



Norois

Environnement, aménagement, société

194 | 2005/1

Les milieux polaires et subpolaires de l'Atlantique

L'apport des données géomorphologiques et historiques à l'analyse diachronique du couple aléa-vulnérabilité dû aux avalanches et aux coulées de débris dans les fjords d'Islande nord-occidentale

The contribution of geomorphologic and historic data to the diachronic analysis of hazard-vulnerability couple due to snow avalanches and debris flows in the Icelandic westfjords

Armelle Decaulne



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/norois/635>

DOI : 10.4000/norois.635

ISBN : 978-2-7535-1542-0

ISSN : 1760-8546

Éditeur

Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée

Date de publication : 1 mars 2005

Pagination : 59-72

ISBN : 978-2-7535-0100-3

ISSN : 0029-182X

Référence électronique

Armelle Decaulne, « L'apport des données géomorphologiques et historiques à l'analyse diachronique du couple aléa-vulnérabilité dû aux avalanches et aux coulées de débris dans les fjords d'Islande nord-occidentale », *Norois* [En ligne], 194 | 2005/1, mis en ligne le 13 août 2008, consulté le 01 mai 2019.

URL : <http://journals.openedition.org/norois/635> ; DOI : 10.4000/norois.635

Ce document a été généré automatiquement le 1 mai 2019.

© Tous droits réservés

L'apport des données géomorphologiques et historiques à l'analyse diachronique du couple aléa- vulnérabilité dû aux avalanches et aux coulées de débris dans les fjords d'Islande nord-occidentale

The contribution of geomorphologic and historic data to the diachronic analysis of hazard-vulnerability couple due to snow avalanches and debris flows in the Icelandic westfjords

Armelle Decaulne

NOTE DE L'ÉDITEUR

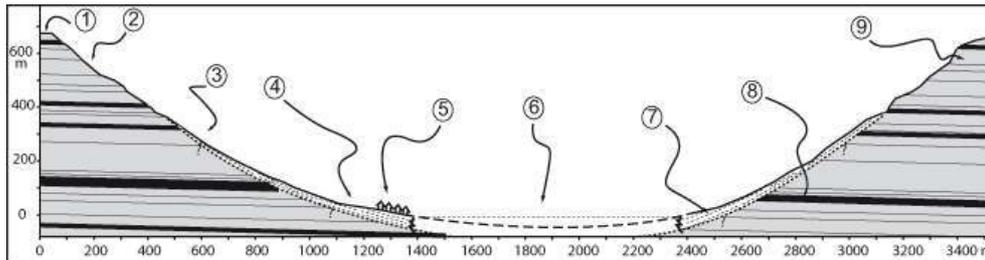
Cet article a été reçu le 20 juin 2004 et définitivement accepté le 25 février 2005.

Remerciements : ils s'adressent à l'UMR 6042 CNRS de Clermont-Ferrand et au Réseau Arctique : Sociétés et Environnement, qui ont soutenu les missions de terrain. Ils vont également au Dr Thorsteinn Saemundsson (Centre d'Étude des Milieux Naturels d'Islande du Nord-Ouest, Saudarkrokur) pour ses conseils avisés. Enfin, ils s'adressent aux deux relecteurs anonymes de la revue pour leur lecture critique du manuscrit.

- 1 Les dernières décennies ont été marquées par une forte augmentation du nombre d'accidents dus aux avalanches et coulées de débris en Islande. La récente multiplication du nombre de victimes dans différentes localités est à l'origine de recherches inédites dans le nord-ouest de l'île (Decaulne, 2001b). Précisément, l'objet de cet article est de

démontrer le potentiel destructeur des avalanches et des coulées de débris dans les secteurs habités des fjords de l'ouest par des méthodes géomorphologiques et historiques, au travers de l'analyse combinée des caractéristiques de l'aléa et de la vulnérabilité.

Figure 1 : Coupe transversale schématique de l'environnement géologique et topographique de la région des fjords d'Islande du Nord-Ouest
Transversal profile of the geologic and topographic environment of fjords in north-western Iceland



1 – sommet plan, 2 – forte pente dans la partie apicale, 3 – pente intermédiaire moyenne à forte, 4 – faible pente basale, 5 – établissements humains, 6 – fjord, 7 – dépôts de pente, 8 – Lits interbasaltiques, 9 – coulées de lave basaltiques.

1 – flat summit, 2 – steep upper slope, 3 – moderate to steep mid slope, 4 – low slope angle in the lower slope, 5 – settlement, 6 – fjord, 7 – talus slope, 8 – interbasaltic beds, 9 – superimposed basaltic lava flows.

- 2 L'environnement géologique des fjords d'Islande du Nord-Ouest consiste en une superposition de coulées de lave basaltiques et de lits interbasaltiques datant du Miocène. Les glaciers pléistocènes ont profondément sculpté le littoral, créant le paysage actuel de fjords. Les versants présentent un profil légèrement concave, caractérisé par une partie apicale subverticale, rocheuse, une partie intermédiaire fortement à moyennement pentue puis une partie basale à faible inclinaison, couvertes de dépôts de pente (fig. 1). Les dénivellations varient de 350 à 700 m.
- 3 La localisation de l'Islande à la jonction des zones arctique et tempérée confère au climat des caractéristiques subpolaires océaniques ; aussi, le temps est très instable et les excès thermiques et pluvieux/neigeux sont fréquents. La moyenne thermique annuelle de +3,1 °C (extrêmes 1961-1990 à la station de Galtarviti : +1,9 °C/+4,3 °C) et le total annuel moyen des précipitations de 1 209 mm (825 mm/1 666 mm) ne reflètent pas les continuels changements de temps, favorables à l'entretien d'une intense activité sur les versants. Les avalanches se déclenchent principalement lorsque les chutes de neige interviennent durant de violentes tempêtes (Saemundsson *et al.*, 2003) ; cela favorise en effet la suraccumulation neigeuse au sommet des versants sous le vent. Les coulées de débris sont quant à elles déclenchées en proportions égales par les pluies, surtout les pluies de longue durée (Decaulne et Saemundsson, 2003), et la fonte nivale soudaine (Decaulne *et al.*, sous presse), mobilisant les gélifracsts et/ou les héritages quaternaires au sommet des versants.
- 4 Pour cette étude, quatre localités (fig. 2) ont été sélectionnées en raison de la sensibilité de leur territoire vis-à-vis des avalanches et coulées de débris :
 - Isafjordur (2 800 habitants, 1,4 km²) est la capitale de la région des fjords de l'ouest (photo 1). La ville s'étend sur 1 500 m à l'aval d'un versant de 700 m de dénivelé, orienté vers le sud-est et interrompu par le replat Gleidarhjalli (470-525 m). Au sud, Holtahverfi constitue un quartier résidentiel situé à l'aval d'une pente de 350 m de dénivelé, orientée vers le nord. Sur le versant nord de la vallée Tungudalur se trouve un quartier de résidences secondaires (cf. localisation en fig. 5).
 - À Bolungarvik (1 020 habitants, 0,73 km²), la zone habitée s'étend sur près de 2 km à l'aval d'une pente de 600 m de dénivelé, exposée au sud (photo 2).

