés ; 3) l'amont d'Abriès, avec le lotissement de La Garcine et le camping de Caravaneige ; 4) l'amont de la plaine des Ribes et le cône du Peynin à Aiguilles ; 5) les infrastructures implantées entre Ville-Vieille et Château-Queyras (zone d'activité, zone commerciale et camping) ; 6) la plaine de Château-Queyras ; 7) les abords de l'Aigue Blanche entre le hameau de La Chalp et le lieu-dit « le pont des Marrous » ; 8) les abords du rif de Salce en contrebas du hameau du Coin. Certes, il y a très peu de chance pour que tous ces espaces soient affectés simultanément. Néanmoins, le risque demeure présent sur ces espaces et il doit être considéré dans les politiques de gestion des risques liées aux crues.

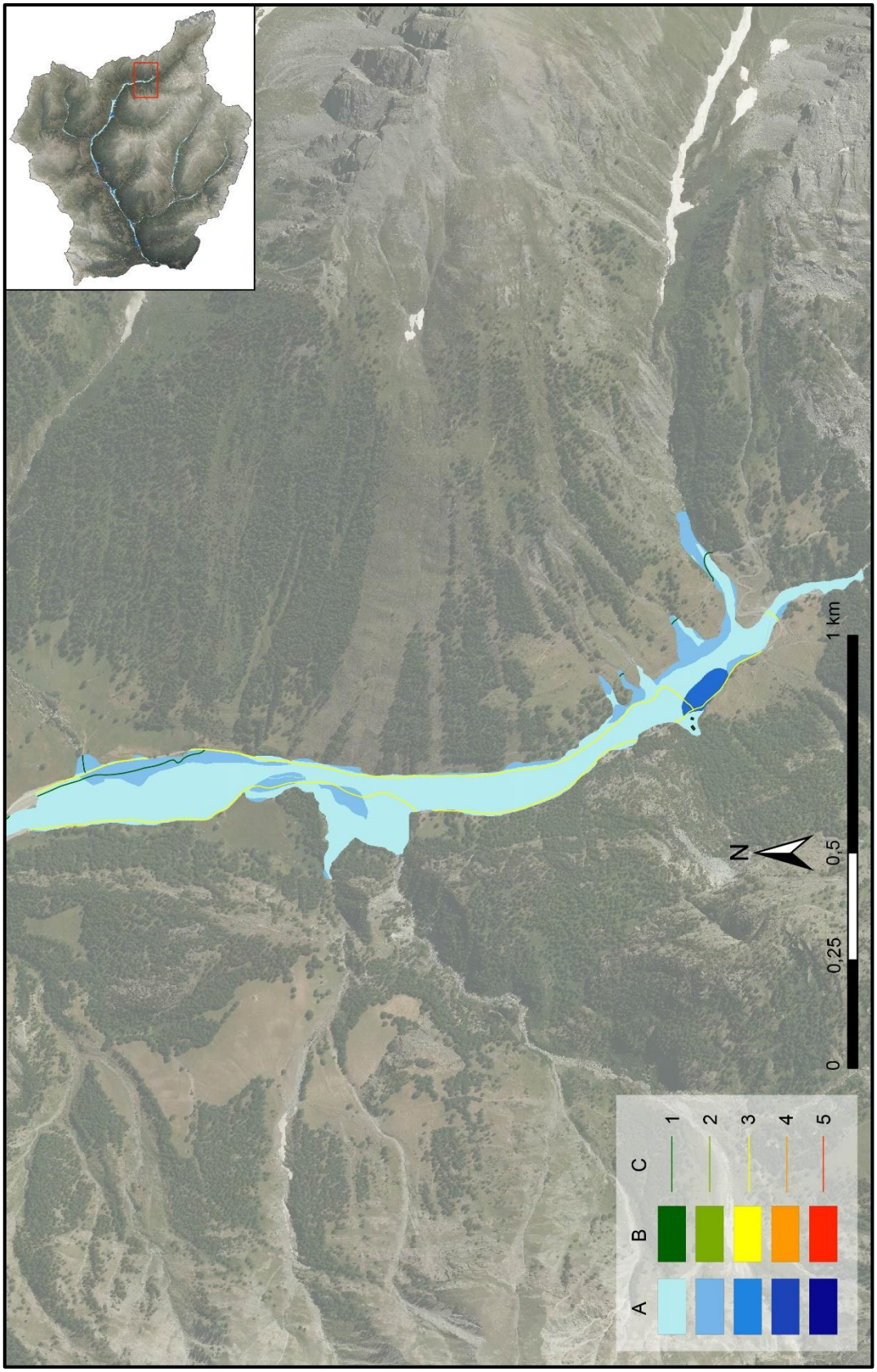


Figure 9. 33. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur de la Roche Écroulée : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

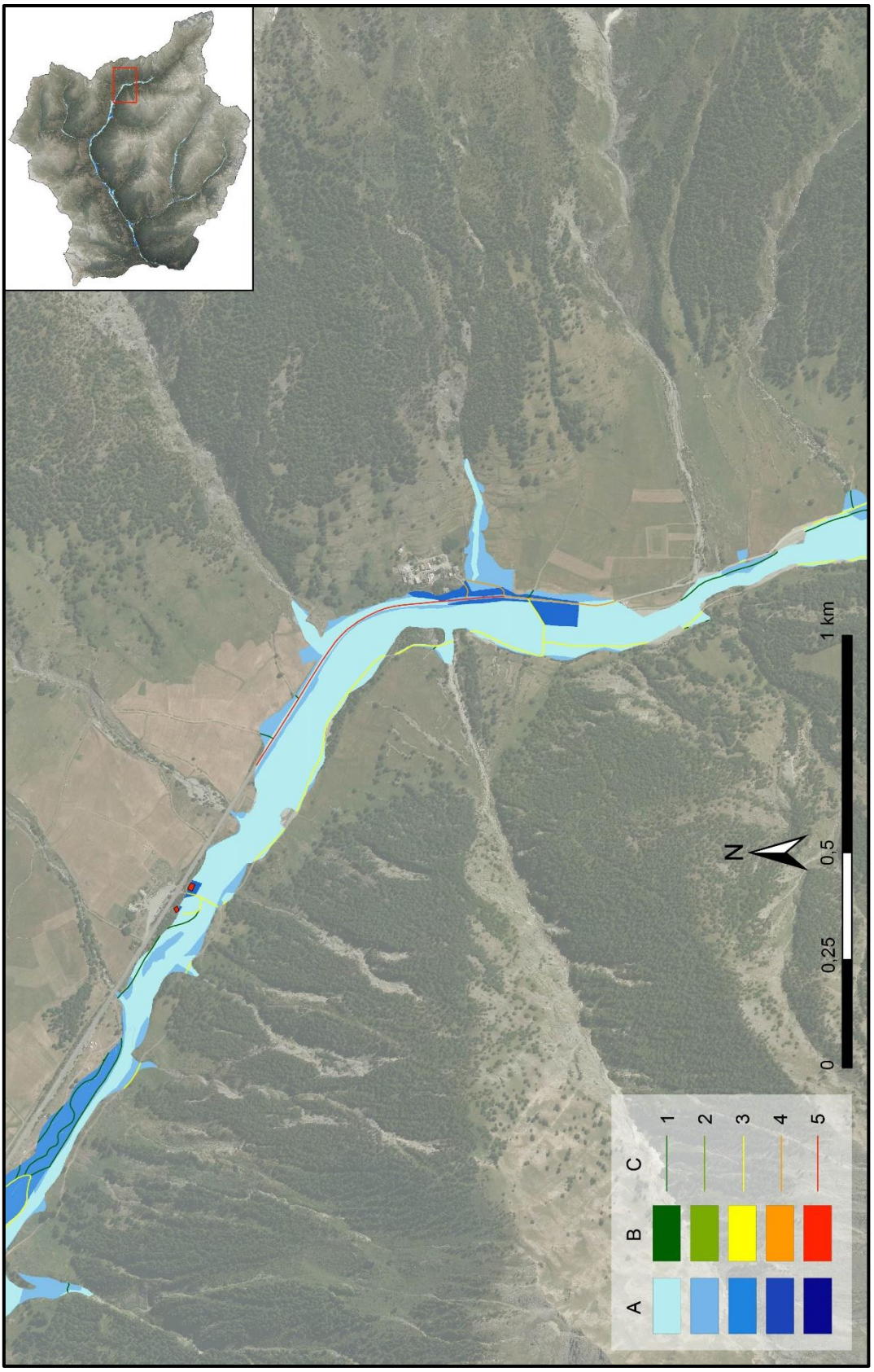


Figure 9. 34. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur de l'Échalp : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

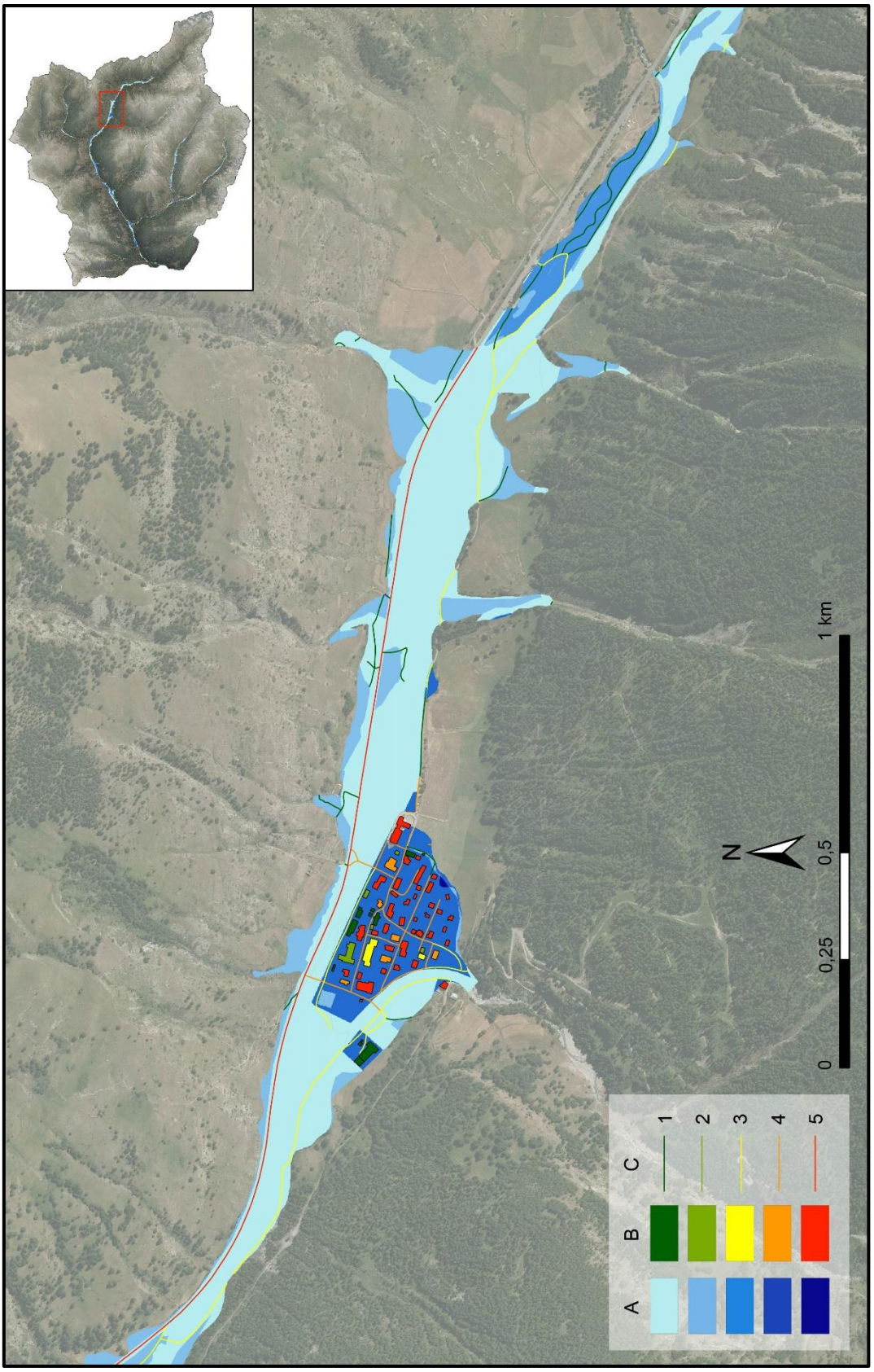


Figure 9. 35. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur de Ristolas : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

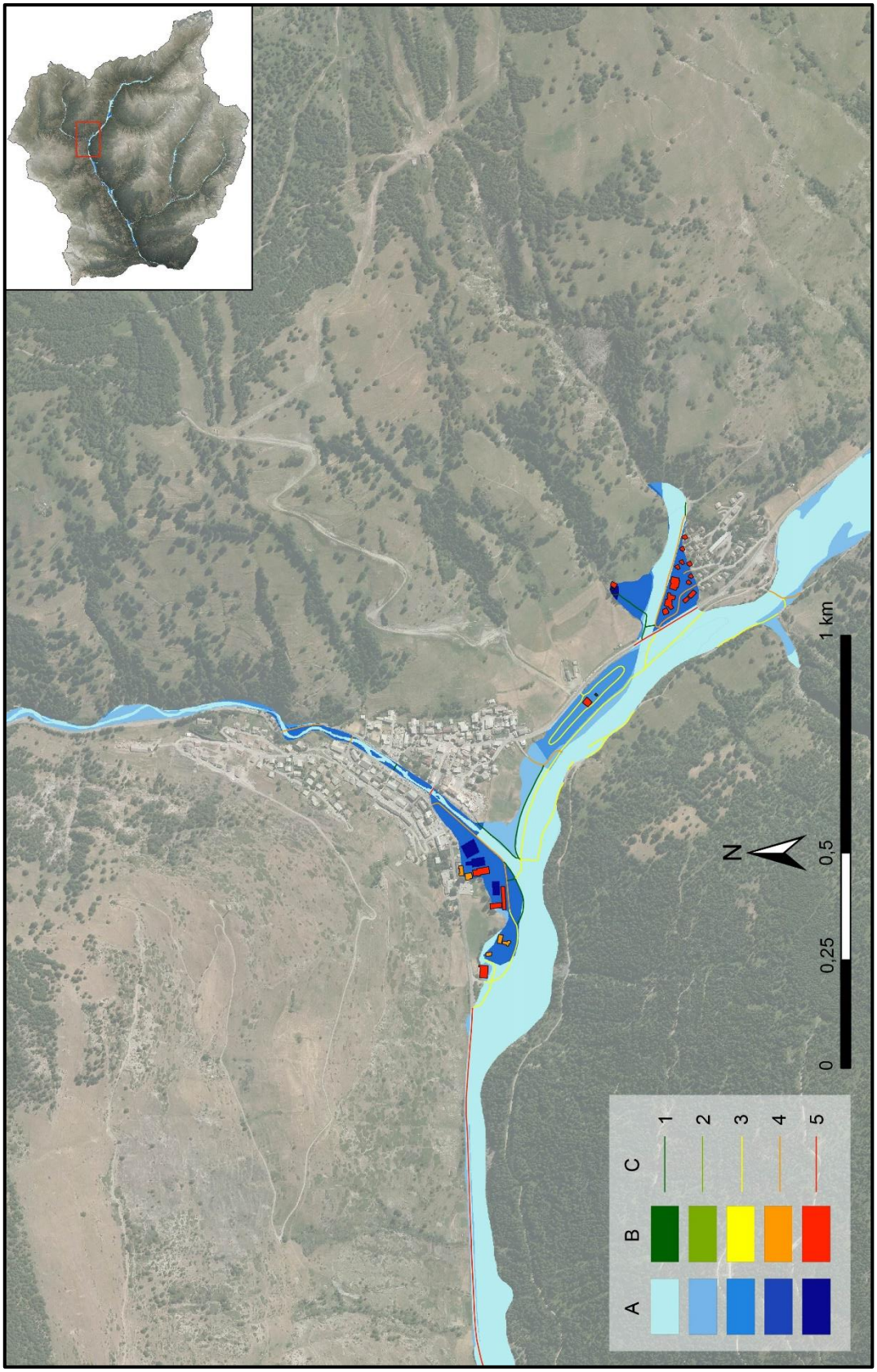


Figure 9. 36. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur d'Abriès : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

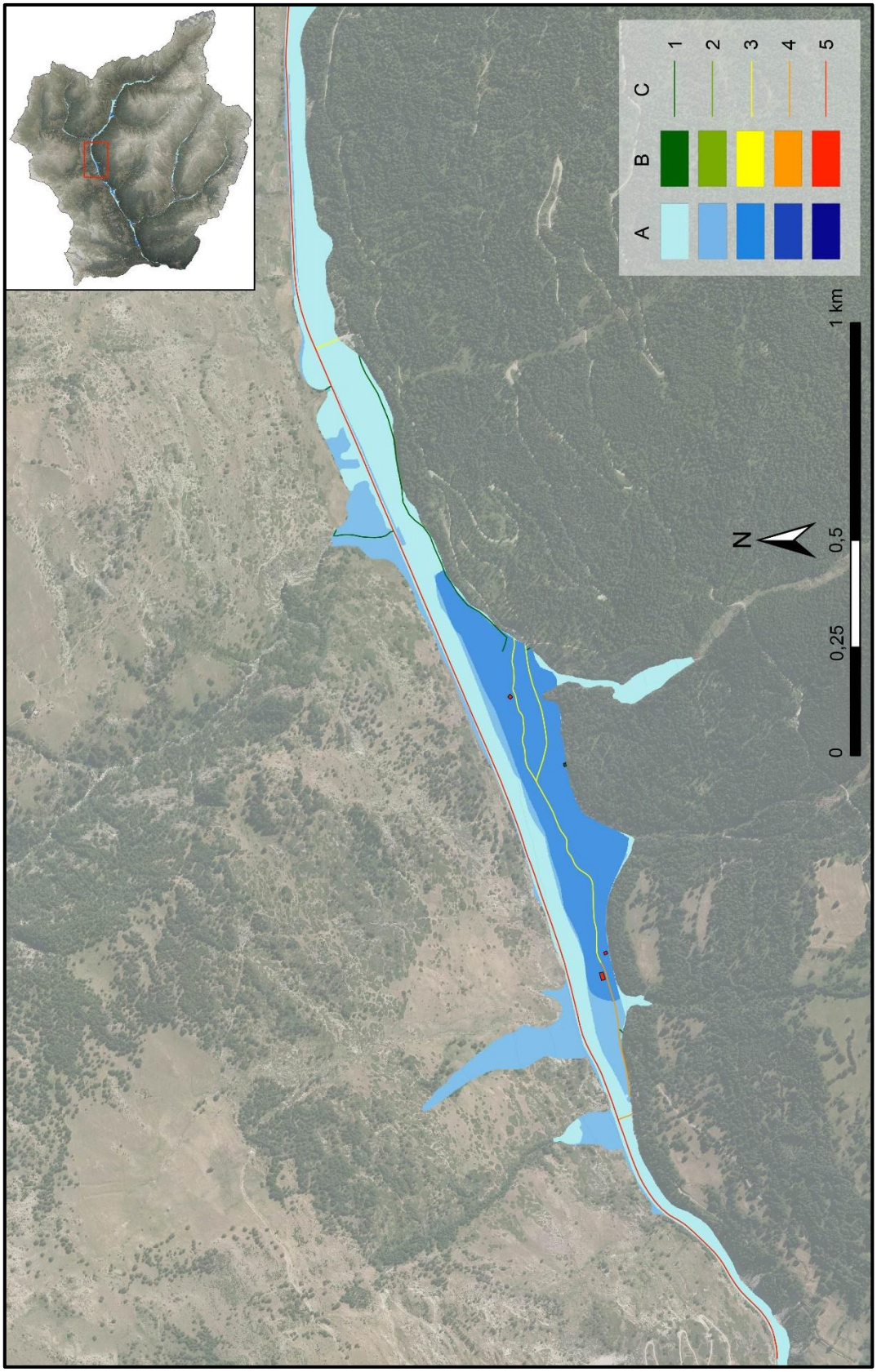


Figure 9. 37. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur du camping du Gouret : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

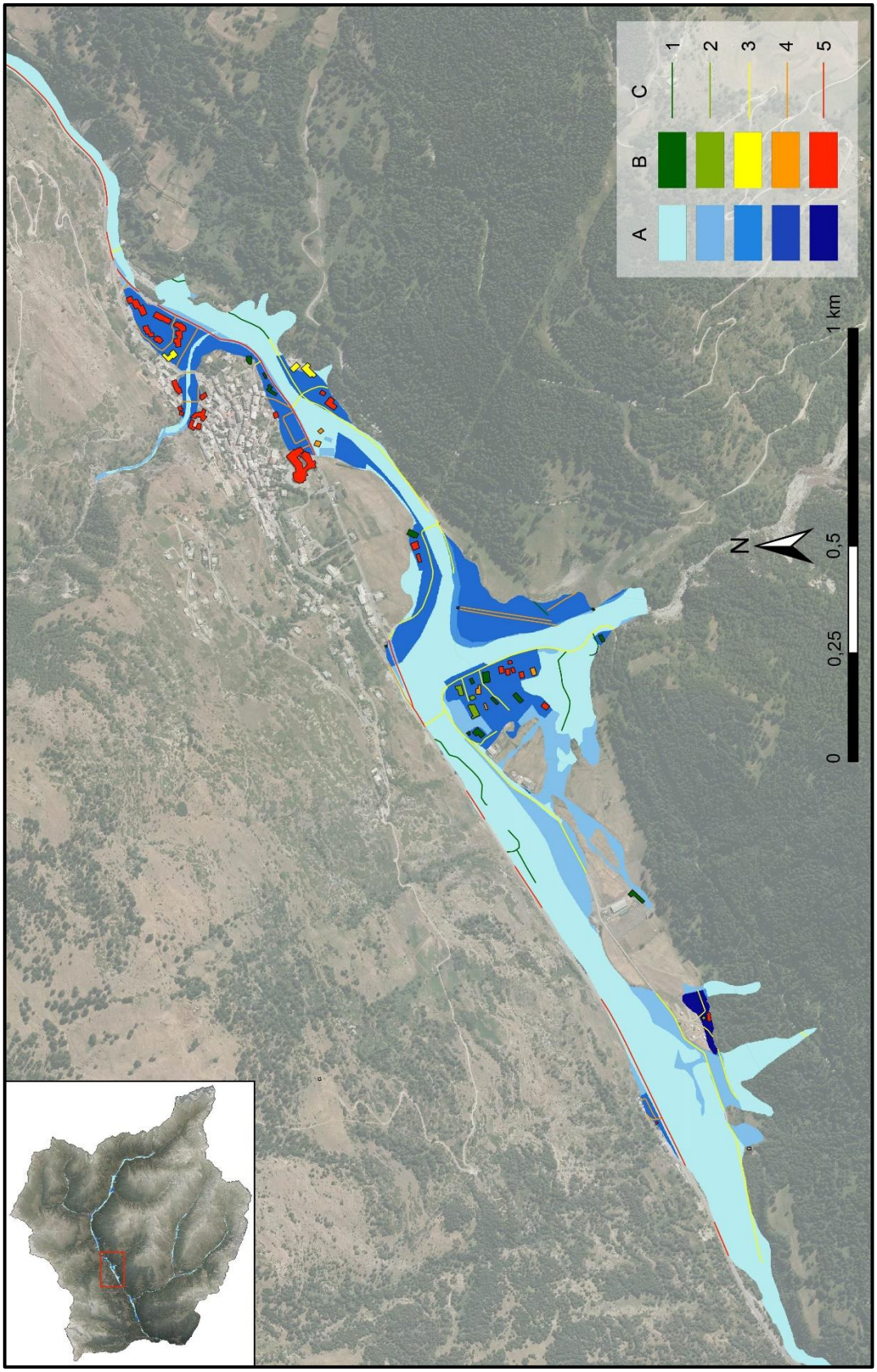


Figure 9. 38. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur d'Aiguilles : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

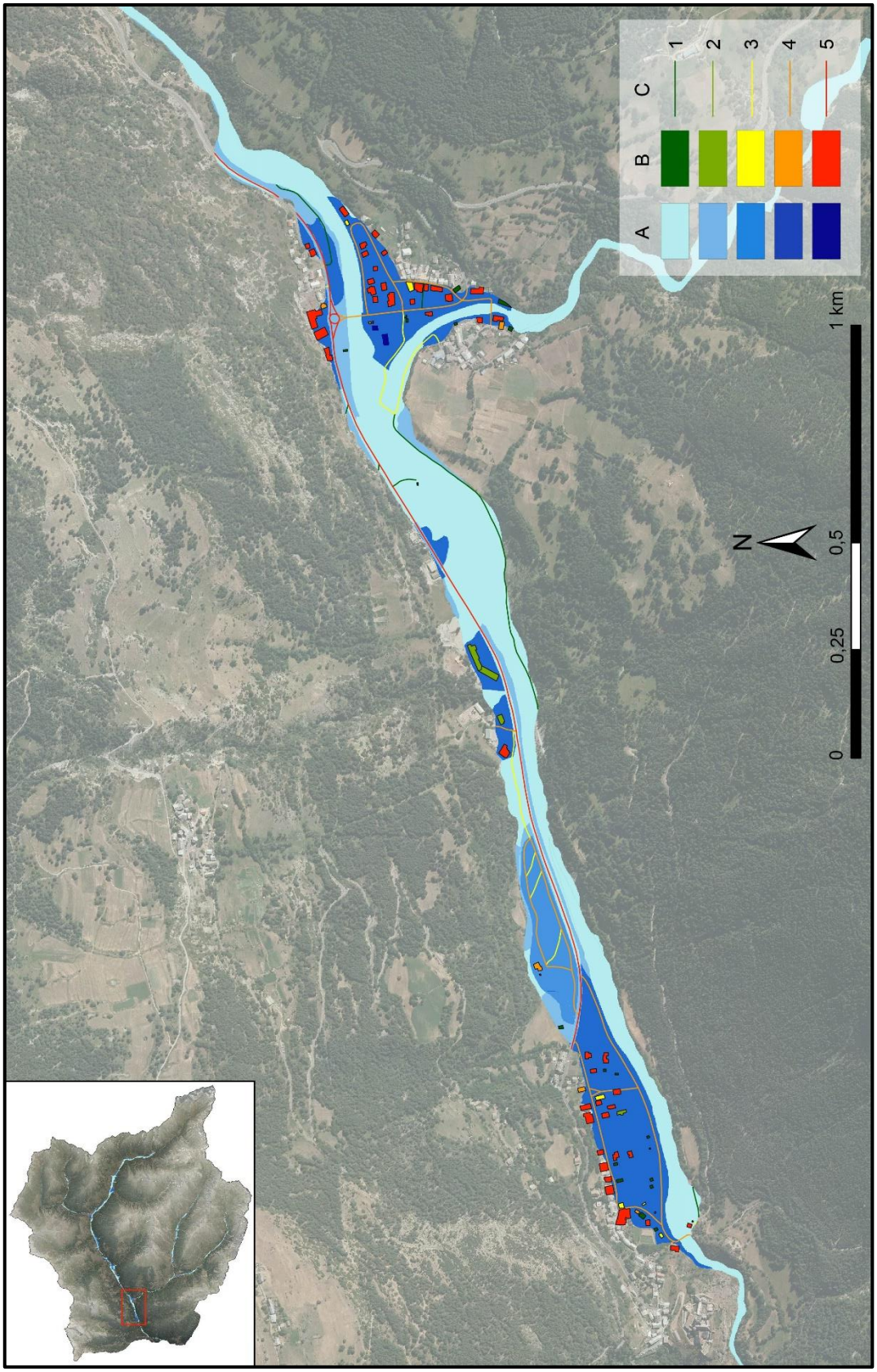


Figure 9. 39. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur de Château-Queyras et Ville-Vieille : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

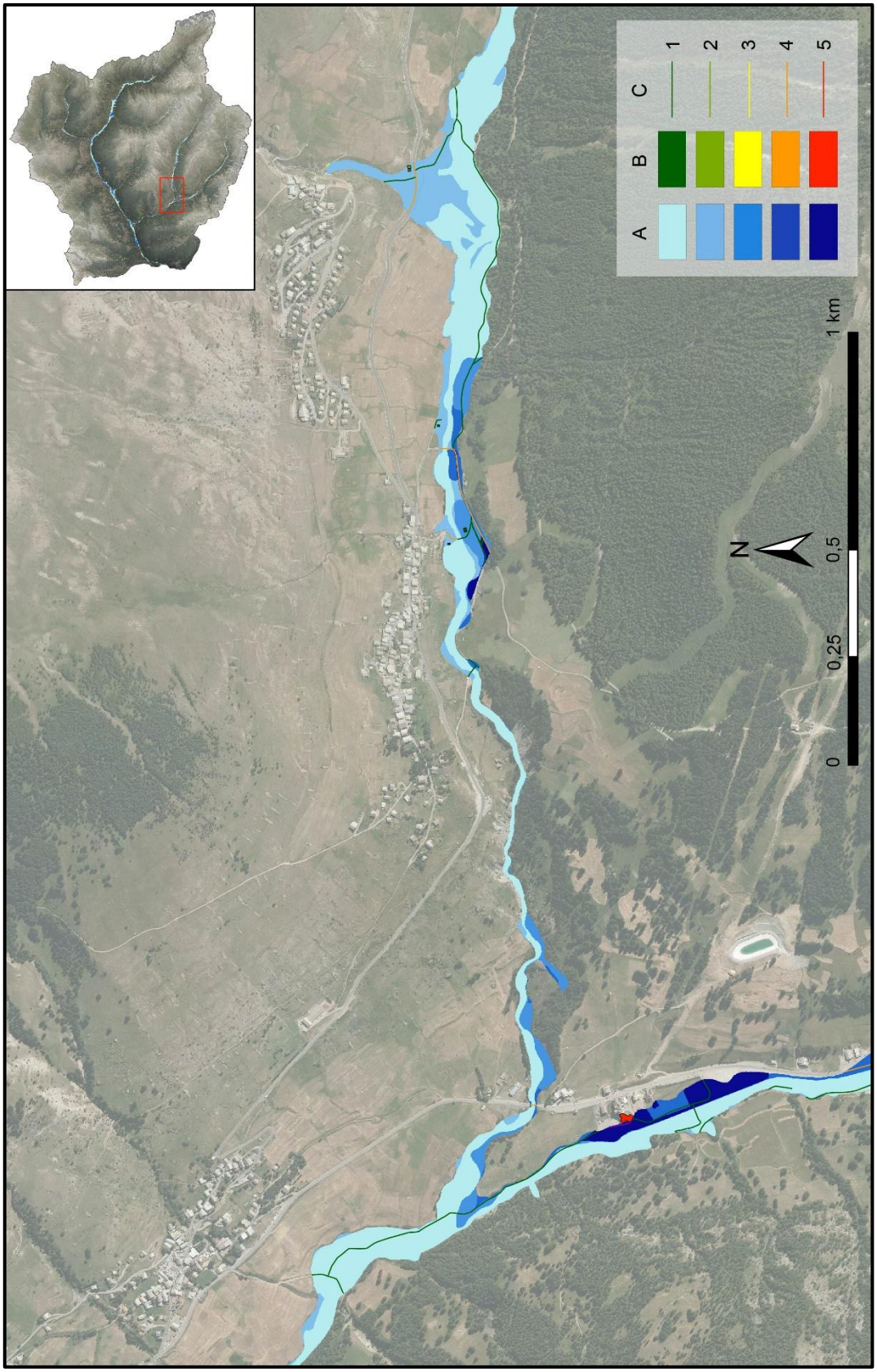


Figure 9. 40. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur de Molines-en-Queyras : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

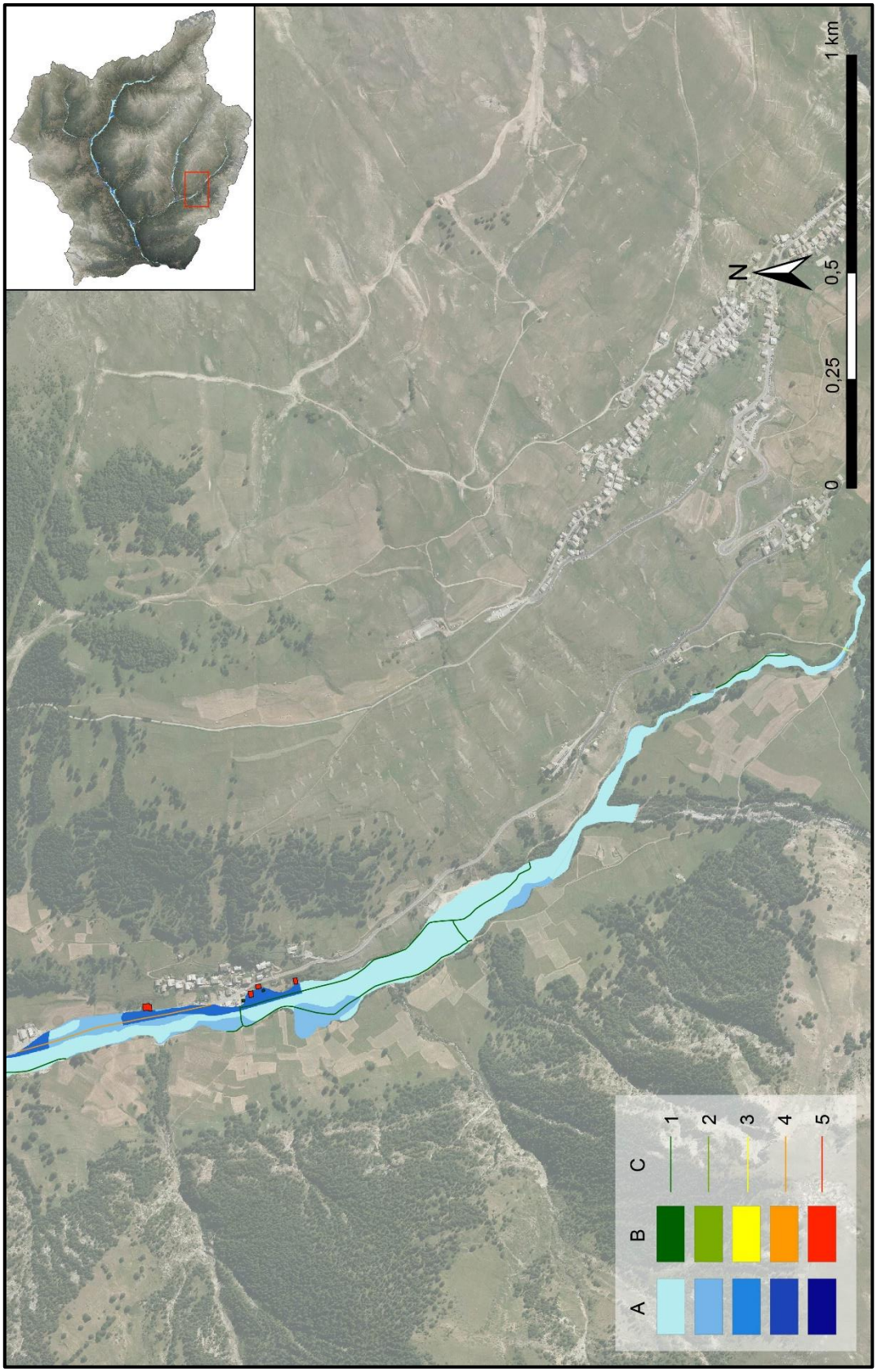


Figure 9. 41. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur de La Chalp-Saint-Véran : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

2. 6. Bilan : les risques liés aux crues torrentielles dans le Queyras

En raison de leur fréquence et des dommages considérables qu'elles peuvent engendrer, les crues torrentielles constituent l'un des principaux risques pour les petites communautés queyrassines. C'est d'autant plus vrai qu'en raison du relief et du manque d'espace, les enjeux du bassin-versant se concentrent principalement dans les fonds de vallées et sur les cônes torrentiels. Cette implantation sur des espaces soumis aux crues est plus prégnante dans la vallée du Guil et c'est bien l'ensemble des six communes du Queyras qui est exposé au risque. Or, pour ces petites communes, exsangues financièrement et très dépendantes des activités touristiques, la gestion de ces risques constitue un défi de taille. Dans ce contexte, disposer d'éléments à même de les aider dans cette tâche peut constituer une réelle plus-value pour la mise en œuvre d'une gestion efficace des risques. Dans le cadre du projet SAMCO, quatre scénarios de crues ont été modélisés : décennale, trentennale-cinquantennale (type crue de juin 2000), centennale et supra-centennale (type crue de juin 1957). Pour compléter ce travail, l'enveloppe historique de la crue de juin 1957 (la crue de référence ; Q>100) a été analysée au regard des enjeux actuels du bassin-versant. Sans surprise, c'est la vallée du Guil qui apparaît la plus exposée aux risques liés aux crues et ce, quel que soit le scénario considéré. De par leur exposition accrue aux retours d'Est, ce sont en effet les villages de l'amont de la vallée du Guil qui ont le plus de chance d'être impactés négativement par les crues.

Pour une crue de basse intensité mais de haute fréquence (Q10), les risques se concentrent essentiellement dans la haute-vallée du Guil (Ristolas, Abriès et Aiguilles). Les enjeux exposés sont surtout des enjeux de réseau et d'occupation du sol. Parmi les enjeux les plus exposés figurent les parkings de la Roche Écroulée et de l'Échalp, les bâtiments agricoles de la plaine d'Abriès et le camping du Gouret. Pour une crue de fréquence et d'intensité moyenne (Q30-Q50), c'est sur la commune d'Aiguilles que les risques sont les plus importants. Plusieurs bâtiments artisanaux ainsi qu'un tronçon de la D 947 pourraient être impactés. Dans les scénarios de crue centennale et supra-centennale, le risque se propage à l'ensemble de la vallée du Guil. Pour ces scénarios, ce sont dans les villages d'Aiguilles (plaine des Ribes) et de Château-Queyras (plaine de Château-Queyras) que les impacts pourraient être les plus importants. Là encore, plusieurs tronçons de la route D 947 pourraient être impactés, d'où un risque d'isolement pour les communes situées dans la partie amont de la vallée du Guil. Dans ces deux scénarios, les vallées de l'Aigue Agnelle et de l'Aigue Blanche présentent des enjeux exposés au risque, principalement au niveau des hameaux de Pierre-Grosse, du Clôt-La-Chalpe et de La Chalp de Saint-Véran. Afin de mettre en évidence les risques liés aux torrents qui n'ont pu être modélisés et prendre en compte les éventuelles ruptures ou surverses de digues, les enjeux actuels du Queyras ont été croisés avec l'enveloppe de la crue de juin 1957. Ce travail a permis d'identifier plusieurs secteurs sensibles, notamment sur les cônes torrentiels (Garcine, Bouchet, Lombard, Peynin, Rif de la Salce) et en arrière des digues (amont de la vallée du Guil, secteur de Château-Ville-Vieille et abord de l'Aigue Blanche entre La Chalp et le « Pont des Marrous »).

Cette démarche aura également permis d'évaluer l'évolution des risques en comparant les enjeux présents dans l'emprise de la crue de juin 1957 avec ceux exposés dans le scénario supra-centennal (modélisé d'après les débits de la crue de juin 1957). À scénario équivalent, les risques ont considérablement diminué en raison du réaménagement complet des fonds de vallées. Les ouvrages construits suite à cette crue catastrophique de 1957 ont été admirablement bien réalisés d'un point de vue hydraulique (on ne discute pas ici de l'esthétique), et malgré une obsolescence de ces derniers, ils assurent encore une protection efficace des enjeux les plus importants. Dans le scénario supra-centennal, les risques liés aux crues du Ségure, du Bouchet, du Lombard et de l'Aigue Blanche sont limités en comparaison de ce qui a pu être observé lors de la crue de juin 1957. C'est principalement du fait des aménagements réalisés sur les cônes de déjection de ces torrents.

3. Cartographie et analyse des risques liés aux glissements de terrain

Les risques inhérents aux glissements de terrain ont été récemment mis en exergue par les impacts tant structurels que fonctionnels engendrés par le glissement du Pas-de-l'Ours (cf. 3. 2., chapitre 2). Alors qu'il y a peu, les Queyrassins faisaient encore peu de cas de ces aléas et de leurs impacts (cf. partie 4, chapitre 7), ils sont désormais au centre de leurs préoccupations. Dans ce contexte, proposer une cartographie de ces risques pourrait s'avérer utile tant pour les acteurs et gestionnaires des risques que pour les résidents du Queyras. Après un bref descriptif des risques modélisés à l'échelle du Queyras, nous nous efforcerons de fournir une analyse détaillée de ces derniers à l'échelle communale.

A l'échelle régionale, les risques liés aux glissements de terrain sont plus marqués dans la partie est du bassin-versant que dans sa partie ouest (Fig. 9. 42.). Cette opposition tient essentiellement à la lithologie (cf. partie 3, chapitre 5). L'est du bassin, propice aux glissements, présente une lithologie majoritairement composée de schistes et de calcschistes très replissés et altérés tandis que l'ouest du bassin présente une lithologie plus calcaire (Fig. 9. 42.).

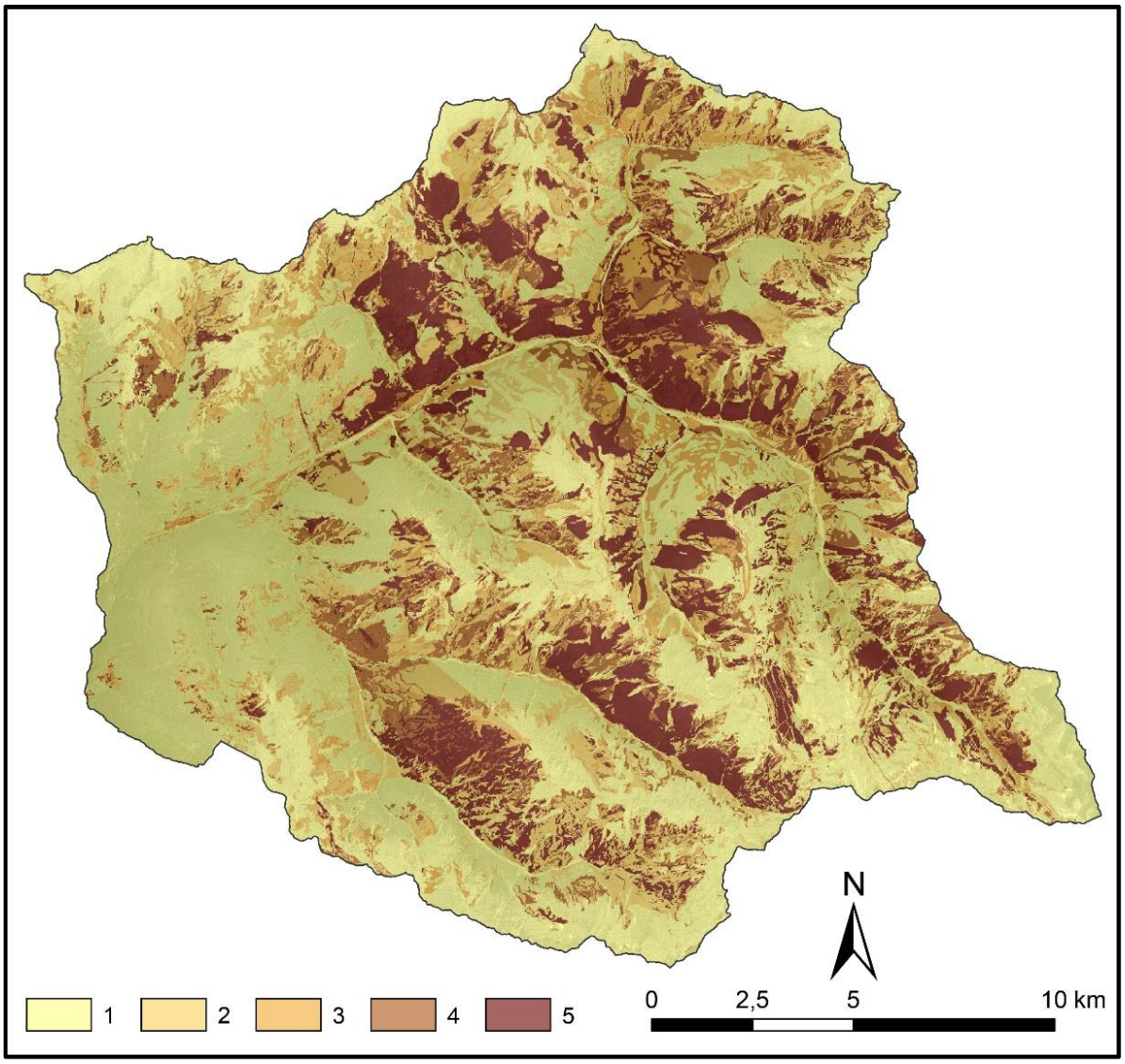


Figure 9. 42. : Cartographie des risques liés aux glissements de terrain à l'échelle régionale : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort.

Dans la partie est du bassin, ce sont les versants adrets, conformes au pendage des schistes et recouverts de prairies, qui affichent les risques les plus importants (cf. partie 3, chapitre 5). Les espaces les plus susceptibles d'être exposés au risque sont ainsi localisés sur les adrets : 1) haute-vallée du Guil ; 2) bassin du Bouchet ; 3) bassin du Malrif ; 4) bassin du Lombard ; 5) bassins de l'Aigue Agnelle et de l'Aigue Blanche (Fig. 9. 42.). À l'inverse, les fonds de vallée et les versants contraires au pendage des schistes (position d'ubac) présentent des risques négligeables et faibles (Fig. 9. 42.).

3. 1. Commune de Ristolas

Dans la commune de Ristolas, l'aléa glissement de terrain est très présent (Fig. 5. 29.). Cependant, dans la mesure où les principaux enjeux biophysiques sont situés en fond de vallée, les risques restent relativement modestes (Fig. 9. 43.). Le principal enjeu exposé au risque est la route D 947, classée avec un risque très fort sur l'ensemble de la commune (Fig. 9. 43.). Dans le hameau de l'Échalp, plusieurs bâtiments présentent également des risques forts et très forts (Fig. 9. 43.). C'est en particulier le cas de la maison, située la plus en hauteur sur le versant, dans un espace où la susceptibilité aux glissements est très forte. Dans le village de Ristolas, deux bâtiments sont classés avec un risque très fort au niveau du lieu-dit « les Maisons Neuve », à l'apex du cône du Ségure (Fig. 9. 43.). En revanche, les bâtiments classés avec un risque fort dans le village de Ristolas sont peu susceptibles d'être exposés au risque, compte tenu de la faible déclivité du cône torrentiel du Ségure (Fig. 9. 43.). Outre ces éléments, plusieurs chemins et sentiers sont exposés au risque, dont divers tronçons du GR 58 et de ses variantes (Fig. 9. 43.). En dépit d'une présence marquée de l'aléa, la commune de Ristolas semble donc peu exposée aux risques liés aux glissements de terrain. Cependant, il nous faut intégrer les risques liés à un possible blocage du chenal du Ségure par un glissement de terrain. Ce cas de figure s'est présenté lors de la crue de juin 1957 et a entraîné l'engravement total du village suite à la rupture du bouchon formé par la masse glissée dans le fond de vallée.

3. 2. Commune d'Abriès

Dans la commune d'Abriès (Fig. 9. 44. et 9. 45.), les risques liés aux glissements de terrain sont plus importants. Les versants qui surplombent le village d'Abriès sont fortement exposés au risque de glissement. Par conséquent, les enjeux qui s'y trouvent le sont également (Fig. 9. 44.). En rive gauche du Bouchet, la plupart des infrastructures de la station de ski alpin affiche des risques forts et très forts. Le risque est aussi présent à l'amont du hameau de La Garcine, où une douzaine de bâtiments affichent un risque très fort (Fig. 9. 44.). En rive droite du Bouchet, c'est l'essentiel du bâti présent sur les versants qui est exposé au risque (quartier de l'Hoche et du Genebrier). La route carrossable du chemin du Genebrier et l'antenne relais située à son extrémité sont également classés avec des risques forts et très forts. Parmi les réseaux exposés au risque, figurent plusieurs tronçons de la D 947 et de la D 441 (Fig. 9. 44. et 9. 45.). Dans la partie amont du bassin du Bouchet, le risque est présent dans la partie basse du hameau du Roux (Fig. 9. 45.). 13 bâtiments, ainsi que la partie terminale de la D 441 sont potentiellement exposés à un risque fort ou très fort. Il en est de même pour la route qui relie Le Roux à Valpréveyre (Fig. 9. 45.). Quand bien même ils sont classés avec des risques forts et très forts, les enjeux situés en fond de vallée et sur les cônes de la Garcine et du Bouchet ont peu de chance d'être impactés en cas de glissement de terrain. Il s'agit là d'une des limites inhérentes à l'emploi des matrices de risque (Cox, 2008). De fait, si un enjeu est classé avec des conséquences potentielles fortes, il peut apparaître soumis à un risque fort en dépit d'une faible exposition à l'aléa.

3. 3. Commune d'Aiguilles

Dans la commune d'Aiguilles les risques liés aux glissements de terrain sont très présents (Fig. 9. 46.). Non seulement les bassins du Lombard et du Peynin présentent une forte prédisposition aux glissements de terrain mais c'est également le cas du versant qui surplombe le village en rive droite du Guil. Sur ce dernier, tous les enjeux construits sur les pentes sont potentiellement exposés à un risque fort à très fort (Fig. 9. 46.). C'est pourtant sur cet espace que la plupart des nouvelles bâtisses du village ont vu le jour. Si cette tendance se poursuit, un accroissement des risques est à prévoir sur cette zone. Le glissement du Pas-de-l'Ours, situé sur ce versant, a déjà entraîné des dommages irréparables sur la route D 947 et le chemin du Lombard (Fig. 9. 46.). Pour empêcher l'isolement des communes d'Abriès et de Ristolas, une route de dérivation est cours de construction sur le versant de rive gauche du Guil (future PS 947). Cette route sera elle-même fortement exposée au risque de glissement de terrain car son tracé recoupe en partie un glissement de terrain fossile de grande ampleur (Fig. 5. 29.). Malgré la création d'un itinéraire bis, le glissement du Pas-de-l'Ours représente encore un danger pour le village d'Aiguilles. S'il finit par atteindre le fond de vallée, il risque de bloquer le cours du Guil. Un tel scénario pourrait s'avérer catastrophique si les masses glissées ne peuvent être rapidement évacuées par la rivière (ou la main de l'homme). De fait, cela entraînerait la formation d'un plan d'eau en amont du glissement. Les enjeux situés en amont du barrage ainsi formé seraient alors inondés. De plus, si le barrage venait à se rompre brutalement, une lame d'eau et de sédiments pourrait déferler sur le village d'Aiguilles et causer des dommages considérables en aval. En raison de ce risque, le glissement du Pas-de l'Ours fait actuellement l'objet d'un suivi par les géophysiciens de l'EOST et les employés de la RTM.

3. 4. Commune de Château-Ville-Vieille

Dans la commune de Château-Ville-Vieille, les risques liés aux glissements de terrain sont relativement limités (Fig. 9. 47.). Compte tenu de la nature du substrat, du pendage des couches géologiques et de la relative absence de formations superficielles, l'aléa est peu présent (Fig. 5. 29.). Le risque n'est pas pour autant absent. En aval de Ville-Vieille, la ligne à haute tension apparaît menacée sur tout son tracé (Fig. 9. 47.). Si l'aléa est faible à modéré, l'enjeu est lui très important, d'où un risque fort à très fort. Le risque est également présent sur l'ensemble du tracé de la D 947 et sur une portion de la route D 5 qui mène à Molines-en-Queyras (Fig. 9. 47.). Les risques liés aux glissements de terrain sont plus importants dans les hameaux d'altitude de la commune (Fig. 9. 47., I, II et III). Dans les hameaux de Montbardon (Fig. 9. 47., I), de Soulier (Fig. 9. 47., II) et de Prat-Haut et Prat-Bas (Fig. 9. 47., III), les voies d'accès principales et divers bâtiments (souvent récents) sont exposés à des risques forts et très forts. Dans le bassin de Soulier, des marques de glissement sont nettement visibles dans les dépôts morainiques situés en aval du hameau (Photo 2. 8., B). Même si la commune est peu exposée au regard des autres communes du Queyras, les risques liés aux glissements de terrain sont bien présents.

3. 5. Commune de Molines-en-Queyras

Dans la commune de Molines-en-Queyras (Fig. 9. 48.), tous les adrets sont affectés par des risques forts à très forts de glissement de terrain (Fig. 9. 42.). Les risques sont particulièrement importants sur toute la partie amont de la vallée de l'Aigue Agnelle et autour du village de Molines-en-Queyras (Fig. 9. 42.). Sur ces espaces, la majeure partie de la D 205 est classée avec un risque fort à très fort. À Fongillarde (Fig. 9. 48., I), les risques se concentrent à l'amont du hameau. Plusieurs bâtiments et une large portion de la route D 205 sont concernés. Dans le hameau de Château-Renard, presque tous les bâtiments sont classés avec un risque fort et très fort (Fig. 9. 48.). Ceux classés avec un risque très fort sont tous situés dans la partie est du hameau, dans un espace où la susceptibilité aux mouvements de terrain est forte (Fig. 5. 29.). À Pierre-Grosse, le risque concerne principalement le bâti récent situé

à l'ouest du hameau et les remontées mécaniques qui lui font face (Fig. 9. 48.). Le reste des enjeux est exposé à un risque négligeable à modéré. Dans le village de Molines-en-Queyras, les risques sont importants pour le bâti, et notamment pour celui, récent, situé en périphérie du bourg ancien. Le bâti ancien affiche des risques plus réduits. Dans le hameau de Gaudissard, tout le bâti est classé avec un risque fort à très fort, à l'exception de l'hôtel (bâtiment le plus ancien du hameau). Dans le hameau de la Rua (Fig. 9. 48.), les risques sont relativement moins importants. Le bâti ancien est exposé à un risque négligeable à modérée et le bâti récent à un risque fort voire très fort. Enfin, dans le hameau du Clôt-la-Chalpe (Fig. 9. 48.), les risques sont modérés à très forts. Ils concernent autant le bâti que les équipements touristiques hivernaux. Au vu de la cartographie réalisée, c'est sur cette commune que le risque pourrait être le plus important.

3. 6. Commune de Saint-Véran

Dans la commune de Saint-Véran (Fig. 9. 49.), la plupart des enjeux biophysiques se concentrent sur les versants adrets. Or les propriétés physiques de ces versants les rendent particulièrement favorables aux glissements de terrain (Fig. 5. 29.). Développés dans des schistes lustrés orientés sud/sud-ouest, leurs pentes sont conformes au pendage des couches géologiques sous-jacentes. Ils sont recouverts d'un plaquage de moraines et de formations de pente potentiellement instables. En outre, ces versants sont intégralement recouverts de prairies et de prés de fauche peu propices à la retenue des terrains. De multiples cicatrices témoignent d'ailleurs de la présence de glissements anciens (10^2 à 10^4 ans) de grande ampleur et de petits glissements rotationnels plus récents. En amont du village, tous les équipements de la station de ski alpin (remontées mécaniques, pistes et bâti touristique) sont exposés à un risque fort et très fort (Fig. 9. 49.). Dans le village, le risque apparaît plus prononcé dans les espaces occupés par le bâti récent (aux deux extrémités du village). Le bâti y est majoritairement classé avec des risques forts et très forts tandis que dans le centre bourg, il est réparti dans les classes de risques négligeables à fortes. Dans le hameau du Raux, le risque est plus modeste. Pour autant, l'essentiel de son bâti présente des risques modérés et forts. Dans les lieudits « le Cros » et « la Croix de Juan », le risque est fort et très fort (Fig. 9. 49.). Ils sont en revanche plus faibles dans le hameau de La Chalp, même si quelques bâtiments affichent un risque fort (Fig. 9. 49.). Notons toutefois qu'un glissement s'est déjà produit sur cette espace et qu'une maison a été endommagée à cette occasion. Tout comme la commune de Molines-en-Queyras, la commune de Saint-Véran s'avère donc très exposée aux risques liés aux glissements de terrain.

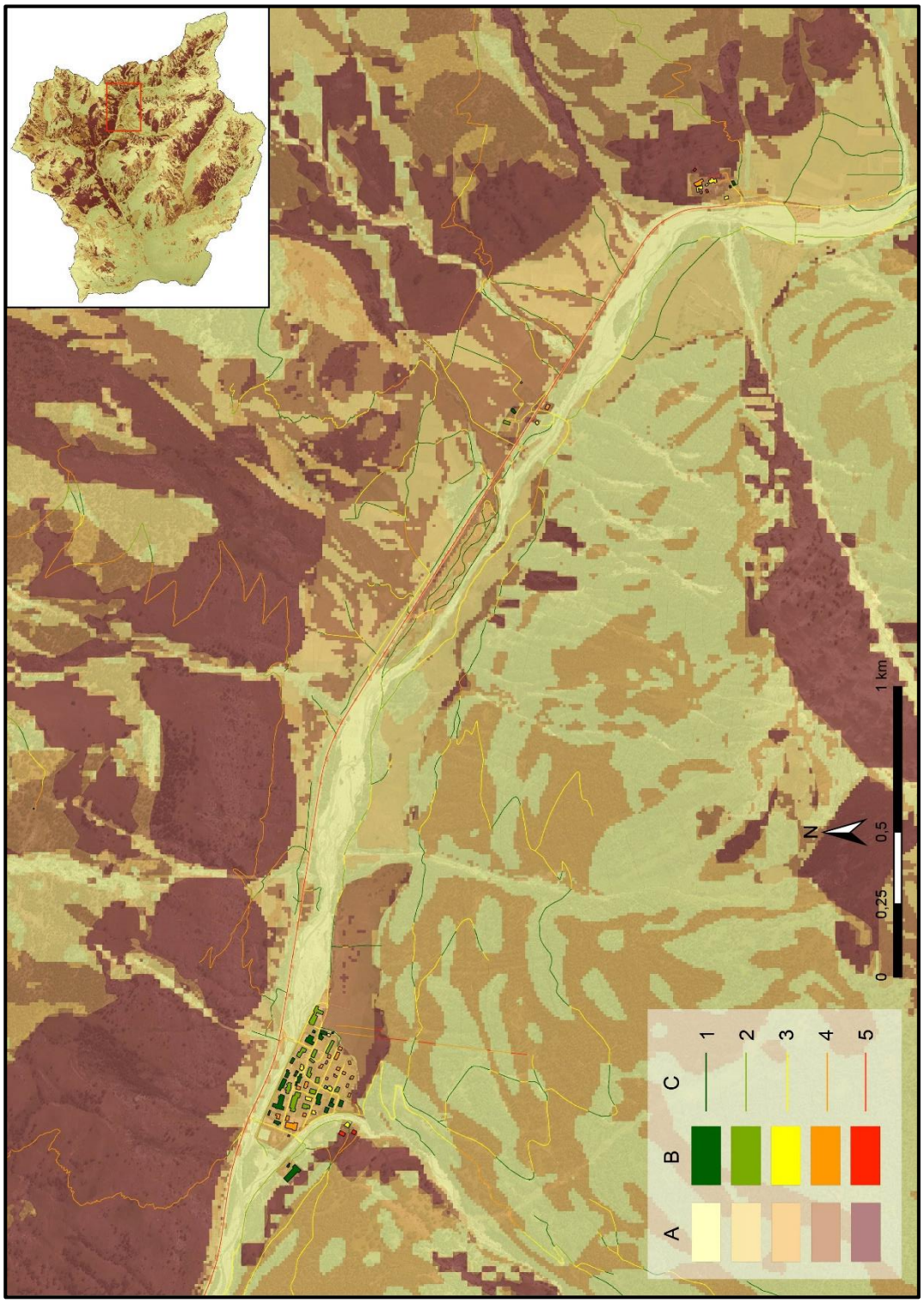


Figure 9. 43. : Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur de Ristolas : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

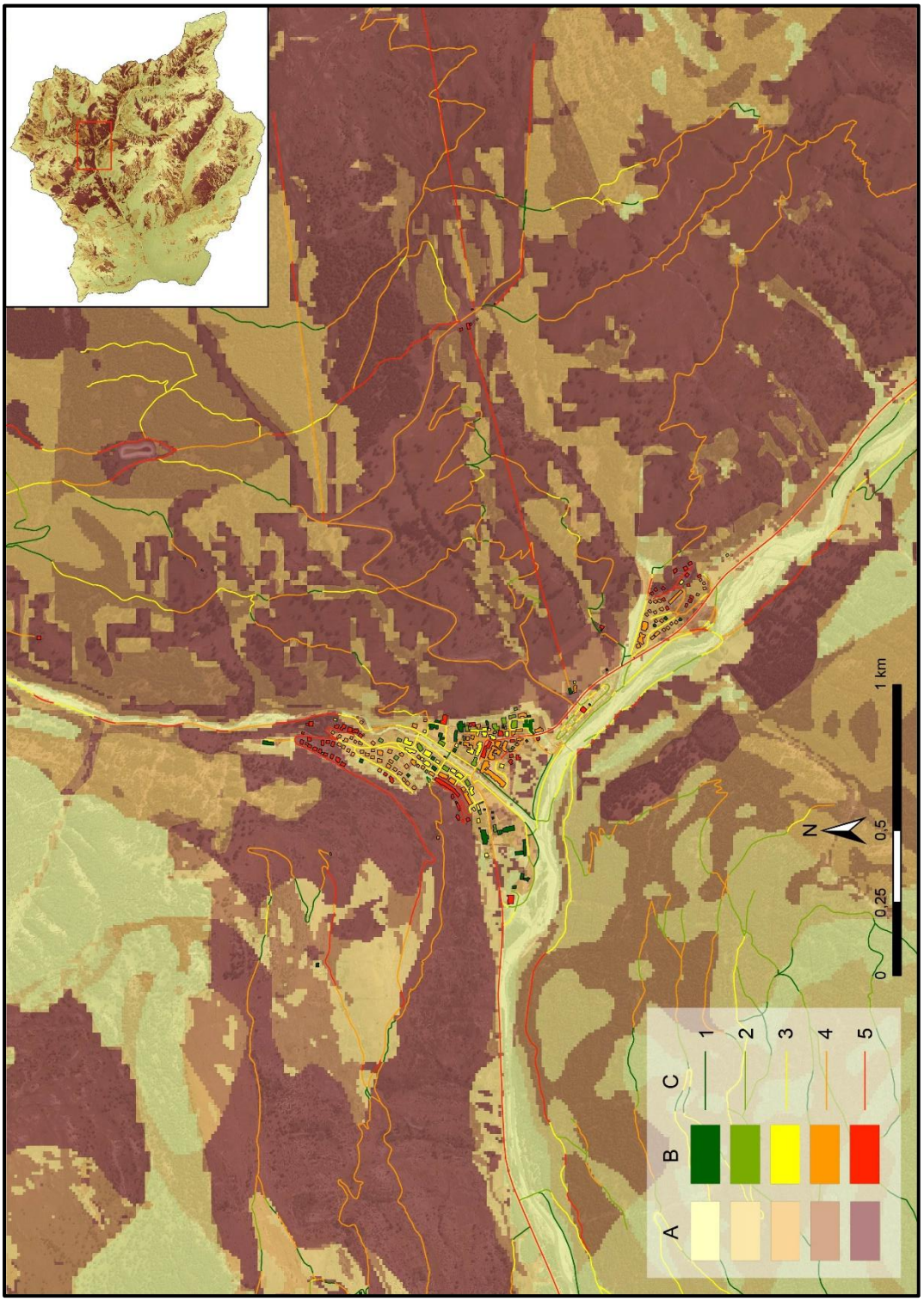


Figure 9. 44. : Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur de d'Abriès : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

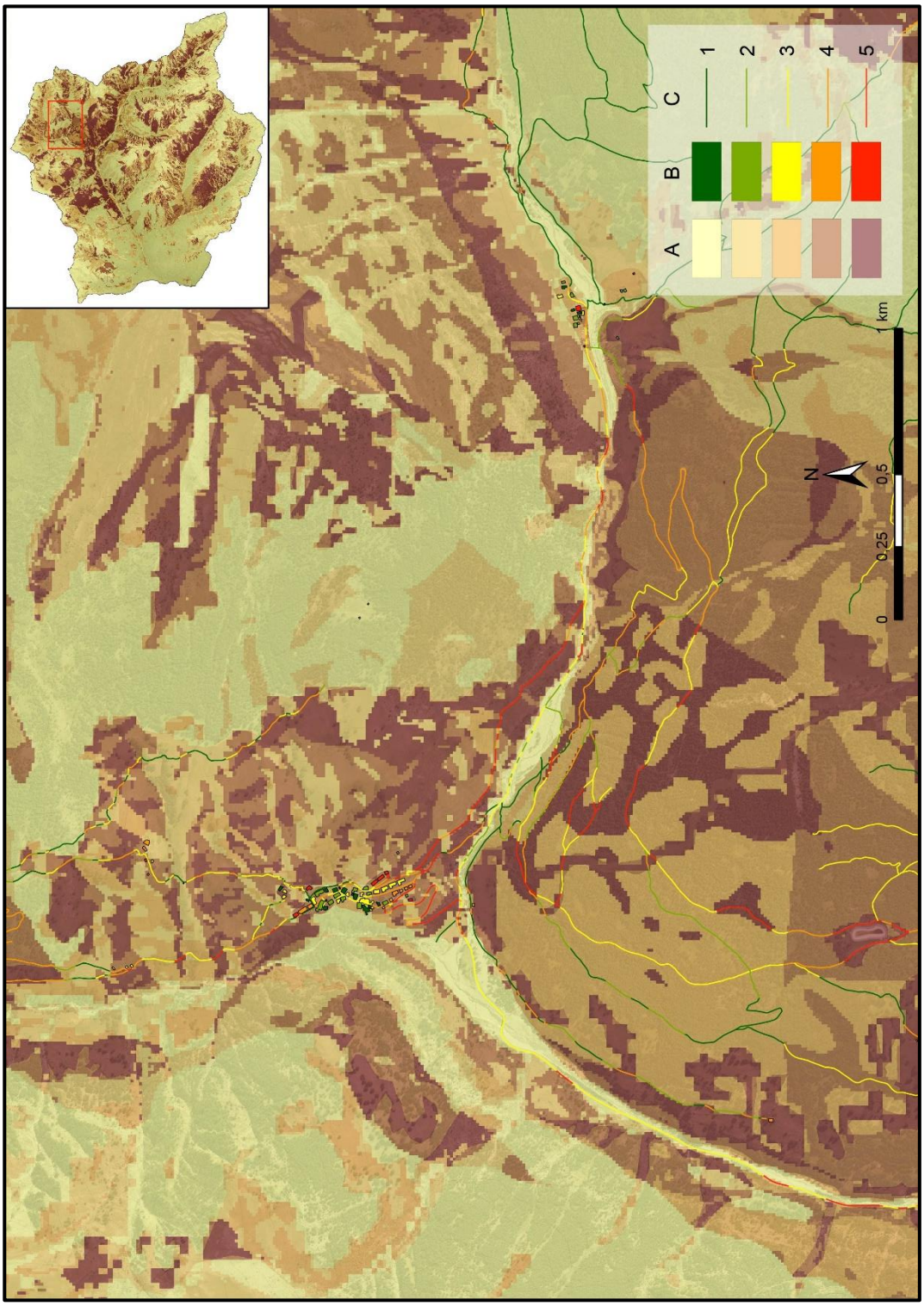


Figure 9. 45. : Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur du Roux et de Valpréveyre : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

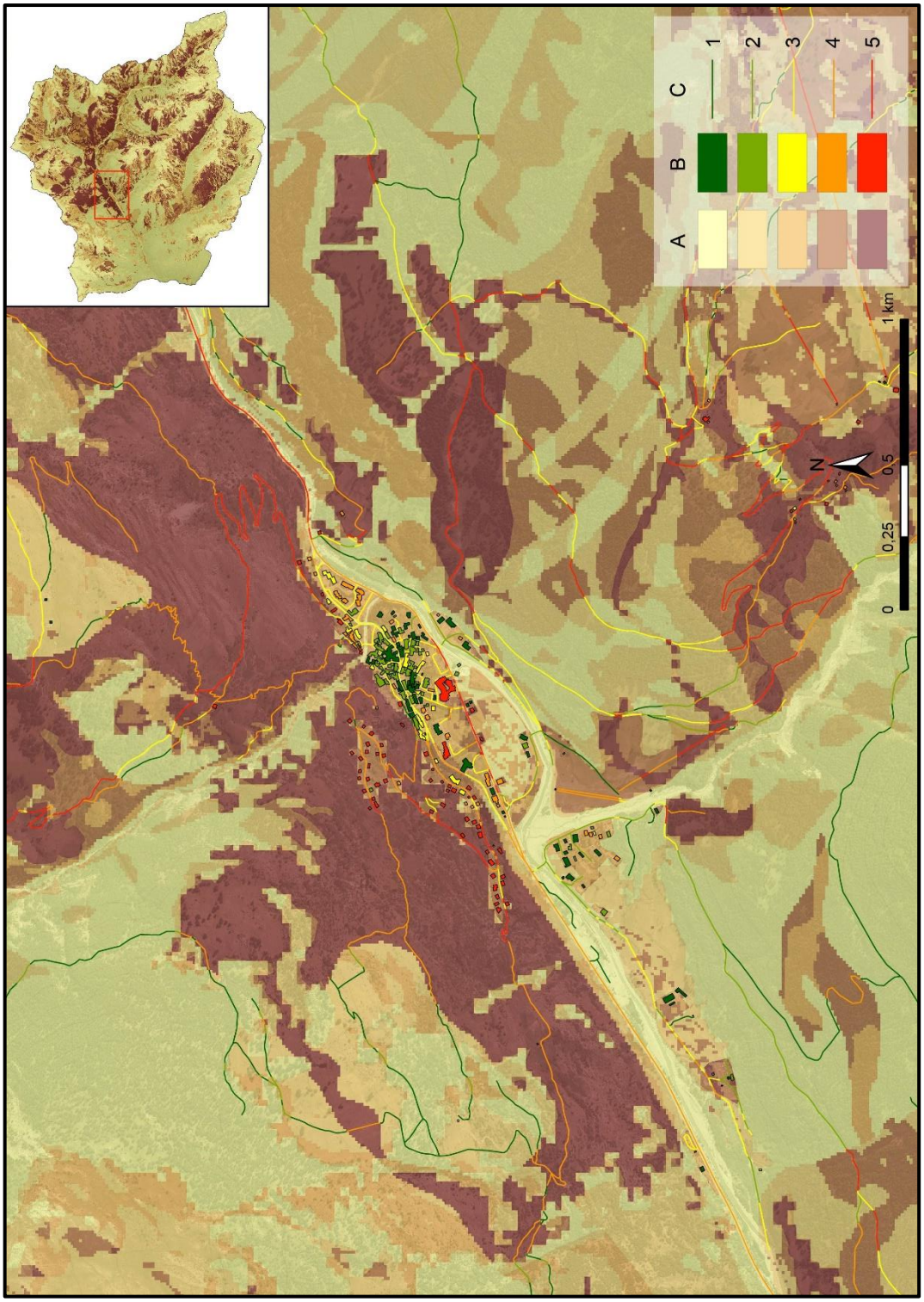


Figure 9. 46. : Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur d'Aiguilles : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

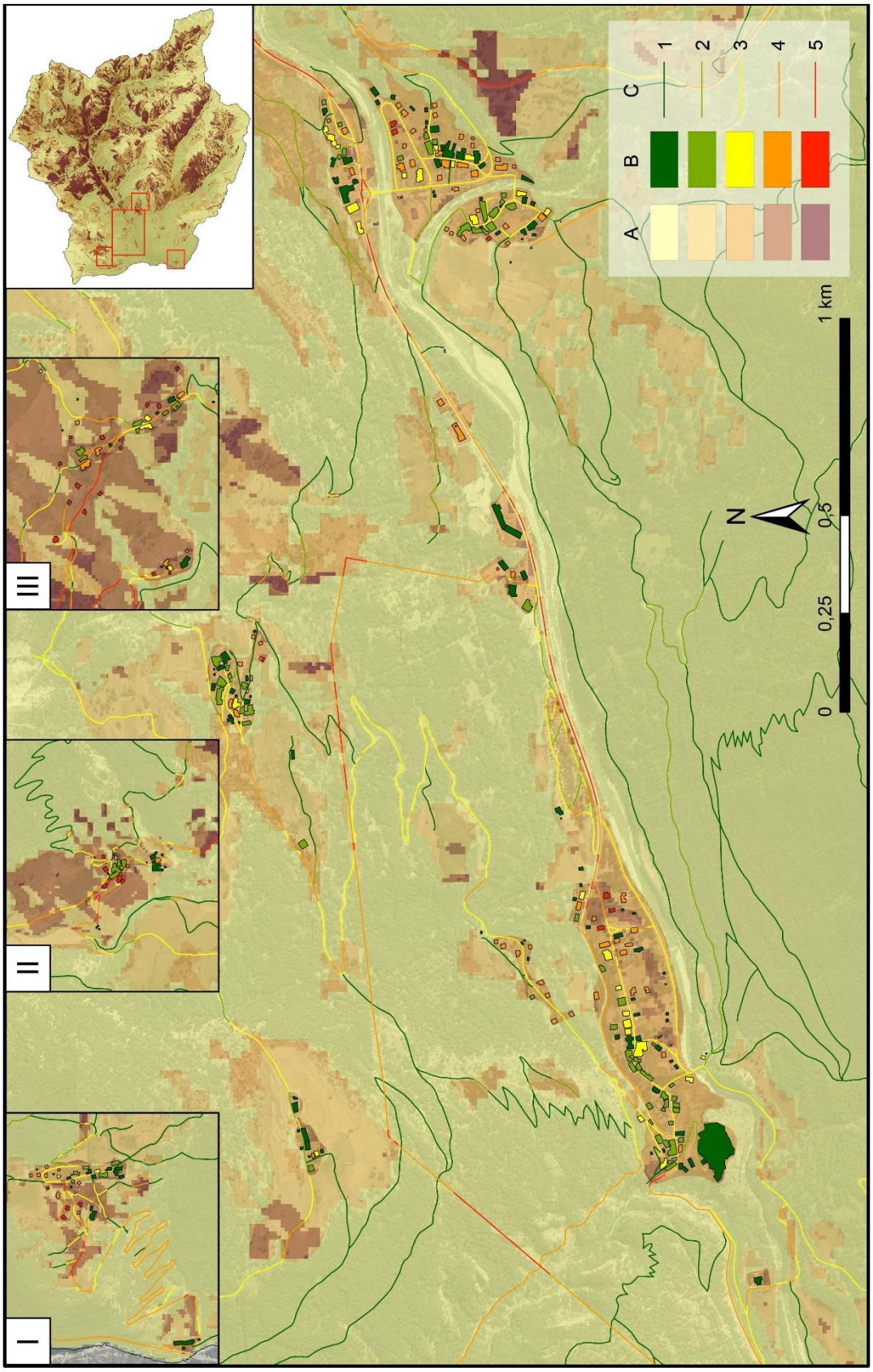


Figure 9. 47. : Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur de Château-Ville-Vieille : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

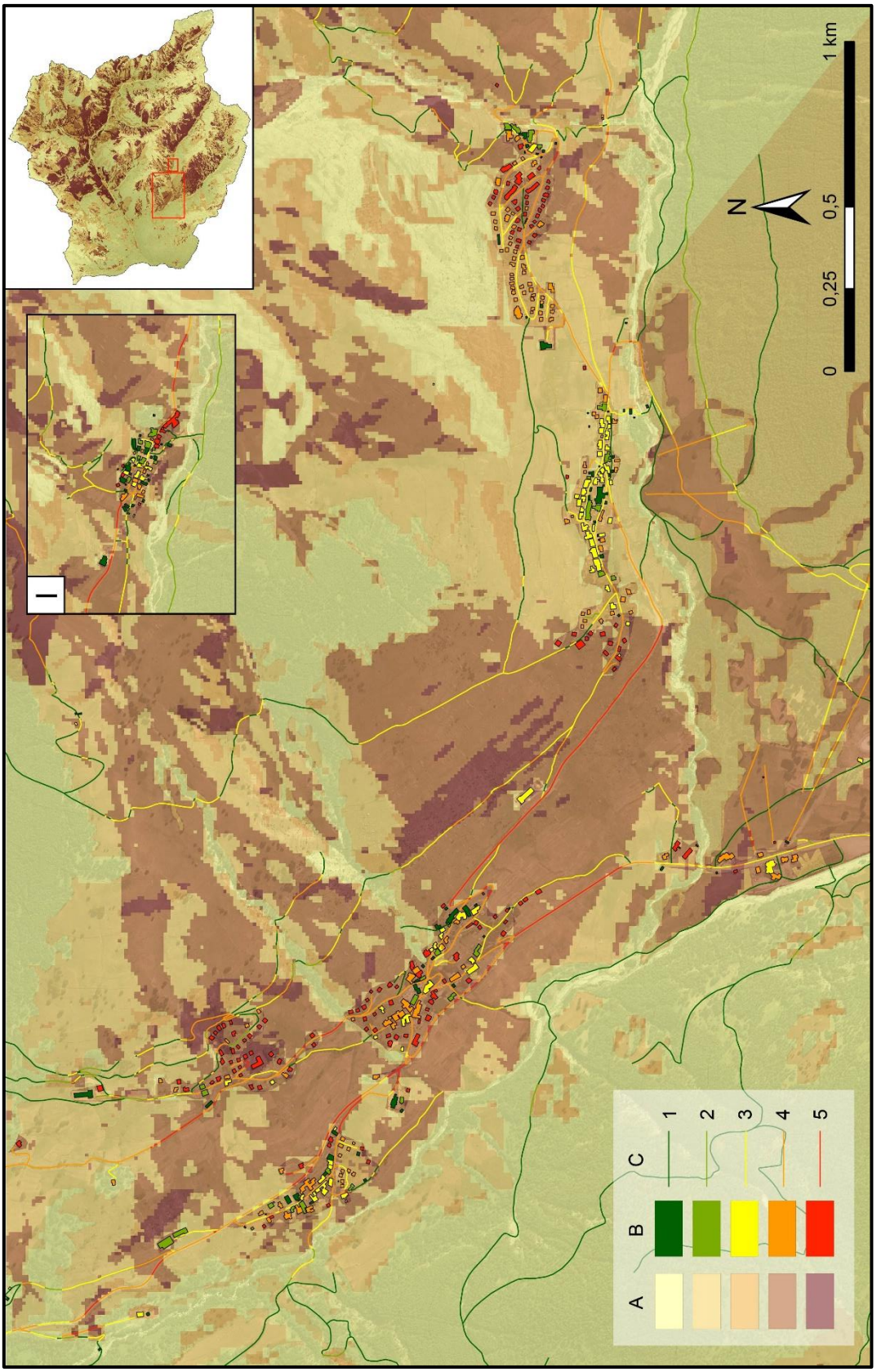


Figure 9. 48. : Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur de Molines-en-Queyras : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

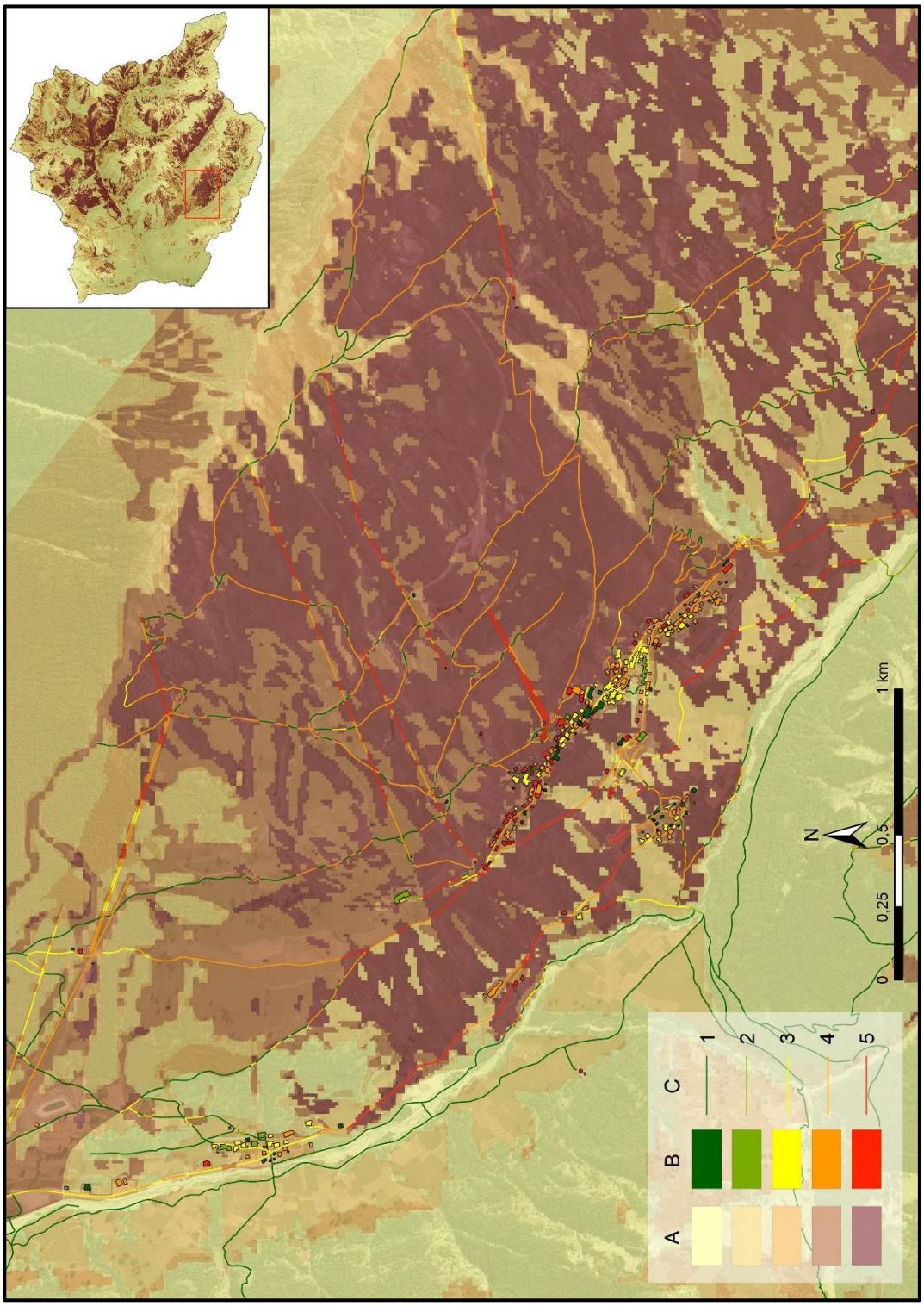


Figure 9. 49. : Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur de Saint-Véran : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

3. 7. Bilan : les risques liés aux glissements de terrain dans le Queyras

En raison d'un certain nombre de facteurs de prédisposition (lithologie schisteuse, nappe de charriage et structure faillée, pendage et orientation des couches géologiques, formations superficielles instables, absence de végétation arborée sur les adrets), les risques liés aux glissements de terrain sont considérables dans le Queyras. Longtemps relégués au second plan du fait de l'absence d'événements de grande ampleur, ils ont récemment été placés au cœur des préoccupations des Queyrassins en matière de risque naturel. Les dommages engendrés par la réactivation du glissement du Pas-de-L'Ours et la menace qu'il fait peser sur les enjeux de la vallée du Guil (et sur la commune d'Aiguilles en particulier) ont fait prendre conscience des dangers liés à ce type d'aléa. De fait, quand les enjeux biophysiques du territoire ne sont pas situés dans les fonds de vallée exposés aux crues, ils sont situés sur les adrets du bassin, propices à la mise en valeur des terrains mais exposés aux glissements. En conséquence, de multiples enjeux sont potentiellement exposés au risque.

