

12. Climat et écoulements rocheux dans le massif du Mont Blanc: vers une augmentation de l'aléa

par

Ludovic RAVANEL¹ & Philip DELINE¹

Résumé.—RAVANEL L. & DELINE P., 2013. Climat et écoulements rocheux dans le massif du Mont Blanc: vers une augmentation de l'aléa. *Mémoire de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 25: 149-157.

Les écoulements rocheux (volume supérieur à 100 m³) en haute montagne constituent un aléa naturel important, qui semble actuellement en recrudescence dans les Alpes. Si le réchauffement climatique est souvent incriminé à travers la dégradation du permafrost, la relation entre climat et écoulements doit être vérifiée. Cet article présente les méthodes mises en œuvre à cette fin dans le massif du Mont Blanc (photo-comparaison et réseau d'observateurs en particulier) et montre que le déclenchement des écoulements est concomitant avec les périodes les plus chaudes depuis la fin du Petit Âge Glaciaire (en particulier les deux dernières décennies) comme au cours d'une année (épisodes estivaux chauds). Ces résultats, qui confirment le rôle de la dégradation du permafrost, soulèvent la question de l'évolution des risques liés aux écoulements dans les régions de montagne face au réchauffement climatique annoncé.

Mots clés: écoulement rocheux, réchauffement climatique, permafrost, massif du Mont Blanc.

Abstract.—RAVANEL L. & DELINE P., 2013. Climate and rockfalls in the Mont Blanc massif: Toward a higher hazard. *Mémoire de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 25: 149-157.

Rockfalls (volume greater than 100 m³) in high mountain are an important natural hazard, which currently appears on the rise in the Alps. If global warming is often incriminated through the permafrost degradation, the relationship between climate and rockfalls should be verified. This article presents the methods used for this purpose in the Mont Blanc massif (photo-comparison and network of observers in particular) and shows that rockfalls are concomitant with the warmest periods since the end of the Little Age ice (especially the last two decades) as during a year (hot summer periods). These results, which confirm the role of permafrost degradation, raise the question of the evolution of risks associated with rockfalls in high mountain in the context of the predicted global warming.

Keywords: rockfalls, global warming, permafrost, Mont Blanc massif.

¹Laboratoire EDYTEM, Université de Savoie, CNRS, Campus scientifique, 73376, Le Bourget du Lac, France; tél.: +33 (0)6 19 66 88 01.
E-mail: Ludovic.Ravanel@univ-savoie.fr

INTRODUCTION

Les Alpes renvoient bien souvent à l'image de grands espaces où les phénomènes naturels ont une place prépondérante. Parmi eux, les écroulements rocheux (volume supérieur à 100 m³) sont ceux qui surprennent le plus par leur soudaineté, leur volume qui peut être considérable, les modifications parfois profondes qu'ils impriment aux paysages, et les risques qu'ils engendrent directement ou indirectement par effets en cascade (HARRIS *et al.* 2001).

Bien que les écroulements rocheux soient un processus courant dans les Alpes, il semble qu'on assiste aujourd'hui à leur recrudescence en haute montagne, alors que la région alpine voit sa densité de population augmenter – les plus hautes montagnes (à commencer par le massif du Mont Blanc) étant même de plus en plus fréquentées et équipées de nombreuses infrastructures.

Dans ce contexte, il importe de vérifier cette éventuelle recrudescence des écroulements en haute montagne, de mieux comprendre les facteurs actifs qui prévalent dans leur déclenchement et, plus généralement, de préciser la relation entre climat et écroulements – souvent évoquée mais très rarement vérifiée –, en particulier à l'échelle séculaire. Différents travaux considèrent en effet que la dégradation du permafrost (*i.e.* tout matériel lithosphérique à température inférieure ou égale à 0°C au moins pendant deux années consécutives) est le principal processus qui relie actuellement climat et écroulements (GRUBER & HAEBERLI 2007).