- Bildudalur (290 habitants, 0,28 km²) est un village de 1 750 m de long situé au pied d'un versant orienté vers le sud-est, dont le sommet atteint une altitude de 440 m (photo 3).
- Patreksfjordur (800 habitants, 0,525 km²) s'étend sur 2 500 m à l'aval d'un versant de 500 m de dénivelé exposé au sud (photo 4).

Figure 2 : Localisation des secteurs d'étude
Location of the studied areas

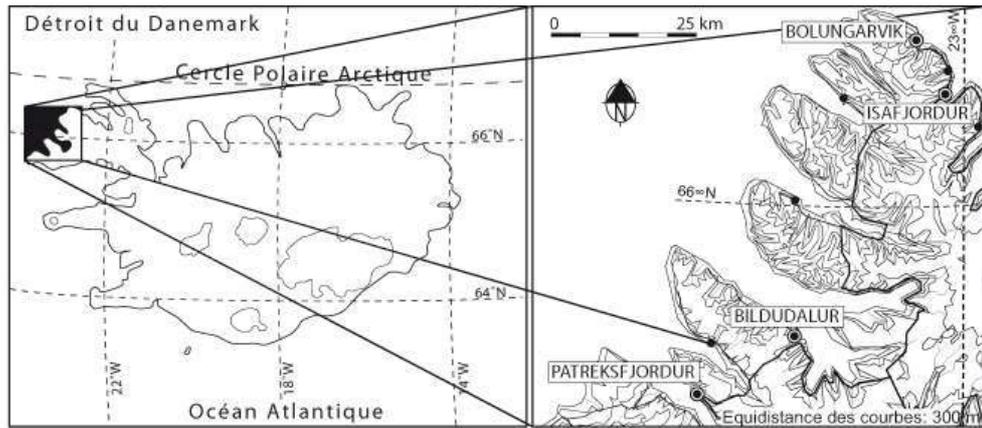


Photo 1 : Le site d'Isafjordur
The Isafjordur study area



Photo 2 : Le site de Bolungarvik
The Bolungarvik study area



Photo 3 : Le site de Bildudalur
The Bildudalur study area



Photo 4 : Le site de Patreksfjordur
The Patreksfjordur study area



Méthodes

- 5 Les méthodes utilisées mettent en évidence les caractéristiques spatio-temporelles de l'aléa et de la vulnérabilité (Glade *et al.*, 2001 ; Decaulne, 2005), depuis le début du XX^e siècle.
- 6 Les investigations géomorphologiques des terrains d'étude ainsi que la photo-interprétation ont permis d'étudier la topographie locale, les modelés d'érosion et d'accumulation, et la couverture végétale. Aussi, les zones de départ des avalanches et coulées de débris ont été délimitées, leurs couloirs et distances de parcours maximales sont déterminés. Leur répartition spatiale est ainsi connue. Les datations des avalanches et coulées de débris sont obtenues par le croisement de données historiques et lichénométriques. En Islande, la première collecte des événements connus a été publiée par O. Jonsson (1957), puis des institutions gouvernementales (Museum d'histoires naturelles, Institut météorologique islandais) ont relayé le pionnier islandais (Decaulne, 2004a, 2004b). Les informations concernant les avalanches et coulées de débris sont collectées à proximité directe des zones habitées auprès des habitants qui témoignent de ce qu'ils ont vu ; les articles de journaux, les annonces radiodiffusées constituent également une source d'information ; pour les événements les plus anciens, l'accès aux chroniques locales facilite leur prise en compte. Ces données historiques renseignent sur la fréquence temporelle des avalanches et coulées de débris à longue distance de parcours. La lichénométrie est utilisée comme moyen de datation complémentaire : une courbe de croissance du lichen a été calibrée à partir de mesures du diamètre moyen des thalles de *Rhizocarpon geographicum* sur des surfaces rocheuses de référence. Grâce à cette courbe, la datation des modelés créés par les avalanches et les coulées de débris est possible par la mesure des thalles des lichens (Innes, 1983).
- 7 L'évolution spatio-temporelle des zones construites est étudiée de façon diachronique, au travers des documents historiques, comme les cartes anciennes, les photographies, les

recensements, les chroniques locales, le cadastre (Glade, 2001). La photo-interprétation, le dépouillement d'archives, de documents administratifs et de rapports d'études ponctuels (Grimsdottir, 1999 ; Geirsdottir, 2000a, 2000b, 2000c) ont mis en lumière les dates de construction des bâtiments des secteurs situés au plus près des versants des quatre localités étudiées.