Au vu de la cartographie réalisée, ces risques sont inégalement répartis entre les six communes du Queyras. Alors qu'ils sont peu présents dans la partie calcaire du Queyras (partie ouest du bassin), ils sont très présents dans sa partie schisteuse (partie est du bassin). La commune de Château-Ville-Vieille, est donc relativement épargnée par ce type de risque. Seuls certains de ses hameaux d'altitude (Prat-Haut et Prat-Bas, Soulier et Montbardon) présentent des caractéristiques hydro-géomorphologiques qui les rendent susceptibles d'être impactés par des glissements de terrain. À l'opposé, les communes de Molines-en-Queyras et de Saint-Véran sont très exposées à ces risques en raison de leur implantation à flanc de versant, dans des espaces à forte susceptibilité de glissement de terrain. Dans la haute vallée du Guil, la situation est plus complexe. Sur cet espace le risque est fort mais il l'est moins que dans les vallées des Aigues. Il provient davantage des conséquences indirectes des glissements de terrain que de l'exposition directe des enjeux biophysiques. Ces derniers étant principalement implantés en fond de vallée, le risque majeur relevant du blocage possible des écoulements du Guil ou de ses torrents affluents. Si un tel cas de figure venait à se produire, l'intégralité des enjeux situés en fond de vallée pourrait être impactée. À cela s'ajoute les risques liés aux coupures de réseaux qui pourraient entraîner l'isolement des secteurs situées à l'amont du bassin.

Pour bien appréhender la cartographie produite, il convient de prendre en compte les incertitudes liées à sa réalisation. Sur la cartographie des risques proposée ci-avant, l'aléa est représenté par la susceptibilité aux mouvements de terrain et la vulnérabilité est représentée par les conséquences potentielles totales des glissements sur les enjeux du bassin-versant. La combinaison de ces deux composantes est effectuée au moyen d'une matrice de risque. Or, plusieurs limites découlent de ce processus de modélisation. La carte de susceptibilité, par exemple, figure la probabilité d'occurrence des glissements. Elle est calculée en fonction d'une combinaison de facteurs de prédisposition sélectionnés par l'opérateur et pondérés d'après un inventaire des événements connus. Outre le fait qu'elle est très dépendante de la qualité et de la quantité des données d'entrée, elle ne correspond pas *stricto sensu* à une cartographie de l'aléa. En outre, la distinction entre les différents types de glissement n'a pas été effectuée, faute de suffisamment de glissements connus pour alimenter la base de données. Pour des raisons comparables, les précipitations et le facteur ruissellement n'ont pu être pris en compte. Les limites propres à l'évaluation des conséquences potentielles ont déjà été commentées. Étant partiellement déconnectée de l'aléa, elle a tendance à faire apparaître d'importantes conséquences dans des secteurs où l'aléa est faible voire négligeable (Maquaire *et al*., 2004 ; Malet *et al*., 2006 ; Lissak *et al*., 2013 ; Puissant *et al*., 2013). L'emploi d'une matrice de risque pour combiner les deux composantes ne fait qu'accroître ce phénomène puisque si la susceptibilité est faible mais que les conséquences sont fortes, alors le risque sera considéré comme fort (Cox, 2008). Comme toute modélisation, cette cartographie procède donc d'une simplification du réel.

4. Cartographie et analyse des risques liés aux avalanches

En raison de leur fréquence et de leur caractère soudain, les avalanches constituent le phénomène naturel le plus craint des Queyrassins (cf. 3. 1. 2., chapitre 7). Des aléas présents sur le territoire, c'est de loin le plus meurtrier. Les chroniques historiques font état d'importants dégâts matériels et humains lors de chute de neiges tardives ou suite à des épisodes de retours d'est (Fig. 2. 3.). Par le passé, plusieurs hameaux ont ainsi dû être totalement ou partiellement abandonnés suite aux destructions causées par les avalanches (hameaux de Costeroux, de l'Échalp, de La Monta et de Valpréveyre ; cf. 3. 1., chapitre 2). En 1978 et 2008, des crises avalancheuses majeures impactent l'ensemble de la haute-vallée du Guil et des vallées des Aigues et causent de nombreuses destructions. En dehors de ces périodes, certains couloirs avalancheux fonctionnent quasi-annuellement (ex : couloir de la Fourche). Il n'est donc pas rare que les habitants de la haute-vallée du Guil se retrouvent isolés plusieurs jours suite à des descentes d'avalanche sur le réseau routier. Si les couloirs et les secteurs avalancheux les plus dangereux sont bien connus des résidents permanents, il n'en est pas forcément de même pour les néo-ruraux ou les touristes. Dans cette sous-partie, nous proposons donc une cartographie complète du risque avalancheux qui intègre la totalité des enjeux biophysiques du Queyras (Fig. 9. 50.).

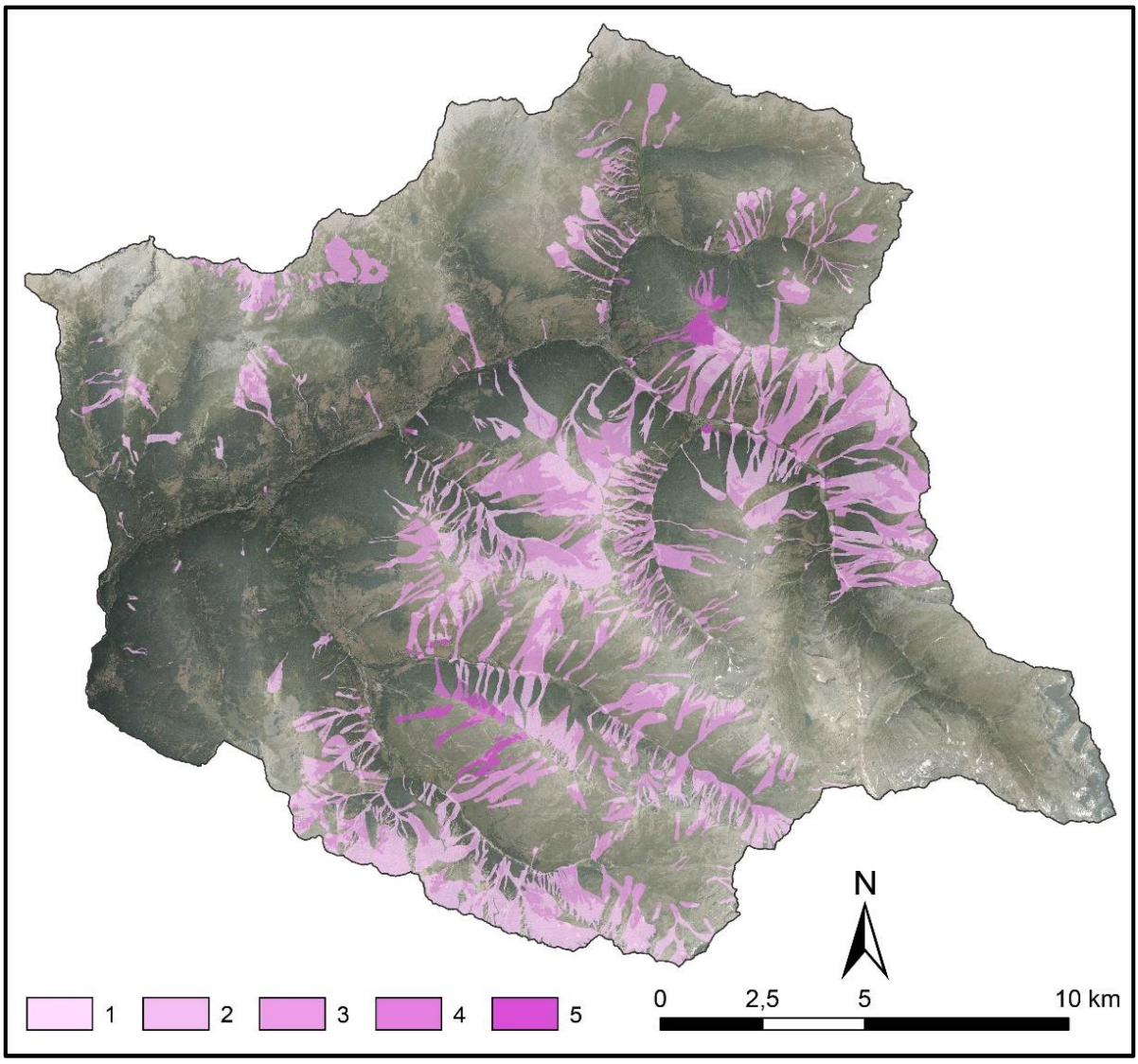


Figure 9. 50. : Cartographie des risques liés aux avalanches à l'échelle régionale : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort.

Dans le Queyras, les risques liés aux avalanches sont principalement localisés à l'est et au sud-est du bassin (cf. 3. 1., chapitre 2). Le risque est maximal à proximité du Mont-Viso et le long de la ligne de crête marquant la frontière avec l'Italie. Cette répartition des phénomènes avalancheux est essentiellement fonction des trajets empruntés par les retours d'est (cf. 3. 1., chapitre 2). Les communes les plus impactées par ces risques sont celles de Ristolas, Abriès et Molines-en-Queyras et Saint Véran (Fig. 9. 50.). À l'inverse, les communes d'Aiguilles (hors bassin du Peynin) et de Château-Ville-Vieille sont relativement épargnées par ce risque (Fig. 9. 50.).

4. 1. Commune de Ristolas

De par le nombre d'emprises avalancheuses et la fréquence de leur décente, c'est sans conteste la commune qui est la plus exposée au risque (Fig. 9. 51. et 9. 52.). Rien qu'entre la Roche Écroulée et l'Échalp, on dénombre plus d'une douzaine d'emprises répertoriées, avant tout sur le versant de rive droite du Guil (Fig. 9. 51.). Ce secteur est très fréquemment impacté par les avalanches et tous les enjeux qui s'y trouvent sont exposés au risque. On retiendra le risque au niveau de l'avalanche de la Cabane du Pisset dont l'emprise tentaculaire intègre non seulement tout le parking de la Roche Écroulée mais aussi le bâti et les réseaux alentours (emprise n° 32 de la CLPA, IRSTEA, 2016). Entre la Roche Écroulée et l'Échalp, plusieurs tronçons de la prolongation de la D 947 et une partie du GR 58 sont soumis au risque provenant des ravins qui entaillent les versants.

Dans le hameau de l'Échalp (emprise n° 15 de la CLPA), les risques sont bien connus des Queyrassins (Fig. 9. 51.). Le hameau a été en partie détruit par une avalanche en mars 1946 et les ruines des bâtiments impactés sont restées telles quelles depuis. En 2008, une avalanche s'est déclenchée au-dessus du village. Bien qu'elle n'ait pas fait de dégâts, elle s'est arrêtée dans deux des rues du hameau. Nul doute que cette piqûre de rappel aura contribué à renforcer la mémoire des événements de 1946. En raison des risques sur le hameau, un arrêté interdit aux Queyrassins d'y résider durant la période hivernale.

Entre l'Échalp et Ristolas, les risques proviennent des versants de rive droite et de rive gauche du Guil (Fig. 9. 52.). Divers enjeux sont exposés, en particulier la route D 947. Le hameau de La Monta est intégralement compris dans la zone à risque. Plusieurs avalanches ont déjà impacté ce secteur (emprises n°8, 9 et 10 de la CLPA). En janvier 1885, une double avalanche y a détruit 3 maisons et fait six morts (emprises n°8, de la CLPA). En 1946, une avalanche descendue du même couloir a atteint la D 947 et isolé le hameau de l'Échalp. Depuis cet événement, tous les habitants de La Monta ont été relogés à Ristolas. Le couloir avalancheux a fonctionné de nouveau en 1974, mais aucune avalanche ne s'est déclenchée depuis. En avril 2009, deux avalanches de neige lourde (emprises n°9 et n°10 de la CLPA) se sont produites à proximité du hameau et sur la route D 947, heureusement sans faire de dégâts.

En aval du hameau, le camping du Chardonnet est exposé au risque provenant de plusieurs ravins avalancheux (Fig. 9. 52.). En rive droite du Guil, il est exposé aux avalanches provenant de la tête de Pelvas *via* la Combe Borgne (emprise n°6 de la CLPA) et la Coumbal du Brasc (emprise n°7 de la CLPA). En rive gauche, il est exposé à celles provenant du bois de Preynas et du ravin du torrent de Peyre Grosse (emprises n°22 et 23 de la CLPA). Durant l'épisode avalancheux de 2008, le camping a subi des dommages et la D 947 a été momentanément coupée.

Le village de Ristolas étant implanté sur un cône de déjection, le risque y est relativement limité (Fig. 9. 52.). Si quelques coulées localisées ont déjà été observées au niveau du lieudit « les Maisons Neuves », c'est surtout l'amont du village qui est exposé au risque. En 2008, plusieurs avalanches et coulées avalancheuses se sont déclenchées dans les mélèzes du Fontenil (emprise n°26 et 38 de la CLPA). Plusieurs bâtiments (dont le centre d'accueil du Fontenil) ont été touchés ainsi que la plaine des

Ayres qui accueille les enjeux liés aux activités touristiques hivernales (pistes de luges, départ des pistes de skis de fond, etc.). D'après certains Ristoulins, ce risque est récent et serait dû à une coupe de bois autorisée par la mairie dans le mélézin qui surplombe la plaine. Face au village, plusieurs couloirs avalancheux menacent les infrastructures de réseau. En 2008, une coulée neigeuse, partie du lieu-dit « Parc des Moutons », est parvenue jusqu'au rond-point qui fait face à Ristolas. Outre cette dernière, l'avalanche de l'emprise du torrent de Bramafan (emprise n°2 de la CLPA) se produit fréquemment et occasionne des dégâts sur le pont qui enjambe le Guil et sur la route D 947.

De la Roche Écroulée au village de Ristolas, c'est donc l'intégralité du territoire de la commune qui est exposé au risque avalancheux. Si les risques sont importants, les Ristoulins savent à priori comment y faire face. Lors d'entretiens informels, plusieurs Ristoulins (dont certains élus municipaux) nous ont déclaré prendre des mesures en prévision de l'hiver et des inévitables journées d'isolement liées à la descente d'avalanches. Ces mesures sont multiples. Elles vont du stockage de denrées de première nécessité (conserves, médicaments, bois de chauffage, etc.) à l'achat d'équipements spécialisés (raquettes pour se déplacer, dispositifs ARVA, sondes de recherches, groupes électrogènes, etc.). D'après ces mêmes interlocuteurs, la mairie a pris des dispositions pour limiter les risques dans la commune. Durant l'épisode de 2008, la mairie a fait distribuer dans les boîtes aux lettres des habitants des prospectus donnant des recommandations sur le moyen de se protéger des avalanches. En 2009, elle s'est dotée d'une « commission de sécurité » mêlant citoyens et gestionnaires des risques et elle a adopté en 2013 un « plan de secours ». Ce plan s'appuie sur l'acquisition de cartes qui doivent permettre une gestion concertée des risques en cas de crise avalancheuse. Certains Ristoulins nous ont également fait mention d'ateliers de formation aux méthodes et aux outils de recherche d'individus ensevelis sous des avalanches. Ces ateliers ont eu lieu à deux reprises durant la décennie 2000 (dates non-précisées) sous l'impulsion du PNRQ, de la mairie de Ristolas et de guides de haute montagne privés. Suite à l'épisode avalancheux de 2008, la commune s'est en outre dotée d'équipements en vue d'accroître la résilience de sa population (radios, ARVA, sondes, groupes électrogènes, etc.). Si ce matériel n'est pas toujours facile d'accès ou même bien entretenu, il est néanmoins présent et pourrait permettre de sauver des vies. Dans le cas de Ristolas, les autorités comme les habitants font donc montre d'une bonne conscience des risques et ont su prendre des mesures pour accroître leur résilience face à ces derniers.

4. 2. Commune d'Abriès

La commune d'Abriès est, comme sa voisine de Ristolas, soumise aux effets des retours d'est. Plusieurs enjeux sont exposés au risque dans la vallée du Guil (Fig. 9. 53.) et dans le bassin du Bouchet (Fig. 9. 54.). Entre Ristolas et La Garcine (Fig. 9. 52. et 9. 53.), sur le versant de rive gauche du Guil se trouve le couloir avalancheux de « la Fourche ». C'est sans doute la zone avalancheuse la plus emblématique du Queyras et aussi la mieux connue de sa population. Ce couloir fonctionne quasi-annuellement et entraîne fréquemment l'isolement de la commune de Ristolas. Lors d'entretiens informels avec des Queyrassins, plusieurs d'entre eux nous ont confié scruter le couloir et se tenir prêt à accélérer lorsqu'ils passent sous le couloir en voiture. D'autre nous ont indiqué avoir participé au creusement d'un tunnel dans les dépôts de l'avalanche de février 1978. En raison de l'épaisseur du dépôt, celui-ci aurait tenu jusqu'aux fêtes de Pâques ! En cas de fortes chutes de neige, des panneaux, indiquant le niveau de risque, sont installés en amont et en aval de la Fourche.

Sur le versant sud de La Montagne de Varenc, une partie des équipements de la station de ski alpin d'Abriès est exposée aux avalanches provenant de la crête de Gilly (emprises n°14 et 22 de la CLPA, Fig. 9. 53.). En février 1972, l'une de ces avalanches a causé des dégâts sur la forêt et sur les remontées mécaniques (emprises n°14 de la CLPA). En 2008, cet espace a de nouveau été impacté. Une avalanche s'est déclenchée dans la partie haute de la station de ski d'Abriès et a fini sa course dans le

hameau de La Garcine (après avoir emprunté les gorges du torrent éponyme). Des dégâts ont été observés sur les téléskis de la station d'Abriès ainsi que sur les maisons les plus à l'amont du hameau de La Garcine. Pour protéger les chalets impactés, un enrochement a été mis en place pour rehausser la digue de La Garcine. Cet enrochement a aussi un rôle de consolidation de la berge en rive concave, érodée par la crue de 2000. À La Garcine même (Fig. 9. 53.), une coulée neigeuse s'est produite au-dessus des maisons les plus à l'est du hameau. Trois maisons ont été touchées, dont une sévèrement (cf. 3. 1. 3., chapitre 2). Suite à cet épisode, le département a imposé à la commune d'Abriès d'installer des paravalanches sur ce secteur comme condition pour revoir son PLU.

Dans le village d'Abriès, le risque concerne essentiellement le quartier de l'Hoche (Fig. 9. 53.). En 2008, une coulée neigeuse en provenance du versant y a impacté 9 bâtiments (emprise n°25 de la CLPA). En 2010, des ouvrages de protection de type râteliers ont été construits sur le versant afin de protéger le quartier. Mis à part sur ce secteur, le village est plutôt épargné par le risque avalancheux.

Dans le bassin du Bouchet (Fig. 9. 54.), plusieurs couloirs avalancheux menacent directement la route D 441 et le hameau de Valpréveyre. Entre le hameau du Roux et le village d'Abriès, la route D 441 est exposée aux avalanches provenant des ravins qui entaillent le versant de rive droite du Bouchet (emprises n°1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 24 de la CLPA). En 2008, le hameau du Roux s'est d'ailleurs retrouvé complètement isolé pendant plusieurs jours en raison des multiples avalanches arrivées sur la route. Un atelier de menuiserie a été détruit à cette occasion (emprise n°24 de la CLPA). Désormais, quand le risque avalancheux est fort, la route est systématiquement fermée par arrêté municipal et/ou préfectoral.

À l'est du hameau du Roux, le hameau de Valpréveyre et la route qui y mène sont régulièrement impactés. À Valpréveyre, le risque est bien connu des gestionnaires, aussi il est interdit d'y résider pendant la période hivernale. Au cours des deux dernières décennies, non moins de trois avalanches provenant du « Champ Guionet » ont entraîné des destructions sur le hameau (Fig. 9. 54.). En 2008, une avalanche d'une ampleur insoupçonnée a enseveli la totalité du hameau (Photo 2. 7., B). Plusieurs bâtiments dont la chapelle (pourtant en place depuis plus de 300 ans) ont été détruits par des écoulements de « neige froide ».

Dans la commune d'Abriès, le risque avalancheux est certes considérable, mais il est aussi bien appréhendé par les populations et les gestionnaires locaux des risques. Les Abriessois (en particulier ceux qui résident au Roux) font montre d'une certaine anticipation quand il est question d'avalanches. Comme les Ristoulins, ils ont tendance à faire des provisions et à s'équiper en prévision de la période hivernale. Plusieurs habitants nous ont ainsi expliqué disposer de poêle à bois et de groupes électrogènes en prévision des coupures de courant dues aux avalanches. En outre, ils montrent une grande force de cohésion face à l'adversité. Divers témoignages font état de moments de partage et d'entraide lors des épisodes catastrophiques. À titre d'exemple, citons le comportement du boulanger du Roux lors de l'épisode de 2008. Ce dernier a utilisé tout son stock de farine pour faire du pain qu'il a distribué gratuitement à ses compagnons d'infortune. Tous comme à Ristolas, les autorités municipales sont aussi très actives sur le volet des risques naturels. Elles ont mis en place diverses mesures en vue d'accroître la résilience de leur population. Elles préviennent les populations des dangers en cas de fortes chutes de neige. Elles n'hésitent pas à faire fermer les routes les plus dangereuses. Elles ont fait installer des ouvrages de protection dans les secteurs où le bâti est exposé au risque. En collaboration avec la RTM, la mairie fait régulièrement des déclenchements préventifs d'avalanche pour purger les versants. Comme à Ristolas, la mairie a également initié des exercices de mise en situation de crise et de recherche d'individus ensevelis sous les avalanches.

4. 3. Commune d'Aiguilles

Dans le secteur du Guil moyen (communes d'Aiguilles et de Château-Ville-Vieille), le risque avalancheux est limité. Sur la commune d'Aiguilles, il se concentre dans les bassins-versants du Peynin et du Lombard (Fig. 9. 50.). Ces bassins étant largement inhabités, les enjeux exposés au risque sont par conséquent peu nombreux.

Dans ces deux bassins, le principal enjeu exposé est le mélézin exploité pour son bois (Fig. 9. 50.). En 1964 et 1978, le couloir avalancheux de la Lune Ronde (emprise n°2 de la CLPA) a causé d'importants dégâts sur le mélézin du Peynin. Durant l'hiver 2008-2009, plusieurs autres avalanches ont endommagé le mélézin (emprises n°5, 6 et 7 de la CLPA). Outre le manque à gagner, lié à la destruction des arbres, de telles avalanches peuvent contribuer à créer des embâcles dans le lit des torrents. Ces derniers, s'ils ne sont pas nettoyés, peuvent constituer un facteur aggravant en cas de crue.

À l'exception des bassins du Peynin et du Lombard, les risques liés aux avalanches sont faibles sur la commune. En amont du village (Fig. 9. 55.), plusieurs couloirs avalancheux (Ravin de Strandès, ravin de Choudane et un troisième non-nommé) peuvent entraîner des coupures sur la D 947. En 2008, ces couloirs ont fonctionné. Une avalanche a détruit la cabane de Strandès, coupé la route et couché des arbres au pied du versant opposé.

Sur la partie est du cône du Peynin (Fig. 9. 55.), une avalanche est tombée en 1978 (emprise n°19 de la CLPA). Si à l'époque, elle n'a pas fait de dégâts, la chose pourrait fort bien être différente de nos jours du fait de l'accroissement des enjeux touristiques sur cette zone.

En aval d'Aiguilles, l'avalanche de Combe Croze (emprise n°18 de la CLPA) a coupé la D 947 en 1978. À cette occasion, la ligne téléphonique a été sérieusement endommagée, privant de courant les Aiguillons.

Si les risques sur les enjeux de la commune d'Aiguilles sont limités, ils n'en demeurent pas moins présents. Contrairement à ces voisines du Haut-Guil, la mairie d'Aiguilles n'a pas mis en place de dispositifs spécifiques pour réduire le risque avalancheux. Du moins, pas à notre connaissance. En revanche, les observations menées dans les bassins du Peynin et du Lombard ont confirmé que les arbres présents dans les cours des torrents sont tronçonnés pour éviter la formation d'embâcles.

4. 4. Commune de Château-Ville-Vieille

Dans la commune de Château-Ville-Vieille (Fig. 9. 56.), le risque avalancheux est faible voire négligeable. Du fait de sa position abritée, la commune est peu impactée par les retours d'est. Aussi, malgré de nombreux ravins et de fortes pentes, peu d'avalanches ont, jusqu'à ce jour, été répertoriées sur la commune. Si le risque est quasiment absent de la vallée du Guil, il est néanmoins présent dans les bassins de l'Aigue Blanche et du torrent de Soulier.

Dans la vallée du Guil, les seules zones à risques sont situées au lieudit « la Casse », face à Ville-Vieille, et à la sortie du village de Château-Queyras (Fig. 9. 56.). À la Casse, une coulée neigeuse a atteint la station-service en 1978 et y a détruit trois pompes à essence (emprise n°1 de la CLPA). À la sortie de Château-Queyras, une autre coulée de faible ampleur a coupé momentanément la route D 947.

Dans le bassin de l'Aigue Blanche (Fig. 9. 50.), les chroniques font mention d'une avalanche destructrice dans le hameau de Prat-Haut (emprise n°7 de la CLPA). Celle-ci aurait eu lieu le 4 janvier 1706 et aurait emprunté le chenal du torrent du Grand Rif. L'avalanche aurait rasé une partie des maisons du hameau et fait plusieurs morts. Les contours de cette avalanche sont cependant mal connus et aucun événement récent n'a été signalé sur ce secteur.

Dans le bassin du torrent de Soulier (Fig. 9. 56.), l'aléa est plus présent. Ceci-dit, aucun enjeu important n'est exposé au risque. Il est bien fait mention d'une coulée au-dessus du hameau de Soulier, mais celle-ci s'est arrêtée derrière le réservoir et n'a pas fait de dégâts (emprise n°4 de la CLPA). Le seul autre risque notable est situé à l'amont du hameau. Au niveau du Pré Soubeyran, une avalanche s'est déclenchée en 2008 et a fait une trouée dans le mélézin. Les dégâts forestiers ont été importants mais le GR 58, situé en contrebas n'a pas été endommagé.

Les risques liés aux avalanches sur la commune de Château-Ville-Vieille sont marginaux au regard des risques liés aux crues. De ce fait, la commune ne semble pas avoir pris de disposition particulière pour y faire face. Nos observations de terrain ont néanmoins permis de mettre en évidence certaines caractéristiques du bâti à même d'accroître leur protection aux avalanches. Dans les zones susceptibles d'être affectées par les avalanches (Prat-Haut, Soulier et Meyriès), le bâti est construit de manière à offrir une plus grande résistance aux avalanches. Le bâti ancien est souvent construit à flanc de versant et le bâti récent est construit de manière à dévier les impacts frontaux des masses de neige.

4. 5. Commune de Molines-en-Queyras

Dans le secteur de la vallée des Aigues (Fig. 9. 50.), les risques liés aux avalanches sont considérables. À l'échelle du Queyras, la commune de Molines-en-Queyras détient le record du nombre d'enjeux exposés au risque avalancheux. L'aléa est particulièrement présent dans la partie amont de la vallée de l'Aigue Agnelle où, fort heureusement, les enjeux sont peu nombreux (Fig. 9. 50.). À l'inverse, il est peu présent à l'aval du bassin, où les enjeux sont nombreux. Le risque est donc surtout présent dans la partie centrale du bassin entre les hameaux de Fongillarde et de Pierre-Grosse (Fig. 9. 57.).

Dans la partie amont de la vallée de l'Aigue Agnelle (Fig. 9. 50.), le principal enjeu exposé est la route D 205t qui connecte l'Italie à la France *via* le Col Agnelle. Cette route est exposée en de nombreux points à des couloirs et zones avalancheuses situés aussi bien en rive droite qu'en rive gauche de l'Aigue Agnelle. Plusieurs enjeux secondaires sont également exposés sur ce secteur, dont le Refuge Agnel, la bergerie des Tioures, l'oratoire de Notre-Dame du Berceau, le Rocher d'Annibal et le pont de Lariane.

Dans la partie centrale du bassin, les enjeux exposés sont autrement plus importants (Fig. 9. 57.). Dans le PPR de Molines-en-Queyras, cet espace est d'ailleurs classé en zone rouge (PPR de Molines-en-Queyras, 2007). Le hameau de Fongillarde est cerné par plusieurs couloirs avalancheux d'importance. En amont du hameau, en rive droite de l'Aigue Agnelle, les emprises avalancheuses de Costeroux et de Pra Soubeyran (emprises n°5 et 25 de la CLPA) menacent directement la route D 205t (Fig. 9. 57.). L'avalanche de Costeroux n'est certes pas descendue depuis longtemps, mais elle a fait beaucoup de dégâts au XVIII^{e} s. En tout, 62 maisons y ont été détruites en 1706, 1728 et 1788. Le hameau a fini par être abandonné et ses habitants ont bâti Fongillarde. À l'aval du hameau, l'emprise de la combe d'Eymard (emprise n°4 de la CLPA) englobe dans sa zone de dépôt une maison et les deux cimetières. En 1804, elle a tué 4 personnes. Elle est redescendue en 1993 sous la forme d'une avalanche de poudreuse. Face au hameau, cinq couloirs avalancheux (emprises 9, 10, 11, 12 et 13 de la CLPA) fonctionnent régulièrement. Ces couloirs mettent tous en péril la piste de ski de fond située au pied du versant de rive gauche de l'Aigue Agnelle. Le couloir situé entre le bois de Villon et le bois du Grand Clot menace également le pont de Peyre et le dernier bâtiment du hameau de Fongillarde.

Le secteur des hameaux du Coin et de Château-Renard est également très exposé au risque avalancheux (Fig. 9. 57.). Le hameau du Coin est ainsi menacé par les avalanches provenant des zones d'accumulations neigeuses proches du Sommet de Batailler. En mars 1993, une avalanche est descendue en empruntant le ravin du Rif de la Salce. Elle a causé des dégâts matériels sur les maisons du hameau

et coupé la route D 205t. Le hameau de Château-Renard (Fig. 9. 57.), créé *ex-nihilo* au début des années 1980 est, presque intégralement exposé au risque avalancheux. À trois occasions, d'importants dégâts y ont été causés par des avalanches. En 1978 puis en 1993, plusieurs chalets ont été endommagés dans la partie est du hameau (emprise n°21 de la CLPA). Lors de l'épisode avalancheux de 2008, c'est cette fois l'intégralité du hameau qui a été touchée (emprise n°21 et 22 de la CLPA). Si aucune maison n'a été détruite, plusieurs d'entre elles ont en revanche été endommagées.

Plus en aval, le hameau de Pierre Grosse est exposé aux avalanches provenant de la Combe Duit et empruntant le chenal du Rif des Bonnets (emprise n°2 de la CLPA, Fig. 9. 57.). En 1681, 15 maisons du hameau de Pierre Grosse ont été emportées et 48 personnes ont été ensevelies. En février 1791, une avalanche a détruit 5 maisons et tué 1 personne. Si aucune avalanche n'est tombée depuis, le risque reste néanmoins présent. Il s'est même accru dans la mesure où davantage d'enjeux sont présents en zone à risque. Le camping de Pierre-Grosse est en effet situé dans la zone de dépôt des avalanches susmentionnées (Fig. 9. 57.).

La commune de Molines-en-Queyras rassemble plusieurs hameaux dont certains sont partiellement voire intégralement exposés au risque avalancheux. En dépit de cette forte exposition, les risques apparaissent relativement faibles. De fait, la plupart du bâti exposé est construit de sorte à limiter les impacts des avalanches. Cela est très perceptible dans les hameaux de la partie centrale du bassin de l'Aigue Agnelle. Sur ce secteur, tout le bâti ancien (Pierre-Grosse et Fongillarde) est construit à flanc de versant de sorte que la façade arrière des bâtiments n'offre pas de surfaces aux avalanches. La plupart du temps, le bâti récent (Château-Renard) présente des façades aveugles et renforcées au risque. Pour autant, le risque est toujours présent. Le réel danger provient de ce que la plupart des emprises avalancheuses du secteur n'ont plus fonctionné depuis longtemps. Si un réel travail de mémoire des risques n'est pas effectué, les populations récentes pourraient fort bien finir par mésestimer le risque.

4. 6. Commune de Saint-Véran

Dans la commune de Saint-Véran (Fig. 9. 58.), l'aléa avalancheux est important mais les enjeux y sont relativement peu exposés. De mémoire d'homme, aucune avalanche n'a pour l'heure directement impacté le village ou le hameau du Raux. Le risque concerne principalement la partie amont du bassin et les équipements de la station de ski implantés au-dessus du village. Dans une moindre mesure, certains enjeux situés dans le hameau de La Chalp sont également exposés (Fig. 9. 58.).

Dans le fond de vallée de l'Aigue Blanche (Fig. 9. 50.), l'avalanche empruntant l'emprise dite de la Pinilière (emprise n°24 de la CLPA) est descendue à plusieurs reprises en 1952, 1960 et 1972. À ces occasions d'importants dégâts matériels ont été recensés sur les installations et les bâtiments de l'ancienne mine de cuivre. Si ces enjeux ne sont pas essentiels au fonctionnement de la commune, ils contribuent néanmoins à son attrait touristique.

Sur La Montagne de Beauregard, plusieurs avalanches (non numérotées dans la CLPA) sont signalées dans les chroniques (Fig. 9. 57.). Leurs emprises, bien qu'imprécises, engloberaient une partie du linéaire des remontées mécaniques du Grand Serre et des Cassettes ainsi que les bâtiments techniques qui y sont liés. Toujours sur La Montagne de Beauregard, plusieurs avalanches pourraient menacer les routes secondaires qui mènent à Pierre-Grosse et au fond de vallée de l'Aigue Blanche.

En aval du village, le hameau de La Chalpest exposé aux avalanches provenant des ravins situés sur le versant de rive gauche de l'Aigue Blanche (Fig. 9. 57.). En janvier 1978, une avalanche, partie de la crête de Combe Arnaud, a emprunté le chenal du Rif de Rouart, coupé la route D 5 et endommagé le chalet des « Enfants Terribles » (ancien UCPA, emprise n°1 de la CLPA). Depuis, un mur de protection de 2 m a été installé dans l'axe du couloir (PPR de Saint-Véran, 2016).

En raison de la présence de la station de ski, les risques corporels sont très forts sur la commune. Dans les décennies 1980 et 1990, plusieurs skieurs et randonneurs ont été ensevelis par des avalanches sur le territoire de la commune. En février 1972, deux skieurs se sont fait emporter par l'avalanche n°23 dite du Pic de Château Renard (Fig. 9. 50.). En avril 1983, ce sont trois personnes qui ont été ensevelies au niveau de la Pointe des Marcellettes (emprises n°8 et 9 de la CLPA). En mars 1991, une autre personne a trouvé la mort dans le Vallon de Chatelard (emprise n°7 de la CLPA). Enfin, en février 1999, trois randonneurs ont été emportés suite à une avalanche en plaque dans le secteur de la tête de Toillies (Fig. 9. 50.).

Les enjeux biophysiques de la commune de Saint-Véran sont relativement peu exposés aux risques. En témoigne l'âge vénérable du bâti de la commune (1641 pour la plus vieille maison). Les principaux enjeux sont économiques. Si les infrastructures du domaine skiable venaient à être impactées, les conséquences pour la commune seraient importantes. Si plusieurs décès sont à déplorer, ceux-ci concernent uniquement des skieurs et des randonneurs, et uniquement sur des versants non habités. Si l'on excepte le mur de protection construit dans l'axe du couloir de l'emprise avalancheuse du Rif de Rouart, la commune ne semble pas avoir mis en œuvre de dispositifs particuliers pour faire face au risque avalancheux.

4. 7. Bilan : les risques liés aux avalanches dans le Queyras

Au cours de son histoire, le Queyras a été régulièrement le théâtre de catastrophes liées aux avalanches. De l'épisode meurtrier de 1661 à Pierre-Grosse à ceux, plus récents, de l'hiver 2008-2009, les avalanches ont, de tout temps, exercé de sévères contraintes à l'implantation des populations queyrassines. Outre les dommages qu'elles peuvent occasionner au bâti et aux infrastructures, elles sont source d'isolement pour les communautés enclavées des hauts-bassins du Queyras. Si l'on ajoute à cela leur fréquence et les nombreux décès qu'elles ont causés sur le territoire, on comprendra aisément qu'elles soient considérées comme la principale source de risque par les Queyrassins. Dans la présente sous partie, nous avons tenté de retranscrire aussi fidèlement que possible ces risques et la gestion qui en est faite aux échelles individuelle et locale.

Dans le Queyras, le risque avalancheux est principalement lié aux phénomènes de retours d'est et aux intenses précipitations neigeuses qu'ils engendrent. Aussi, c'est à l'est du territoire, dans les communes limitrophes de l'Italie, que ces risques sont les plus importants. Si l'on ne tient compte que de la fréquence des avalanches, ce sont les communes de Ristolas et d'Abriès qui sont les plus exposées. Du fait de leur enclavement, elles sont en effet régulièrement isolées par des descentes d'avalanches sur le réseau routier. En revanche, si l'on considère le nombre et de la nature des enjeux exposés, c'est dans la commune de Molines-en-Queyras que les risques sont les plus forts. Par le passé, les avalanches y ont causés d'importants dommages. Depuis qu'elle s'est spécialisée dans l'économie touristique hivernale, l'accroissement des enjeux dans des espaces soumis aux avalanches a augmenté significativement l'exposition de la commune au risque. Dans les autres communes du Queyras, le risque est plus modéré. La commune de Saint-Véran dispose ainsi de peu d'enjeux exposés malgré une forte présence de l'aléa sur son territoire. En revanche, du fait de la présence de la station de ski, plusieurs décès de skieurs et de randonneurs y ont été comptabilisés au cours des dernières décennies. Les communes du moyen Queyras (Aiguilles et Château-Ville-Vieille) sont peu exposées au risque avalancheux, si ce n'est éventuellement dans leurs hameaux d'altitude (hameaux de Peynin, du Lombard et de Soulier).

Le risque avalancheux est donc inégalement réparti à l'échelle du Queyras. Les stratégies de gestion mises en place diffèrent selon son importance au sein des six communes. Dans les communes du Haut-Guil (Ristolas et Abriès), les gestionnaires ont opté pour une gestion active du risque avalancheux. Plusieurs mesures ont été prises : 1) information à la population ; 2) interdiction de circuler sur certains axes quand le risque est fort ; 3) création ou renforcement d'ouvrages de protection (paravalanches, enrochements et râteliers) ; 4) déclenchement préventifs d'avalanches ; 5) exercices de mise en situation ; 6) achats d'équipements spécialisés (dispositifs ARVA, sondes, groupes électrogènes, etc.). À ces mesures, s'ajoutent des dispositions légales relatives à la construction du bâti et à l'occupation des hameaux les plus exposés aux risques durant la période hivernale. Dans les communes des Aigues (Molines-en-Queyras et Saint-Véran), la gestion du risque avalancheux s'appuie surtout sur les normes de construction du bâti (façades aveugles et volets épais sur les ouvertures exposées au risque, normes de résistance des murs et des toitures, etc.) et d'implantation des enjeux dans les espaces soumis au risque (restriction des zones rouges du PPR). Dans le moyen Queyras (Aiguilles et Château-Ville-vieille), aucune disposition particulière ne semble avoir été prise pour limiter le risque avalanche.

Dans les travaux présentés ci-avant, nous nous sommes efforcés de mettre en avant les risques liés aux avalanches dans le Queyras. Toutefois, ces derniers sont loin d'être exhaustifs et il nous faut en souligner les limites. Ici, seul le risque avéré a été pris en compte si bien que ce dernier est certainement plus important que ce qui est affiché sur les cartes produites. Nous avons choisi de nous concentrer sur les avalanches connues et bien délimitées de manière à faire ressortir les principaux risques. Cela étant, les zones présumées avalancheuses n'ont pas été intégrées à notre analyse. De plus, le type et l'ampleur des avalanches sont fonction de nombreux critères physiques tels que les précipitations, la topographie ou bien encore la nature du manteau neigeux. Aucun de ces paramètres n'a pour l'heure été étudié dans le détail. Nous nous sommes bornés ici à une vision statique du risque, tel qu'il est affiché sur la Cartographie de Localisation des Phénomènes Avalancheux (CLPA). Certaines des zones avalancheuses évoquées pourraient donc à l'avenir fonctionner de manière fort différente. Si les conditions de déclenchement des avalanches varient, leur type et leur ampleur pourraient également varier (avalanche de neige lourde, en plaque, de poudreuse, etc.). Ces différences pourraient s'exprimer par des distances d'arrêts des pressions d'impact très éloignées de celles compilées dans les chroniques historiques.

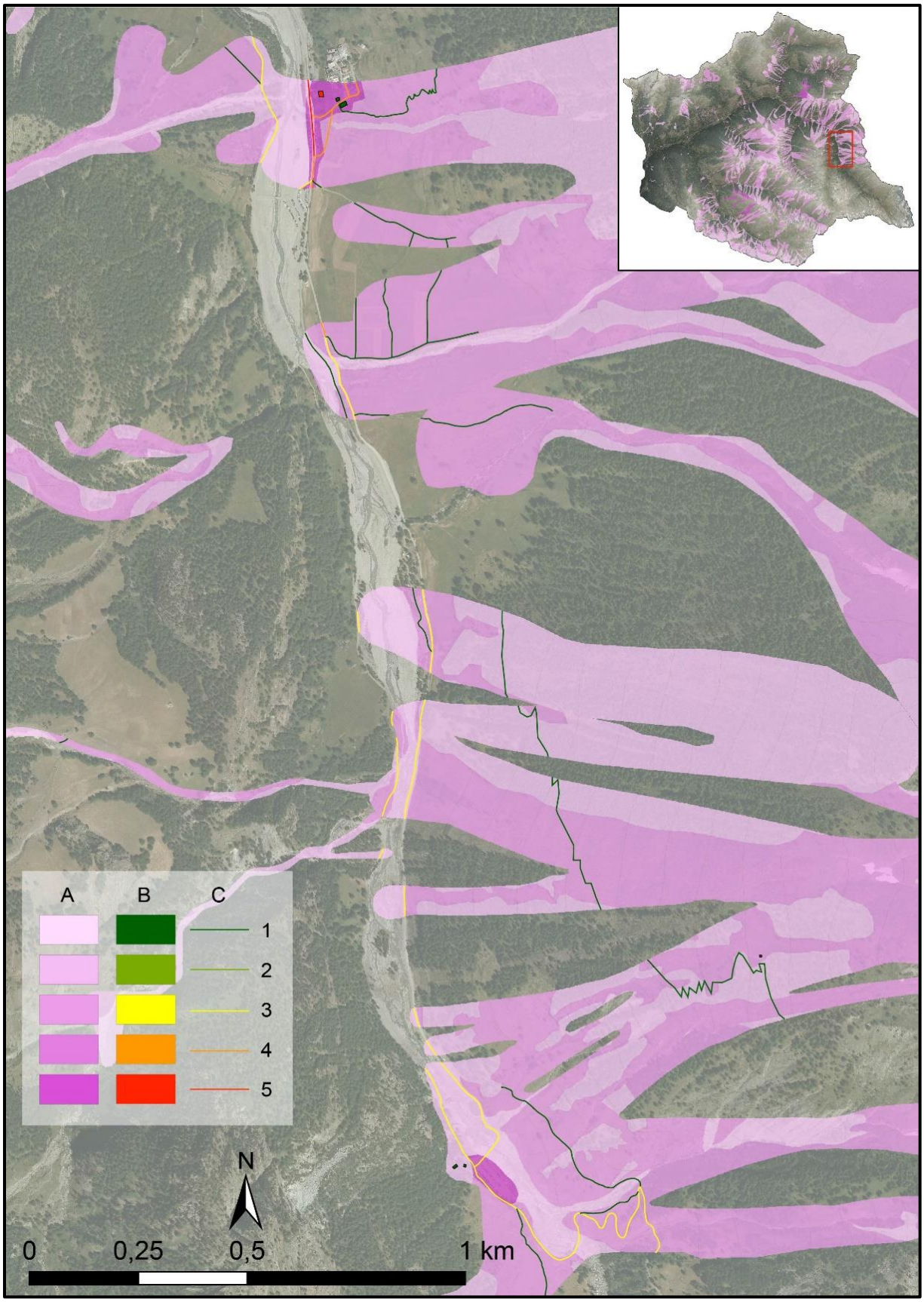


Figure 9. 51. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur de la Roche Écroulée - l'Échalp : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

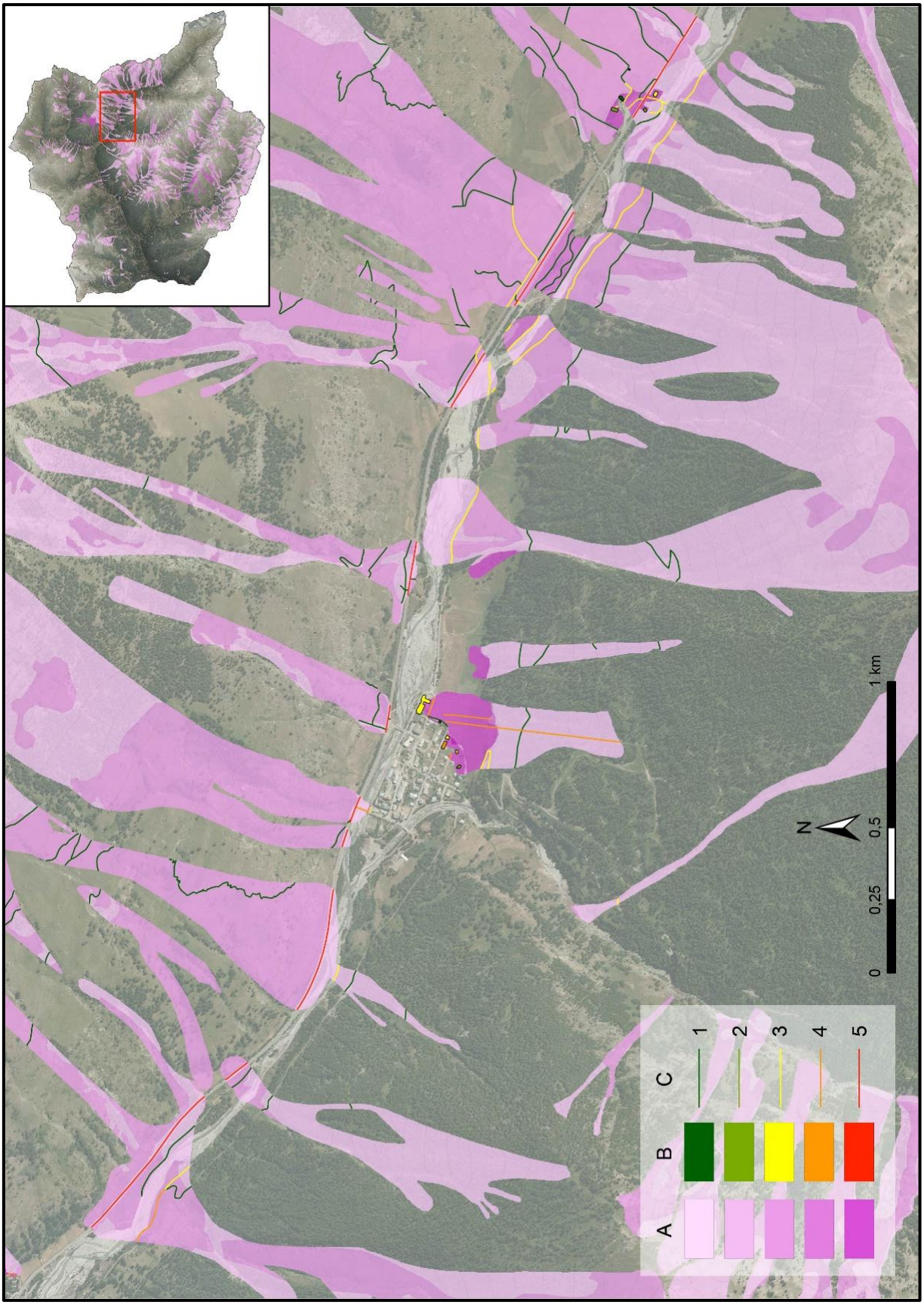


Figure 9. 52. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur de Ristolas : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

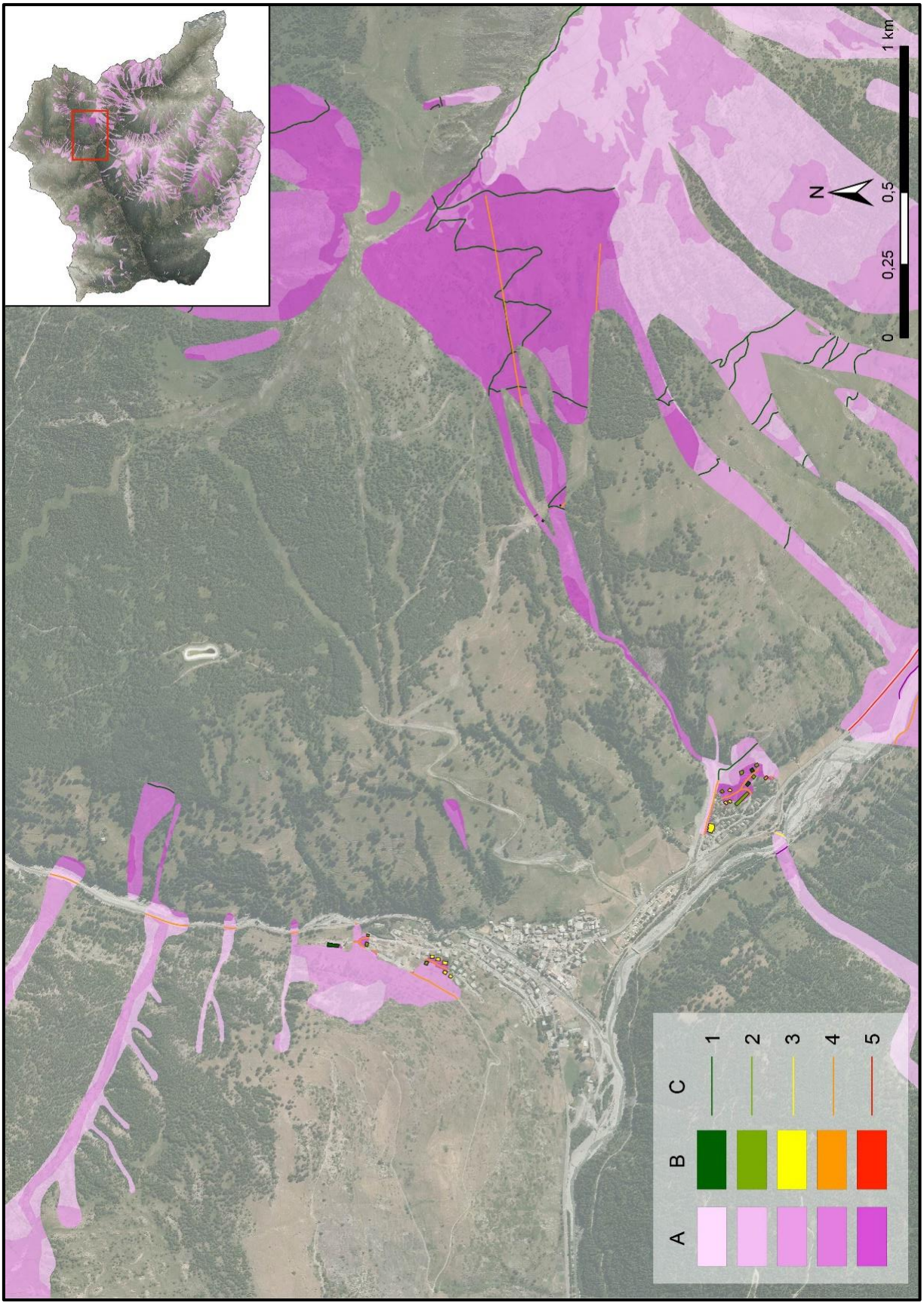


Figure 9. 53. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur d'Abriès : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

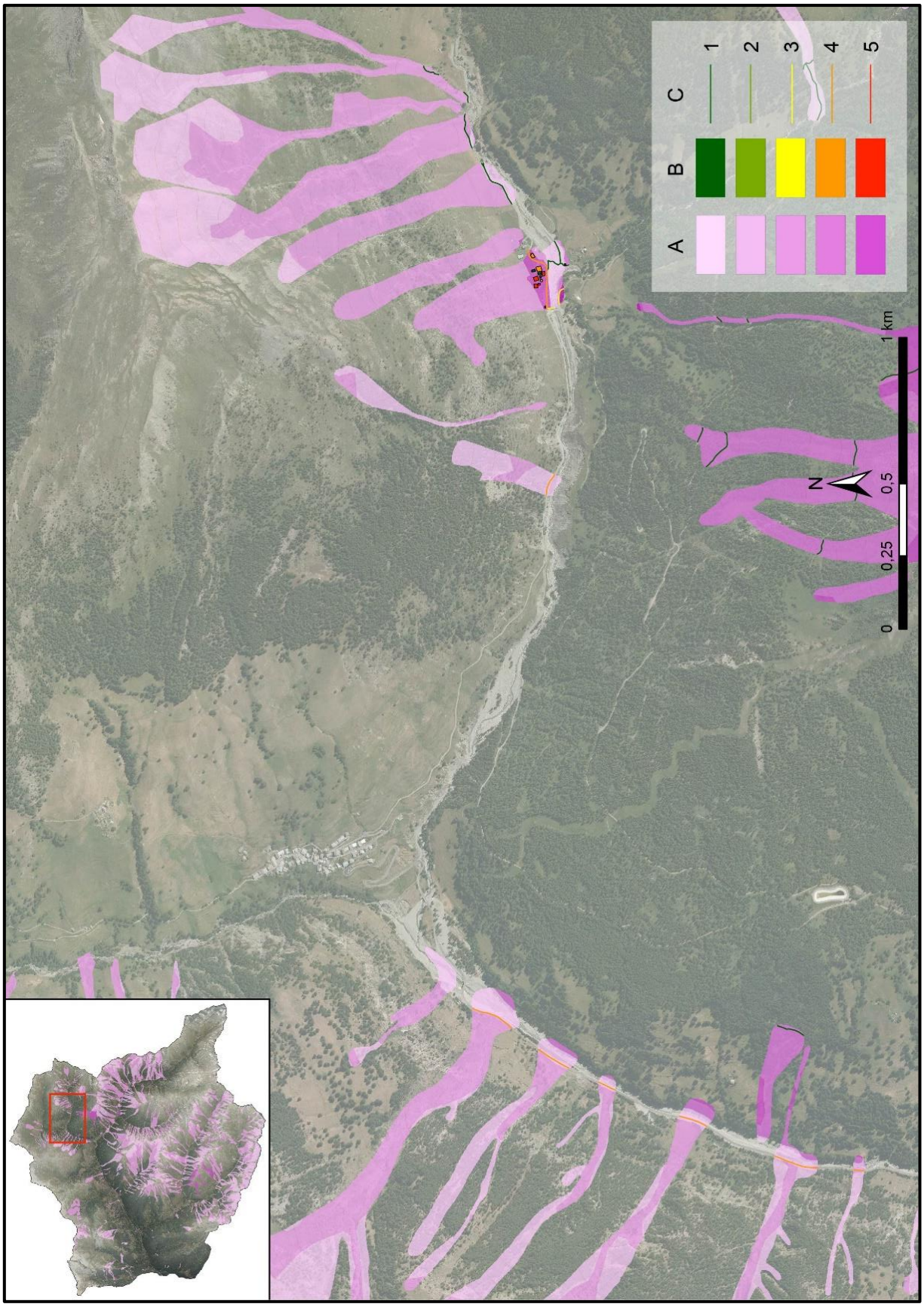


Figure 9. 54. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur du Roux et de Valpréveyre : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

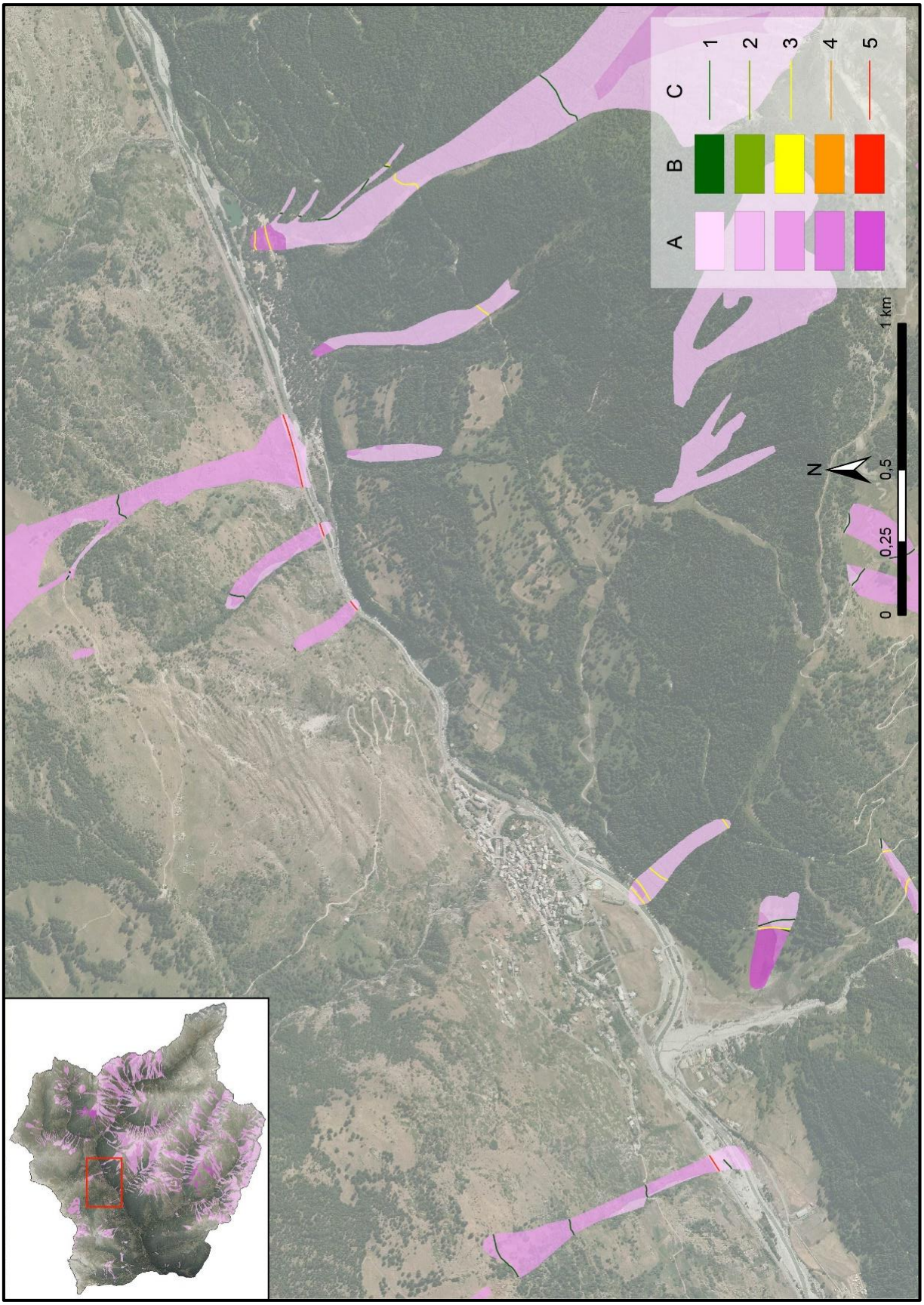


Figure 9. 55. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur d'Aiguilles : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

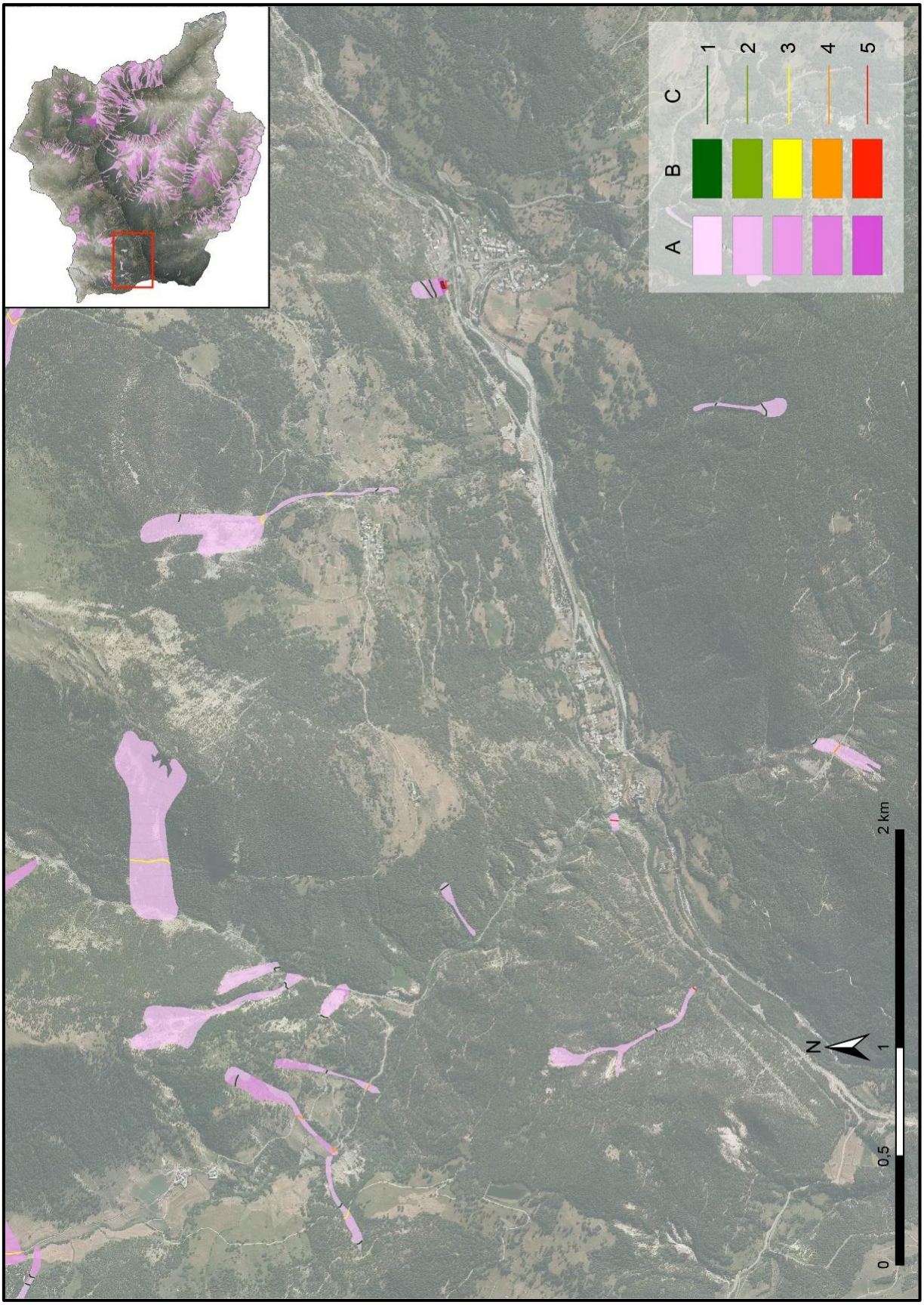


Figure 9. 56. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur de Château-Ville-Vieille : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

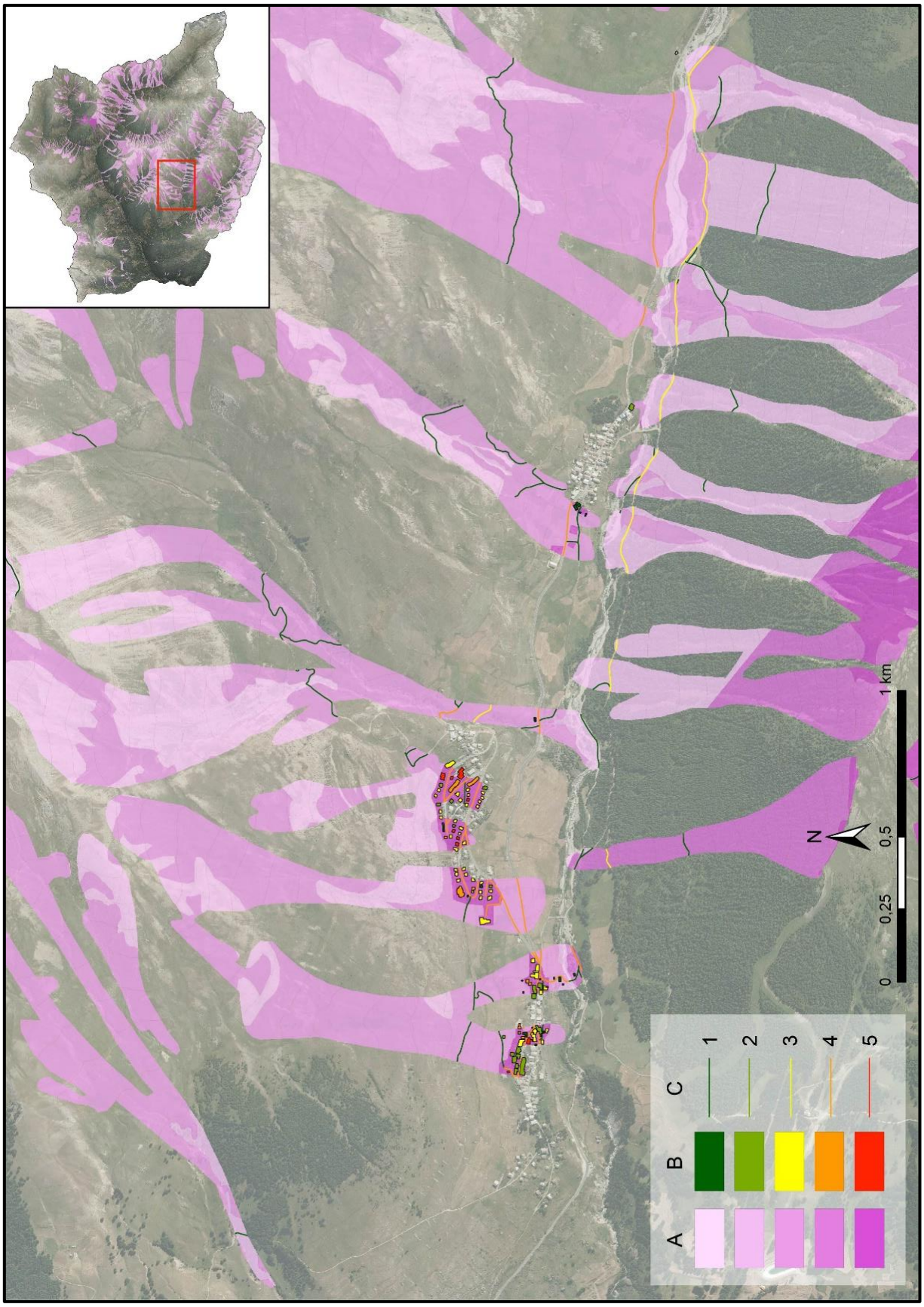


Figure 9. 57. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur de Molines-en-Queyras : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

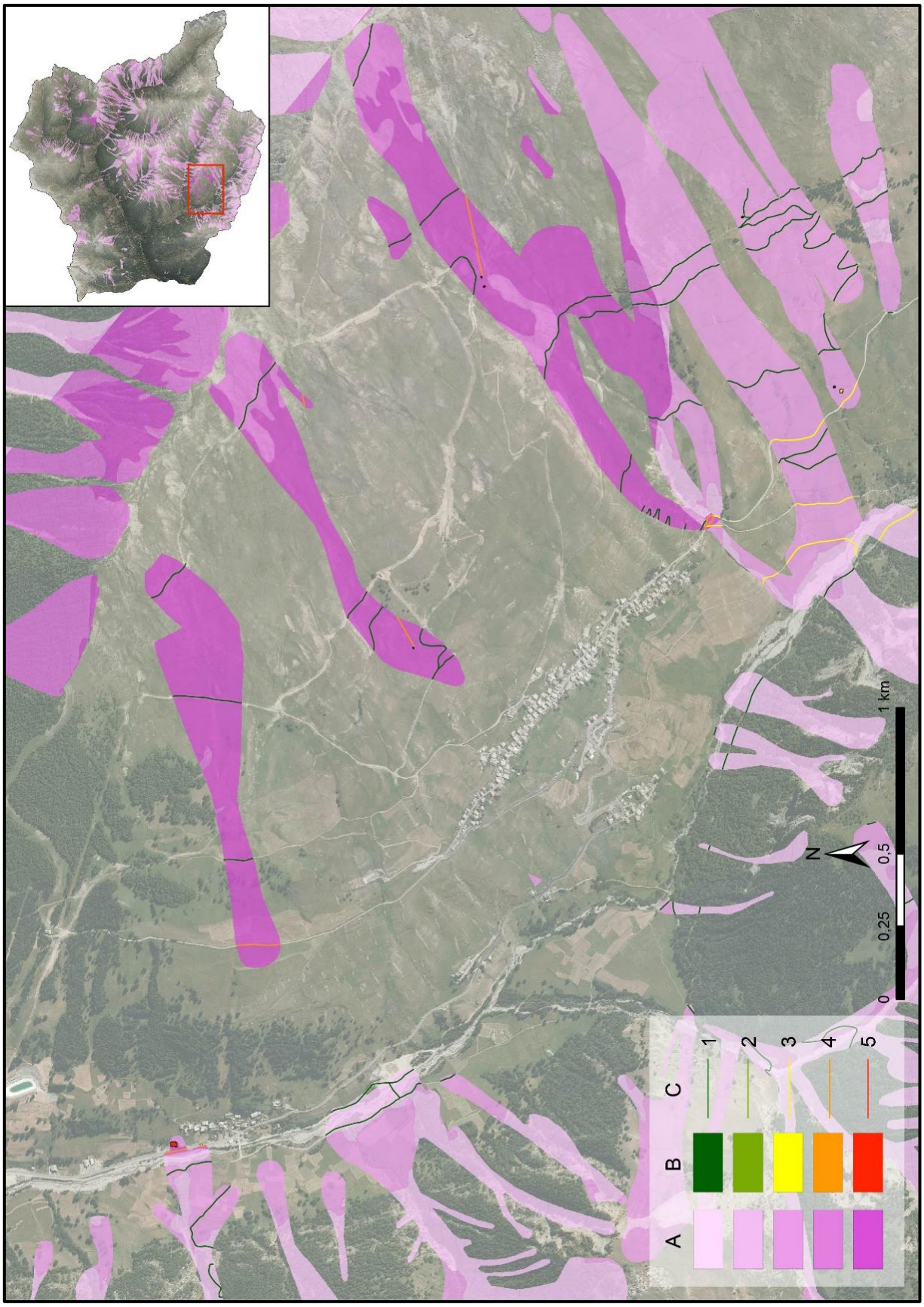


Figure 9. 58. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur de Saint-Véran : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.

Conclusion : les risques et leur gestion dans le Queyras

En raison d'une combinaison de facteurs prédisposant (géologie, topographie, formations superficielles, végétation) et déclenchant (précipitations intenses liés aux retours d'est), le Queyras est soumis à plusieurs aléas d'origine torrentielle et gravitaire. Les espaces constructibles étant rares en milieux alpin, la plupart des enjeux biophysiques du territoire sont exposés à un voire plusieurs aléas. Dans les fonds de vallée et sur les cônes de déjection, ce sont les crues torrentielles qui constituent le principal risque du fait de leur fréquence et de l'ampleur des destructions qu'elles peuvent causer. Sur et au pied des versants, ce sont les avalanches et les glissements de terrains qui dominent. Or, dans un territoire enclavé composé de petites communes financièrement exsangues et très dépendantes des revenus du tourisme, la gestion de ces risques constitue un réel défi.

Dans ce chapitre, nous nous sommes efforcés d'évaluer et d'analyser les risques dans le Queyras tout en prenant en considération la gestion qui en est faite à différentes échelles. Les risques ont été évalués au moyen d'une intense production cartographique, associant modélisation et observations de terrain. Les cartes présentées ci-avant ont été réalisées en combinant les deux composantes du risque que sont l'aléa et la vulnérabilité. Les aléas ont été évalués soit par photo-interprétation et analyse de terrain, soit au moyen de simulations informatiques (cf. chapitre 5). La vulnérabilité a été estimée *via* l'analyse des conséquences potentielles totales des aléas sur les enjeux de bâti, de réseaux et d'occupation du sol (cf. chapitre 6). Pour combiner ces deux composantes, nous avons choisi d'employer une matrice de risque réalisée par nos partenaires de l'UMR LIVE dans le cadre du projet ANR SAMCO.

Pour évaluer les risques liés aux crues torrentielles, quatre scénarios d'aléas de fréquence et d'intensité différentes ont été considérés : décennal, trentennal-cinquantennal, centennal et supra-centennal. En complément de ces scénarios, l'emprise historique de la crue catastrophique de juin 1957 (Q>100) a été croisée avec la cartographie des conséquences potentielles totales de manière à identifier les risques liés à un dysfonctionnement des ouvrages de protection linéaires. L'objectif de cette quintuple évaluation était de fournir aux gestionnaires des risques, les moyens d'adapter leurs stratégies de gestion aux différents cas de figure pouvant se présenter dans le territoire. Dans le scénario décennal, les risques se concentrent essentiellement dans les communes de la haute-vallée du Guil (Ristolas, d'Abriès et d'Aiguilles). Les enjeux exposés sont surtout des enjeux de réseau et d'occupation du sol. Les enjeux les plus exposés sont les parkings de la Roche Écroulée et de l'Échalp, les bâtiments de la plaine d'Abriès et le camping du Gouret. Dans le scénario trentennal-cinquantennal, c'est dans la commune d'Aiguilles que les risques sont les plus importants. Dans les scénarios de crue centennale et supra-centennale, le risque concerne l'ensemble de la vallée du Guil. Dans ces scénarios, les villages d'Aiguilles (plaine des Ribes) et de Château-Queyras (plaine du Guil) sont les plus impactés. Les vallées de l'Aigue Agnelle et de l'Aigue Blanche présentent également des enjeux exposés au risque, principalement au niveau des hameaux de Pierre-Grosse, du Clôt-La-Chalpe et de La Chalp de Saint-Véran. Le croisement de l'emprise de la crue de juin 1957 avec les conséquences potentielles totales a permis de mettre en évidence plusieurs secteurs potentiellement impactés en cas de rupture ou de surverse de digue. Les secteurs concernés sont situés sur les cônes de déjection (Garcine, Bouchet, Lombard, Peynin, Rif de la Salce) et en arrière des digues (amont de la vallée du Guil, secteur de Château-Ville-Vieille et abord de l'Aigue Blanche entre La Chalp et le « Pont des Marrous »). En dépit des importants aménagements réalisés dans la vallée du Guil, c'est dans cette dernière que les risques sont les plus importants. Si les parties anciennes des villages sont relativement épargnées, d'importants enjeux économiques liés au tourisme et à l'artisanat sont en revanche exposés au risque.

Pour évaluer les risques liés aux glissements de terrain, la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain a été combinée à la cartographie de conséquences potentielles correspondantes. À l'échelle du Queyras, les risques sont inégalement répartis entre les six communes. Alors qu'ils sont peu présents dans la partie calcaire du Queyras (partie ouest du bassin), ils le sont dans sa partie schisteuse (partie est du bassin). Tous secteurs confondus, ce sont les versants adrets qui sont les plus exposés au risque du fait d'une combinaison de facteur de prédisposition (cf. chapitre 5). Les espaces les plus exposés au risque sont localisés dans la haute-vallée du Guil et dans les bassins du de l'Aigue Agnelle et de l'Aigue Blanche. La commune de Château-Ville-Vieille, est donc relativement épargnée par ce type de risque. Inversement, les communes de Molines-en-Queyras et de Saint-Véran y sont très exposées en raison de leur implantation à flanc de versant, dans des espaces à forte susceptibilité de glissement de terrain. Dans la haute vallée du Guil, la situation est paradoxale. Si la plupart des enjeux sont implantés hors des espaces soumis aux risques (sur les cônes et dans les fonds de vallée), ces derniers pourraient néanmoins être indirectement impactés si un glissement venait à bloquer le cours du Guil ou de l'un de ses affluents. Lors de la crue de juin 1957, le torrent du Ségure a été bloqué par un glissement de terrain et le village de Ristolas a ensuite été totalement engravé suite à la débâcle résultant de la rupture de la masse glissée dans le fond de vallée. Un tel cas de figure pourrait se représenter à Aiguilles si jamais le glissement du Pas-de-l'Ours venait à bloquer le cours du Guil.

Pour évaluer les risques liés aux avalanches, la carte de la CLPA modifiée a été croisée avec la carte des conséquences potentielles totales adaptée aux avalanches. La cartographie produite montre une prédominance des risques dans l'est du Queyras, dans les secteurs les plus affectés par les retours d'est. Cette répartition implique des risques importants dans les communes du Haut-Guil (Ristolas et Abriès) et à l'amont des vallées de l'Aigue Agnelle (Molines-en-Queyras) et de l'Aigue Blanche (Saint-Véran). En revanche, les communes du moyen Queyras (Aiguilles et Château-Ville-Vieille) sont peu exposées à ces risques. Dans le secteur du Haut-Guil, ce sont les réseaux qui constituent le principal enjeu exposé au risque. Entre Aiguilles et la Roche Écroulée (route D 947) et entre Abriès et Le Roux (route D 441) le réseau routier est fréquemment interrompu par la décente d'avalanche. En conséquence, cette partie du Queyras est fréquemment isolée durant les périodes hivernales. Dans ces communes, certains enjeux de bâti sont également soumis au risque à L'Échalp, La Monta, Ristolas, La Garcine, Abriès et Valpréveyre. Dans la vallée de l'Aigue Agnelle, le risque est très présent entre les hameaux de Fongillarde et de Pierre-Grosse. Dans cet espace, classé en zone rouge dans le PPR de Molines-en-Queyras, de nombreux enjeux de bâti et de réseau sont exposés au risque, notamment dans les hameaux de Château-Renard et de Pierre-Grosse. Dans la vallée de l'Aigue Blanche, ce sont principalement les infrastructures de la station de ski qui sont menacées. Le risque sur le bâti est en revanche assez faible puisqu'il ne concerne qu'une unique maison dans le hameau de La Chalp.

Si toutes les communes du Queyras sont effectivement exposées à des risques d'origine torrentielle et gravitaire, certaines le sont plus que d'autres. Les communes du Haut-Guil sont ainsi exposées à la fois aux crues torrentielles, aux glissements de terrain et aux avalanches. La commune d'Aiguilles, soumise aux impacts des crues torrentielles dès le scénario de moyenne intensité, est, de plus, fortement exposée aux glissements de terrain. En revanche, elle présente un faible risque avalancheux en dehors du bassin du Peynin. La commune de Château-Ville-Vieille est exposée aux crues de basses fréquences et de forte magnitude mais s'avère peu exposée aux autres risques. Les communes de Molines-en-Queyras et Saint-Véran sont fortement exposées aux risques liés aux glissements de terrain et aux avalanches mais relativement peu exposées aux crues torrentielles. Tous aléas confondus, ce sont donc les communes de Ristolas et d'Abriès qui sont les plus exposées aux risques, et la commune de Château-Ville-Vielle qui l'est le moins.

Cela dit, c'est sans compter sur les aspects politiques et socio-culturels du risque. Les risques ne doivent pas être appréhendés dans leur seule dimension physique. Ils doivent également être analysés au regard de la gestion qui en est faite et du degré de résilience des communautés qui y sont exposées. À ce titre, l'exemple des communes de Ristolas et Abriès est particulièrement intéressant. Si elles sont les communes les plus exposées aux risques dans le Queyras, elles sont aussi celles qui ont su mettre en œuvre très vite une gestion volontaire et efficace des risques. Sous l'impulsion de leurs élus, ces communes se sont investies dans la prévention des risques et sont parvenues à accroître la capacité de leur population à y faire face. Cette bonne gestion est attestée par les réponses données lors de l'enquête de perception des risques (cf. chapitre 7). Les Ristoulins et les Abriessois interrogés ont montré une bonne connaissance des risques et une bonne confiance envers leurs élus. À cela s'ajoute l'esprit d'initiative propre aux petites communautés. Lors de la crise avalancheuse de 2008, les résidents de ces communes ont su faire montre d'entraide et de solidarité face à l'adversité. Certaines des personnes interrogées nous ont fait part de la mise en place de journées de « corvée » (au sens de travail collectif gratuit) à la suite l'épisode de l'hiver 2008-2009. Ces dernières auraient notamment eu pour but d'aider les paysans et à nettoyer les débris déposés par les avalanches sur leurs terrains. Sans être systématiques, ce type d'action serait courant post-catastrophe. Bien qu'anecdotique, cet exemple illustre la capacité de récupération des communautés du Queyras. Prévention, gestion de crise efficace et bonne capacité de récupération sont les conditions nécessaires à l'émergence de communautés résilientes au risque. Il semblerait que ce soit en bonne voie dans le Queyras. On peut donc s'attendre à ce que les conséquences des risques y soient nettement atténuées.