Cet article présente les méthodes mises en œuvre pour caractériser la relation entre climat et écroulements dans le massif granitique du Mont Blanc, les principaux résultats obtenus, et discute des problèmes auxquels devraient être confrontés les gestionnaires du risque dans la période à venir compte tenu de l'évolution climatique annoncée.

MÉTHODES MISES EN ŒUVRE POUR CARACTÉRISER LE LIEN CLIMAT-ÉCROULEMENTS

Méthode historique par photo-comparaison

Les témoignages écrits et oraux d'écroulements ne peuvent suffire pour reconstituer avec précision l'évolution morphodynamique récente de parois rocheuses même très fréquentées. L'étude par photo-comparaison de séries de photographies apparaît dès lors comme la méthode la plus appropriée pour dresser des inventaires exhaustifs (RAVANEL 2010). Comme la photographie de montagne apparaît à la fin du Petit Âge Glaciaire (PAG), c'est-à-dire au début de la période pour laquelle l'étude de la relation entre réchauffement climatique et déclenchement d'écroulements est particulièrement pertinente, l'adéquation de la méthode à l'objet d'étude est excellente.

Très consommatrice de temps, la constitution des corpus documentaires s'est concentrée sur deux secteurs suffisamment emblématiques et proches de Chamonix pour bénéficier d'une couverture photographique dense: la face ouest des Drus (subverticale et compacte, haute de 1000 m), qui domine de ses 3730 m d'altitude la Mer de Glace, et le versant nord des Aiguilles de Chamonix (succession de faces rocheuses raides et compactes, de couloirs

dans les secteurs plus fracturés, et de glaciers suspendus), qui culmine à 3842 m à l'Aiguille du Midi. Les images les plus anciennes (fin du PAG) sont dans les musées et les collections privées, parfois reproduites dans des ouvrages. Sur les 400 photographies rassemblées pour ces deux secteurs d'étude, seules quelques dizaines ont finalement pu être comparées et interprétées pour reconstituer l'évolution morphodynamique de la face ouest des Drus, et jusqu'à une centaine pour le versant nord des Aiguilles de Chamonix (figure 1). Afin de préciser ou de compléter les reconstitutions, il a été nécessaire de diversifier et croiser les sources d'information (cahiers de courses, livres de refuges, topoguides, revues d'alpinisme, témoignages oraux, etc.). Enfin, cette reconnaissance exhaustive des écoulements et leur datation ont été complétées par l'estimation des volumes écroulés à l'aide de mesures topométriques laser.

50 écoulements d'un volume compris entre 500 et 265 000 m³ ont été recensés. 8 d'entre eux ont affecté la face ouest des Drus entre 1905 et 2005. Leur enchaînement a produit l'érosion régressive du pilier SE (pilier Bonatti), qui s'est accélérée à partir de 1950 avec une fréquence et des volumes croissants, jusqu'à la disparition complète de ce pilier avec l'écroulement de juin 2005 (RAVANEL & DELINE 2008). 42 écoulements se sont produits sur le versant nord des Aiguilles de Chamonix. La plupart de ceux-ci se sont produits récemment (RAVANEL & DELINE 2010).