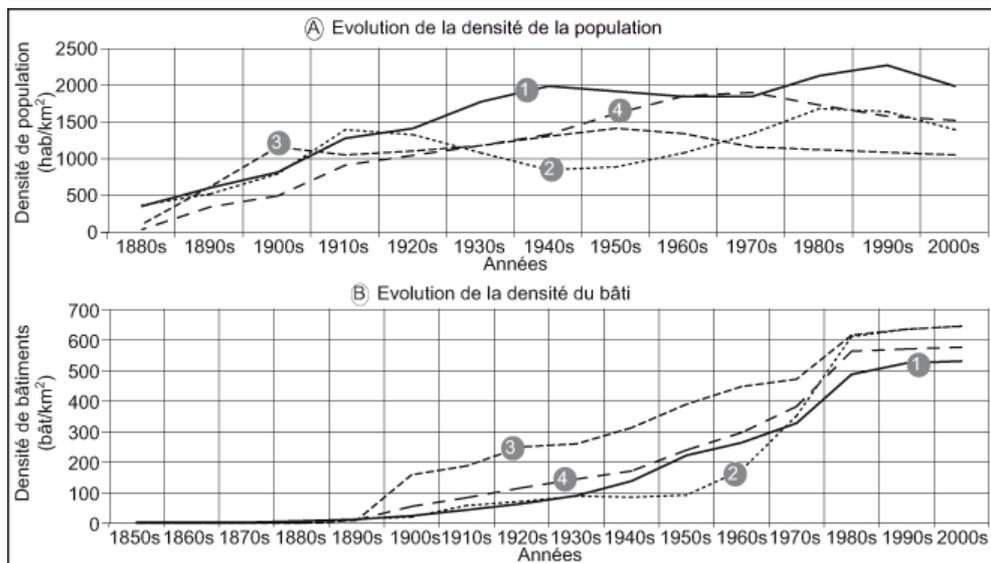
- 8 La période de retour des avalanches et des coulées de débris est calculée en fonction de la récurrence des événements connus pendant une période de temps donnée. Elle exprime le rapport entre le nombre d'événements documentés et la durée de la période d'observation, conformément à la littérature sur l'étude des processus géomorphologiques agissant sur les versants scandinaves (Rapp et Nyberg, 1981 ; Nyberg, 1985 ; Rapp, 1987 ; André, 1990).

L'évolution comparée des espaces habités et des avalanches et coulées de débris

Évolution spatio-temporelle des secteurs habités

- 9 Au cours du dernier siècle, les différentes communautés éparpillées le long de la côte se sont considérablement développées en Islande nord-occidentale, pour devenir des localités comptant de 300 à 2 800 habitants. En 2003, la surface bâtie est dix fois plus étendue qu'elle ne l'était en 1900. En terme d'occupation de l'espace, des changements radicaux se sont opérés à partir de 1950. En effet, l'évolution de la densité de la population (fig. 3A), mais surtout celle de la densité des bâtiments (fig. 3B), illustre l'extension progressive des secteurs bâtis, en relation avec le développement de l'industrie de la pêche.

Figure 3 : Évolution de la densité de la population (A) et de la densité des bâtiments (B) dans les quatre sites étudiés au cours du xx^e siècle en Islande du Nord-Ouest
Evolution of inhabitant density (A) and building density (B) in the four studied areas during the 20th century in north-western Iceland



1 – Isafjordur ; 2 – Bolungarvik ; 3 – Bildudalur ; 4 – Patreksfjordur.
1 – Isafjordur ; 2 – Bolungarvik ; 3 – Bildudalur ; 4 – Patreksfjordur.

- 10 Cependant, la croissance de la population et celle des constructions ne sont pas concomitantes. Une forte croissance de la densité de population s'effectue dès les années 1880, par paliers successifs. Isafjordur connaît une croissance de population constante durant le dernier siècle, pour atteindre un nombre maximal d'habitants au cours des années 1990. Patreksfjordur et Bildudalur enregistrent une évolution similaire, mais la population y est la plus nombreuse au cours des années 1970 et 1950 respectivement. Le cas de Bolungarvik s'individualise par une nette diminution de sa population entre 1920 et 1950. Ce déclin est lié à la tardive construction d'une jetée, puis d'un véritable port. Ce manque d'infrastructures portuaires durant la première partie du *xx*^e siècle a poussé la population vers d'autres communautés littorales de la région, pourvues de facilités pour l'accostage des bateaux de pêche à moteur, et bénéficiant d'une industrie de la pêche florissante, tels que Isafjordur, Patreksfjordur ou Bildudalur. Après la construction d'infrastructures portuaires à Bolungarvik, dans les années 1950, sa courbe de population s'aligne sur celle d'Isafjordur.
- 11 Comme le soulignent très justement P.-A. Graves *et al.*, (1994), en pleine phase de développement économique d'une région qui entraîne un essor des constructions, notamment résidentielles, les espaces pentus – les plus vulnérables lorsque le risque naturel est lié à la dynamique des versants – sont les plus recherchés par les populations locales qui apprécient avant tout les vues panoramiques. Dans ces espaces de fjords, la densité maximale de bâtiments sur les basses pentes est atteinte dans les années 1980, avec une forte croissance au cours des années 1970, alors même que la densité de population diminue. Les parties urbanisées de bas de versant sont donc des secteurs d'habitation récents, construits pour la plupart entre 1970 et 1990. Les figures 5 à 8 illustrent l'évolution croissante de la situation de vulnérabilité des secteurs construits au pied des versants entre 1900 et 2003, ceux-ci se superposant avec les zones de dépôt des avalanches et des coulées de débris.
- 12 L'évolution comparée des dynamiques de versant étudiées et des secteurs occupés par l'homme fait clairement apparaître une situation de risque, créée au cours du *xx*^e siècle.

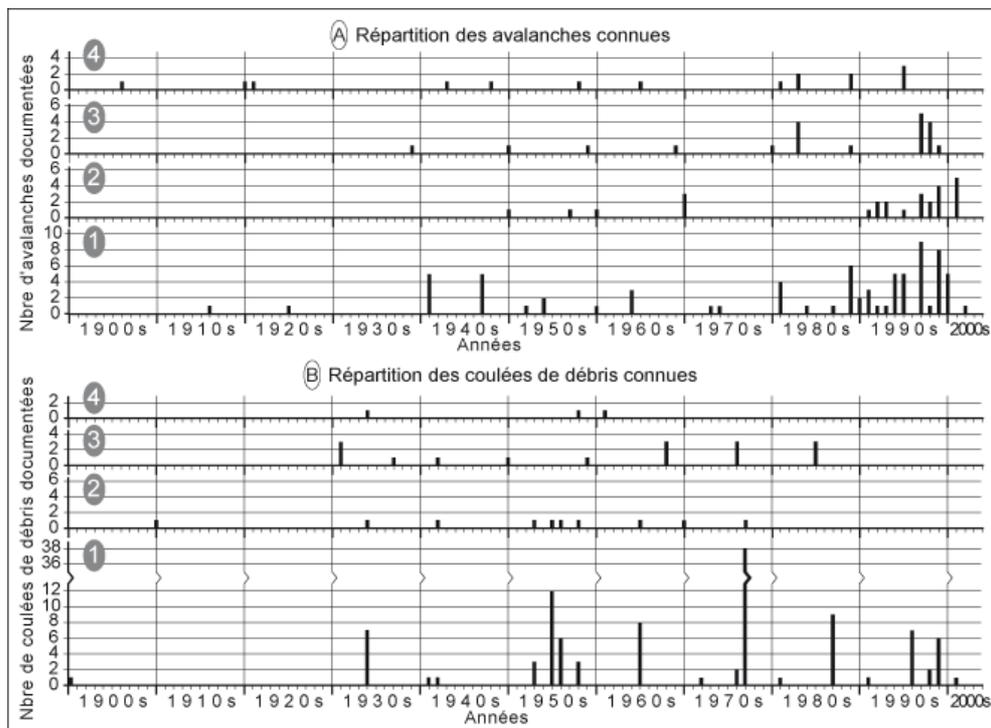
Caractéristiques spatio-temporelles des avalanches et coulées de débris