Cet engagement volontaire à l'égard de la gestion des risques est désormais nettement perceptible à l'échelle du Queyras. Les épisodes à répétition de la décennie 2000 ont entraîné un regain d'intérêt pour cette thématique. Lors de la crue de juin 2000, la gestion des risques a été quelque peu chaotique. Les mesures, prises sans vison globale du fonctionnement du système, se sont traduites par des actions ponctuelles, menées sans concertation avec les gestionnaires des communes adjacentes. Depuis cet épisode, on a assisté à une remise en question profonde des modes de gestion des risques dans le Queyras. Ces derniers sont devenus un thème fédérateur pour les communes queyrassines autrefois rivales. Sous l'impulsion du Parc Naturel Régional du Queyras (PNRQ), elles ont pris des dispositions pour mettre en œuvre une gestion plus concertée et intégrée des risques naturels. La nécessité de faire front commun s'est d'abord traduite par la mise en place d'un Contrat de rivière en 2005 pour une durée de cinq ans (PNRQ, 2004, 2014). Un avenant a été engagé en 2011 pour une durée de 3 ans afin de poursuivre les actions menées et en engager de nouvelles (www.pnr-queyras.fr). Par la suite, un PAPI (Programme d'Action de Prévention des Inondations) d'intention a été engagé (PNRQ, 2013). Il a été validé en mai 2013 pour un montant de 800 k€ (www.pnr-queyras.fr). Il a constitué la première étape d'un projet de territoire défini à l'échelle du bassin-versant du Guil. Son objectif était la réalisation de divers diagnostics relatifs à l'aléa crue torrentielle et à la vulnérabilité des enjeux exposés (levers topographiques lidar, inventaire des ouvrages, plan de gestion du transport solide et de la ripisylve, programme de travaux, etc. ; PNRQ, 2014). Il a été suivi par l'élaboration d'un PAPI complet validé en 2017 pour un montant de 14,6 M€ (PNRQ, 2017). À travers ce dernier, les communautés du Queyras ont désormais les moyens de financer des actions pour limiter ou atténuer le risque inondation. Actuellement, les services du RTM, de l'ONF, du PARN (Pôle alpin des risques naturels) et les maires du territoire se sont regroupés sous l'égide du PNRQ pour poser les bases de ce que sera le futur PAPAM (Programme d'Actions pour la Prévention des Aléas de Montagne). Cet outil, novateur, vise à étendre les PAPI à l'ensemble des risques présents dans le Queyras (www.pnr-queyras.fr). Cette démarche préfigure l'avenir de la gestion des risques en montagne. En l'espace de deux décennies, les communautés du Queyras sont parvenues à se regrouper pour se hisser à la pointe de la gestion des risques. Si cette évolution est impressionnante, il reste tout de même à savoir si elle sera suffisante pour

relever les défis à venir. Dans un contexte de changements globaux (c.à.d. climatique et socio-économique), l'accroissement des enjeux et la modification annoncée du fonctionnement des milieux physiques naturels pourraient rebattre les cartes. Il est donc nécessaire d'adopter une vision sur le long terme afin d'être en mesure de gérer les défis à venir. Dans le prochain chapitre, nous proposons divers scénarios illustrant l'évolution probable des risques dans le Queyras afin de fournir, aux gestionnaires des risques queyrassins, des éléments de réflexion sur les évolutions probables de leur territoire.

Chapitre 10 : Prospectives en matière de risques dans le Queyras

Introduction

Prendre en compte les différentes trajectoires d'évolution d'une société est cruciale pour évaluer sa résilience face aux risques auxquels elle est confrontée (Berkhout et Van Drunen, 2007 ; Gozé-Bardin, 2008 ; Promper *et al*., 2014 ; AllEnvi, 2016 ; Bonadonna *et al*., 2017 ; Houet *et al*. 2017). De fait, les évolutions du contexte socio-économique se traduisent invariablement par des modifications de l'occupation et des usages des sols. Or, celles-ci ont une incidence sur la répartition des enjeux et la dynamique des processus à l'œuvre dans le milieu physique naturel (Katz et Brown 1992 ; Kohler *et al*. 2014 ; Borsdorf *et al*. 2015). Les mutations socio-économiques ont des répercussions sur l'exposition des sociétés au risque et les milieux alpins sont particulièrement sensibles à ces perturbations (IPCC., 2007 ; Papathoma-Köhle *et al*., 2011 ; IPCC., 2012 ; Aitsi-Selmi *et al*., 2015 ; Alcántara-Ayala *et al*., 2015 ; Papathoma-Köhle *et al*., 2016). Dans la seconde moitié du XX^{e} s., le déclin de l'agropastoralisme et le développement du tourisme ont entraîné une profonde recomposition de ces espaces. Si la recolonisation forestière et la fermeture des paysages agricoles a pu avoir des impacts positifs sur le ruissellement et la stabilisation des versants (Macdonald *et al*., 2000 ; Gellrich *et al*., 2006 ; Gehrig-Fasel *et al*., 2007 ; Durak *et al*., 2015), le développement du tourisme a contribué à augmenter les enjeux exposés sur les versants et dans les fonds de vallée (Papathoma-Köhle *et al*., 2011 ; Einhorn *et al*., 2017 ; Houet *et al*., 2017 ; Carlier *et al*., 2018b). Dans un contexte de changements globaux (climatique et socio-économique), anticiper les modifications à venir de l'occupation et des usages des sols est un prérequis à la mise en place de pertinentes stratégies d'adaptation aux risques.

Prédire les évolutions futures d'un territoire requiert l'élaboration de scénarios socio-économiques cohérents et plausibles, à même de décrire les différentes interactions et synergies entre le milieu physique et la sphère humaine (Carter *et al*., 2001 ; Van Vuuren *et al*., 2014 ; Houet *et al*., 2017). Depuis une vingtaine d'années, l'utilisation de scénarios socio-économiques dans les sciences de l'environnement tend à se démocratiser (Carter *et al*., 2001 ; Bourgau *et al*., 2008 ; Vert *et al*., 2013 ; Pérez-Soba *et al*., 2015 ; Verkerk *et al*., 2016 ; Houet *et al*., 2017). Différentes approches sont possibles pour élaborer des scénarios : déterministes ou probabilistes, rétrospectifs ou prospectifs, exploratoires ou normatifs (Carter *et al*., 2001 ; Van Vuuren *et al*., 2014 ; Houet *et al*., 2017).

Dans le cadre du projet ANR SAMCO, des scénarios prospectifs à destination des gestionnaires du risque et des élus locaux ont été élaborés. Ma contribution à ce travail a été de produire les scénarios appliqués au Queyras. L'objectif de ce travail était d'évaluer les rôles respectifs à moyen et long terme – horizons 2050 et 2100 – des changements socio-économiques et climatiques sur les risques d'origines torrentielle et gravitaire (crues torrentielles, glissements de terrain et avalanches). Les aspects socio-économiques de ce travail ont été appréhendés au travers de quatre scénarios (S) illustrant les changements probables d'occupation et d'usage des sols, en lien avec différentes trajectoires d'évolution du territoire. Les scénarios (S) élaborés et retenus (S1 – Accroissement de la protection environnementale ; S2 – Progression et diversification de l'offre touristique ; S3 – Développement de l'agro-bioénergie ; S4 – Libéralisation et abandon collectif du territoire), résultent d'une volonté de proposer des projections se démarquant fortement les unes des autres. Cela étant, chacun des scénarios est complété d'un court texte discutant de ses points forts et faibles ainsi que de sa vraisemblance par rapport au contexte socio-économique actuel.

1. Données et méthode

Pour modéliser des changements d'occupation du sol en milieux montagnard, on emploie le plus souvent des systèmes multi-agents (SMA) ou des automates cellulaires (Verburg et Overmars, 2009 ; Thériault *et al*., 2011 ; Emsellem *et al*., 2012). Les SMA et les automates cellulaires sont considérés comme plus performants que les modèles déterministes pour simuler des dynamiques environnementales complexes (Paegelow *et al*., 2004 ; Verburg et Overmars, 2009). Les SMA mettent l'accent sur une modélisation fine des entités élémentaires d'un système (les agents) et sur les relations qu'ils entretiennent entre eux et l'environnement dans lequel ils se situent (Ferber, 1997 ; Daudé, 2005 ; Ferber, 2006 ; Manzo, 2014). Les automates cellulaires sont aussi des modèles dynamiques spatiaux mais, contrairement aux SMA, l'espace et le temps y sont de nature discrète (Thériault *et al*., 2011). À chaque pas de temps, il est donc possible de faire évoluer le contenu des cellules d'une matrice en fonction des valeurs initiales des cellules, de leurs interactions avec les cellules avoisinantes et d'un ensemble de règles définies (Von Neumann, 1966 ; Langlois et Phipps, 1997 ; Verburg et Overmars, 2009). Pour ces raisons, nous avons privilégié la seconde méthode, fondée sur l'emploi des automates cellulaires.

Pour la réalisation du modèle, nous avons optés pour la plateforme de modélisation *Dyna-CLUE®* (*Convertion of Land Use and its Effects*). Cette dernière dispose de spécificités qui permettent l'intégration de connaissances expertes dans l'architecture du modèle de changement d'occupation du sol (Houet *et al*., 2017). Les récits narratifs élaborés dans le cadre du projet SAMCO ont pu être employés pour fournir au modèle les éléments nécessaires à la simulation des changements d'occupation du sol. Le modèle a été bâti de manière à représenter et à quantifier les changements probables identifiés dans les scénarios narratifs. Le modèle employé, hybride, combine analyse statistique (régression logistique) et automate cellulaire pour simuler des changements d'occupation du sol aux horizons 2050 et 2100.

Les simulations correspondant aux quatre scénarios réalisés pour le Queyras ont été effectuées avec l'aide de nos collègues de l'UMR LIVE, Anne Puissant et Nicolas Debonnaire. Ce travail a nécessité plusieurs étapes : 1) production de récits donnant leur orientation aux scénarios ; 2) production de cartes d'occupation du sol passée et actuelle (1957 et 2009) et le calcul des changements observés entre les deux dates ; 3) production de cartes de restrictions pour chacune des classes d'occupation du sol cartographiées et l'élaboration d'une matrice de conversion pour indiquer les changements possibles entre les classes d'occupation du sol ; 4) calcul des changements à venir pour chacun des quatre scénarios sur la base des évolutions passées de l'occupation du sol dans le Queyras.

1. 1. Construction des récits

Les récits des scénarios socio-économiques pour le Queyras s'inspirent de ceux élaborés par nos partenaires de l'ANR SAMCO (BRGM et laboratoire GEODE) pour la commune pyrénéenne de Cauterets (Houet *et al*., 2017). L'objectif initial de ce volet du projet était de co-construire des scénarios prospectifs au moyen d'ateliers participatifs réunissant divers acteurs locaux impliqués dans la gestion et l'évolution des territoires étudiés. Cette approche n'a pas pu être suivie dans le Queyras en raison de la faible disponibilité des élus et des gestionnaires locaux lors des périodes de terrain (souvent en pleine saison touristique estivale). Les scénarios queyrassins ont néanmoins été réalisés en tenant compte des axes de développement et des divers projets des acteurs responsables de la gestion et du développement du territoire (PNRQ, 2010).

Les scénarios insistent sur des trajectoires différenciées qui se traduisent par des évolutions plus ou moins importantes des surfaces des grandes classes d'occupation du sol (surfaces bâties, cultures, forêts, pelouses/pâturages, surfaces en eau, sols nus/roches nues et alluvions) du Queyras. Ils sont orientés selon quatre axes de progression (Fig. 10. 1.) : le tourisme, l'environnement, les aléas et l'agriculture. *In fine*, quatre scénarios ont été élaborés puis validés.

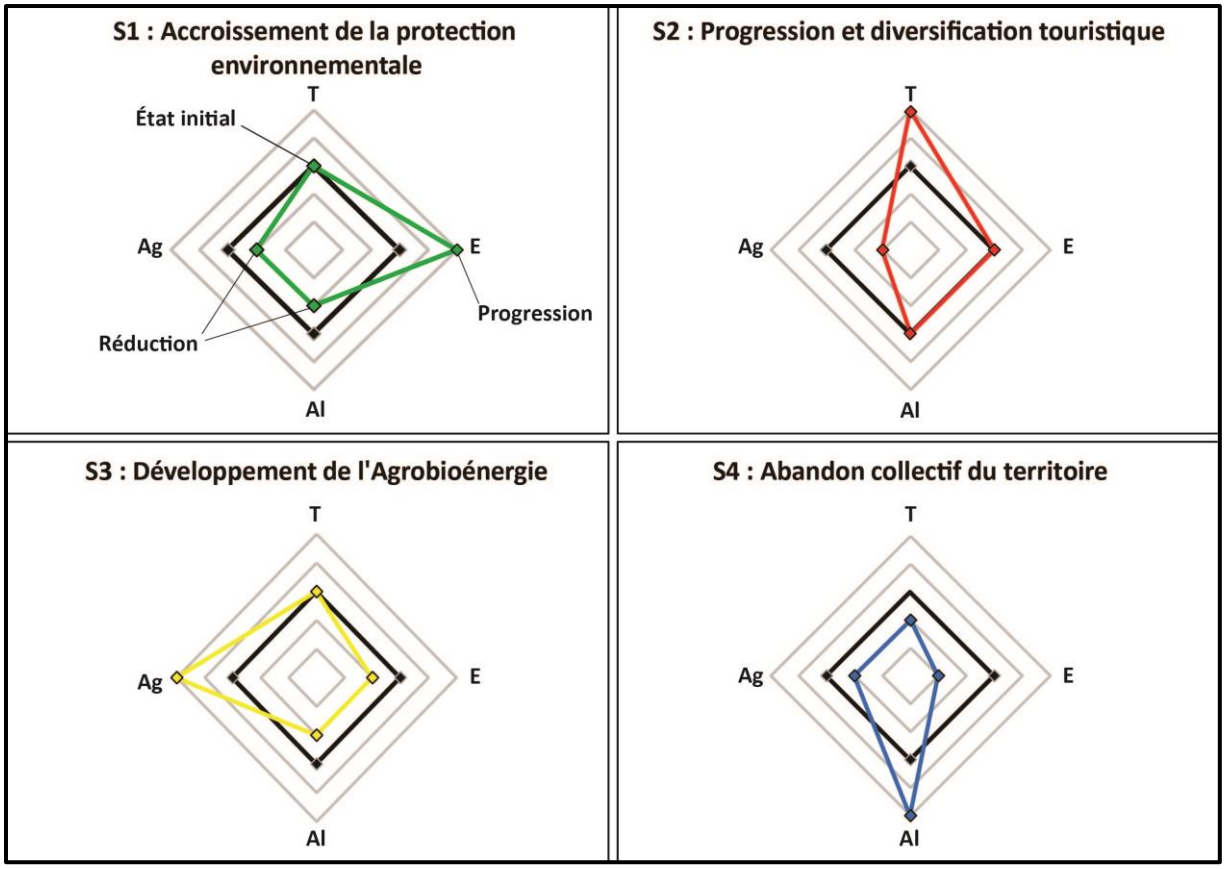


Figure 10. 1. : Diagramme des orientations des différents scénarios selon quatre axes de progression : T – tourisme, E – environnement, Al – Aléa, Ag – Agriculture.

- Le scénario S1, « Protection environnementale accrue », est fondé sur l'hypothèse d'une gestion durable du territoire queyrassin. Il table sur une disparition progressive de l'agriculture au profit d'un accroissement modéré du bâti et d'une progression importante des espaces naturels (représentés par les forêts et les pelouses/pâturages).
- Le scénario S2, « Progression et diversification de l'offre touristique », mise sur l'émergence d'un tourisme de masse dans le Queyras. Il se traduit par un accroissement important des surfaces urbanisées au détriment des milieux ouverts (pelouses/pâturages et cultures).
- Le scénario S3, « Développement de l'agro-bioénergie », table sur une forte augmentation des prix des matières premières agricoles et énergétiques en lien avec une croissance soutenue de l'économie et de la démographie mondiale. Il se traduit par un accroissement des surfaces agricoles au détriment des espaces forestiers et des prairies et pâturages.
- Le scénario S4, « Libéralisation et abandon collectif du territoire », est un scénario catastrophe tablant sur une récession à l'échelle mondiale. Il est fondé sur un abandon du territoire et un accroissement des risques (représentés par les sols nus/roches nues et alluvions).

Une fois les récits écrits et les grandes lignes des scénarios établis, nous avons pu procéder à la production des données nécessaires à la modélisation des changements d'occupation des sols.

1. 2. Cartographie de l'occupation du sol passée et actuelle dans le Queyras

La construction du modèle Dyna-CLUE a nécessité en amont, la production de cartes d'occupation du sol à différentes dates : 1957 (passé) et 2009 (actuel). Ces cartes ont eu plusieurs utilités. Les deux cartes de l'occupation du sol ont permis de calculer des taux d'évolution pour les différents états de surface représentés. La carte de l'occupation du sol en 2009 est essentielle dans la mesure où c'est à partir de cette carte que les changements d'occupation des sols futurs sont modélisés.

La carte de l'occupation du sol en 1957 (Fig. 10. 2.) a été réalisée sous SIG à l'aide du logiciel ArcGIS 10.3®. Les entités correspondant aux six classes d'occupation du sol (surfaces bâties, cultures, forêts, pelouses/pâturages, surfaces en eau, sols nus/roches nues et alluvions) ont été digitalisées suite à un important travail de photo-interprétation puis rastérisées avec une résolution de 1 m. Deux séries de photos aériennes ont été nécessaires pour réaliser ce travail. La première série couvre l'ensemble du bassin du Haut-Guil à l'exception de la vallée des Aigues. Elle est le fruit d'une mission IGN réalisée à la suite de la crue de juin 1957 (03/07/1957). La seconde ne concerne que la vallée des Aigues (Aigue Agnelle et Aigue Blanche) et correspond à la mission IGN du 17/09/1957.

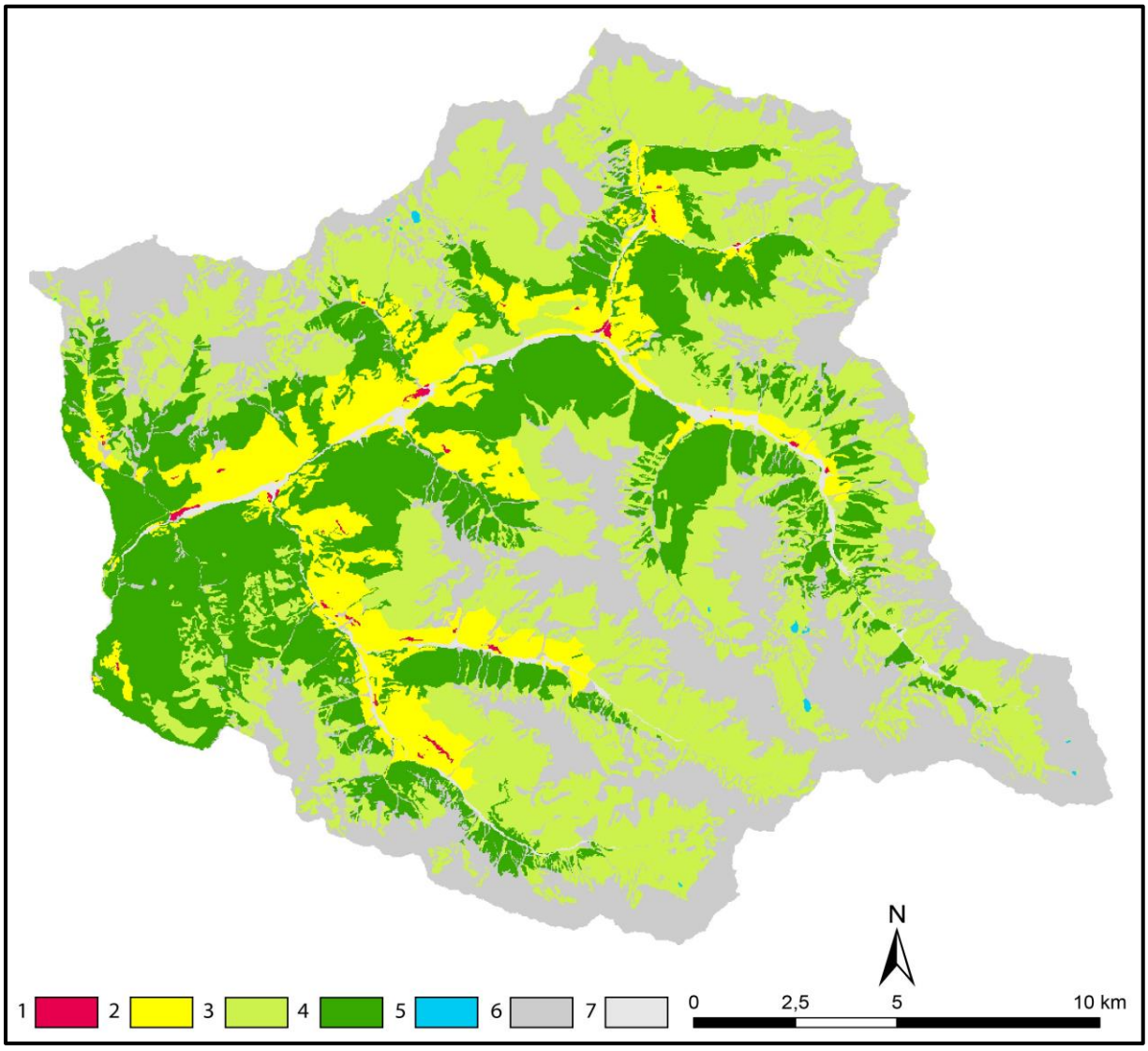


Figure 10. 2. : Carte de l'occupation du sol du Queyras en 1957: 1 – surfaces bâties, 2 – cultures, 3 – prairies et pâtures, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions.

En 1957 (Fig. 10. 3.), les pelouses et pâturages constituaient la principale classe d'occupation du sol (≈ 35 % du bassin du haut-Guil). Les forêts, situées principalement sur les ubacs escarpés des hauts bassins, couvraient près du quart (≈ 24,3 %) de l'espace considéré. Les cultures, encore très présentes dans les fonds de vallée et sur les adrets des sous-bassins versants du Guil, représentaient des surfaces équivalentes au dixième (≈ 9,8 %) du territoire queyrassin. Dans ce contexte de forte ruralité, les surfaces bâties occupaient alors moins de 0,2 % du territoire. Les surfaces recouvertes par les alluvions torrentielles (principalement celles de la crue de juin 1957) représentaient, pour leur part, près de 1,4 % du bassin, soit plus de 500 000 m².

La carte de l'occupation du sol en 2009 (Fig. 10. 3.) a été réalisée sous SIG à l'aide du logiciel ArcGIS 10.3®. Les entités correspondant aux six classes d'occupation du sol ont été digitalisées par photo-interprétation puis validées sur le terrain et rastérisées avec une résolution de 1 m. Les données utilisées pour ce travail sont toutes issues de la BD Ortho IGN Hautes-Alpes de 2009 à 5 m de résolution.

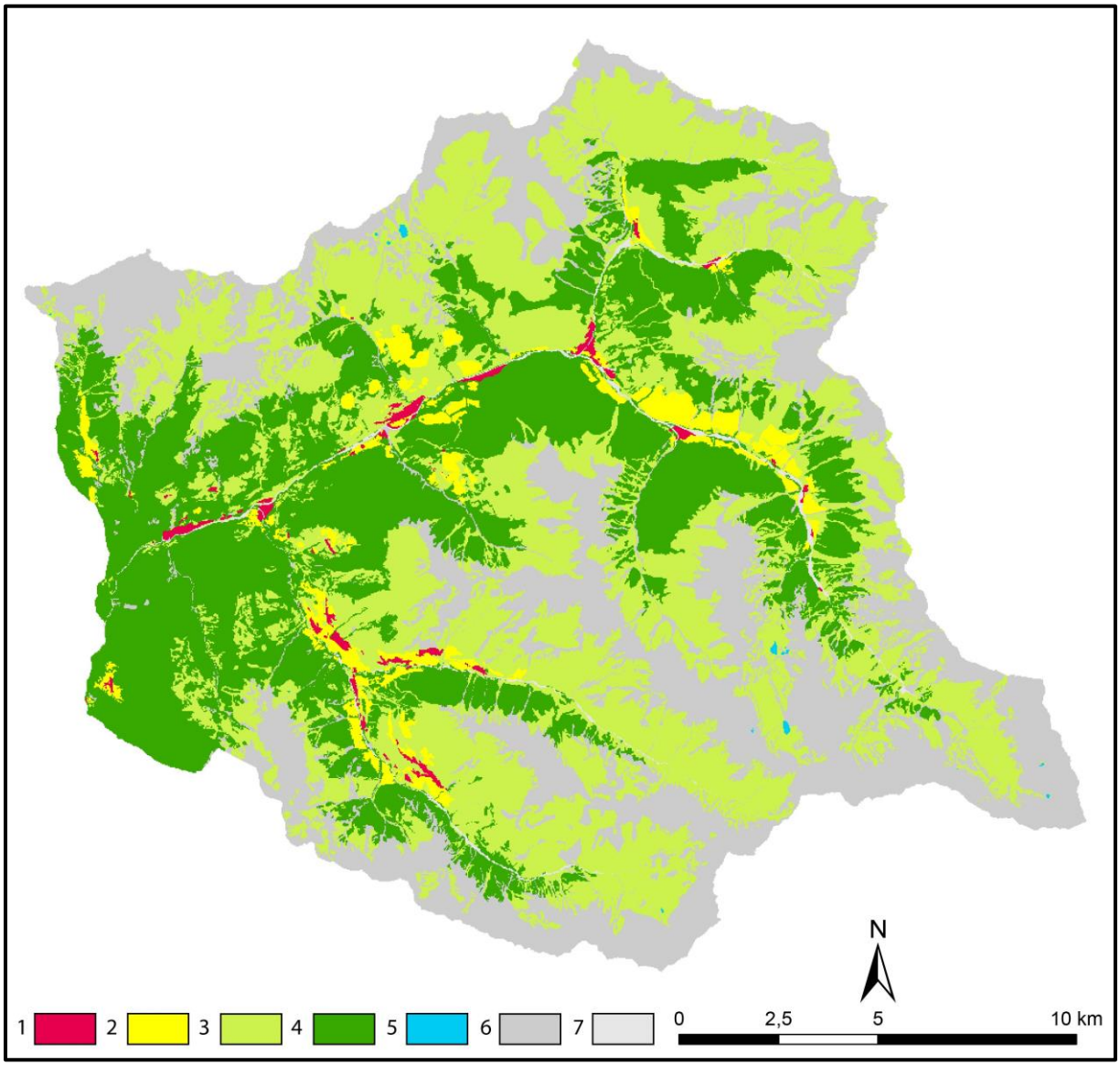


Figure 10. 3. : Carte de l'occupation du sol du Queyras en 2009 : 1 – surfaces bâties, 2 – cultures, 3 – prairies et pâtures, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions.

En 2009 (Fig. 10. 3.), la principale classe d'occupation du sol est toujours constituée par les pelouses et pâturages (≈ 38,4 % du bassin du Haut-Guil). On note toutefois une progression importante (+ 8 %) de ces espaces par rapport à 1957 (Fig. 4). Cette augmentation semble due en grande partie à la déprise agropastorale et au développement des activités de sports d'hiver (pistes de ski). De la même manière, on observe une augmentation significative (+ 20 %) des surfaces forestières. Elles représentent en 2009 près de 30 % de la surface du bassin du Haut-Guil contre 24,3 % en 1957. En outre, le développement du tourisme a eu pour conséquence une augmentation significative des surfaces urbanisées qui ont presque triplé en l'espace de 50 ans. La plupart du temps, ces gains se sont faits au détriment des surfaces cultivées qui ont reculé de près de 70 %, tombant à moins de 3 % du territoire (Fig. 10. 4.).

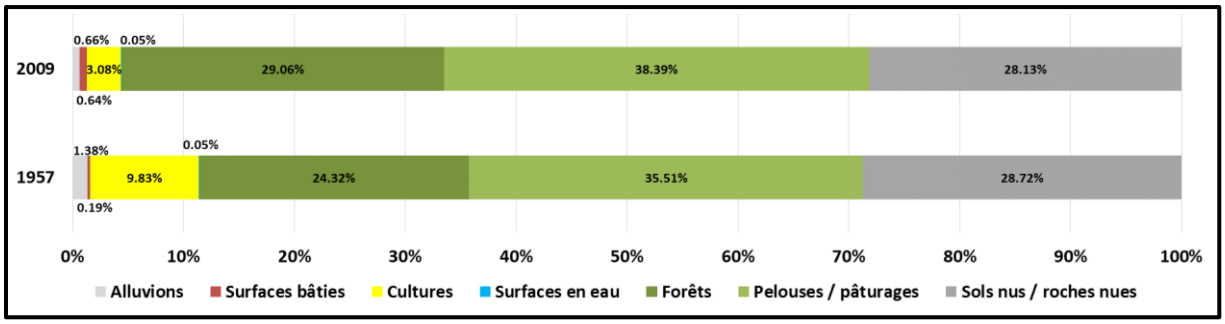


Figure 10. 4. : Évolution de l'occupation du sol entre 1957 et 2009.

Une fois la cartographie de l'occupation du sol passée et présente réalisée, il nous a été possible de procéder à la cartographie des zones de restriction et à l'élaboration de la matrice de conversion. Les zones de restriction servent à poser les limites de l'évolution des différentes classes d'occupation du sol tandis que la matrice de conversion permet de configurer les changements des différents états de surface.

1. 3. Cartographie des zones de restriction et élaboration de la matrice de conversion

Le principe des automates cellulaires est de faire évoluer le contenu des cellules d'une matrice (ici, les valeurs des pixels du raster de l'occupation du sol en 2009) en fonction des valeurs initiales des cellules (ici, les valeurs correspondant aux 7 classes d'occupation du sol) et de leurs interactions avec les cellules avoisinantes (définies par la matrice de conversion). Dans ce processus de modélisation, les zones de restriction permettent d'éviter les évolutions aberrantes du contenu des cellules et de privilégier les modifications des états de surface dans les secteurs où elles sont les plus vraisemblables.

1. 3. 1. Les cartes de restriction

Cinq cartes de restriction ont été produites et intégrées dans le modèle (Fig. 10. 5.). Elles se présentent sous la forme de raster codés en binaire. La valeur 1 indique une modification possible des cellules et la valeur 0, une modification impossible. Par le biais de ces cartes, des données expertes sont donc intégrées dans le modèle. L'objectif de ces cartes était non seulement de limiter les artéfacts méthodologiques mais aussi d'adapter le modèle aux spécificités du terrain queyrassin.

La première carte de restriction concerne uniquement la classe d'occupation du sol (OS) « alluvions » (Fig. 10. 5., B). L'objectif de cette carte était de restreindre les évolutions possibles de cette classe d'OS aux seuls fonds de vallée. Elle a été produite en réalisant une zone tampon (« buffer ») de 100 m autour des dépôts alluviaux identifiés sur la carte de l'OS de 2009 (Fig. 10. 5., A).

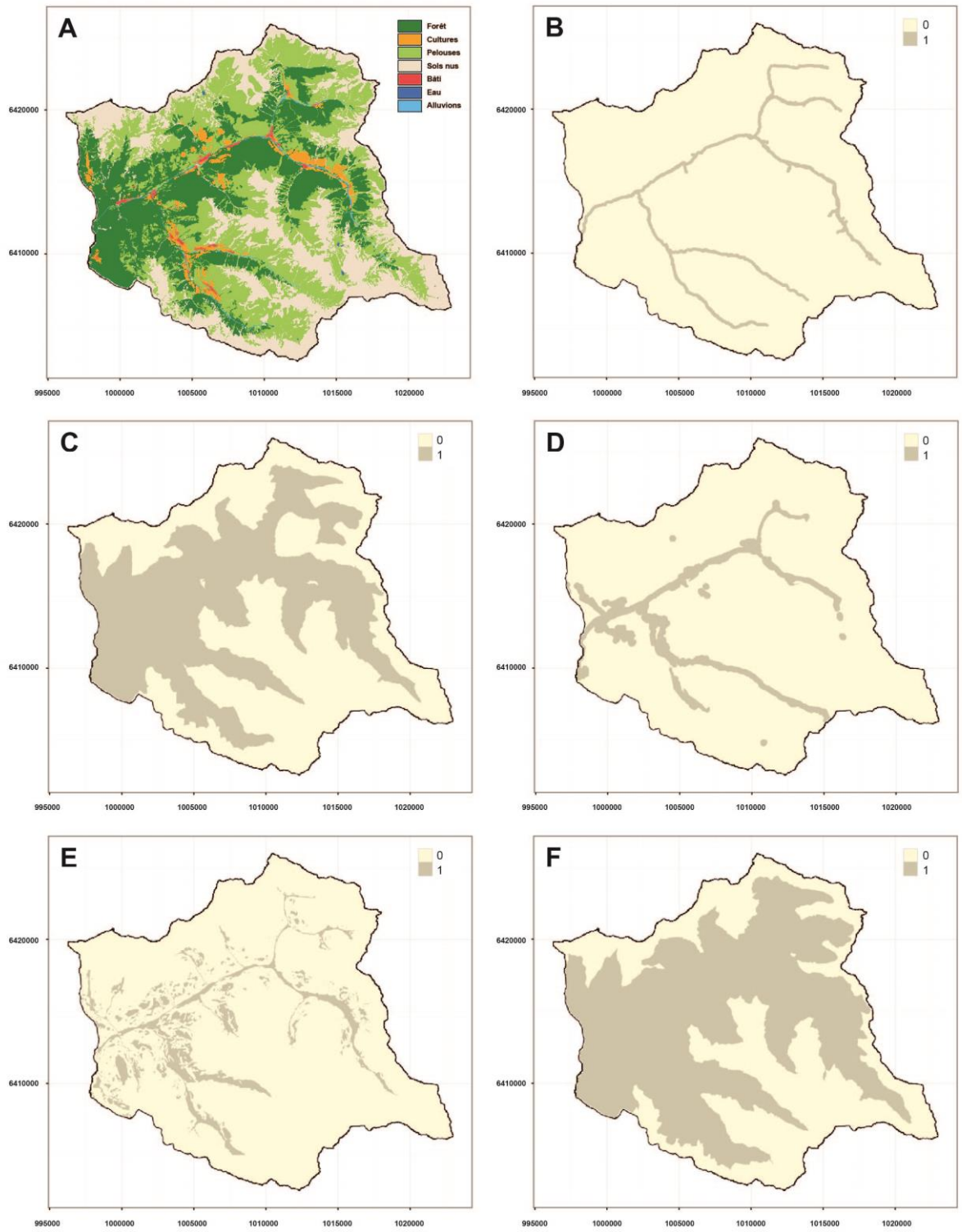


Figure 10. 5. : Carte de l'occupation du sol en 2009 et cartes des restrictions imposées aux différentes classes d'occupation du sol (OS) : A – carte de l'occupation du sol en 2009, B – carte de restriction pour la classe d'OS « alluvions », C- carte de restriction pour la classe d'OS « forêts », D – carte de restriction pour la classe d'OS « surfaces bâtis », E – carte de restriction pour la classe d'OS « cultures », F – carte de restriction appliqué à l'ensemble des classes d'OS.

La deuxième concerne la classe d'OS « forêts » (Fig. 10. 5., C). L'objectif de cette carte était de limiter les évolutions des forêts aux espaces situés en deçà de sa limite altitudinale maximale (la « *timberline* »). Celle-ci a été évaluée à 2300 m par photo-interprétation et observations de terrain. La limite de 2300 m a été générée à partir du MNT BD Alti de l'IGN à 5 m de résolution.

La troisième carte concerne la classe d'OS « surfaces bâtis » (Fig. 10. 5., D). L'objectif de cette carte était de contraindre l'extension de cette classe d'OS aux secteurs où elle est la plus plausible : le long des axes principaux et en périphérie des zones déjà urbanisées. Elle a été créée en réalisant une zone tampon de 200 m autour des routes principales et des espaces bâtis présents sur la carte d'OS de 2009. À titre de limite supplémentaire, la carte de restriction inclut les surfaces des domaines skiables du Queyras.

La quatrième carte de restriction a été appliquée à la classe d'OS « cultures » (Fig. 10. 5., E). L'objectif de cette carte était de limiter l'extension de cette classe d'OS dans les secteurs favorables à l'agriculture. Trois paramètres ont été pris en compte : l'altitude (< 2300 m), la pente (< 20°) et les usages des sols (interdiction dans la surface des domaines skiables).

La cinquième carte de restriction concerne l'ensemble des classes d'OS (Fig. 10. 5., F). Elle impose une interdiction de modification aux cellules figurant les espaces dotés de valeurs d'altitudes supérieures ou égales à 2400 m. Cette altitude correspond peu ou prou à la limite de la végétation dans le Queyras. Au-delà se trouvent des surfaces minérales peu propices au développement de la végétation ou des activités humaines. L'objectif de cette contrainte était donc d'empêcher les modifications de l'occupation du sol sur ces secteurs peu favorables aux changements.

Une fois les cartes de restriction produites, nous avons pu paramétrer notre modèle en réalisant une matrice de conversion. Le détail des calculs de régressions logistiques effectuées sur les variables explicatives et le voisinage sont présentés en Annexe 1.

1. 3. 2. La matrice des conversions

Une matrice des conversions fixe les conditions nécessaires aux changements d'occupation du sol. Elle est fonction des valeurs initiales des cellules, de leurs relations avec les cellules avoisinantes et des règles édictées au travers des cartes de restriction (Fig. 10. 6.).

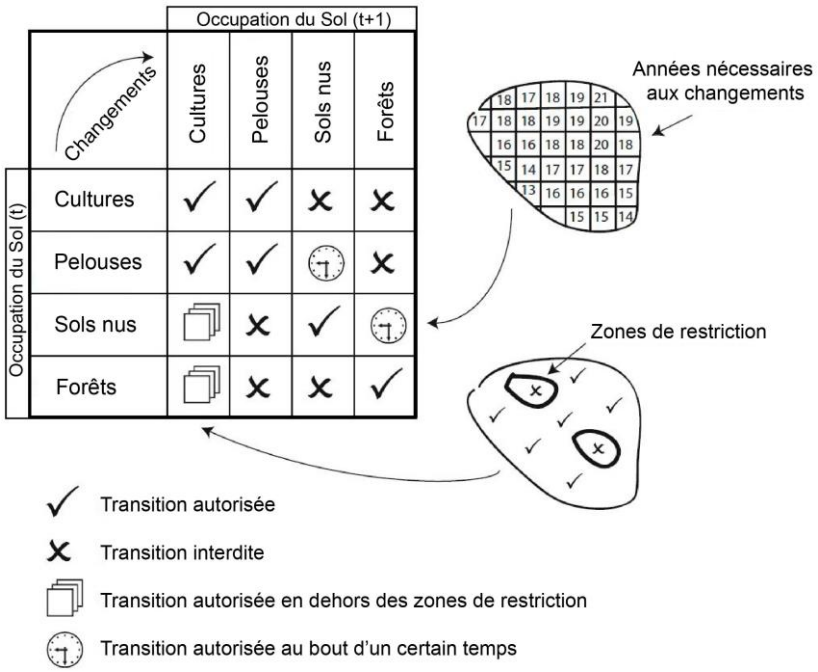


Figure 10. 6. : Principe de fonctionnement d'une matrice de conversion (d'après Verburg et Overmars, 2009).

La matrice des conversions élaborée pour définir les changements d'occupation du sol (OS) dans le Queyras répond à un certain nombre de règles (Tab. 10. 1.) :

- Pour la classe d'OS « Forêts », les modifications ne sont autorisées qu'à partir des classes d'OS « Pelouses/pâturages » (dans les limites de la carte de restriction de la Fig. 10. 5., C) et « Sols nus/roches nues » et « Alluvions » (avec une restriction temporelle de 20 ans) ;
- Pour la classe d'OS « Cultures », les modifications ne sont autorisées qu'à partir de la classe d'OS « Pelouses/pâturages » (dans les limites de la carte de restriction de la Fig. 10. 5., E) ;
- Pour la classe d'OS « Pelouses/pâturages », les modifications sont autorisées à partir des classes d'OS « Forêts », « Cultures » et « Alluvions » (avec une restriction temporelle de 10 ans) ;
- Pour la classe d'OS « Sols nus/roches nues », les modifications ne sont autorisées qu'à partir des classes d'OS « Forêts » et « Pelouses/pâturages » ;
- Pour la classe d'OS « Surfaces bâties », les changements ne sont possibles qu'à partir des classes d'OS « Forêts », « Cultures », Pelouses/pâturages » et « Sols nus/roches nues » (dans la limite de la carte de restriction de la Fig. 10. 5., D) ;
- Pour la classe d'OS « Surfaces en eau », aucune modification de l'OS n'est possible ;
- Pour la classe d'OS « Alluvions », les transitions ne sont possibles qu'à partir des classes d'OS « Forêts », « Cultures » et « Pelouses/pâturages » (dans les limites de la carte de restriction de la Fig. 10. 5., B).

	Classe d'Os_{t+1}						
Classe d'OS_t	Forêts	Cultures	Pelouses	Sols nus	Surfaces bâties	Surfaces en eau	Alluvions
Forêts	1	0	1	1	R2	0	R1
Cultures	0	1	1	0	R2	0	R1
Pelouses	R3	R4	1	1	R2	0	R1
Sols nus	T2	0	0	1	R2	0	0
Surfaces bâtis	0	0	0	0	1	0	0
Surfaces en eau	0	0	0	0	0	1	0
Alluvions	T2	0	T1	0	0	0	1

Tableau 10. 1. : Matrice des conversions employée pour simuler les changements d'occupation du sol dans le Queyras : 1 – transition autorisée, 0 – transition interdite, T1 – restriction temporelle de 10 ans pour la classe d'OS « forêts », T2 – restriction temporelle de 20 ans pour la classe d'OS « cultures », R1 – restriction spatiale à la classe d'OS « alluvions » (Fig. 5, B), R2 – restriction spatiale à la classe d'OS « surfaces bâties » (Fig. 5, D), R3 – restriction spatiale à la classe d'OS « forêts » (Fig. 5, C), R4 – restriction spatiale à la classe d'OS « cultures » (Fig. 5, E).

Une fois les règles régissant les modifications de l'occupation du sol établies, nous avons pu procéder au calcul des changements. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur les valeurs des changements d'OS observés entre 1957 et 2009.

1. 3. 3. Calcul des changements d'occupation des sols pour les quatre scénarios réalisés

Pour permettre la simulation des scénarios de changements de l'occupation du sol, il nous a fallu quantifier les évolutions de chacune des classes d'OS pour chacun des scénarios considérés (Tab. 10. 2.). Cette quantification a été réalisée en tenant compte de deux paramètres : la valeur des modifications de l'occupation du sol observées entre 1957 et 2009 (en ha/an) et les récits élaborés pour les quatre scénarios prospectifs. L'objectif était de simuler des changements intégrant les orientations et les spécificités des quatre scénarios construits tout en étant réalistes.

	Classe d'Os						
Scénarios	**Forêts**	**Cultures**	**Pelouses**	**Sols nus**	**Surfaces bâties**	**Surfaces en eau**	**Alluvions**
Scénario 1	**15**	**-11**	**4**	**-8**	**1,5**	**0**	**1,5**
Scénario 2	**6**	**-10**	**-7**	**-3**	**15**	**0**	**-1**
Scénario 3	**-11**	**10**	**1**	**3**	**4**	**0**	**-1**
Scénario 4	**13**	**-11**	**-20**	**12**	**0**	**0**	**6**

Tableau 10. 2. : Changements d'occupation des sols (en ha/an) prévus pour chacun des scénarios.

Dans le scénario S1, « Protection environnementale accrue », l'objectif était de faire progresser les surfaces naturelles au détriment des espaces cultivées. Le choix a donc été fait d'augmenter rapidement les surfaces forestières, d'accroître plus modérément les surfaces enherbées et de réduire considérablement les cultures et les surfaces minérales (Tab. 10. 2.).

Dans le scénario S2, « Progression et diversification de l'offre touristique », l'objectif était d'augmenter fortement l'urbanisation au détriment des espaces à vocation agropastorale. Le choix a donc été fait d'augmenter rapidement les surfaces bâties, d'accroître plus modérément les surfaces forestières et de réduire considérablement les cultures et les surfaces enherbées (Tab. 10. 2.).

Dans le scénario S3 « Développement de l'agro-bioénergie », l'objectif était de faire progresser les espaces mis en cultures au détriment des espaces forestiers. Le choix a donc été fait d'augmenter rapidement les surfaces cultivées, d'accroître modérément les surfaces bâties et de réduire considérablement les surfaces forestières (Tab. 10. 2.).

Dans le scénario S4 « Libéralisation et abandon collectif du territoire », l'objectif était de faire stagner les surfaces bâtis, d'augmenter les surfaces forestières et de faire progressivement disparaître les surfaces à vocation agro-pastorales. Le choix a donc été fait de réduire considérablement les surfaces agro-pastorales (classes d'OS pelouses/pâturages et cultures) au profit des espaces forestiers et des alluvions (représentant l'augmentation du risque ; Tab. 10. 2.).

2. Les scénarios de changements d'occupation du sol simulés pour le Queyras

Les quatre scénarios simulés S1 : « Accroissement de la protection environnementale », S2 « Progression et diversification touristique », S3 « Développement de l'agro-bioénergie » et S4 « Abandon collectif du territoire » sont exposés dans cette section. Chaque scénario est exposé sous la forme d'un récit de synthèse, suivi des cartes d'occupation du sol à horizon 2050 et 2100. Pour chacun des scénarios exposés, un court texte évoque sa vraisemblance au regard des tendances actuelles d'évolution du territoire queyrassin.

2. 1. Scénario S1 : Accroissement de la protection environnementale

À l'aube de ce premier quart du XXI^{e} s., le Queyras a fait le choix d'un développement tourné exclusivement vers la préservation et la valorisation de son patrimoine naturel et culturel singulier. L'émergence d'un cadre institutionnel et sociétal propice au développement d'un tourisme écoresponsable, aspirant à un environnement « authentique » et préservé, y est pour beaucoup. Soucieux de respecter les engagements pris lors des conférences successives sur le climat, l'État a pris des mesures concrètes pour relever les défis posés par les changements climatiques et l'érosion de la biodiversité. Soutenu en cela par les instances européennes, il a instauré une législation contraignante envers les filières polluantes ou sources de gaspillages (taxe carbone). En parallèle, des mesures incitatives (subventions, exonérations d'impôts) ont été prises afin de promouvoir les initiatives œuvrant dans le sens du développement durable et de la transition énergétique. Dans ce contexte favorable, le Parc Naturel Régional du Queyras (PNRQ) et la communauté de communes du Queyras voient leurs compétences et leurs moyens d'action renforcés. Une politique innovante d'aménagement et de développement économique voit le jour autour des principes clés de respect de l'environnement et de gestion intégrée (Charte européenne du tourisme durable). Le PNRQ poursuit et renforce sa politique de préservation et de protection de la biodiversité *via* des actions volontaristes. À la suite de l'entrée en vigueur de la compétence GEMAPI (Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations), un effort considérable a été réalisé dans la restauration des services écosystémiques. Les ripisylves et les zones humides font désormais l'objet d'une protection systématique en vertu de leur rôle dans la réduction des risques liés aux crues. Les milieux ouverts, « hot-spots » de la biodiversité et de la géodiversité, sont soumis à une attention particulière. Ils sont désormais entretenus au moyen de partenariats passés avec les éleveurs locaux. Ces mesures entraînent un accroissement des surfaces protégées *via* notamment le réseau NATURA 2000. De pair avec la protection de la nature, le concept de géo-patrimoine est mis en avant afin de valoriser les riches héritages géologiques et géomorphologiques du Queyras. La multiplication des sentiers à thème autour de l'orogénèse alpine, des héritages glaciaires et des risques naturels, remet au goût du jour le projet de de Géoparc des Alpes Cottiennes. Le prestige du Queyras s'en trouve grandi et l'image de marque du territoire est mise à profit pour mieux valoriser la gastronomie et l'artisanat local. Une « route des saveurs » est créée afin de guider le vacancier vers les points de production, de dégustation et de vente. En parallèle, un « Label Queyras » est lancé pour récompenser les productions écoresponsables. À l'initiative du collectif « Les Amies de Fort-Queyras », un espace associatif est monté dans le château de Fort-Queyras, récemment acquis par la collectivité (communauté de commune et dons privés). Après quelques temps, la taxe de séjour est remplacée par une tarification plus importante, payée à l'entrée du Parc. Les surplus engrangés permettent de développer des modes de transport alternatifs à faible empreinte carbone. Les villages queyrassins suivent l'exemple de Saint-Véran et interdisent la circulation et le stationnement des voitures dans leur centre historique. Le basculement vers un tourisme principalement estival entraîne une hausse des demandes de logement. De nouveaux logements collectifs sont construits pour les touristes (principalement à Molines et Abriès) tandis que l'immobilier ancien est rénové pour accueillir les néo-ruraux et les « enfants du pays » revenus travailler dans la région. Pour assurer ses besoins énergétiques, le Queyras tire profit de ses atouts naturels. Les subventions mises en place dans le cadre de la transition énergétique ont permis de remettre en fonction les microcentrales hydroélectriques de Molines et d'Aiguilles. La filière bois-énergie bénéficie également d'une meilleure rentabilité en raison des nouvelles taxes sur les polluants lui permettant de se développer. Enfin, suite au projet PERSIL (PERformance Solaire et Industrie Locale), le « solaire » devient peu à peu l'un des secteurs clés de l'économie locale.

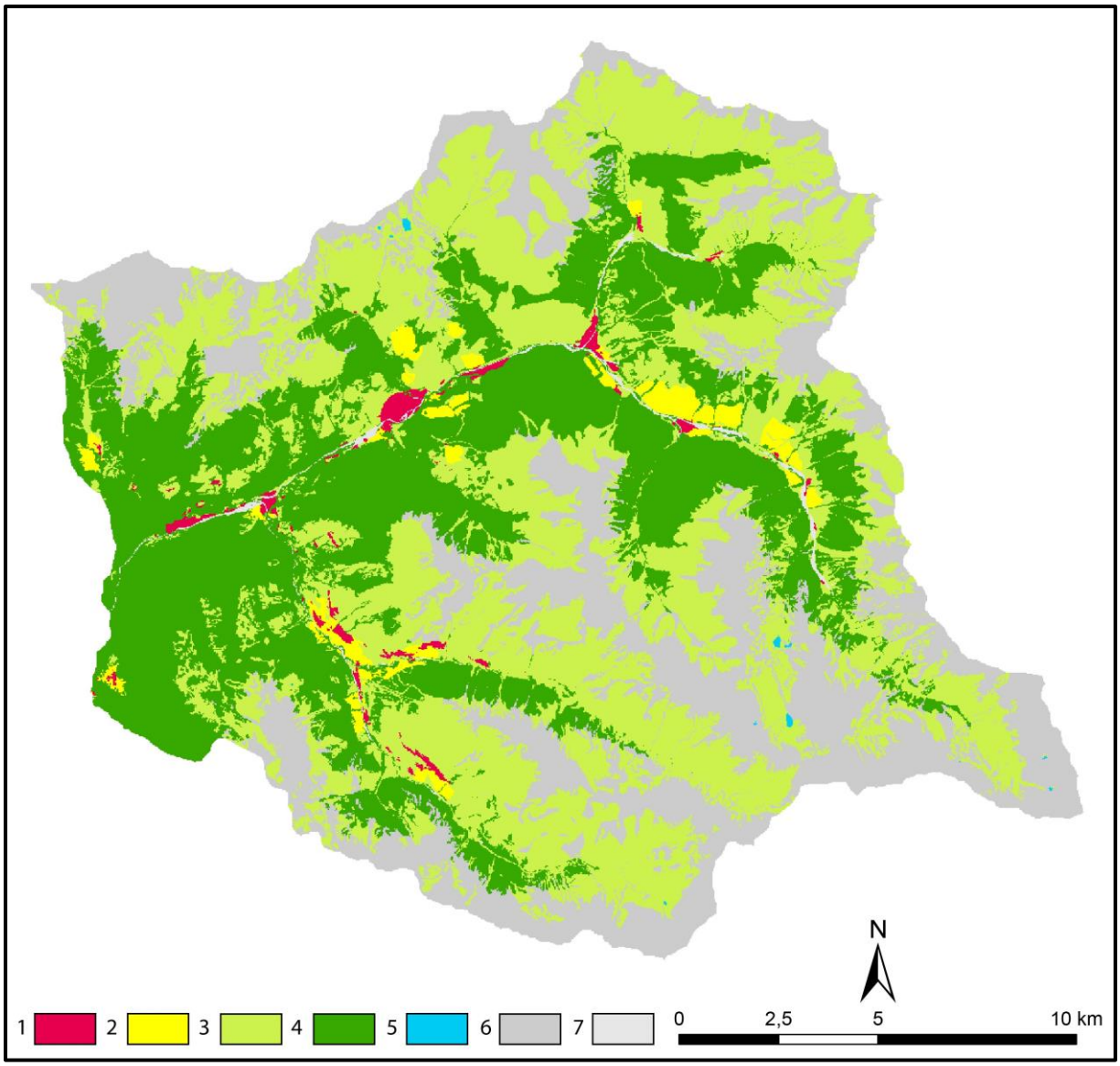


Figure 10. 7. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2050 pour le scénario S1 « Accroissement de la protection environnementale ». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâties, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions.

En 2050 (Fig. 10. 7.), la transition écologique amorcée dans les années 2010-2020 commence à porter ses fruits. Les espaces forestiers progressent, bénéficiant à la fois du morcellement du foncier et des mesures de restauration et de préservation de la ripisylve. La recolonisation des berges et/ou des terrasses alluviales (en amont de Ristolas et en contre-bas du Roux) rend les crues moins violentes. Peu à peu, les dépôts alluvionnaires des crues de 1957, 2000 et 2008 sont masqués par la végétation pionnière. Les milieux ouverts (prairies et estives) se maintiennent voire progressent même légèrement grâce à la politique volontariste du PNRQ en terme de préservation de la biodiversité. Les surfaces agricoles reculent peu à peu en raison du morcellement des terres résultant des héritages. Leur utilisation s'oriente davantage vers une production de qualité, dont les débouchés sont assurés à l'échelle locale par les touristes et les néo-ruraux. Les surfaces urbanisées s'accroissent mais dans des proportions qui restent modérées en raison des lois restrictives liées à la préservation de l'environnement et à la protection contre les risques naturels. Le Queyras a atteint l'autosuffisance énergétique grâce au développement des énergies renouvelables. Les retombées financières liées au tourisme estival sont garanties par l'image de marque du territoire. Les subsides dégagés l'été permettent aux communes de

maintenir pour un temps encore leur économie touristique hivernale devenue moribonde en raison de la réduction des chutes de neige.

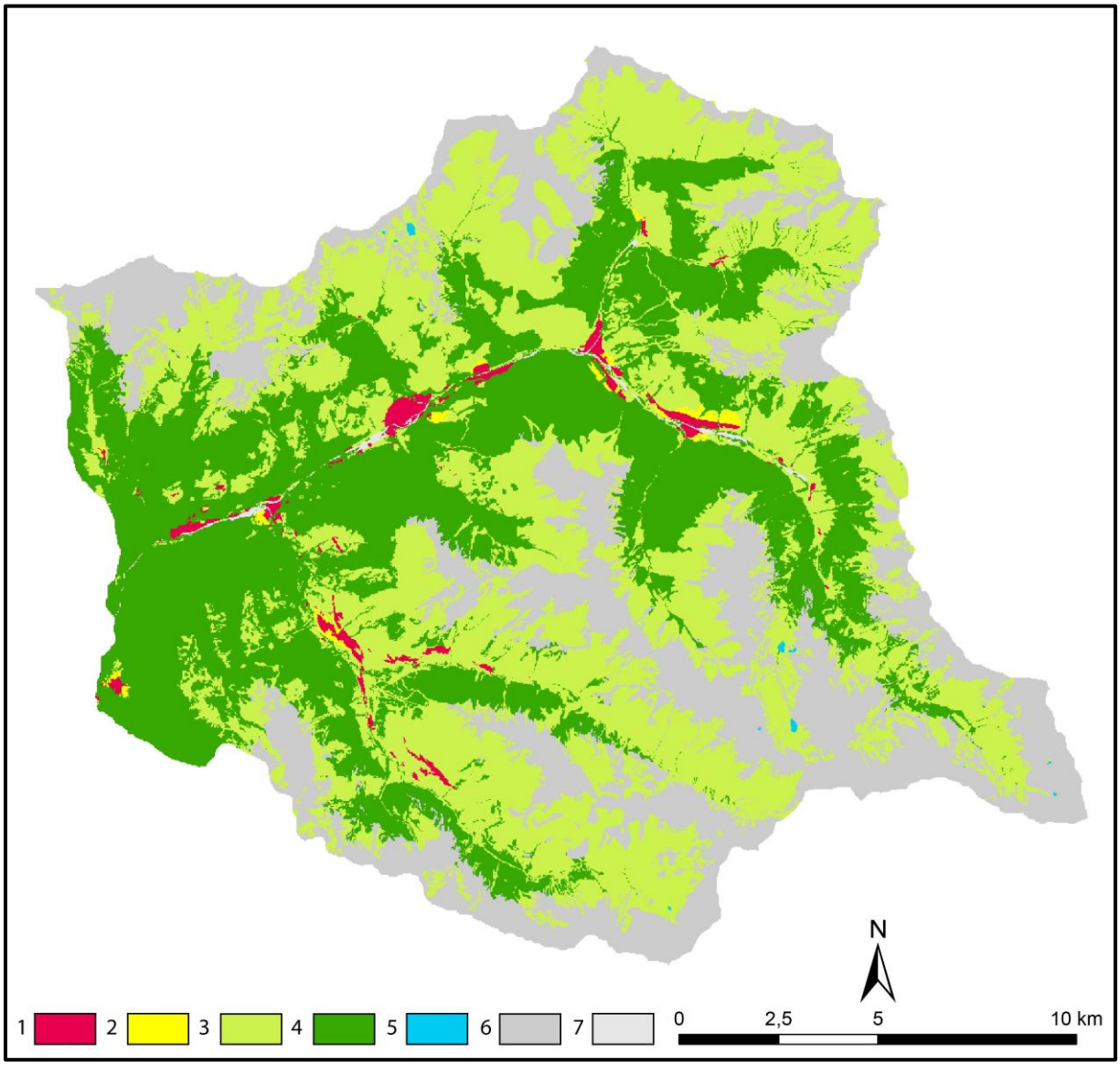


Figure 10. 8. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2100 pour le scénario S1 « Accroissement de la protection environnementale ». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâties, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions.

À l'horizon 2100 (Fig. 10. 8.), le Queyras est devenu un espace sanctuarisé. Les forêts et les prairies naturelles structurent le paysage et permettent à la biodiversité de se maintenir en dépit des changements climatiques globaux. La couverture forestière et arbustive assure un meilleur maintien des sols et protège efficacement le bâti et les réseaux des chutes de blocs. L'infiltration des eaux pluviales est plus efficace et le ruissellement est moindre. En bordure du Guil et de ces principaux affluents, la ripisylve permet d'atténuer les impacts liés aux inondations torrentielles en freinant les ondes de crue et en assurant une rétention plus efficace des alluvions. L'exposition aux risques est réduite, assurant aux communes une meilleure santé financière sur le long terme. En revanche, la récente adhésion du Guillestrois au Parc National des Écrins et les normes environnementales ont eu raison des activités paysannes. Seul un élevage résiduel persiste afin d'entretenir les milieux ouverts et de conserver l'image d'authenticité du territoire. L'urbanisation est maîtrisée, ce qui n'a pas empêché les communes de Ristolas et de Molines en Queyras de s'étendre pour faire face à la croissance démographique et à

l'afflux de touristes. La dégradation de la qualité de vie dans les grandes métropoles européennes incite de plus en plus les vacanciers à opter pour La Montagne. Désormais, le tourisme est essentiellement estival en raison de la disparition du couvert neigeux et du démantèlement des infrastructures de ski.

Le scénario S1 **« Protection environnementale accrue »** se fonde sur une gestion durable du territoire queyrassin. Il suppose une prise de conscience des impacts futurs des changements globaux (climatiques et socio-économiques) sur les milieux naturels. Ce scénario ne peut fonctionner qu'au travers de politiques volontaristes de la part des différents acteurs de l'organisation du territoire (Union européenne, État, collectivités, etc.). Sous certains aspects, ces projections peuvent donc passer pour utopistes. Au regard des politiques menées actuellement sur le territoire, il semblerait pourtant que ce soit bien là le chemin emprunté par les gestionnaires queyrassins. L'essentiel des points abordés dans ce scénario figurent d'ores et déjà dans les schémas de développement portés par le PNRQ. Une partie des initiatives citées sont d'ailleurs déjà effectives sur le terrain. Dans le contexte actuel, ce scénario est donc celui qui apparaît comme le plus vraisemblable.

2. 2. Scénario 2 : Progression et diversification touristique

Au tournant des années 2010-2020, l'accent est porté sur la progression et la diversification de l'offre touristique. L'objectif annoncé est clair. Il s'agit d'attirer un maximum de touristes pour relancer l'économie locale et éviter que le Queyras ne se paupérise et périclite. Il faut dire que pour un territoire largement dépendant de l'activité touristique, le contexte de la décennie 2010 n'a pas été des plus favorables. Une baisse généralisée du pouvoir d'achat liée à la crise financière mondiale, doublée d'une météo capricieuse, a entraîné une stagnation du nombre de vacanciers et un raccourcissement des saisons touristiques estivales et hivernales. De plus, les investissements réalisés par les communes queyrassines dans le cadre des transferts de compétences ont grevé pour un temps les budgets alloués au développement touristique. Pour contrer cette tendance, les élus et gestionnaires queyrassins ont déployé des efforts considérables pour rendre le territoire plus attractif et, surtout, plus visible. Car s'il est vrai que le pouvoir d'achat des classes moyennes décline, le nombre de citadins, lui, augmente. Cette tendance favorise le développement d'un tourisme de masse à l'échelle nationale dont entendent bien profiter les élus et gestionnaires locaux. Tirant avantage de la révolution du numérique, un audacieux programme de communication voit le jour afin de promouvoir l'image de marque du territoire sur internet et les réseaux sociaux. Le rachat de Fort-Queyras par la commune de Château-Ville-Vieille permet l'ouverture d'un centre touristique regroupant, dès l'entrée de la vallée, de nombreuses activités culturelles et ludiques. Les installations sportives sont modernisées sur l'ensemble du territoire et des lieux de baignade sont ouverts en bordure des torrents et des lacs les plus accessibles. En parallèle, les sports d'eaux vives, le VTT et les sports d'hiver se développent, permettant ainsi d'attirer les jeunes (ou les moins jeunes) en quête de sensations fortes. À l'initiative des communes et du PNRQ, les manifestations culturelles et sportives se multiplient (marchés à thèmes, festivals, compétitions sportives, etc.). Ces événements sont l'occasion de mettre en avant la gastronomie et l'artisanat local et de promouvoir la toute nouvelle « Route des saveurs ». Cette promotion s'accompagne de mesures incitatives mises en œuvre pour attirer et faciliter l'installation des professionnels du tourisme (accès à des locaux, subventions, réductions d'impôt, etc.). Les partenariats avec l'Italie se multiplient afin de mettre en avant la dimension transfrontalière du territoire (aménagement du col Agnel, chemins de randonnées transfrontaliers, organisation d'excursions dans le Val Varaita, etc.). Grâce aux financements européens, une ligne de bus a même été ouverte pour relier Coni à Guillestre *via* le col Agnel. Pour résoudre le problème de l'enclavement, les transports en commun se modernisent et se diversifient. Des navettes sont mises en place pour relier les villages aux différents « pôles touristiques » du Queyras. La contraction de l'espace-temps multiplie les courts séjours tout au long de l'année. Petit à petit, la renommée du Queyras et ses prix attractifs attirent des touristes issus de l'ensemble des classes

sociales. Pour s'adapter à cette diversification touristique, il est prévu d'aménager de nouveaux secteurs pour y bâtir des logements à bas prix et des équipements de biens culturels et sportifs. Afin de préserver l'identité montagnarde du Queyras et de doper la filière sylvicole, les nouvelles constructions doivent impérativement respecter les canons de l'esthétique locale (devanture en mélèze, toit en lauzes ou en bardeaux, pierre apparente, etc.). Pour protéger ces nouveaux enjeux des risques d'origine naturelle, le Queyras obtient des financements de la Région PACA et de l'Europe. Les ouvrages d'art sont rénovés et de nouvelles protections sont installées. L'action phare est menée sur la commune d'Aiguilles où la dérivation du Peynin sur son cône de déjection est enfin réalisée.

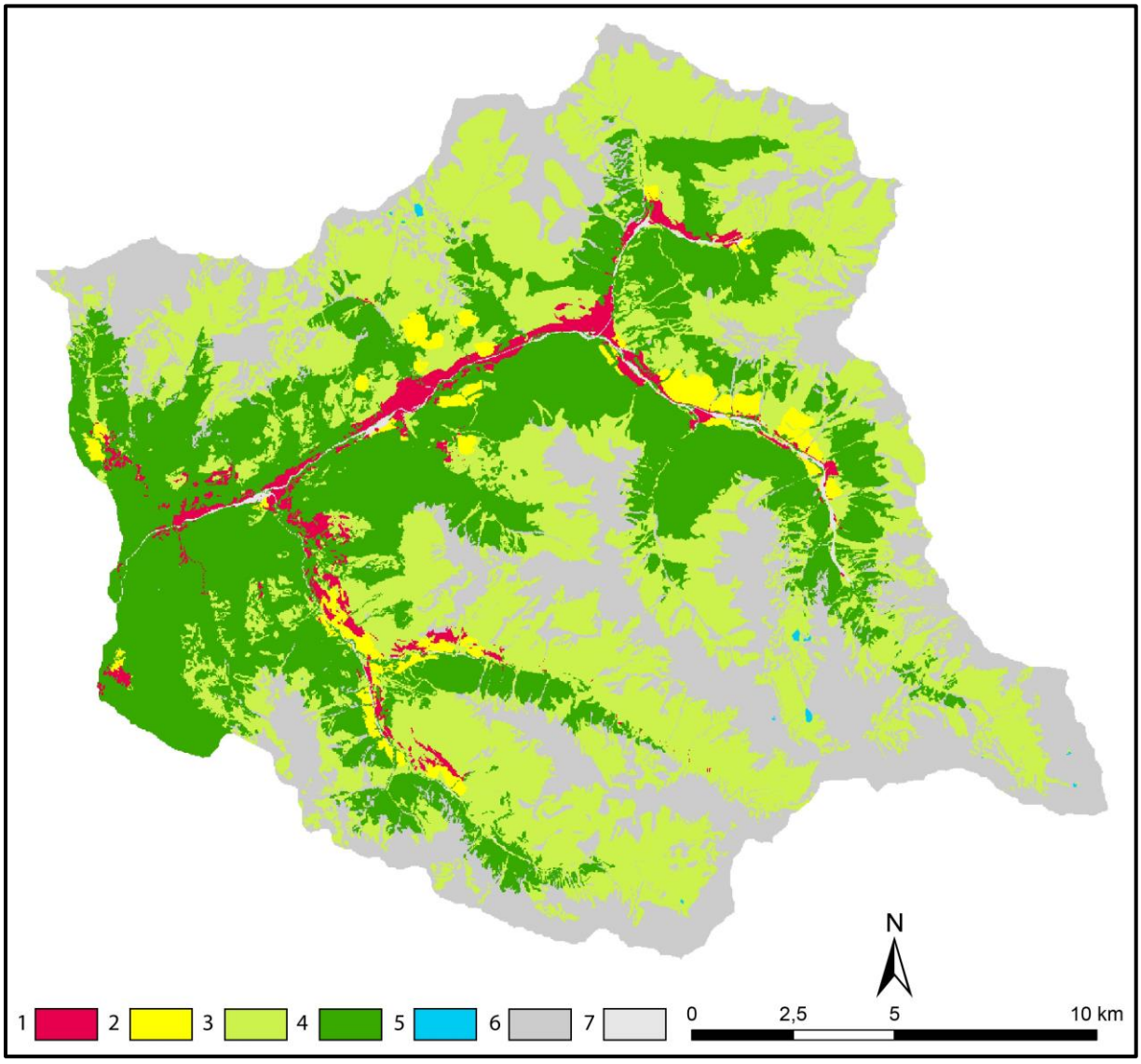


Figure 10. 9. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2050 pour le scénario S2 « Progression et diversification touristique ». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâties, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions.

En 2050 (Fig. 10. 9.), la transition vers un tourisme de masse est un succès. Le Queyras est un territoire prospère qui accueille, tout au long de l'année, de nombreux vacanciers et résidents secondaires. Si la saison estivale est maintenant la plus importante, la fréquentation hivernale reste stable. L'augmentation des revenus des communes permet en effet de compenser la réduction de l'enneigement par une utilisation soutenue des canons à neige. Cette réussite a un prix. Le miracle économique a eu pour contrepartie une urbanisation accrue des fonds de vallée. Les prérogatives du

PNRQ se sont peu à peu réduites à un caractère purement symbolique et les timides actions menées par le gouvernement pour préserver l'environnement n'ont en rien entravé la croissance urbaine. L'échec des conférences successives sur le climat et la croissance démographique ont même entraîné un assouplissement de la législation sur les terrains constructibles. Pour faire face à l'afflux de touristes, de nouveaux quartiers résidentiels ont vu le jour et les campings ont été agrandis. Les chaussées ont été élargies pour permettre plus de trafic et de nombreux parkings ont été ajoutés le long du Guil pour permettre le stationnement des véhicules de vacanciers. L'urbanisation est désormais continue d'Abriès à Château-Queyras. Les pratiques agropastorales se maintiennent un temps grâce à la demande soutenue par le tourisme (volonté de consommer local et recherche d'un territoire authentique) mais déclinent peu à peu en superficie en raison de la pression sur le foncier. Si les surfaces forestières progressent légèrement en raison d'une bonne gestion de la ressource par l'industrie sylvicole, l'urbanisation et la remise en état des ouvrages d'art ont eu raison des ripisylves.

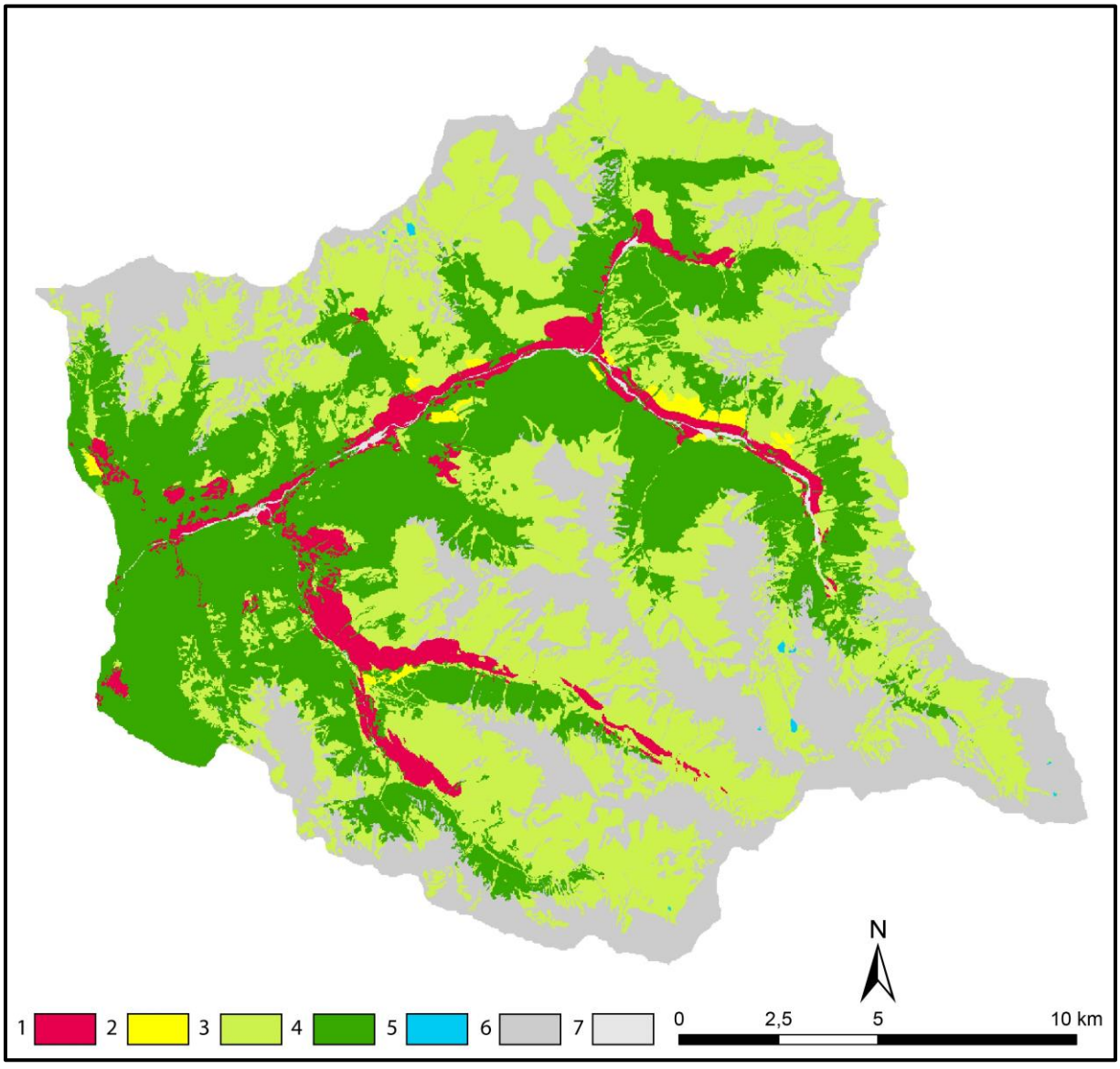


Figure 10. 10. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2100 pour le scénario S2 « Progression et diversification touristique ». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâties, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions.

En 2100 (Fig. 10. 10.), le Queyras est devenu un pôle touristique de renommée nationale (voire transnational) et s'apparente de plus en plus à un vaste parc à thème. L'urbanisation a pris des proportions inédites et tous les espaces constructibles l'ont été. La disparition progressive du risque avalancheux a été pour beaucoup dans cet essor. Cet élément, couplé au creusement d'un tunnel routier entre l'Italie et la France a contribué à faire de la vallée des Aigues un lieu de passage très fréquenté où le prix du foncier a littéralement explosé. Les hameaux désertés ont été réinvestis et les routes pour y accéder ré-ouvertes. Avec le réchauffement climatique et la dégradation des conditions de vie dans les métropoles, les citadins sont de plus en plus nombreux à venir chercher une relative fraîcheur dans le Queyras. En été, les établissements touristiques sont complets. Malgré l'abandon progressif des domaines skiables dans les années 2050-2060, la population hivernale progresse en raison du climat plus doux et de l'augmentation du nombre de résidents permanents. Les activités agropastorales ont périclité et seules quelques estives sont encore conservées pour les besoins du tourisme. Depuis les années 2050, la sur-fréquentation des lieux en haute saison et l'urbanisation galopante ont engendré de nouveau dysfonctionnement du milieu physique. Conséquence directe du tourisme de masse, les piétinements répétés et les pollutions diverses ont fortement dégradé les fragiles écosystèmes montagnards. Cette menace est prise très au sérieux par les gestionnaires locaux car elle risque, à terme, de nuire fortement à l'attractivité du territoire. Déjà les « amoureux de la nature » sont moins nombreux à fréquenter le PNRQ, préférant les lieux mieux préservés du massif des Écrins ou de la Vallouise. Cette dégradation de l'environnement est d'autant plus grave qu'elle implique une augmentation des risques liés aux crues. De fait, l'artificialisation des surfaces favorise le ruissellement urbain et accroît la concentration des eaux pluviales tandis que la disparition de la ripisylve et l'obsolescence des ouvrages d'art accroissent le risque d'inondations catastrophiques.

Le scénario S2 « **Progression et diversification de l'offre touristique** » mise sur l'émergence d'un tourisme de masse dans le Queyras. Cette projection répond à une vision essentiellement économique du développement du territoire. Certains des axes de promotion du territoire cités dans ce texte sont déjà effectifs ou sont prévus à brève échéance. Le contexte actuel rend néanmoins ce scénario peu plausible dans la mesure où le chemin pris par les gestionnaires du Queyras est celui d'un développement tourné d'avantage vers un tourisme durable que vers un tourisme de masse pouvant (à terme) dégrader l'environnement. Les taux de variation utilisées pour évaluer la progression des surfaces urbanisées sont les mêmes que ceux observés pour la période 1957-2009 mais les chances pour que ces taux se maintiennent sont relativement faibles.

2. 3. Scénario 3 : Développement de l'agro-bioénergie

Alors que la décennie 2010 a été marquée par une baisse significative du prix des matières premières (énergétiques, agricoles et minières), la tendance s'est brutalement inversée au début des années 2030. En dépit d'une forte croissance de la demande, la production d'énergies fossiles et nucléaire stagne. En cause, la raréfaction des ressources et l'instabilité chronique qui règne dans la plupart des pays producteurs (Moyen Orient, Maghreb, Niger, Venezuela, Iran, Russie, etc.). Le cas des hydrocarbures est significatif. Depuis que la guerre économique, opposant les pétromonarchies du Golfe aux producteurs nord-américains a pris fin, les pays fournisseurs se sont accordés sur l'imposition de nouveaux quotas et le prix du baril de brut s'est envolé bien au-delà de la barre des 100 $. Bien que dans des proportions moindres, les produits agricoles suivent la même trajectoire. En effet, le prix élevé des hydrocarbures a dopé la production de bio-carburants, entraînant une hausse conséquente du prix des denrées alimentaires. Afin de sécuriser ses approvisionnements et de réduire le déficit de la balance commerciale de ses pays membres, l'Europe investit *via* la PAC des sommes importantes pour moderniser son agriculture et développer des sources d'énergie alternatives (bois, agro-carburants, énergies renouvelables, etc.). Pour assurer la mise en œuvre de ces politiques, l'État transfère de nombreuses compétences aux régions dont l'autonomie s'accroît. Ce changement de paradigme incite la Région PACA à mettre en valeur les territoires de montagne qu'elle avait quelque peu négligés jusqu'alors. Le Queyras obtient des fonds pour développer ses activités agro-pastorales et sylvicoles à des fins énergétiques. À l'initiative de l'ONF, des chemins forestiers sont aménagés pour faciliter l'accès aux mélézins les plus proches des fonds de vallée. Les forêts, situées sur les adrets peu escarpés, sont rapidement exploitées pour produire du bois d'œuvre et du bois de chauffage. Les déchets de l'industrie du bois sont transformés en granulés pour poêle à bois ou vendus tels quels afin de produire du bio-carburant. Les sanctions prises par l'UE à l'encontre de la Russie assurent des débouchés au mélèze queyrassin et la production est facilement écoulée d'une année sur l'autre. En marge de cette activité, d'autres filières à vocation énergétique gagnent en importance. Avec près de 300 jours d'ensoleillement par an et de nombreux torrents et rivières torrentielles, le Queyras se révèle propice au développement des énergies solaires et hydroélectriques. Dans le cadre du projet « énergie-climat » du PNRQ, une petite installation solaire voit le jour en périphérie de Saint-Véran. Le désengagement de l'État dans la gestion des milieux permet également la privatisation et la modernisation des microcentrales hydro-électriques d'Aiguilles et de Moline-en-Queyras. Grâce aux subventions allouées par la PAC aux filières participant à la production de bio-carburant de seconde génération (éthanol cellulosique), l'agriculture connaît un regain significatif. Les agriculteurs qui produisent des céréales sont désormais assurés de revenus stables, ce qui entraîne l'installation de nouveaux exploitants. Rapidement, les anciennes terres agricoles sont remises en culture. De même, la hausse des prix des produits carnés permet le maintien de l'élevage traditionnel. Cette transformation du paysage est favorable à l'économie touristique. Le caractère agricole du paysage donne un aspect « terroir », ce qui n'est pas pour déplaire aux touristes originaires des grandes agglomérations urbaines. Ce fait incite les gestionnaires queyrassins à accélérer la mise en valeur du patrimoine historique relatif à la paysannerie traditionnelle (écomusée, maisons traditionnelles, chalets d'estive, etc.). L'image authentique du territoire est utilisée pour renforcer et développer l'artisanat et la gastronomie locale. Dans le cadre de la décentralisation amorcée par l'État, le Queyras obtient, de la part de la Région PACA, l'installation à Aiguilles d'une école proposant des formations en lien avec les filières du bois et du solaire. L'entreprenariat s'en trouve stimulé, entraînant une accélération de la création de richesses et d'emplois dans le territoire. Les mutations économiques entraînent un accroissement des surfaces urbanisées via notamment l'extension des zones artisanales. Pour protéger les nouveaux enjeux exposés aux risques, les gestionnaires queyrassins peuvent s'appuyer sur une filière bois passée maître dans la production d'ouvrages d'art ne dénaturant pas le paysage.

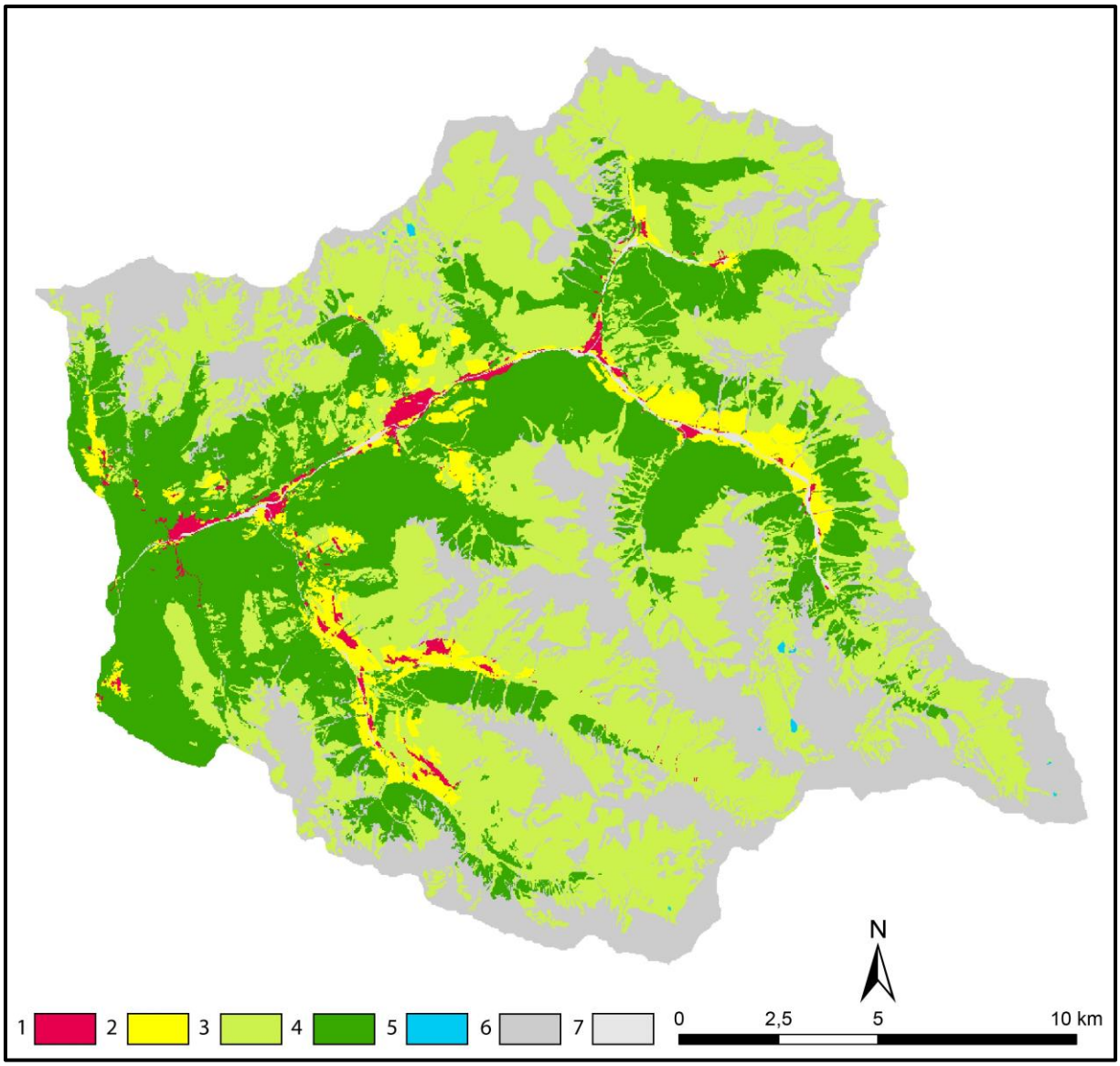


Figure 10. 11. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2050 pour le scénario S3 « Développement de l'agro-bioénergie ». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâties, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions.