- 13 Avant 1950, les chroniques traitant des avalanches et des coulées de débris étaient très rares, et leur fiabilité est restée très inégale avant 1970-1980. Aussi, la distance de parcours des événements les plus anciens est-elle incertaine. Le manque d'exhaustivité de l'information s'explique par la faible occupation humaine des secteurs étudiés, jusqu'en 1970. À partir de cette date, l'augmentation très nette des surfaces bâties (fig. 3), se traduisant par une extension des quartiers résidentiels, pousse la population à plus de vigilance. Aussi, l'enregistrement des processus de versant devient plus systématique. Ceci est particulièrement vrai pour les avalanches dont l'inventaire est beaucoup plus complet après 1980 (fig. 4A). Les rapports traitant des coulées de débris sont très épars, à l'exception de sites particulièrement favorables à leur déclenchement, comme Isafjordur (fig. 4B). À Bolungarvik, les archives relatent « de nombreux événements au cours du *xx*^e siècle, plusieurs ayant endommagé les environs de la ferme Tröd » (Agustsson *et al.*, 2002) sans préciser de date ou même de zone de départ. En fait, les rapports relatant les coulées de débris en Islande du Nord-Ouest ne reflètent pas leur occurrence réelle, puisque nombre d'entre elles, pourtant identifiées sur le terrain, ne figurent dans aucune source

écrite. On se heurte alors au problème inhérent à la fiabilité des archives, la plupart des informations n'ayant pas été collectées dans un but géomorphologique (Ibsen et Brunnsden, 1996). Cependant, malgré la nature fortuite des informations compilées dans les documents historiques, des cartes d'occurrence peuvent être dressées pour chacun des sites (fig. 5-8). Elles mettent en valeur les couloirs associés aux événements majeurs, ceux qui ont endommagé les propriétés, provoqué des accidents, coupé les voies de circulation.

Figure 4 : Répartition des avalanches (A) et des coulées de débris (B) connues dans les quatre sites étudiés en Islande du Nord-Ouest au cours du xx^e siècle

Documented snow-avalanche (A) and debris-flow (B) distribution in the four studied areas in north-western Iceland during the 20th century



1 - Isafjordur ; 2 - Bolungarvik ; 3 - Bildudalur ; 4 - Patreksfjordur.

1 - Isafjordur ; 2 - Bolungarvik ; 3 - Bildudalur ; 4 - Patreksfjordur.

- 14 Au total, 272 événements ont été répertoriés entre 1900 et 2003 : 67 % d'entre eux ont été enregistrés à Isafjordur, 14 % à Bildudalur, 12 % à Bolungarvik, et seulement 7 % à Patreksfjordur. Cette variabilité est le fait de la longueur du versant, de la longueur du secteur résidentiel, et de la présence ou non de conditions morphologiques favorables au déclenchement des avalanches et/ou coulées de débris :

- Isafjordur (fig. 5) est la zone d'étude la plus étendue. Elle enregistre par conséquent le plus grand nombre d'événements. Le replat Gleidarhjalli est couvert d'un manteau de débris non consolidés épais de 10 à 35 m, hérité des périodes glaciaires. Ainsi, c'est un secteur particulièrement favorable au déclenchement des coulées de débris. Celles-ci sont à Isafjordur plus fréquentes et plus nombreuses que sur les autres sites car la fourniture de débris est quasiment permanente. Sur les autres sites, le laps de temps nécessaire à la reconstitution des stocks de débris par la gélifraction des parois diminue la fréquence des coulées de débris. Les avalanches sont potentiellement destructrices dans la partie ouest de la ville, où elles ont par le passé causé de sérieux dommages matériels et humains (en 1941,

1981, 1984 et 1994) ; la partie principale de la ville, située à l'aval de Gleidarhjalli, est surtout menacée par les coulées de débris, qui, jusqu'à présent, ont causé principalement des dégâts matériels (1965, 1996, 1999), certaines d'entre elles atteignant même la mer, comme en 1934 et 1965 (Arnalds et al., 2002).

- À Bolungarvik (fig. 6), les avalanches sont plus fréquentes et ont une longueur de parcours plus longue que les coulées de débris (Agustsson et al., 2002). Elles menacent surtout les maisons bâties le plus en amont : plusieurs d'entre elles ont été construites sur la trajectoire des avalanches et ont été frappées en 1997. Des modelés de coulées de débris sont observés juste à l'amont du secteur résidentiel, et on retrouve une trace imprécise de cette activité récurrente au cours du xx^e siècle, les sources écrites rapportant des dommages aux clôtures et aux cultures, sans que des dates soient mentionnées. Actuellement, les terrains dont il est question sont occupés par des habitations.
- À Bildudalur (fig. 7), les avalanches de slush¹ représentent 57 % des avalanches : 11 coulées de slush se sont déclenchées dans les deux principaux couloirs (10 ont été enregistrés depuis 1990), à l'origine de dégâts sérieux ; 16 coulées de débris ont été consignées dans les annales, provoquant des dommages matériels (Agustsson et al., 2003b).
- À Patreksfjordur (fig. 8) 15 avalanches et 3 coulées de débris ont été répertoriées (Agustsson et al., 2003a). Deux couloirs à coulées de débris ont été rapportés comme actifs, mais plusieurs autres couloirs ont été identifiés lors des investigations de terrain. Deux avalanches de slush ont eu lieu en 1983, suivant des couloirs confinés dans la partie nord-est de la ville. Les principaux couloirs d'avalanches sont situés dans la partie nord-ouest de la ville. La plupart des événements consignés ont causé des dégâts importants aux habitations et certains ont même été à l'origine d'accidents mortels (1983).

- 15 Ainsi, l'aléa est récurrent sur l'ensemble des sites étudiés, plusieurs avalanches et coulées de débris ayant été documentées durant le xx^e siècle.

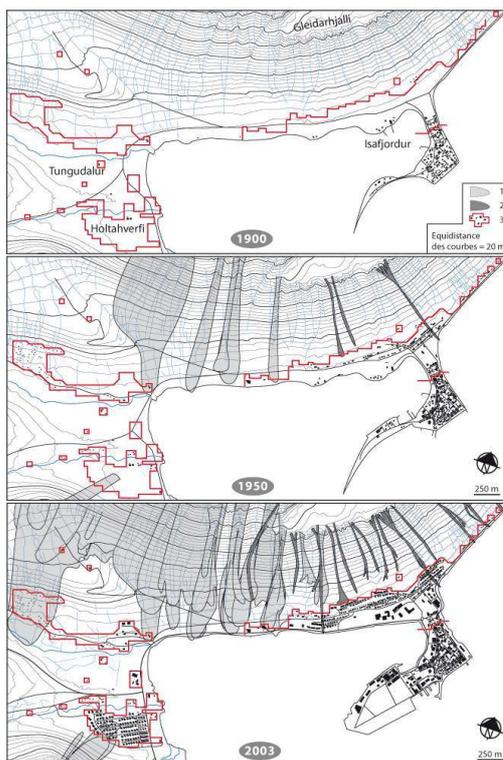
La représentation de l'aléa

Le potentiel destructeur de l'aléa : longueur de parcours et période de retour

- 16 Les sources historiques, ainsi que la reconnaissance géomorphologique, font clairement apparaître que les avalanches et coulées de débris à longueur de parcours extrême ont atteint les secteurs aujourd'hui occupés par l'homme à plusieurs reprises, au moins au cours du xx^e siècle. Sur la période de référence 1900-2003, la période de retour des avalanches et coulées de débris sur l'ensemble du versant dominant les sites étudiés peut donc être calculée :
- Avec 72 avalanches et 110 coulées de débris ayant atteint les infrastructures humaines en 104 ans à Isafjordur, la période de retour des avalanches est estimée à 1,44 ans et celle des coulées de débris est inférieure à 1 an.
 - À Bolungarvik, avec 26 avalanches connues la période de retour est de 4 ans. Le nombre de coulées de débris est inconnu, mais l'on sait à partir des sources écrites que plusieurs coulées ont atteint le bas du versant, endommageant les clôtures et couvrant les pâtures ; aucune estimation raisonnable ne peut cependant être calculée.
 - Comme 23 avalanches ont été enregistrées à Bildudalur, leur période de retour est de 4,5 ans ; la période de retour des coulées de débris est légèrement plus faible, étant de 6,5 années.

- À Patreksfjordur, le calcul de la période de retour des avalanches donne un résultat approchant de 7 ans, et de 35 ans pour les coulées de débris.
- 17 Cependant, la longueur de parcours des avalanches et des coulées de débris est très variable sur un même versant. De ce fait, la période de retour des phénomènes potentiellement destructeurs va être très différente selon que l'on considère l'ensemble du versant ou au contraire que l'on distingue les différents couloirs au sein d'un même versant. De la même façon, le calcul de la période de retour des processus atteignant le bas de versant fournit des résultats différents selon que l'on considère le nombre de couloirs actifs durant un épisode donné (c'est ce qui a été proposé ici) ou que le calcul se fonde sur le nombre d'épisodes avalancheux ou à coulées de débris. En effet, un même épisode peut activer plusieurs couloirs, qu'il s'agisse des avalanches ou des coulées de débris. Par exemple à Isafjordur, durant l'épisode avalancheux du 12 janvier 1999 on a pu répertorier 4 couloirs actifs ; et l'événement à coulées de débris du 28 août 1977 a activé 38 couloirs. Ainsi, en ne comptabilisant que le nombre d'épisodes remarquables, sans tenir compte du nombre de couloirs actifs, les périodes de retour seront plus longues (Decaulne et Saemundsson, 2003).
- 18 Dans les deux cas, la récurrence de l'aléa est telle que le géomorphologue ne peut que constater la lourde menace que les avalanches et les coulées de débris font peser sur les populations des quatre sites des fjords de l'ouest.

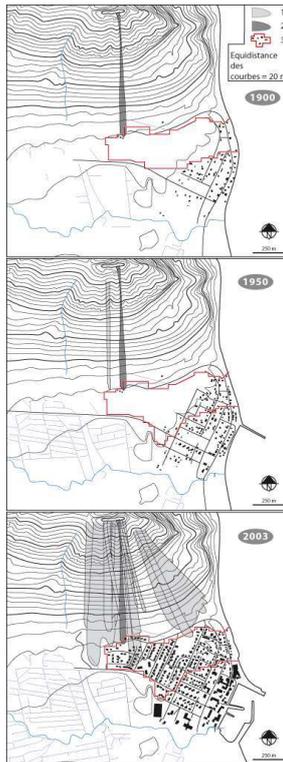
Figure 5 : Cartographie diachronique de l'aléa et de la vulnérabilité liés aux avalanches et aux coulées de débris connues à Isafjordur au cours du XX^e siècle
Diachronic maps of hazard and vulnerability due to documented snow avalanches and debris flows in Isafjordur during the 20th century



1 – avalanches ; 2 – coulées de débris ; 3 – secteurs habités étudiés (la densité de bâtiments est calculée à l'intérieur de cette zone).

1 – snow avalanches ; 2 – debris flows ; 3 – inhabited studied areas (building density is calculated within this area).