En 2050 (Fig. 10. 11.), si l'aspect du territoire a changé, il n'en reste pas moins proche de ce qu'il était à la fin des années 2010. En dépit d'une exploitation accrue des ressources forestières, les surfaces boisées ne diminuent que légèrement grâce aux plantations effectuées par l'ONF. Le maintien des activités pastorales a permis de maintenir les milieux ouverts. En revanche, des conflits d'usages apparaissent entre éleveurs et agriculteurs concernant l'accès aux zones de pâture et le prix du fourrage. Les gains en termes d'espaces agricoles ont été significatifs mais se sont pour l'heure concentrés sur la vallée des Aigues où les terrains sont plus faciles d'accès. Le bâti s'est étendu pour faire face à l'accroissement du nombre de résidents permanents et répondre à l'installation de nouvelles PME. À l'exception d'Aiguilles, qui jouit d'une situation centrale dans le Queyras, l'urbanisation est néanmoins restée relativement modérée. Le tourisme estival est encore important mais il ne tient plus une place aussi importante que par le passé dans l'économie du territoire. Le tourisme hivernal perdure encore mais décline en raison de la raréfaction de la neige.

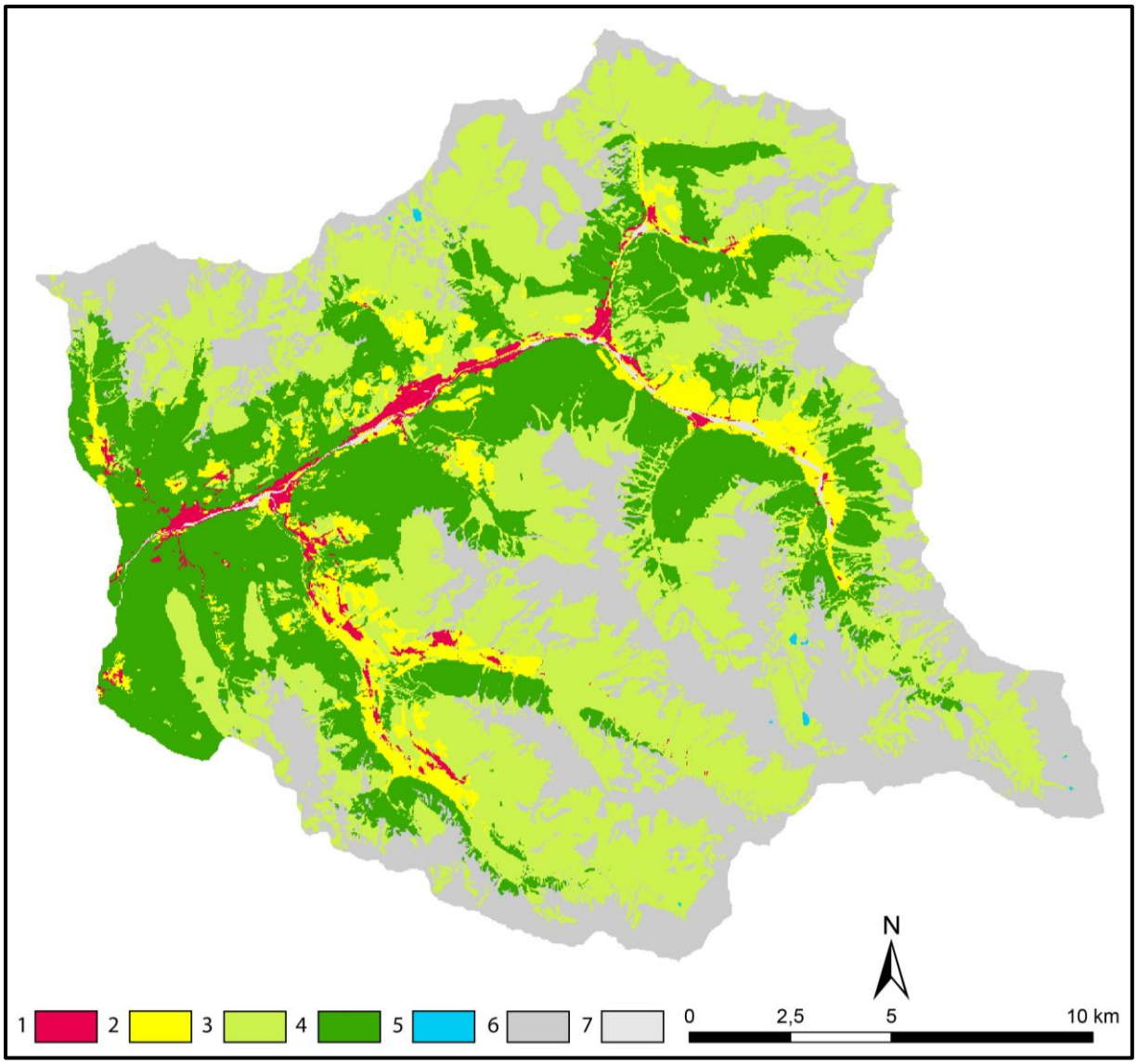


Figure 10. 12. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2100 pour le scénario S3 « Développement de l'agro-bioénergie ». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâties, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions.

En 2100 (Fig. 10. 12.), la vocation principale du territoire est avant tout agricole et sylvicole. Depuis 2050, l'intérêt pour l'agriculture de montagne s'est accru et d'importantes surfaces ont été remises en culture dans la vallée des Aigues et dans le fond de la vallée du Guil. D'abord vouées à produire des bio-carburants, ces cultures se sont peu à peu tournées de nouveau vers la production de denrées alimentaires. Dans un contexte de changement climatique global et de croissance de la population mondiale, la sécurisation de l'alimentation est en effet devenue une priorité pour l'État et l'Union européenne. La PAC a été réorientée pour inciter les agriculteurs à modifier leurs pratiques dans ce sens. La situation tend à évoluer vers un retour à l'agro-pastoralisme. Le changement climatique a en effet allongé la durée d'estivage et la demande en produits laitiers n'a cessé d'augmenter grâce à l'ouverture des marchés asiatiques. Les surfaces enherbées progressent au détriment de la forêt mais dans des proportions qui restent modérées. Une gestion raisonnée des surfaces forestières assure le maintien et la modernisation des activités sylvicoles. Les politiques de formation ont permis le développement des PME sur le territoire : désormais, une part importante du bois est transformée directement dans le Queyras. L'urbanisation s'est accrue dans le fond de la vallée du Guil en raison du déclassement d'un certain nombre d'espaces autrefois exposés au risque avalanche. L'économie

touristique est devenue marginale depuis 2060-2070, date à laquelle les stations de sports d'hiver ont définitivement fermé.

Le scénario S3 « **Développement de l'agro-bioénergie** » table sur une forte augmentation des prix des matières premières agricoles et énergétiques en lien avec une croissance soutenue de l'économie et de la démographie mondiale. Si ces hausses sont effectivement à prévoir, il n'est en revanche pas assuré qu'elles puissent entraîner un regain de l'agriculture et de la sylviculture dans les espaces de haute montagne. En dépit d'un dynamisme croissant, ces espaces pâtissent encore de leur image de périphérie. Leur faible démographie couplée aux nombreuses contraintes d'ordre topographique et météorologique en font des espaces moins rentables à court terme et, par conséquent, moins attractifs pour les investisseurs privés. Qui plus est, ce scénario implique que la population résidente dans le Queyras s'accroisse. Or si le prix des énergies augmente, il y a fort à parier que les coûts de transport suivent la même tendance. Si c'est le cas, le Queyras risque fort de perdre de son attractivité en raison de son enclavement marqué.

2. 4. Scénario 4 : Abandon collectif du territoire

En raison d'une brusque détérioration de la situation économique mondiale, l'année 2020 marque un tournant dans l'histoire du XXI^{e} s. Après une décennie d'inflation, la bulle spéculative de l'immobilier chinois éclate et provoque une crise de la dette sans précédent dans le pays. Avec l'effondrement de la deuxième puissance économique mondiale, c'est l'ensemble de la sphère financière qui est ébranlée. Ce nouveau choc, survenu moins de dix ans après la fin de la « crise des *surprimes* » (2007-2011), menace d'affecter durablement le niveau et la qualité de vie des populations. La France n'est pas épargnée par cette nouvelle crise économique. Ses entreprises, très présentes sur les marchés financiers, la subissent de plein fouet. En dépit d'efforts considérables de la part du gouvernement, les plans sociaux se multiplient et le chômage augmente, entraînant une paupérisation de l'ensemble de la société. Avec la hausse généralisée des taux d'intérêt, la dette publique se creuse, contraignant le gouvernement à mettre en place des mesures drastiques d'austérité. Le nombre de fonctionnaires est revu à la baisse et la privatisation des services publics s'accélère. Dans une logique fédéraliste, l'État se désengage progressivement de l'échelon local, au profit des régions. Le transfert des compétences vers les collectivités territoriales s'accentue et celles-ci gagnent en autonomie. Dans ce contexte, la Région PACA est seule maîtresse de l'aménagement de son territoire. Or, face aux importants mouvements sociaux qui secouent l'agglomération marseillaise et les villes satellites de la cité phocéenne, elle fait peu de cas de ses espaces périphériques de montagne, faiblement peuplés. Dans ce contexte, la situation du Queyras n'est guère florissante. La baisse généralisée du pouvoir d'achat, l'augmentation du temps de travail et allongement de l'âge légal de départ à la retraite ont porté un coup sévère à l'économie touristique queyrassine. Les saisons estivales et hivernales se sont réduites comme peau de chagrin et le nombre de touristes a considérablement diminué. Pire, les vacanciers ayant encore les moyens de partir se tournent désormais vers des destinations moins chères et plus accessibles. En 2040, la pénurie de neige et le manque de rentabilité des stations de sports d'hiver conduisent à leur fermeture définitive. Faute de moyens pour retirer les infrastructures, celles-ci demeurent *in situ,* donnant au territoire un aspect quelque peu désolé. Dans ce contexte, la capacité d'accueil du Queyras décline et les commerçants mettent tour à tour la clé sous la porte. La réduction du nombre de touristes et le désengagement des instances étatiques et européennes de la gestion des milieux, conduisent à un désintérêt croissant pour la préservation de l'environnement. La crise économique a rendu caduques les accords internationaux sur le climat et la transition énergétique n'a pas pu avoir lieu. L'influence du PNRQ s'est vue considérablement réduite et la gestion de l'environnement répond dorénavant à des préoccupations plus économiques qu'écologiques. Or, en raison des difficultés d'accès aux forêts, les activités sylvicoles sont restées marginales dans le Queyras. Les forêts ne sont donc pas entretenues et

les paysages se ferment sous l'effet combiné du morcellement du foncier et de la recolonisation spontanée des versants. Ce processus est d'autant plus grave que les champs et estives ne sont plus entretenus par suite de la disparition des derniers paysans, asphyxiés par la suppression de la PAC et l'importation massive de produits agricoles à bas coûts. Les prix du foncier et de l'immobilier chutent, les recettes des communes diminuent et le territoire se vide peu à peu. Faute de personnel et d'argent, les communes queyrassines ne sont plus en mesure d'entretenir les berges et les ouvrages de protection hydraulique qui les prémunissaient jusqu'alors des crues ordinaires. Confrontée aux coupes budgétaires, la région PACA et les services de la RTM n'ont plus les moyens de mener un suivi régulier du glissement du Pas-de-l'Ours. Années après années, il continu sa décente inexorable vers le fond de la vallée du Guil. En dépit d'une catastrophe annoncée, aucune mesure d'envergure n'est prise par l'Etat. Les mairies d'Abriès et d'Aiguilles sont désormais seules. Au vu de leurs faibles moyens, elles doivent se contenter de curer le Guil quand les dépôts du glissement menacent de faire barrage aux écoulements de la rivière.

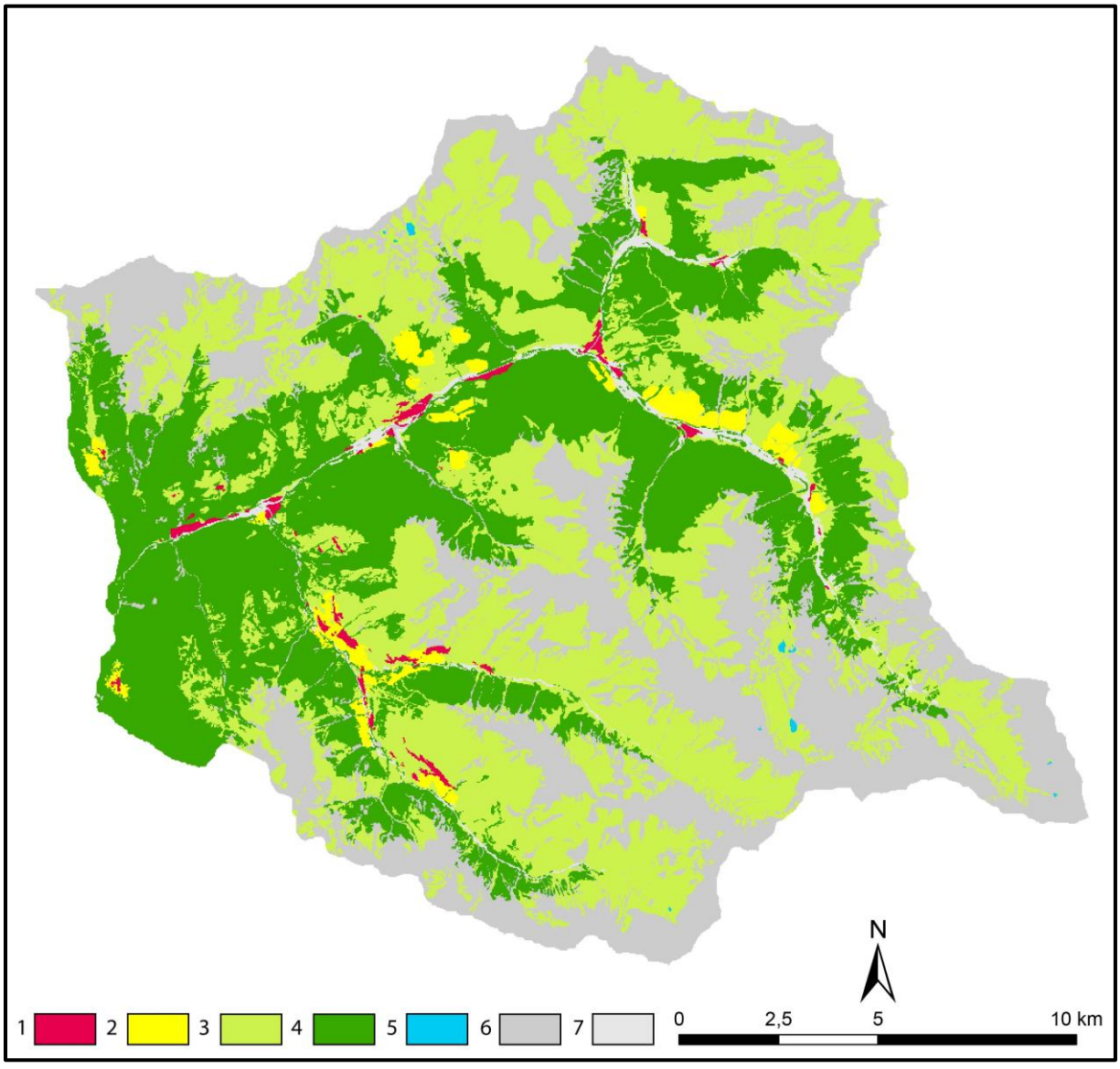


Figure 10. 13. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2050 pour le scénario S4 « Abandon collectif du territoire». Classes d'occupation du sol : 1 – espaces bâtis, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions.

En 2050 (Fig. 10. 13.), l'aspect du Queyras a déjà profondément changé. Trente années de marasme économique ont profondément imprimé leur marque sur le territoire, lui donnant un aspect non seulement plus sauvage mais également moins hospitalier. Suite à l'abandon des activités agropastorales et sylvicoles, les surfaces forestières se sont étendues au détriment des anciennes zones de culture et de pâture. Les faibles dotations du PNRQ ne lui permettent plus de gérer efficacement les milieux ouverts, pourtant riches en biodiversité. Ils s'embroussaillent peu à peu et régressent, entraînant un appauvrissement de la faune et de la flore locale. Sur le plan financier, les communes ne se portent pas mieux. Faute d'investissement, le réseau routier s'est fortement dégradé, amplifiant l'enclavement du territoire. La réduction du nombre de touristes et la fuite d'une partie des acteurs économiques ont conduit à une désertion des hameaux les plus isolés. Les routes et chemins y conduisant ont par ailleurs été fermés afin de réduire les coûts de fonctionnement des communes (route menant à Soulier et aux Meriès, route du sommet du Bûcher, route de Valpréveyre, route du Lombard). L'habitat s'est recentré sur les principaux bourgs et nombre de maisons tombent en ruine faute d'acquéreurs. Malgré un accroissement des surfaces végétalisées, le Queyras a subi une crue catastrophique qui a durement touché les communes de la vallée du Guil. Si les changements climatiques en sont la cause première, c'est bien l'obsolescence des mesures de protection et le non entretien des ripisylves qui en ont fait un événement catastrophique.

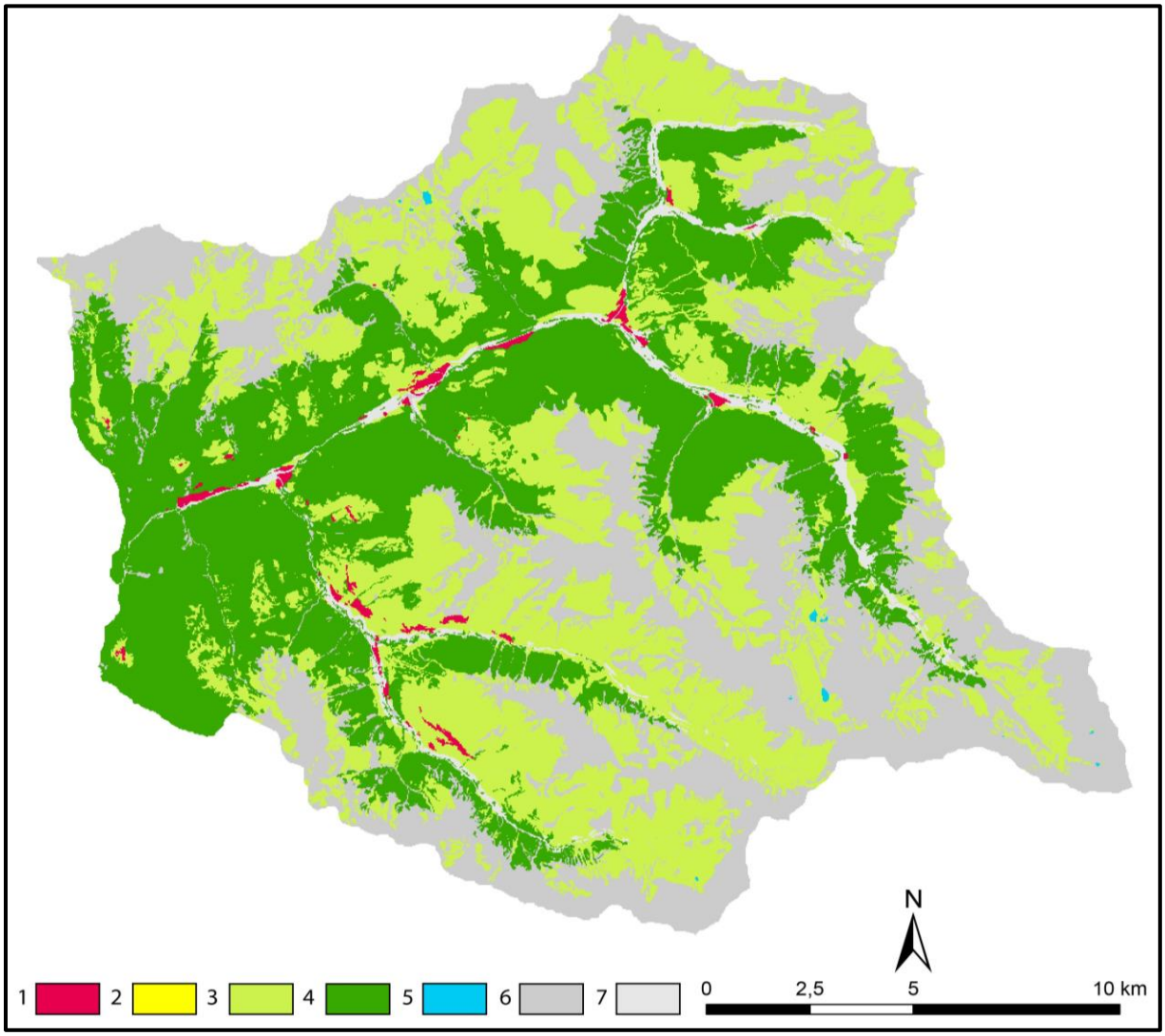


Figure 10. 14. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2100 pour le scénario S4 « Abandon collectif du territoire ». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâties, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions.

En 2100 (Fig. 10. 14.), la situation du Queyras ne s'est guère améliorée. Quand bien même la crise économique de 2020 n'est plus qu'un mauvais souvenir, le mal est fait. L'essentiel des commerces ont fait faillite sans être remplacés et la plupart des infrastructures de tourisme sont en piteux état faute d'investissement et d'entretien. Le territoire, progressivement abandonné par l'État et la Région, ne dispose plus de services publics (poste, école, hôpital, etc.). D'un commun accord, les villages ont décidé de ne plus soutenir le parc en raison de sa perte de prestige. De l'ancien PNRQ, il ne reste que la Réserve de biosphère du Mont Viso dont la renommée internationale permet encore la sauvegarde. Les villages ont vu leur nombre d'habitants diminuer à cause des difficultés économiques, de l'exposition accrue au risque torrentiel et du vieillissement de leur population. Désormais, les villages s'apparentent davantage à de gros hameaux et leur fréquentation se borne à quelques randonneurs avertis ou nostalgiques. Compte tenu de leur non-entretien, les paysages se sont considérablement fermés et il ne reste plus trace des anciennes cultures et estives. Bien qu'ayant gagné en superficie, les forêts ne se portent pas bien. Le mélèze et le pin cembro, qui faisaient autrefois l'originalité du Queyras, ont beaucoup souffert des impacts du changement climatique. Les sécheresses successives et la récurrence des attaques de parasites (champignons, chenilles, etc.) ont ravagé leur population et leur niche écologique est peu à peu occupée par des essences autrefois absente du territoire (chêne vert, buddleia, etc.).

Le scénario S4 **« Libéralisation et abandon collectif du territoire »** est l'archétype même du scénario catastrophique. Il table sur une conjonction de facteurs défavorables qui, si elle n'est pas tout à fait impossible, reste néanmoins peu probable dans le contexte actuel et sur un pas de temps séculaire. Si un tel scénario venait à se produire, des contre-mesures ne manqueraient pas d'être rapidement mises en place par les différentes institutions concernées. Or ce scénario dresse un portrait peu flatteur des dites institutions en leur attribuant (fort injustement) une passivité coupable. L'objectif n'était pas ici de dresser un scénario « réaliste » mais plutôt de présenter un cas qui puisse être mis en opposition avec les autres scénarios proposés. Nul doute que les gestionnaires du Queyras sauront prendre les décisions qui s'imposent avant qu'un tel scénario ne se réalise.

Conclusion

Les scénarios sont des outils efficaces pour mener à bien des études prospectives dans le champ environnemental. Si l'idée n'est pas nouvelle, les récents progrès dans le domaine de la modélisation en ont fait des outils incontournables pour évaluer la capacité d'adaptation des sociétés au changement global (Pérez-Soba *et al*., 2015 ; Verkerk *et al*., 2016 ; Houet *et al*., 2017). L'élaboration de modèles de changements d'occupation du sol requiert des données précises et un certain savoir-faire. Néanmoins, les scénarios en eux-mêmes sont faciles à produire et aisément transposables à n'importe quel contexte socio-économique ou territorial. De plus, ils sont facilement intelligibles et très visuels de par l'association de récits avec des éléments cartographiques. Le fait qu'ils puissent être construits en partenariat avec les acteurs du développement des territoires en font des supports intéressant pour initier des démarches en accord avec les principes de la gestion intégrée (à l'image de ce qui a été réalisé sur la commune de Cauterets par nos partenaires de l'ANR SAMCO ; Houet *et al*., 2015, 2017). Couplées avec des données hydro-climatiques, les cartes produites dans le cadre de scénarios de changements d'occupation du sol peuvent être employées dans d'autres types de modélisations pour sonder les comportements futurs des aléas naturels (modèles de susceptibilité aux glissements de terrain, modèles hydrauliques de crues etc.). En cela, les scénarios produits pourraient s'avérer utile pour aider les gestionnaires des risques à mieux appréhender le futur de leur territoire.

Quatre scénarios de changement d'occupation du sol ont été élaborés pour le Queyras. Ils nous ont permis d'explorer différentes trajectoires d'évolution possibles du territoire et les impacts probables de ces évolutions en matière de risques. Les scénarios proposés exacerbent volontairement certaines tendances socio-économiques afin de présenter des trajectoires d'évolution bien différenciées.

Dans le scénario S1 : « Protection environnementale accrue », le contexte socio-économique est favorable à un développement durable du territoire. En termes d'occupation du sol, une telle gestion se traduirait par un accroissement important des surfaces forestières et prairiales au détriment des surfaces cultivées. L'accroissement des surfaces forestières sur les versants et dans les fonds de vallée (ripisylve) pourrait avoir des effets bénéfiques sur la stabilisation des sols, l'infiltration et le ruissellement voire sur l'atténuation des ondes de crue. Ces modifications de l'occupation des sols devraient donc entraîner une réduction des risques liés aux crues torrentielles et aux glissements de terrain. Dans le contexte actuel, c'est le scénario qui apparaît comme le plus vraisemblable.

Dans le scénario S2 : « Progression et diversification touristique », les gestionnaires queyrassins font le choix de se tourner vers un tourisme de masse, peu respectueux de l'environnement naturel. Un tel scénario devrait se traduire par une augmentation significative des espaces urbanisés au détriment du milieu naturel et des surfaces agricoles. L'augmentation des enjeux sur les versants et dans les fonds de vallée impliquerait un accroissement de l'exposition aux risques torrentiels et gravitaires. Cette augmentation des risques serait plus perceptible en ce qui concerne les crues car l'artificialisation des sols engendrerait un ruissellement plus important et une disparition quasi-totale des milieux rivulaires. Après le scénario S1, c'est sans doute le scénario qui a le plus de chance de se produire dans le Queyras.

Dans le scénario S3 : « Développement de l'agro-bioénergie », la stratégie du territoire queyrassin est fondée sur le développement des filières agricoles et sylvicoles. Ce scénario se caractérise par une augmentation significative des parcelles cultivées et des estives au détriment des surfaces forestières. Si de tels changements venaient à survenir, les incidences sur les risques seraient ambivalentes et complexes. D'une part, l'accroissement des milieux ouverts pourrait favoriser l'infiltration des eaux pluviales (et donc réduire le ruissellement), mais d'autre part, la réduction des surfaces forestières pourrait réduire la stabilité des versants. Sans être pour autant fantaisiste, ce scénario est cependant moins probable que les scénarios S1 et S2 dans le contexte actuel.

Dans le scénario S4 : « Abandon collectif du territoire », il n'y a plus aucune stratégie de développement à l'échelle du Queyras. Dans ce scénario, le territoire tend peu à peu à se dépeupler et les paysages à se fermer du fait de l'abandon des pratiques agro-pastorales et du non-entretien des milieux ouverts. Les surfaces boisées progressent très fortement au détriment des prairies et des surfaces cultivées. Malgré l'accroissement des surfaces forestières, les risques tendent à augmenter du fait de l'obsolescence des mesures de protection et de l'absence totale de gestion concerté des risques d'origine naturelle. Ce scénario catastrophe s'inscrit dans le cadre d'une crise économique mondiale aboutissant à l'effondrement de nos sociétés occidentales. Il a donc vraisemblablement peu de chance de se produire.

À travers les scénarios développés, nous avons envisagé plusieurs futurs pour le Queyras. Ces futurs, nous les avons exprimés au travers de cartes d'occupation du sol à horizon 2050 et 2100. Pour l'heure, nous nous sommes bornés à une interprétation qualitative des risques futurs liés à ces scénarios. Dans des travaux ultérieurs, nous tâcherons d'améliorer ces scénarios et d'exploiter les cartes d'occupation du sol produites pour mener à bien des analyses quantitatives sur les aléas et les risques. Plusieurs perspectives s'offrent à nous. Nous pourrions ainsi inclure les cartes d'occupation du sol créés dans une modélisation exploratoire de la susceptibilité aux glissements de terrain, à l'image de ce qui a été fait par Houet *et al.* (2017). Nous pourrions également introduire les cartes d'OS dans le modèle hydraulique afin d'étudier le rôle des changements de l'occupation du sol sur le ruissellement et sur la concentration des eaux pluviales. Ce faisant nous serions en mesure de fournir des scénarios de crue

adaptés aux besoins des gestionnaires queyrassins. Pour ce faire, il nous faudrait travailler sur les données climatiques issues des scénarios élaborés par le GIEC, ce qui n'a pour l'heure pas été effectué.

Conclusion générale

À travers l'exemple du bassin du Haut-Guil (ou Queyras), l'objectif de cette thèse était de contribuer à l'étude des risques en milieux montagnards. Ces derniers, on l'a vu, sont des systèmes complexes qui présentent de fortes prédispositions aux aléas torrentiels et gravitaires. Le Queyras est presque un cas d'école en la matière puisqu'il est sujet aussi bien aux crues torrentielles, qu'aux avalanches, glissements de terrain et chutes de blocs. C'est un territoire qui a, de plus, connu d'importantes modifications de son occupation du sol au XX^{e} s. et qui dispose aujourd'hui de nombreux enjeux exposés au risque. Depuis le début des années 2000, une succession de catastrophes a conduit les gestionnaires locaux à s'engager dans la voie d'une gestion plus intégrée des risques. Le contexte queyrassin était donc très intéressant à étudier car il illustre bien les enjeux actuels et futurs des milieux montagnards européens. Evaluer les risques dans le Queyras nécessitait de bien appréhender le fonctionnement et les interactions des composantes physiques et humaines du « système queyrassin ». Cette thématique des risques, nous avons donc choisi de l'aborder selon différents angles. Tout d'abord, nous nous sommes attachés à identifier les facteurs prédisposant, déclenchant et aggravant les risques dans le Queyras. Par la suite, ce sont les processus physiques à l'origine des risques qui ont été étudiés via l'exemple du bassin du Peynin. Une fois ces tâches effectuées, nous avons cherché à spatialiser les aléas passés et présents relatifs aux crues torrentielles, aux glissements de terrain et aux avalanches. Nous avons ensuite caractérisé la vulnérabilité du Queyras dans ses composantes biophysique et sociale. Pour finir nous avons procédé à une analyse des risques présents et futurs et de leur gestion à l'échelle du Queyras et de ses six communes. Bien que la présente thèse ne prétende pas démêler toute la complexité du « système risque queyrassin », elle aura néanmoins largement contribué à mieux appréhender son fonctionnement. Après un récapitulatif des principaux résultats obtenus, nous expliciterons l'apport de nos travaux puis nous présenterons nos perspectives futures de recherches.

Dans la première partie de la thèse (chapitres 1 et 2), nous nous sommes attachés à identifier les facteurs concourant à la prédisposition, au déclenchement et à l'aggravation des risques dans le Queyras. Identifier ces facteurs était essentiel, aussi bien pour comprendre le fonctionnement du système que pour nos modélisations ultérieures des aléas.

Dans le chapitre 1, nous nous sommes tout d'abord appliqués à décrire le contexte physique et humain dans lequel s'inscrit le bassin-versant du Haut-Guil. Ce travail, basé principalement sur la bibliographie et les observations de terrain, nous a permis d'identifier les principaux facteurs prédisposant le Queyras aux aléas torrentiels et gravitaires : 1) le contexte géologique régional et local, 2) la dynamique glaciaire pléistocène et les réajustements morpho-sédimentaires holocènes et, 3) les actions anthropiques sur le milieu physique. Le contexte géologique régional joue un rôle fondamental dans l'organisation des reliefs et dans la fourniture de matériaux mobilisables au système géomorphologique actuel. Les réajustements post-glaciaires expliquent les formes et modelés actuels du bassin. Ils sont responsables de la permanence d'importants volumes de sédiments sur les versants et dans les fonds de vallées et de la présence de vastes complexes de glissements de terrains fossiles pouvant se réactiver. Les actions anthropiques, à travers leurs impacts sur l'occupation et les usages des sols, ont contribué à déstabiliser les versants, à transformer les dynamiques naturelles et à accroître le nombre d'enjeux potentiellement exposés aux risques.

Dans le chapitre 2, nous nous sommes intéressés aux facteurs déclenchant et aggravant en menant une rétrospective des catastrophes qui se sont déroulées dans le Queyras. Ce travail nous a permis de mettre en évidence le rôle fondamental des épisodes de retours d'est dans la genèse des crues, des avalanches, mais aussi des glissements de terrain. L'analyse des crues catastrophiques passées a

également soulevé le rôle crucial des sédiments. Les observations, réalisées pendant et après ces événements, ont montré que les endommagements étaient davantage liés aux matériaux transportés par les cours d'eau que par les flots eux-mêmes. Elles ont également montré que, pour des forçages climatiques similaires, les crues n'avaient pas forcément la même ampleur. Ces éléments nous ont amenés à nous interroger sur le degré de maturation des stocks sédimentaires et sur les processus et relais de processus qui conditionnent leur déstockage.

Dans la deuxième partie de la thèse (chapitres 3 et 4), nous nous sommes intéressés au fonctionnement géomorphologique du bassin-versant du Peynin, le sous-bassin affluent du Guil qui avait fourni les plus importants volumes de sédiments lors des crues de 1957 et 2000. L'objectif de ce travail était d'analyser le fonctionnement de ce petit bassin-versant en adoptant une approche par le budget sédimentaire de manière à définir l'origine et les modalités d'exports des sédiments mobilisés lors de crues de basse fréquence et de haute magnitude (crue BFHM). Ce travail a nécessité d'étudier en détail les stocks et les flux de sédiments.

Dans le chapitre 3, nous avons procédé à la caractérisation, à la cartographie et à la quantification des stocks sédimentaires du Peynin. De cette étude, il est ressorti que le bassin du Peynin dispose de stocks considérables dont la mise en place résulte de processus multiples, variables aussi bien dans le temps que dans l'espace. En termes de surface, les principaux stocks sédimentaires du Peynin sont constitués par de vastes glissements de terrain en rive droite du Peynin (44 %), des éboulis au niveau des crêtes (28 %), des dépôts d'éboulement (4 %) et des cônes de déjection (4 %) en rive gauche du Peynin et, des plaines alluviales dans le fond de vallée (1 %). À travers l'utilisation de deux modèles combinant analyse morphométrique, analyse statistique, interprétation de profils de sismique réfraction et modélisation géomatique, les volumes de sédiments stockés dans le bassin ont pu être estimés entre 0,460 km^3 et 0,135 km^3. Dans un cas comme dans l'autre, l'essentiel des sédiments apparaît stocké sur le versant de rive droite du Peynin, dans les vastes complexes de glissements de terrain.

Dans le chapitre 4, on s'est intéressé aux flux sédimentaires internes au bassin. Après avoir formalisé la cascade sédimentaire, nous avons procédé à la quantification des flux sédimentaires relatifs aux principaux processus géomorphologiques œuvrant dans le bassin. Cela étant, il nous a été possible d'établir un budget sédimentaire du bassin-versant du Peynin sur une période de 20 ans. Les travaux réalisés ont permis d'identifier les processus et les sous-bassins du Peynin qui contribuent le plus aux exports sédimentaires vers le Guil. Alors que l'essentiel des sédiments est stocké sur le versant de rive droite du Peynin, c'est le versant de rive gauche qui contribue le plus aux exports de matériaux. Cette contribution est principalement le fait des laves torrentielles qui se déclenchent dans les ravins situés à l'amont du bassin. La formalisation du budget sédimentaire a permis de mettre en avant le fonctionnement binaire du bassin. Ce dernier ne produit d'exports sédimentaires importants que lors des crues les plus exceptionnelles. Pour comprendre ce fait et mesurer l'efficience de la cascade sédimentaire, nous avons procédé à l'analyse de la connectivité fonctionnelle du bassin. Celle-ci a mis en évidence un découplage entre impulsion climatique et réponse des stocks sédimentaires. Ce découplage apparaît principalement lié à l'état de maturation des stocks sédimentaires. D'après nos estimations, un cycle de 60 à 80 ans est nécessaire pour préparer les stocks sédimentaires à réagir à un événement hydrométéorologique entraînant d'importants flux sédimentaires.

Dans la troisième partie de la thèse (chapitre 5), nous nous sommes évertués à définir l'emprise des aléas à l'origine des principaux risques dans le Queyras : les crues torrentielles, les glissements de terrain et les avalanches. Plusieurs méthodes et techniques de modélisation ont été employées pour ce faire.

Pour définir les emprises de l'aléa « **crue torrentielle** » six cartes ont été produites. Deux de ces cartes figurent des événements passés ayant particulièrement marqué les esprits des queyrassins, à savoir les crues de juin 1957 et juin 2000. Ces cartes ont été produites par **analyse diachronique** de photographies aériennes verticales. Les quatre autres cartes produites sont le fruit de **simulations hydrauliques** de crues de fréquence et d'intensité croissante : crue décennale, crue trentennale-cinquantennale (type juin 2000), crue centennale et crue supra-centennale (type juin 1957). Les cartes produites montrent une forte exposition à l'aléa torrentiel de l'ensemble des communes de la vallée du Guil. Cette exposition est moindre pour les communes des vallées des Aigues.

Pour caractériser l'aléa « **glissement de terrain** », nous avons choisi de réaliser une carte de **susceptibilité aux glissements de terrain**. Le modèle, dont est issue cette carte, est fondé sur le principe de **régression logistique ordinaire**. Plusieurs facteurs de prédisposition ont été testés : la lithologie, le pendage, l'occupation du sol, des indices de pente (gradient, curvature et orientation) et les formations superficielles. D'après la carte produite, les versants les plus susceptibles de donner lieu à des glissements de terrain sont les versants schisteux exposés sud-ouest, conformes aux pendages des schistes et recouverts essentiellement de pelouses et de pâturages. La carte de susceptibilité suggère une faible exposition à l'aléa glissement de terrain pour toute la partie ouest du Queyras (« Queyras calcaire ») et une exposition forte pour sa partie est (« Queyras schisteux »).

Pour cartographier l'aléa « **avalanche** », les emprises maximales des avalanches identifiées dans les **cartes de localisation des phénomènes d'avalanche** (CLPA) de 2001 ont été reprises sur SIG. La cartographie a été complétée par l'ajout de nouvelles emprises dans des secteurs non-couverts par les CLPA (bassins versants du Ségure, du Bouchet et de Soulier). Plusieurs emprises avalancheuses connues et identifiées dans les CLPA ont également été modifiées pour tenir compte des événements exceptionnels de décembre 2008 (plusieurs avalanches avaient, à cette occasion, dépassé leur emprise maximale connue). La cartographie réalisée montre une forte exposition des communes jouxtant la frontière avec l'Italie : Ristolas, Abriès, Molines-en-Queyras et Saint-Véran.

Dans la quatrième partie de la thèse (chapitres 6, 7 et 8), nous nous sommes efforcés de caractériser la vulnérabilité du territoire et des enjeux queyrassins. La vulnérabilité des enjeux queyrassins a été analysée selon trois prismes : 1) celui des sciences physiques *via* l'analyse des conséquences potentielles des crues, des glissements de terrain et des avalanches sur les enjeux biophysiques du Queyras ; 2) celui des sciences humaines à travers l'analyse des perceptions individuelles et collectives de ces risques et de leur gestion ; 3) celui d'une approche combinée biophysique et socio-économique dans le cadre du *Potential Consequence Index* (PCI).

Dans le chapitre 6, sont présentés les résultats d'une analyse des conséquences potentielles (corporelles directes, structurelles et fonctionnelles directes et indirectes) de trois aléas (crues torrentielles, glissements de terrain et avalanches) sur les enjeux biophysiques du Queyras (bâti, réseaux et sols). Cette analyse a permis d'identifier les enjeux ou catégories d'enjeux les plus susceptibles de causer des conséquences négatives pour le territoire. Face aux crues torrentielles, il s'agit des enjeux récents, à forte valeur socio-économique, situés sur les cônes torrentiels ou dans les fonds de vallée. Face aux glissements de terrain, ce sont les enjeux dotés de fonctions essentielles pour le territoire et construits sur la période 1970 – 2000. Face aux avalanches, ce sont les bourgs anciens où les matériaux traditionnels dominent qui présentent les plus fortes conséquences potentielles. Quel que soit l'aléa

concerné, les conséquences potentielles sur les réseaux et le sol sont fonctions de leur rôle dans le bon fonctionnement du territoire. Ce sont, par conséquent, les principaux axes de transport et les terrains artificialisés (zones bâties, camping et parkings) qui affichent de fortes conséquences potentielles.

Dans le chapitre 7, ont été exposés les résultats de l'enquête de perception des risques menés dans le Queyras. Cette enquête portait sur quatre thématiques principales : 1) la perception des aléas et de leur dangerosité ; 2) la connaissance des risques et de leur gestion ; 3) la diffusion des informations sur les risques et leur gestion ; 4) la confiance envers les gestionnaires et acteurs du risque. Elle était complétée par des cartes mentales qui visaient à mettre en lumière les représentations que se font les Queyrassins des risques dans leur commune de résidence. Les résultats de l'enquête ont permis de dresser un premier bilan de la vulnérabilité sociale des Queyrassins. Dans l'ensemble, ces derniers sont conscients d'être exposés à un ou plusieurs aléas. D'après les réponses données, ce sont les avalanches et les crues torrentielles qui sont perçues comme les plus dangereuses. Pour ces aléas, les zones exposées au risque sont généralement bien identifiées, de même que les impacts potentiels sur les enjeux. En revanche, les queyrassins ont montré une certaine méconnaissance des risques liés aux glissements de terrain. Dans la mesure où cette enquête a été menée avant les événements du Pas de l'Ours, il y a cependant fort à parier que cette tendance se soit inversée depuis. La bonne perception des risques est avant tout liée au vécu des enquêtés donc à leur commune de résidence. Seul point négatif : peu de queyrassins se considèrent eux-mêmes exposés aux risques. Il en résulte que nombres d'entre eux se considèrent suffisamment informés sur les risques et montrent une faible volonté d'en apprendre davantage sur ces derniers. En dépit d'une forte exposition aux aléas, les queyrassins sont globalement peu inquiétés par ces derniers.

Dans le chapitre 8, une méthode visant à combiner les approches biophysiques et sociales de la vulnérabilité a été explorée. Cette méthode, basée sur l'exploitation d'indices semi-quantitatifs, a été testée pour un scénario de crue de basse fréquence et haute magnitude (F.R. > 100 ans). L'objectif était de quantifier simultanément les conséquences physiques et socio-économiques potentielles d'un aléa sur les communautés du Queyras. Pour répondre à cet objectif, la méthode PDI a été améliorée de manière à intégrer des données issues de recensement nationaux et de l'enquête de perception réalisée dans le Queyras. Le nouveau PCI intègre des critères représentant les différentes phases de la gestion des risques : préparation, gestion de crise et récupération. L'une des originalités de ce travail tient à l'intégration du point de vue des queyrassins comme critère déterminant de la vulnérabilité des enjeux. En outre, l'inclusion de variables socio-économiques dans une méthode orientée vulnérabilité physique a permis de nuancer quelques peu les résultats obtenus pour la seule analyse de la vulnérabilité physique. L'intégration de variables socio-économiques ajoute en effet une dimension supplémentaire aux cartes de conséquences produites. La méthode PCI permet donc de comparer rapidement les différentes communes entres elles en fonction de leur résilience aux risques.

Dans la cinquième partie de la thèse (chapitres 9 et 10), nous nous sommes appliqués à analyser les risques dans le Queyras et leurs évolutions probables tout en prenant en considération la gestion qui en est faite à différentes échelles (régionale et locale).

Dans le chapitre 9, nous avons procédé à l'analyse des risques liés aux crues torrentielles, aux glissements de terrain et aux avalanches. Les cartes de risques ont été réalisées en combinant les cartes d'aléas et de vulnérabilités élaborées précédemment. Pour combiner ces deux composantes, nous avons choisi d'employer une matrice de risque élaborée dans le cadre du projet SAMCO.

Pour évaluer les **risques liés aux crues torrentielles**, quatre scénarios d'aléas modélisés ont été considérés. En complément de ces scénarios, l'emprise historique de la crue catastrophique de juin 1957 a été croisée avec la cartographie des conséquences potentielles totales de manière à identifier les risques

liés à un dysfonctionnement des ouvrages de protection linéaires. Dans le scénario décennal, les risques se concentrent essentiellement dans les communes de la haute-vallée du Guil (Ristolas, d'Abriès et d'Aiguilles). Les enjeux exposés sont surtout des enjeux de réseaux et d'occupation du sol. Dans le scénario trentennal-cinquantennal, c'est dans la commune d'Aiguilles que les risques sont les plus importants. Dans les scénarios de crues centennales et supra-centennales, le risque concerne l'ensemble de la vallée du Guil. Dans ces scénarios, les villages d'Aiguilles et de Château-Queyras sont les plus impactés. Les vallées des Aigues présentent également des enjeux exposés au risque, principalement au niveau des hameaux de Pierre-Grosse, du Clôt-la-Chalpe et de La Chalp. Le croisement de l'emprise de la crue de juin 1957 avec les conséquences potentielles totales a permis de mettre en évidence plusieurs secteurs potentiellement impactés en cas de rupture ou de surverse de digue. Les secteurs concernés sont situés sur les cônes de déjection et en arrière des digues. En dépit des importants aménagements réalisés dans la vallée du Guil, c'est dans cette dernière que les risques sont les plus importants. Si les parties anciennes des villages sont relativement épargnées, d'importants enjeux économiques liés au tourisme et à l'artisanat sont en revanche exposés au risque.

Pour évaluer les **risques liés aux glissements de terrain**, la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain a été combinée à la cartographie de conséquences potentielles correspondantes. À l'échelle du Queyras, les risques sont inégalement répartis entre les six communes. Alors qu'ils sont peu présents dans la partie calcaire du Queyras, ils le sont dans sa partie schisteuse. Les espaces les plus exposés au risque sont localisés dans la haute-vallée du Guil et dans les bassins du de l'Aigue Agnelle et de l'Aigue Blanche. La commune de Château-Ville-Vieille est donc relativement épargnée par ce type de risque. Inversement, les communes de Molines-en-Queyras et de Saint-Véran y sont très exposées en raison de leur implantation à flanc de versant, dans des espaces à forte susceptibilité de glissement de terrain. Dans la haute vallée du Guil, la situation est paradoxale. Si la plupart des enjeux sont implantés hors des espaces soumis aux risques (sur les cônes et dans les fonds de vallée), ces derniers pourraient néanmoins être indirectement impactés si un glissement venait à bloquer le cours du Guil ou de l'un de ses affluents. Lors de la crue de juin 1957, le torrent du Ségure a été bloqué par un glissement de terrain et le village de Ristolas a ensuite été totalement engravé suite à la débâcle résultant de la rupture de la masse glissée dans le fond de vallée. Un tel cas de figure pourrait se représenter à Aiguilles si jamais le glissement du Pas-de-l'Ours venait à bloquer le cours du Guil.

Pour évaluer les **risques liés aux avalanches**, la carte de la CLPA modifiée a été croisée avec la carte des conséquences potentielles totales adaptée aux avalanches. La cartographie produite montre une prédominance des risques dans l'est du Queyras, dans les secteurs les plus affectés par les retours d'est. Cette répartition implique des risques importants dans les communes du Haut-Guil et à l'amont des vallées de l'Aigue Agnelle et de l'Aigue Blanche. Les communes du moyen Queyras sont en revanche peu exposées à ces risques. Dans le secteur du Haut-Guil, ce sont les réseaux qui constituent le principal enjeu exposé au risque. Entre Aiguilles et la Roche Écroulée et entre Abriès et le Roux, le réseau routier est fréquemment interrompu par la décente d'avalanche. En conséquence, cette partie du Queyras est fréquemment isolée durant les périodes hivernales. Dans ces communes, des enjeux de bâti sont exposés au risque à L'Échalp, La Monta, Ristolas, La Garcine, Abriès et Valpréveyre. Dans la vallée de l'Aigue Agnelle, le risque est très présent dans les hameaux de Château-Renard et de Pierre-Grosse. Dans la vallée de l'Aigue Blanche, ce sont principalement les infrastructures de la station de ski qui sont menacées. Le risque sur le bâti est en revanche assez faible puisqu'il ne concerne qu'une unique maison dans le hameau de la Chalp.

Dans le chapitre 10, quatre scénarios de changement d'occupation du sol basés sur critères socio-économiques ont été élaborés pour le Queyras. Ils nous ont permis d'explorer différentes trajectoires d'évolution possibles du territoire et leurs impacts probables en matière de risques.

Dans le **scénario S1 : « Protection environnementale accrue »**, le contexte socio-économique est favorable à un développement durable du territoire. En termes d'occupation du sol, une telle gestion se traduirait par un accroissement important des surfaces forestières et prairiales au détriment des surfaces cultivées. L'accroissement des surfaces forestières sur les versants et dans les fonds de vallée (ripisylve) pourraient avoir des effets bénéfiques sur la stabilisation des sols, l'infiltration et le ruissellement voire sur l'atténuation des ondes de crue. Ces modifications de l'occupation des sols devraient donc entraîner une réduction des risques liées aux crues et aux glissements de terrain.

Dans le **scénario S2 : « Progression et diversification touristique »**, les gestionnaires queyrassins font le choix de se tourner vers un tourisme de masse, peu respectueux de l'environnement. Un tel scénario devrait se traduire par une augmentation significative des espaces urbanisés au détriment du milieu naturel et des surfaces agricoles. L'augmentation des enjeux sur les versants et dans les fonds de vallée impliquerait un accroissement de l'exposition aux risques torrentiels et gravitaires. Cette augmentation des risques serait plus perceptible en ce qui concerne les crues car l'artificialisation des sols engendrerait un ruissellement plus important et une disparition quasi-totale des milieux rivulaires.

Dans le **scénario S3 : « Développement de l'agro-bioénergie »**, la stratégie du territoire queyrassin est fondée sur le développement des filières agricoles et sylvicoles. Ce scénario se caractérise par une augmentation significative des parcelles cultivées et des estives au détriment des surfaces forestières. Si de tels changements venaient à survenir, les incidences sur les risques seraient ambivalentes et complexes. D'une part, l'accroissement des milieux ouverts pourrait favoriser l'infiltration des eaux pluviales (et donc réduire le ruissellement), mais d'autre part, la réduction des surfaces forestières pourrait réduire la stabilité des versants.

Dans le **scénario S4 : « Abandon collectif du territoire »**, il n'y a plus aucune stratégie de développement à l'échelle du Queyras. Dans ce scénario, le territoire tend peu à peu à se dépeupler et les paysages à se fermer du fait de l'abandon des pratiques agro-pastorales et du non-entretien des milieux ouverts. Les surfaces boisées progressent très fortement au détriment des prairies et des surfaces cultivées. Malgré l'accroissement des surfaces forestières, les risques tendent à augmenter du fait de l'obsolescence des mesures de protection et de l'absence de gestion concertée des risques naturels.

Dans ce travail de recherche, on a vu que le Queyras était non seulement prédisposé mais aussi fortement exposé aux risques d'origine torrentielle et gravitaire (crues et laves torrentielles, glissements de terrain, avalanches etc.). Pour analyser ces risques, nous avons choisi d'engager diverses études relevant tant des sciences physiques que des sciences humaines. Nous avons cherché par ce moyen à comprendre le fonctionnement du « système risque queyrassin » dans son ensemble, et pas seulement dans sa dimension physique (comme c'est encore trop souvent le cas en géographie des risques). Pour autant, nous n'avons pas négligé l'étude du milieu physique queyrassin, loin s'en faut. À travers l'analyse des facteurs de prédisposition, l'étude des processus et des dynamiques naturelles et la modélisation des aléas, nous avons, en effet, largement contribué à améliorer la connaissance de ce dernier. Nos travaux ont, d'autre part, contribué à mieux appréhender la société queyrassine et son rapport aux risques *via* notamment l'analyse des différentes formes de vulnérabilité (biophysiques, sociales et globale) et la modélisation de scénarios prospectifs. En dépit de certaines limites qui ont d'ores et déjà été exposées à la fin de nos chapitres, les travaux présentés, ci-avant, livrent donc une importante contribution à l'étude des risques dans le Queyras. Sur un plan plus large, ces travaux représentent un apport non-négligeable à l'étude des risques en montagne. Sur le terrain queyrassin, nous avons eu l'occasion de tester la reproductibilité et l'adaptabilité d'un certain nombre de méthodes élaborées pour d'autres secteurs de montagne par nos partenaires du projet ANR SAMCO. En outre, plusieurs méthodes originales ont été développées dans le cadre de nos travaux (modélisation des stocks sédimentaires, utilisation de Pit-Tag en milieu dynamique, élaboration de l'indice des conséquences

potentielles totales etc.). Bien qu'initialement développées pour le Queyras, ces dernières pourraient s'avérer utiles sur d'autres terrains montagnards.

Au-delà du seul aspect scientifique, nos travaux visaient à fournir, aux acteurs et gestionnaires locaux des risques, des connaissances et des données pouvant les aider à accroître la résilience de leurs communautés. C'était d'ailleurs l'objectif premier du projet SAMCO (cf. Introduction). L'un des attendus du projet consistait à construire une plateforme en ligne d'aide à la décision pour les gestionnaires des risques des trois secteurs étudiés (Queyras, Ubaye et Cauterets). La plupart des données produites dans le cadre de cette thèse sont ainsi visualisables sur le démonstrateur du projet à l'adresse : http://demonstrateur.anr-samco.com. Tout au long de ce travail de thèse, j'ai, par ailleurs, eu grand plaisir à communiquer sur nos travaux et à partager nos données avec les acteurs qui se montraient intéressés. À ce titre, nous je suis fier d'avoir été sollicités par le PNRQ, le bureau d'étude SEPIA, les services de la RTM des Hautes-Alpes et les élus queyrassins.

Pour autant, ces travaux de thèse sont loin d'être exhaustifs. Dans un système aussi complexe, les facteurs à prendre en compte étaient nombreux, et leurs interactions multiples. Ne pouvant tous les analyser, il nous a fallu faire des choix. La thématique des risques dans le Queyras est, par conséquent, loin d'avoir livré tous ses secrets et il existe encore de nombreux points à explorer ou à affiner. De nombreuses données de base nous ont fait défaut au cours de ce travail (données hydrauliques, carte géomorphologique détaillée du bassin-versant du Guil, carte des pendages etc.). Dans de futurs travaux, nous projetons ainsi tout d'abord de remédier à ce problème, ce qui nous permettra d'améliorer les différents modèles employés (modèle des épaisseurs de sédiments, modèle hydraulique, modèle de susceptibilité aux glissements de terrain, modèles PDI et PCI). Plusieurs pistes ont déjà été évoquées dans les chapitres correspondants. Une autre perspective serait de développer d'avantage nos travaux en matière de prospective. À ce titre, nous pourrions, par exemple, intégrer les cartes d'occupation du sol issues des scénarios prospectifs dans nos modèles d'aléas. Un travail similaire pourrait être engagé pour intégrer les effets des changements climatiques sur les aléas et donc sur les risques. Une autre voie que nous souhaiterions explorer, est celle du multi – aléa et du multi-risque. Pour le moment, les aléas et les risques ont, en effet, été analysés séparément. Or il est évident que ces derniers sont en synergies les uns avec les autres. Une crue catastrophique aura, par exemple, tendance à déstabiliser les versants par érosion régressive et pourra ainsi générer des glissements de terrain. Et ce n'est là que l'un des exemples possibles. Etudier ces synergies et trouver le moyen de les représenter pourraient constituer une avancée majeure à l'étude des risques en montagne.

Liste des abréviations

AFB – Agence Française pour la Biodiversité

ANR – Agence National de la Recherche

AUC – Area Under the Curve

BFHM – Basse Fréquence et Haute Magnitude

BP – *Before Present*

BRGM – Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CC – Conséquence Corporelle

CLPA – Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalancheux

CNRS – Centre National de la Recherche Scientifique

COMCOM – Communauté de Communes

CSE – Conséquence Socio-Économique

CSF – Conséquence Structurelle et Fonctionnelle

CSP – Catégorie Socio-Professionnelle

CT – Conséquence Totale

DDT – Direction Départementale des Territoires

DREAL – Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DS – Dynamique des Systèmes

EOST - École et Observatoire des Sciences de la Terre

EPCI – Établissements Publics de Coopération Intercommunale

EVS – Environnement Ville Société

GBE – Galets et Blocs Équipés

GEMAPI – GEstion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations

GEODE – GÉOgraphie De l'Environnement

GIEC – Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

IGN – Institut National de l'information Géographique et forestière

INSEE – Institut National de la Statistique et des Études Économiques

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IPGS – Institut de Physique du Globe de Strasbourg

IRSTEA – Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture

LIDAR – *LIght Detection And Ranging*

LIVE – Laboratoire Image, Ville, Environnement

MNT – Modèle Numérique de Terrain

ONF – Office Nationale des Forêts

OS – Occupation du Sol

PAC – Politique Agricole Commune

PACA – Provence-Alpes Côte d'Azur

PAPI – Programmes d'Actions de Prévention des Inondations

PCI – *Potential Consequences Index*

PCS – Plan Communal de Sauvegarde

PDI – *Potential Damage Index*

PERSIL – PERformance Solaire et Industrie Locale

PICS – Plans InterCommunaux de Sauvegarde

PLU – Plan Local d'Urbanisme

PME – Petites et Moyennes Entreprises

PNRQ – Parc Naturel Régional Queyras

PPR – Plan de Prévention des Risques

PPRN – Plan de Prévention des Risques Naturels

PRODIG – Pôle de Recherche pour l'Organisation et la Diffusion de l'Information Géographique

RFID – *Radio Frequency IDentification*

ROC – *Receiver Operating Characteristic*

RTM – Restauration des Terrains de Montagne

SAMCO – *Society Adaptation for coping with Mountain risks in a global change COntext*

SC – *Social Consequence*

SCAMPEI – Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitudes

SCOT – Schéma de COhérence Territoriale

SDAGE – Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SDR – *Sediment Delivery Ratio*

SIG – Système d'Information Géographique

SMA – Systèmes Multi-Agents

TOL – *Tolerance*

UMR – Unité Mixte de Recherche

UNDRO – *United Nations Disaster Relief Organization*

UNISDR – *United Nations International Strategy for Disaster Reduction*

VIF – *Variation Inflation Factor*

Bibliographie

Ahmed T., El-Zein A., Tonmoy F. N., Maggi F. et Chung K. S. K. (2019) – Flood Exposure and Social Vulnerability for Prioritizing Local Adaptation of Urban Storm Water Systems. In: Mathew J., Lim C., Ma L., Sands D., Cholette M., Borghesani P. (eds) Asset Intelligence through Integration and Interoperability and Contemporary Vibration Engineering Technologies. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, p. 41–49.
DOI : 10.1007/978-3-319-95711-1_5

Aitsi-Selmi A., Egawa S., Sasaki H., Wannous C., et Murray V. (2015) – The Sendai framework for disaster risk reduction: Renewing the global commitment to people's resilience, health, and well-being. International Journal of Disaster Risk Science, vol. 6 (2), p. 164–176.
DOI : 10.1007/s13753-015-0050-9.

Aksha S. K., Juran L., Resler L. M. et Zhang Y. (2019) – An Analysis of Social Vulnerability to Natural Hazards in Nepal Using a Modified Social Vulnerability Index. International Journal of Disaster Risk Science, vol. 10 (1), p. 103–116.
DOI : 10.1007/s13753-018-0192-7

Alcántara-Ayala I., Altan O., Baker D., Briceño S., Cutter S., Gupta H., Holloway A., Ismail-Zadeh A., Jiménez-Díaz V., Johnston D., McBean G., Ogawa Y., Paton D., Porio E., Silbereisen R., Takeuchi K., Valsecchi G., Vogel C., Wu G., Zhai P. (2015) – Disaster risks research and assessment to promote risk reduction and management. In: Ismail-Zadeh A, Cutter S (eds). ICSU-ISSC Ad Hoc group on disaster risk assessment, Paris, 49 p.
http://www.icsu.org/science-for-policy/disaster-risk/documents/DRRsynthesisPaper_2015.pdf

Alcaud D., Bouvet L., Contamin J. G., Crettiez X., Morel S., Rouyer M. (2010) – Dictionnaire des sciences politiques, 2 ème édition, Editions Dalloz, Paris, 109 p.
http://www.acadie-cooperative.org/publications/txt279.pdf

Ale B., Burnap P. et Slater D. (2015) – On the origin of PCDS – (Probability consequence diagrams). Safety Science, vol. 72, p. 229–239.
DOI : 10.1016/j.ssci.2014.09.003

Aleotti P. et Chowdhury R. (1999) – Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. Bulletin of Engineering Geology Environment, vol. 58, p. 21-44.

Alexander D. (1993) – Natural disasters. UCL Press and Chapman & Hall, London and New York, 632 p.

Alexander D. (2000) – Confronting catastrophe: new perspectives on natural disasters. Oxford University Press, Oxford, 288 p.

Allamano P., Claps P., Laio F. (2009) – Global warming increases flood risk in mountainous areas. Geophysical Research Letters, vol. 36, L24404, 5 p.
DOI : 10.1029/2009GL041395

Allison P.-D. (2012) – Logistic regression using Statistical Analysis. System Edition, 2nd ed. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 349 p.

AllEnvi (Alliance nationale de recherche pour l'environnement) (2016) – Visions du futur et Environnement : Les grandes familles de scénarios analyse de prospectives internationales relatives à l'environnement. Coordinateurs : Nicolas de Menthière (Irstea), Denis Lacroix (Ifremer), Bertrand Schmitt (INRA), Audrey Béthinger (INRA), Volume 1 : Rapport final de l'étude ScénEnvi, décembre 2016, 73 p.
https://www.allenvi.fr

Alpine Convention (2017) – The Alps in 25 maps. Coordination Elmi M. et Ravazzoli E., 44 p.
http://www.alpconv.org

Amourous C. (2000) – L'implantation du ski alpin dans les Alpes françaises : la tradition étayage de la modernité. Revue de Géographie Alpine, vol. 88 (4), p. 9–20.
DOI : 10.3406/rga.2000.3007

André M. (1990) – Geomorphic impact of spring avalanches in Northwest Spitsbergen (79° N). Permafrost and Periglacial Processes, vol. 1, p. 97–110.
DOI : 10.1002/ppp.3430010203

Angignard M., Garcia C., Peters-Guarin G., Greiving S. (2014) – The Relevance of Legal Aspects, Risk Cultures and Insurance Possibilities for Risk Management. In: Van Asch T., Corominas J., Greiving S., Malet JP., Sterlacchini S. (eds) . Springer, Dordrecht, Mountain Risks: From Prediction to Management and Governance. Advances in Natural and Technological Hazards Research, vol. 34, p. 327–340.
DOI : 10.1007/978-94-007-6769-0_12

Antoine J.-M., Desailly B., Peltier A. (2010) – Sources historiques et problématiques de recherche en géographie des risques naturels. Géocarrefour, vol. 84 (4), p. 229–239.
DOI : 10.4000/geocarrefour.7519

Armas I. et Gavris A. (2013) – Social vulnerability assessment using spatial multi-criteria analysis (SEVI model) and the Social Vulnerability Index (SoVI model) – a case study for Bucharest, Romania, Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 13, p. 1481–1499.
DOI : 10.5194/nhess-13-1481-2013

Armas I., Toma-Danila D., Ionescu R. et Gavris A. (2017) – Vulnerability to Earthquake Hazard: Bucharest Case Study, Romania. International Journal of Disaster Risk Science, vol. 8, p. 182–195.
DOI : 10.1007/s13753-017-0132-y

Arnaud-Fassetta G. et Fort M. (2014) – Hydro-bio-morphological changes and control factors of an upper Alpine valley bottom since the mid-19th century. Case study of the Guil River, Durance catchment, southern French Alps. Méditerranée, vol. 122, p. 159–182.
DOI : 10.4000/mediterranee.7245

Arnaud-Fassetta G., Cossart E., Fort M. (2005) – Hydro-geomorphic hazards and impact of man-made structures during the catastrophic flood of June 2000 in the Upper Guil catchment (Queyras, French Alps). Geomorphology, vol. 66, p. 41–67.
DOI : 10.1016/j.geomorph.2004.03.014

Arnaud-Fassetta G., Fort M. (2004) – La part respective des facteurs hydroclimatiques et anthropiques dans l'évolution récente (1956-2000) de la bande active du Haut Guil, Queyras, Alpes françaises du sud. Méditerranée, vol. 102 (1-2), p. 143–156.
DOI : 10.3406/medit.2004.3350

Arnould B., Demolis C., Douard P. et Meignien X. (2016) – La restauration des terrains en montagne (RTM) : Mise en oeuvre de la politique de prévention des risques par les services RTM. Rapport CGEDD n° 010240-01, CGAAER n° 15061, Janvier 2016, 70 p.
https://www.ofme.org/documents/actualite/201606/cgaaer_rapport_RTM.pdf

Aschan-Leygonie C. (2000) – Vers une analyse de la résilience des systèmes spatiaux. Espace Géographique, vol. 29, p. 64–77.
DOI : 10.3406/spgeo.2000.1968

Atkinson P.-M. et Massari R. (2011) – Autologistic modelling of susceptibility to landsliding in the Central Apennines, Italy. Geomorphology, vol. 130 (1-2), p. 55–64.
DOI : 10.1016/j.geomorph.2011.02.001

Augustinius P.-C. (1992) – The influence of rock mass strength on glacial valley cross-profile morphometry: a case study from the Southern Alps, New Zealand. Earth Surface Processes and Landforms, vol. 17, p. 39–51.

Ayalew L. et Yamagishi H. (2005) – The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology, vol. 65, p. 15–31.
DOI : 10.1016/j.geomorph.2004.06.010

Ayral P.-A. (2002) – Terminologie en science du risque : Recueil de définitions. Rapport du séminaire du GEM-Risque, École des mines d'Alès, 87 p.

B

Baer P., Huggel C., McArdell B.-W. et Frank F. (2017) – Changing debris flow activity after sudden sediment input: a case study from the Swiss Alps. Patrick, John Wiley & Sons Ltd, The Geologists' Association & The Geological Society of London, Geology Today, vol. 33 (6), p. 216–223.
DOI : 10.1111/gto.12211

Baggio S. et Rouquette M.-L. (2006) – La représentation sociale de l'inondation : influence croisée de la proximité au risque et de l'importance de l'enjeu. Bulletin de psychologie, vol. 481 (1), p. 103–117.
DOI : 10.3917/bupsy.481.0103

Ban N., Schmidli J. et Schär C. (2015) – Heavy precipitation in a changing climate: Does short-term summer precipitation increase faster. Geophysical Research Letters, vol. 42, p. 1165–1172.
DOI : 10.1002/2014GL062588

Bard A., Renard B., Lang M., Giuntoli I., Korck J., Koboltschnig G., Janža M., D'Amico M., Volken D. (2015) – Trends in the hydrologic regime of Alpine rivers. Journal of Hydrology, vol. 529 (3), p. 1823–1837.
DOI : 10.1016/j.jhydrol.2015.07.052

Barnier J. (2008) – Tout ce que vous n'avez jamais voulu savoir sur le χ2 sans jamais avoir eu envie de le demander. Groupe de Recherche sur la Socialisation CNRS–UMR, vol. 5040 (15), 40 p.
https://alea.fr.eu.org/git/doc_khi2.git/blob_plain/HEAD:/khi2.pdf

Barroca B., Pottier N. et Lefort E. (2005) – Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'Orge aval. Actes des septièmes rencontres de TheoQuant, Atelier 3 "Risques, vulnérabilité", Besançon, 12 p.
http://thema.univ-fcomte.fr/theoq/pdf/2005/TQ2005%20ARTICLE%2010.pdf

Barroca B., Serre D. et Diab Y. (2012) – Le concept de résilience à l'épreuve du génie urbain. VertigO, vol. 12 (2), 16 p.
DOI : 10.4000/vertigo.12469

Barroca B., Di Nardo M. et Mboumoua I. (2013) – De la vulnérabilité à la résilience : mutation ou bouleversement ? EchoGéo, vol. 24, 18 p.
DOI : 10.4000/echogeo.13439

Barsch D. (1977) – Nature and importance of mass-wasting by rock glaciers in Alpine permafrost environments. Earth Surface Processes and Landforms, vol. 2. p. 231–245.

Bätzing W. (2003) – Die Alpen Geshichte und Zukunft einer europäischen Kulturlandschaft. ft (2nd edition), Beck, München, 431 p.

Bailly A. (1977) – La Perception de l'espace urbain: les concepts, les méthodes d'études, leur utilisation dans la recherche géographique. Thèse de doctorat, Lettres, Université Paris IV Sorbonne, Paris, 800 p.

Becerra S. (2012) – Vulnérabilité, risques et environnement : l'itinéraire chaotique d'un paradigme sociologique contemporain. VertigO, vol. 12 (1), 27 p.
DOI : 10.4000/vertigo.11988

Beck U. (2001) – La société du risque. Sur la voie d'une autre modernité. Traduit de l'allemand par L. Bernardi. Paris, Aubier, 521 p.

Beck U. (2009) – World at Risk. Cambridge: Polity Press, 269 p.

Beguería S. (2006) – Validation and Evaluation of Predictive Models in Hazard Assessment and Risk Management. Natural Hazards, vol. 37 (3), p. 315–329.
DOI : 10.1007/s11069-005-5182-6

Béguin M. et Pumain D. (2017) – La représentation des données géographiques, 4e éd.: Statistique et cartographie. Armand Colin, Paris, 256 p.

Bel C., Liébault F., Spitoni M., Navratil O., Fontaine F., Bellot H. et Laigle D. (2015) – Dynamique sédimentaire des torrents sujets au charriage extrême et aux laves torrentielles : monitoring, suivi photogrammétrique et traçage RFID. 15ème congrès français de sédimentologie ASF2015, Chambéry.

Bender O., Borsdorf A., Fischer A. et Stötter J. (2011) – Mountains under climate and global change conditions: research results in the Alps. In: Blanco J, Kheradmand H, eds. Climate Change: Geophysical Foundations and Ecological Effects. New York: Intech, p. 402–422.

Beniston M. (2005a) – Changements climatiques et impacts possibles dans la région alpine. Revue de Géographie Alpine, vol. 93 (2), p. 13–32.
DOI : 10.3406/rga.2005.2341

Beniston M. (2005b) – Warm winter spells in the Swiss Alps: Strong heat waves in a cold season? A study focusing on climate observations at the Saentis high mountain site. Geophysical Research Letter, vol. 32 (1), L 01812, 5 p.
DOI : 10.1029/2004GL021478

Beniston M. (2012) – Is snow in the Alps receding or disappearing? Wires Climate Change, vol. 3 (4), p. 349–358.
DOI : 10.1002/wcc.179

Beniston M. et Stoffel M. (2016) – Rain-on-snow events, floods and climate change in the Alps: events may increase for warming up to 4 ◦C and decrease thereafter. Science of the Total Environment, vol. 571, p. 228–236.
DOI : 10.1016/j.scitotenv.2016.07.146.

Beniston M., Farinotti D., Stoffel M., Andreassen L. M., Coppola E., Eckert N., Fantini A., Giacona F., Hauck C., Huss M., Huwald H., Lehning M., López-Moreno J.-I., Magnusson J., Marty C., Morán-Tejéda E., Morin S., Naaim M., Provenzale A., Rabate A., Six D., Stötter J., Strasser U., Terzago S. et Vincent C. (2018) – The European mountain cryosphere: a review of its current state, trends, and future challenges. The Cryosphere, vol. 12 (2), p. 759–794.
DOI : 10.5194/tc-12-759-2018

Beniston M., Stephenson D. B., Christensen O. B., Ferro C. A. T., Frei C., Goyette S., Halsnaes K., Holt T., Jylhä K., Koffi B., Palutikof J., Schöll R., Semmler T. et Woth K. (2007) – Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. Climatic Change, vol. 81 (1), p. 71–95.
DOI : 10.1007/s10584-006-9226-z

Berger F., Dorren L., Kleemayr K., Maier B., Planinsek S., Bigot C., Bourrier F., Jancke O., Toe D. et Cerbu G. (2013) – Eco-Engineering and Protection Forests Against Rockfalls and Snow Avalanches. Management Strategies to Adapt Alpine Space Forests to Climate Change Risks (eds G.A. Cerbu, M. Hanewinkel, G. Gerosa & R. Jandl), In Tech, Rijeka. p. 191–210.
DOI : 10.5772/56275

Bergstrand K., Mayer B., Brumback B. et Zhang Y. (2015) – Assessing the relationship between social vulnerability and community resilience to hazards. Social Indicators Research, vol. 22 (2), p. 391–409.
DOI : 10.1007/s11205-014-0698-3

Beringer J. (2000) – Community fire safety at the urban/rural interface: The bushfire risk. Fire Safety Journal, vol. 35 (1), p. 1–23.
DOI : 10.1016/S0379-7112(00)00014-X

Berkhout F. et Van Drunen M. (2007) – Socio-economic scenarios in climate change research: a review. Report W-07/07. Institute for Environmental Studies (IVM), VU University Amsterdam, 22 p.
http://edepot.wur.nl/313916

Bernier X. (2003) – Transports, parcs nationaux, et parcs naturels régionaux dans les Alpes françaises : les interactions entre les objectifs de l'accessibilité, de la protection et de l'aménagement. Revue de Géographie Alpine, vol. 91 (2), p. 27–40.
DOI : 10.3406/rga.2003.2238

Bernier X. (2004) – Les cols routiers dans la traversée des montagnes françaises : contribution à une définition plurivalente et dynamique. Cahiers de géographie EDYTEM, vol. 2, p. 91–102.

Besson O., Rouiller J.D., Frei W., Masson H. (1991) – Campagne de sismique-rélexion dans la vallée du Rhône entre Sion et Martigny, Suisse. Bulletin La Murithienne, vol. 109, p. 45-63.

Bétard F., Delbart N. et Piel C. (2014) – « Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain dans la région de Nova Friburgo (État de Rio de Janeiro, Brésil). Une étape vers l'évaluation et la gestion du risque ». Bulletin de l'Association de Géographes Français, vol. 91 (3), p. 276–288.
DOI : 10.4000/bagf.1603

Billet P. (2003) – Le contrôle de l'urbanisation dans les zones de montagne. Bulletin de l'Association de Géographes Français, vol. 80 (1), La Montagne : milieux, aménagement, paysages. p. 31–43.
DOI : 10.3406/bagf.2003.2308

Birkmann J. (2006a) – Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies. New York, United Nations Publications, vol. 2, p. 55–77.

Birkmann J. (2006b) – Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: conceptual frameworks and definitions. In: Birkmann J (ed) Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies. United Nations University Press, Tokyo, p. 9–54.
https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/282093452031945/Joern_I.pdf

Birkmann J. (2006c) – Indicators and criteria for measuring vulnerability: theoretical bases and requirements. In: Birkmann J (ed) Measuring vulnerability to natural hazards—towards disaster resilient societies. United Nations University Press, Tokyo, p. 55–77.
https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/282093452031945/Joern_I.pdf

Birkmann J. (2007) – Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications. Environmental Hazards, vol. 7, p. 20–31.
DOI :10.1016/j.envhaz.2007.04.002

Birkmann J., Cardona O.-D., Carreño M.-L., Barbat A.-H., Pelling M., Schneiderbauer S., Kienberger S., Keiler M., Alexander D., Zeil P. et Welle T. (2013) – Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. Natural Hazards, vol. 67, p. 193–211.
DOI : 10.1007/s11069-013-0558-5

Blaikie P., Cannon T., Davis I. et Wisner B. (1994) – At Risk: Natural Hazards, Peoples' Vulnerability and Disasters, London: Routledge.

Blanchard R. (1909) – L'habitation en Queyras. La Géographie, Tome XIX, p. 15–44.

Blanchard R. (1922) – Aiguilles. Revue de Géographie Alpine, vol. 10 (1), p. 127–165.
DOI : 10.3406/rga.1922.1723

Blanchet J., Molinié G. et Touati J. (2016) – Spatial Analysis of trand in extreme daily rainfall in southern France. Climate Dynamics, vol. 51 (3), p. 799–812.
DOI 10.1007/s00382-016-3122-7

Bodin X., Deline P., Schoeneich P., Ravanel L., Magnin F., Krysiecki JM., Echelard T. (2015) – Le permafrost de montagne et les processus géomorphologiques associés : évolutions récentes dans les Alpes françaises. Revue de Géographie Alpine, vol. 103 (2), 19 p.
DOI : 10.4000/rga.2806

Bolin R. (1985) – Disasters and long-term recovery policy: a focus on housing and families. Review of Policy Research, vol. 4 (4), p. 709–715.
DOI : 10.1111/j.1541-1338.1985.tb00319.x

Bolin R. et Stanford L. (1998) – The Northridge earthquake: community-based approaches to unmet recovery needs. Disasters, vol. 22, p. 21–38.
DOI : 10.1111/1467-7717.00073

Bonadonna A., Giachino C. et Truant, E. (2017) – Sustainability and Mountain Tourism: The Millennial's Perspective. Sustainability, vol. 9, p. 1–15.
DOI : 10.3390/su9071219

Borsdorf A., Stötter J., Grabherr G., Bender O., Marchant C. et Sánchez R. (2015) – Impacts and risks of global change. In: Grover VI, Borsdorf A, Breuste J, Tiwari CP, Witkowski Frangetto F (eds) Impact of global changes on mountains. Responses and adaptation. CRC Press, Boca Raton, p. 33–76.
https://cyberleninka.org/article/n/672476.pdf

Boudières V. (2007) – De la gestion des risques, aux risques de la gestion. Géocarrefour, vol. 82 (1-2), 9 p.
DOI : 10.4000/geocarrefour.1448

Boudières V. (2008) – De la gestion des risques aux risques de leur gestion dans les territoires touristiques de montagne, Modalités de gestion du risque d'avalanches dans les Alpes françaises et facteurs de vulnérabilité associés, thèse de doctorat de géographie, Grenoble, Université J. Fourier/Cemagref, 384 p.

Boudières V., Delannoy J.-J., Einhorn B., George-Marcelpoil E., Peisser C. et Piazza-Morel D. (2014) – Changement global et risques naturels. Rapport de recherche, LabEx ITEM, 31 p.
http://hal.univ-grenoble-alpes.fr/hal-00946954

Boudières V., Marcelpoil E. et Richard D. (2010) –Comment gérer le risque d'avalanches sur les routes des stations de montagne ? Essai d'analyse. Sciences Eaux & Territoires, vol. 2, p. 58–65.
https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2010-2-page-58.htm

Bourdeau P., Daller M. et Martin N. (2012) – Du tourisme à l'habiter : les migrations d'agrément. L'Harmattan, Coll. « Tourisme et sociétés », 412 p.

Bourgau J. M., Bertin M., Lerat J. F., Monnot J. G,Morin G. A. et Poss Y. (2008) – La forêt française en 2050–2100, Essai de prospective, Conseil Général de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Espaces Ruraux, 108 p.
https://agriculture.gouv.fr/telecharger/69218?token=dd68fdb058b8ed13ec1d77cf75b16fd1

Bourrelier P.-H. (2006) – Introduction du n° 43 de Responsabilité et Environnement. Responsabilité et Environnement, vol. 43 (2), p. 7–9.
http://www.annales.org/re/2006/re43/introduction.pdf

Bressoux P. (2008) – Modélisation statistique appliquée aux sciences sociales. De Boeck Supérieur. 464 p.

Brochot S. et Meunier M. (1996) – Un modèle d'érosion des torrents en crue (ETC). Ingénieries - E A T, IRSTEA édition 1996, p. 9–18.
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00476079

Brotto M. (1983) – Evolution morphogénique du bassin-versant du Guil au cours du Quaternaire récent. Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille H, 352 p.