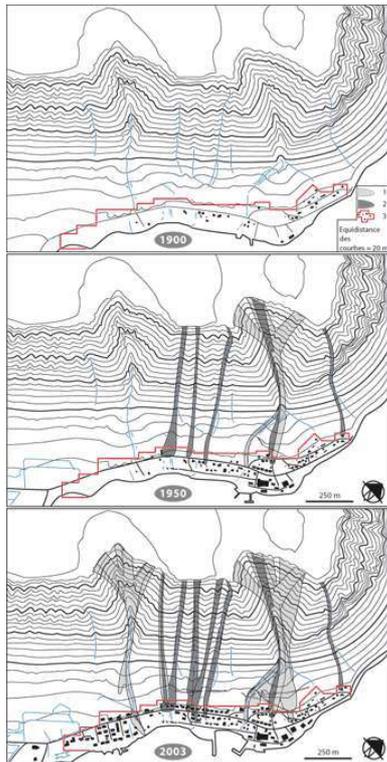
Figure 6 : Cartographie diachronique de l'aléa et de la vulnérabilité liés aux avalanches et aux coulées de débris connues à Bolungarvik au cours du xx^e siècle
Diachronic maps of hazard and vulnerability due to documented snow avalanches and debris flows in Bolungarvik during the 20th century



1 – avalanches ; 2 – coulées de débris ; 3 – secteurs habités étudiés (la densité de bâtiments est calculée à l'intérieur de cette zone).

1 – snow avalanches ; 2 – debris flows ; 3 – inhabited studied areas (building density is calculated within this area).

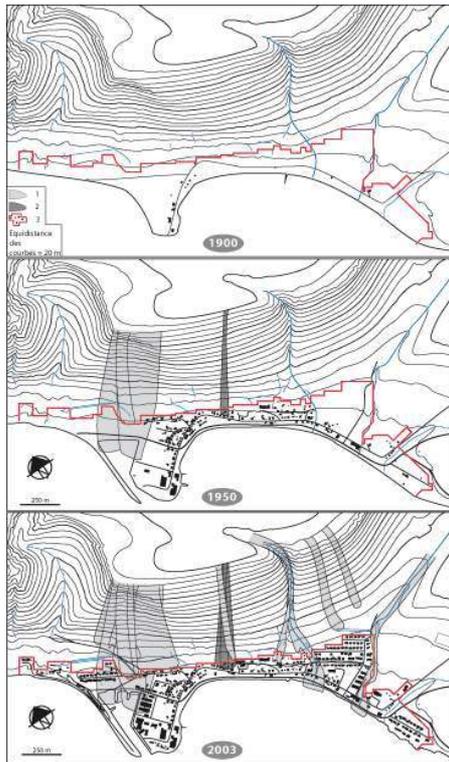
Figure 7 : Cartographie diachronique de l'aléa et de la vulnérabilité liés aux avalanches et aux coulées de débris connues à Bildudalur, au cours du XX^e siècle
Diachronic maps of hazard and vulnerability due to documented snow avalanches and debris flows in Bildudalur during the 20th century



1 – avalanches ; 2 – coulées de débris ; 3 – secteurs habités étudiés (la densité de bâtiments est calculée à l'intérieur de cette zone).

1 – snow avalanches ; 2 – debris flows ; 3 – inhabited studied areas (building density is calculated within this area).

Figure 8 : Cartographie diachronique de l'aléa et de la vulnérabilité liés aux avalanches, aux slush et aux coulées de débris connues à Patreksfjordur, au cours du xx^e siècle
Diachronic maps of hazard and vulnerability due to documented snow avalanches, slush and debris flows in Patreksfjordur during the 20th century



1 – avalanches ; 2 – coulées de débris ; 3 – secteurs habités étudiés (la densité de bâtiments est calculée à l'intérieur de cette zone).

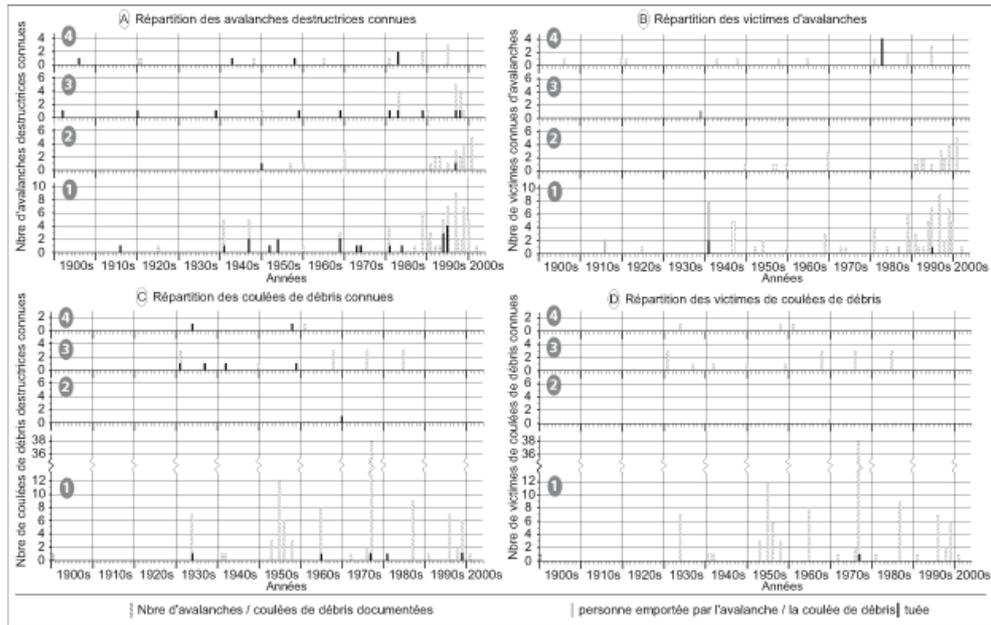
1 – snow avalanches ; 2 – debris flows ; 3 – inhabited studied areas (building density is calculated within this area).