Bründl M., Romang H. E., Bischof N. et Rheinberger C. M. (2009) – The risk concept and its application in natural hazard risk management in Switzerland. Natural Hazards and Earth System Science, vol. 9, p. 801–813.
DOI : 10.5194/nhess-9-801-2009

Budimir M.-E.-A., Atkinson P.-M. et Lewis H.-G. (2015) – A systematic review of landslide probability mapping using logistic regression. Landslides, vol. 12 (3), p. 419–436.
DOI : 10.1007/s10346-014-0550-5

Burton C., Cutter S. L. (2008) – Levee failures and social vulnerability in the sacramento-San Joaquin delta area, California. Natural Hazards, vol. 9, p. 136–149.
DOI : 10.1061/(ASCE)1527-6988(2008)9:3(136)

Burton C. G (2010) – Social vulnerability and hurricane impact modeling. Natural Hazards, vol. 11 (2), p. 58–68.
DOI : 10.1061/(ASCE)1527-6988(2010)11:2(58)

Butler R., (1998) – Seasonality in tourism: Issues and implications. Tourism Review, vol. 53 (3), p 18–24.
DOI : 10.1108/eb058278

C

Caine T.-N. (1974) – The geomorphic processes of the alpine environment. In Ives, J. D. and Barry, R. G. (eds.), Arctic and Alpine Environments, Methuen, London, p. 721–748.

Calvello M., Papa M. N., Pratschke J. et Nacchia Crescenzo M. (2015) – Landslide risk perception: a case study in Southern Italy. Landslides, vol. 13 (2), p. 349–360.
DOI : 10.1007/s10346-015-0572-7

Campbell D., Church M. (2003) – Reconnaissance sediment budgets for Lynn Valley, British Columbia: Holocene and contemporary time scales. Canadian Journal of Earth Sciences, vol. 40, p. 701–713.
DOI : 10.1139/e03–012

Carlier B. (2013) – Application d'une analyse par le bilan sédimentaire pour un petit système torrentiel alpin : Evaluation des risques dans le bassin-versant du Peynin (Hautes-Alpes, France), Mémoire de Master 2 Espace, Dynamique des Milieux et Risques, Université Paris 7, Diderot, 100 p.

Carlier B., Carlier G., Gance J., Provost F., Lissak C., Graff K., Viel V., Arnaud-Fassetta G., Fort M., Bétard F., Madelin M., Malet J.-P. et Cossart E. (2018a) – Distribution spatiale et estimation des volumes sédimentaires dans un bassin-versant de schistes lustrés : l'exemple du Peynin (Queyras, Alpes du Sud). Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement, vol. 24 (1), p. 57–76.
DOI : 10.4000/geomorphologie.11994

Carlier B., Puissant A., Dujarric C. et Arnaud-Fassetta G. (2018b) – Upgrading of an index-oriented methodology for consequence analysis of natural hazards: application to the Upper Guil catchment (southern French Alps). Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 18, p. 2221–2239.
DOI : 10.5194/nhess-18-2221-2018

Caron J.-M., Schumacher F. et Tricart P. (1973) – Chronologie et évolution longitudinale des structures dans les Schistes lustrés piémontais des Alpes Cottiennes (France et Italie). Sciences Géologiques Bulletin, vol. 26 (2-3), p. 245–258.
DOI : 10.3406/sgeol.1973.1433

Carozza L., Mille B., Bourgarit D., Rostan P. et Burens-Carozza A (2011) – Mine et métallurgie en haute montagne dès la fin du Néolithique et le début de l'âge du Bronze : l'exemple de Saint-Véran en Haut-Queyras (Hautes-Alpes, France). Istituto italiano di preistoria e protostoria, atti della XLIII riunione scientifica, p.151–155.
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00914053

Carris J., Van Asch T.-W.-J. (1991) – Geophysical, geotechnical and hydrological investigations of a small landslide in the French Alps. Engineering Geology, vol. 31 (3-4), p. 249–276.
DOI : 10.1016/0013-7952(1)90011-9

Carter T.R., La Rovere E.L., Jones R.N., Leemans R., Mearns L.O., Nakicenovic N., Pittock A.B., Semenov S.M. et Skea J. (2001) – Developing and applying scenarios. In: McCarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Docken DJ, White KS (eds) Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of working group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, p 145–190.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/wg2TARchap3.pdf

Cartier S., Vinet F. et Gaillard J.-C. (2009) – Introduction : Maître du monde ou maître de soi ? In : Becerra S., et A. Peltier, Risques et environnement : recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés, Paris, L'Harmattan, p. 9–20.

Castebrunet H., Eckert N., Giraud G., Durand Y. et Morin S. (2014) – Projected changes of snow conditions and avalanche activity in a warming climate: the French Alps over the 2020-2050 and 2070-2100 periods. The Cryosphere, Copernicus 2014, vol. 8 (5), p.1673–1697.
DOI : 10.5194/tc-8-1673-2014

Cavalli M., Trevisani S., Comiti F. et Marchi L. (2013) – Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. Geomorphology, vol. 188, p. 31–41.
DOI : 10.1016/j.geomorph.2012.05.007

Ceppi P., Scherrer S.-C., Fischer A.-M. et Appenzeller C. (2012) – Revisiting Swiss temperature trends 1959–2008. The International Journal of Climatology, vol. 32 (2), p. 203–213.
DOI : 10.1002/joc.2260

CH2011 (2011) – Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 p.
http://www.ch2011.ch

CH2014 (2014) – Toward quantitative scenarios of climate change impacts in Switzerland. Bern, Switzerland, OCCR, MeteoSwiss, FOEN, C2SM, Agroscope & ProClim, 136 p.
http://ch2014-impacts.ch/res/files/CH2014-Impacts_report.pdf

Chakraborty J., Tobin G.-A., Montz B.-E. (2005) – Population Evacuation: Assessing Spatial Variability in Geophysical Risk and Social Vulnerability to Natural Hazards. Natural Hazards Review, vol. 6 (1), p. 23–33.
DOI : 10.1061/(ASCE)1527-6988

Chang S.-E., Yip J., Van Zijll Z.-K., De Jong S.-L., Chaster R. et Lowcock A. (2015) – Using vulnerability indicators to develop resilience networks: a similarity approach. Natural Hazards, vol. 78, p. 1827–1841.
DOI : 10.1007/s11069-015-1803-x

Chardon M. (1989) – Essai d'approche de la spécificité des milieux de La Montagne alpine. Revue de Géographie Alpine, vol. 77 (1-3), p. 15–28.
DOI : 10.3406/rga.1989.2727

Charpentier A. (2013) – Bootstrap et régression. Document en ligne.
http://freakonometrics.hypotheses.org.

Charrière M. K.-M., Junier S. J., Bogaard T. A., Mostert E., Malet J.-P. et Van de Giesen N. C. (2017) – The impact of an exhibition on risk awareness of the general public in mountainous areas. International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 25, p. 36–59.
DOI : 10.1016/j.ijdrr.2017.07.011

Chesneau E. et Clément A. (2013) – Retour d'expérience sur la cartographie interactive du Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs de la Ville de Saint-Étienne. Géocarrefour, vol. 88 (4), p. 317–332.
DOI : 10.4000/geocarrefour.9258

Chevillot-Miot E., Chadenas C., Mercier D. (2017) – La résilience proactive à travers la carte mentale : exemples des territoires de la Charente-Maritime et de la Baie de Somme (Picardie). Les Cahiers de l'Association Tiers-Monde, vol. 32, p. 153–162.
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01369465

Chocat B. (1997) – Le rôle possible de l'urbanisation dans l'aggravation du risque d'inondation : l'exemple de l'Yseron à Lyon. Revue de géographie de Lyon, vol. 72 (4), p. 273–280.
DOI : 10.3406/geoca.1997.4707

Chorley R. et Kennedy B. (1971) – Physical Geography, a systems approach, London Prentice Hall International, 370 p.

Chunbing B., Dengsheng W., Jie W., Jianping L. et Jianming C. (2017) – Comparison of Different Methods to Design Risk Matrices from The Perspective of Applicability. Procedia Computer Science vol. 122, p. 455–462.
DOI : 10.1016/j.procs.2017.11.393

Chung C.-J.-F. et Fabbri A.-G. (2003) – Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. Natural Hazards, vol. 30 (3), p. 451–472.
DOI : 10.1023/B:NHAZ.0000007172.62651.2b

Cissé-Faye S., Faye S., Wohnlich S., Bécaye Gaye S. (2004) – An assessment of the risk associated with urban development in the Thiaroye area (Senegal). Environmental Geology, vol. 45 (3), p. 312–322.
DOI : 10.1007/s00254-003-0887-x

Ciurean R.-L., Schröter D. et Glade T. (2013) – Conceptual Frameworks of Vulnerability Assessments for Natural Disasters Reduction. In "Approaches to Disaster Management - Examining the Implications of Hazards, Emergencies and Disasters", Social Sciences, Edited by John Tiefenbacher, 228 p.
DOI : 10.5772/55538

Clark G.-E., Moser S.-C., Ratick S.-J., Dow K., Meyer W.-B., Emani S., Jin W., Kasperson J.-X., Kasperson R.-E. et Schwarz H.-E. (1998) – Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: the case of Revere. MA., USA, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, vol. 3, p. 59–82.
DOI : 10.1023/A:1009609710795

Clément R., Pahaut E., Haudecoeur B. (1979) – La neige et les avalanches de janvier 1978 dans les Alpes Françaises. Revue de Géographie Alpine, vol. 67 (1), p. 113–123.
DOI : 10.3406/rga.1979.2161

Coanus T., Comby J., Duchêne F. et Martinais E. (2010) – Risques et territoires. Interroger et comprendre la dimension locale de quelques risques contemporains. Lavoisier, Collection Sciences du risque et du danger, série Références, 480 p.

Combessie J.-C. (2007) – II. L'entretien semi-directif. In : Jean-Claude Combessie éd., La méthode en sociologie. Paris, La Découverte, « Repères », p. 24–32.
https://www.cairn.info/la-methode-en-sociologie--9782707152411-page-24.htm

Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO). (2012) – Risk Assessment in Practice. New York: AICPA, 19 p.
https://www.academia.edu/27995968/COSO-ERM_Risk_Assessment_inPractice_Thought_Paper_OCtober

Corona C., Lopez Saez J., Stoffel M., Rovéra G., Edouard J.-L. et Berger F. (2012) – Seven centuries of avalanche activity at Echalp (Queyras massif, southern French Alps) as inferred from tree rings. The Holocene, vol. 23 (2), p. 292–304.
DOI : 10.1177/0959683612460784.

Cossart E. et Fort M. (2008a) – Consequences of landslide dams on alpine river valleys: examples and typology from the French Southern Alps. Norsk Geograisk Tidsskrit – Norwegian Journal of Geography, vol. 62 (1), p. 75–88.
DOI : 10.1080/00291950802094882

Cossart E. et Fort M. (2008b) – Sediment release and storage in early deglaciated areas: towards an application of the exhaustion model from case of massif des Ecrins (French Alps) since the Little Ice Age. Norsk Geografisk Tidsskrift – Norwegian Journal of Geography, vol. 62 (2), p. 115–131.
DOI : 10.1080/00291950802095145

Cossart E., Bourlès D., Braucher R., Carcaillet J., Fort M., Siame L. (2011) – L'englacement du haut bassin durancien (Alpes françaises du sud) du Dernier Maximum Glaciaire à l'Holocène : synthèse chronologique. Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement, vol. 17 (2), p. 123–142.
DOI : 10.4000/geomorphologie.9336

Cossart E., Lissak C. et Viel V. (2017) – La géomorphologie des bassins-versants sous l'angle de la connectivité : est-ce réinventer la roue ou changer de paradigme ? Géomorphologie : relief, processus, environnement, vol. 23 (4), p. 281–287.
DOI : 10.4000/geomorphologie.11893

Cossart E., Viel V., Lissak C., Reulier R., Fressard M. et Delahaye D. (2018) – How might sediment connectivity change in space and time? Land Degradation & Development, vol. 29, p. 2595–2613.
DOI : 10.1002/ldr.3022

Courbaud B., Kunstler G., Morin X. et Cordonnier T. (2010) – Quel futur pour les services écosystémiques de la forêt alpine dans un contexte de changement climatique ? Revue de Géographie Alpine, vol. 98 (4), 11 p.
DOI : 10.4000/rga.1308

Courtot R. et De Reparaz A. (1982) – Déprise agricole et mutations de l'organisation de l'espace dans les Préalpes du Sud : le cas de Chaudon-Norante. Méditerranée, vol. 46 (3-4), Développement et environnement dans la région Provence-Alpes Côte d'Azur, p. 71–76.
DOI : 10.3406/medit.1982.2089

Coutard J.-P., Ozouf J.-C. et Gabert P. (1996) – Modalités de la cryoreptation dans les massifs du chambeyron et de la mortice, Haute-Ubaye, Alpes Françaises du sud. Permafrost and Periglacial Processes, vol. 7, p 21–51.

Cox L. A. (2008) – What's wrong with risk matrices? Risk Analysis, vol. 28 (2), p. 497–512.
DOI :10.1111/j.1539-6924.2008.01030.x

Crescimbene M., La Longa F., Camassi R. et Pino, N. A. (2015) – The seismic risk perception questionnaire. Geological Society, London, Special Publications, vol. 419, p. 69–77.
DOI : 10.1144/SP419.4

Crivelli R. et Raffestin C. (1985) – Ecosystèmes et systèmes techniques dans les Alpes. In: Le Globe, Revue Genevoise de Géographie, vol. 125, Les Alpes dans le temps et dans l'espace, p. 113–119.
DOI : 10.3406/globe.1985.1201

Crozier M.-J. (1989) – Landslides: Causes, Consequences and Environment. In Journal of Royal Society of New Zealand, Croom Helm, London. 245p.

Cruden D.-M. et Fell R. (1997) – Landslide Risk Assessment. Proceedings International Workshop on Landslide Risk Assessment, Honolulu, 19–21 February 1997, Balkema, Rotterdam, 371 p.

Cruden D.-M. et Varnes D.-J. (1996) – Landslides investigation and mitigation, transportation research board. In: Turner AK, Schuster RL (eds) Landslide types and process, National Research Council, National Academy Press, Special Report, vol. 247, p. 36–75.

Cutter L.-S., Boruff B.-J. et Lynn Shirley W. (2003) – Social Vulnerability to Environmental Hazards. Social Science Quarterly, vol. 84 (2), p. 242–260.
DOI : 10.1111/1540-6237.8402002

Cutter L. S. et Finch C. (2008) – Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, vol. 107, p. 2301–2306.
DOI : 10.1073/pnas.0710375105

D

D'Ercole R., Thouret J.-C., Dollfus O. et Asté J.-P. (1994) – Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse. Revue de Géographie Alpine, vol. 82 (4), p. 87–96.
DOI : 10.3406/rga.1994.3776

D'Ercole R. et Pigeon P. (1999) – L'expertise internationale des risques dits naturels: intérêt géographique. Annales de Géographie, vol. 108 (608), p. 339–357.
DOI : 10.3406/geo.1999.21777

D'Ercole R. (2014) – Vulnérabilité : vers un concept opérationnel ? Conférence invitée, Colloque international « Connaissance et compréhension des risques côtiers : aléas, enjeux, représentations, gestion », Brest, Institut Universitaire Européen de la Mer (3-4 juillet 2014), 10 p.

Dacharry M. et Lagagnier R. (2001) – Un siècle d'hydrogéographie. Colloque international Origine et Histoire de l'Hydrologie, organisé par le Comité National Français des Sciences Hydrologiques, le Comité National Français pour le PHI / UNESCO, Dijon, 9-11 mai 2001, 11 p.
http://hydrologie.org/ACT/OH2/actes/26dacharry.pdf

Dalban Canassy P., Bauder A., Dost M., Faeh R., Funk M., Margreth S., Muller B. et Sugiyama S. (2011) – Hazard assessment investigations due to recent changes in Triftgletscher, Bernese Alps, Switzerland. Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 11, p. 2149–2162.
DOI : 10.5194/nhess-11-2149-2011

Dao-Lena, B. (2012) – Jean Baridon : Un destin sous le carré bleu du Queyras. Éd. du Queyras, Saint-Veran, 144 p.

Dauphiné A. (2001) – Risques et catastrophes: Observer, spatialiser, comprendre, gérer. Paris, Armand Colin, Coll. « U-Géographe », 288 p.

Dauphiné A. et Provitolo D. (2003) – Les catastrophes et la théorie des systèmes auto-organisés critiques. In V. Moriniaux (ed.), Les risques, éditions du Temps, 255 p.
https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00261122

David J., Herbin J. et Mériaudeau R. (1986) – La dynamique démographique de la zone de montagne française : le tournant historique des années 1970. In: Espace, populations, sociétés, 1986-2. Visages de la population de la France, Changements démographiques et géographiques de la population de la France. Poitiers novembre 1985, p. 365–376.
DOI : 10.3406/espos.1986.1150

De Ketele J.-M. et Roegiers X. (1996) – Méthodologie du recueil d'informations. Fondements des méthodes d'observations, de questionnaires, d'interviews et d'études de documents. Méthodes en sciences humaines. 3e édition, Paris, De Boeck Université, 41 p.
https://www.decitre.fr/media/pdf/feuilletage/9/7/8/2/8/0/7/3/9782807300378.pdf

De Reparaz G.-A. (1992) – Le recul de l'espace agro-pastoral dans les Préalpes du Sud et ses conséquences sur le paysage de la moyenne montagne. Inicio, vol. 139, p. 47–66.
DOI : 10.3989/pirineos.1992.v139.181

De Singly F. (2008) – L'enquête et ses méthodes : le questionnaire. Paris: Armand Colin, 127 p.

Debelmas J., Lemoine M., Kerchkove Ci., Fail J.-P. et Lavergne M. (1966a) – Carte géol. France (1/50 000), feuille Guillestre (847). Orléans: BRGM.

Debelmas J., Lemoine M., Kerchkove Ci., Fail J.-P. et Lavergne M. (1966b) – Notice explicative, Carte géol. France (1/50000) feuille Guillestre (847). Orléans: BRGM, 19 p.

Decaulne A. (2001) – Mémoire collective et perception du risque lié aux avalanches et aux coulées de débris dans un fjord islandais : l'exemple du site d'Isafjördur (Islande nord-occidentale). Revue de Géographie Alpine, vol. 89 (3), p. 63–80.
DOI : 10.3406/rga.2001.3049

Delacour H., Servonnet A., Perrot A., Vigezzi J.-F. et Ramirez J.-M. (2005) – ROC curve (receiver operating characteristic): principles and application in biology. Annales De Biologie Clinique, vol. 63 (2), p. 145–53.
http://www.jle.com/medline.md?issn=0003-3898&vol=63&iss=2&page=145

Delaître M., Di Nardo M., Gonzva M., Barroca B. et Diab Y. (2017) – Échelles spatiales et approches méthodologiques pour l'analyse de la vulnérabilité. Espace Populations Sociétés, vol. 3, 17 p.
DOI : 10.4000/eps.7044

Delaloye R., Morard S., Barboux C., Abbet D., Gruber V., Riedo M. et Gachet S. (2012) – Rapidly moving rock glaciers in Mattertal. In Jahrestagung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft, p. 21–31.
http://bigweb.unifr.ch/Science/Geosciences/Geomorphology/Pub/Website/Papers/Delaloye_et_al_(2013)_SSGm_Rapidly_moving_rock_glaciers.pdf

Delannoy J.-J. et Rovera G. (1996) – Conclusion : L'érosion dans les Alpes occidentales : contribution à un bilan des mesures et des méthodes. Revue de Géographie Alpine, vol. 84 (2), p. 87–101.
DOI : 10.3406/rga.1996.3861

Demoraes F. (2004) – Mobilité, enjeux et risques dans le District Métropolitain de Quito (Equateur). Thèse de doctorat, géographie. Université de Savoie, 588 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00007025

Demoraes F. et D'Ercole R. (2009) – Risques et accessibilité des lieux dans le District Métropolitain de Quito (Équateur). Mappe-Monde, Maison de la géographie, vol. 93 (3), p.1–20.
http://mappemonde.mgm.fr/num23/articles/art09302.html

Devaux C. (2016) – Résilience des services écosystémiques à l'échelle du paysage : un cadre conceptuel et une analyse pour un socio-écosystème de montagne. Thèse de doctorat, Ecologie et Environnement, Université Grenoble Alpes, 301 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01325282

Dilley M., Chen S. R., Deichmann U., Lerner-Lam L. A. et Arnold M. (2005) – Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis (Disaster Risk Management). World Bank, Washington DC., 132 p.
DOI : 10.1596/0-8213-5930-4

Diolaiuti G.-A., Maragno D., D'Agata C., Smiraglia C. et Bocchiola D. (2011) – Glacier retreat and climate change: documenting the last 50 years of Alpine glacier history from area and geometry changes of Dosde Piazzi glaciers (Lombardy Alps, Italy). Progress in Physical Geography, vol. 35, p. 161–182.
DOI : 10.1177/0309133311399494

Djament-Tran G. et Reghezza-Zitt M. (2012) – La résilience urbaine. Les villes face aux catastrophes. Paris, Editions Le Manuscrit, 364 p.

Dobler C., Hagemann S., Wilby R.-L. et Stötter J. (2012) – Quantifying different sources of uncertainty in hydrological projections in an Alpine watershed, Hydrology and Earth System Sciences, vol. 16, p. 4343–4360.
DOI : 10.5194/hess-16-4343-2012

Daudé E. (2005) – Systèmes multi-agents pour la simulation en géographie : vers une géographie artificielle. Modélisation en Géographie : déterminismes et complexités, Hermès, p.353–380.
https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01082644

Donze J., (2007) – Le risque: de la recherche à la gestion territorialisée. Géocarrefour, vol. 82, p. 3–5.
http://journals.openedition.org/geocarrefour/1395

Douglas J. (2007) – Physical vulnerability modelling in natural hazard risk assessment. Natural Hazards and Earth System Science, vol. 7 (2), p. 283–288.
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00330925

Douguedroit A. et De Saintignon M.-F. (1970) – Méthode d'étude de la décroissance des températures en montagne de latitude moyenne : exemple des Alpes françaises du Sud. Revue de Géographie Alpine, vol. 58 (3), p. 453–472.
DOI : 10.3406/rga.1970.3491

Douvinet J., Defossez S., Anselle A. et Denollel A.-S. (2011) – Les maires face aux plans de prévention du risque inondation (Ppri) ». L'Espace géographique, vol. 40, p. 31–46.
DOI : 10.3917/eg.401.0031

DREAL PACA (2016) – Reseau Natura 2000 – Documents d'objectifs.
http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr

Dumolard P., Dubus N. et Charleux L. (2003) – Les statistiques en géographie. Collection « Atouts Géographie », Ed. Belin, Paris, 239 p.

Durand Y., Giraud G., Laternser M., Etchevers P., Merindol L. et Lesaffre B. (2009) – Reanalysis of 47 years of climate in the French Alps (1958–2005): climatology and trends for snow cover. Journal of Applied Meteorology and Climatology, vol. 48, p. 2487–2512.
DOI : 10.1175/2009JAMC1810.1

Durak T., Zywiec M., Kapusta P. et Holeksa J. (2015) – Rapid spread of a fleshy-fruited species in abandoned subalpine meadows – formation of an unusual forest belt in the eastern Carpathians. iForest, vol. 9, p. 337–343.
DOI : 10.3832/ifor1470-008

Duvillard P.-A., Ravanel L. et Deline P. (2015) – Evaluation du risque de déstabilisation des infrastructures de haute montagne engendré par le réchauffement climatique dans les Alpes françaises. Revue de Géographie Alpine, vol. 103 (2), 17 p.
DOI : 10.4000/rga.2816

Dwyer A., Zoppou C., Nielsen O., Day S. et Roberts S. (2004) – Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards. Geoscience Australia Record 2004/14, 92 p.
http://www.geosci.usyd.edu.au/users/prey/Teaching/Geos-2111GIS/Ref/GA4267-IdentifyingRisks.pdf

E

Eberlein R.-L. et Peterson D.-W. (1992) – Understanding models with Vensim™. European Journal of Operational Research, vol. 59, p. 216–219.
DOI : 10.1016/0377-2217(92)90018-5

Ebert A., Kerle N. et Stein A. (2009) – Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air and spaceborne imagery and GIS data. Natural Hazards, vol. 48, p. 275–294.
DOI : 10.1007/s11069-008-9264-0

Eckert N., Coleou C., Castebrunet H., Deschatres M, Giraud G. et Gaume J. (2010) – Cross-comparison of meteorological and avalanche data for characterising avalanche cycles: The example of December 2008 in the eastern part of the French Alps. Cold Regions Science and Technology, vol. 64, p. 119–136.
DOI : 10.1016/j.coldregions.2010.08.009

Eckert N., Keylock C.-J., Castebrunet H., Lavigne A. et Naaim M. (2013) – Temporal trends in avalanche activity in the French Alps and sub-regions: from occurrences and runout altitudes to unsteady return periods. Journal of Glaciology, vol. 59 (213), p. 93–114.
DOI : 10.31 89/2013JoG12J091

Edwards M. L. (1993) – Social location and self-protective behavior: Implications for earthquake preparedness. International Journal of Mass Emergencies and Disasters, vol. 11 (3), p. 293–304.
http://www.ijmed.org/articles/440/download/

Eidsvig U.-M.-K., Kristensen K. et Vangelsten B.-V. (2017) – Assessing the risk posed by natural hazards to infrastructures. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., vol. 17, p. 481–504.
DOI : 10.5194/nhess-17-481-2017

Embry M. R., Bachman A. N., Bell D. R., Boobis A. R., Cohen S. M., Dellarco M., Dewhurst I., Doerrer N. G., Hines R. N., Moretto A., Pastoor T. P., Phillips R. D., Rowlands J. C., Tanir J. Y., Wolf D. C. et Doe J. E. (2014) – Risk assessment in the 21st century: Roadmap and matrix. Critical Reviews in Toxicology, vol. 44 (3), p. 6–16.
DOI : 10.3109/10408444.2014.931924

Einhorn B. (2003) – Budget sédimentaire d'un bassin-versant torrentiel des Alpes du sud : le Haut-Guil (Queyras, Hautes Alpes), Mémoire de DEA, Géographie physique, Université Paris 7 Diderot, 153 p.

Einhorn B., Eckert N., Chaix C., Ravanel L., Deline P., Gardent M., Boudières V., Richard D., Vengeon J.-M., Giraud G. et Schoeneich P. (2015) – Changements climatiques et risques naturels

dans les Alpes : Impacts observés et potentiels sur les systèmes physiques et socioéconomiques. Revue de Géographie Alpine, vol. 103 (2), 43 p.
DOI : 10.4000/rga.2829

Einhorn B. et Gérard S. (2017) – Changement climatique et risques naturels dans les Alpes : Événements remarquables 2015. Pôle Alpin d'Etude et de Recherche pour la Prévention des Risques Naturels, 28 p.
http://www.risknat.org

Elsasser H. et Bürki R. (2002) – Climate change as a threat to tourism in the Alps. Climate Research, vol. 20, p. 253–257.
DOI : 10.3354/cr020253

Emsellem K., Liziard S. et Scarella F. (2012) – La géoprospective: l'émergence d'un nouveau champ de recherche? L'Espace géographique, vol. 41 (2), p.154–68.
https://www.cairn.info/revue-espace-geographique-2012-2-page-154.htm

Escourrou G. (1981) – Climat et environnement : Les facteurs locaux du climat. Paris, Masson, 182 p.

Etchevers P. et Martin E. (2002) – Impact d'un changement climatique sur le manteau neigeux et l'hydrologie des bassins versants de montagne. In : International Meeting "L'eau en montagne", Megève, 8 p.

F

Fabiani J.-L. et Theys J. (1987) – La société vulnérable. Évaluer et maîtriser les risques, Paris, Presses de l'Ecole Normale Supérieure, 674 p.

Fanthou T. et Kaiser B. (1990) – Evaluation des risques naturels dans les Hautes-Alpes et la Savoie. Le recours aux documents d'archives et aux enquêtes. Bulletin de l'Association de géographes français, vol. 67 (4), p. 323–341.
DOI : 10.3406/bagf.1990.1545

Fekete A. (2009) – Validation of a social vulnerability index in context to river-floods in Germany. Natural Hazards and Earth System Science, vol. 9, p. 393–403.
DOI : 10.5194/nhess-9-393-2009

Fell R., Ho K.-K.-S., Lacasse S. et Leroi E. (2005) – A framework for landslide risk assessment and management. In: Hungr, O., Fell, R., Couture, R., Eberhardt, E. (Eds.), Landslide risk management, Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, 31 May–3 June 2005. Taylor & Francis, London, p. 3–25.

Fell R., Corominas J., Bonnard C., Cascini L., Leroi E. et Savage W. Z. (2008) – Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Engineering Geology., vol. 102, p. 85–89.
DOI : 10.1016/j.enggeo.2008.03.022

Ferber J. (1997) – Les systèmes multi-agents : un aperçu général. Technique et Science Informatiques, vol.16 (8), p. 979–1012.
https://www.researchgate.net/publication/242623967_Les_systemes_multi-agents_un_apercu_general

Ferber J. (2006) – Concepts et méthodologies multi-agents, in: Amblard F., Phan D. (dir.), Modélisation et Simulation Multi-Agents. Application pour les Sciences de l'Homme et de la Société, Londres, Hermès science & Lavoisier, p. 23–27.

Flageollet J.-C. (1989) – Les mouvements de terrain et leur prévention. Collection géographie, Ed. Masson, 224 p.

Flanagan B.-E., Gregory E.-W., Hallisey E.-J., Heitgerd J.-L. et Lewis B. (2012) – A Social Vulnerability Index for Disaster Management. Journal of Homeland Security and Emergency Management, vol. 8 (1), 24 p.
DOI : 10.2202/1547-7355.1792

Flanquart H., Hellequin A.-P., Deldreve V. et Deboudt P. (2006) – Identité sociale et perception du risque côtier. In Colloque international Interactions Nature et Société : analyses et modèles, La Baule, 3-6 mai, 5 p.
https://www.researchgate.net/profile/Philippe_Deboudt/publication/279290167_Identite_sociale_et_perception_du_risque_cotier/links/559185d708ae15962d8e26b1/Identite-sociale-et-perception-du-risque-cotier.pdf

Florinsky I.-V. (1996) – Quantitative topographic method of fault morphology recognition. Geomorphology, vol. 16, p. 103–119.
DOI : 10.1016/0169-555X(95)00136-S

Ford A. (2009) – Modeling the Environment: an introduction to system dynamics models of environmental systems. Environmental Studies, Island Press, Second edition, vol. 3, 400 p.

Fort M. (2015) – Impact du changement climatique sur les dynamiques des milieux montagnards. Revue de Géographie Alpine, 103 (2), 8 p.
DOI : 10.4000/ rga.2875

Fort M., Arnaud-Fassetta G., Cossart E., Beaudouin B., Bourbon C., Debail B. et Einhorn B. (2002) – Impacts et signification hydromorphologique de la crue du Guil de Juin 2000 (Haut Queyras). In: Delahaye, D., Levoy, F., Maquaire, O. (Eds.), Geomorphology: from Expert Opinion to Modelling. A tribute to Professor Jean-Claude Flageollet. European Centre on Geomorphological Hazards, Strasbourg, p. 159–166.
https://www.researchgate.net/publication/267150996

Fort M., Cossart E. et Arnaud-Fassetta G. (2010) – Hillslope-channel coupling in the Nepal Himalayas and threat to man-made structures: The middle Kali Gandaki valley. Geomorphology, vol. 124 (3–4), p. 178–199.
DOI : 10.1016/j.geomorph.2010.09.010

Fort M., Arnaud-Fassetta G., Bétard F., Cossart E., Madelin M., Lissak C., Viel V., Bouccara F., Carlier B., Sourdot G., Tassel A., Geai M-L., Bletterie X., et Charnay B. (2015) – Sediment Dynamics and Channel Adjustments Following Torrential Floods in an Upper Alpine Valley (Guil River, Southern French Alps). G. Lollino et al. (eds.), Engineering Geology for Society and Territory – vol. 3, p. 313–317.
DOI: 10.1007/978-3-319-09054-2_65

Fouquet M. (2006) – Etudes d'aménagements de cours d'eau torrentiels : Applications aux contextes d'écoulements à fort charriage et à laves torrentielles. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur des Travaux Ruraux de l'ENGEES, Promotion Lot, 104 p.

Francou B. (1988) – L'éboulisation en haute montagne, Andes et Alpes, six contributions à l'étude du système corniche-éboulis en milieu périglaciaire. Centre de Géomorphologie du CNRS, Caen, 696 p.

Francou B. (1989) – La stratogénèse des formations de pente soumises à l'action du gel. Bull. AFEQ, vol. 40 (4), p. 185–200.

Francou B. (1991) – Pentes, granulométrie et mobilité des matériaux le long d'un talus d'éboulis en milieu alpin. Permafrost and Periglacial Processes, vol. 2 (3), p. 175–186.
DOI : 10.1002/ppp.3430020302

Francou B. et Vincent C. (2007) – Les glaciers à l'épreuve du climat. Paris, Editions Belin – IRD, 278 p.

Fressard M. (2013) – Les glissements de terrain du Pays d'Auge continental (Normandie, France) : Caractérisation, cartographie, analyse spatiale et modélisation. Thèse de doctorat, Université de Caen Basse-Normandie, 337 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00968473

Frey H., Haeberli W., Linsbauer A., Huggel C. et Paul F. (2010) – A multi-level strategy for anticipating future glacier lake formation and associated hazard potentials. Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 10, p. 339–352.
DOI : 10.5194/nhess-10-339-2010

Frigerio I. et De Amicis M. (2016) – Mapping social vulnerability to natural hazards in Italy: A suitable tool for risk mitigation strategies. Environmental Science & Policy, vol. 63, p. 187–196.
DOI : 10.1016/j.envsci.2016.06.001

Frigerio I., Carnelli F., Cabinio M. et De Amicis M. (2018) – Spatiotemporal pattern of social vulnerability in Italy. International Journal of Disaster Risk Science, vol. 9 (2), p. 249–262.
DOI : 10.1007/s13753-018-0168-7

Fryirs K. (2013) – (Dis)Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. Earth Surface, Processes & Landforms, vol. 38, p. 30–46.
DOI : 10.1002/esp.3242

Fuchs S. (2009) – Susceptibility versus resilience to mountain hazards in Austria - paradigms of vulnerability revisited, Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 9, p. 337–352.
DOI : 10.5194/nhess-9-337-2009

Fuchs S., Heiss K. et Hübl J. (2007) – Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 7, p. 495–506.
DOI : 10.5194/nhess-7-495-2007

Fuchs S., Kuhlicke C. et Meyer V. (2011) – Editorial for the special issue: vulnerability to natural hazards: thechallenge of integration. Natural Hazards, vol. 58 (2), p. 609–619.
DOI : 10.1007/s11069-011-9825-5

Fuchs S., Birkmann J., et Glade T. (2012) – Vulnerability assessment in natural hazard and risk analysis: current approaches and future challenges. Natural Hazards, vol. 64, p. 1969–1975.
DOI : 10.1007/s11069-012-0352-9

Fuchs S., Keiler M., Sokratov S. et Shnyparkov A. (2013) – Spatiotemporal dynamics: the need for an innovative approach in mountain hazard risk management. Natural Hazards, vol. 68, p. 1217–1241.
DOI : 10.1007/s11069-012-0508-7

Fuchs S., Röthlisberger V., Thaler T., Zischg A. et Keiler M. (2017) – Natural Hazard Management from a Coevolutionary Perspective: Exposure and Policy Response in the European Alps. Annals of the American Association of Geographers, vol. 107 (2), p. 382–392.
DOI : 10.1080/24694452.2016.1235494

Füssel H.-M. et Klein R. J. T. (2006) – Climate Change Vulnerability Assessments: An Evolution of Conceptual Thinking. Climatic Change, vol.75 (3), p. 301–329.
DOI : 10.1007/s10584-006-0329-3

G

Gallina V., Torresan S., Critto A., Sperotto A., Glade T. et Marcomini A. (2016) – A review of multi-risk methodologies for natural hazards: Consequences and challenges for a climate change impact assessment. Journal of Environmental Management, vol. 168, p. 123–132.
DOI : 10.1016/j.jenvman.2015.11.011

Gance J. (2014) – Développements méthodologiques en géophysique haute résolution pour la caractérisation hydro-mécanique de glissements de terrain argileux. Thèse de doctorat, Géophysique, Université de Strasbourg, 307 p.

Gance J., Grandjean G., Samyn K. et Malet J.P. (2012) – Quasi– Newton inversion of seismic first arrivals using source finite bandwidth assumption: application to landslides characterization from velocity and attenuation fields. Journal of Applied Geophysics, vol. 87, p. 94–106.
DOI : 10.1016/j.jappgeo.2012.09.008

Garcia C., Blahut J., Angignard M. et Pasuto A. (2014) – The Importance of the Lessons Learnt from Past Disasters for Risk Assessment. In T. van Asch et al. (eds.), Mountain Risks: From Prediction to Management and Governance. Advances in Natural and Technological Hazards Research, vol. 34, p. 275–284.
DOI : 10.1007/978-94-007-6769-09

Garde L., Dimanche M. et Lasseur J. (2014) – Permanence et mutations de l'élevage pastoral dans les Alpes du Sud. Journal of Alpine Research, 102 (2), 13 p.
DOI : 10.4000/rga.2405

Gardner J.-S. (1983) – Accretion rates on some debris slopes in the Mt. Rae area, Canadian Rocky Mountains. Earth Surface Processes and Landforms, vol. 8, p. 347–355.
DOI : 10.1002/esp.3290080407

Garmezy N., Masten A., et Tellegen A. (1984) – The Study of Stress and Competence in Children: A Building Block for Developmental Psychopathology. Child Development, vol. 55 (1), p. 97–111.
DOI : 10.2307/1129837

Gaucher R., Bonnefoy M., Pasquier X. et Escande S. (2009) – Retour sur la Crise avalancheuse de décembre 2008 dans le Queyras. Magazine « Neige et avalanches » de l'ANENA, 10 p.

Gaucher R., Escande S., Bonnefoy M., Pasquier X., Eckert N. (2010) – A look back on the avalanche cycle in Queyras in December 2008. Proceedings of the International Snow Science Workshop. Lake Tahoe, USA, 18-22 October 2010, 6 p.

Gehrig-Fasel J., Guisan A. et Zimmermann N. E. (2007) – Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment? Journal of Vegetation Science, vol. 18 (4), p. 571–582.
DOI : 10.1111/j.1654-1103.2007.tb02571.x

Gellrich M., Baur P., Koch B. et Zimmermann N. E. (2006) – Agricultural land abandonment and natural forest re-growth in the Swiss mountains: A spatially explicit economic analysis. Agriculture, Ecosystems and Environment, vol. 118 (1–4), p. 93–108.
DOI : 10.1016/j.agee.2006.05.001

GIEC (2007) – Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A., Geneva: GIEC, 103 p.

GIEC (2012) – Résumé à l'intention des décideurs. In: Gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique. Sous la direction de Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor et P.M. Midgley. Rapport spécial des Groupes de travail I et II du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique, p. 1–20.

GIEC (2014) – Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer. GIEC, Genève, Suisse, 161 p.

Gilbert A. et Vincent C. (2013) – Atmospheric temperature changes over the 20th century at very high elevations in the European Alps from englacial temperatures. Geophysical Research Letters, vol. 40 (10), p. 2102–2108.
DOI : 10.1002/grl.50401

Givry M. et Peteuil C. (2011a) – Construire en montagne. La prise en compte du risque torrentiel. MEDDTL, p. 125.
http://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/07/GUIDE_CONSTRUIRE_EN_MONTAGNE_-torrentiel20101.pdf

Givry M. et Peteuil C. (2011b) – Construire en montagne. La prise en compte du risque d'avalanche. MEDDTL, p. 83.
http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/DEFAULT/doc/IFD/I_IFD_REFDOC_0014637/Construire-en-montagne-la-prise-en-compte-du-risque-d'avalanche

Glade T. (2003) – Vulnerability assessment in landslide risk analysis. Die Erde, vol. 134 (2), Beitrag zur Erdsystemforschung, p. 123–146.
DOI : 10.1016/S0341-8162(02)00170-4

Glatron S. et Beck E. (2008) – Evaluation of socio-spatial vulnerability of citydwellers and analysis of risk perception: industrial and seismic risks in Mulhouse. Natural Hazards Earth System Science, vol. 8, p. 1029–1040.
DOI : 10.5194/nhess-8-1029-2008

Gobiet A., Kotlarski S., Beniston M., Heinrich G., Rajczak J. et Stoffel M. (2014) – 21st century climate change in the European Alps: A review. Science of The Total Environment, vol. 493, p. 1138–1151.
DOI : 10.1016/j.scitotenv.2013. 07.050

Goeldner-Gianella L. et Humain-Lamoure A.-L. (2010) – Les enquêtes par questionnaire en géographie de l'environnement. L'Espace géographique, vol. 39 (4), p. 325–344.
DOI : 10.3917/eg.394.0325

Götz J., Otto J.-C., Schrott L. (2013) – Postglacial sediment storage and rockwall retreat in a semi–closed inneralpine sedimentary basin (Gradenmoos, Hohe Tauern, Austria). Geograia Fisica e Dinamica Quaternaria, vol. 36, p. 63–80.
DOI : 10.4461/GFDQ.2013.36.5

Gozé-Bardin I. (2008) – Le scénario prospectif, outil d'exploration de l'intention stratégique? Management & Avenir, vol.17, (3), p. 298–318.
DOI : 10.3917/mav.017.0298

Graf W.L. (1970) – The geomorphology of the glacial valley cross section. Arctic and Alpine Research, vol. 2 (4), p. 303–312.
DOI : 10.1080/00040851.1970.12003589

Graff K., Viel V., Carlier B., Lissak C., Madelin M., Arnaud-Fassetta G., Fort M. (2018) – Traçage sédimentaire d'une lave torrentielle dans le bassin de la Peyronnelle (Queyras, Alpes françaises du Sud). Géomorphologie : Relief, Processus, Environnement, vol. 24 (1), p. 43–58.
DOI : 10.4000/geomorphologie.11967

Grandjean G., Bernardie S., Malet J.-P., Puissant A., Houet T., Fort M. et Pierre D. (2013) – SAMCO: Adaptation de la société aux risques en montagne dans un contexte de changement global. Journées Aléas Gravitaires 2013, Sep 2013, Grenoble, France. 4 p.
https://hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-00851962

Grandjean G., Pennetier C., Bitri A., Meric O., Malet J.P. (2006) – Caractérisation de la structure interne et de l'état hydrique de glissements argilo-marneux par tomographie géophysique : l'exemple du glissement-coulée de Super-Sauze, Alpes du Sud, France. Comptes Rendus Geoscience, vol. 338 (9), p. 587–597.
DOI : 10.1016/j.crte.2006.03.013

Gratton Y. (2002) – Le Kriegeage : La méthode optimale d'interpolation spatiale. Les articles de l'Institut d'Analyse Géographique, 4 p.
http://www.iag.asso.fr

Gravelius H. (1914) – Grundrifi der gesamten Gewcisserkunde. Band I: Flufikunde (Compendium of Hydrology, Vol. I. Rivers, in German). Goschen, Berlin.

Grozavu A., Mărgărint M.-C. et Patriche C.-V. (2010) – GIS applications for landslide susceptibility assessment: a case study in Iaşi County (Moldavian Plateau, Romania). In: Brebbia CA (ed.) Risk Analysis VII & Brownfields V, WIT Press, Southampton, p. 393–404.
DOI : 10.2495/RISK100341

Gu H., Du S., Liao B., Wen J., Wang C., Chen R. et Chen B. (2018) – A hierarchical pattern of urban social vulnerability in Shanghai, China and its implications for risk management. Sustainable Cities and Society, vol. 41, p. 170–179.
DOI : 10.1016/j.scs.2018.05.047

Gueben-Venière S. (2011) – En quoi les cartes mentales, appliquées à l'environnement littoral, aident-elles au recueil et à l'analyse des représentations spatiales ? EchoGéo, vol. 17, 12 p.
DOI : 10.4000/echogeo.12573

Guillard-Gonçalves C., Cutter S. L., Emrich C. T, Zêzere J. L. (2014) – Application of Social Vulnerability Index (SoVI) and delineation of natural risk zones in Greater Lisbon, Portugal. Journal of Risk Research, vol. 18 (5), p. 651–674.
DOI : 10.1080/13669877.2014.910689

Guillemot J., Mayrand E., Gillet J. et Aubé M. (2014) – La perception du risque et l'engagement dans des stratégies d'adaptation aux changements climatiques dans deux communautés côtières de la péninsule acadienne. VertigO, 14 (2), p. 2–27.
DOI : 10.4000/vertigo.15164

Gumuchian H., Mériaudeau R. et Peltier C. (1980) – L'isolement en montagne : éléments de réflexion. Revue de Géographie Alpine, vol. 68 (4), p. 305–325.
DOI : 10.3406/rga.1980.2209

Guns M. et Vanacker V. (2012) – Logistic regression applied to natural hazards: rare event logistic regression with replications. Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 12, p. 1937–1947.
DOI : 10.5194/nhess-12-1937-2012

H

Haeberli W., Schaub Y. et Huggel C. (2017) – Increasing risks related to landslides from degrading permafrost into new lakes in de-glaciating mountain ranges. Geomorphology, vol. 293, p. 405–417.
DOI : 10.1016/j.geomorph.2016.02.009

Hahn H., Villagràn De León J. et Hidajat R. (2003) – Comprehensive risk management by communities and local governments. Component III: Indicators and other disaster risk management instruments for communities and local governments. Study report. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, 123 p.

Hall C. A. S. et Day J. (1977) – Ecosystem Modeling in Theory and Practice. Wiley-Interscience, New York, 684 p.

Hall J., Arheimer B., Borga M., Brázdil R., Claps P., Kiss A., Kjeldsen T. R., Kriaučiūnienė J., Kundzewicz Z. W., Lang M., Llasat M. C., Macdonald N., McIntyre N., Mediero L., Merz B., Merz R., Molnar P., Montanari A., Neuhold C., Parajka J., Perdigão R. A. P., Plavcová L., Rogger M., Salinas J. L., Sauquet E., Schär C., Szolgay J., Viglione A., and Blöschl G. (2014) – Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment, Hydrology and Earth System Sciences, vol. 18, p. 2735–2772.
DOI : 10.5194/hess-18-2735-2014

Han Z., Lu X., H-rhager E. I. et Yan J. (2017) – The effects of trust in government on earthquake survivors' risk perception and preparedness in China. Natural Hazards, vol. 86, p.437–452.
DOI : 10.1007/s11069-016-2699-9

Harbor J.M., Wheeler D.A. (1992) – On the mathematical description of glaciated valley cross sections. Earth Surface Processes and Landforms, vol. 17, p. 477–485.
DOI : 10.1002/esp.3290170507

Harding R., Dockrell M. J. D., Dockrell J. et Corrigan N. (2001) – Motivational interviewing for HIV risk reduction among gay men in commercial and public sex settings. AIDS Care, vol. 13 (4), p. 493–501.
DOI : 10.1080/09540120120058021

Haynes K., Barclay J. et Pidgeon N. (2008) – Whose reality counts? Factors affecting the perception of volcanic risk. Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol. 172 (3–4), p. 259–272.
DOI : 10.1016/j.jvolgeores.2007.12.012

Hébert I. M. (2014) – Mountain Reflections: Reverence for the Consciousness of Nature. In: Vakoch D., Castrillón F. (eds), Ecopsychology, Phenomenology, and the Environment. Springer, New York, p. 27–46.
DOI : 10.1007/978-1-4614-9619-9_3

Heckmann T. et Schwanghart W. (2013) – Geomorphic coupling and sediment connectivity in an alpine catchment — exploring sediment cascades using graph theory. Geomorphology, vol. 182, p. 89–103.
DOI : 10.1016/j. geomorph.2012.10.033

Heitz C., Marc-Zwecker S., Mathis R. et Le Ber F. (2018) – Etude exploratoire des représentations de coulées d'eau boueuse en Alsace : Analyse d'enquêtes psychosociales et de dessins à main levée via un logiciel dédié. SAGEO, 2018, 15 p.
https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01877126

Hellequin A.-P., Flanquart H., Meur-Férec C. et Rulleau B. (2013) – Perceptions du risque de submersion marine par la population du littoral languedocien? : contribution à l'analyse de la vulnérabilité côtière. Natures Sciences Sociétés, vol. 21 (4), p. 385–399.
DOI : 10.1051/nss/2014002

Henrich L., McClure J., et Doyle E. E. H. (2018) – Perceptions of risk characteristics of earthquakes compared to other hazards and their impact on risk tolerance. Disasters, vol. 42 (4), p. 761–781.
DOI : 10.1111/disa.12284

Henselwood F. et Phillips G. (2006) – A matrix-based risk assessment approach for addressing linear hazard such as pipelines. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 19, p. 433–441.
DOI : 10.1016/j.jlp.2005.10.005

Herbin J. (1984) – L'approche scientifique du tourisme en montagne. Revue de géographie de Lyon, vol. 59 (1-2), p. 73–84.
DOI : 10.3406/geoca.1984.4021

Herrera C. (2010) – A la recherche de la ressource foncière territoriale sur les territoires de montagne. Revue de Géographie Alpine, vol. 98 (2), 12 p.
DOI : 10.4000/rga.1185

Heß V. D. C. (2017) – Weigh(t)ing the dimensions of social vulnerability based on a regression analysis of disaster damages, Natural Hazards and Earth System Sciences. Discuss.
DOI : 10.5194/nhess-2017-74

Hétu B. et Vandelac P. (1989) – La dynamique des éboulis schisteux au cours de l'hiver, Gaspésie septentrionale, Québec. Géographie Physique et Quaternaire, vol. 43 (3), p. 389–406.
DOI : 10.7202/032791ar

Hewitt K. et Mehta M. (2012) – Repenser le risque et les catastrophes dans les régions de montagne. Revue de Géographie Alpine, vol. 100 (1), p. 1–15.
DOI : 10.4000/rga.1650

Hibert C. (2008) – Imagerie géophysique combinée pour la caractérisation des glissements de terrain. Application aux « terres noires » des Alpes de Haute Provence. Rapport de stage, BRGM/RP- 56549-FR, 128 p.

Hilal M., Barczak A., Tourneux F.-P., Schaeffer Y., Houdart M. et Cremer-Schulte D. (2011) – Typologie des campagnes françaises et des espaces à enjeux spécifiques (littoral, montagne et DOM). In : Territoires en mouvement, vol. 7, Datar Travaux en ligne n°12, 80 p.
http://www.observatoire-des-territoires.gouv.fr/observatoire-des-territoires/fr/typologie-g-n-rale-des-campagnes-fran-aises

Hirano M. et Aniya M. (1988) – A rational explanation of cross–proile morphology for glacial valleys and of glacial valley development. Earth Surface Processes and Landforms, vol. 13, p. 707–716.
DOI : 10.1002/esp.3290130805

Hirsch R.-M. et Ryberg K.-R. (2012) – Has the magnitude of floods across the USA changed with global CO_2 levels? Hydrological Sciences Journal, vol. 57 (1), p. 1–9.
DOI : 10.1080/02626667.2011.621895

Hofmann T. et Schrott L. (2002) – Modelling sediment thickness and rockwall retreat in an Alpine valley using 2D–seismic refraction (Reintal, Bavarian Alps). Zeitschrit für Geomorphologie, Suppl. Bd., vol. 127, p. 175–196.

Holling C.-S. (1973) – Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, vol. 4, 23 p.
DOI : 10.1146/annurev.es.04.110173.000245

Holub M., Suda J. et Fuchs S. (2012) – Mountain hazards: reducing vulnerability by adapted building design. Environmental Earth Science, vol. 66 (7), p. 1853–1870.
DOI : 10.1007/s12665-011-1410-4

Horton R. E. (1945) – Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. GSA Bulletin, vol. 56 (3), p. 275–370.
DOI : 10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2

Hosmer D.-W. et Lemeshow S. (1989) – Applied Logistic Regression. John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 238–245.
http://resource.heartonline.cn/20150528/1_3kOQSTg.pdf

Houet T., Grémont M., Vacquié L., Forget Y., Marriotti A., Puissant A., Bernardie S., Thiery Y., Vandromme R. et Grandjean G. (2017) – Downscaling scenarios of future land use and land cover changes using a participatory approach: an application to mountain risk assessment in the Pyrenees (France). Regional Environmental Change, vol. 17 (8), p. 2293–2307.
DOI : 10.1007/s10113-017-1171-z

Huang J., Su F. et Zhang P. (2015) – Measuring Social Vulnerability to Natural Hazards in Beijing-Tianjin-Hebei Region, China, Chinese Geographical Science, vol. 25, p. 472–485.
DOI : 10.1007/s11769-015-0769-7

Huggel C. (2008) – Recent extreme slope failures in glacial environments: effects of thermal perturbation. Quaternary Science Reviews, vol. 28, p. 1119–1130.
DOI : 10.1016/j.quascirev.2008.06.007

Huggel C., Clague J.-J. et Korup O. (2012) – Is climate change responsible for changing landslide activity in high mountains? Earth, Surface, Processes & Landforms, vol. 37, p. 77–91.
DOI : 10.1002/esp.2223

Huihui N., An C. et Ning, C. (2010) – Some extensions on risk matrix approach. Safety Science, vol. 48, p. 1269–1278.
DOI :10.1016/j.ssci.2010.04.005

I

Ianni E., Geneletti D. et Ciolli M. (2015) – Revitalizing Traditional Ecological Knowledge: A Study in an Alpine Rural Community. Environmental Management, vol. 56, p. 144–156.
DOI : 10.1007/s00267-015-0479-z

Institut national de l'information géographique et forestière, IGN (2009) – BD ORTHO/BD TOPO: Hautes-Alpes, 2009.

INSEE (2006) – Queyras-Mont Viso : une vitalité démographique et économique structurée par le tourisme, direction Marie-Annick Bras avec la participation de Christine Chassang, Marjorie Martin et la collaboration de Gérard Davoult (DRAF Provence-Alpes-Côte d'Azur Service de la statistique), 24 p.
https://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/2892/1/re04.pdf

INSEE (2008) – Recensement de la Population 2006, Hautes-Alpes, exploitation principal, 2008.

INSEE (2014) – Recensement de la Population 2012, Hautes-Alpes, exploitation principal, 2014.

IPCC (2007) – Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p.
https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/en/frontmatter.html

IPCC (2012) – Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G.-K., Allen, S. K., Tignor, M., and Midgley, P. M., Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 p.

IRSTEA (2016) – Notice sur les avalanches constatées et leur environnement, dans le massif du Queyras. Document de synthèse accompagnant la carte et les fiches signalétiques de la CLPA, 7 p.
http://avalanchesftp.grenoble.cemagref.fr/epaclpa/notices_par_massif/queyras.pdf

J

Jaboyedof M. et Derron M.-H. (2005) – A new method to estimate the infilling of alluvial sediment of glacial valleys using a sloping local base level. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, Vol. 28 (1), p. 37–46.
http://www.glaciologia.it/wp-content/uploads/Abstracts/Abstract28_1/03_Jaboyedoff_37_46_abst.pdf

Jäckli H. (1957) – Gegenwartsgeologie des bündnerischen Rheingebietes. Beitr. Geol. Schweiz, Geotech. Ser., vol. 36, 136 p.
DOI : 10.1177/0309133306071958

Jeffers J. M. (2013) – Integrating vulnerability analysis and risk assessment in flood loss mitigation: An evaluation of barriers and challenges based on evidence from Ireland, Applied Geography, vol. 37, p. 44–51.
DOI : 10.1016/j.apgeog.2012.10.011

James L.-A. (1996) – Polynomial and power functions for glacial valley cross section morphology. Earth, Surface, Processes & Landforms, vol. 21, p. 413–432.
DOI : 10.1002/(SICI)1096-9837(199605)21:5<413::AID-ESP570>3.0.CO;2-S

Jemmah A.-I. et Ait Brahim L. (2018) – Mass movement susceptibility mapping - A comparison of logistic regression and Weight of evidence methods in Taounate-Ain Aicha region (Central Rif, Morocco) MATEC Web of Conferences 149, 02094, 7 p.
DOI : 10.1051/matecconf/201814902094

Jomelli V., Brunstein D., Déqué M., Vrac M. et Grancher D. (2009) – Impacts of future climatic change (2070–2099) on the potential occurrence of debris flows: a case study in the Massif des Ecrins (French Alps). Climatic Change, vol. 97, p. 171–191.
DOI : 10.1007/s10584-009-9616-0

Jomelli V., Pavlova I., Utasse M., Chenet M., Grancher D., Brunstein D. et Leone F. (2011) – Are debris floods and debris avalanches responding univocally to recent climatic change: a case study in the French Alps. In: Blanco, J., Kheradmand, H. (Eds.), Climate Change, Geophysical Foundations and Ecological Effects. InTech, Rijeka, p. 423–444.
DOI : 10.5772/23916

Jorda M. et Rosique T. (1994) – Le Tardiglaciaire des Alpes françaises du Sud. Rythme et modalités des changements bio–morphoclimatiques. Quaternaire, vol. 5 (3-4), p. 141–149.
DOI : 10.3406/quate.1994.2025

K

Kaiser B. (1992) – Variations spatiales et temporelles dans les rythmes d'évolution des versants alpins. Bulletin de l'Association de Géographes Français, vol. 69 (3), p. 265–270.
DOI : 10.3406/bagf.1992.7705

Kaitna R. et Huber T. (2017) – Debris Flow Activity in Permafrost Regions in Austria During the 20th Century. In: Mikoš M., Casagli N., Yin Y., Sassa K. (eds) Advancing Culture of Living with Landslides. Workshop on World Landslide Forum, Springer, Cham, p. 421–427.
DOI : 10.1007/978-3-319-53485-5_50

Kang H. et Kim Y. (2016) – The physical vulnerability of different types of building structure to debris flow events. Natural Hazards, vol. 80, p. 1475–1493.
DOI : 10.1007/s11069-015-2032-z

Kappes M.S., Papathoma-Köhle M. et Keiler M. (2012) – Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology. Applied Geography, vol. 32, p. 577–590.
DOI : 10.1016/j.apgeog.2011.07.002

Karagiorgos K., Thaler T., Hübl J., Maris F. et Fuchs S. (2016) – Multivulnerability analysis for flash flood risk management. Natural Hazards, vol. 82, p. 63–87.
DOI : 10.1007/s11069-016-2296-y

Katz R.W. et Brown B.G. (1992) – Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. Climatic Changes, vol. 21, p. 289–302.
DOI : 10.1007/BF00139728

Kavzoglu T., Sahin E.-K. et Colkesen I. (2014) – Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. Landslides, vol. 11 (3), p. 425–439.
DOI : 10.1007/s10346-013-0391-7

Keiler M. et Fuchs S. (2016) – Vulnerability and exposure to geomorphic hazards – some insights from mountain regions. M. Meadows, J.C. Lin (Eds.), Geomorphology and Society, Springer, Tokyo, p. 165–180.
DOI : 10.1007/978-4-431-56000-5_10

Keiler M., Knight J. et Harrison S. (2010) – Climate change and geomorphological hazards in the eastern European Alps. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, vol. 368, p. 2461–2479.
DOI : 10.1098/rsta.2010.0047

Keiler M., Sailer R., Jörg P., Weber C., Fuchs S., Zischg A. et Sauermoser S. (2006) – Avalanche risk assessment— a multi-temporal approach, results from Galtür, Austria. Natural Hazards Earth System & Science, vol. 6, p. 637–651.
DOI : 10.5194/nhess-6-637-2006

Kellens W., Terpstra T. et De Maeyer P. (2013) – Perception and Communication of Flood Risks: A Systematic Review of Empirical Research. Risk Analysis, vol. 33 (1), p. 24–49.
DOI : 10.1111/j.1539-6924.2012.01844.x

Kermisch C. (2010) – Les paradigmes de la perception des risques, Paris, Lavoisier, 250 p.

Kermisch C. (2012) – Vers une définition multidimensionnelle du risque. VertigO, vol. 12 (2), 15 p.
DOI : 10.4000/vertigo.12214

King C.-A.-M. (1974) – Morphometry in glacial geomorphology. In Coates D.R. (Ed.): Glacial Geomorphology. State University of New York, Binghamton, p. 147–162.
DOI : 10.1007/978-94-011-6491-7_5

King, G. et Zeng, L. (2001) – Logistic Regression in Rare Events Data. Political Analysis, vol. 9 (2), p. 137–163.
DOI : 10.1093/oxfordjournals.pan.a004868

Kohler T., Wehrli A. et Jurek M. (2014) – Mountains and climate chance. A global concern. Sustainable Mountain Development Series. Bern: Centre for Development and Environment (CDE), Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC) and Geographica Bernensia, 140 p.
DOI : 10.7892/boris.61540

Koks E. E., Jongman B., Husby T. G. et Botzen W. J. W. (2015) – Combining hazard, exposure and social vulnerability to provide lessons for flood risk management, Environmental Science & Policy, vol. 47, p. 42–52.
DOI : 10.1016/j.envsci.2014.10.013

Kollas C., Körner C. et Randin C. F. (2014) – Spring frost and growing season length co-control the cold range limits of broad-leaved trees. Journal of Biogeography, vol. 41, p. 773–783.
DOI : 10.1111/Jbi.12238

Köplin N., Schädler B., Viviroli D. et Weingartner R. (2014) – Seasonality and magnitude of floods in Switzerland under future climate change. Hydrological Processes, vol. 28, p. 2567–2578.
DOI : 10.1002/hyp.9757

Körner C. (2007) – The use of altitude in ecological research. Trends in Ecology & Evolution, vol. 22, p. 569–574.
DOI : 10.1016/j.tree.2007.09.006

Koscielny M. (2008) – Impacts des aménagements en montagne sur les processus hydrologiques et l'évolution géodynamique des versants (Les Arcs, Savoie, France). Bulletin of Engineering Geology and the Environment, vol. 67, p. 585–595.
DOI : 10.1007/s10064-008-0165-y

Koulinski V. (2000a) – Étude hydraulique du torrent du Peynin sur son cône de déjection. Publication ETRM, commune d'Aiguilles, 58 p.

Koulinski V. (2000b) – Etude hydraulique du torrent du Peynin sur son cône de déjection. Publication ETRM, commune d'Aiguilles, 78 p.

Koulinski V. (2001) – Actualisation de l'expertise hydraulique suite à la crue d'octobre 2000. Publication ETRM, Commune d'Abriès et d'Aiguilles. 24 p.

Koulinski V. et Lefort P. (2000) – Crue du Guil du 13 Juin 2000, expertise hydraulique. Publication ETRM, Parc Naturel Régional du Queyras. 35 p.

Koutsoyiannis D., Montanari A., Lins H. F. et Cohn T. A. (2009) – Climate, hydrology and freshwater: towards an interactive incorporation of hydrological experience into climate research. Discussion of "The implications of projected climate change for freshwater resources and their management" by Kundzewicz et al. (2008). Hydrological Sciences Journal, vol. 54 (2), p. 394–405.
DOI : 10.1623/hysj.54.2.394

Kron W. (2002) – Flood risk = hazard × exposure × vulnerability. Keynote Lecture, Proceedings of the Flood Defence, 17 p.
http://www.civil.ist.utl.pt/~joana/DFA-riscos-net/2007-08/kron%20-%20flod%20risk%20=%20hazard.pdf

Kundzewicz Z. W., Kanae S., Seneviratne S. I., Handmer J., Nicholls N., Peduzzi P., Mechler R., Bouwer L. M., Arnell N., Mach K., Muir-Wood R., Brakenridge G. R., Kron W., Benito G., Honda Y., Takahashi K. et Sherstyukov B. (2014) – Flood risk and climate change: global and regional perspectives. Hydrological Sciences Journal, vol. 59 (1), p. 1–28.
DOI : 10.1080/02626667.2013.857411

L

Lafaysse M. (2011) – Changement climatique et régime hydrologique d'un bassin alpin. Génération de scenarios sur la Haute-Durance, méthodologie d'évaluation et incertitudes associées. Thèse de doctorat, Géographie, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 311 p.
http://thesesups.ups-tlse.fr/1679/1/2011TOU30295.pdf

Lamarre M., Chadenas C., Chauveau E., Desse M., Navarro Carrascal O., Krien N., Fleury-Bahi G. et Guillard M. (2016) – Percevoir les risques côtiers par la carte mentale : exemple sur le littoral des Sables-d'Olonne. Les Cahiers Nantais, IGARUN, vol. 2, p. 21–29.
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01417191

Lambert N. et Zanin C. (2016) – Manuel de cartographie. Principes, méthodes, applications. Paris, Armand Colin (Cursus), 221 p.

Langlois A. et Phipps M. (1997) – Automates cellulaires : application à la simulation urbaine, Paris, Hermes, 196 p.

Le Bouter F. (2014) – La sociologie constructiviste du risque de Niklas Luhmann. Communication et Organisation, vol. 45, p. 33–47.
DOI : 10.4000/ communicationorganisation.4471

Le Fur A. (2015) – Pratiques de la cartographie (2nd édition), Armand Colin: Paris, 128 p.

Le Gallou J.-Y. et Guignard P. (2011) – Modalité de prise en compte des avalanches exceptionnelles pour améliorer la prévention des risques et renforcer la sécurité des personnes. Rapport no.007395–01, Conseil General de l'Environnement et du Développement durable, 86 p.
https://www.ladocumentationfrancaise.fr/var/storage/rapports-publics/114000418.pdf

Lee Y.-J. (2014) – Social vulnerability indicators as a sustainable planning tool. Environmental Impact Assessment Review, vol. 44, p. 31–42.
DOI : 10.1016/j.eiar.2013.08.002

Lemée C., Fleury-Bahi G., Krien N., Deledalle A., Mercier D., Coquet M., Rommel D. et Navarro O. (2018) – Factorial structure of the coastal flooding risk perception and validation of a French coastal flooding risk evaluation scale (CFRES) for non-experts. Ocean and Coastal Management, vol. 155, p. 68–75.
DOI : 10.1016/j.ocecoaman.2018.01.030

Lenoir J., Gégout J. C., Marquet P. A., Ruffray P. D. et Brisse H. (2008) – A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. Science, vol. 320, p. 1768–1771.
DOI : 10.1126/science.1156831

Lenzi M. A., Mao L. et Comiti F. (2004) – Magnitude–frequency analysis of bed load data in an Alpine boulder bed stream. Water Resources Research, vol. 40, W07201, 12 p.
DOI : 10.1029/2003WR002961

Léone F. (1996) – Concept de vulnérabilité appliqué à l'évaluation des risques générés par les phénomènes de mouvements de terrain. Thèse de doctorat, Environnement et Société, Université de Grenoble, 270 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00721876

Léone F. (2007) – Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisques (mouvements de terrain, séismes, tsunamis, éruptions volcaniques, cyclones). Mémoire d'H.D.R, vol. 2, Université Paul Valéry Montpellier 3, 245 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00276636

Léone F., Astë J.-P. et Velasquez E. (1995) – Contribution des constats d'endommagement au développement d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité appliquée aux phénomènes de mouvements de terrain. Bulletin de l'Association des Géographes Français, Croissance urbaine et risques naturels, sous la direction de Robert d'Ercole et Jean-Claude Thouret, vol. 4, p. 350–371.
DOI : 10.3406/bagf.1995.1849

Léone F., Colas A., Garcin Y., Eckert N., Jomelli V. et Gherardi M. (2014) – Le risque avalanche sur le réseau routier alpin français. Revue de Géographie Alpine, 102 (4), 18 p.
DOI : 10.4000/rga.2491

Léone F., et Vinet F. (2006) – La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles : Analyses géographiques. Publications de l'université Paul Valéry, Montpellier 3, Collection « Géorisques » no 1, Montpellier, 72 p.
http://www.univ-montp3.fr/gcrn/images/stories/Documents_pdf/georisques_1_lv_part1.pdf

Lévy J. et Lussault M. (2003) – Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés, Paris, Belin, 1034 p.

Lhomme S. (2012) – Les réseaux techniques comme vecteur de propagation des risques en milieu urbain. Une contribution théorique et pratique à l'analyse de la résilience urbaine. Thèse de doctorat, Géographie, Université Paris 7, Diderot, 375 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00772204

Lhotellier R. (2005) – Spatialisation des températures en zone de montagne alpine. Thèse de doctorat, Géographie Physique, Université Joseph Fourier, Grenoble 1, 353 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011241

Li Y., Liu G., Cui Z. (2001) – Glacial valley cross–profile morphology, Tian Shan Mountains, China. Geomorphology, vol. 38 (1-2), p. 153–166.
DOI : 10.1016/S0169-555X(00)00078-7

Liébault F., Bellot H., Chapuis M., Klotz S., Deschâtres M. (2012) – Bedload tracing in a high-sediment-load mountain stream: bedload tracing in a high-sediment-load mountain stream. Earth Surface Processes & Landforms, vol. 37 (4), p. 385–399.
DOI : 10.1002/esp.2245

Liegeois M. (2005) – Des aléas et des hommes : Elaboration d'une méthode de diagnostic de la vulnérabilité à l'aléa érosion. Thèse de doctorat, École Normale Supérieure, Lettres et Sciences Humaines, 515 p.

Lindell M. K. et Perry R.W. (2000) – Household adjustment to earthquake hazard: A review of research. Environment and Behavior, vol. 32 (4), p. 461–501.
DOI : 10.1177/00139160021972621

Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolstro M., Lexer M.-J. et Marchetti M. (2010) – Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. Forest Ecology and Management, vol. 259, p. 698–709.
DOI : 10.1016/j.foreco.2009.09.023

Lissak C. (2012) – Les glissements de terrain des versants côtiers du Pays d'Auge (Calvados): Morphologie, fonctionnement et gestion du risque. Thèse de doctorat, Géographie, Université de Caen Basse-Normandie, France, 317 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00781940v2

Longepee E., Goeldner-Gianella L., Defossez S., Gherardi M., Anselme B., Durand P., Nicolae Lerma A. et Elineau S. (2015) – Perception, représentation et gestion du risque de submersion marine sur la côte languedocienne française : le cas de la station balnéaire récente de Leucate. Vulnérabilité des littoraux méditerranéens face aux changements environnementaux contemporains, At Kerkennah islands (Sfax), Tunisie, Oct 2015, Sfax, Tunisie. 7 p.
https://www.researchgate.net/publication/290946785

Lopez Saez J., Corona C. et Stoffel M., (2013) – Climate change increases the frequency of snowmelt-induced landslides in the French Alps. Geology, vol. 41, p. 619–622.
DOI : 10.1130/G34098.1

Luckman B. H. (1971) – The role of snow avalanches in the evolution of alpine talus slopes. In Brunsden, D. (ed.), Slopes: Form and Process, Inst. Brit. Geogr. Spec. Publ., vol. 3, p. 93–110.

Luckman B. H. (1972) – Some observations on the erosion of talus slopes by snow avalanches in Surprise Valley, Jasper National Park, Alberta. In Slaymaker, H. O. and McPherson, H. J. (eds.), Mountain Geomorphology, Tantalus Press, Vancouver, p. 85–92.

Luckman B. H. (1977) – The geomorphic activity of snow avalanches. Geografiska Annaler, vol. 59 (1-2), p. 31–48.
DOI : 10.2307/520580

Luckman B. H. (1978) – Geomorphic work of snow avalanches in the Canadian Rocky Mountains. Arctic and Alpine Research, vol. 10 (2), p. 261–276.
DOI : 10.2307/1550759

Lugon R. et Stoffel M. (2010) – Rock-glacier dynamics and magnitude–frequency relations of debris flows in a high-elevation watershed: Ritigraben, Swiss Alps. Global and Planetary Change, vol. 73, p. 202–210.
DOI : 10.1016/j.gloplacha.2010.06.004

M

MacDonald D., Crabtree J.-R., Wiesinger G., Dax T., Stamou N., Fleury P., Lazpita J.G. et Gibon A. (2000) – Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: environmental consequences and policy response. Journal of Environmental Management, vol. 59, p. 47–69.
DOI : 10.1006/jema.1999.0335

Majone B., Villa F., Deidda R., Bellin A. (2016) – Impact of climate change and water use policies on hydropower potential in the south-eastern alpine region. Science of the Total Environment, vol. 543, p. 965–980.
DOI : 10.1016/j.scitotenv.2015.05.009

Malet J.-P. (2003) – Les glissements de type écoulement dans les marnes noires des Alpes du Sud. Morphologie, fonctionnement et modélisation hydro–mécanique. Thèse de doctorat, Géomorphologie, Université Louis Pasteur-Strasbourg I, 364 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00010298

Malet J.-P., Durand Y., Remaître A., Maquaire O., Etchevers P., Guyomarc'h G., Déqué M. et Van Beek L.-P.-H. (2007) – Assessing the influence of climate change on the activity of landslides in the Ubaye Valley. In Proceedings, International Conference on Landslides and Climate Change – Challenges and Solutions, McInnes R, Jakeways J, Fairbank H, Mathie E (eds). Taylor & Francis: London, p. 195–205.

Malet J.-P., Thiery Y., Maquaire O. et Puissant A. (2006) – Analyse spatiale, évaluation et cartographie du risque glissement de terrain. Revue Internationale de Géomatique, Lavoisier, vol. 16, p. 499–525.
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01108696

Manzo G. (2014) – Potentialités et limites de la simulation multi-agents : une introduction. Revue française de sociologie, vol. 55 (4), p. 653–688.
DOI : 10.3917/rfs.554.0653.

Maquaire O., Thiery Y., Malet J.-P. et Puissant A. (2006) – Evaluation et cartographie par SIG du risque de glissements de terrain : Application aux Alpes du Sud. Colloque international Interactions Natures et Sociétés, Juin 2006, La Baule, France, 5 p.
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00276913

Maquaire O., Weber C., Thiery Y., Puisant A., Malet J.-P. et Wania A. (2004) – Current practices and assessment tools of landslide vulnerability in mountainous basins. Identification of exposed elements with a semi-automatic procedure, Proceedings 9th International Symposium on Landslides, Leiden, Balkema, p. 171–176.
DOI : 10.1201/b16816-23

Mărgărint M.-C., Grozavu A. et Patriche C.-V. (2013) – Assessing the spatial variability of coefficientts of landslide predictors in different regions of Romania using logistic regression. Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 13 (12), p. 3339–3355.
DOI : 10.5194/nhess-13-3339-2013

Marin-Garcia I., Chavez-Burbano P., Guerra V., Rabadan J. et Perez-Jimenez R. (2017) – Considerations on Visible Light Communication security by applying the Risk Matrix methodology for risk assessment. PLoS ONE, vol. 12 (11), 22 p.
DOI : 10.1371/journal.pone.0188759

Martins-Campina B. (2005) – Le rôle des facteurs géologiques et mécaniques dans le déclenchement des instabilités gravitaires : exemple de deux glissements de terrain des Pyrénées Atlantiques (Vallée d'Ossau et Vallée d'Aspe). Thèse de doctorat, Université Sciences et Technologies, Bordeaux I, 290 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00324072

Marty C. (2008) – Regime shift of snow days in Switzerland. Geophysical Research Letters, vol. 35, L12501, p. 1–5.
DOI : 10.1029/2008GL033998

Mases M., Buisson L., Good W. et Vilaplana J. M. (1995) – Etude de la répartition spatiale des effets du transport de neige par le vent : premiers travaux réalisés à partir de mesures systématiques sur le terrain. Houille Blanche, vol. 50 (5-6), p. 50–55.
DOI : 10.1051/lhb/1995045

Mattsson L.-G. et Jenelius E. (2015) – Vulnerability and resilience of transport systems : A discussion of recent research. Transportation Research, Part A, vol. 81, p. 16–34.
DOI : 10.1016/j.tra.2015.06.002

Mauduit V., Mauduit C., Vulcano Greullet N., Coulon N., Hammoum F., Hamon D., Kerzreho J.-P., Piau J.-M. et Chabot A. (2013) – Dégradation subite des enrobés bitumineux par période de gel/dégel : Analyse de cas de terrain et recherche exploratoire en laboratoire. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, p. 47–63.
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00850949

Mazzorana B., Levaggi L., Keiler M. et Fuchs S. (2012) – Towards dynamics in flood risk assessment. Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 12, p. 3571–3587.
DOI : 10.5194/nhess-12-3571-2012

Meschinet De Richemond, N. (2010) – Le risque inondation en ville : une impossible territorialisation ? : Urban flood risk : an impossible territorialization ? In: Bulletin de l'Association de Géographes Français, vol. 87 (4) : Les grandes métropoles au risque de l'eau, mise en risque et résilience spatiale au Nord et au Sud, p. 438–451.
DOI : 10.3406/bagf.2010.8190

Messner F., Penning-Rowsell E., Green C., Meyer V., Tunstall S. et Van der Veen A. (2007) – Evaluating flood damages: guidance and recommendations on principles and methods. FLOODsite Project Deliverable D9.1. 189 p.
http://www.floodsite.net

Mestre-Gonguet C. (2002) – L'intégration des arrière-pays de faible densité aux réseaux euro-méditerranéens de transport rapide : l'exemple des Alpes du Sud. Méditerranée, vol. 98 (1-2) : Systèmes de transport en mutation dans l'espace euro-méditerranéen, hommage au professeur Maurice Wolkowitsch, p. 283–298.
DOI : 10.3406/medit.2002.3240

Metz C.-E. (1978) – Basic principles of ROC analysis. In: Seminars in nuclear medicine. Elsevier, vol. 8 (4), p. 283–298.
DOI : 10.1016/S0001-2998(78)80014-2

Metzger P., D'Ercole R. (2011) – Les risques en milieu urbain: éléments de réflexion. EchoGéo, vol. 18, p. 2–13.
DOI : 10.4000/echogeo.12640

Meyer V., Scheuer S. et Haase D. (2009) – A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde River, Germany. Natural Hazards, vol. 48, p. 17–39.
DOI : 10.1007/s11069- 008-9244-4

Miagkov S. M. (1967) – Akkumuliativnye lavinnye formy rel'efa v Khibinakh i puti ispol'zovaniia ikh kharakteristik dlia opredeleniia granitz lavinoopasnykh zon. In Tushinsky, G. K. (ed.), Snow and Avalanches in the Khibin Mountains, Moscow State University, p. 15–95.

Milhabet I., Desrichard O. et Verlhiac J.-F. (2002) – Comparaison sociale et perception des risques : l'optimisme comparatif. In : Beauvois, J-L, Joulé, R-V. & Monteil, J-M. Perspectives cognitives et conduites sociales, vol. 8. Rennes : Presses universitaires de Rennes, p. 215–245.

Mitterer C. et Schweizer J. (2013) – Analysis of the snow-atmosphere energy balance during wet-snow instabilities and implications for avalanche prediction. The Cryosphere, vol. 7, p. 205–216.
DOI : 10.5194/tc-7-205-2013

Mizuyama T. (1977) – Bedload transport in steep channels. Thèse de doctorat, Sédimentologie, Université de Kyoto, Japon, 118 p.
https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/131954/1/Mizuyama_Takahisa_en.pdf

Morange M. et Schmoll C. (2018) – Les outils qualitatifs en géographie. Annales de Géographie, vol. 722 (4), p. 427–438.
DOI :10.3917/ag.722.0427

Moscovici S. (1961) – La Psychanalyse, son image et son public. Paris : Presses universitaires de France, coll. « Bibliothèque de psychanalyse », 650 p.

Moser S. C. (2010) – Now more than ever: the need for more societally relevant research on vulnerability and adaptation to climate change. Applied Geography, vol. 30, p. 464–474.
DOI : 10.1016/j.apgeog.2009.09.003

Mouthon F. (2001) – L'habitat montagnard à la fin du XV^e^ et au début du XVI^e^ siècle dans la vallée de Ceillac (Hautes-Alpes). In: Le Monde alpin et rhodanien. Revue Régionale d'Ethnologie, vol. 4, p. 45–70.
DOI : 10.3406/mar.2001.1746

Muhar A., Schauppenlehner T., Brandenburg C. et Arnberger A. (2007) – Alpine summer tourism: The mountaineers' perspective and consequences for tourism strategies in Austria. Forest Snow and Landscape Research, vol. 81 (1-2), p. 7–17.
DOI : 10.1.1.466.9766

Müller A., Reiter J. et Weiland U. (2011) – Assessment of urban vulnerability towards floods using an indicator-based approach—a case study for Santiago de Chile. Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 11, p. 2107–2123.
DOI : 10.5194/nhess-11-2107-2011

N

Naaim M., Eckert N., Giraud G., Faug T., Chambon G., Naaim-Bouvet F. et Richard D. (2016) – Impact du réchauffement climatique sur l'activité avalancheuse et multiplication des avalanches humides dans les Alpes françaises. Houille Blanche, vol. 6, p. 12–20.
DOI : 10.1051/lhb/2016055

Naaim-Bouvet F., Guyomarc'h G., Naaim M., Durand Y., Bellot H. et Pugliese P. (2012) – Transport de neige par le vent sur un site de haute montagne : de la modélisation à l'observation, de l'observation à la modélisation. Houille Blanche, vol. 8 (1), p. 51–57.
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00615515

Nakayachi K., Yokoyama H. M. et Oki S. (2015) – Public anxiety after the 2011 Tohoku earthquake: fluctuations in hazard perception after catastrophe. Journal of Risk Research, vol. 18 (2), p. 156–169.
DOI : 10.1080/13669877.2013.875936

Nelson K. S., Abkowitz M. D. et Camp J. V. (2015) – A method for creating high resolution maps of social vulnerability in the context of environmental hazards. Applied Geography, vol. 63, p. 89–100.
DOI : 10.1016/j.apgeog.2015.06.011

Nemec J., Gruber C., Chimani B. et Auer I. (2013) – Trends in extreme temperature indices in Austria based on a new homogenised dataset. International Journal of Climatology, vol. 33 (6), p. 1538–1550.
DOI : 1010.1002/joc.3532.

Nichols M.-H. (2004) – A radio frequency identification system for monitoring coarse sediment particle displacement. Applied Engineering in Agriculture, vol. 20 (6), p. 783–787.
DOI : 10.13031/2013.17727

Nocquet J.-M. (2002) – Mesure de la déformation crustale en Europe occidentale par géodésie spatiale. Thèse de doctorat, Géophysique, Université de Nice Sophia-Antipolis, 313 p.
http://recherche.ign.fr/labos/lareg/pdf/Theses/these_jean-mathieu_noquet_2002.pdf

November V., Delaloye R. et Penelas M. (2007) – Gérer et alerter : Les acteurs et leurs pratiques dans le cas des risques d'inondation en Suisse. Revue de Géographie Alpine, vol. 95 (2), p. 1–12.
DOI : 10.4000/rga.140

O

Ohmori H. et Shimazu H. (1994) – Distribution of hazard types in a drainage basin and its relation to geomorphological setting. Geomorphology, vol. 10, p. 95–106.
DOI : 10.1016/0169-555X(94)90010-8

Otto J.-C. (2006) – Paraglacial sediment storage quantification in the Turtmann Valley, Swiss Alps. Thèse de Doctorat, Géomorphologie, Université de Bonn, Allemagne, 195 p.
http://hss.ulb.uni-bonn.de/2006/0925/0925.pdf

Otto J.-C., Goetz J., Schrott L. (2008) – Sediment storage in Alpine sedimentary systems – quantification and scaling issues. Sediment Dynamics in Changing Environments (Proceedings of a symposium held in Christchurch, New Zealand, December 2008). IAHS Publ., vol. 325, p. 258–265.
https://iahs.info/uploads/dms/14521.38-258-265-32-325-Otto_sm.pdf

Otto J.-C., Schrott L., Jaboyedof M., Dikau R. (2009) – Quantifying sediment storage in a high Alpine valley (Turtmanntal, Switzerland). Earth Surface Processes and Landforms, vol. 34, p. 1726–1742.
DOI : 10.1002/esp.1856

Oury J.-L., Durville J.-L. et Madelaigue C. (1988) – L'étude de simulation des effets du séisme de Lambesc. Aménagement et Nature, vol. 90, Numéro spécial « Catastrophes naturelles, risques et prévention », p. 15–18.
http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/49569/AetN_1988_90_15.pdf?sequence=1

P

Pachauri R. K., Allen M. R., Barros V. R., Broome J., Cramer W., Christ R., Church J. A., Clarke L., Dahe Q., Dasgupta P., Dubash N. K., Edenhofer O., Elgizouli I., Field C. B., Forster P., Friedlingstein P., Fuglestvedt J., Gomez-Echeverri L., Hallegatte S., Hegerl G., Howden M., Jiang K., Jimenez Cisneroz B., Kattsov V., Lee H., Mach K. J., Marotzke J., Mastrandrea M. D., Meyer L., Minx J., Mulugetta Y., O'Brien K., Oppen-heimer M., Pereira J. J., Pichs-Madruga R., Plattner G. K., Pörtner H. O. , Power S. B., Preston B., Ravindranath N. H., Reisinger A., Riahi K., Rusticucci M., Scholes R., Seyboth K., Sokona Y., Stavins R., Stocker T. F., Tschakert P., Van Vuuren D. et Van Ypserle J. P. (2014) – Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by: Pachauri, R. and Meyer, L., Geneva, Switzerland, IPCC, 151 p.

Paegelow M., Villa N., Cornez L., Ferraty F., Ferré L. et Sarda P. (2004) – Modélisations prospectives de l'occupation du sol. Le cas d'une montagne méditerranéenne. Cybergeo, vol. 295, 18 p.
DOI : 10.4000/cybergeo.2811

Panini T. et Amandier L. (2005) – Climats pluviométriques et thermiques en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, Analyse des données météorologiques 1961-1996 et cartographie par système d'information géographique. Forêt Méditerranéenne, vol. 26 (4), p. 299–308.

http://hdl.handle.net/2042/39561

Papathoma-Köhle M., Kappes M., Keiler M. et Glade T. (2011) – Physical vulnerability assessment for alpine hazards: state of the art and future needs. Natural Hazards, vol. 58, p. 645–680.
DOI : 10.1007/s11069-010-9632-4

Papathoma-Köhle M. (2016) – Vulnerability curves vs. vulnerability indicators: application of an indicator-based methodology for debris-flow hazards. Natural Hazards, Earth Système and Science, vol. 16, p. 1771–1790.
DOI : 10.5194/nhess-16-1771-2016

Papathoma-Köhle M., Gems B., Sturm M. et Fuchs S. (2017) – Matrices, curves and indicators: A review of approaches to assess physical vulnerability to debris flows. Earth-Science Reviews, vol. 171, p. 272–288.
DOI : 10.1016/j.earscirev.2017.06.007

Paquet G. (1999) – La résilience dans l'économie. L'AGORA, vol. 7, p. 14–17.
http://gouvernance.ca/publications/99-34.pdf

Parc Naturel Régional du Queyras (2004) – Contrat de Rivière du Guil. Rapport non publié, 193 p.

Parc Naturel Régional du Queyras (2010) – Schéma écotourisme Queyras 2010 – 2015, Rapport non publié, 67 p.

Parc Naturel Régional du Queyras (2014) – Plan de gestion du transport solide dans le bassin-versant du Guil : 1 : Quantification. Koulinski Vincent, Naffzger Laurence, Diot Pascal, Bouvet Philippe, rapport non publié, 416 p.

Parc Naturel Régional du Queyras (2016) – Diagnostic de vulnérabilité du bassin-versant du Guil aux inondations, rapport non publié, 91 p.

Patenaude J. (2002) – L'évaluation du risque et ses paradigmes. Éthique publique, vol. 4 (2), 14 p.
DOI : 10.4000/ethiquepublique.2195

Paton D., Smith L., Daly M. et Johnston D. (2008) – Risk perception and volcanic hazard mitigation: Individual and social perspectives. Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol. 172 (3-4), p. 179–188.
DOI : 10.1016/j.jvolgeores.2007.12.026

Paulet J.-P. (2002) – Les représentations mentales en géographie. Paris, Anthropos, 152 p.

Pavlova I., Jomelli V., Brunstein D., Grancher D., Martin E. et Déqué M. (2014) – Debris flow activity related to recent climate conditions in the French Alps: A regional investigation. Geomorphology, vol. 219, p. 248–259.
DOI : 10.1016/j.geomorph.2014.04.025

Pech P. (1986) – La dynamique des versants dans l'Ossola (Italie du Nord, Alpes centrales). Revue de Géographie Alpine, vol. 74 (4), p. 355–371.
DOI : 10.3406/rga.1986.2656

Peltier A. (2005) – La gestion des risques naturels dans les montagnes d'Europe occidentale. Thèse de doctorat, Géographie, Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 741 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00078352

Pérez-Soba M., Paterson J. et Metzger M. (2015) – Visions of future land use in Europe: stakeholder visions for 2040. VOLANTE project report, Alterra Wageningen UR, p. 1–24.
https://www.volante-project.eu/docs/visions.pdf

Peret J. (2012) – Épistémologie du risque : la troisième voie d'Ulrich Beck et son influence sur la doctrine environnementaliste. Lex Electronica, vol. 17 (1), 17 p.
https://www.lex-electronica.org/s/164.

Perlik M. (1996) – Polarisation de l'arc alpin en régions urbanisées de navetteurs et en régions de dépopulation. Quatre types de changement structurel majeurs : essai méthodologique. Revue de Géographie Alpine, vol. 84 (1), p. 23–34.
DOI : 10.3406/rga.1996.3845

Perlik M. (2015) – Mountains as Global Suppliers: New Forms of Disparities between Mountain Areas and Metropolitan Hubs. Revue de Géographie Alpine, vol. 103 (3), 10 p.
DOI : 10.4000/rga.3142

Péron F. (1994) – Caen, ville universitaire. Pratiques et perceptions du campus, de l'agglomération caennaise et de la région par les étudiants. L'Université, la région, les villes en Basse-Normandie, Hérin R. (dir.), Caen: CRESO, UCBN, Caen, p. 91–121.

Peruccacci S., Brunetti M. T., Gariano S. L., Melillo M., Rossi M. et Guzzetti F. (2017) – Rainfall thresholds for possible landslide occurrence in Italy. Geomorphology, vol. 290, p. 39–57.
DOI : 10.1016/j.geomorph.2017.03.031

Pielmeier C., Techel F., Marty C. et Stucki T. (2013) – Wet snow avalanche activity in the Swiss Alps: trend analysis for midwinter season. Proceedings of the International Snow Science Workshop, Grenoble and Chamonix, p. 1240–1246.
https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl:16990

Pieret J. (2012) – Épistémologie du risque : la troisième voie d'Ulrich Beck et son influence sur la doctrine environnementaliste. Lex Electronica, vol. 17 (1), 17 p.
https://www.lex-electronica.org/files/sites/103/17-1_pieret.pdf

Pifner O.A., Lehner P., Heitzmann P., Mueller S. et Steck A. (1997) – Deep structure of the Swiss Alps: Results of NRP 20. Geophysical Journal International, vol. 131 (2), p. 409–410.
DOI : 10.1111/j.1365-246X.1997.tb01232.x

Pigeon P. (1998) – Représentation cartographique du risque et vulnérabilité liée à la pression foncière touristique (Taconnaz, Les Houches et Vers-le-Nant, Chamonix). Revue de Géographie Alpine, vol. 86 (2), p. 101–113.
DOI : 10.3406/rga.1998.2883

Pigeon P. (2002) – Réflexions sur les notions et les méthodes en géographie des risques dits naturels. Annales de Géographie, vol. 111 (627-628), p. 452–470.
DOI : 10.3406/geo.2002.21624

Pigeon P. (2005) – Géographie critique des risques. Economica, Anthropos, Paris, 218 p.

Pigeon P. (2006) – L'efficacité des politiques gérant les risques dits naturels en France : lecture géographique - in F. Leone et F. Vinet F., La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles, Collection Géorisques n°1, publications de Montpellier III, p. 27–34.

Plumelle C. (2013) – Théorie et pratique de la géotechnique. Editions Le Moniteur, Coll. Expertise technique, 1018 p.

Poiraud A. (2013) – Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain lents dans le bassin tertiaire du Puy-en-Velay : apport des combinaisons de méthodes. Journées Aléa Gravitaire, Sep 2013, Grenoble, France, 7 p.
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01088297

Pourghasemi H. R., Moradi H. R. et Fatemi Aghda S. M. (2013) – Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. Natural Hazard, vol. 69 (1), p. 749–779.
DOI : 10.1007/s11069-013-0728-5

Poussin J. K., Bubeck P., Aerts J. C. J. H. et Ward P. J. (2012) – Potential of semi-structural and non-structural adaptation strate gies to reduce future flood risk: case study for the Meuse, Natural Hazards and Earth System Science, vol. 12, p. 3455–3471.
DOI :10.5194/nhess-12-3455-2012, 2012.

PPRN d'Aiguilles (2018) – Plan de prévention des risques naturels : Rapport de présentation, Réalisation ONF et RTM, 78 p.

PPRN d'Abriès (2016) – Plan de prévention des risques naturels : Rapport de présentation, Réalisation ONF et RTM, 52 p.

PPRN de Château-Ville-Vieille (2010) – Plan de prévention des risques naturels : Rapport de présentation, Réalisation ALP'GEORISQUES, 56 p.

PPRN de Molines-en-Queyras (2007) – Plan de prévention des risques naturels : Rapport de présentation, Réalisation ONF et RTM, 30 p.

PPRN de Ristolas (2018) – Plan de prévention des risques naturels : Rapport de présentation, Réalisation ONF et RTM, 47 p.

PPRN de Saint-Véran (2016) – Plan de prévention des risques naturels : Rapport de présentation, Réalisation ONF et RTM, 63 p.

Pradhan B. et Abdulwahid W.-M. (2017) – Landslide Risk Assessment Using Multi-hazard Scenario Produced by Logistic Regression and LiDAR-Based DEM. In: Pradhan B. (eds) Laser Scanning Applications in Landslide Assessment. Springer, Cham, p. 253–275.
DOI : 10.1007/978-3-319-55342-9_13

Préau P. (1984) – Le changement social dans une commune touristique de montagne : Saint-Bon-Tarentaise (Savoie) (deuxième article). Revue de Géographie Alpine, vol. 72 (2-4), p. 411–437.
DOI : 10.3406/rga.1984.2581

Promper C., Puissant A., Malet J.-P. et Glade T. (2014) – Analysis of land cover changes in the past and the future as contribution to landslide risk scenarios. Applied Geography, vol. 53, p. 11–19.
DOI : 10.1016/j.apgeog.2014.05.020

Provitolo D. (2009) – Vulnérabilité et résilience : géométrie variable de deux concepts. In Séminaire résilience de l'ENS. Ecole Normale Supérieure, Nov 2009, Paris-ULM, France, 15 p.

Provitolo D. et Dauphiné A. (2007) – La résilience, un concept pour la géographie des risques. Annales de Géographie, vol. 654, p. 115–125.

DOI : 10.3917/ag.654.0115

Puissant A., Malet J.-P. et Maquaire O. (2006) – Mapping landslide consequences in mountain areas: a tentative approach with a semi-quantitative procedure. SAGEO, Strasbourg, France, p. 1–16.
http://www.ano-omiv.cnrs.fr/images/Publications/PDFs/Ubaye/ConferenceProceedings/2006-Puissant_mapping.pdf

Puissant A., Van Den Eeckhaut M., Malet J.-P., Maquaire O. (2013) – Landslide consequence analysis: a region-scale indicator-based methodology. Landslides, vol. 11 (5), p. 843–858.
DOI : 10.1007/s10346-013-0429-x

Q

Qasim S., Nawaz Khan A., Prasad Shrestha R. et Qasim M. (2015) – Risk perception of the people in the flood prone Khyber Pukhthunkhwa province of Pakistan. International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 14 (4), p. 373–378.
DOI : 10.1016/j.ijdrr.2015.09.001

Quenault B. (2015) – La vulnérabilité, un concept central de l'analyse des risques urbains en lien avec le changement climatique. Les Annales de la Recherche Urbaine, vol. 110 : Ville et vulnérabilités, p. 138–151.
DOI : 10.3406/aru.2015.3175

R

Rajczak J., Pall P. et Schär C. (2013) – Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region. Journal of Geophysical Research, vol. 118, p. 3610–3626.
DOI : 10.1002/jgrd.50297

Rapp A. (1960) – Recent Development of mountain slopes in Kärkevagge and surroundings, northern Scandinavia. Geografiska Annale, vol. 42 (2-3), p. 73–200.
DOI : 10.1080/20014422.1960.11880942

Ravanel L. (2009) – Evolution géomorphologique de la haute montagne alpine dans le contexte actuel de réchauffement climatique. Neige et glace de montagne : Reconstitution, dynamique, pratiques, Collection EDYTEM, Cahiers de Géographie, vol. 8, p. 113–124.
https://hal.archives-ouvertes.fr/halsde-00399773

Ravanel L. et Deline P. (2011) – Climate influence on rockfalls in high-Alpine steep rockwalls: the north side of the Aiguilles de Chamonix (Mont Blanc massif) since the end of the 'Little Ice Age'. Holocene, vol. 21, p. 357–365.
DOI : 10.1177/0959683610374887

Ravanel L. et Deline P. (2015) – Rockfall Hazard in the Mont Blanc Massif Increased by the Current Atmospheric Warming. In: Lollino G., Manconi A., Clague J., Shan W., Chiarle M. (eds): Engineering Geology for Society and Territory, vol. 11. Springer, Cham., p 425–428.
DOI : 10.1007/978-3-319-09300-0_81

Rebotier, J. (2008) – Les territorialités du risque urbain à Caracas. Les implications d'un construit socio spatial dans une métropole d'Amérique latine. Thèse de doctorat, Geographie, IHEAL, Paris III Sorbonne Nouvelle, Paris, 430 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00355850

Reghezza M. (2006) – Réflexions sur la vulnérabilité métropolitaine. La métropole parisienne face au risque de crue centennale. Thèse de doctorat, Géographie, Université de Paris X-Nanterre, 384 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00123255/document

Reghezza-Zitt M., Rufat S., Djament-Tran G., Le Blanc A. et Lhomme S. (2013) – What Resilience Is Not: Uses and Abuses. Cybergeo : European Journal of Geography, 20 p.
DOI : 10.4000/cybergeo.25554

Reghezza M. et Rufat S. (2015) – The Resilience Imperative: Uncertainty, Risks and Disasters, Elsevier-ISTE, London, 262 p.

Reid L.-M. et Dunne T. (2003) – Sediment budget as an organizing framework in fluvial geomorphology. In Kondolf G.M., Piégay H. (Eds.), Tools in Fluvial Geomorphology. Wiley, Chichester, p. 463-500.
DOI : 10.1002/9781118648551.ch16

Remaître A. (2006) – Morphologie et dynamique des laves torrentielles : Applications aux torrents des Terres Noires du bassin de Barcelonnette (Alpes du Sud). Thèse de doctorat, Géomorphologie, Université de Caen, 487 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00119737v2

Renard B. (2006) – Détection et prise en compte d'éventuels impacts du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques en France. Thèse de doctorat, Inst. Natl. Polytech. de Grenoble, Lyon, France, 364 p.
DOI : 10.1051/lhb:2008012

Renard F. et Soto D. (2015) – Une représentation du risque à l'intersection de l'aléa et de la vulnérabilité : cartographies des inondations lyonnaises. Geographica Helvetica, Association Suisse de Géographie, vol. 70, p. 333–348.
DOI : 10.5194/gh-70-333-2015

Reyt P. (2000) – La représentation du risque dans l'imaginaire des altitudes. Revue de Géographie Alpine, vol. 88 (4), p. 35–46.
DOI : 10.3406/rga.2000.3009

Richard E. (2014) – L'action publique territoriale face au défi de l'adaptation : déterminants et effets de la prise en compte des changements climatiques à l'échelle régionale. VertigO, hors-série, vol. 20, p. 1–20.
DOI : 10.4000/vertigo.15283

Rogelis M. C., Werner M., Obregón N. et Wright N. (2016) – Regional prioritisation of flood risk in mountainous areas, Natural Hazards and Earth System Science, vol. 16, p. 833–853.
DOI : 10.5194/nhess-16- 833-2016

Rollet A. J., Macvicar B., Piegay H., Roy A. (2008) – L'utilisation de transpondeurs passifs pour l'estimation du transport sédimentaire : premiers retours d'expérience. Houille Blanche, vol. 4, p. 110–116.
DOI : 10.1051/lhb:2008047

Romano B. et Zullo F. (2016) – Landscape change in the European Mountain Areas. Settlement of the Alps: Evolution and trajectories. Ri-Vista, vol.1, p. 88–109.
DOI : 10.13128/RV-18268

Rosa E. (1998) – Metatheoretical foundations for post-normal risk. Journal of Risk Research, vol. 1 (1), p. 15–44.
DOI : 10.1080/136698798377303

Roulleau L. (2014) – Cartographie d'inventaire et dynamique des mouvements de versant dans le bassin-versant du Guil (Hautes-Alpes, France). Mémoire de Master 1, Université Paris 7, Diderot, 77 p.

Roulleau L. (2015) – Evaluation et cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain. Application dans le bassin-versant du Guil. (Queyras, Alpes du Sud, France). Mémoire de Master 2, Université Paris 7, Diderot, 88 p.

Rousset R. (1947) – L'enneigement de printemps dans les Alpes du nord en 1946. Revue de Géographie Alpine, vol 35, p. 119–121.
DOI : 10.3406/rga.1947.5243

Rovera G. (1993) – Instabilité des versants et dissolution des évaporites dans les Alpes internes : l'exemple de La Montagne de Friolin (Peisey-Nancroix, Savoie). Revue de Géographie Alpine, vol. 81 (1), p. 71–84.
DOI : 10.3406/rga.1993.3696

Rupi F., Bernardi S., Rossi G. et Danesi A. (2015) – The Evaluation of Road Network Vulnerability in Mountainous Areas: A Case Study. Networks and Spatial Economics, vol. 15, p. 397–411.
DOI : 10.1007/s11067-014-9260-8

Russell L., Goltz J. D. et Bourque L. B. (1995) – Preparedness and hazard mitigation actions before and after two earthquakes. Environment and Behavior, vol. 27, p. 744–770.
DOI : 10.1177/0013916595276002

Rygel L., O'Sullivan D. et Yarnal B. (2006) – A method for constructing a social vulnerability index: an application to hurricane storm surges in a developed country. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, vol. 11, p. 741–764.
DOI : 10.1007/s11027-006-0265-6

S

Salès-Wuillemin E. (2006) – Méthodologie de l'enquête : De l'entretien au questionnaire. Bromberg, M., Trognon, A. Cours de psychologie Sociale 1, Presses Universitaires de France, p.45–77.

SAMCO ANR (2017) – Projet ANR SAMCO.
http://www.anr-samco.com

Sanders L. (1989) – L'analyse statistique des données en géographie. Montpellier, Alidade-Reclus, 268 p.
http://www.parisgeo.cnrs.fr/IMG/pdf/sanders_analyse_donnees_app_geo_total.pdf

Sanson J. (1948) – Les principales anomalies météorologiques de l'année 1947 en France. Annales de Géographie, vol. 57 (306), p. 178–181.

www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1948_num_57_306_12284

Santarelli L. (1974) – Tourisme et équipement routier dans une région de montagne : la province de Sondrio. Revue de Géographie Alpine, vol 62 (2), p. 219–240.
DOI : 10.3406/rga.1974.1370

Santoro S., Pluchinotta I., Pagano A., Pengal P., Cokan B. et Giordano R. (2019) – Assessing stakeholders' risk perception to promote Nature Based Solutions as flood protection strategies: The case of the Glinščica river (Slovenia). Science of the Total Environment, vol. 655, p. 188–201.
DOI : 10.1016/j.scitotenv.2018.11.116

Sauvayre R. (2013) – Les méthodes de l'entretien en sciences sociales. Dunod, « Psycho Sup », 2013, 156 p.
https://www.cairn.info/les-methodes-de-l-entretien-en-sciences-sociales--9782100579709.html

Sawatzky D.-L., Raines G.-L. et Bonham-Carter G.-F. (2009) – Spatial Data Modeler (SDM): ArcMAP geoprocessing tools for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural network, 19 p.
http://arcscripts.esri.com/details.asp?dbid=15341

SCAMPEI : Déque, M. & al. (2012) – Projet ANR-08-VULN-0009-01 Scampei (« Scénarios Climatiques Adaptés aux zones de Montagne : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitudes »). ProgrammeVMCS2008. Compte-rendu de fin de projet, 20 p.
http://www.umr-cnrm.fr/scampei/documents/rapfin/index.php

Schmidli J., Frei C. (2005) – Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. International Journal of Climatology, vol. 25, p. 753–771.
DOI : 10.1002/joc.1179

Schmidtlein M. C., Deutsch R. C., Piegorsch W. W. et Cutter S. L. (2008) – A sensitivity analysis of the social vulnerability index. Risk Analysis, vol. 28 (4), p. 1099–1114.
DOI : 10.1111/j.1539-6924.2008.01072.x

Schneiderbauer S. et Ehrlich D. (2004) – Risk, Hazard and People's Vulnerability to Natural Hazards: A Review of Definitions, Concepts and Data, European Commission-Joint Research Centre (EC-JRC), Brussels, EUR 21410 EN, 40 p.

Schoeneich P. et De Jong C. (2008) – « Évolution de l'environnement alpin ». Revue de Géographie Alpine, vol. 96 (4), p 53–64.
DOI : 10.4000/rga.596

Schoeneich P., Bodin X., Echelard T., Kaufmann V., Kellerer-Pirklbauer A., Krysiecki J. et Lieb G. (2015) – Velocity changes of rock glaciers and induced hazards. Engineering Geology for Society and Territory, vol. 1, p. 223–227.
DOI : 10.1007/978-3-319-09300-0_42

Schrott L. et Adams T. (2002) – Quantifying sediment storage and Holocene denudation in an Alpine basin, Dolomites, Italy. Zeitschrit für Geomorphologie, Suppl. band, vol. 128, p. 129–145.

Schrott L., Hufschmidt G., Hankammer M., Hofmann T. et Dikau R. (2003) – Spatial distribution of sediment storage types and quantification of valley ill deposits in an alpine basin, Reintal, Bavarian Alps, Germany. Geomorphology, vol. 51 (1), p. 45–63.
DOI : 10.1016/S0169-555X(03)00131-4

Schrott L. et Sass O. (2008) – Application of field geophysics in geomorphology: Advances and limitations exemplified by case studies. Geomorphology, vol. 93 (1-2), p. 55–73.
DOI : 10.1016/j.geomorph.2006.12.024

Sega R. (2017) – Les Alpes : marginalité et opportunité d'un territoire productif. Tracés Espazium, Projection Alpines, vol. 1, p. 28–35.
https://www.espazium.ch/fr/actualites/les-alpes-marginalite-et-opportunite-dun-territoire-productif

Seneviratne S.-I., Nicholls N., Easterling D., Goodess C.-M., Kanae S., Kossin J., Luo Y., Marengo J., McInnes K., Rahimi M., Reichstein M., Sorteberg A., Vera C., et Zhang X. (2012) – Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, p. 109–230.
DOI : 10.1017/CBO9781139177245.006

Serre D. (2011) – La ville résiliente aux inondations Méthodes et outils d'évaluation. Thèse de doctorat, Géographie, Université Paris-Est, 173 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00777206

Serre D., Barroca B. et Laganier R. (2012) – Resilience and urban risk management, CRC Press, Taylor & Francis Group, 192 p.

Shapira S., Aharonson-Daniel L. et Bar-Dayan Y. (2018) – Anticipated behavioral response patterns to an earthquake: The role of personal and household characteristics, risk perception, previous experience and preparedness. International Journal of Disaster Risk Reduction, vol. 31, p. 1–8.
DOI : 10.1016/j.ijdrr.2018.04.001

Shreve R. L. (1966) – Statistical law of stream numbers. The Journal of Geology, vol. 74 (1), p. 17–37.
https://www.jstor.org/stable/30075174

Shroder J.-F., Scheppy R.-A. et Bishop M.-P. (1999) – Denudation of Small Alpine Basins, Nanga Parbat Himalaya, Pakistan. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, vol. 31 (2), p. 121–127.
DOI : 10.2307/1552600

Slaymaker O., Spencer T. et Embleton-Hamann C. (2009) – Geomorphology and global environmental change. Cambridge, University Press, 435 p.
DOI : 10.1017/CBO9780511627057

Slovic P., (2000) – Risk, society, and policy series. The perception of risk. London, England, Earthscan Publications, 512 p.

Slovic P. (2016) – Understanding perceived risk: 1978-2015. Environment, vol. 58, p. 25–29.
DOI : 10.1080/00139157.2016.1112169

Spindler J. (2005) – Le financement des politiques locales du tourisme. Annuaire des Collectivités Locales, vol. 25 : Le financement des politiques locales, p. 55–64.
DOI : 10.3406/coloc.2005.1841

Springer C., Matulla C., Schöner W., Steinacker R. et Wagner S. (2013) – Downscaled GCM projections of winter and summer mass balance for Central European glaciers [2000–2100] from

ensemble simulations with ECHAM5-MPIOM. International Journal of Climatology, vol. 33 (2), p. 1270–1279.
DOI : 10.1002/joc.3511

Staszak J.-F. (2003) – Carte mentale. In Lévy J., Lussault M. (dir.), Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés. Paris, Belin, p. 132–133.

Steinführer A., Kuhlicke C., De Marchi B., Scolobig A., Tapsell S. et Tunstall S. (2009) – Local Communities at Risk from Flooding: Social Vulnerability, Resilience and Recommendations for Flood Risk Management in Europe. Leipzig, Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, 88 p.
https://www.ufz.de/export/data/2/100513_Task11_Broschuere_7_09.pdf

Sterlacchini S., Akbas S. O., Blahut J., Mavrouli O. C., Garcia C., Quan Luna B. et Corominas, J. (2014) – Methods for the Characterization of the Vulnerability of Elements at Risk. In: T. van Asch, & [et al] (Eds.), Mountain Risks: From Prediction to Management and Governance, Advances in Natural and Technological Hazards Research, vol. 34, p. 233–273.

Stoffel M., Schneuwly D., Bollschweiler M., Lièvre I., Delaloye R., Myint M. et Monbaron M. (2004) – Analyzing rockfall activity (1600–2002) in a protection forest—a case study using dendrogeomorphology. Geomorphology, vol. 68 (3-4), p. 224–241.
DOI : 10.1016/j.geomorph.2004.11.017

Stoffel M. et Beniston M. (2006) – On the incidence of debris flows from the early Little Ice Age to a future greenhouse climate: a case study from the Swiss Alps. Geophysical Research Letters, vol. 33, L16404, 4 p.
DOI : 10.1029/2006GL026805

Stoffel M., Bollschweiler M. et Beniston (2011) – M. Rainfall characteristics for periglacial debris flows in the Swiss Alps: past incidences-potential future evolutions. Climatic Change, vol. 105, p. 263–80.
DOI : 10.1007/s10584-011-0036-6

Stoffel M. et Huggel C. (2012) – Effects of climate change on mass movements in mountain environments. Progress in Physical Geography, vol. 36, p. 421–439.
DOI : 10.1177/0309133312441010

Stoffel M., Tiranti D., et Huggel C. (2014) – Climate change impacts on mass movements: Case studies from the European Alps. Science of The Total Environment, vol. 493, p. 1255–1266.
DOI : 10.1016/j.scitotenv.2014.02.102

Stoffel M. et Huggel C. (2017) – Mass movements in periglacial environments. The International Encyclopedia of Geography. Edited by Douglas Richardson, Noel Castree, Michael F. Goodchild, Audrey Kobayashi, Weidong Liu, and Richard A. Marston, John Wiley & Sons, Ltd., 8 p.
DOI : 10.1002/9781118786352.wbieg0815

Strauss F., Formayer H. et Schmid E., (2012) – High resolution climate data for Austria in the period 2008-2040 from a statistical climate change model. International Journal of Climatology, vol. 33, p. 430–443.
DOI : 10.1002/joc.3434

Sullivan-Wiley K. A. et Short Gianotti A.G. (2017) – Risk perception in a multi-hazard environment. World Development, vol.97, p. 138–152.
DOI : 10.1016/j.worlddev.2017.04.002

Svare Holand I. et Lujala P. (2013) – Replicating and Adapting an Index of Social Vulnerability to a New Context: A Comparison Study for Norway. The Professional Geographer, vol. 65 (2), p. 312–328.
DOI : 10.1080/00330124.2012.681509

Svensson H. (1959) – Is the cross–section of a glacial valley a parabola? Journal of Glaciology, vol. 3, p. 362–363.
DOI : 10.3189/S0022143000017032

T

Tappeiner U., Tasser E., Leitinger G., Cernusca A. et Tappeiner G. (2008) – Effects of Historical and Likely Future Scenarios of Land Use on Above- and Belowground Vegetation Carbon Stocks of an Alpine Valley. Ecosystems, vol. 11 (8), p. 1383–1400.
DOI : 10.1007/s10021-008-9195-3

Tapsell S., McCarthy S., Faulkner H. et Alexander M. (2010) – Social vulnerability to natural hazards. CapHaz-Net WP4 Report. Flood Hazard Research Centre–FHRC, Middlesex University, London, 92 p.
http://caphaz-net.org/outcomes-results/CapHaz-Net_WP4_Social-Vulnerability2.pdf

Tarbotton C., Dall'Osso F., Dominey-Howes D. et Goff J. (2015) – The use of empirical vulnerability functions to assess the response of buildings to tsunami impact: comparative review and summary of best practice. Earth-Science Reviews, vol. 142, p. 120–134.
DOI : 10.1016/j.earscirev.2015.01.002

Tate E. (2012) – Social vulnerability indices: a comparative assessment using uncertainty and sensitivity analysis. Natural Hazards, vol. 63, p. 325–347.
DOI : 10.1007/s11069-012-0152-2

Taulelle F. (2012) – Ce que nous avons vu en matière de services publics dans les quatre pays de l'étude : le délaissement du territoire. Sciences de la Société, vol. 86, p. 5–13.
DOI : 10.4000/ sds.1634

Terrier M. (2007) – Réalisation d'un zonage sismique de la Méditerranée occidentale à 1/2 000 000 préalable aux choix de scénarios de tsunamis- Rapport intermédiaire, Rapport BRGM-RP - 55353 –Fr, 109 p.
http://www.planseisme.fr/IMG/pdf/Rapport_BRGM_Tsunami_Mediterranee_Zonage_sismique.pdf

Thériault M., Sparfel L., Gourmelon F. et Le Berre I. (2011) – Modélisation des changements d'occupation et d'utilisation des sols : Cadres formels et exemple d'application. Revue internationale de géomatique, vol. 21 (3), p. 267–295.
DOI : 10.3166/rig.21.267-295

Thiery Y., Malet J.-P., Sterlacchini S., Puissant A. et Maquaire O. (2005) – Analyse spatiale de la susceptibilité des versants aux glissements de terrain. Revue Internationale de Géomatique, Lavoisier, vol. 15 (2), p.227–245.
https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00276824

Thomi L. (2010) – Rôle des paramètres sociopolitiques et des connaissances dans la gestion des risques hydrologiques. Thèse de doctorat, Géographie, Université de Lausanne, Lausanne, 538 p.
https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_2E94F8396158.P001/REF

Thouret J.-C. et D'Ercole R. (1996) – Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effets, facteurs et réponses sociales. In : Thouret Jean-Claude (pref.). Croissance urbaine et risques naturels dans les pays en développement. Cahiers des Sciences Humaines, vol. 32 (2), p. 407–422.
http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/sci_hum/010006241.pdf

Tivollier J. et Isnel P. (1938) – Le Queyras (Hautes-Alpes). Marseille, Laffite Reprints, 498 p.

Totschnig R. et Fuchs S. (2013) – Mountain torrents: quantifying vulnerability and assessing uncertainties. Engineering Geology, vol. 155, p. 31–44.
DOI : 10.1016/j.enggeo.2012.12.019

Touflan P., Talon B. et Walsh K. (2010) – Soil charcoal analysis: a reliable tool for spatially precise studies of past forest dynamics: a case study in the French Southern Alps. The Holocene, vol. 20 (1), p. 45–52.
DOI : 10.1177/0959683609348900

Tricart J. (1958) – Etude de la crue de la mi-Juin 1957 dans la vallée du Guil, de l'Ubaye et de la Cerveyrette. Revue de Géographie Alpine, vol. 46 (4), p. 565–627.
DOI : 10.3406/rga.1958.1846

Tricart J. (1960) – Quelques données au sujet du rôle de la neige dans la crue du Guil en juin 1957. Revue de Géographie Alpine, vol. 48 (2), p. 333–344.
http://www.persee.fr/doc/rga_0035-1121_1960_num_48_2_1868

Tricart J. (1961) – Evolution du lit du Guil au cours de la crue de juin 1957, en aval de Ristolas. Extrait du bulletin de la section de géographie, Comité des travaux historiques et scientifiques, ministère de l'éducation nationale, Paris, LXXII, p. 169–403.
DOI : 10.7202/020320ar

Tricart P. (1975) – Les rétrocharriages dans les Alpes franco-italiennes : évolution des structures sur la transversale Embrunais-Queyras (Hautes-Alpes). Sciences Géologiques, vol. 28 (3), p. 239–259.
DOI : 10.3406/sgeol.1975.1479

Tricart P. et Schwartz S. (2006) – A north–south section across the Queyras Schistes lustrés (Piedmont zone, western Alps): Syn–collision refolding of a subduction wedge. Eclogae Geologicae Helvetiae, vol. 99, p. 429–442.
DOI : 10.1007/s00015–006–1197–6

Tricart P., Amaudric Du Chaffaut S., Ayoub C., Ballèvre M., Caby R., Gout C., Lagabrielle Y., Leblanc D., Le Mer O., Philippot P., Saby P. (2003) – Carte géol. France (1/50 000), feuille Aiguilles - Col Saint-Martin (848). Orléans: BRGM. Notice explicative par Tricart P., Schwartz S., Lardeaux J.-M., Thouvenot E, Amaudric du Chaffaut S., 150 p.

Tricart P., Amaudric Du Chaffaut S., Ayoub C., Ballèvre M., Caby R., Gout C., Lagabrielle Y., Leblanc D., Le Mer O., Philippot P., Saby P. (2003) – Carte géol. France (1/50 000), feuille Aiguilles - Col Saint-Martin (848). Orléans: BRGM.

Tricart P., Schwartz S., Lardeaux J.-M., Thouvenot E. et Amaudric Du Chaffaut S. (2003) – Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Aiguilles - Col Saint-Martin (848). Orléans: BRGM, 150 p.

Trigila A., Iadanza C., Esposito C. et Scarascia-Mugnozza G. (2015) – Comparison of Logistic Regression and Random Forests techniques for shallow landslide susceptibility assessment in Giampilieri (NE Sicily, Italy). Geomorphology, vol. 249, P. 119–136.
DOI : 10.1016/j.geomorph.2015.06.00

Tsangaratos P. et Ilia I. (2016) – Comparison of a logistic regression and Naïve Bayes classifier in landslide susceptibility assessments: The influence of models complexity and training dataset size. Catena, vol. 145, p. 164–179.
DOI : 10.1016/j.catena.2016.06.004

Tulloch J.C. et Lupton D. (2003) – Defining Risk. Risk and Everyday Life, SAGE Publications Ltd., London, UK, 140 p.
DOI : 10.4135/9781446216392.n2

Turkington T., Remaitre A., Ettema J., Hussin H., Westen C. (2016) – Assessing debris flow activity in a changing climate. Climatic Change, vol. 1, p. 1–13.
DOI : 10.1007/s10584-016-1657-6

U

UNDP-BCPR (2004) – A Global Report Reducing Disaster Risk: A Challenge for Development. UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery, New York, 181 p.
http://www.undp.org/bcpr/disred/rdr.htm

UNDRO (1979) – Natural Disasters and Vulnerability Analysis in Report of Expert Group Meeting (9-12 July 1979). UNDRO, Geneva OL3839485M, 64 p.
https://archive.org/details/naturaldisasters00offi

UNDRO (1984) – Disaster prevention and mitigation – a compendium of current knowledge, vol. 11, Preparedness Aspects, Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator, New York.

UNISDR (2009) – "UN/ISDR terminology on disaster risk reduction". UN/ISDR Library on disaster risk reduction, UN/ISDR, Nairobi, 26 p.
http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng.htm

Utasse M., Jomelli V., Grancher D., Leone F., Brunstein D. et Virmoux C. (2016) – Territorial Accessibility and Decision-Making Structure Related to Debris Flow Impacts on Roads in the French Alps. International Journal of Disaster Risk Science, vol. 7, p. 186–197.
DOI : 10.1007/s13753-016-0088-3

Uzielli M., Nadim F., Lacasse S., Kaynia A.-M. (2008) – A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. Engineering Geology, vol. 102, p. 251–256.
DOI : 10.1016/j.enggeo.2008.03.011

V

Vaccaro I. et Beltran O. (2009) – L'espace montagnard comme objet de consommation. Les Pyrénées à l'époque globale. Revue de Géographie Alpine, vol. 97 (3), p. 1–13.
DOI : 10.4000/rga.1081

Vale L.-J. et Campanella T.-J. (2005) – The resilient city: How modern cities recover from disaster. Oxford University Press, 390 p.

Van Den Eeckhaut M., Marre A. et Poesen J. (2010) – Comparison of two landslide susceptibility assessments in the Champagne–Ardenne region (France). Geomorphology, vol. 115 (1-2), p. 141–155.
DOI : 10.1016/j.geomorph.2009.09.042

Van Den Eeckhaut M., Vanwalleghem T., Poesen J., Govers G., Verstraeten G. et Vandekerckhove L. (2006) – Prediction of Landslide Susceptibility Using Rare Events Logistic Regression: A Case-Study in the Flemish Ardennes (Belgium). Geomorphology, vol. 76, p. 392–410.
DOI : 10.1016/j.geomorph.2005.12.003

Van Der Leeuw S. E. et Aschan Leygonie C. (2000) – A long-term perspective of resilience in social-natural systems. Abisko, 32 p.
DOI : 10.1142/9789812701404_0013

Van Der Veen A., Dopheide E., Parker D., Tapsell S., Handmer J., Gregg C., Bonadonna C. et Ferrara F. (2009) – ENSURE : Enhancing resilience of communities and territories facing natural and na-tech hazards : WP 1 : state - of - the - art on vulnerability types : del 1.1.3. Methodologies to assess vulnerability of structural, territorial and economic systems: task 1.3 : state - of - the art on vulnerability of socio - economic systems. 101 p.

Van Vuuren D. P., Kok M. T. J., Girod B., Lucas P.L. et De Vries B. (2014) – Scenarios in global environmental assessments: key characteristics and lessons for future use. Global Environmental Change, vol. 22 (4), p. 884–895.
DOI : 10.1016/j.gloenvcha.2012.06.001

Vanham D. (2012) – The Alps under climate change: implications for water management in Europe. Journal of Water and Climate Change, vol. 3, p. 197–206.
DOI : 10.2166/wcc.2012.032

Varnes D. J. (1978) – Slope Movement Types and Processes. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J., Eds., Landslides, Analysis and Control, Transportation Research Board, Special Report No. 176, National Academy of Sciences, p. 11–33.
http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr176/176-002.pdf

Varnes D. J. (1984) – Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. UNESCO, Paris, Natural Hazards, vol. 3, 63 p.

Vedie E. (2008) – Dynamique des versants en contexte périglaciaire : Apports de la modélisation physique. Thèse de doctorat, Géomorphologie, Université de Caen Basse-Normandie, 355 p.
https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00324815

Verburg P. H. et Overmars K. P. (2009) – Combining top-down and bottom-up dynamics in land use modeling: exploring the future of abandoned farmlands in Europe with the Dyna-CLUE model. Landscape Ecology, vol. 24, p. 1167–1181.
DOI : 10.1007/s10980-009-9355-7

Verkerk P.J., Lindner M., Pérez-Soba M., Paterson J.S., Helming J., Verburg P.H., Kuemmerle T., Lotze-Campen H., Moiseyev A., Müller D., Popp A., Schulp C.J.E., Stürck J., Tabeau A., Wolfslehner B. et Van der Zanden E.H. (2016) – Identifying pathways to visions of future land use in Europe. Regional Environnemental Change, vol. 18 (3), p. 817–830.
DOI : 10.1007/s10113-016-1055-7

Vert J., Schaller N. et Villien C. (2013) – Agriculture Forêt Climat: vers des stratégies d'adaptation, Centre d'études et de prospective, Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. Centre D'études Et De Prospective, Analyse N° 62, p. 1–8.
https://agriculture.gouv.fr/telecharger/54568?token=834c05927f4edfcff48242af97720415

Veyret P. (1948) – La crue du Guil, les 14 et 15 mai 1948. Revue de Géographie Alpine, vol. 36 (4), p. 611–613.
DOI : 10.3406/rga.1948.5447

Veyret Y. et Laganier R. (2013) – Atlas des risques en France. Prévenir les catastrophes naturelles et technologiques, Paris, éditions Autrement, collection Atlas/Monde, 96 p.

Veyret Y. et Reghezza M. (2005) – Aléas et risques dans l'analyse géographique. Annales des Mines, vol. 40, p. 61–69.
http://www.annales.org/site/re/2005/re40/veyret.pdf

Viel V., Fort M., Lissak C., Graff K., Carlier B., Arnaud-Fassetta G., Cossart E. et Madelin M. (2018) – Debris-flow functioning and their contribution to sedimentary budgets: the Peynin subcatchment of the Guil River (Upper Queyras, Southern French Alps). Landform Analysis, vol. 36, p. 71–84.
DOI : 10.12657/landfana.036.007

Villagràn De León J.-C. (2001) – La Naturaleza de los Riesgos, un Enfoque Conceptual. Serie: Aportes para el Desarrollo Sostenible. CIMDEN, Guatemala, 53 p.
http://www.cridlac.org/cd/CD_Alerta_Temprana/pdf/spa/doc14516/doc14516.htm

Villagràn De León J.-C. (2006a) – Vulnerability assessment: the sectoral approach, in Birkman, J. (Ed.), Measuring Vulnerability to Natural Hazards: Towards Disaster Resilient Societies, United Nations University Press, Hong Kong, p. 300–315.
http://archive.unu.edu/unupress/sample-chapters/1135-MeasuringVulnerabilityToNaturalHazards.pdf

Villagrán De León J.-C. (2006b) – Vulnerability - a conceptual and methodological review. UNU Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS), Bonn, vol. 4, 68 p.
http://collections.unu.edu/eserv/UNU:1871/pdf3904.pdf

Vinchon C., Carreño M.-L., Contreras-Mojica D.-M., Kienberger S., Schneiderbauer S., Alexander D., Barbat A. H., Cardona O. D., Decker B., Eidsvig U., Papathoma-Köhle M., Miniati R., Pratzler-Wanczura S., Ulbrich T., Vidar Vangelsten B., et Welle T. (2011) – European Commission, Research & Innovation DG. Methods for the Improvement of Vulnerability Assessment in Europe, 2011. Assessing vulnerability to natural hazards in Europe: from principles to practice manual on concept, methodology and tools. European FP7 project 'MOVE', 49 p.
https://www.academia.edu/20744553/Assessing_vulnerability_to_natural_hazards_in_Europe_from_principles_to_practice._A_manual_on_concept_methodology_and_tools._MOVE_deliverable_no._4.2

Vinet F. (2010) – Le risque inondation, Diagnostic et gestion. Éditions Tec & Doc Lavoisier, coll. : Science du Risque et du Danger (SRD), 318 p.

Vionnet V. (2012) – Etudes du transport de la neige par le vent en conditions alpines : observations et simulation à l'aide d'un modèle couple atmosphère/manteau neigeux. Thèse de doctorat, Sciences et Techniques de l'Environnement, Université Paris-Est, France, 249 p.
https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00781279v3

Von Neumann J. (1966) – Theory of Self-Reproducing Automata. Urbana: Univ., Illinois Press, p. 64–87.
http://cba.mit.edu/events/03.11.ASE/docs/VonNeumann.pdf

Vulliet L., Laloui L. et Zhao J. (2016) – Mécanique des sols et des roches. Traité de génie civil, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, vol. 18, 605 p.

W

Wachinger G. et Renn O. (2010) – Risk perception and natural hazards. WP-3-Review of the EU-Project CAPHAZ-NET, Contract No. 227073, 112 p.
http://caphaz-net.org/outcomes-results/CapHaz-Net_WP3_Risk-Perception.pdf

Wachinger G., Renn O., Begg C. et Kuhlicke C. (2013) – The Risk Perception Paradox: Implications for Governance and Communication of Natural Hazards. Risk Analysis, vol. 33 (6), p. 1049–1065.
DOI : 10.1111/j.1539-6924.2012.01942.x

Wagner K. (2007) – Mental Models of Flash Floods and Landslides. Risk Analysis, vol. 27 (3), p. 671–682.
DOI : 10.1111/j.1539-6924.2007.00916.x

Walling D. E. (1983) – The sediment delivery problem. Journal of Hydrology, vol. 65 (1-3), p. 209–237.
DOI : 10.1016/0022-1694(83)90217-2

Walsh K., Mocci F., Tzortzis S. et Palet-Martinez J.-M. (2006) – Dynamique du peuplement et activités agro-pastorales durant l'âge du Bronze dans les massifs du Haut Champsaur et de l'Argentierois (Hautes-Alpes), Documents d'archéologie méridionale, vol. 28, p. 25–44.
http://journals.openedition.org/dam/460

Werder M. A., Bauder A., Funk M. et Keusen H. (2010) – Hazard assessment investigations in connection with the formation of a lake on the tongue of Unterer Grindelwaldgletscher, Bernese Alps, Switzerland. Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 10, p. 227–37.
DOI : 10.5194/nhess-10-227-2010

Werner E. E. (1971) – The children of Kauai: A longitudinal study from the prenatal period to age ten. University of Hawaii Press, Honolulu, 220 p.
DOI : 10.1016/1054-139X(92)90157-7

Wheeler D.A. (1984) – Using parabolas to describe the cross section of glaciated valleys. Earth Surface Processes and Landforms, vol. 9, p. 391–394.
DOI : 10.1002/esp.3290090412

Wilby R. L., Beven K. J., et Reynard N. S. (2008) – Climate change and fluvial flood risk in the UK: more of the same? Hydrological Processes, vol. 22 (14), p. 2511–2523.
DOI : 10.1002/hyp.6847

Wilhelm B., Arnaud F., Enters D., Allignol F., Legaz A., Magand O., Revillon S., Giguet-Covex C. et Malet E. (2012) – Does global warming favour the occurrence of extreme floods in European Alps? First evidences from a NW Alps proglacial lake sediment record. Climatic Change, vol. 113, p. 563–581.
DOI : 10.1007/s10584-011-0376-2

Wilson G. A., Schermer M. et Stotten R. (2018) – The resilience and vulnerability of remote mountain communities: The case of Vent, Austrian Alps. Land Use Policy, vol. 71, p. 372–383.
DOI : 10.1016/j.landusepol.2017.12.022

Wisner B. (2004) – Assessment of capability and vulnerability. In Mapping Vulnerability: Disasters, Development, and People, Bankoff G, Frerks G, Hilhorst D (eds). Earthscan, London, p. 183–193.

Wisner B., Blaikie P., Cannon T. et Davis I. (2004) – At Risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters. London, Routledge (Second edition), 471 p.

Wolman M.G. (1954) – A method of sampling coarse river bed material. Transaction of the American Geophysical Union, vol. 35 (6), p. 951–956.
DOI : 10.1029/TR035i006p00951

Wood N. J. et Good J.-W. (2004) – Vulnerability of Port and Harbor Communities to Earthquake and Tsunami Hazards: The Use of GIS in Community Hazard Planning. Coast Management, vol. 32, p. 243–269.
DOI : 10.1080/08920750490448622

Wood J. L., Harrison S., Turkington T. A. R., Reinhardt L. (2016) – Landslides and synoptic weather trends in the European Alps. Climate change, vol. 136 (2), p. 297–308.
DOI : 10.1007/s10584-016-1623-3

Woodward D.G. (1985) – Seismic–refraction study of suspected drit–illed bedrock valleys in Ramsey County, Minnesota. U.S. Geological Survey, Water–Resources Investigations Report 85–4107, 20 p.
DOI : 10.3133/wri854107

Wu C.-H., Cui P., Li Y.-S., Alcántara Ayala I., Huang C. et Yi S.-J. (2018) – Seismogenic fault and topography control on the spatial patterns of landslides triggered by the 2017 Jiuzhaigou earthquake. Journal of Mountain Science, vol. 15 (4), p. 793–807.
DOI : 10.1007/s11629-017-4761-9

Wu S. Y., Yarnal B. et Fisher A. (2002) – Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May County, New Jersey, USA. Climate Research, vol. 22, p. 255–270.
DOI : 10.3354/cr022255

X

Xu D., Peng L. et Wang X. (2018) – Influences of Risk Perception and Sense of Place on Landslide Disaster Preparedness in Southwestern China. International Journal of Disaster Risk Science, vol. 9, p. 167–180.
DOI : 10.1007/s13753-018-0170-0

Y

Yoon D. K. (2012) – Assessment of social vulnerability to natural disasters: a comparative study. Natural Hazards, vol. 63, p. 823–843.
DOI : 10.1007/s11069-012-0189-2

Z

Zahran S., Brody S. D., Peacock W. G., Vedlitz A., et Gover H. (2008) – Social vulnerability and the natural and built environment: A model of flood casualties in Texas. Disasters, vol. 32, p. 537–560.
DOI : 10.1111/j.1467-7717.2008.01054.x

Zebardast E. (2013) – Constructing a social vulnerability index to earthquake hazards using a hybrid factor analysis and analytic network process (F'ANP) model. Natural Hazards, vol. 65 (3), p. 1331–1359.
DOI : 10.1007/s11069-012-0412-1.

Zêzere J.-L., Reis E., Garcia R., Oliveira S., Rodrigues M.-L., Vieira G. et Ferreira A. B. (2004) – Integration of spatial and temporal data for the definition of different landslide hazard scenarios in the area north of Lisbon (Portugal). Natural Hazards and Earth System Science, vol. 4 (1), p. 133–146.
DOI : 10.5194/nhess-4-133-2004

Zhang Y. L. et You W. J. (2014) – Social vulnerability to floods: a case study of Huaihe River Basin. Natural Hazards, vol. 71, p. 2113–2125.
DOI : 10.1007/s11069-013-0996-0

Zhang M., Cao X., Peng L. et Niu R. (2016) – Landslide susceptibility mapping based on global and local logistic regression models in Three Gorges Reservoir area, China. Environmental Earth Sciences, vol. 75 (11), p. 1–11.
DOI : 10.1007/s12665-016-5764-5

Zhu L. et Huang J.-F. (2006) – GIS-based logistic regression method for landslide susceptibility mapping in regional scale. Journal of Zhejiang University Science A, vol. 7 (12), p. 2007–2017.
DOI : 10.1631/jzus.2006.A2007

Zingari P. C. et Fiebiger G. (2002) – Mountain risks and hazards. Unasylva 208, vol. 53, p. 71–77.
http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/004/y3549e/y3549e06.pdf

Webographie

http://demonstrateur.anr-samco.com – Site du démonstrateur en ligne de l'ANR SAMCO.

www.anr-samco.com – Site internet du projet ANR SAMCO, consulté le 18 juin 2019.

www.azurseisme.com – Site internet de la sismicité historique des Alpes du Sud-Est, consulté le 18 juin 2019.

www.blogs.agu.org – The Pas de l'Ours landslide: an actively moving rockslide in the Queyras Valley of France, consulté le 18 juin 2019.

www.cepri.net – Site internet du Centre Européen d la Prévention du Risque Inondation, consulté le 18 juin 2019.

www.interieur.gouv.fr – Site internet du Ministère de l'Intérieur, consulté le 18 juin 2019.

www.irma-grenoble.com – Site internet de l'Institut des Risques Majeurs, consulté le 18 juin 2019.

www.legifrance.gouv.fr – Site internet du service publique de la diffusion du droit, consulté le 18 juin 2019.

www.meteofrance.com – Site internet officiel de Météo-France, consulté le 18 juin 2019.

www.pluiesextremes.meteo.fr – Site internet des pluies extrêmes en France métropolitaine et en outre-mer, Météo-France, consulté le 18 juin 2019.

www.pnr-queyras.fr – Site internet du Parc Naturel Régional du Queyras, consulté le 18 juin 2019.

www.queyras-montagne.com – Site internet du Queyras, consulté le 18 juin 2019.

www.remontees-mecaniques.net –Base de données en ligne des remontées mécaniques du monde, consulté le 18 juin 2019.

www.saintveran.com – Site internet de la commune de Saint-Véran, consulté le 18 juin 2019.

www.hautes-alpes.gouv.fr – Site internet official du conseil départemental des Hautes-Alpes, consulté le 18 juin 2019.

Table des figures

Introduction

Figure 0. 1. : Le relief alpin (tiré de « The Alps in 25 maps », Alpine convention, 2017). 20

Figure 0. 2. : La forme des versants (d'après Florinsky, 1996)..... 21

Figure 0. 3. : Schéma sismotectonique de la Méditerranée et de ses bordures (sources : BRGM, 2003). 22

Figure 0. 4. : Augmentation probable des températures dans le massif alpin (tiré de « The Alps in 25 maps », Alpine convention, 2017)..... 25

Figure 0. 5. : Précipitations journalières moyennes dans les Alpes et évolution probable (tiré de « The Alps in 25 maps », Alpine convention, 2017). 26

Figure 0. 6. : Croissance démographique dans les Alpes pour la période (2001-2011). La croissance la plus importante concerne la partie française des Alpes (tiré de « The Alps in 25 maps », Alpine convention, 2017). 31

Figure 0. 7. : Tableau présentant les obligations légales des différentes collectivités territoriales françaises en matière de gestion des risques (d'après le Guide à l'usage des élus de la région PACA). 33

Figure 0. 8. : Cadre conceptuel élaboré dans le cadre du projet ANR SAMCO (Grandjean *et al*., 2013). 35

Figure 0. 9. : Les principales tâches accomplies dans le cadre du projet SAMCO (Grandjean *et al*., 2013)..... 36

Figure 0. 10. : Localisation des secteurs étudiés dans le projet SAMCO (source : B. Carlier)..... 37

Chapitre 1.

Figure 1. 1. : La haute-vallée du Guil, ses six communes et ses principaux cours d'eau. 41

Figure 1. 2. : Subdivisions structurales du massif alpin (source : www.homoalpinus.com). 42

Figure 1. 3. : Carte et coupe géologique de la partie sud des Alpes occidentales (d'après Schwartz, 2002)..... 43

Figure 1. 4. : Changement d'occupation du sol entre 1957 et 2009 (source : Benoît Carlier). 50

Figure 1. 5. : Date de construction du bâti dans le village d'Abriés (cartographie B. Carlier). 53

Figure 1. 6. : Date de construction du bâti dans la commune de Molines-en-Queyras (hors Fongillarde et La Rua), (cartographie B. Carlier). 53

Chapitre 2.

Figure 2. 1. : Températures annuelles moyennes, Min, Max et hauteurs de précipitations annuelles moyennes pour les stations climatiques d'Arvieux, Ceillac et Saint-Véran sur la période 1981-2010. 56

Figure 2. 2. : Situation de retour d'est du 6 novembre 2017. 57

Figure 2. 3 : Crues historiques du Queyras (source : Arnaud-Fassetta *et al*., 2005, PPR Ristolas et Abriès). 60

Figure 2. 4. : Répartition et cumuls des précipitations dans les Hautes-Alpes pour la journée du 13 juin 1957 (source : Météo-France, 2016). 61

Figure 2. 5. : Répartition et cumuls des précipitations dans les Hautes-Alpes pour les journées du 10 au 13 juin 2000 (source : Météo-France, 2016). 64

Figure 2. 6. : Répartition et cumuls des précipitations dans les Hautes-Alpes pour les journées du 14 et du 15 octobre 2000 (source : Météo-France, 2016)..... 66

Figure 2. 7. : Répartition et cumuls des précipitations dans les Hautes-Alpes pour la journée du 28 mai 2008 (source : Météo-France, 2016). 68

Figure 2. 8. : L'appel à l'aide du Maire de Ristolas (source : Le Dauphiné Libéré)..... 70

Figure 2. 9. : Avalanches et épisodes avalancheux historiques du Queyras (source : Coronna et al., 2012 ; IRSTEA, 2016 ; PPR Ristolas et Abriès). 72

Figure 2. 10. : Répartition et cumuls des précipitations neigeuses dans les Hautes-Alpes pour les journées du 11 au 15 janvier 1978 (source : Météo-France, 2016). 73

Figure 2. 11. : Répartition et cumuls des précipitations neigeuses dans les Hautes-Alpes pour les journées du 14 au 17 décembre 2008 (source : Météo-France, 2016)..... 74

Figure 2. 12. : Déplacements mesurés par la méthode GB-InSAR entre le 05/05/2017 et le 08/05/2017 (source, C. Hibert). 77

Chapitre 3.

Figure 3. 1. : Localisation du sous-bassin-versant du Peynin dans le bassin-versant du Haut-Guil. .. 80

Figure 3. 2. : Carte géologique du Peynin (Carlier *et al*., 2018a), d'après Tricart (2003). 83

Figure 3. 3 : Litho-séquence du bassin-versant du Peynin. 84

Figure 3. 4. : Carte géomorphologique du Peynin (Carlier *et al*., 2018a), d'après des figurés inspirés de la légende de l'UNIL (Schoeneich, 1993). 87

Figure 3. 5. : Calculs volumétriques de formes simples par morphométrie (d'après Cossart et Fort, 2008)..... 89

Figure 3. 6. : Schéma figurant le profil théorique d'une vallée d'origine glaciaire. 90

Figure 3. 7. : Principe de la tomographie par sismique réfraction..... 90

Figure 3. 8. : Carte de localisation des profils topographiques et des points utilisés pour modéliser l'épaisseur des sédiments stockés dans le bassin-versant du Peynin (Carlier *et al*., 2018a). 91

Figure 3. 9. : Topographie et organisation du dispositif de mesure pour le profil sismique n°1..... 92

Figure 3. 10. : Topographie et organisation du dispositif de mesure pour le profil sismique n°2..... 92

Figure 3. 11. : Topographie et organisation du dispositif de mesure pour le profil sismique n°3..... 92

Figure 3. 12. : Résultats de l'inversion des vitesses (Vp) acquises par sismique réfraction dans le bassin du Peynin (algorithme Q-N), (Carlier *et al*., 2018a). 94

Figure 3. 13. : Volumes de Fresnel calculés pour les profils de sismique réfraction inversés, (Carlier *et al.*, 2018a)..... 95

Figure 3. 14. : Principe et exemple d'application de la méthode basée sur l'interpolation de polynômes d'ordre 1 à 5 (Carlier *et al.*, 2018a). 96

Figure 3. 15. : Cartographie des épaisseurs de sédiment modélisées d'après l'interpolation des 45 courbes polynomiales (méthode « Krigeage » ; Carlier *et al.*, 2018a). 98

Figure 3. 16. : Principe et exemple d'application de la méthode basée sur l'interprétation géologique et géomorphologique de profils topographiques transversaux, (Carlier *et al.*, 2018a). 99

Figure 3. 17. : Cartographie des épaisseurs de sédiment modélisées d'après l'interprétation géologique et géomorphologique des 46 profils topographiques transversaux et longitudinaux (méthode « Krigeage »), (Carlier *et al.*, 2018a)..... 100

Figure 3. 18. : Comparaison des épaisseurs de sédiment obtenues à l'aide des méthodes géostatistiques et géomorphologiques (Carlier *et al.*, 2018a). 102

Figure 3. 19. : Confrontation sur un même profil des épaisseurs de sédiment estimées à l'aide des deux modèles..... 102

Chapitre 4.

Figure 4. 1. : Cascade sédimentaire du Peynin (adaptée d'après Chorley et Kennedy, 1971). 107

Figure 4. 2. : Cartographie des zones avalancheuses avérées ou supposées dans le bassin-versant du Peynin (CLPA-05, IRSTEA, 2001, mise à jour en 2016). 111

Figure 4. 3. : Carte géomorphologique des dépôts de laves torrentielles de juin 2000 et août 2015 (d'après Graff *et al.*, 2018). 114

Figure 4. 4. : Profil en long de la Peyronnelle et localisation des 14 transects réalisés. Le nombre de particules échantillonnées pour chacun des profils en travers réalisés est indiqué dessous (d'après Graff *et al.*, 2018)..... 115

Figure 4. 5. : Le bassin-versant de la Peyronnelle..... 117

Figure 4. 6. : Représentativité de la gamme granulométrique des GBE par rapport à la granularité de référence de la charge grossière présente dans le talweg de la Peyronnelle (d'après Graff *et al.*, 2018). 118

Figure 4. 7. : Cartographies des GBE après l'événement d'août 2015. 119

Figure 4. 8. : Illustration des quatre principaux sites de dépôt suite à la mobilisation et au transport des GBE. 120

Figure 4. 9. : Illustration des mesures effectuées sur les glissements-arrachements de bas de versants dans le bassin-versant du Peynin (ici, en aval de la confluence entre le torrent de la Lune Ronde et le torrent de Peynin ; K. Graff et B. Carlier). 122

Figure 4. 10. : Budget sédimentaire du bassin du Peynin sur une période de 20 ans (Viel *et al.*, 2018). 127

Figure 4. 11. : Exemple simplifié de la cascade sédimentaire du Peynin implémentée dans l'outil DS du logiciel Vensim® (Cossart *et al.*, 2018). 129

Figure 4. 12. : Données spatiales implémentées dans l'outil DS du logiciel Vensim® (Cossart *et al*., 2018).....130

Figure 4. 13. : Résultat du modèle de connectivité fonctionnelle réalisé à l'aide de l'outil DS du logiciel Vensim ® (d'après Cossart *et al*., 2018). 131

Chapitre 5.

Figure 5. 1. : Carte de l'emprise de la crue de la mi-juin 1957 dans le bassin-versant du Haut-Guil. 136

Figure 5. 2. : Carte de l'emprise de la crue de la mi-juin 1957 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur La Roche Écroulée - Ristolas. 137

Figure 5. 3. : Carte de l'emprise de la crue de la mi-juin 1957 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Valpréveyre - Abriès. 138

Figure 5. 4. : Carte de l'emprise de la crue de la mi-juin 1957 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Le Gouret - Aiguilles.....139

Figure 5. 5. : Carte de l'emprise de la crue de la mi-juin 1957 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Ville-Vieille - Château-Queyras.....140

Figure 5. 6. : Carte de l'emprise de la crue de la mi-juin 1957 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Molines-en-Queyras - Saint Véran.....141

Figure 5. 7. : Carte de l'emprise de la crue de juin 2000 dans le bassin-versant du Haut-Guil. 142

Figure 5 .8. : Carte de l'emprise de la crue de juin 2000 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur de La Roche Écroulée - Ristolas. 143

Figure 5. 9. : Carte de l'emprise de la crue de juin 2000 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Valpréveyre - Abriès. 144

Figure 5. 10. : Carte de l'emprise de la crue de juin 2000 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Le Gouret - Aiguilles.....145

Figure 5. 11. : Carte de l'emprise de la crue de juin 2000 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Ville-Vieille – Château-Queyras.....146

Figure 5. 12. : Carte de l'emprise de la crue de juin 2000 dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Molines-en-Queyras - Saint Véran.....147

Figure 5. 13. : Emprise simulée d'une crue décennale dans le bassin-versant du Haut Guil.....149

Figure 5. 14. : Emprise simulée d'une crue type crue de juin 2000 (récurrence trentennale-cinquantennale) dans le bassin-versant du Haut Guil.....150

Figure 5. 15. : Emprise simulée d'une crue centennale dans le bassin-versant du Haut Guil.....151

Figure 5. 16. : Emprise simulée d'une crue type juin 1957 (récurrence > 100 ans) dans le bassin-versant du Haut Guil.....152

Figure 5. 17. : Emprises de crue et hauteurs d'eau simulées au niveau du village de Ristolas.....153

Figure 5. 18. : Emprises de crue et hauteurs d'eau simulées au niveau du village d'Abriès.....154

Figure 5. 19. : Emprises de crue et hauteurs d'eau simulées au niveau du village d'Aiguilles.....155

Figure 5. 20. : Emprises de crues et hauteurs d'eau simulées au niveau des villages de Ville-Vieille et Château Queyras.....156

Figure 5. 21. : Emprises de crues et hauteurs d'eau simulées au niveau des villages de Moline-en-Queyras et Saint-Véran. 157

Figure 5. 22. : Comparaison entre l'enveloppe de crue modélisée pour le scénario de crue « type juin 2000 » (en bleu) et l'enveloppe de la crue de juin 2000 réalisée par photo-interprétation (en rouge). 158

Figure 5. 23. : Comparaison entre l'enveloppe de crue modélisée pour le scénario de crue « type juin 1957 » (en bleu) et l'enveloppe de la crue de juin 1957 réalisée par photo-interprétation (en rouge). 159

Figure 5. 24. : Diagramme synthétique de la démarche de modélisation appliquée pour la cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain dans le Queyras. 161

Figure 5. 25. : V de Cramer calculés pour chacune des modalités de variables conservées suite aux tests du khi². 164

Figure 5. 26. : Diagramme des coefficients normalisés obtenus suite à la modélisation de la régression logistique pour un intervalle de confiance de 95 % (pour 100 itérations).....165

Figure 5. 27. : Courbe ROC obtenue lors de la simulation du modèle de régression logistique pour le bassin-versant du Haut-Guil.....166

Figure 5. 28. : Analyse du rapport de succès/prédiction effectuée à partir de la courbe ROC.....167

Figure 5. 29. : Carte de susceptibilité aux glissements de terrain produite pour le bassin-versant du Haut-Guil.....168

Figure 5. 30. : Cartographie des emprises avalancheuses dans le bassin-versant du Haut-Guil. 170

Figure 5. 31. : Cartographie des emprises avalancheuses dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur La Roche Écroulée – Abriès.....171

Figure 5. 32. : Cartographie des emprises avalancheuses dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Abriès – Valpréveyre.....172

Figure 5. 33. : Cartographie des emprises avalancheuses dans le bassin-versant du Haut-Guil : zoom sur le secteur Molines-en-Queyras – Saint-Véran.....173

Chapitre 6.

Figure 6. 1. : Méthode employée pour l'évaluation de la vulnérabilité biophysique dans le Queyras. 181

Figure 6. 2. : Exemples des attributs récoltés, tirés de la base de données produite pour le bâti. 185

Figure 6 .3. : Statistiques descriptives des critères et attributs collectés pour les différents types d'enjeux étudiés (bâti, réseaux et sol). 186

Figure 6. 4. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Ristolas pour l'aléa crue torrentielle.....198

Figure 6. 5. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune d'Abriès pour l'aléa crue torrentielle. 200

Figure 6. 6. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune d'Aiguilles pour l'aléa crue torrentielle.....201

Figure 6 .7. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Château-Ville-Vieille pour l'aléa crue torrentielle (secteur de Ville-Vieille).....204

Figure 6 .8. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Château-Ville-Vieille pour l'aléa crue torrentielle (secteur de Château-Queyras).....205

Figure 6 .9. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Molines-en-Queyras pour l'aléa crue torrentielle (secteur de Molines-en-Queyras / La Rua / l'Adret / Gaudissart / le Serre). 207

Figure 6. 10. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Molines-en-Queyras pour l'aléa crue torrentielle (secteur de Pierre-Grosse / Château-Renard / Le Coin / Fongillarde). ..208

Figure 6. 11. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Saint-Véran pour l'aléa crue torrentielle.....209

Figure 6. 12. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Ristolas pour l'aléa glissement de terrain.....216

Figure 6. 13. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune d'Abriès pour l'aléa glissement de terrain.....218

Figure 6. 14. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune d'Aiguilles pour l'aléa glissement de terrain.....220

Figure 6. 15. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Château-Ville-Vieille pour l'aléa glissement de terrain (secteur de Ville-Vieille).....222

Figure 6. 16. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Château-Ville-Vieille pour l'aléa glissement de terrain (secteur de Château-Queyras).....223

Figure 6. 17. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Molines-en-Queyras pour l'aléa glissement de terrain (secteur de Molines-en-Queyras / La Rua / l'Adret / Gaudissart / le Serre).....225

Figure 6. 18. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Molines-en-Queyras pour l'aléa glissement de terrain (secteur de Pierre-Grosse / Château-Renard / Le Coin / Fongillarde). 226

Figure 6. 19. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Saint-Véran pour l'aléa glissement de terrain.....228

Figure 6. 20. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Ristolas pour l'aléa avalanche.....235

Figure 6. 21. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune d'Abriès pour l'aléa avalanche.....237

Figure 6. 22. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune d'Aiguilles pour l'aléa avalanche.....240

Figure 6. 23. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Château-Ville-Vieille pour l'aléa avalanche (secteur de Ville-Vieille).....242

Figure 6. 24. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Château-Ville-Vieille pour l'aléa avalanche (secteur de Château-Queyras) 243

Figure 6. 25. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Molines-en-Queyras pour l'aléa avalanche (secteur de Molines-en-Queyras / La Rua / l'Adret / Gaudissart / le Serre). ..245

Figure 6. 26. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Molines-en-Queyras pour l'aléa avalanche (secteur de Pierre-Grosse / Château-Renard / Le Coin / Fongillarde).....246

Figure 6. 27. : Indices des conséquences potentielles obtenus pour la commune de Saint-Véran pour l'aléa avalanche. 249

Chapitre 7.

Figure 7. 1. : La préoccupation des Queyrassins interrogés vis-à-vis des risques naturels. 267

Figure 7. 2. : Le sentiment d'exposition aux risques selon la commune de résidence. 268

Figure 7. 3. : La perception de la dangerosité des aléas torrentiels et gravitaires par les Queyrassins interrogés. 269

Figure 7. 4 : Les risques qui inquiètent le plus les Queyrassins interrogés. 269

Figure 7. 5. : La perception de la dangerosité des aléas selon la commune de résidence. 270

Figure 7. 6. : Les risques qui inquiètent le plus les habitants des 6 communes du Queyras interrogés 271

Figure 7. 7. : Les expériences des Queyrassins concernant les catastrophes « naturelles ». 272

Figure 7. 8. : Les expériences concernant les catastrophes « naturelles » selon la commune de résidence. 273

Figure 7. 9. : La connaissance qu'ont les Queyrassins des épisodes catastrophiques passés. 274

Figure 7. 10. : Le vécu des épisodes catastrophiques selon le village de résidence. 274

Figure 7. 11. : Perception des possibles impacts de 3 différents aléas sur enjeux biophysiques du Queyras.....276

Figure 7. 12. : Perception des impacts possibles des glissements de terrain sur les communes de Ristolas, Abriès et Aiguilles. 277

Figure 7. 12. (bis) : Perception des impacts possibles des glissements de terrain sur les communes de Château-Ville-Vieille, Molines-en-Queyras et Saint-Véran. 278

Figure 7. 13. : Perception des impacts possibles des crues torrentielles sur les communes de Ristolas, Abriès et Aiguilles. 279

Figure 7. 13. (bis) : Perception des impacts possibles des crues torrentielles sur les communes de Château-Ville-Vieille, Molines-en-Queyras et Saint-Véran. 280

Figure 7. 14. : Perception des impacts possibles des avalanches sur les communes de Ristolas, Abriès et Aiguilles. 281

Figure 7. 14. (bis) : Perception des impacts possibles des avalanches sur les communes de Château-Ville-Vieille, Molines-en-Queyras et Saint-Véran. 282

Figure 7. 15. : Les Queyrassins face aux risques. 284

Figure 7. 16. : Les Queyrassins face aux risques : détails selon la commune de résidence. 284

Figure 7. 17. : La connaissance qu'ont les Queyrassins des mesures de protection mise en œuvre sur le territoire. 285

Figure 7. 18. : La connaissance qu'ont les Queyrassins des mesures de protection mise en place sur leur commune : détail selon la commune de résidence. 286

Figure 7. 19. : Les mesures de protections citées par les Queyrassins interrogés. 287

Figure 7. 20. : Les mesures de protections citées par les Queyrassins interrogés : détail selon la commune de résidence. 287

Figure 7. 21. : La connaissance qu'ont les Queyrassins des documents d'information concernant les risques naturels. 288

Figure 7. 22. : La connaissance qu'ont les Queyrassins des documents d'information concernant les risques naturels : détail selon la commune de résidence. 289

Figure 7. 23. : Perception qu'on les Queyrassin de leur degré d'information sur les risques naturels. 290

Figure 7. 24. : Perception qu'on les Queyrassin de leur degré d'information sur les risques naturels : détail selon la commune de résidence des enquêtés. 291

Figure 7. 25. : Avez-vous déjà été informé sur les risques naturels dans votre commune ? 292

Figure 7. 26. : Avez-vous déjà été informé sur les risques naturels dans votre commune ? Détail par commune. 292

Figure 7. 27. : Les vecteurs de l'information sur les risques dans le Queyras. 293

Figure 7. 28. : Détail, par commune, des vecteurs de l'information sur les risques dans le Queyras. 293

Figure 7. 29. : Avez-vous recherché cette information ? 294

Figure 7. 30. : Avez-vous recherché cette information ? Détail selon la commune de résidence. 294

Figure 7. 31. : Souhaitez-vous bénéficier de plus d'informations sur les risques naturels ? 296

Figure 7. 32. : Souhaitez-vous bénéficier de plus d'informations sur les risques naturels ? Détail selon la commune de résidence des enquêtés. 296

Figure 7. 33. : Seriez-vous prêt à chercher des informations sur les risques naturels ? 297

Figure 7. 34. : Seriez-vous prêt à chercher des informations sur les risques naturels ? Détail selon la commune de résidence des enquêtés. 297

Figure 7. 35. : Comment voudriez-vous être informé sur les risques naturels ? 298

Figure 7. 36. : Comment voudriez-vous être informé sur les risques naturels ? Détail selon la commune de résidence des enquêtés. 299

Figure 7. 37. : Selon vous, qui devrait vous informer sur les risques ? 300

Figure 7. 38. : Selon vous, qui devrait vous informer sur les risques ? Détail selon la commune de résidence des enquêtés 300

Figure 7. 39. : Est-ce qu'une réunion publique a déjà eu lieu dans votre commune ? 301

Figure 7. 40. : Est-ce qu'une réunion publique a déjà eu lieu dans votre commune ? Détail selon la commune de résidence des enquêtés. 302

Figure 7. 41. : Si nous envisageons d'organiser une réunion publique, y assisterez-vous ? 302

Figure 7. 42. : Si nous envisageons d'organiser une réunion publique, y assisterez-vous ? Détail selon la commune de résidence des enquêtés. 303

Figure 7. 43. : Ce que les Queyrassins veulent savoir des risques et de leur gestion. 304

Figure 7. 44. : Ce que les Queyrassins veulent savoir des risques et de leur gestion. Détail selon la commune de résidence des enquêtés. 304

Figure 7. 44. (bis) : Ce que les Queyrassins veulent savoir des risques et de leur gestion. Détail selon la commune de résidence des enquêtés. 305

Figure 7. 45. : Niveau de connaissances octroyé par les Queyrassins aux divers acteurs du risque. 306

Figure 7. 46. : Niveau de connaissances octroyé par les Queyrassins aux divers acteurs du risque : détail selon la commune de résidence des enquêtés. 307

Figure 7. 46. (bis) : Niveau de connaissances octroyé par les Queyrassins aux divers acteurs du risque : détail selon la commune de résidence des enquêtés. 308

Figure 7. 47. : Degré de confiance accordé par les Queyrassins aux divers acteurs du risque. 309

Figure 7. 48. : Degré de confiance accordé par les Queyrassins aux divers acteurs du risque : détail selon la commune de résidence des enquêtés. 310

Figure 7. 48. (bis) : Degré de confiance accordé par les Queyrassins aux divers acteurs du risque : détail selon la commune de résidence des enquêtés. 311

Figure 7. 49. : Exemple de fond de carte fourni aux Aiguillons enquêtés. 313

Figure 7. 50. : Emprises des fonds de cartes soumis aux Queyrassins et localisation du domicile des enquêtés. 313

Figure 7. 51. : Représentation des emprises des glissements de terrain à Ristolas. 314

Figure 7. 52. : Représentation des glissements de terrain à Ristolas. 315

Figure 7. 53. : Représentation des avalanches à Ristolas. 316

Figure 7. 54. : Représentation des emprises des glissements de terrain à Abriès 317

Figure 7. 55. : Représentation des emprises des crues torrentielles à Abriès. 317

Figure 7. 56. : Représentation des emprises des avalanches à Abriès. 318

Figure 7. 57. : Représentation des emprises des glissements de terrain à Aiguilles 319

Figure 7. 58. : Représentation des emprises des glissements de terrain à Aiguilles 320

Figure 7. 59. : Représentation des emprises d'avalanche à Aiguilles. 320

Figure 7. 60. : Représentation des emprises de crue torrentielle à Château-Ville-Vieille 321

Figure 7. 61. : Représentation des emprises des glissements de terrain à Molines-en-Queyras. 323

Figure 7. 62. : Représentation des emprises de crue torrentielle à Molines-en-Queyras. 324

Figure 7. 63. : Représentation des emprises d'avalanche à Molines-en-Queyras. 324

Figure 7. 64. : Représentation des emprises de crue torrentielle à Saint-Véran. 326

Figure 7. 65. : Représentation des emprises d'avalanche à Saint-Véran.....327

Chapitre 8.

Figure 1 : Location map of the Upper Guil catchment and its six communities.....333

Figure 2 : Impacts of the June 1957 and June 2000 floods on the village of Aiguilles.....335

Figure 3 : Framework of the Potential Damage Index (PDI) compared to the Potential Consequences Index (PCI).....337

Figure 4 : Principal component analysis (PCA) and criteria selected for the SCI calculation.....341

Figure 5 : Close-up of type 1957 flood map produced for the village of Aiguilles. 342

Figure 6 : Comparison between PDI and PCI maps.....343

Figure 7 : Comparison between type 1957 flood risk maps produced using PDI and those using PCI. 344

Chapitre 9.

Figure 9. 1. : Matrice employée pour le calcul des risques liés aux crues torrentielles et aux glissements de terrain.....356

Figure 9. 2. : Cartographie des risques liés à une crue décennale à l'échelle régionale : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. 358

Figure 9. 3. : Les risques liés à une crue décennale dans le secteur de La Monta-Ristolas : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....359

Figure 9. 4. : Les risques liés à une crue décennale dans le secteur d'Abriès : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 360

Figure 9. 5. : Les risques liés à une crue décennale dans le secteur du camping du Gouret : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....361

Figure 9. 6. : Les risques liés à une crue décennale dans le secteur d'Aiguilles : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 362

Figure 9. 7. : Cartographie des risques liés à une crue trentennale-cinquantennale à l'échelle régionale : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort.....363

Figure 9. 8. : Les risques liés à une crue trentennale-cinquantennale dans le secteur de la Roche Écroulée : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....365

Figure 9. 9. : Les risques liés à une crue trentennale-cinquantennale dans le secteur de l'Échalp : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....366

Figure 9. 10. : Les risques liés à une crue trentennale-cinquantennale dans le secteur d'Abriès : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 367

Figure 9. 11. : Les risques liés à une crue trentennale-cinquantennale dans le secteur du camping du Gouret : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 368

Figure 9. 12. : Les risques liés à une crue trentennale-cinquantennale dans le secteur d'Aiguilles : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 369

Figure 9. 13. : Cartographie des risques liés à une crue centennale à l'échelle régionale : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. 370

Figure 9. 14. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur de la Roche Écroulée : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 373

Figure 9. 15. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur de l'Échalp : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 374

Figure 9. 16. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur de Ristolas : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 375

Figure 9. 17. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur d'Abriès : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 376

Figure 9. 18. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur du camping du Gouret : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 377

Figure 9. 19. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur d'Aiguilles : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 378

Figure 9. 20. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur de Château-Queyras et Ville-Vieille : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 379

Figure 9. 21. : Les risques liés à une crue centennale dans le secteur de Molines-en-Queyras : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 380

Figure 9. 22. : Cartographie des risques liés à une crue supra-centennale à l'échelle régionale : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. 381

Figure 9. 23. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur de la Roche Écroulée : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 383

Figure 9. 24. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur de l'Échalp : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....384

Figure 9. 25. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur de Ristolas : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....385

Figure 9. 26. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur d'Abriès : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....386

Figure 9. 27. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur du camping du Gouret : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....387

Figure 9. 28. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur du camping d'Aiguilles : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....388

Figure 9. 29. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur de Château-Queyras et Ville-Vieille : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....389

Figure 9. 30. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur de Molines-en-Queyras : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....390

Figure 9. 31. : Les risques liés à une crue supra-centennale dans le secteur de La Chalpe-Saint-Véran : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....391

Figure 9. 32. : Cartographie des risques liés à une crue type juin 1957 à l'échelle régionale : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. 392

Figure 9. 33. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur de la Roche Écroulée : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 396

Figure 9. 34. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur de l'Échalp : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....397

Figure 9. 35. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur de Ristolas : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....398

Figure 9. 36. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur d'Abriès : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....399

Figure 9. 37. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur du camping du Gouret : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....400

Figure 9. 38. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur d'Aiguilles : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 401

Figure 9. 39. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur de Château-Queyras et Ville-Vieille : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 402

Figure 9. 40. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur de Molines-en-Queyras : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 403

Figure 9. 41. : Les risques liés à une crue identique à celle de juin 1957 dans le secteur de La Chalp-Saint-Véran : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 404

Figure 9. 42. : Cartographie des risques liés aux glissements de terrain à l'échelle régionale : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. 406

Figure 9. 43. : Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur de Ristolas : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux 410

Figure 9. 44. : Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur de d'Abriès : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux 411

Figure 9. 45. : Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur du Roux et de Valpréveyre : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 412

Figure 9. 46. : Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur d'Aiguilles : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux 413

Figure 9. 47. : Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur de Château-Ville-Vieille : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 414

Figure 9. 48. : Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur de Molines-en-Queyras : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 415

Figure 9. 49. : Les risques liés aux glissements de terrain dans le secteur de Saint-Véran : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux 416

Figure 9. 50. : Cartographie des risques liés aux avalanches à l'échelle régionale : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. 418

Figure 9. 51. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur de la Roche Écroulée - l'Échalp : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 427

Figure 9. 52. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur de Ristolas : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 428

Figure 9. 53. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur d'Abriès : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux. 429

Figure 9. 54. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur du Roux et de Valpréveyre : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....430

Figure 9. 55. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur d'Aiguilles : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....431

Figure 9. 56. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur de Château-Ville-Vieille : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....432

Figure 9. 57. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur de Molines-en-Queyras : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....433

Figure 9. 58. : Les risques liés aux avalanches dans le secteur de Saint-Véran : 1 – risque négligeable, 2 – risque faible, 3 – risque modéré, 4 – risque fort, 5 – risque très fort. Pour les enjeux : A – d'occupation du sol, B – de bâti, C – de réseaux.....434

Chapitre 10.