La représentation de l'aléa par les populations vulnérables

- 19 Les populations des différentes communautés étudiées ne sont pas sensibles aux fréquences d'occurrence et périodes de retour des avalanches et coulées de débris potentiellement destructrices. Les populations réagissent au contraire aux dégâts matériels et accidents corporels que ces dynamiques de versant occasionnent (Decaulne, 2003). Or, une analyse spatio-temporelle du nombre de dommages et victimes recensés montre clairement que l'aléa n'a que peu touché les populations au cours du xx^e siècle, et encore moins durant la période d'expansion spatiale des sites étudiés (1940-1980), l'Islande jouissant alors de conditions météorologiques favorables. En effet, la figure 9 illustre que seule une faible part des avalanches occasionne des destructions partielles ou complètes (fig. 9A), alors qu'un nombre encore moindre est la cause d'accidents corporels (fig. 9B). Les figures 9C et 9D mettent en valeur l'impact encore plus faible des coulées de débris sur les populations : leur dangerosité n'est pas ressentie par les populations puisqu'elles n'ont jusqu'à présent occasionné que de rares dégâts matériels, et un seul accident corporel. Dans ce contexte, le manque d'événements frappant les populations est un frein à la prise de conscience du risque qu'elles encourent (Decaulne, 2001a, 2002), malgré une période de retour souvent brève des événements susceptibles d'atteindre les secteurs habités. Ceci se confirme d'ailleurs par le choix d'une architecture des bâtiments

non renforcée, les types d'habitations islandaises correspondant à des structures en bois ou béton plutôt fragiles, avec de grandes baies vitrées faisant face au versant.

Figure 9 : Répartition des dégâts matériels et corporels dus aux avalanches (A, B) et aux coulées de débris (C, D) dans les quatre sites étudiés en Islande du Nord-Ouest au cours du XX^e siècle
Distribution of damages and casualties due snow-avalanche (A, B) and debris flows (C, D) in the four studied areas in north-western Iceland during the 20th century



1 – Isafjordur ; 2 – Bolungarvik ; 3 – Bildudalur ; 4 – Patreksfjordur.

1 – Isafjordur ; 2 – Bolungarvik ; 3 – Bildudalur ; 4 – Patreksfjordur.

Conclusion

- 20 L'analyse diachronique de l'extension du bâti et des avalanches/coulées de débris durant le siècle dernier souligne une situation de risque qui est devenue problématique au cours du temps, car la densité de la population n'a cessé d'augmenter à l'intérieur des zones de dépôt des avalanches et coulées de débris. Au début du XX^e siècle, rien n'avait été consigné par écrit dans les sites étudiés. Plutôt que d'en déduire qu'auparavant les avalanches et coulées de débris ne connaissaient pas d'activité, il serait plus juste d'écrire qu'elles n'ont pas eu d'incidence catastrophique sur les hommes ou les biens jusqu'au début du XX^e siècle. Malgré les données partielles obtenues par les sources géomorphologiques et historiques, la combinaison des deux méthodes est une approche qui tend à améliorer l'appréciation de l'aléa et de la vulnérabilité, comme l'ont écrit T. Glade (2001) et D. Calcaterra et M. Parise (2001), en faisant ressortir la localisation des principaux couloirs. Cependant, une analyse plus détaillée de chaque site est nécessaire, car l'activité est inégale au long du versant : les événements à longueur de parcours extrême sont de loin les plus dangereux, mais leur fréquence est faible ; à l'inverse, les événements les plus fréquents ont généralement une étendue moindre. La faible fréquence des avalanches et coulées de débris les plus dangereuses, additionnée à l'ignorance de cette fréquence sur la longue durée et à la défaillance rapide de la mémoire collective (Decaulne, 2001a), expliquent le manque d'intérêt pour la question du risque durant la période de développement résidentiel, de 1940 à 1980. C'est finalement l'année

1995, catastrophique avec 34 personnes tuées lors de deux avalanches à longueur de parcours extrême, qui accélère la prise de conscience par la population et les autorités du risque encouru. Le danger lié aux coulées de débris est encore sous-estimé, même après l'épisode de 1999, celui là n'ayant encore provoqué que des dégâts matériels (Decaulne *et al.*, sous presse).

BIBLIOGRAPHIE

- ANDRÉ (M.-F.), 1990. – « Frequency of debris flows and slush avalanches in Spitsbergen : a tentative evaluation from lichenometry », *Polish Polar Research*, 3-4, p. 245-363.
- AGUSTSSON (K.), JOHANNESON (T.), SAUERMOSE (S.), ARNALDS (Th.), 2002. – *Hazard zoning for Bolungarvik*, Institut Météorologique Islandais, VI-UR19, 60 p.
- AGUSTSSON (K.), JOHANNESON (T.), SAUERMOSE (S.), SIGURDSSON (H. Th.), 2003a. – *Hazard zoning for Patreksfjordur, Vesturbyggd*, Institut Météorologique Islandais, VI-UR20, 74 p.
- AGUSTSSON (K.), JOHANNESON (T.), SAUERMOSE (S.), SIGURDSSON (H. Th.), JENSEN (E. H.), 2003b. – *Hazard zoning for Bildudalur, Vesturbyggd*, Institut Météorologique Islandais, VI-UR23, 67 p.
- ARNALDS (Th.), SAUERMOSE (S.), JOHANNESON (T.), GRIMSDOTTIR (H.), 2002. – *Hazard zoning for Isafjordur and Hnifsdalur*, Institut Météorologique Islandais, VI-UR15, 117 p.
- CALCATERRA (D.), PARISE (M.), 2001. – « The contribution of historical information in the assessment of landslide hazard », dans GLADE (T.), ALBINI (P.), FRANCÈS (F.) (éd.), *The Use of Historical Data in Natural Hazard Assessments*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 201-217.
- DECAULNE (A.), 2001a. – « Mémoire collective et perception du risque lié aux avalanches et aux coulées de débris dans un fjord islandais : l'exemple du site d'Isafjordur (Islande nord-occidentale) », *Revue de Géographie Alpine*, t. 89, n° 3, p. 63-80.
- , 2001b. – *Dynamique des versants et risques naturels dans les fjords d'Islande du Nord-Ouest : l'impact géomorphologique et humain des avalanches et des débris flows*, Thèse de Doctorat de Géographie, Université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand, 391 p.
- , 2002. – « Coulées de débris et risques naturels en Islande du Nord-Ouest », *Géomorphologie*, 2, p. 151-164.
- , 2003. – « Réalité et perception des risques naturels liés à la dynamique des versants dans les fjords d'Islande du Nord-Ouest », *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, 4, p. 394-400.
- , 2004a. – « Le risque avalancheux en Islande », *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, 1, p. 75-83.
- , 2004b. – « Combining geomorphological, historical and lichenometrical data for assessment of risk due to present-day slope processes, a case study from the Icelandic Westfjords », dans REBBIA (C. A.) (éd.) *Risk Analysis IV*, Southampton, Wit Press, p. 177-186.
- , 2005. – « Slope processes and related risk appearance within the Icelandic Westfjords during the twentieth century », *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, (sous presse).