Figure 10. 1. : Diagramme des orientations des différents scénarios selon quatre axes de progression : T – tourisme, E – environnement, Al – Aléa, Ag – Agriculture. 441

Figure 10. 2. : Carte de l'occupation du sol du Queyras en 1957: 1 – surfaces bâties, 2 – cultures, 3 – prairies et pâtures, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions. 442

Figure 10. 3. : Carte de l'occupation du sol du Queyras en 2009 : 1 – surfaces bâties, 2 – cultures, 3 – prairies et pâtures, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions. 443

Figure 10. 4. : Évolution de l'occupation du sol entre 1957 et 2009. 444

Figure 10. 5. : Carte de l'occupation du sol en 2009 et cartes des restrictions imposées aux différentes classes d'occupation du sol (OS) : A – carte de l'occupation du sol en 2009, B – carte de restriction pour la classe d'OS « alluvions », C- carte de restriction pour la classe d'OS « forêts », D – carte de restriction pour la classe d'OS « espaces bâtis », E – carte de restriction pour la classe d'OS « cultures », F – carte de restriction appliqué à l'ensemble des classes d'OS. 445

Figure 10. 6. : Principe de fonctionnement d'une matrice de conversion (d'après Verburg et Overmars, 2009).....446

Figure 10. 7. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2050 pour le scénario S1 : « Accroissement de la protection environnementale ». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâties, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions. 450

Figure 10. 8. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2100 pour le scénario S1 : « Accroissement de la protection environnementale ». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâtis, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions. 451

Figure 10. 9. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2050 pour le scénario S2 : « Progression et diversification touristique ». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâtis, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions. 453

Figure 10. 10. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2100 pour le scénario S2 : « Progression et diversification touristique ». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâtis, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions. 454

Figure 10. 11. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2050 pour le scénario S3 : « Développement de l'agro-bioénergie ». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâtis, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions. 457

Figure 10. 12. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2100 pour le scénario S3 : « Développement de l'agro-bioénergie ». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâtis, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions. 458

Figure 10. 13. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2050 pour le scénario S4 : « Abandon collectif du territoire». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâtis, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions. 460

Figure 10. 14. : Carte prospective de l'occupation du sol du Queyras en 2100 pour le scénario S4 : « Abandon collectif du territoire». Classes d'occupation du sol : 1 – surfaces bâtis, 2 – cultures, 3 – pelouses et prairies, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions. 461

Table des photos

Chapitre 1.

Photo 1. 1. : Les principales roches du Queyras (Carlier, 2014). 45

Photo 1. 2. : Opposition structurale des versants dans le sous-bassin-versant du Peynin (photo : B. Carlier, 2016)..... 46

Photo 1. 3. : Ravins d'origine tectonique (failles) dans le sous-bassin-versant du Peynin (Carlier, 2015). 47

Photo 1. 4. : Formes d'érosion et d'accumulation glaciaire (Carlier, 2014-2015-2016). 48

Photo 1. 5. : Formes d'accumulation liées aux réajustements postglaciaire (Carlier, 2016). 49

Photo 1. 6. : Vue sur le village de Molines-en-Queyras et la vallée des Aigues depuis le col du Bucher. 50

Photo 1. 7. : Les activités touristiques hivernales dans le Queyras. 51

Photo 1. 8. : Vue du village d'Abriès en 1957 et 2014..... 52

Photo 1. 9. : Endiguement et rectification des principaux cours d'eau du Queyras (source : IGN, 2009). 54

Photo 1. 10. : Des ouvrages de protection souvent en mauvais état. 55

Chapitre 2.

Photo 2. 1. : Importantes chutes de neige du retour d'est de décembre 2008 sur la commune d'Abriès (photos : Le Dauphiné Libéré, Y. Gavoille et www.pluiesextremes.meteo.fr). 58

Photo 2. 2. : Photos aériennes prise à la suite de la crue de 1957 (repris de Arnaud-Fassetta et al., 2005). 62

Photo 2. 3. : Les impacts de la crue de juin 2000. 65

Photo 2. 4. : Les impacts de la crue d'octobre 2000. 67

Photo 2. 5. : Les impacts de la crue de mai 2008. 69

Photo 2. 6. : Les stigmates de l'avalanche de 1946 sur le hameau de l'Échalp..... 72

Photo 2. 7. : Dommages liés à l'épisode avalancheux de décembre 2008. 75

Photo 2. 8. : Glissements de terrain dans le Queyras..... 76

Photo 2. 9. : Le glissement du Pas de l'Ours entre Aiguilles et Abriès. 77

Photo 2. 10. : Vue sur la route de dérivation mise en place face au glissement ; notez les marques d'instabilité du versant (source : M. Fort). 78

Chapitre 3.

Photo 3. 1. : L'Adret du Peynin dominé par de vastes complexes de glissements de terrain..... 85

Photo 3. 2. : Tabliers d'éboulis actifs et végétalisés dans le cirque glaciaire du Fond de Peynin et dépôts d'éboulement/écroulement sur le versant de rive gauche du Peynin..... 86

Photo 3. 3. : Les formes d'accumulation torrentielle..... 86

Photo 3. 4. : Gorges sous-glaciaire à l'aval du bassin du Peynin et terrasse de la crue de 1957 en amont des gorges du Peynin..... 88

Photo 3. 5. : Appareillage utilisé pour la prospection géophysique par tomographie sismique..... 93

Chapitre 4.

Photo 4. 1. : Amont du bassin-versant du Peynin.....105

Photo 4. 2. : Avalanches dans le bassin du Peynin.....106

Photo 4. 3. : Glissements-arrachements de bas de versant le long du torrent de Peynin.....106

Photo 4. 4. : Dépôts de lave torrentielle dans la partie basse du versant de rive gauche du Peynin..108

Photo 4. 5. : Accumulation d'arbres arrachés par des avalanches au pied du Ravin des Arbres.....112

Photo 4. 6. : PIT-tags et matériel de détection.....116

Photo 4. 7. : Installation des Pit-tags dans le talweg de la Peyronnelle.....116

Photo 4. 8. : Estimation des hauteurs de laves torrentielles.....118

Photo 4. 9. : Suivi de l'évolution des formes d'érosions situées le long du chenal du Peynin.....121

Chapitre 5.

Aucune photographie.

Chapitre 6.

Photo 6. 1. : Vues sur les hameaux de l'Échalp et de La Monta. 188

Photo 6. 2. : Vue sur le village de Ristolas et le bassin-versant du Ségure. 188

Photo 6. 3. : Vues sur le village d'Abriès et le hameau du Roux. 189

Photo 6. 4. : Vues sur le village d'Aiguilles et le cône du Peynin.....190

Photo 6. 5. : Vues sur les hameaux du Lombard et de Peynin. 191

Photo 6. 6. : Vues sur les villages de Château-Queyras (depuis le château) et de Ville-Vieille (photo aérienne).....191

Photo 6. 7. : Vues sur les hameaux de Prat-haut, de Prat-bas et de Soulier. 192

Photo 6. 8 : Vue sur les hameaux de Meyriès et du Rouet. 192

Photo 6. 9. : Vues sur les hameaux de Montbardon et de la Chapelue.....193

Photo 6. 10. : Vue sur les hameaux de La Rua, Gaudissard et Moline.....194

Photo 6. 11. : Vue sur les hameaux de Pierre-Grosse Château-Renard et Le Coin. 194
Photo 6. 12. : Vues sur les hameaux du Clôt-La-Chalpe et de Fongillarde. 195
Photo 6. 13. : Vues sur le village de Saint-Véran et sur les hameaux du Raux et de La Chalp..... 195

Chapitre 7.

Aucune photographie.

Chapitre 8.

Aucune photographie.

Chapitre 9.

Aucune photographie.

Chapitre 10.

Aucune photographie.

Table des tableaux

Introduction

Aucun tableau.

Chapitre 1.

Aucun tableau.

Chapitre 2.

Tableau 2. 1. : Précipitations relevées dans, et à proximité, du Queyras en juin 1957 (source, PNRQ, 2014)..... 61

Tableau 2. 2. : Débits liquides et débits solides du Guil dans le Queyras pour la crue de juin 1957 et pour des crues centennale et décennale (source, Tricart, 1958 ; PNRQ, 2014). 62

Tableau 2. 3. : Typologie des dommages enregistrés dans le bassin-versant du Guil lors de la crue de juin 1957..... 63

Tableau 2. 4. : Précipitations relevées dans, et à proximité du Queyras en Juin 2000 (source, PNRQ, 2014)..... 64

Tableau 2. 5. : Précipitations relevées dans et à proximité du Queyras en octobre 2000 (source, PNRQ, 2014)..... 67

Chapitre 3.

Tableau 3. 1. : Polynômes retenus pour l'analyse morphométrique des épaisseurs de sédiment. PT : Profil topographique ; PR : Polynôme retenu..... 97

Tableau 3. 2. : Répartition des volumes de sédiments stockés dans le bassin-versant du Peynin. ...103

Chapitre 4.

Tableau 4. 1. : Synthèse bibliographique des vitesses d'érosion des parois rocheuses alpines (d'après Delannoy et Rovera, 1996, complétée). 110

Tableau 4. 2. : Synthèse bibliographique des taux d'accumulation des sédiments relatifs aux avalanches. 113

Tableau 4. 3. : Estimation des volumes de sédiments déposés sur les versants et dans le lit du Peynin par les laves torrentielles de juin 2000 (d'après Einhorn, 2003). 114

Tableau 4. 4. : Apports et dépôts dans le fond de vallée du Peynin (en m^3) lors de la crue de juin 2000 (Viel *et al.*, 2018). 123

Tableau 4. 5. : Apports et dépôts dans le fond de vallée du Peynin (en m^3) depuis la crue de juin 2000 (Viel *et al.*, 2018). 123

Tableau 4. 6. : Contribution des avalanches, des laves torrentielles et de la torrentialité pour chacun des sous-bassins versants du Peynin (en m^3 ; Viel *et al*., 2018). 124

Tableau 4. 7. : Contribution des avalanches, des laves torrentielles et de la torrentialité au rechargement sédimentaire du lit du Peynin, pour chacun des sous-bassins versants du Peynin (en m^3 ; Viel *et al*., 2018)..... 125

Tableau 4. 8. : « Sediment Delivery Ratio » (SDR, Walling, 1983), par processus et par sous-bassin-versant du Peynin (en % ; Viel *et al*., 2018)..... 126

Tableau 4. 9. : Contribution totale des sous-bassins au budget sédimentaire à 20 ans du Peynin (Viel *et al*., 2018). 126

Chapitre 5.

Tableau 5. 1. : Données utilisées pour élaborer le modèle hydraulique à l'aide du logiciel HecRAS®. 148

Tableau 5. 2. : synthèse des tests de corrélations effectués sur les sept variables testées. 163

Tableau 5. 3. : Indicateurs de multicolinéarité calculés pour chacune des variables retenues. 165

Chapitre 6.

Tableau 6. 1. : Données employées pour construire la base des enjeux potentiellement exposés aux risques..... 182

Tableau 6. 2. : Détail des coefficients attribués aux enjeux selon les différentes modalités de variables collectées. 184

Tableau 6. 3. : Appréciation qualitative des résultats de la classification des conséquences potentielles obtenues pour le bâti avec la méthode adaptée à l'aléa « crue torrentielle ». 214

Tableau 6. 4. : Appréciation qualitative des résultats de la classification des conséquences potentielles obtenues pour le bâti avec la méthode adaptée à l'aléa « glissements de terrain ». 232

Tableau 6. 5. : Appréciation qualitative des résultats de la classification des conséquences potentielles obtenues pour le bâti avec la méthode adaptée à l'aléa « avalanches ». 252

Tableau 6. 6. : Proposition de modification de l'EaR-D. Cep 1 – version actuelle, Cep 2 – version modifiée..... 256

Tableau 6. 7. : Proposition de modification de l'EaR-E. 256

Chapitre 7.

Tableau 7. 1. : Tableau de la population Queyrassine en 2015 (INSEE, 2017). 263

Tableau 7. 2. : Caractéristiques socio-démographiques du Queyras en 2015 (INSEE, 2017). 265

Tableau 7. 3. : Caractéristiques socio-démographiques des individus interrogés lors des trois campagnes d'enquêtes menées dans le Queyras. 266

Chapitre 8.

Tableau 8. 1. : Detail of weights assigned to the criteria used in PDI calculation. 336

Tableau 8. 2. : Matrix used to combine hazard exposure with PDI and PCI. 337

Tableau 8. 3. : Synthesis of the criteria usually used for the social vulnerability assessment. 338

Tableau 8. 4. : First set of criteria selected for the calculation of SCI and their impacts on social vulnerability..... 339

Tableau 8. 5. : Details of weights assigned to the criteria used in SCI calculation..... 340

Tableau 8. 6. : Additional information on the hydrological model produced with HecRAS® software. 342

Tableau 8. 7. : SCI scores calculated for the six municipalities of the Upper Guil catchment. 346

Chapitre 9.

Aucun tableau.

Chapitre 10.

Tableau 10. 1. : Matrice des conversions employée pour simuler les changements d'occupation du sol dans le Queyras : 1 – transition autorisée, 0 – transition interdite, T1 – restriction temporelle de 10 ans pour la classe d'OS « forêts », T2 – restriction temporelle de 20 ans pour la classe d'OS « culture », R1 – restriction spatiale à la classe d'OS « alluvions » (Fig. 5, B), R2 – restriction spatiale à la classe d'OS « surfaces bâtis » (Fig. 5, D), R3 – restriction spatiale à la classe d'OS « forêts » (Fig. 5, C), R4 – restriction spatiale à la classe d'OS « cultures » (Fig. 5, E). 447

Tableau 10. 2. : Changements d'occupation des sols prévus pour chacun des scénarios en nombre d'hectares par an..... 448

Annexes

Introduction

Aucune annexe.

Chapitre 1.

Aucune annexe.

Chapitre 2.

Aucune annexe.

Chapitre 3.

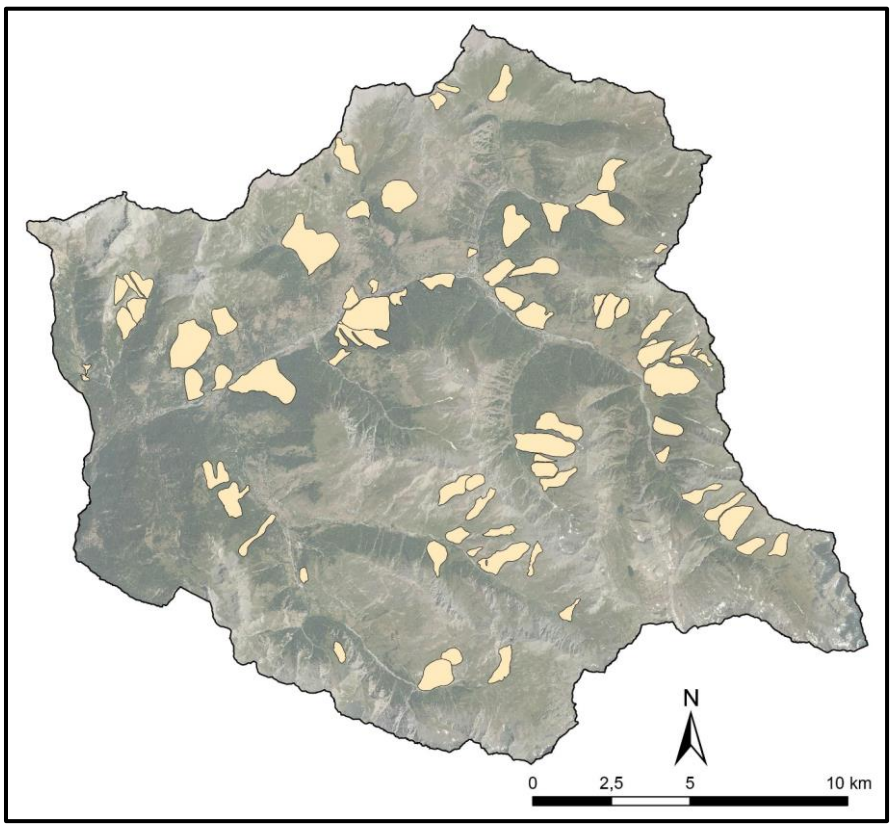
Aucune annexe.

Chapitre 4.

Aucune annexe.

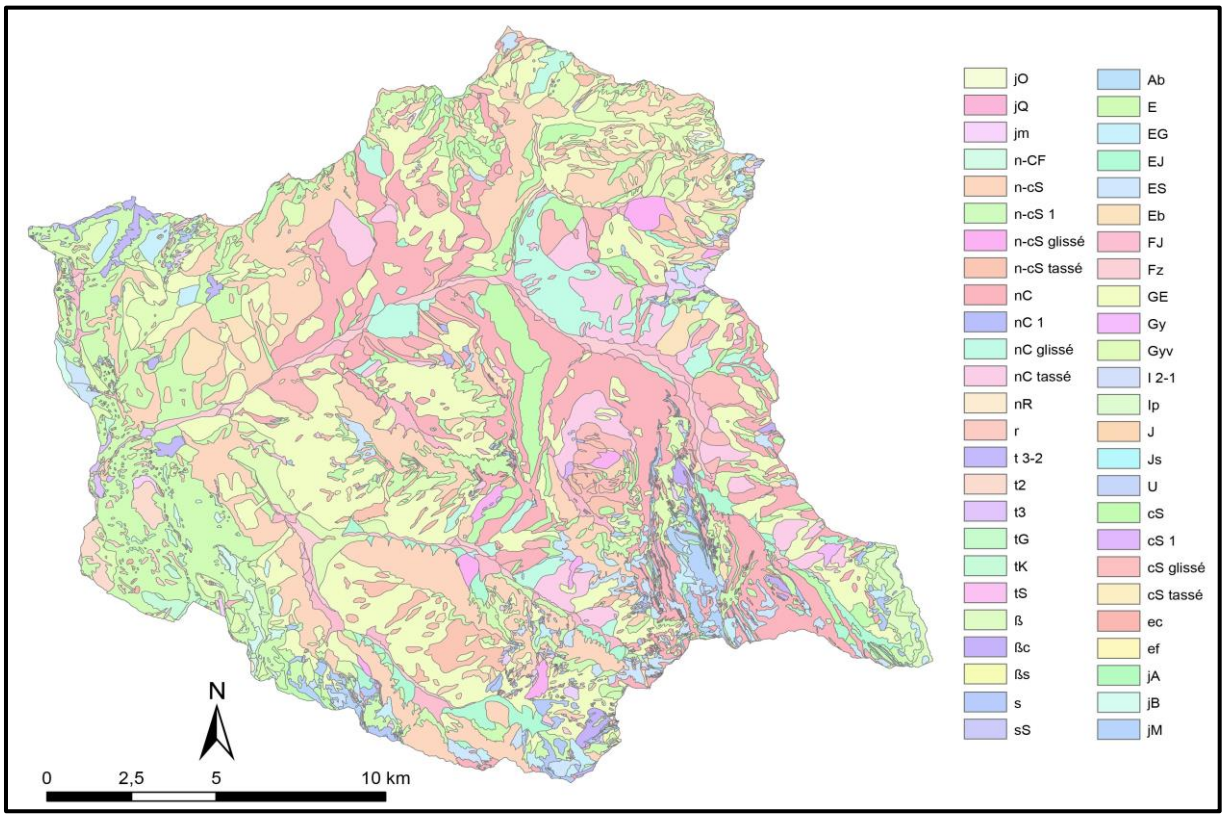
Chapitre 5.

Annexe 1 : Inventaire des glissements de terrain dans le Queyras.

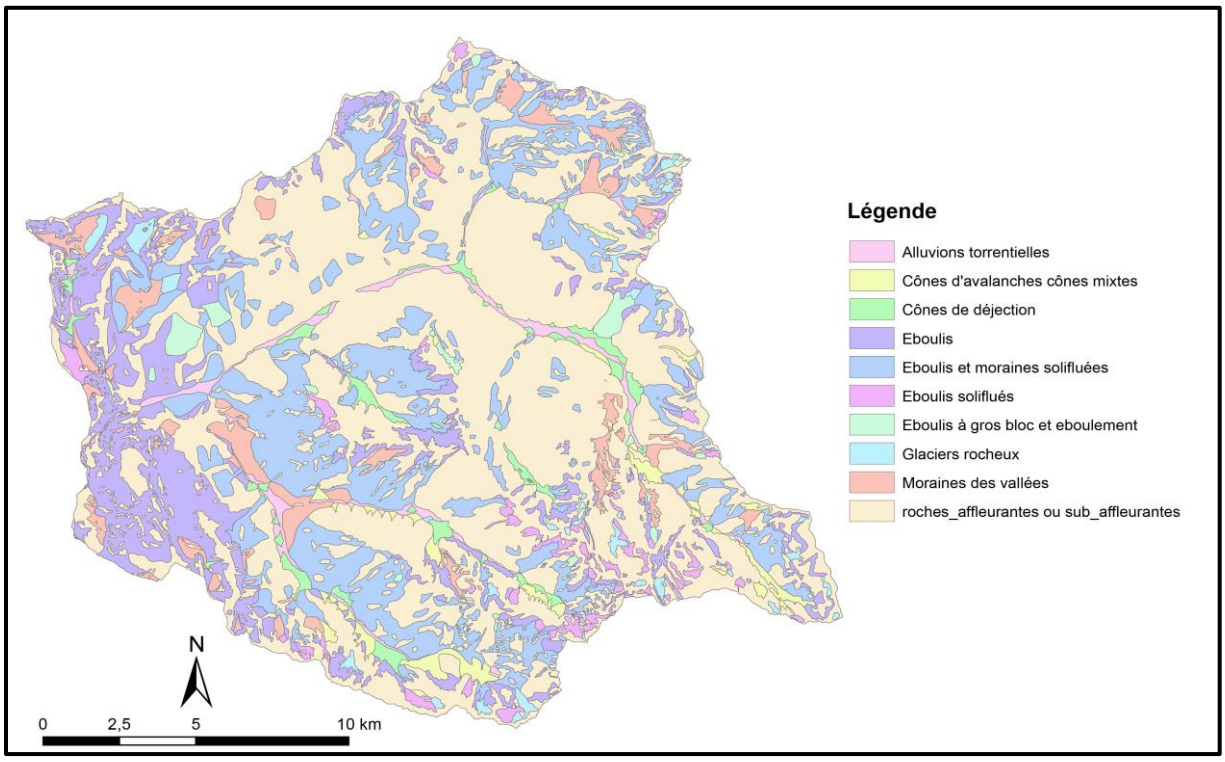


Annexe 2 : Paramètres intégrés dans le modèle de susceptibilité aux glissements de terrain.

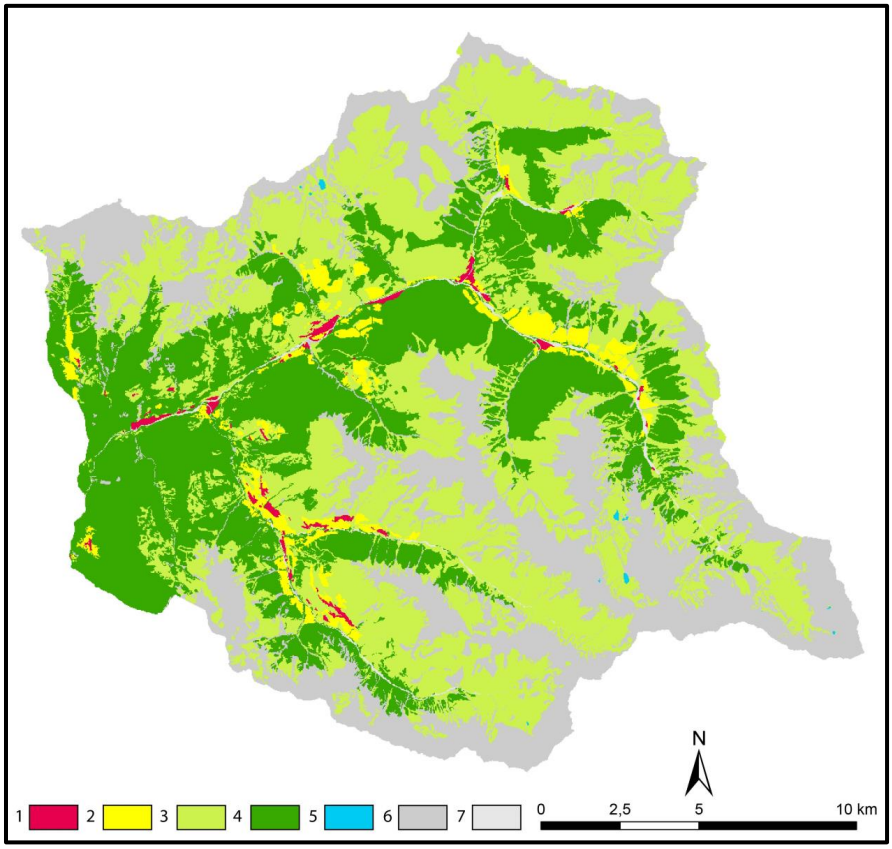
Lithologie :



Formations superficielles :

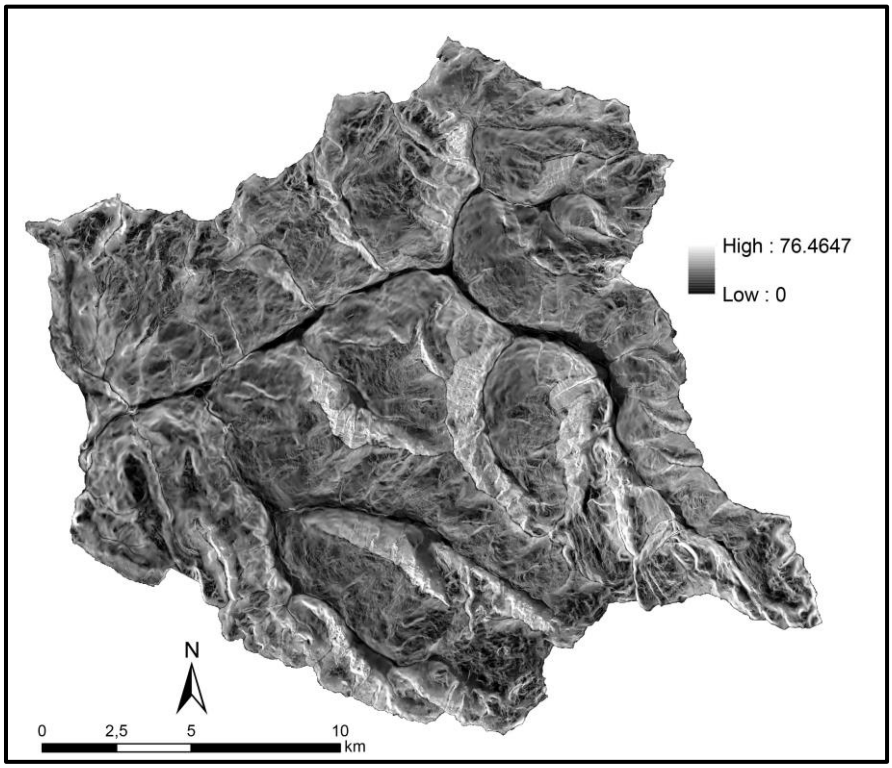


Occupation du sol :

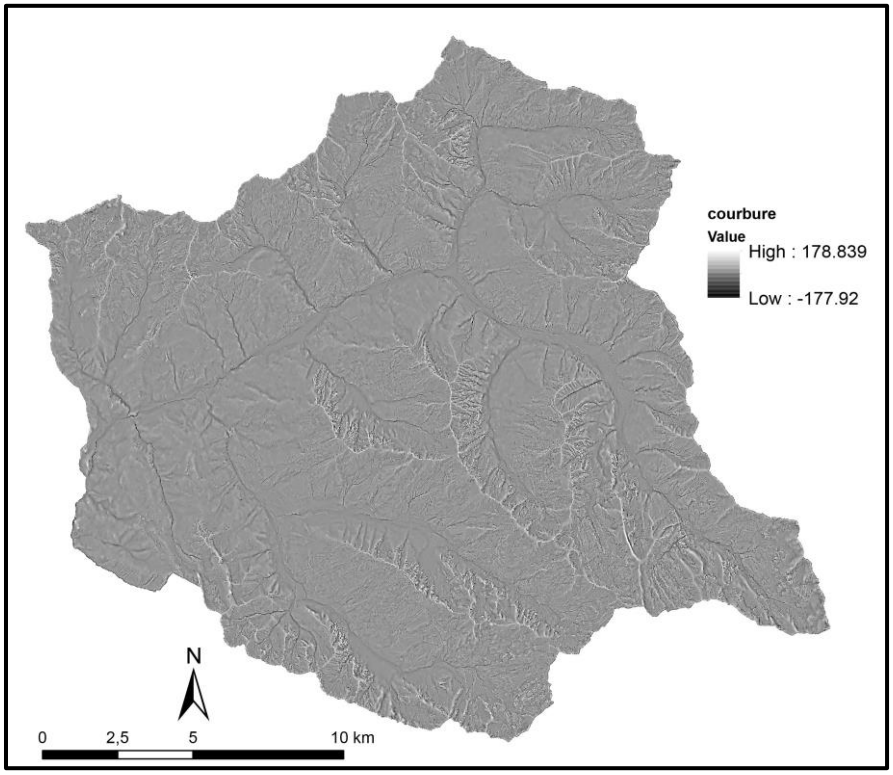


Carte de l'occupation du sol du Queyras en 2009 : 1 – surfaces bâties, 2 – cultures, 3 – prairies et pâtures, 4 – forêts, 5 – surfaces en eau, 6 – sols nus/roches nues, 7 – alluvions.

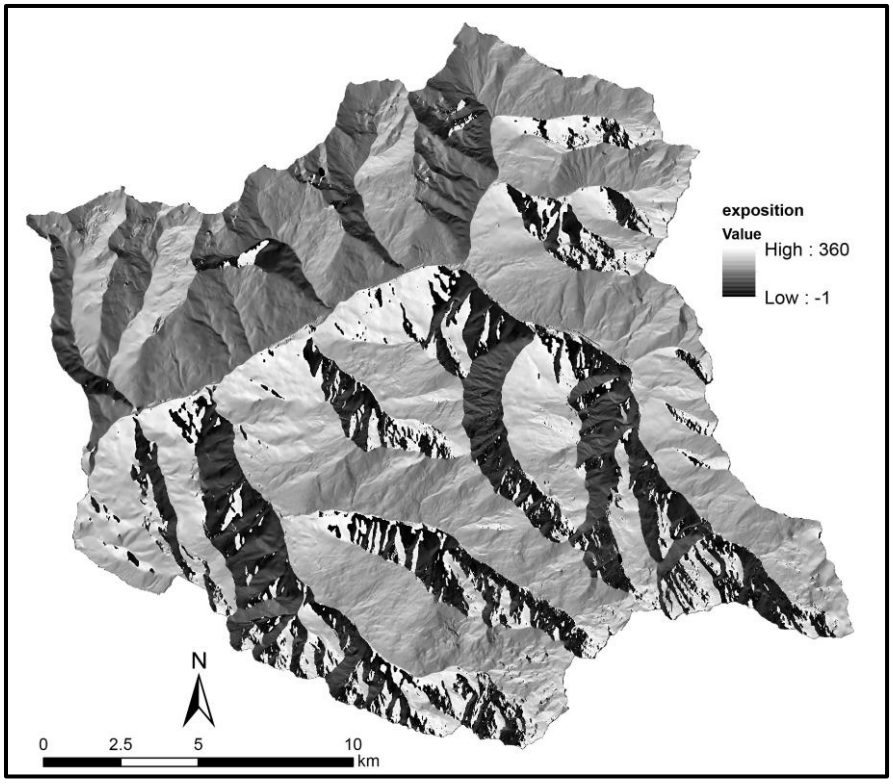
Gradient de pente :



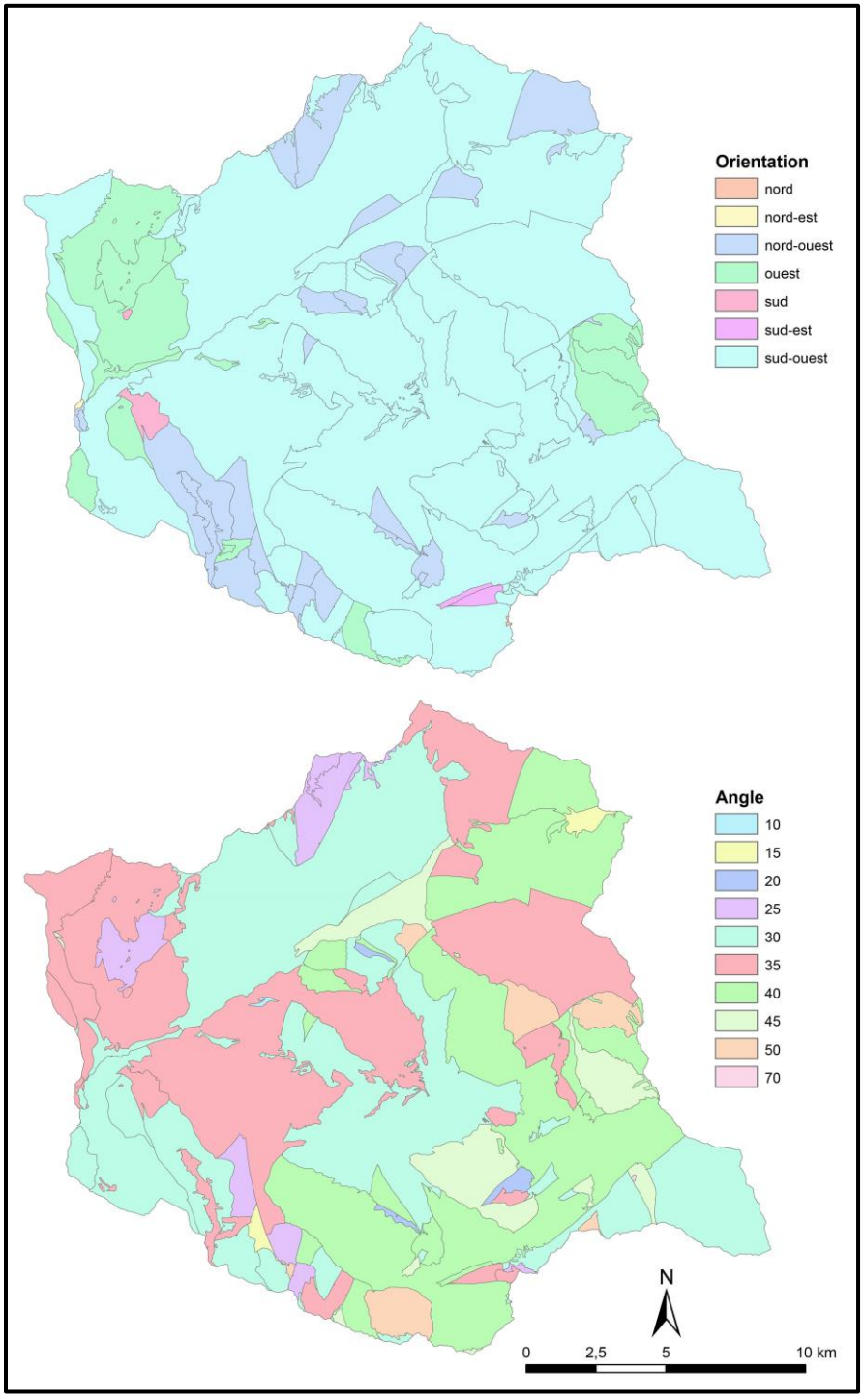
Courbure :



Exposition :



Pendage :


Orientation
nord
nord-est
nord-ouest
ouest
sud
sud-est
sud-ouest
Angle
10
15
20
25
30
35
40
45
50
70
N
0
2,5
5
10 km

Chapitre 6.

Aucune annexe.

Chapitre 7.

Annexes 1 : Questionnaire employée pour l'enquête de perception dans le Queyras.

Enquête sur la perception des risques dans le Queyras

Madame, Monsieur,

Merci de consacrer quelques minutes à répondre à cette enquête. Nous réalisons cette étude dans le cadre d'une recherche scientifique (mémoire de master et thèse de doctorat en géographie) sur la gestion des risques naturels dans le Queyras (communes de Château Ville-Vieille, d'Aiguilles en Queyras, d'Abries et de Ristolas). Vos réponses nous permettront d'améliorer nos connaissances sur ces phénomènes et sur leurs impacts, et de proposer des actions plus adaptées à vos attentes.

Nous vous précisons que vos réponses resteront strictement anonymes.

Nous diffuserons les résultats de cette enquête à l'automne 2014.

Sincères salutations,

Benoît CARLIER
Doctorant

Constance DUJARRIC
Etudiante en Master

Adresse : Université Paris 7 Diderot, Laboratoire PRODIG
8 place Paul-Ricoeur - 75013 Paris

Email : carlierbenoit@hotmail.fr constance.dujarric@gmail.com

Quelques questions générales

1. Votre commune _____ Lieu dit ?_____

2. Depuis combien de temps vivez-vous dans cette commune ? _____

3. Combien de générations de votre famille ont vécu dans cette région (en comptant la votre) ?_____

4. Concernant vôtre logement, êtes-vous ?

   □ propriétaire □ locataire □ autre : _____

5. Est-ce votre résidence principale ou votre résidence secondaire?

   □ résidence principale □ résidence secondaire

6. Est-ce un ?

   □ habitat individuel □ habitat collectif

Vous et les risques naturels

7. Quand vous pensez aux risques naturels dans votre commune, êtes-vous préoccupé ?

   □ pas du tout □ un peu □ moyennement □ beaucoup □ fortement

8. Avez-vous personnellement vécu une catastrophe naturelle ?

   □ non, et je ne sais pas s'il y en a déjà eu dans ma commune

   □ non, mais je sais qu'il y en a déjà eu dans ma commune

   □ oui, mais je n'ai pas été blessé ou personnellement affecté

   □ oui, et j'ai été blessé ou directement affecté

Si vous avez répondu oui, pouvez-vous décrire brièvement quel phénomène naturel était en cause, où et quand cela a eu lieu, ce qui s'est passé, les conséquences et vos impressions :
_____
_____
_____
_____
_____
_____

Les risques naturels dans votre commune

9. Voici une liste de phénomènes naturels. Veuillez indiquer, pour chacun, à quel point ils vous semblent dangereux dans votre commune. Vous pouvez graduer votre réponse de 1à 5 (1 étant "sans danger" et 5 "extrêmement dangereux").

	1 Sans danger	2 Peu dangereux	3 Assez dangereux	4 Très dangereux	5 Extrêmement dangereux
Glissement de terrain	□	□	□	□	□
Chute de blocs	□	□	□	□	□
Lave torrentielle	□	□	□	□	□
Avalanche	□	□	□	□	□
Inondation	□	□	□	□	□
Feu de forêt	□	□	□	□	□
Autre : _____	□	□	□	□	□

10. Parmi les événements cités dans la question précédente, lequel vous inquiète le plus ? Pourquoi ? par son intensité, par sa fréquence, …

_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____
_____

11. Voici une liste de propositions à propos des inondations torrentielles dans votre commune. Pour chacune d'entre elles, veuillez indiquer si elle vous semble probable ou non. Vous pouvez graduer vos réponses sur une échelle des 1 à 5, 1 pour "improbable" et 5 pour "très probable".

	1 Improbable	2	3	4	5 Très probable
Une inondation torrentielle pourrait avoir lieu prochainement dans votre commune	□	□	□	□	□
La prochaine inondation pourrait avoir des conséquences négatives sur votre commune	□	□	□	□	□
Vous (ou votre famille) pourriez être blessé lors de la prochaine inondation	□	□	□	□	□
Votre habitation ou propriété pourrait être endommagée par la prochaine inondation	□	□	□	□	□
Les réseaux de transport (routes) pourraient être endommagés par la prochaine inondation	□	□	□	□	□
Les réseaux essentiels (eau, électricité) pourraient être endommagés par la prochaine inondation	□	□	□	□	□

12. Voici une liste de propositions concernant les glissements de terrain dans votre commune. Pour chacune d'entre elles, veuillez indiquer si elles vous semblent probables ou non. Vous pouvez graduer vos réponses sur une échelle de 1 à 5, avec 1 pour "improbable" et 5 pour "très probable".

	1 Improbable	2	3	4	5 Très probable
Un glissement de terrain pourrait avoir lieu prochainement dans votre commune	□	□	□	□	□
Le prochain glissement de terrain pourrait avoir des conséquences négatives pour votre commune	□	□	□	□	□
Vous (ou votre famille) pourriez être blessé lors du prochain glissement de terrain	□	□	□	□	□
Votre habitation ou propriété pourrait être endommagée par le prochain glissement de terrain	□	□	□	□	□
Les réseaux de transport (routes, …) pourraient être endommagés par le prochain glissement de terrain	□	□	□	□	□
Les réseaux essentiels (eau, électricité, …) pourraient être endommagés par le prochain glissement de terrain	□	□	□	□	□

13. Voici une liste de propositions à propos des avalanches dans votre commune. Pour chacune d'entre elles, veuillez indiquer si elle vous semble probable ou non. Vous pouvez graduer vos réponses sur une échelle des 1 à 5, 1 pour "improbable" et 5 pour "très probable".

	1 Improbable	2	3	4	5 Très probable
Une avalanche pourrait avoir lieu prochainement dans votre commune	□	□	□	□	□
La prochaine avalanche pourrait avoir des conséquences négatives sur votre commune	□	□	□	□	□
Vous (ou votre famille) pourriez être blessé lors de la prochaine avalanche	□	□	□	□	□
Votre habitation ou propriété pourrait être endommagée par la prochaine avalanche	□	□	□	□	□
Les réseaux de transport (routes) pourraient être endommagés par la prochaine avalanche	□	□	□	□	□
Les réseaux essentiels (eau, électricité) pourraient être endommagés par la prochaine avalanche	□	□	□	□	□

14. Selon vous, quelles sont les zones les plus concernées par les risques naturels dans votre commune, ou plus généralement entre l'Échalp et la Maison du Roy ? Vous disposez ci-dessous d'un fond de carte de votre commune : dessiner et localiser les zones que vous considérez à risque (v*ous pouvez localiser les zones avec les noms de rue, de lieu-dit, en décrivant les environs…*).

Communiquer et informer sur les risques naturels

15. Avez-vous déjà été informé sur les risques naturels dans votre commune ?

□ oui □ non (vous pouvez passer à la question 20)

16. Si vous avez répondu oui à la question précédente, par quel moyen avez-vous été informé ? (vous pouvez cocher plusieurs réponses)

□ à la radio □ à la télévision □ dans la presse

□ sur Internet □ par une brochure □ par des affiches

□ par des amis □ par la mairie □ à l'école

□ par des membres de ma famille □ j'ai assisté à une réunion publique

□ j'ai lu des rapports officiels □ j'ai lu des rapports techniques

□ autre : _____

17. Avez-vous recherché cette information ? (par exemple : vous avez consulté un site Internet, vous avez demandé une information précise à la mairie, vous avez acheté ou emprunté un livre sur le sujet…)

□ oui □ non

18. Vous considérez-vous bien informé sur les risques naturels ?

□ pas du tout informé □ faiblement informé

□ assez informé □ bien informé

□ très bien informé

19. Souhaitez-vous bénéficier de plus d'informations sur les risques naturels ?

□ oui □ non

20. Seriez-vous prêt à chercher des informations sur les risques naturels ? (par exemple : consulter un site Internet, interroger une personne qui connaît mieux le sujet que vous, assister à une réunion publique…)

□ oui □ non

21. Comment voudriez-vous être informé sur les risques naturels ?

□ à la radio □ à la télévision □ dans la presse

□ sur Internet □ par une brochure □ par des affiches

□ par des amis □ par la mairie □ à l'école

□ par des membres de ma famille □ en assistant à une réunion publique

□ en lisant des rapports officiels □ en lisant des rapports techniques

□ autre : _____

22. Selon vous, qui devrait vous informer sur les risques naturels ?

□ la municipalité □ la communauté de communes

□ le département □ la région

□ l'Etat et les ministères □ les scientifiques

□ les médias (journalistes) □ la sécurité civile

□ l'Etat et les ministères □ autre_____

23. Voici une liste de personnes ou institutions susceptibles de vous informer sur les risques. Pour chacune, veuillez indiquer à quel point vous leur faites confiance à ce sujet :

Vous faites confiance à cet acteur…	Pas du tout	Pas vraiment	Plus ou moins	Un peu	Tout à fait
Les autorités locales / la municipalité	□	□	□	□	□
La communauté de communes	□	□	□	□	□
Le département / Le conseil général	□	□	□	□	□
La région / Le conseil régional	□	□	□	□	□
Les autorités nationales (ministères…)	□	□	□	□	□
La police, les pompiers / La sécurité civile	□	□	□	□	□
Les medias (journalistes)	□	□	□	□	□
Les scientifiques et les experts	□	□	□	□	□
Les compagnies d'assurance	□	□	□	□	□
Autres, précisez : _____	□	□	□	□	□

24. Est-ce qu'un atelier, une réunion d'information ou un débat public concernant les risques naturels a déjà eu lieu dans votre commune ?

□ oui, et j'y ai participé

□ oui, mais je n'y ai pas participé…

□ parce que je n'avais pas le temps

□ parce que ça ne m'intéressait pas

□ pour une autre raison _____

□ non, il n'y en a jamais eu

25. Si nous envisagions d'organiser une réunion publique pour informer les habitants de votre commune sur les risques naturels. Assisteriez-vous à cette réunion ?

□ oui □ non

26. Voici une liste de sujets relatifs aux risques naturels. Pour chacun, veuillez indiquer à quel point vous le trouvez important :

Disposer d'information à ce sujet est….	Pas important	Pas très important	important	Très important
Le zonage de votre commune concernant les risques naturels (les zones à risque)	□	□	□	□
Les phénomènes naturels (comment ca fonctionne, ce qui les déclenche…)	□	□	□	□
Ce que les autorités font pour réduire les risques naturels	□	□	□	□
Ce que vous pouvez faire vous-même pour être moins vulnérable / exposé aux risques naturels	□	□	□	□
Qui vous devez contacter en cas d'urgence	□	□	□	□
Les conséquences possibles d'une catastrophe naturelle sur les bâtiments et les infrastructures	□	□	□	□
La législation relative à l'occupation du sol en fonction des risques naturels	□	□	□	□
Le plan d'évacuation ou les procédures d'urgence (que devez vous faire ? qu'est-ce qui est prévu ? qui est responsable ?…)	□	□	□	□
Les systèmes de surveillance et d'alerte (comment cela fonctionne ?, qui s'en occupe ?)	□	□	□	□
La recherche scientifique et les progrès techniques (ce qui est fait, qui travaille sur le sujet ? à quoi cela sert-il ?…)	□	□	□	□

Connaître les risques naturels et se préparer

27. Est-ce que des mesures de protection ont été entreprises dans votre commune ? (par exemple un système de drainage, des filets pare-blocs, des digues…, toute installation destinée à réduire les dommages causés par un phénomène naturel).

□ oui □ non □ je ne sais pas

Si oui, lesquelles ?

_____
_____
_____
_____
_____

28. Savez-vous ce que vous devriez faire en cas de catastrophe naturelle ?

□ oui □ non

Si oui, que doit-on faire en cas de catastrophe naturelle ?

_____
_____
_____
_____
_____

29. Connaissez-vous les documents d'information concernant les risques naturels dans votre commune ?

□ pas du tout □ un peu □ assez □ bien □ très bien

30. Voici une liste d'acteurs de la gestion des risques. Pour chacun, pouvez-vous indiquer quel est, selon vous, leur niveau de connaissance concernant les risques naturels

Cet acteur connaît le risque…	Très mal	Mal	Peu	Bien	Très bien
Les autorités locales / la municipalité	□	□	□	□	□
La communauté de communes	□	□	□	□	□
Le département	□	□	□	□	□
La région	□	□	□	□	□
Les autorités nationales (ministères…)	□	□	□	□	□
La police et les pompiers (sécurité civile)	□	□	□	□	□
Les medias (journalistes)	□	□	□	□	□
Vous et votre famille	□	□	□	□	□
Les compagnies d'assurance	□	□	□	□	□

31. Est-ce que vous (ou l'un de vos proches) a un lien avec les institutions citées dans la question précédente ? Si oui lequel ?

□ non □ oui _____

32. Après avoir répondu à ces questions, comment vous sentez-vous vis-à-vis des risques naturels ?

□	□	□	□	□
je n'y penserai pas plus	je suis calme et confiant(e)	cela ne m'inquiète pas	cela m'inquiète	cela me fait peur

Quelques questions personnelles

33. Êtes-vous ?

□ un homme □ une femme

34. Quel âge avez-vous ? _____

35. A quelle catégorie correspond votre situation professionnelle actuelle ?

□ agriculteur, exploitant □ artisan, commerçant, chef d'entreprise

□ cadre, profession intellectuelle supérieure, profession libérale

□ agent de la fonction publique □ employé □ ouvrier

□ au foyer □ retraité □ étudiant

□ autre, plus précisément _____

36. Quel est le plus haut niveau d'études (ou diplôme) que vous avez atteint ?

□ école primaire / certificat d'études □ collège / brevet des collèges

□ lycée / baccalauréat □ BTS / bac+2

□ licence / bac+3 □ Master / bac+5

□ au-delà de bac+5 □ autre : _____

37. Combien de personnes composent votre foyer (vous inclus) ?

Total _____ Enfants/jeunes (- de 18 ans) _____

Adultes (19-65 ans) _____ Personnes âgées (65 ans et +) _____

MERCI DE VOTRE PARTICIATION

Annexe 2 : Tableau de synthèse des réponses au questionnaire.

Questionnaire	Q1	Q1 bis	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	
2014-1	Ai	bourg		4	4	1	1	1	1	3
2014-2	Ai	La Chalp		4	4	3	1	1	3	4
2014-3	Ai	bourg		4	3	1	1	2	4	3
2014-4	Ai	La Condamine		2	3	1	1	1	1	3
2014-5	AI	bourg		2	1	2	1	1	1	2
2014-6	Ai	La Condamine		4	1	1	1	1	4	4
2014-7	Ai	bourg		4	1	1	1	1	4	2
2014-8	Ai	La Condamine		4	3	1	1	1	2	4
2014-9	Ai	La Chalp		4	3	1	1	1	2	4
2014-10	Ai	bourg		4	1	1	1	1	5	4
2014-11	Ai	bourg		4	4	1	1	2	3	3
2014-12	Ai	La Condamine		3	1	3	1	1	1	3
2014-13	Ai	La Condamine		1	1	2	1	1	2	2
2014-14	Ai	La Chalp		2	1	2	1	2	3	3
2014-15	Ai	La Condamine		4	3	1	1	1	3	3
2014-32	Ai	bourg		4	2	1	1	1	5	1
2014-33	Ai	La Chalp		4	3	1	1	1	1	3
2014-42	Ai	La Chalp		3	1	1	1	1	1	3
2014-45	Ai	bourg		3	1	1	1	1	1	3
2014-16	R	bourg		4	1	1	1	1	4	3
2014-17	R	bourg		3	1	1	1	1	4	3
2014-18	R	bourg		4	5	1	1	2	4	3
2014-19	R	bourg		1	1	2	1	2	3	2
2014-20	R	La Monta		1	1	2	1	1	4	3
2015-RISTOLA	R	L'Echalp		3	1	2	1	1	3	4
2014-21	Ab	l'Hoche		1	1	2	1	2	3	2
2014-22	Ab	l'Hoche		1	1	1	1	1	3	3
2014-23	Ab	bourg		4	5	1	1	1	4	4
2014-24	Ab	bourg		3	1	2	1	1	2	3
2014-25	Ab	bourg		3	4	2	1	1	4	3
2014-26	Ab	la Garcine		1	1	1	1	2	2	2
2014-27	Ab	bourg		3	1	2	1	2	2	3
2014-28	Ab	bourg		4	2	1	1	1	2	3
2014-29	Ab	bourg		4	1	1	1	1	4	4
2014-30	Ab	bourg		3	1	2	1	2	4	4
2014-31	Ab	bourg		4	2	2	1	2	4	4
2014-34	Ab	bourg		4	4	2	1	2	5	4
2014-35	Ab	bourg		4	5	1	1	2	3	3
2014-36	Ab	Le Roux		4	1	1	1	2	4	4
2014-37	Ab	lae Larra		4	1	1	1	1	5	3
2014-39	Ab	bourg		4	4	2	1	2	5	4
2014-40	Ab	Le Roux		4	1	1	1	1	3	4
2014-41	Ab	bourg		2	1	2	1	1	3	3
2014-43	Ab	Le Roux		4	2	1	1	1	4	4
2014-44	CVV	Château-Quey		3	1	2	1	2	3	2
2015-CVV1	CVV	Château-Quey		4	1	2	1	2	4	4
2015-CVV2	CVV	Prat-Haut		1	1	1	2	1	4	3
2015-CVV3	CVV	Le Brasq		3	5	1	1	1	2	4
2015-CVV4	CVV	Château-Quey		2	1	1	1	1	3	3

2015-CVV5	CVV	La Casse	3	1	2	1	1	2	3
2015-CVV6	CVV	La Casse	4	3	2	1	2	3	3
2015-CVV7	CVV	Meyries	4	1	2	1	1	2	4
2015-CVV8	CVV	Château-Queyı	1	1	2	1	2	3	1
2015-CVV9	CVV	Ville-Vieille	4	5	1	1	1	2	4
2015-CVV10	CVV	Le Collet	3	5	1	1	2	1	3
2015-CVV11	CVV	Château-Queyı	2	1	1	2	1	3	1
2014-38	Mo	Gaudissart	3	1	1	1	1	4	4
2015-MOLINE:	Mo	Pont des Marr	4	5	1	1	1	3	3
2015-MOLINE:	Mo	Clot La Chalp	4	2	1	1	1	3	3
2015-MOLINE:	Mo	La Rua	4	1	1	1	1	2	3
2015-MOLINE-	Mo	Gaudissart	4	5	1	1	1	1	4
2015-MOLINE!	Mo	Gaudissart	3	1	1	1	2	3	2
2015-MOLINE(	Mo	Clot La Chalp	1	1	1	1	1	3	1
2015-MOLINE:	Mo	Bourg	4	1	2	1	1	3	3
2015-MOLINE:	Mo	Pierre-Grosse	2	5	1	1	1	3	3
2015-MOLINE:	Mo	Bourg	4	5	1	1	1	2	3
2015-MOLINE:	Mo	Bourg	4	5	1	1	1	2	3
2015-MOLINE:	Mo	Le Serre	4	5	1	1	1	2	3
2015-MOLINE:	Mo	Pierre Grosse	4	5	1	1	1	1	2
2015-MOLINE:	Mo	Le Coin	4	2	1	1	1	2	3
2015-MOLINE:	Mo	Le Cime du Ser	3	1	1	1	1	4	3
2015-MOLINE:	Mo	La Rua	3	1	1	1	1	2	2
2015-St-VERAI	S-V	Bourg	4	5	1	1	1	2	3
2015-St-VERAI	S-V	Beauregard	4	3	1	1	2	1	1
2015-St-VERAI	S-V	Le Villard	4	3	1	1	1	2	3
2015-St-VERAI	S-V	Coste-Belle	4	5	1	1	1	1	1
2015-St-VERAI	S-V	Bourg	4	5	1	1	1	3	2
2015-St-VERAI	S-V	Les Forannes	4	5	1	1	1	1	2
2015-St-VERAI	S-V	Le Villard	3	5	1	1	1	2	2
2015-St-VERAI	S-V	Bourg	4	5	1	1	1	4	3
2015-St-VERAI	S-V	Bourg	4	5	1	1	1	1	3
2015-St-VERAI	S-V	Foranne	3	1	2	1	1	1	3
2015-St-VERAI	S-V	La Chalp	2	1	1	1	2	1	2
2015-St-VERAI	S-V	Pierre-Belle	1	2	1	2	1	2	2
2015-St-VERAI	S-V	Pierre-Belle	4	5	1	1	1	3	3

Q8bis	Q9-1	Q9-2	Q9-3	Q9-4	Q9-5	Q9-6		Q9-7	Q9-7 bis	Q10
		1	5	1	2	4	1	2	séisme	chute de bloc/
inondation 20(		4	5	3	4	4	4	4	séisme	chute de blocs
inondation au		3	4	4	5	5	2	NSP		inondation
séisme/chute (		1	5	1	4	3	2	2	séisme	chute de blocs,
		4	5	5	4	5	2	NSP	séisme	chute de blocs
séisme, inond		4	3	4	5	2	3	3	séisme	avalanche
		3	3	3	5	5	2	NSP		avalanche, ino
La moitié de l'		2	4	1	2	2	1	NSP		aucun
jardin inondé..		2	2	2	2	5	2	2	séisme	inondation car
séisme/ impac		5	4	4	4	3	3	5	séisme	séisme car imp
inondation 20(/			4 /		5	4	2	NSP		inondation/fré
inondation 20(		2	5	4	5	3	3	2	séisme	
		3	3	1	3	4	2	5	séisme	séisme
avalanche en h		3	3	3	4	3	2	NSP		crue guil, avala
évacuation hat		4	4	5	5	5	4	4	séisme	expérience
avalanche Ech		3	3	3	5	5	5	3	séisme	avalanche, ino
avalanche197		1	3	1	3	3	1	1	séisme	chute de bloc,
inondation 20(		2	3	1	5	4	3	2	séisme	avalanche /fré
inondation 20(		2	3	1	5	4	3	2	séisme	avalanche /fré
dégats dans le		5	5	5	5	5	3	3	séisme	
crue 2000, ava		3	3	3	3	3	2	3	séisme	inondation, av
inondation200		5	5	3	5	5	2	2	séisme	fréquence
		3	4	1	4	3	1	NSP		chute de blocs
séisme, glissen		3	3	2	4	3	2	2	séisme	avalanche car
Avalanche et c		4	1	1	4	4	2	5	séisme	seisme car sou
inondation200		5	5	5	3	4	5	4	séisme	intensité dégât
crue2000, aval		3	3	3	5	5	3	2	séisme	avalanche, ino
1957		5	5	4	5	5	4	NSP		avalanche, on
inondation200		2	4	4	2	4	1	NSP		chute de blocs
2002/2008		3	4	4	4	4	3	NSP		expérience/int
		3	4	2	4	3	1	2	séisme	chute blocs (in
inondation200		3	5	3	4	3	4	2	séisme	chute de blocs,
		3	3	2	3	2	1	1	séisme	chutes blocs/ e
inondation194		3	3	2	4	5		NSP		inondation
2008 (plus d'e		3	3	3	3	3	2	1	séisme	
		3	3	3	3	3	2	1	séisme	
2008(inondati		4	3	4	4	5	4	NSP		inondation/ an
inondation 20(		2	1	1	3	3	2	NSP		inondation(us
inondations de		5	4	1	3	5	2	NSP		inondation
crue de 2000,		4	0	5	4	3	1	NSP		lave torrentiell
2008 inondati		4	3	4	4	5	4	NSP		inondation/am
crue 2000, 20(		3	3	4	4	4	2	NSP		lave torrentiell
inondation du		2	3	3	4	5	3	NSP		inondation/int
crue 2000-200		3	3	0	4	4	3	NSP		avalanche, pas
cure du guil 2(		2	3	1	2	5	4	NSP		inondation car
juin et septem		4	4	2	4	4	3	NSP		inondation car
avalanche		2	3	1	1	1	1	2	séisme	neige sur la ro
inondation en		3	2	1	1	3	3	NSP		les inondation
Chutes de neig		1	3	1	4	1	2	NSP		Avalanche car

Inondations de	NSP	3	NSP	2	3	3	NSP	Inondations
inondation en	2	3	4	1	4	2	NSP	Inondation car
Inondations de	3	4	3	2	4	4	2 séismes	chute de blocs,
	3	3	3	3	3	2	NSP	Chutes de bloc
Evacuée en 19	2	3	2	3	4	2	2 séismes	Inondation car
Inondations er	2	3	1	4	4	4	NSP	Inondations, p
	3	3	1	1	1	1	NSP	pluies torrentie
inondation200	3	2	5	4	4	3	NSP	avalanche/ imp
inondation 20(	2	2	4	3	4	3	NSP	inondation car
inondation en	2	2	2	2	3	2	2 séismes	inondation
inondation 2 x	2	3	2	3	3	2	NSP	inondation
inondation en	2	2	2	3	3	2	NSP	inondation et a
	2	3	1	4	3	2	2 séismes	avalanches par
	1	3	1	3	2	1	NSP	chute de bloc,
Inondation en	3	3	1	3	3	2	NSP	Chutes de bloc
Crues violente:	3	3	1	4	4	3	NSP	l'avalanche de
avalanches et r	2	2	1	3	3	2	NSP	les avalanches
	2	3	2	4	2	2	NSP	avalanche
Inondation en	2	1	2	3	4	1	NSP	avalanche (inte
	1	1	1	2	2	1	1 séismes	inondations et
En 2008, chute	3	3	2	3	4	2	NSP	inondations, in
grosses chûtes	2	1	1	3	3	1	1 séismes	avalanche
Crue de 1957	1	1	NSP	2	2	1	NSP	avalanche
J'étais chargée	3	3	1	3	2	3	NSP	inondation pou
	2	2	2	2	2	2	NSP	avalanche
intempéries er	2	2	1	4	3	2	3 séisme	avalanche
	1	3	1	2	1	1	NSP	chute de blocs
inondation en	3	4	4	4	4	4	NSP	avalanche par
	5	5	NSP	5	1	1	NSP	Glissements de
	3	3	1	5	1	3	NSP	Dans le village
crues de 2000,	2	1	2	3	2	1	NSP	avalanche
avalanche 200	4	5	1	5	1	1	NSP	chute de blocs
avalanche sur l	2	2	1	2	1	1	NSP	avalanches de
	1	3	1	3	1	2	NSP	chutes de bloc
	3	4	1	4	1	4	NSP	Avalanches car
Inondations de	2	2	NSP	3	2	2	2 séismes	Les avalanches

Q11-1	Q11-2	Q11-3	Q11-4	Q11-5	Q11-6	Q12-1	Q12-2	Q12-3	Q12-4	
	5	5	1	1	5	5	1	1	1	1
	5	5	2	1	5	5	4	4	4	4
	5	3	1	1	4	4	1	1	1	1
	2	5	1	1	5	5	1	1	1	1
	3	5	5	4	5	5	3	3	3	3
	4	4	1	2	4	3	2	4	2	2
	5	5	2	2	5	5	2	2	1	1
ne sais pas		4	1	1	4	4	1	1	1	1
	5	5	1	1	5	5	2	2	2	2
	5	5	3	2	5	4	5	4	3	3
	5	5	2	2	5	4	2	3	2	2
	5	5	2	2	5	5	2	2	2	2
	4	4	4	4	4	4	2	2	2	2
	3	3	1	1	3	3	2	2	1	2
	5	5	1	1	5	5	4	4	3	3
	5	5	3	3	5	5	3	3	3	3
	4	4	1	1	4	4	2	2	2	2
	3	5	1	1	5	4	4	4	4	4
	3	5	1	1	5	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5	5	5	2	2
	5	5	5	5	5	5	3	3	3	3
	5	5	2	3	5	5	5	5	4	4
	3	5	2	1	5	4	2	4	2	1
	4	4	3	2	5	5	2	2	2	2
	5	5	2	2	5	5	5	5	5	2
	5	3	1	1	4	4	4	4	5	5
	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5
	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4
	2	2	1	1	5	2	2	2	1	1
	4	4	4	4	4	4	4	4	2	2
	4	4	1	1	4	3	2	4	3	2
	4	4	4	4	4	4	3	4	2	2
	4	5	2	2	5	5	2	5	1	3
	5	5	5	5	5	5	1	1	1	4
	3	3	1	1	1	5	5	3	3	3
	3	3	1	1	1	5	5	3	3	3
	5	5	1	1	5	3	2	1	1	1
	5	5	1	1	5	4	1	1	1	1
	5	5	3	3	5	5	5	5	2	2
	2	2	1	2	5	5	2	3	1	1
	5	5	1	1	5	3	2	1	1	1
	5	5	2	2	5	5	4	5	2	2
	5	5	3	2	5	5	5	5	4	2
	5	5	4	4	4	4	2	2	2	2
	5	5	5	5	5	5	2	3	2	1
	5	5	2	3	5	4	4	4	1	1
	1	1	1	1	1	1	NSP	NSP	NSP	NSP
	2	5	1	1	5	4	1	2	1	1
	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1

2	2	1	2	3	3	1	1	1	1
5	2	1	3	5	5	1	2	1	1
4	4	1	1	5	5	2	3	2	2
3	3	2	3	4	4	3	3	2	3
5	5	2	3	5	5	2	2	2	2
5	5	1	1	5	5	5	5	1	1
5	5	1	1	5	5	5	5	5	2
4	4	2	2	4	4	3	3	2	2
5	5	5	5	5	5	2	2	2	2
3	3	1	1	5	3	2	1	1	1
3	3	2	1	3	3	2	2	2	1
2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
3	3	2	1	5	5	3	3	3	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	3	1	1	5	3	1	1	1	1
5	5	2	2	5	5	2	4	1	1
1	3	2	1	3	3	2	2	1	1
1	5	1	1	5	5	3	5	1	1
2	3	1	1	4	4	1	1	1	1
2	2	1	1	2	2	2	2	1	1
4	4	1	1	5	4	2	2	1	1
3	4	5	5	5	3	1	1	1	1
2	2	2	2	3	3	2	2	2	2
2	3	2	2	3	3	3	3	2	2
2	2	1	1	3	3	3	3	2	2
3	4	2	2	4	4	4	4	2	2
1	1	1	1	5	4	1	1	1	1
2	2	1	1	2	2	2	2	2	1
1	5	1	1	5	5	5	5 NSP		5
1	3	1	1	5	3	4	4	3	2
2	2	1	1	4	3	2	3	1	1
1	1	1	1	3	1	4	4	4	4
2	2	1	1	3	3	2	2	1	1
2	2	2	2	2	2	2	3	2	2
1	1	1	1	1	1	2	5	2	1
4	4 NSP		3	4	4	3	3 NSP		3

Q12-5	Q12-6	Q13-1	Q13-2	Q13-3	Q13-4	Q13-5	Q13-6	Q14	Q15
	1	1	1	1	1	1	1	1 carte	2
	4	4	5	5	5	5	4	4 carte	1
	1	1	1	1	1	1	1	1 carte	1
	1	1	1	1	1	1	5	5 carte	2
	3	3	3	3	2	2	4	4 carte	2
	5	5	2	2	1	1	2	4 carte	1
	3	3	4	4	4	4	4	4 carte	1
	1	1	2	2	2	2	2	2 carte	1
	4	4	4	4	1	1	4	4 carte	2
	5	3	2	4	2	2	5	2 carte	1
	5	4	4	4	2	2	5	4 carte	1
	2	2	5	5	5	5	5	5 carte	2
	2	2	3	3	3	3	3	3 carte	2
	3	3	1	3	2	1	3	3 carte	1
	5	5	5	5	5	5	5	5 carte	1
	3	3	1	1	1	1	1	1 carte	2
	2	2	4	4	4	4	4	4 carte	2
	4	4	5	5	4	4	4	4 carte	2
	4	4	5	5	4	4	4	4 carte	2
	5	5	5	5	5	4	5	5 carte	1
	2	2	5	5	5	5	5	5 carte	1
	5	5	5	5	5	1	5	3 carte	1
	2	1	5	5	5	4	4	4 carte	1
	2	2	4	4	4	4	4	4	2
	5	5	5	5	5	5	5	5	1
	5	5	3	3	4	4	4	4 carte	2
	5	5	5	5	5	5	5	5 carte	1
	4	4	5	5	5	5	5	5 carte	2
	3	3	5	2	1	1	5	4 carte	1
	4	4	5	5	4	2	5	5 carte	2
	4	4	2	4	3	2	4	4 carte	1
	4	4	5	5	5	1	5	5 carte	2
	5	5	5	5	5	5	5	5 carte	1
	2	2	5	5	1	1	5	5 carte	1
	2	2	3	3	1	1	4	4 carte	1
	2	2	3	3	1	1	4	4	1
	2	2	5	1	1	1	1	1 carte	2
	1	1	5	5	1	1	5	5 carte	2
	5	5	5	2	1	1	5	5 carte	1
	3	1	3	3	1	1	3	1 carte	1
	2	2	5	1	1	1	1	1 Carte (aiguilles	1
	4	3	5	5	2	2	5	5 carte	1
	5	5	3	4	3	3	5	5 carte	1
	2	5	5	5	5	5	5	5 carte	1
	3	2	1	1	1	1	1	1 carte	2
	4	4	5	4	1	1	4	4 carte	1
NSP	NSP		1	1	1	1	3	3	1
	3	2	2	2	1	1	2	2 carte	1
	1	1	3	3	3	3	3	3 carte	2

1	1	1	1	1	1	1	1 carte	1
2	1	1	2	1	1	1	1 carte	1
4	4	2	3	2	2	4	4 carte	2
3	4	3	2	2	2	2	2 carte	2
2	2	2	2	2	2	2	2 carte	2
5	5	5	5	1	1	5	5 carte	1
5	5	3	3	1	1	3	3	2
3	3	4	4	2	2	4	4 carte	1
3	3	3	3	3	3	3	3 carte	1
2	2	5	2	1	1	1	2 carte	1
2	2	3	3	2	1	3	3 carte	1
3	3	3	3	3	3	3	3	1
3	3	5	5	5	5	5	5 carte	2
1	1	5	1	1	1	1	1	2
5	3	5	5	5	1	5	5	1
4	4	5	5	5	5	5	5 carte	1
2	2	3	5	2	2	5	5	1
5	5	2	5	1	1	5	5	1
2	2	4	4	2	2	1	1 carte	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2
2	2	4	4	2	1	3	3 carte	1
1	1	3	3	5	5	5	5 carte	1
2	2	3	3	2	2	3	3 carte	2
3	3	3	3	3	2	2	2	1
3	3	5	5	2	1	3	3 carte	2
4	3	3	3	2	2	4	4 carte	2
4	4	5	4	3	3	3	1 carte	2
2	2	2	2	2	2	2	2 carte	1
5	5	5	5	5	5	5	5 carte	1
4	4	5	4	2	2	2	2 carte	1
3	3	5	4	1	1	4	2	1
4	4	3	1	1	1	4	4 carte	2
3	3	3	3	2	2	3	3 carte	2
2	2	3	2	3	2	3	2	2
3	3	3	4	3	2	3	3 carte	2
3	3	4	4 NSP		4	4	4 carte	2

Q16	Q16 bis	Q17	Q18	Q19	Q20	Q21	Q22	Q22 bis	Q23-1	
						2	1,5,7			5
4,8,14	services de sec		2	2	1	1 réunion publiq		1.7		5
	8.9		1	2	1	1	1,5,7			3
			2	1	2	2	1,5,8,9	Ancien		2
						2 conférence		7		3
7,8,12,13			2	4	1	1 info papier		1		5
	14 ONF		2	3	2	1		8		5
	3.14 bouche à oreill		2	5	2	1		8		3
						2 études	1,2,5,9	DEE		2
1,3,5,6,8,9,12			2	4	2	1	1,2,4,5,8			4
3,5,7,8			1	3	1	1	3,5,8			3
						1		1		5
			1	2	1	1		7		4
1,3,5,6,8,9,12			2	5	1	2	1,2,3,4,5,6,7			5
	4.8		2	4	1	2		1		5
						2		1		5
						2		1		5
						1 internet/affich	1,2,5			5
						1 internet/affich	1,2,5			5
3,4,6,7,8,11			1	3	1	1	1,2,3,5,6,7,8			5
	8		2	2	1	1	1,2,4,7			3
	4.8		1	4	1	1	1,2,5,6,8			5
	8		2	2	1	1		1		4
						1	1,2,3,5,6			5
3,8,12			1	4	1	1 concretement,	1,7,9	Technicien de l		5
						2		1.5		3
3,4,8			2	4	1	1		1.5		5
						1	1,2,5			5
	8		2	3	2	2		1		5
						1 conférences	1,2,5,6			5
	14 habitants		1	4	1	2 conférences	6,7,8			5
						2 réunions	1,2,5			5
4,7,8,13			1	4	2	1 réunion scienti	1,5,6,8,9	PNRQ		5
	8		2	4	1	1 prospectus		1		3
8,12,13			2	5	2	1 réunion		1.7		5
	8		2	5	2	1 réunion		1.7		5
						2		1		5
						2		3.7		5
1,6,9			2	3	1	1		4.8		2
5,8,12			1	5	1	1 dernières etud		7		3
	8.14 les anciens		2	5	1	2 réunion d 'info		1		5
5,8,12,13			2	4	2	1 réunion d'infor		1.7		5
3,8,13,14	habitants		2	3	1	1		1.2		3
	5.8		2	1	1	1	0 1,2,3,5,7			5
						1 couriel de la m		1		4
	14 relation perso		1	2	1	1 parc		7.9 PNRQ		3
	14 voisin, fermier,		1	4	2	1 internet	1,2,3,5,6,7,8			5
4,11,5			2	4	2	2 brochure et pr	1,2,3			5
			2	3	1	1 tableau d'infor		1.5		2

	8		2	4	2	2		1		5
	5		2	3	1	1	par des réunio	1,3,7		4
						1	par une brochu	1.5		3
						1	Réunion public	1,2,5,7,8		4
						1	par la mairie, l	1,5,7		3
5,8,12,13			2	5	1	1	mairie	1		5
			2	2	2	2	mairie	1,2,5		5
5,8,13,14		participer à l'él	1	5	1	1		1,3,7,8		5
	4		2	3	2	2		1		5
	3.4		2	2	2	2		7		3
	8		2	2	2	2		1		4
	4.8			2	3	1	Tout les moyer	1		4
						1	mail et réu ion	1		4
			2	4	2	2		1		5
1,4,8,14		Préfecture, Mé	1	3	1	1	Courrier, mail	1.2		5
	4.14	vu par moi-mé	2	2	1	1	par la possibili	1,5,9	pompiers, gen	2
	8		2	4	1	1	mairie	1,2,5,6		5
2,3,4,8,11,12			2	2	1	2		1		3
	4.8		2	3	2	1	mairie	1.2		4
						2	mairie	1.5		5
	8		2	4	2	2	mairie	1		5
1,7,8			2	2	1	1		1.7		3
						1	internet	1,2,5		5
	14	chargée de mi	1	2	1	1	faire parler les	5, 9	échelle du BV	5
			2	3	2	2	mairie	1, 5		5
						1	mail	2,5,7		2
						2		1,2,3,5,6,7,8		3
	8		1	2	2	1		1,2,3,5,6		5
	6.8		2	3	2	2	Par la mairie	8		5
1,2,3,4,6,7,9,11			2	3	1	1	mail ou courrie	1,2,4,5		5
	8		2	4	1	1		1,2,3,5,8		4
						2	brochure	1.2		5
						1	brochures ou r	1,5,6,7		5
						2	par la mairie	1		5
						1	démonstration	1,2,3,4,5,6,7,8		2
						1	Par tous les m	1,5,6,7		5

Q23-2	Q23-3	Q23-4	Q23-5	Q23-6	Q23-7	Q23-8	Q23-9	Q23-10	Q23-10-bis
	5	5	5	5	5	5	5	5	
	3	3	3	1	5	3	5	3	
	3	2	2	2	5	1	5	3	
	1	1	1	1	5	3	5	1	
	1	5	5	3	5	3	5	5	
	5	5	5	3	5	1	5	1	
	5	5	4	4	5	3	4	1	
	1	3	1	1	3	1	3	1	
	2	4	2	4	2	2	2	2	
	4	5	5	4	5	4	2	3	
	4	4	4	3	5	3	4	3	
	5	5	5	5	5	1	3	1	
	4	4	4	4	4	3	5	4	
	5	5	5	3	5	3	5 /		
	5	4	4	4	5	2	5	4	
	3	5	5	3	5	1	4	4	
	5	5	5	5	4	1	5	2	
	5	4	4	2	5	3	5	3	
	5	4	4	2	5	3	5	3	
	5	5	5	5	5	2	5	2	
	3	3	3	3	5	3	4	2	
	5	5	5	5	5	5	5	5	
	4	3	3	2	4	1	5	1	
	2	2	2	2	5	4	5	2	
	4	2	2	2	1	5	1	2.5	5 Technicien de
	2	2	2	1	4	1	2	1	
	4	4	4	4	5	3	5	3	
	5	4	4	2	5	1	4	3	
	5	3	2	1	4	1	5	1	
	4	4	4	2	5	1	4	1	
	5	5	5	4	5	1	5	3	
	5	5	4	4	5	1	5	2	
	5	5	5	5	5	3	5	3	
	2	2	2	2	5	2	3	2	
	5	4	4	4	4	1	5	1	
	5	4	4	4	4	1	5	1	
	4	5	5	4	4	1	5	4	
	5	5	5	5	5	4	5	1	
	2	4	4	4	5	3	5	5	5 mémoire colle
	3	2	1	1	4	1	5	4	
	5	4	4	3	5	1	5	1	
	3	3	3	3	5	3	5	3	
	3	3	2	1	5	1	3	3	
	5	5	4	4	5	1	5	1	
	4	4	3	3	4	4	4	2	
	4	4	4	3	4	4	4	3	
	5	5	5	5	5	3	5	5	
	4	4	4	1	4	1	5	1	
	4	2	1	1	3	1	2	3	

5	5	2	2	5	1	5	1	
1	3	2	5	2	1	5	1	
3	4	2	1	3	1	3	1	
4	4	3	2	4	2	4	2	
3	2	2	2	4	1	3	1	
5	4 NSP	NSP	NSP	NSP	NSP	NSP		
5	4 NSP	NSP	NSP		3 NSP	NSP		
5	5	5	5	5	2	5	2	
5	4	3	2	3	1	3	2	
2	2	2	1	1	1	5	2	
4	4	4	4	4	2	4	3	
4	4	3	2	2	2	2	2	
4	4	3	3	5	2	5	4	
1	1	1	1	5	1	5	1	
5	5	4	3	5	2	5	4	
2	2	3	3	4	2	4	3	
5	4	4	3	5	3	3	3	
3	3	3	3	5	1	5	2	
1	4	1	1	4	1	1	1	
5	5	5	5	5	1	3	1	
5	5	2	2	5	1	5	1	
2	1	1	1	3	1	4	1	
3	3	2	2	5	2	5	2	
5	5	5	5	5	2	5	3	
3	3	1	1	4	3	3	1	
3	4	4	4	5	2	5	2	
2	2	3	3	5	4	4	3	
5	5	5	5	5	3	5	3	
1	3	3	1	5	3	5	3	
5	5	5	4	5	4	5	3	5 mes grands-pa
4	4	4	5	5	1	5	1	
3	4	4	2	5	1	3	1	
5	4	4	3	4	2	4	2	
5	5	5	5	1	1	5	1	
3	4	3 NSP		5	1	2	1	
5	4	4 NSP	NSP	NSP		5 NSP		

Q24	Q24 bis	Q25	Q26-1	Q26-2	Q26-3	Q26-4	Q26-5	Q26-6	Q26-7	
	6		2	3	2	2	3	3	3	3
	6		1	4	4	4	3	4	4	3
	3		1	4	4	4	4	3	4	3
	6		2	1	3	1	2	4	3	3
	2		1	4	4	4	3	4	4	4
	2		2	4	3	3	3	3	3	3
	1		1	4	2	3	4	3	3	2
	5	pas informé	2	3	1	3	3	3	3	3
	6		2	3	3	1	2	2	1	3
	6		1	3	3	4	3	4	4	4
	5	pas informé	1	4	3	3	3	4	3	3
	5	pas informé	2	3	3	3	3	3	3	4
	6		1	3	4	3	3	3	4	3
	1		1	4	4	4	3	3	4	4
	1		1	4	4	4	4	4	4	4
	1		2	4	4	4	4	4	4	4
	5	pas informé	1	3	3	3	3	3	3	3
	1		2	3	3	3	4	4	3	2
	1		2	3	3	3	4	4	3	2
	1		1	5	5	5	5	5	5	5
	1		1	3	3	2	3	3	3	3
	1		1	4	4	2	4	4	4	4
	5		2	3	5	3	3	3	3	3
	5		1	4	4	4	4	4	4	4
	2	1	1	4	4	3	4	3	4	3
	5		1	4	4	3	3	3	3	4
	2		1	4	4	4	4	4	3	3
NSP			1	4	3	4	2	3	3	3
	2		1	3	3	3	1	4	4	3
	2		1	3	3	3	3	3	3	3
	6	pas informé	1	3	3	2	3	3	3	3
	6	pas informé	1	3	3	3	3	3	3	3
	2		1	3	4	3	4	4	4	2
	6		1	4	2	4	4	2	2	2
	1		1	5	5	5	5	5	5	5
	1		1	5	5	5	5	5	5	5
	6		1	3	3	4	3	3	3	3
	6		1	3	3	4	3	3	3	4
	6		1	4	4	4	3	3	2	3
	1		1	3	3	4	3	3	3	3
	2		1	4	3	3	3	4	4	3
	1		1	3	3	3	3	3	3	3
	2		1	4	4	3	3	4	3	3
	1		0	3	4	3	4	4	0	0
	6		2	3	4	3	2	3	3	2
	5	absent 4 mois	1	4	4	4	1	3	4	4
	5	pas informé	1	4	3	4	4	4	4	4
	5	pas informé	2	3	4	3	2	2	4	1
	5	pas informé	1	3	3	3	3	3	4	3