- DECAULNE (A.), SAEMUNDSSON (Th.), 2003. – « Debris-flow characteristics in the Gleiðarhjalli area, northwestern Iceland », dans RICKENMAN (D.), CHEN (C. I.) (éd.), *Debris-Flow Hazards Mitigation : Mechanics, Prediction, and Assessment*, Rotterdam, Millpress, p. 1107-1118.
- DECAULNE (A.), SAEMUNDSSON (Th.), PETURSSON (O.), sous presse. – « Debris flow triggered by rapid snowmelt in the Gleidarhjalli area, northwestern Iceland », *Geografiska Annaler*.
- GEIRSDOTTIR (S.), 2000a. – *Byggingarar husa a Bildudal* [Dates de construction des bâtiments à Bildudalur], Centre d'Étude des Milieux Naturels des fjords d'Islande du Nord-Ouest, NV6-00, 20 p.
- , 2000b. – *Byggingarar husa a Patreksfirði* [Dates de construction des bâtiments à Patreksfjörðurur], Centre d'Étude des Milieux Naturels des fjords d'Islande du Nord-Ouest, NV78-00, 21 p.
- , 2000c. – *Byggingarar husa a Bolungarvík* [Dates de construction des bâtiments à Bolungarvík], Centre d'Étude des Milieux Naturels des fjords d'Islande du Nord-Ouest, NV8-00, 20 p.
- GLADE (T.), 2001. – « Landslide hazard assessment and historical landslide data – an inseparable couple ? », dans GLADE (T.), ALBINI (P.), FRANCÈS (F.) (éd.), *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 153-168.
- GLADE (T.), ALBINI (P.), FRANCÈS (F.), 2001. – « An introduction to the use of historical data in natural hazard assessments », dans GLADE (T.), ALBINI (P.), FRANCÈS (F.) (éd.), *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. XVII-XXV.
- GRAVES (P. A.), SHERMAN (D. J.), NORDSTROM (K. F.), 1994. – « Geomorphology and natural hazards », *Geomorphology*, 10, p. 1-18.
- GRIMSDOTTIR (H.), 1999. – *Byggingarar husa a Isafirði* [Dates de construction des bâtiments à Isafjörður], Institut Météorologique Islandais, VI-G99014-UR08, 36 p.
- IBSEN (M. L.), BRUNSDEN (D.), 1996. – « The nature, use and problems of historical archives for the temporal occurrence of landslides, with specific reference to the south coast of Britain, Ventnor, Isle of Wight », *Geomorphology*, 15, p. 241-258.
- INNES (J. L.), 1983. – « Use of an aggregated Rhizocarpon 'species' in lichenometry : an evaluation », *Boreas*, vol. 12, p. 183-190.
- JONSSON (O.), 1957. – *Skriduföll og snjóflod I-II* [Mouvements de masse et avalanches tomes I-II], Akureyri, Bokautgáfan Nordri, 1307 p.
- NYBERG (R.), 1985. – *Debris flows and slush avalanches in Northern Swedish Lappland, distribution and geomorphological significance*, Doctoral thesis, University of Lund, Medd. Lunds Univ., Geogr. Inst. XCVII, 222 p.
- RAPP (A.), 1987. – « Extreme weather situations causing mountain debris flows. Uppsala Universitets Naturgeografiska Institution », *UNGI-rapport65*, p. 171-181.
- RAPP (A.), NYBERG (R.), 1981. – « Alpine debris flows in northern Scandinavia : morphology and dating by lichenometry », *Geografiska Annaler*, 63A, p. 183-196.
- SAEMUNDSSON (Th.), PETURSSON (H. G.), DECAULNE (A.), 2003. – « Triggering factors for rapid mass movements in Iceland », dans RICKENMAN (D.), CHEN (C. I.) (éd.), *Debris-Flow Hazards Mitigation : Mechanics, Prediction, and Assessment*, Rotterdam, Millpress, p. 167-178.

NOTES

1. Avalanche de neige sursaturée en eau, à forte densité.

RÉSUMÉS

Les processus de versant causent d'importants dégâts dans les régions de fjords en Islande. Nous nous intéresserons à l'impact des avalanches et coulées de débris dans quatre localités d'Islande nord-occidentale. La répartition spatiale des processus de versant à proximité des zones habitées est obtenue grâce aux investigations géomorphologiques. Les données chronologiques sont fournies par les documents historiques et la lichénométrie. La combinaison de ces informations révèle les caractéristiques spatiales et temporelles des avalanches et coulées de débris dans les secteurs étudiés. La distance de parcours des processus de versant est ensuite comparée à l'extension spatiale des zones résidentielles. Le couple aléa-vulnérabilité se conjugue pour créer une situation de risque, qui a été exacerbée durant le xx^e siècle, puisque l'espace où les deux phénomènes se superposent s'élargit.

Today, in fjord areas of Iceland slope processes are responsible for large damages. We focus here on four places in the north-western part of Iceland where snow-avalanches and debris-flow impacts are important. Spatial distribution of slope dynamics close to inhabited areas is obtained from geomorphological investigations while chronology is built out of historical records analysis and lichenometry. The combination of information reveals spatial and temporal patterns of snow avalanches and debris flows in the studied areas. Slope process runout distances are compared with inhabited spatial extension. The hazard-vulnerability couple clearly appears in a risk situation, exacerbated during the 20th century by an increasing superimposition of both phenomenon.

INDEX

Mots-clés : étude géomorphologique et historique, risque, secteur résidentiel, versant

Keywords : geomorphic and historic study, inhabited areas, risk, slopes

Index géographique : Islande

AUTEUR

ARMELLE DECAULNE

GEOLAB, UMR 6042 - CNRS, armlld@yahoo.fr