6	2	3	3	3	3	3	3	4
1	1	4	2	3	1	3	3	4
6	2	3	2	3	3	3	2	2
5 pas informé	1	3	3	3	3	3	3	3
6	1	3	3	3	2	2	3	3
1	1	4	4	4	4	4	4	4
6	2	4	2	2	2	1	2	1
1	1	4	4	3	3	3	3	3
5 un membre de	2	3	2	1	3	3	3	2
6	1	2	2	2	3	3	3	3
6	1	3	3	3	3	3	3	3
5 pas informé	1	3	3	3	3	3	3	3
6	3	4	3	3	4	3	3	3
6	2	1	1	1	1	3	1	1
5 pas informé	1	4	4	3	3	4	4	3
6	1	3	3	3	4	4	4	3
1	1	3	3	3	3	4	3	3
6	3	3	3	3	3	3	3	3
6	1	3	3	1	3	3	3	3
6	1	3	3	3	4	3	3	3
6	2	4	4	4	4	4	3	3
6	1	3	4	4	4	4	3	4
5 pas informé	1	3	3	3	3	3	3	3
6	1	3	4	4	4	4	4	4
5 pas informé	1	3	3	3	3	1	3	3
5 pas informé	2	3	2	2	3	3	3	3
4	2	3	3	3	2	3	3	3
6	1	3	3	3	3	3	3	3
6	1	4	3	3	3	4	3	3
6	1	3	3	2	4	4	3	3
6	1	3	3	3	2	3	3	3
2 pas le temps	2	4	3	3	3	3	3	3
1	1	3	3	3	3	2	3	2
2 4	2	3	3	3	3	2	3	3
6	1	3	3	2	4	4	2	1
6	1	3	3	3	1	4	4	4

Q26-8	Q26-9	Q26-10	Q27	Q27 bis	Q28	Q28 bis	Q29	Q30-1	Q30-2	
	3	3	3	1	digues, filet pa	1	se mettre au p	1	5	5
	4	3	3	1	digues	2		1	3	3
	4	4	3	1	digues	2		1	4	3
	4	4	4	1	drainage Guil,	1	Avalanche : AR	1	3	4
	4	4	4	2	Guil classé, doi	2		1	4	4
	3	3	3	1	digues	1	prévenir, secoi	3	5	4
	3	2	3	1	digues	1	sauver les habi	2	3	2
	1	1	1	1	digues	1	cela dépend	2	5	5
	2	3	3	1	digues	1	sortir maison	4	2	2
	4	4	3	1	digues	2		1	4	5
	4	4	3	1	digues	2		1	4	4
	3	3	3	1	filets pare-bloc	1	remplir frigo/g	5	4	4
	3	3	3	3		2		2	6	6
	4	3	3	1	curage du Guil	1	donner l'alerte	1	4	4
	4	4	4	1	digues	1	se protéger	1	5	5
	4	4	4	1	digues	1	évacuer en hau	1	4	4
	3	3	3	1	digues, parava	1	evacuer	1	5	5
	3	2	2	1	digues	1	rester ou partii	1	4	4
	3	2	2	1	digues	1	rester ou partii	1	4	4
	5	5	5	1	digues, parava	1	rentrer du bois	2	5	5
	3	3	3	1	digues, seuils,	1	plan de sécurit	4	4	4
	4	4	3	1	filets pare-bloc	1	alerter, évacue	5	5	5
	3	3	3	1	digues	2		1	4	4
	4	4	4	1	paravalanches	2	réflexe de surv	1	4	4
	4	4	4	1	digues, systèm	1	évaluer les dég	1	4	4
	4	3	3	1	paravalanches	2		1	4	4
	4	4	3	1	paravalanches,	1	voir la mairie(ii	1	4	4
	4	3	3	1	paravalanches,	1	rester chez soi,	2	5	4
	4	4	4	1	paravalanches,	1	écouter autorit	2	4	4
	4	4	3	1	paravalanches,	1	monter pt le pl	1	4	4
	4	3	3	1	digues	1	rester chez soi:	2	4	4
	3	3	4	1	digues	2	1	4	4	4
	4	2	3	1	paravalanches,	1	monter en hau	1	5	5
	2	4	2	1	digues, filets p	1	prévenir la pop	1	2	2
	5	5	5	1	paravalanches,	1	cela dépend	4	5	5
	5	5	5	1	digues	1	cela dépend	4	5	5
	4	3	3	1	paravalanches,	1	cela dépend	1	5	5
	4	3	4	1	paravalanches	1	respectuer cor	1	5	5
	4	4	3	1	filets pare-bloc	2		1	3	3
	3	3	4	1	paravalanche,	1	entrer en cont	4	5	3
	4	4	3	1	paravalanche,	1	évacuer (inonc	5	1	5
	3	3	3	1	paravalanches,	1	se mettre dans	4	5	4
	4	4	3	1	digues	1	ecouter consig	2	4	4
	4	4	0	1	filets pare-bloc	1	suivre les cons	3	5	5
	4	3	2	1	renforcement	2		1	5	4
	4	2	4	1	digues	1	prévenir, proté	1	5	5
	4	4	4	3		2		1	4	4
	3	1	2	1	filets pare-bloc	1	rester chez soi,	1	5	5
	4	4	3	1	filets pare-bloc	1	se mettre à l'ai	1	3	4

4	4	4	1 digues	1 déplacement c	1	5	5
2	3	3	1 digues	2	1	3	1
3	3	2	1 digues, enroch	1 inondation : al	1	4	4
3	3	3	1 filets pare-bloc	2	1	4	4
3	3	3	1 digues	1 partir	1	4	4
4	4	4	1 digues	2	1	5	5
4	3	3	3	2	1	4	4
4	4	3	1 paravalanches	1 attendre consi	5	5	3
3	3	2	1 digues	1 tout dépend d	3	5	4
3	3	3	1 digues partiell	2	1	3	2
3	3	3	1 digues au Clot	2	1	4	3
3	3	3	3	2	1	3	3
3	3	4	1 digues	1 porter secours	1	4	4
3	3	3	3	1 cela dépend	1	4	4
3	3	3	3	2	1	4	4
3	3	3	1 construction d	1 cela dépend	2	3	3
3	3	2	2	1 cela dépend	4	5	5
3	3	3	3	2	1	2	2
3	1	1	1 digues	2	1	4	4
3	3	2	2	2	1	5	4
3	3	3	1 digues, plantat	2	4	5	5
4	3	2	1 digues	1 courir!	1	3	2
4	4	4	3	2	1	4	3
4	4	3	3	1 cela dépend	1	4	4
3	3	3	3	2	1	3	3
4	3	3	2	2	1	3	3
3	3	3	2	1 sortir et courri	1	4	4
3	3	3	1 digues à la Cha	2	3	4	4
4	3	2	3	2	1	4	3
4	3	3	2	1 Si l'on se retro	2	4	4
3	3	2	2	1 cela dépend	4 NSP	NSP	
3	3	2	1 digues à la Cha	2	1	4	3
2	2	2	1 digues	1 partir avant la	1	4	3
3	3	2	1 digues	1 cela dépend d	1	4	4
4	3	1	2	2	1	3	2
3	4	4	3	2	2	4	4

Q30-3	Q30-4	Q30-5	Q30-6	Q30-7	Q30-8	Q30-9	Q31	Q31 bis	Q32
5	5	5	4	5	4	5	1	pompier	2
4	4	4	3	2	2	3	1	mairie	2
2	2	2	5	1	3	5	2		4
2	2	2	4	3	3	3	1	pompiers	4
4	4	3	5	3	3	4	1	mairie	2
4	4	4	5	2	3	1	2		3
4	4	4	4	3	5	3	1	gendarme	2
4	3	3	5	1	5	1	1	mairie	1
2	2	2	2	1	2	1	1	mairie	1
5	5	5	5	3	2	1	1	mairie	4
3	3	3	4	2	2	3	2		4
4	4	3	4	1	4	5	1	ONF	2
6	6	6	6	6	6	6	1	mairie	2
4	4	4	5	1	3	1	1	mairie	4
5	5	5	5	4	5	5	1	maire	2
4	4	3	3	1	5	4	1	maire	2
5	5	5	5	1	4	1	1	maire	1
4	3	2	5	3	3	2	1	pompier	3
4	3	2	5	3	3	2	1	pompier	3
4	4	4	5	1	3	3	1	mairie	4
4	4	4	2	4	2	1	1	PNRQ	4
4	4	2	5	5	5	4	1	mairie	2
4	4	3	5	1	4	1	1	mairie	1
4	4	3	4	3	3	1	2		4
3	3	2	4	1	4	4	1	autorités locale	3
4	4	3	5	3	4	1	2		2
4	3	4	4	3	4	1	1	guide montagr	1
4	4	3	5	1	4	3	1	mairie	4
3	2	1	4	1	5	1	1	guide montagr	1
4	3	2	4	3	4	4	1	mairie	2
4	4	3	4	1	3	3	2		2
4	4	4	2	1	4	1	1	guide montagr	4
5	4	3	5	3	5	4	1	entrepreneur	3
1	1	1	2	1	2	1	1	mairie	4
5	5	5	5	1	4	5	1	guide de mont	2
5	5	5	5	1	4	5	1	mairie	2
5	5	5	5	4	5	4	2		3
5	5	5	5	4	5	5	2		3
3	3	3	5	3	5	3	2		4
5	3	4	5	3	5	4	1	mairie	2
5	5	5	5	1	5	2	1	mairie	2
4	4	4	5	3	4	4	1	mairie	2
4	4	3	4	2	4	4	2		2
0	0	0	5	0	4	0	2		2
4	2	2	4	2	2	1	2		3
5	5	5	5	4	5	5	2		2
4	4	3	4	3	3	3	1	mairie	5
4	3	1	5	1	5	1	1	pompiers, com	1
3	4	1	5	1	4	4	2		2

	5	4	4	5	1	3	4	2	3
	1	1	1	4	1	1	1	2	2
	3	2	2	4	2	4	2	2	1
	4	3	3	4	2	3	4	2	3
	3	2	2	4	1	4	1	2	2
NSP	NSP	NSP	NSP	NSP	NSP		5	1 Adjointe au m	3
	4	3	3	5	3	3 NSP		2	3
	3	3	5	5	3	4	3	1 mairie	2
	3	2	1	3	1	4	2	2	4
	2	2	2	2	2	3	2	2	2
	4	4	4	4	2	3	2	2	1
	3	3	3	3	3	3	3	2	2
	4	4	3	5	2	3	4	2	2
	1	2	2	5	1	5	1	2	2
	4	3	3	5	2	4	4	2	1
	3	3	4	4	3	4	3	2	2
	4	4	3	5	3	5	3	1 Adjointe au m	3
	3	3	4	5	2	3	1	2	2
	2	1	1	3	1	4	1	2	1
	3	2	1	2	1	5	1	2	1
	4	2	2	5	1	4	2	1 mairie	2
	1	1	1	3	1	2	1	1 mairie	3
	3	3	2	4	1	1	1	2	1
	3	3	3	4	1	3 NSP		1 PNRQ	3
	3	3	4	5	3	2	3	1 mairie	3
	4	3	3	3	2	2	2	1 mairie	3
	5	3	3	5	1	4	5	2	3
	4	4	4	4	4	4	3	1 Mairesse	2
	5	5	1	5	1	4	1	2	1
	4	4	3	5	4	4	3	2	2
NSP	NSP	NSP	NSP	NSP	NSP	NSP		2	3
	4	3	2	4	1	3	1	2	1
NSP	NSP	NSP	NSP	NSP		2 NSP		1 guide de haute	3
	3	3	2	5	1	3	1	2	2
	4	5	5	5	2	4	1	1 Pisteurs-secou	3
	3	3	3	4	1	3 NSP		2	2

Q33	Q34	Q35	Q36	Q37	Q37 (2)	Q37 (3)	Q37 (4)	
	1	53	5	9	5	2	2	1
	2	35	3	6	5	2	3	0
	2	46	6	5	4	1	2	1
	2	30	6	6	3	2	1	0
	2	47	2	7	1	1	0	0
	1	45	2	3	5	2	3	0
	1	67	1	5	4	4	0	0
	1	52	3	2	4	3	1	0
	1	74	7	9	2	2	0	0
	2	50	5	5	7	6	0	1
	1	65	5	9	1	1	0	0
	1	60	3	2	2	2	0	0
	1	45	5	2	2	2	0	0
	2	63	7	3	1	1	0	0
	2	58	3	2	2	2	0	0
	2	87	7	1	1	0	0	1
	2	58	1	2	2	2	0	0
	1	16	9	5	3	2	1	0
	1	16	9	5	3	2	1	0
	2	53	6	9	2	2	0	0
	1	52	7	6	2	2	0	0
	2	54	6	5	1	1	0	0
	1	23	6	6	1	0	0	0
	1	52	5	4	2	0	0	0
	1	38	5	5	3	3	0	0
	2	30	1	6	2	2	0	0
	2	50	3	5	4	2	2	0
	2	74	8	6	2	1	0	1
	1	60	6	6	3	2	1	0
	2	35	5	9	2	2	2	0
	1	63	5	3	2	2	0	0
	2	58	5	2	2	2	0	0
	2	55	5	6	2	2	0	0
	1	80	5	1	2	0	0	2
	1	48	2	9	3	2	1	0
	1	67	7	9	3	2	0	1
	1	48	6	6	2	2	0	0
	1	43	6	6	1	1	0	0
	1	61	5	1	4	4	0	0
	1	47	5	3	1	1	0	0
	2	45	6	2	3	2	1	0
	1	52	5	5	2	2	0	0
	1	40	5	6	4	2	2	0
	2	50	3	9	4	2	2	0
	1	28	6	6	4	2	2	0
	1	52	5	6	2	2	0	0
	2	70	8	7	2	2	0	0
	2	20	9	6	1	1	0	0
	1	33	6	9	1	1	0	0

1	50	6	2	4	2	2	0
1	47	5	5	3	2	1	0
2	54	6	6	4	4	0	0
1	40	6	3	7	2	5	0
2	82	8	2	2	0	0	2
2	59	5	2	2	2	0	0
1	43	5	6	4	2	2	0
2	46	3	4	2	2	0	0
2	52	5	9	5	3	2	0
1	49	5	9	4	4	0	0
1	63	5	2	2	2	0	0
1	55	5	5	2	2	0	0
1	47	5	9	2	2	0	0
1	60	5	4	4	3	1	0
2	55	6	2	1	1	0	0
1	29	5	7	2	2	0	0
1	58	1	9	2	2	0	0
1	46	5	6	5	3	2	0
1	72	8	2	2	0	0	2
1	50	10	2	4	2	2	0
2	44	5	6	5	3	2	0
1	49	5	9	4	2	2	0
2	50	5	9	2	2	0	0
2	43	3	7	4	2	2	0
1	35	5	2	3	2	1	0
1	46	5	7	6	3	3	0
1	52	5	5	3	2	1	0
2	>60	2	7	2	2	0	0
2	52	5	2	3	2	1	0
1	9	5	2	3	2	1	0
1	52	5	5	4	4	0	0
2	37 1, 5		6	3	2	1	0
1	50	2	3	3	3	0	0
1	39	5	7	5	2	3	0
1	28	10	7	1	1	0	0
1	68	8	5	2	0	0	2

Chapitre 8.

Aucune annexe.

Chapitre 9.

Aucune annexe.

Chapitre 10.

Annexe1 : Détail des données employées pour modélisées les changements d'occupation du sol.

Paramètre de la régression logistique concernant les variables explicatives

LC type	Driving Factors (1 et 2)	Coeff	AUC
Forest	constant	0	-
Cultures	constant	0.7068	0.926
	Elevation	-0.0002	
	Slope	-3.9308	
	Distance to road	-0.0004	
	Distance to urban area	-0.0019	
Grasslands	constant	-0.5406	0.666
	Elevation	0.0008	
	Slope	-3.5347	
	Aspect	-0.0506	
	Curvature	-0.0702	
Rocks	constant	-19.4837	0.911
	Elevation	0.0068	
	Slope	4.6036	
	Aspect	0.0168	
	Curvature	-0.1472	
Build-up	constant	2.2248	0.984
	Elevation	-0.0015	
	Slope	-4.9212	
	Distance to road	-0.0143	
Water	constant	0	-
Alluviums	constant	4.2840	0.969
	Elevation	-0.0027	
	Slope	-14.8413	

Paramètre de la régression logistique concernant les voisinages

LC type	Driving Factors (enrichment)	Coeff	AUC
Forest	constant	-4.4425	0.972
	Forest	2.5821	
Cultures	constant	-5.6241	0.987
	Cultures	0.4259	
	Build-up	0.0173	
Grasslands	constant	-3.6423	0.92
	Grasslands	2.9380	
Rocks	constant	-3.8568	0.955
	Rocks	2.2364	
Build-up	constant	-6.8533	0.989
	Cultures	0.1171	
	Build-up	0.1280	
Water	constant	-9.0753	0.998
	Water	0.0258	
Alluviums	constant	-6.2362	0.976
	Alluviums	0.2260	

Les fichiers textes

```
0.1 0.3 0.1 0.1 0.3 0.1 0.1

12

0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0  0  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0  0  0
0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0
0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0
0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0
0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0
0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0
0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0
0  0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0  0  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0

12

0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0  0  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0  0  0  0
0  0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0  0  0
0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0  0
0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0
0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0
0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0
0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0
0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0
0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0
0  0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  0  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0  0  0  0  0  0
0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  1  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0

12
```

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

12

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

12

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

12

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

12

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```
0   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   0
0   0   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   0   0
0   0   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   0   0
0   0   0   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   0   0   0
0   0   0   0   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   0   0   0   0
0   0   0   0   0   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   0   0   0   0
0   0   0   0   0   0   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   0   0   0   0   0
0   0   0   0   0   0   0   0   1   1   1   1   1   1   1   1   1   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0
0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   1   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0   0
```

---

main.1

```
7
1
4
11
925
1060
0.0625
996336.000000002
6402679
0    1   2  3 4 5 6
0.5 0.7 0.2 0.8 1 0 0.3
0 0.4 3
2009 2100
0
3
0
1 100
1
0
0.05
```

---

allow.txt

```
1   0   1   1   8   0   7
0   1   1   0   8   0   7
9   10  1   1   8   0   7
120 0   0   1   8   0   0
0   0   0   0   1   0   0
0   0   0   0   0   1   0
120 0   110 0   0   0   1
```

---

alloc1.reg

```
0
    0
1
    0 0

1
    0.706774711546792
4
    -0.000234733936334611 0
    -3.93077118165132 1
    -0.000409661415386682 5
    -0.00190292234191624 6
```

```
2
    -0.540648756117051
4
    0.000793897365412931 0
    -3.53467624423725 1
    -0.0505872222874685 2
    -0.0702468714740618 3

3
    -19.4836845411267
4
    0.0067885590818077 0
    4.60359397807333 1
    0.0167751323236058 2
    -0.147161131663903 3

4
    2.22478892981087
3
    -0.00147274067358034 0
    -4.92120537304236 1
    -0.0143384005796947 5

5
    0
1
    0 0

6
    4.28407432715545
2
    -0.00268903892631676 0
    -14.8413531402753 1
```

---

alloc2.reg

```
0
    -4.44255203091198
1
    2.58208378960538 0

1
    -5.6241075120759
2
    0.425865567685221 1
    0.0172767975939179 4

2
    -3.64229454737777
1
    2.93805314494026 2

3
    -3.85683779784055
1
    2.23645044864145 3

4
    -6.85328611848947
2
    0.117117119743797 1
```

```
    0.128048333026804 4

5
    -9.07533723055385
1
    0.0257940056847358 5

6
    -6.23620922404773
1
    0.226023107917773 6
```

---

demand.in1

```
92
10528.25    1122.875    13997.9375  9584.81249999999    234.875 18.9375 235.125
10543.25    1111.875    14001.9375  9576.81249999999    236.375 18.9375 233.625
10558.25    1100.875    14005.9375  9568.81249999999    237.875 18.9375 232.125
10573.25    1089.875    14009.9375  9560.81249999999    239.375 18.9375 230.625
10588.25    1078.875    14013.9375  9552.81249999999    240.875 18.9375 229.125
10603.25    1067.875    14017.9375  9544.81249999999    242.375 18.9375 227.625
10618.25    1056.875    14021.9375  9536.81249999999    243.875 18.9375 226.125
10633.25    1045.875    14025.9375  9528.81249999999    245.375 18.9375 224.625
10648.25    1034.875    14029.9375  9520.81249999999    246.875 18.9375 223.125
10663.25    1023.875    14033.9375  9512.81249999999    248.375 18.9375 221.625
10678.25    1012.875    14037.9375  9504.81249999999    249.875 18.9375 220.125
10693.25    1001.875    14041.9375  9496.81249999999    251.375 18.9375 218.625
10708.25    990.874999999996    14045.9375  9488.81249999999    252.875 18.9375 217.125
10723.25    979.874999999996    14049.9375  9480.81249999999    254.375 18.9375 215.625
10738.25    968.874999999996    14053.9375  9472.81249999999    255.875 18.9375 214.125
10753.25    957.874999999996    14057.9375  9464.81249999999    257.375 18.9375 212.625
10768.25    946.874999999996    14061.9375  9456.81249999999    258.875 18.9375 211.125
10783.25    935.874999999996    14065.9375  9448.81249999999    260.375 18.9375 209.625
10798.25    924.874999999996    14069.9375  9440.81249999999    261.875 18.9375 208.125
10813.25    913.874999999996    14073.9375  9432.81249999999    263.375 18.9375 206.625
10828.25    902.874999999996    14077.9375  9424.81249999999    264.875 18.9375 205.125
10843.25    891.874999999996    14081.9375  9416.81249999999    266.375 18.9375 203.625
10858.25    880.874999999996    14085.9375  9408.81249999999    267.875 18.9375 202.125
10873.25    869.874999999996    14089.9375  9400.8125   269.375 18.9375 200.625
10888.25    858.874999999996    14093.9375  9392.8125   270.875 18.9375 199.125
10903.25    847.874999999996    14097.9375  9384.8125   272.375 18.9375 197.625
10918.25    836.874999999996    14101.9375  9376.8125   273.875 18.9375 196.125
10933.25    825.874999999996    14105.9375  9368.8125   275.375 18.9375 194.625
10948.25    814.874999999996    14109.9375  9360.8125   276.875 18.9375 193.125
10963.25    803.874999999996    14113.9375  9352.8125   278.375 18.9375 191.625
10978.25    792.874999999996    14117.9375  9344.8125   279.875 18.9375 190.125
10993.25    781.874999999996    14121.9375  9336.8125   281.375 18.9375 188.625
11008.25    770.874999999996    14125.9375  9328.8125   282.875 18.9375 187.125
11023.25    759.874999999996    14129.9375  9320.8125   284.375 18.9375 185.625
11038.25    748.874999999996    14133.9375  9312.8125   285.875 18.9375 184.125
11053.25    737.874999999996    14137.9375  9304.8125   287.375 18.9375 182.625
11068.25    726.874999999996    14141.9375  9296.8125   288.875 18.9375 181.125
11083.25    715.874999999996    14145.9375  9288.8125   290.375 18.9375 179.625
11098.25    704.874999999996    14149.9375  9280.8125   291.875 18.9375 178.125
11113.25    693.874999999996    14153.9375  9272.8125   293.375 18.9375 176.625
11128.25    682.874999999996    14157.9375  9264.8125   294.875 18.9375 175.125
11143.25    671.874999999996    14161.9375  9256.8125   296.375 18.9375 173.625
11158.25    660.874999999996    14165.9375  9248.8125   297.875 18.9375 172.125
11173.25    649.874999999996    14169.9375  9240.8125   299.375 18.9375 170.625
11188.25    638.874999999996    14173.9375  9232.8125   300.875 18.9375 169.125
11203.25    627.874999999996    14177.9375  9224.8125   302.375 18.9375 167.625
```

```
11218.25    616.874999999996    14181.9375  9216.8125   303.875 18.9375 166.125
11233.25    605.874999999996    14185.9375  9208.8125   305.375 18.9375 164.625
11248.25    594.874999999996    14189.9375  9200.8125   306.875 18.9375 163.125
11263.25    583.874999999996    14193.9375  9192.8125   308.375 18.9375 161.625
11278.25    572.874999999996    14197.9375  9184.8125   309.875 18.9375 160.125
11293.25    561.874999999996    14201.9375  9176.8125   311.375 18.9375 158.625
11308.25    550.874999999996    14205.9375  9168.8125   312.875 18.9375 157.125
11323.25    539.874999999996    14209.9375  9160.8125   314.375 18.9375 155.625
11338.25    528.874999999996    14213.9375  9152.8125   315.875 18.9375 154.125
11353.25    517.874999999996    14217.9375  9144.8125   317.375 18.9375 152.625
11368.25    506.874999999996    14221.9375  9136.8125   318.875 18.9375 151.125
11383.25    495.874999999996    14225.9375  9128.8125   320.375 18.9375 149.625
11398.25    484.874999999996    14229.9375  9120.8125   321.875 18.9375 148.125
11413.25    473.874999999996    14233.9375  9112.8125   323.375 18.9375 146.625
11428.25    462.874999999996    14237.9375  9104.8125   324.875 18.9375 145.125
11443.25    451.874999999996    14241.9375  9096.8125   326.375 18.9375 143.625
11458.25    440.874999999996    14245.9375  9088.8125   327.875 18.9375 142.125
11473.25    429.874999999996    14249.9375  9080.8125   329.375 18.9375 140.625
11488.25    418.874999999996    14253.9375  9072.8125   330.875 18.9375 139.125
11503.25    407.874999999996    14257.9375  9064.8125   332.375 18.9375 137.625
11518.25    396.874999999996    14261.9375  9056.8125   333.875 18.9375 136.125
11533.25    385.874999999996    14265.9375  9048.8125   335.375 18.9375 134.625
11548.25    374.874999999996    14269.9375  9040.8125   336.875 18.9375 133.125
11563.25    363.874999999996    14273.9375  9032.8125   338.375 18.9375 131.625
11578.25    352.874999999996    14277.9375  9024.8125   339.875 18.9375 130.125
11593.25    341.874999999996    14281.9375  9016.8125   341.375 18.9375 128.625
11608.25    330.874999999996    14285.9375  9008.8125   342.875 18.9375 127.125
11623.25    319.874999999996    14289.9375  9000.8125   344.375 18.9375 125.625
11638.25    308.874999999996    14293.9375  8992.8125   345.875 18.9375 124.125
11653.25    297.874999999996    14297.9375  8984.8125   347.375 18.9375 122.625
11668.25    286.874999999996    14301.9375  8976.8125   348.875 18.9375 121.125
11683.25    275.874999999996    14305.9375  8968.8125   350.375 18.9375 119.625
11698.25    264.874999999996    14309.9375  8960.8125   351.875 18.9375 118.125
11713.25    253.874999999996    14313.9375  8952.8125   353.375 18.9375 116.625
11728.25    242.874999999996    14317.9375  8944.8125   354.875 18.9375 115.125
11743.25    231.874999999996    14321.9375  8936.8125   356.375 18.9375 113.625
11758.25    220.874999999996    14325.9375  8928.8125   357.875 18.9375 112.125
11773.25    209.874999999996    14329.9375  8920.8125   359.375 18.9375 110.625
11788.25    198.874999999996    14333.9375  8912.8125   360.875 18.9375 109.125
11803.25    187.874999999996    14337.9375  8904.8125   362.375 18.9375 107.625
11818.25    176.874999999996    14341.9375  8896.8125   363.875 18.9375 106.125
11833.25    165.874999999996    14345.9375  8888.8125   365.375 18.9375 104.625
11848.25    154.874999999996    14349.9375  8880.8125   366.875 18.9375 103.125
11863.25    143.874999999996    14353.9375  8872.8125   368.375 18.9375 101.625
11878.25    132.874999999996    14357.9375  8864.8125   369.875 18.9375 100.125
11893.25    121.874999999996    14361.9375  8856.8125   371.375 18.9375 98.625
```

demand.in2

```
92
10528.25    1122.87499999999    13997.9375  9584.8125   234.875000000013    18.9375 235.124999999999
10534.25    1112.87499999999    13990.9375  9581.8125   249.875000000013    18.9375 234.124999999999
10540.25    1102.87499999999    13983.9375  9578.8125   264.875000000013    18.9375 233.124999999999
10546.25    1092.87499999999    13976.9375  9575.8125   279.875000000013    18.9375 232.124999999999
10552.25    1082.87499999999    13969.9375  9572.8125   294.875000000013    18.9375 231.124999999999
10558.25    1072.87499999999    13962.9375  9569.8125   309.875000000013    18.9375 230.124999999999
10564.25    1062.87499999999    13955.9375  9566.8125   324.875000000013    18.9375 229.124999999999
10570.25    1052.87499999999    13948.9375  9563.8125   339.875000000013    18.9375 228.124999999999
10576.25    1042.87499999999    13941.9375  9560.8125   354.875000000013    18.9375 227.124999999999
10582.25    1032.87499999999    13934.9375  9557.8125   369.875000000013    18.9375 226.124999999999
10588.25    1022.87499999999    13927.9375  9554.8125   384.875000000013    18.9375 225.124999999999
10594.25    1012.87499999999    13920.9375  9551.8125   399.875000000013    18.9375 224.124999999999
```

10600.25	1002.87499999999	13913.9375	9548.8125	414.875000000013	18.9375	223.124999999999
10606.25	992.874999999992	13906.9375	9545.8125	429.875000000013	18.9375	222.124999999999
10612.25	982.874999999992	13899.9375	9542.8125	444.875000000012	18.9375	221.124999999999
10618.25	972.874999999992	13892.9375	9539.8125	459.875000000012	18.9375	220.124999999999
10624.25	962.874999999992	13885.9375	9536.8125	474.875000000012	18.9375	219.124999999999
10630.25	952.874999999992	13878.9375	9533.8125	489.875000000012	18.9375	218.124999999999
10636.25	942.874999999992	13871.9375	9530.8125	504.875000000012	18.9375	217.124999999999
10642.25	932.874999999992	13864.9375	9527.8125	519.875000000012	18.9375	216.124999999999
10648.25	922.874999999992	13857.9375	9524.8125	534.875000000012	18.9375	215.124999999999
10654.25	912.874999999992	13850.9375	9521.8125	549.875000000012	18.9375	214.124999999999
10660.25	902.874999999992	13843.9375	9518.8125	564.875000000012	18.9375	213.124999999999
10666.25	892.874999999992	13836.9375	9515.8125	579.875000000012	18.9375	212.124999999999
10672.25	882.874999999992	13829.9375	9512.8125	594.875000000012	18.9375	211.124999999999
10678.25	872.874999999992	13822.9375	9509.8125	609.875000000012	18.9375	210.124999999999
10684.25	862.874999999992	13815.9375	9506.8125	624.875000000012	18.9375	209.124999999999
10690.25	852.874999999992	13808.9375	9503.8125	639.875000000012	18.9375	208.124999999999
10696.25	842.874999999992	13801.9375	9500.8125	654.875000000012	18.9375	207.124999999999
10702.25	832.874999999992	13794.9375	9497.8125	669.875000000011	18.9375	206.124999999999
10708.25	822.874999999992	13787.9375	9494.8125	684.875000000011	18.9375	205.124999999999
10714.25	812.874999999992	13780.9375	9491.8125	699.875000000011	18.9375	204.124999999999
10720.25	802.874999999992	13773.9375	9488.8125	714.875000000011	18.9375	203.124999999999
10726.25	792.874999999992	13766.9375	9485.8125	729.875000000011	18.9375	202.124999999999
10732.25	782.874999999992	13759.9375	9482.8125	744.875000000011	18.9375	201.124999999999
10738.25	772.874999999992	13752.9375	9479.8125	759.875000000011	18.9375	200.124999999999
10744.25	762.874999999993	13745.9375	9476.8125	774.875000000011	18.9375	199.124999999999
10750.25	752.874999999993	13738.9375	9473.8125	789.875000000011	18.9375	198.124999999999
10756.25	742.874999999993	13731.9375	9470.8125	804.875000000011	18.9375	197.124999999999
10762.25	732.874999999993	13724.9375	9467.8125	819.875000000011	18.9375	196.124999999999
10768.25	722.874999999993	13717.9375	9464.8125	834.875000000011	18.9375	195.124999999999
10774.25	712.874999999993	13710.9375	9461.8125	849.875000000011	18.9375	194.124999999999
10780.25	702.874999999993	13703.9375	9458.8125	864.875000000011	18.9375	193.124999999999
10786.25	692.874999999993	13696.9375	9455.8125	879.875000000011	18.9375	192.124999999999
10792.25	682.874999999993	13689.9375	9452.8125	894.875000000011	18.9375	191.124999999999
10798.25	672.874999999993	13682.9375	9449.8125	909.875000000011	18.9375	190.124999999999
10804.25	662.874999999993	13675.9375	9446.8125	924.87500000001	18.9375	189.124999999999
10810.25	652.874999999993	13668.9375	9443.8125	939.87500000001	18.9375	188.124999999999
10816.25	642.874999999993	13661.9375	9440.8125	954.87500000001	18.9375	187.124999999999
10822.25	632.874999999993	13654.9375	9437.8125	969.87500000001	18.9375	186.124999999999
10828.25	622.874999999993	13647.9375	9434.8125	984.87500000001	18.9375	185.124999999999
10834.25	612.874999999993	13640.9375	9431.8125	999.87500000001	18.9375	184.124999999999
10840.25	602.874999999993	13633.9375	9428.8125	1014.87500000001	18.9375	183.124999999999
10846.25	592.874999999993	13626.9375	9425.8125	1029.87500000001	18.9375	182.124999999999
10852.25	582.874999999993	13619.9375	9422.8125	1044.87500000001	18.9375	181.124999999999
10858.25	572.874999999993	13612.9375	9419.8125	1059.87500000001	18.9375	180.124999999999
10864.25	562.874999999993	13605.9375	9416.8125	1074.87500000001	18.9375	179.124999999999
10870.25	552.874999999994	13598.9375	9413.8125	1089.87500000001	18.9375	178.124999999999
10876.25	542.874999999994	13591.9375	9410.8125	1104.87500000001	18.9375	177.124999999999
10882.25	532.874999999994	13584.9375	9407.8125	1119.87500000001	18.9375	176.124999999999
10888.25	522.874999999994	13577.9375	9404.8125	1134.87500000001	18.9375	175.124999999999
10894.25	512.874999999994	13570.9375	9401.8125	1149.87500000001	18.9375	174.124999999999
10900.25	502.874999999994	13563.9375	9398.8125	1164.87500000001	18.9375	173.124999999999
10906.25	492.874999999994	13556.9375	9395.8125	1179.87500000001	18.9375	172.124999999999
10912.25	482.874999999994	13549.9375	9392.8125	1194.87500000001	18.9375	171.124999999999
10918.25	472.874999999994	13542.9375	9389.8125	1209.87500000001	18.9375	170.124999999999
10924.25	462.874999999994	13535.9375	9386.8125	1224.87500000001	18.9375	169.124999999999
10930.25	452.874999999994	13528.9375	9383.8125	1239.87500000001	18.9375	168.124999999999
10936.25	442.874999999994	13521.9375	9380.8125	1254.87500000001	18.9375	167.124999999999
10942.25	432.874999999994	13514.9375	9377.8125	1269.87500000001	18.9375	166.124999999999
10948.25	422.874999999994	13507.9375	9374.8125	1284.87500000001	18.9375	165.124999999999
10954.25	412.874999999994	13500.9375	9371.8125	1299.87500000001	18.9375	164.124999999999
10960.25	402.874999999994	13493.9375	9368.8125	1314.87500000001	18.9375	163.124999999999
10966.25	392.874999999994	13486.9375	9365.8125	1329.87500000001	18.9375	162.124999999999
10972.25	382.874999999994	13479.9375	9362.8125	1344.87500000001	18.9375	161.124999999999
10978.25	372.874999999994	13472.9375	9359.8125	1359.87500000001	18.9375	160.124999999999

```
10984.25    362.874999999994    13465.9375  9356.8125   1374.87500000001    18.9375 159.124999999999
10990.25    352.874999999994    13458.9375  9353.8125   1389.87500000001    18.9375 158.124999999999
10996.25    342.874999999994    13451.9375  9350.8125   1404.87500000001    18.9375 157.124999999999
11002.25    332.874999999994    13444.9375  9347.8125   1419.87500000001    18.9375 156.124999999999
11008.25    322.874999999994    13437.9375  9344.8125   1434.87500000001    18.9375 155.124999999999
11014.25    312.874999999995    13430.9375  9341.8125   1449.87500000001    18.9375 154.124999999999
11020.25    302.874999999995    13423.9375  9338.8125   1464.87500000001    18.9375 153.124999999999
11026.25    292.874999999995    13416.9375  9335.8125   1479.87500000001    18.9375 152.124999999999
11032.25    282.874999999995    13409.9375  9332.8125   1494.87500000001    18.9375 151.124999999999
11038.25    272.874999999995    13402.9375  9329.8125   1509.87500000001    18.9375 150.124999999999
11044.25    262.874999999995    13395.9375  9326.8125   1524.87500000001    18.9375 149.124999999999
11050.25    252.874999999995    13388.9375  9323.8125   1539.87500000001    18.9375 148.124999999999
11056.25    242.874999999995    13381.9375  9320.8125   1554.87500000001    18.9375 147.124999999999
11062.25    232.874999999995    13374.9375  9317.8125   1569.87500000001    18.9375 146.124999999999
11068.25    222.874999999995    13367.9375  9314.8125   1584.87500000001    18.9375 145.124999999999
11074.25    212.874999999995    13360.9375  9311.8125   1599.87500000001    18.9375 144.124999999999
```

demand.in3

```
92
10528.25    1122.87500000001    13997.9375  9584.8125   234.875000000003    18.9375 235.124999999999
10517.25    1132.87500000001    13998.9375  9581.8125   238.875000000003    18.9375 234.124999999999
10506.25    1142.87500000001    13999.9375  9578.8125   242.875000000003    18.9375 233.124999999999
10495.25    1152.87500000001    14000.9375  9575.8125   246.875000000003    18.9375 232.124999999999
10484.25    1162.87500000001    14001.9375  9572.8125   250.875000000003    18.9375 231.124999999999
10473.25    1172.87500000001    14002.9375  9569.8125   254.875000000003    18.9375 230.124999999999
10462.25    1182.87500000001    14003.9375  9566.8125   258.875000000003    18.9375 229.124999999999
10451.25    1192.87500000001    14004.9375  9563.8125   262.875000000003    18.9375 228.124999999999
10440.25    1202.875    14005.9375  9560.8125   266.875000000003    18.9375 227.124999999999
10429.25    1212.875    14006.9375  9557.8125   270.875000000003    18.9375 226.124999999999
10418.25    1222.875    14007.9375  9554.8125   274.875000000003    18.9375 225.124999999999
10407.25    1232.875    14008.9375  9551.8125   278.875000000003    18.9375 224.124999999999
10396.25    1242.875    14009.9375  9548.8125   282.875000000003    18.9375 223.124999999999
10385.25    1252.875    14010.9375  9545.8125   286.875000000003    18.9375 222.124999999999
10374.25    1262.875    14011.9375  9542.8125   290.875000000003    18.9375 221.124999999999
10363.25    1272.875    14012.9375  9539.8125   294.875000000003    18.9375 220.124999999999
10352.25    1282.875    14013.9375  9536.8125   298.875000000003    18.9375 219.124999999999
10341.25    1292.875    14014.9375  9533.8125   302.875000000003    18.9375 218.124999999999
10330.25    1302.875    14015.9375  9530.8125   306.875000000003    18.9375 217.124999999999
10319.25    1312.875    14016.9375  9527.8125   310.875000000003    18.9375 216.124999999999
10308.25    1322.875    14017.9375  9524.8125   314.875000000003    18.9375 215.124999999999
10297.25    1332.875    14018.9375  9521.8125   318.875000000003    18.9375 214.124999999999
10286.25    1342.875    14019.9375  9518.8125   322.875000000003    18.9375 213.124999999999
10275.25    1352.875    14020.9375  9515.8125   326.875000000003    18.9375 212.124999999999
10264.25    1362.875    14021.9375  9512.8125   330.875000000003    18.9375 211.124999999999
10253.25    1372.875    14022.9375  9509.8125   334.875000000003    18.9375 210.124999999999
10242.25    1382.875    14023.9375  9506.8125   338.875000000003    18.9375 209.124999999999
10231.25    1392.875    14024.9375  9503.8125   342.875000000003    18.9375 208.124999999999
10220.25    1402.875    14025.9375  9500.8125   346.875000000003    18.9375 207.124999999999
10209.25    1412.875    14026.9375  9497.8125   350.875000000003    18.9375 206.124999999999
10198.25    1422.875    14027.9375  9494.8125   354.875000000003    18.9375 205.124999999999
10187.25    1432.875    14028.9375  9491.8125   358.875000000003    18.9375 204.124999999999
10176.25    1442.875    14029.9375  9488.8125   362.875000000003    18.9375 203.124999999999
10165.25    1452.875    14030.9375  9485.8125   366.875000000003    18.9375 202.124999999999
10154.25    1462.875    14031.9375  9482.8125   370.875000000003    18.9375 201.124999999999
10143.25    1472.875    14032.9375  9479.8125   374.875000000003    18.9375 200.124999999999
10132.25    1482.875    14033.9375  9476.8125   378.875000000003    18.9375 199.124999999999
10121.25    1492.875    14034.9375  9473.8125   382.875000000003    18.9375 198.124999999999
10110.25    1502.875    14035.9375  9470.8125   386.875000000003    18.9375 197.124999999999
10099.25    1512.875    14036.9375  9467.8125   390.875000000003    18.9375 196.124999999999
10088.25    1522.875    14037.9375  9464.8125   394.875000000003    18.9375 195.124999999999
10077.25    1532.875    14038.9375  9461.8125   398.875000000003    18.9375 194.124999999999
```

```
10066.25    1542.875    14039.9375  9458.8125   402.875000000003    18.9375 193.124999999999
10055.25    1552.875    14040.9375  9455.8125   406.875000000003    18.9375 192.124999999999
10044.25    1562.875    14041.9375  9452.8125   410.875000000003    18.9375 191.124999999999
10033.25    1572.875    14042.9375  9449.8125   414.875000000003    18.9375 190.124999999999
10022.25    1582.875    14043.9375  9446.8125   418.875000000003    18.9375 189.124999999999
10011.25    1592.875    14044.9375  9443.8125   422.875000000003    18.9375 188.124999999999
10000.25    1602.875    14045.9375  9440.8125   426.875000000003    18.9375 187.124999999999
9989.24999999999    1612.875    14046.9375  9437.8125   430.875000000003    18.9375 186.124999999999
9978.24999999999    1622.875    14047.9375  9434.8125   434.875000000003    18.9375 185.124999999999
9967.24999999999    1632.875    14048.9375  9431.8125   438.875000000003    18.9375 184.124999999999
9956.24999999999    1642.875    14049.9375  9428.8125   442.875000000003    18.9375 183.124999999999
9945.24999999999    1652.875    14050.9375  9425.8125   446.875000000003    18.9375 182.124999999999
9934.24999999999    1662.875    14051.9375  9422.8125   450.875000000003    18.9375 181.124999999999
9923.24999999999    1672.875    14052.9375  9419.8125   454.875000000003    18.9375 180.124999999999
9912.24999999999    1682.875    14053.9375  9416.8125   458.875000000002    18.9375 179.124999999999
9901.24999999999    1692.875    14054.9375  9413.8125   462.875000000002    18.9375 178.124999999999
9890.24999999999    1702.875    14055.9375  9410.8125   466.875000000002    18.9375 177.124999999999
9879.24999999999    1712.875    14056.9375  9407.8125   470.875000000002    18.9375 176.124999999999
9868.24999999999    1722.875    14057.9375  9404.8125   474.875000000002    18.9375 175.124999999999
9857.24999999999    1732.875    14058.9375  9401.8125   478.875000000002    18.9375 174.124999999999
9846.24999999999    1742.875    14059.9375  9398.8125   482.875000000002    18.9375 173.124999999999
9835.24999999999    1752.875    14060.9375  9395.8125   486.875000000002    18.9375 172.124999999999
9824.24999999999    1762.875    14061.9375  9392.8125   490.875000000002    18.9375 171.124999999999
9813.24999999999    1772.875    14062.9375  9389.8125   494.875000000002    18.9375 170.124999999999
9802.24999999999    1782.875    14063.9375  9386.8125   498.875000000002    18.9375 169.124999999999
9791.24999999999    1792.875    14064.9375  9383.8125   502.875000000002    18.9375 168.124999999999
9780.24999999999    1802.875    14065.9375  9380.8125   506.875000000002    18.9375 167.124999999999
9769.24999999999    1812.875    14066.9375  9377.8125   510.875000000002    18.9375 166.124999999999
9758.24999999999    1822.875    14067.9375  9374.8125   514.875000000002    18.9375 165.124999999999
9747.24999999999    1832.875    14068.9375  9371.8125   518.875000000002    18.9375 164.124999999999
9736.24999999999    1842.875    14069.9375  9368.8125   522.875000000002    18.9375 163.124999999999
9725.24999999999    1852.875    14070.9375  9365.8125   526.875000000002    18.9375 162.124999999999
9714.24999999999    1862.875    14071.9375  9362.8125   530.875000000002    18.9375 161.124999999999
9703.24999999999    1872.875    14072.9375  9359.8125   534.875000000002    18.9375 160.124999999999
9692.24999999999    1882.875    14073.9375  9356.8125   538.875000000002    18.9375 159.124999999999
9681.24999999999    1892.875    14074.9375  9353.8125   542.875000000002    18.9375 158.124999999999
9670.24999999999    1902.875    14075.9375  9350.8125   546.875000000002    18.9375 157.124999999999
9659.24999999999    1912.875    14076.9375  9347.8125   550.875000000002    18.9375 156.124999999999
9648.24999999999    1922.875    14077.9375  9344.8125   554.875000000002    18.9375 155.124999999999
9637.24999999999    1932.875    14078.9375  9341.8125   558.875000000002    18.9375 154.124999999999
9626.24999999999    1942.875    14079.9375  9338.8125   562.875000000002    18.9375 153.124999999999
9615.24999999999    1952.875    14080.9375  9335.8125   566.875000000002    18.9375 152.124999999999
9604.24999999999    1962.875    14081.9375  9332.8125   570.875000000002    18.9375 151.124999999999
9593.24999999999    1972.875    14082.9375  9329.8125   574.875000000002    18.9375 150.124999999999
9582.24999999999    1982.875    14083.9375  9326.8125   578.875000000002    18.9375 149.124999999999
9571.24999999999    1992.875    14084.9375  9323.8125   582.875000000002    18.9375 148.124999999999
9560.24999999999    2002.875    14085.9375  9320.8125   586.875000000002    18.9375 147.124999999999
9549.24999999999    2012.875    14086.9375  9317.8125   590.875000000002    18.9375 146.124999999999
9538.24999999999    2022.875    14087.9375  9314.8125   594.875000000002    18.9375 145.124999999999
9527.24999999999    2032.875    14088.9375  9311.8125   598.875000000002    18.9375 144.124999999999
```

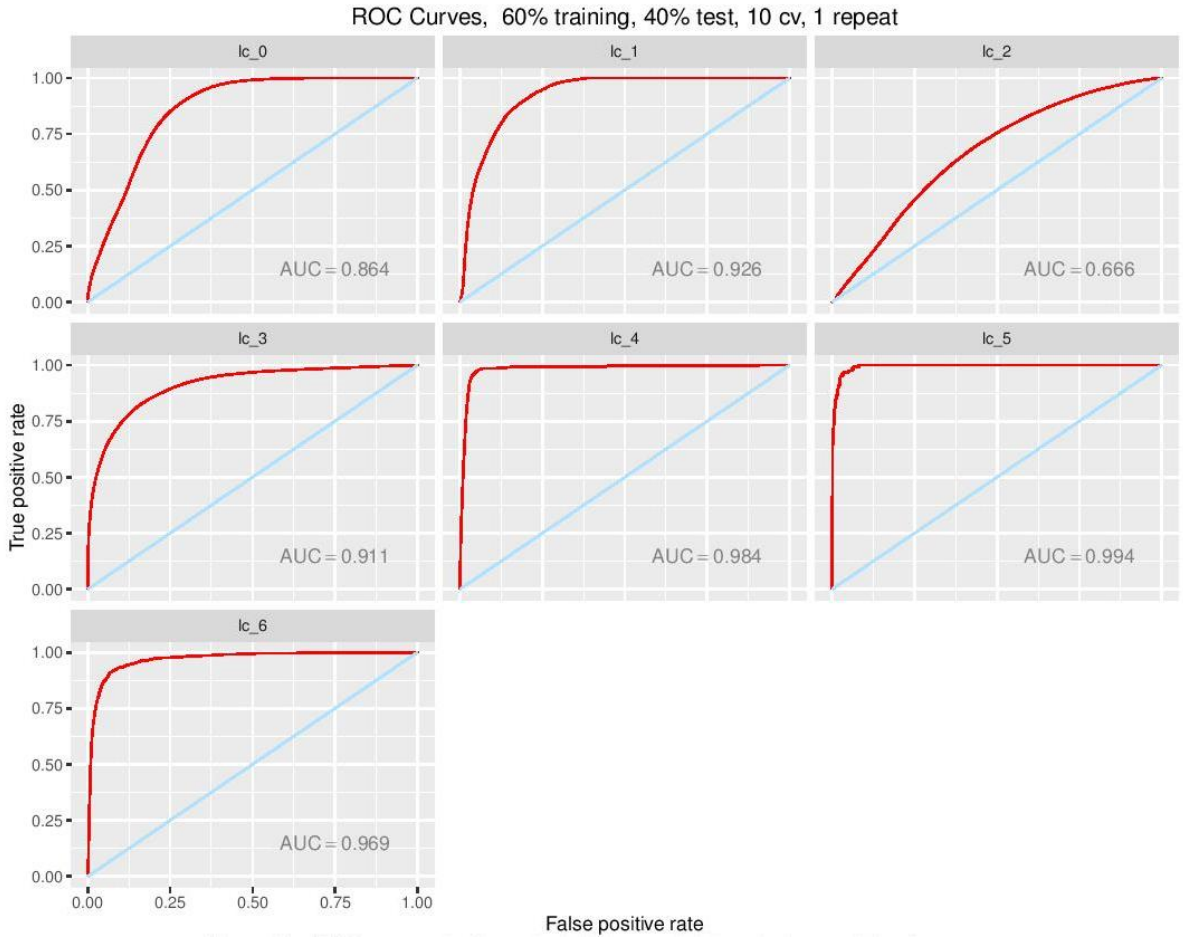
demand.in4

```
92
10528.25    1122.875    13997.9375  9584.81250000001    234.875000000004    18.9375 235.125000000004
10540.25    1110.875    13973.9375  9596.81250000001    240.875000000004    18.9375 241.125000000004
10552.25    1098.875    13949.9375  9608.81250000001    246.875000000004    18.9375 247.125000000004
10564.25    1086.875    13925.9375  9620.81250000001    252.875000000004    18.9375 253.125000000004
10576.25    1074.875    13901.9375  9632.81250000001    258.875000000004    18.9375 259.125000000004
10588.25    1062.875    13877.9375  9644.81250000001    264.875000000004    18.9375 265.125000000004
10600.25    1050.875    13853.9375  9656.81250000001    270.875000000004    18.9375 271.125000000004
10612.25    1038.875    13829.9375  9668.81250000001    276.875000000004    18.9375 277.125000000004
```

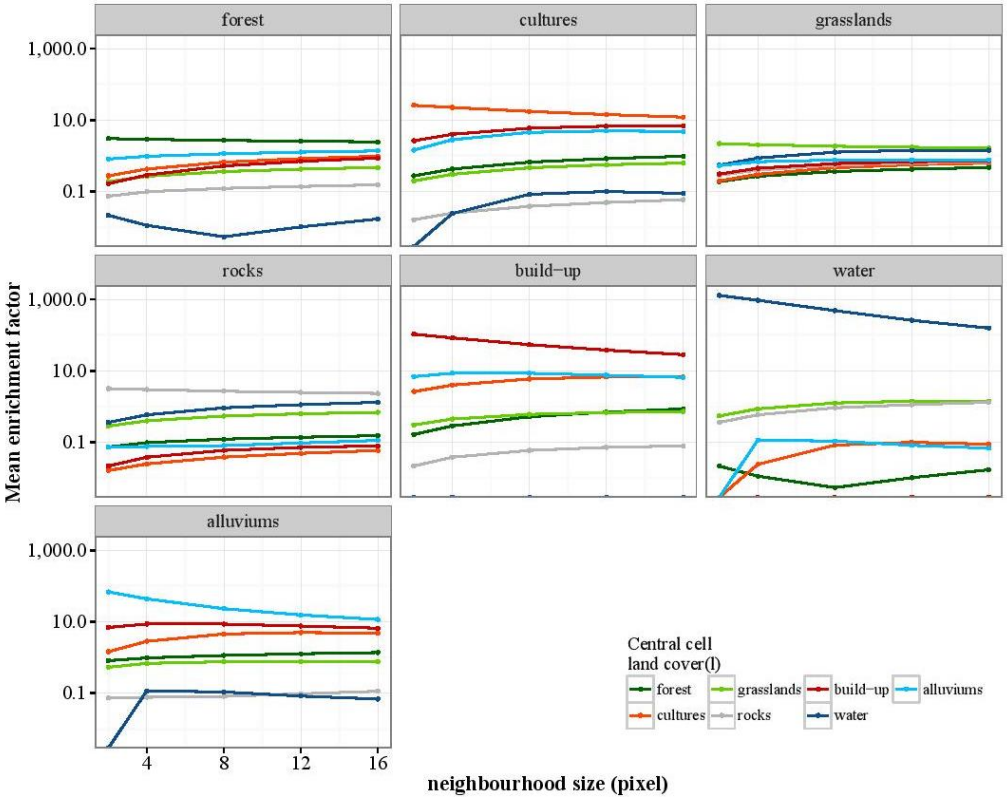
10624.25	1026.875	13805.9375	9680.81250000001	282.875000000004	18.9375	283.125000000004	
10636.25	1014.875	13781.9375	9692.81250000001	288.875000000004	18.9375	289.125000000004	
10648.25	1002.875	13757.9375	9704.81250000001	294.875000000004	18.9375	295.125000000004	
10660.25	990.874999999996	13733.9375	9716.81250000001	300.875000000004	18.9375	301.125000000004	
10672.25	978.874999999996	13709.9375	9728.81250000001	306.875000000004	18.9375	307.125000000004	
10684.25	966.874999999996	13685.9375	9740.81250000001	312.875000000004	18.9375	313.125000000004	
10696.25	954.874999999996	13661.9375	9752.81250000001	318.875000000004	18.9375	319.125000000004	
10708.25	942.874999999996	13637.9375	9764.81250000001	324.875000000004	18.9375	325.125000000004	
10720.25	930.874999999996	13613.9375	9776.81250000001	330.875000000004	18.9375	331.125000000004	
10732.25	918.874999999996	13589.9375	9788.81250000001	336.875000000004	18.9375	337.125000000004	
10744.25	906.874999999996	13565.9375	9800.81250000001	342.875000000004	18.9375	343.125000000004	
10756.25	894.874999999996	13541.9375	9812.81250000001	348.875000000004	18.9375	349.125000000004	
10768.25	882.874999999996	13517.9375	9824.81250000001	354.875000000004	18.9375	355.125000000004	
10780.25	870.874999999996	13493.9375	9836.81250000001	360.875000000004	18.9375	361.125000000004	
10792.25	858.874999999996	13469.9375	9848.81250000001	366.875000000004	18.9375	367.125000000004	
10804.25	846.874999999996	13445.9375	9860.81250000001	372.875000000004	18.9375	373.125000000004	
10816.25	834.874999999996	13421.9375	9872.81250000001	378.875000000004	18.9375	379.125000000004	
10828.25	822.874999999996	13397.9375	9884.81250000001	384.875000000004	18.9375	385.125000000004	
10840.25	810.874999999996	13373.9375	9896.81250000001	390.875000000004	18.9375	391.125000000004	
10852.25	798.874999999996	13349.9375	9908.81250000001	396.875000000004	18.9375	397.125000000004	
10864.25	786.874999999996	13325.9375	9920.81250000001	402.875000000004	18.9375	403.125000000004	
10876.25	774.874999999996	13301.9375	9932.81250000001	408.875000000004	18.9375	409.125000000004	
10888.25	762.874999999996	13277.9375	9944.81250000001	414.875000000004	18.9375	415.125000000004	
10900.25	750.874999999996	13253.9375	9956.81250000001	420.875000000004	18.9375	421.125000000004	
10912.25	738.874999999996	13229.9375	9968.81250000001	426.875000000004	18.9375	427.125000000004	
10924.25	726.874999999996	13205.9375	9980.81250000001	432.875000000004	18.9375	433.125000000004	
10936.25	714.874999999996	13181.9375	9992.81250000001	438.875000000004	18.9375	439.125000000004	
10948.25	702.874999999996	13157.9375	10004.8125	444.875000000004	18.9375	445.125000000004	
10960.25	690.874999999996	13133.9375	10016.8125	450.875000000004	18.9375	451.125000000004	
10972.25	678.874999999996	13109.9375	10028.8125	456.875000000004	18.9375	457.125000000004	
10984.25	666.874999999996	13085.9375	10040.8125	462.875000000004	18.9375	463.125000000004	
10996.25	654.874999999996	13061.9375	10052.8125	468.875000000004	18.9375	469.125000000004	
11008.25	642.874999999996	13037.9375	10064.8125	474.875000000004	18.9375	475.125000000004	
11020.25	630.874999999996	13013.9375	10076.8125	480.875000000004	18.9375	481.125000000004	
11032.25	618.874999999996	12989.9375	10088.8125	486.875000000004	18.9375	487.125000000004	
11044.25	606.874999999996	12965.9375	10100.8125	492.875000000004	18.9375	493.125000000004	
11056.25	594.874999999996	12941.9375	10112.8125	498.875000000004	18.9375	499.125000000004	
11068.25	582.874999999996	12917.9375	10124.8125	504.875000000004	18.9375	505.125000000004	
11080.25	570.874999999996	12893.9375	10136.8125	510.875000000004	18.9375	511.125000000004	
11092.25	558.874999999996	12869.9375	10148.8125	516.875000000004	18.9375	517.125000000004	
11104.25	546.874999999996	12845.9375	10160.8125	522.875000000004	18.9375	523.125000000004	
11116.25	534.874999999996	12821.9375	10172.8125	528.875000000004	18.9375	529.125000000004	
11128.25	522.874999999996	12797.9375	10184.8125	534.875000000004	18.9375	535.125000000004	
11140.25	510.874999999996	12773.9375	10196.8125	540.875000000004	18.9375	541.125000000004	
11152.25	498.874999999996	12749.9375	10208.8125	546.875000000004	18.9375	547.125000000004	
11164.25	486.874999999996	12725.9375	10220.8125	552.875000000004	18.9375	553.125000000004	
11176.25	474.874999999996	12701.9375	10232.8125	558.875000000004	18.9375	559.125000000004	
11188.25	462.874999999996	12677.9375	10244.8125	564.875000000004	18.9375	565.125000000004	
11200.25	450.874999999996	12653.9375	10256.8125	570.875000000004	18.9375	571.125000000004	
11212.25	438.874999999996	12629.9375	10268.8125	576.875000000004	18.9375	577.125000000004	
11224.25	426.874999999996	12605.9375	10280.8125	582.875000000004	18.9375	583.125000000004	
11236.25	414.874999999996	12581.9375	10292.8125	588.875000000004	18.9375	589.125000000004	
11248.25	402.874999999996	12557.9375	10304.8125	594.875000000004	18.9375	595.125000000004	
11260.25	390.874999999996	12533.9375	10316.8125	600.875000000004	18.9375	601.125000000004	
11272.25	378.874999999996	12509.9375	10328.8125	606.875000000004	18.9375	607.125000000004	
11284.25	366.874999999996	12485.9375	10340.8125	612.875000000004	18.9375	613.125000000004	
11296.25	354.874999999996	12461.9375	10352.8125	618.875000000004	18.9375	619.125000000004	
11308.25	342.874999999996	12437.9375	10364.8125	624.875000000004	18.9375	625.125000000004	
11320.25	330.874999999996	12413.9375	10376.8125	630.875000000004	18.9375	631.125000000004	
11332.25	318.874999999996	12389.9375	10388.8125	636.875000000004	18.9375	637.125000000004	
11344.25	306.874999999996	12365.9375	10400.8125	642.875000000004	18.9375	643.125000000004	
11356.25	294.874999999996	12341.9375	10412.8125	648.875000000004	18.9375	649.125000000004	
11368.25	282.874999999996	12317.9375	10424.8125	654.875000000004	18.9375	655.125000000004	
11380.25	270.874999999996	12293.9375	10436.8125	660.875000000004	18.9375	661.125000000004	

11392.25	258.874999999996	12269.9375	10448.8125	666.875000000004	18.9375	667.125000000004
11404.25	246.874999999996	12245.9375	10460.8125	672.875000000004	18.9375	673.125000000004
11416.25	234.874999999996	12221.9375	10472.8125	678.875000000004	18.9375	679.125000000004
11428.25	222.874999999996	12197.9375	10484.8125	684.875000000004	18.9375	685.125000000004
11440.25	210.874999999996	12173.9375	10496.8125	690.875000000004	18.9375	691.125000000004
11452.25	198.874999999996	12149.9375	10508.8125	696.875000000004	18.9375	697.125000000004
11464.25	186.874999999996	12125.9375	10520.8125	702.875000000004	18.9375	703.125000000004
11476.25	174.874999999996	12101.9375	10532.8125	708.875000000004	18.9375	709.125000000004
11488.25	162.874999999996	12077.9375	10544.8125	714.875000000004	18.9375	715.125000000004
11500.25	150.874999999996	12053.9375	10556.8125	720.875000000004	18.9375	721.125000000004
11512.25	138.874999999996	12029.9375	10568.8125	726.875000000004	18.9375	727.125000000004
11524.25	126.874999999996	12005.9375	10580.8125	732.875000000004	18.9375	733.125000000004
11536.25	114.874999999996	11981.9375	10592.8125	738.875000000004	18.9375	739.125000000004
11548.25	102.874999999996	11957.9375	10604.8125	744.875000000004	18.9375	745.125000000004
11560.25	90.8749999999964	11933.9375	10616.8125	750.875000000004	18.9375	751.125000000004
11572.25	78.8749999999964	11909.9375	10628.8125	756.875000000004	18.9375	757.125000000004
11584.25	66.8749999999964	11885.9375	10640.8125	762.875000000004	18.9375	763.125000000004
11596.25	54.8749999999964	11861.9375	10652.8125	768.875000000004	18.9375	769.125000000004
11608.25	42.8749999999964	11837.9375	10664.8125	774.875000000004	18.9375	775.125000000004
11620.25	30.8749999999964	11813.9375	10676.8125	780.875000000004	18.9375	781.125000000004

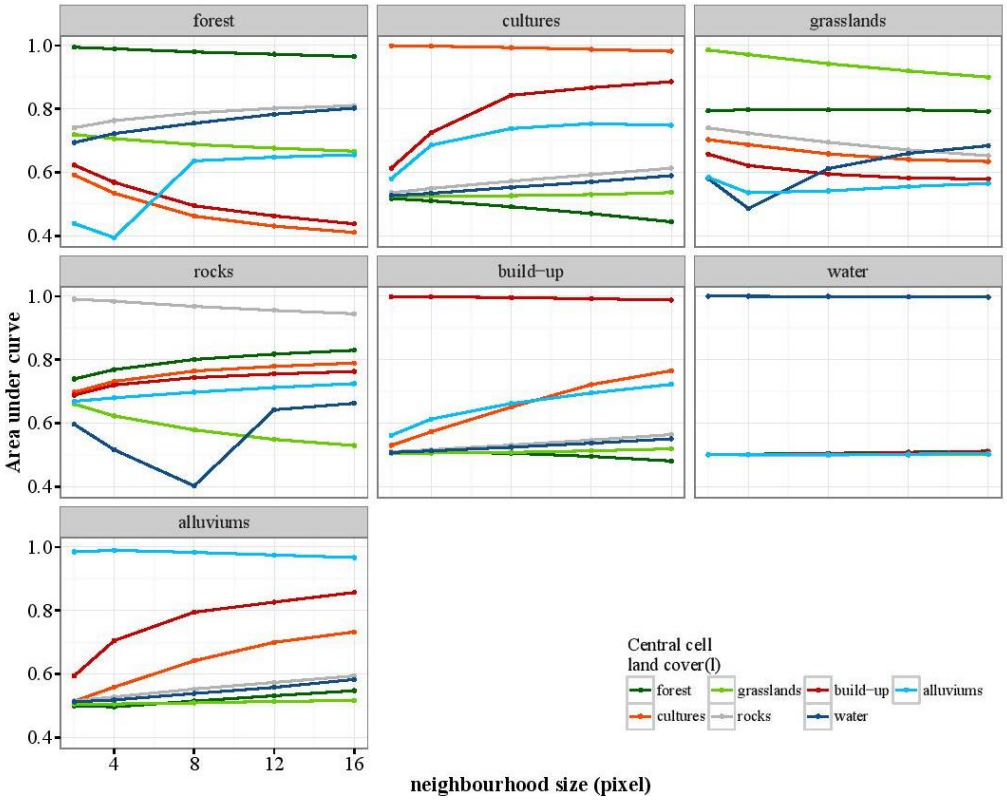
Courbes ROC et analyse des logit entre les variables explicatives et l'occupation du sol



Analyse des facteurs d'enrichissement



AUC (*Area Under Curve*) pour l'analyse des voisinages



Régression logistique finale (rayon : 12 pixels)

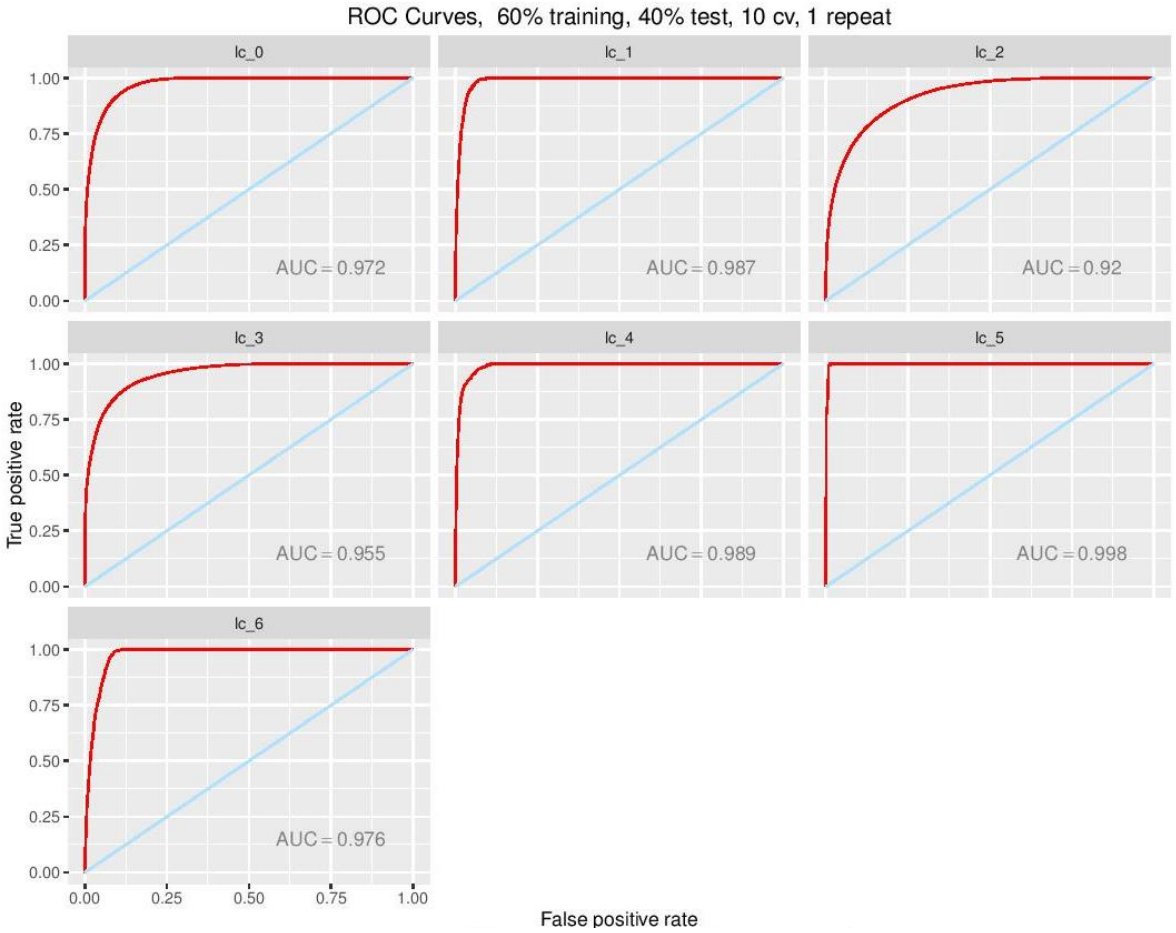


Table des matières

Remerciements..... 5

Résumé de la thèse..... 8

Sommaire..... 11

Introduction 13

Introduction générale.....14

1. – Cadre épistémologique.....15

1. 1. Les mots du risque.....15

1. 2. Le risque, concepts et définition.....17

2. – Les milieux alpins, des espaces soumis aux risques ?.....19

2. 1. Un milieu physique propice au déclenchement d'aléas multiples.....19

2. 1. 1. L'altitude.....19

2. 1. 2. Pentes et formes des versants 20

2. 1. 3. Les facteurs déclenchants : tectonique et climat.....21

2. 2. Les communautés alpines, des sociétés vulnérables ?.....23

2. 2. 1. Des sociétés exposées à de multiples aléas 23

2. 2. 2. Mutations socio-économiques et émergence de nouvelles formes de vulnérabilité 23

3. – Changements globaux et impacts probables sur les risques.....25

3. 1. Changement climatique et impacts probables sur les risques d'origine torrentielle et gravitaire 25

3. 1. 1. Impacts probables du changement climatique sur les milieux alpins...25

3. 1. 2. Risques d'origine glaciaire et périglaciaire 27

3. 1. 3. Avalanches.....27

3. 1. 4. Glissements de terrain.....28

3. 1. 5. Laves torrentielles.....28

3. 1. 6. Crues torrentielles.....29

3. 2. Évolution du contexte socio-économique et institutionnel et impact sur les risques 30

3. 2. 1. Démographie et modification de l'occupation et de l'usage des sols...30

3. 2. 2. Évolution du contexte politico-institutionnel et conséquences sur la gestion des risques et l'aménagement des territoires de montagne 32

4. – Cadre scientifique et méthodologique 34

4. 1. Présentation du projet ANR SAMCO.....34

4. 2. Évaluation des risques d'origine torrentielle et gravitaire dans le Queyras 37

1ere Partie – Le bassin-versant du Haut-Guil : Un système prédisposé aux événements catastrophiques ? 39

Introduction 40

Chapitre 1 – Les risques dans le Queyras, 240 millions d'années de préparation 41

1. Un contexte géologique prédisposant aux risques.....42

1. 1. La zone d'étude dans le contexte géologique alpin 42

1. 2. Lithologie.....43

1. 3. Disposition structurale des ensembles géologiques et conséquences sur le relief 46

2. Dynamique glaciaire pléistocène et réajustements morpho-sédimentaires holocènes 47

2. 1. Érosion et accumulation d'origine glaciaire 47

2. 2. Réajustements post-glaciaires.....48

3. Les actions anthropiques sur le milieu physique 49

3. 1. Un paysage largement façonné par les activités agro-pastorales et sylvicoles 49

3. 2. Déprise agro-pastorale et basculement vers une économie touristique 51

3. 3. Vers une artificialisation du milieu physique naturel 54

Conclusion 55

Chapitre 2 – Un contexte hydroclimatique propice aux catastrophes 56

1. Contexte climatique du Queyras 56

1. 1. Présentation générale du climat queyrassin 56

1. 2. Les retours d'est....57
2. Des crues fréquentes et destructrices....59
2. 1. La crue catastrophique de la mi-juin 1957 59
2. 2. Les crues de juin et octobre 2000 63
2. 3. Les crues de 2002, 2008 et 2012 68
3. Des mouvements gravitaires....71
3. 1 Les épisodes avalancheux....71
3. 1. 1. L'avalanche mortelle de l'Échalp du 10 mars 1946 71
3. 1. 2. L'épisode avalancheux de janvier 1978....73
3. 1. 3. L'épisode avalancheux de décembre 2008 74
3. 2. Le glissement de terrain du Pas de l'Ours 76
Conclusion....78

2eme Partie – Budget sédimentaire du bassin-versant du Peynin, affluent de rive gauche du Haut-Guil 79

Introduction....80

Chapitre 3 – Caractérisation et quantification des stocks sédimentaires dans le bassin du Peynin....82

1. Analyse géologique et géomorphologique 82
1. 1. Une lithologie propice à la production et à l'accumulation des sédiments 82
1. 2. Un contexte morpho-structural favorable au développement des formes d'accumulation 84
1.3. Érosion glaciaire pléistocène et réajustement morpho-sédimentaire holocène 85
2. Identification et cartographie des stocks sédimentaires 85
3. Estimation des volumes de sédiments stockés dans le bassin-versant 88
3. 1. Détermination de la profondeur du toit du substratum par tomographie de sismique réfraction....90
3. 2. Cartographie des épaisseurs de sédiment par modélisation du toit supposé du substratum rocheux....96

3. 3. Cartographie de l'épaisseur des sédiments par analyse géologique et interprétation géomorphologique des formations superficielles.....99

3. 4. Analyse comparative et discussion des résultats 101

4. Conclusion..... 104

Chapitre 4 – Analyse des transferts sédimentaires, établissement d'un budget sédimentaire sur 20 ans et analyse de la connectivité fonctionnelle du bassin du Peynin 105

Introduction 105

1. Formalisation de la cascade sédimentaire 105

2. Quantification des transferts sédimentaires..... 108

2. 1. Contribution de la météorisation et de l'éboulisation à la production sédimentaire..... 109

2. 2. Contribution des avalanches..... 111

2. 3. Contribution des laves torrentielles 113

2. 3. 1. Les laves torrentielles de juin 2000 113

2. 3. 2. Les laves torrentielles du 9 août 2015..... 115

2. 4. Contribution des versants par apports latéraux et reprise des matériaux par le Peynin 121

3. Établissement du budget sédimentaire du Peynin sur une période de 20 ans 124

4. Analyse de la connectivité fonctionnelle du bassin-versant du Peynin..... 128

4. 1. Méthodes et données..... 128

4. 2 Évolution temporelle de la cascade sédimentaire..... 131

Conclusion..... 132

3eme Partie – Cartographie des aléas torrentiels et gravitaires 134

Chapitre 5 – Cartographie des aléas torrentiels et gravitaires 135

Introduction 135

1. Cartographie de l'aléa « crue torrentielle » 135

1. 1. Cartographie de l'emprise des crues historiques de juin 1957 et juin 2000 136

1. 1. 1. Cartographie de la crue de juin 1957 136

1. 1. 2. Cartographie de la crue de juin 2000 142

1. 2. Cartographie de l'aléa crue torrentielle via l'usage de la modélisation. 148

2. Cartographie de l'aléa « glissement de terrain » 160

3. Cartographie de l'aléa « avalanche »..... 170

Conclusion..... 174

4eme Partie – Évaluation et analyse des vulnérabilités 176

Introduction 177

Chapitre 6 – Évaluation et cartographie de la vulnérabilité biophysique dans le Queyras 179

Introduction 179

1. Méthodes et données 180

1. 1. Typologie des conséquences et construction des indices correspondants 180

1. 2. Construction d'une base de données des enjeux biophysiques 182

1. 3. Attribution des coefficients et calcul des indices de conséquences potentielles..... 183

2. Description des enjeux biophysiques 186

2. 1. Commune de Ristolas..... 188

2. 2. Commune d'Abriès..... 189

2. 3. Commune d'Aiguilles..... 190

2. 4. Commune de Château-Ville-Vieille 191

2. 5. Commune de Molines-en-Queyras..... 193

2. 6. Commune de Saint-Véran..... 195

2. 7. Analyse du territoire au travers de ces enjeux..... 196

3. Résultats cartographiques et interprétations..... 197

3. 1. Les conséquences potentielles liées aux crues torrentielles 197

3. 1. 1. Conséquences corporelles (CC)..... 197

3. 1. 2. Conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) 201

3. 1. 3. Conséquences socio-économiques (CSE)..... 206

3. 1. 4. Conséquences totales (CT) 209

3. 1. 5. Bilan des conséquences potentielles liées aux crues torrentielles 213

3. 2. Les conséquences potentielles liées aux glissements de terrain 215

3. 2. 1. Conséquences corporelles (CC) 217

3. 2. 2. Conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) 221

3. 2. 3. Conséquences socio-économiques (CSE) 227

3. 2. 4. Conséquences totales (CT) 230

3. 2. 5. Bilan des conséquences potentielles liées aux glissements de terrain 232

3. 3. Les conséquences potentielles liées aux avalanches 234

3. 3. 1. Conséquences corporelles (CC) 234

3. 3. 2. Conséquences structurelles et fonctionnelles directes (CSF) 239

3. 3. 3. Conséquences socio-économiques (CSE) 244

3. 3. 4. Conséquences totales (CT) 248

3. 3. 5. Bilan des conséquences potentielles liées aux avalanches 252

Conclusion 254

Chapitre 7 – Évaluation de la vulnérabilité sociale dans le Queyras 258

Introduction 258

1. Méthodes et données 260

1. 1. Élaboration du questionnaire 260

1. 2. Mise en place de la démarche 262

1. 3. Échantillonnage et représentativité 263

1. 4. Traitements statistiques 267

2. Résultats de l'enquête 267

2. 1. Perception des aléas torrentiels et gravitaires et des risques associés 267

2. 1. 1. Les risques naturels : un sujet de préoccupation mais pas d'inquiétude 267

2. 1. 2. Une perception de la dangerosité des aléas fortement liée à la commune de résidence 268

2. 2. Vécu des Queyrassins en matière de risque 272

2. 2. 1. Un vécu des risques largement partagé par les Queyrassins.. 272

2. 2. 2. Une mémoire des risques avant tout liée aux crues torrentielles et aux avalanches 273

2. 3. Connaissance des aléas, des risques et de leur gestion 275

2. 3. 1. La perception des conséquences potentielles des aléas sur les enjeux biophysiques 275

2. 3. 2. La connaissance qu'ont les Queyrassins des mesures d'atténuation des risques 283

2. 4. Diffusion des informations relatives aux aléas et aux risques 290

2. 4. 1. La perception qu'ont les Queyrassins de leur connaissance des risques 290

2. 4. 2. La commune comme principale vecteurs des informations sur les risques 291

2. 4. 3. Un désir partagé d'être mieux informé sur les risques ? 295

2. 4. 4. Le cas particulier des réunions publiques 301

2. 5. Connaissance et confiance accordées aux divers acteurs des risques 306

3. Apport des cartes mentales 312

3. 1. Méthode et données 312

3. 2. Description et analyse des cartes mentales 314

3. 2. 1. Commune de Ristolas 314

3. 2. 2. Commune d'Abriès 316

3. 2. 3. Commune d'Aiguilles 319

3. 2. 4. Commune de Château-Ville-Vieille 321

3. 2. 5. Commune de Molines-en-Queyras 322

3. 2. 6. Commune de Saint-Véran 325

Conclusions 327

Chapitre 8 – Évaluation conjointe des vulnérabilités biophysiques et sociales 330

Introduction 330

Upgrading of an index-oriented methodology for consequence analysis of natural hazards: application to the upper Guil catchment (southern French Alps). 331

Abstract 331

1. Introduction 331

2. Study area 334

2. 1. Physical context 334

2. 2. Socio-economic context 334

3. Methods and data 334

3. 1. General framework of the Potential Damage Index (PDI) 335

3. 2. General framework of the Potential Consequences Index (PCI) 336

3. 3. Flood hazard mapping 339

4. Results 339

4. 1. Description of the PDI results 341

4. 2. Description of the PCI results 342

4. 3. Comparison between PDI and PCI maps 345

Conclusions and perspectives 345

References 346

Conclusion 350

5eme Partie – Évaluation et gestion des risques 353

Introduction 354

Chapitre 9 – Évaluation et cartographie des risques dans le Queyras 355

Introduction 355

1. Méthodes et données 356

2. Cartographie et analyse des risques liées aux crues torrentielles 357

2. 1. Cartographie et analyses des risques liées à une crue décennale 357

2. 2. Cartographie et analyses des risques liées à une crue trentennale-cinquantennale 363

2. 3. Cartographie et analyses des risques liées à une crue centennale 370

2. 4. Cartographie et analyses des risques liées à une crue supra-centennale 381
2. 5. Vers une remise en perspective des risques modélisés 392
2. 6. Conclusion : les risques liés aux crues torrentielles dans le Queyras 405
3. Cartographie et analyse des risques liées aux glissements de terrain 406
3. 1. Commune de Ristolas 407
3. 2. Commune d'Abriès 407
3. 3. Commune d'Aiguilles 408
3. 4. Commune de Château-Ville-Vieille 408
3. 5. Commune de Molines-en-Queyras 408
3. 6. Commune de Saint-Véran 409
3. 7. Bilan : les risques liés aux glissements de terrain dans le Queyras 417
4. Cartographie et analyse des risques liées aux avalanches 418
4. 1. Commune de Ristolas 419
4. 2. Commune d'Abriès 420
4. 3. Commune d'Aiguilles 422
4. 4. Commune de Château-Ville-Vieille 422
4. 5. Commune de Molines-en-Queyras 423
4. 6. Commune de Saint-Véran 424
4. 7. Bilan : les risques liés aux avalanches dans le Queyras 425
Conclusion : les risques et leur gestion dans le Queyras 435
Chapitre 10 – Prospectives en matière de risques dans le Queyras 439
Introduction 439
1. Données et méthode 440
1. 1. Construction des récits 440
1. 2. Cartographie de l'occupation du sol passée et actuelle dans le Queyras 442
1. 3. Cartographie des zones de restriction et élaboration de la matrice de conversion 444
1. 3. 1. Les cartes de restriction 444

1. 3. 2. La matrice des conversions 446

1. 3. 3. Calcul des changements d'occupation des sols pour les quatre scénarios réalisés 448

2. Les scénarios de changements d'occupation du sol simulés pour le Queyras 448

2. 1. Scénario S1 : Accroissement de la protection environnementale 449

2. 2. Scénario 2 : Progression et diversification touristique 452

2. 3. Scénario 3 : Développement de l'agro-bioénergie 456

2. 4. Scénario 4 : Abandon collectif du territoire 459

Conclusions 462

Conclusion générale 465

Liste des abréviations 472

Bibliographie 475

Webographie 530

Table des figures 531

Table des photos 547

Table des tableaux 551

Annexes 555

Table des Matières 607