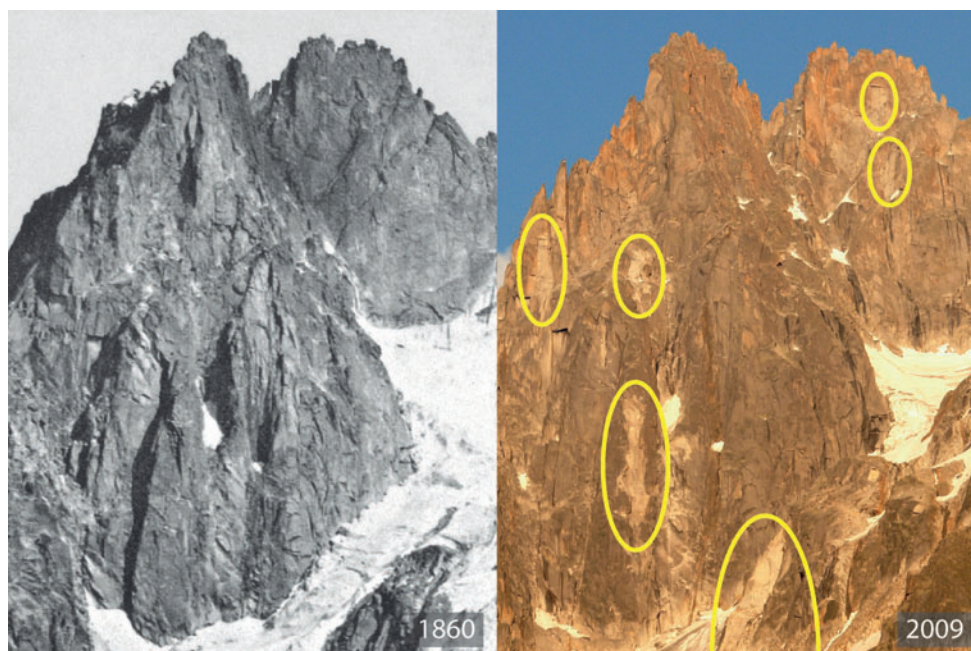


Figure 1.—Comparaison entre deux photographies prises en direction de l'Est de 1860 (Bisson frères) et 2009 des faces ouest de l'Aiguille des Grands Charmoz et de l'Aiguille du Grépon et de la face nord du Rognon des Grands Charmoz (RAVANEL & DELINE 2010) - les secteurs délimités ont été affectés par des écoulements entre les deux dates.

Méthode contemporaine par réseau d'observateurs

Le signalement des écroulements actuels dans le massif du Mont Blanc repose sur la mise en place d'un réseau d'observateurs dès 2005 (RAVANEL *et al.* 2010). Ce réseau, opérationnel depuis 2007 et réactivé chaque année, est composé de plusieurs dizaines de guides, gardiens de refuges, secouristes et alpinistes, sensibilisés au recueil d'informations sur les écroulements par des réunions, articles, courriers électroniques, entretiens, pages Internet, et posters pédagogiques dans les refuges.

Une fiche de signalement est mise à leur disposition sur laquelle plusieurs séries de données sont à renseigner: source de l'écroulement observé, localisation du point d'observation, conditions de la paroi au niveau de la zone de rupture. Ce réseau garantit une très bonne représentativité des données obtenues, à défaut d'assurer une exhaustivité parfaite. Chaque automne, un travail de terrain systématique est effectué afin de vérifier et/ou compléter les observations rapportées. Du fait de la lourdeur des tâches liées à l'animation de ce réseau, le dispositif se concentre sur la partie centrale du massif du Mont Blanc – soit 57% de sa superficie totale. Les inventaires réalisés grâce à ce réseau d'observateurs depuis 2007 ont été complétés par un recensement des écroulements qui ont affecté l'ensemble du massif lors de l'été caniculaire de 2003, permis par la reconnaissance visuelle des dépôts d'écroulements supra-glaciaires présents sur une image satellite SPOT-5 du 23 août 2003 (RAVANEL *et al.* 2011).

C'est ainsi un total de 321 écroulements qui a été documenté, d'un volume compris entre 100 et 50 000 m³ – les deux plus importants étant ceux de Tré-la-Tête en 2008 (50 000 m³; figure 2; DELINE *et al.* 2008) et de la Pointe du Domino en 2003 (45 000 m³). L'intensité de la morphodynamique a été maximale en 2003 (182 écroulements sur l'ensemble du massif), suivie par celle de 2009, 2007 et 2008, avec respectivement 72, 45 et 22 écroulements recensés dans le secteur central du massif.

LE CONTRÔLE CLIMATIQUE SUR LE DÉCLENCHEMENT DES ÉCROULEMENTS

Echelle séculaire

Aux Drus, le facteur climatique – et plus particulièrement thermique – semble majeur dans le déclenchement des écroulements survenus depuis la fin du PAG. La concomitance entre leur occurrence et les périodes les plus chaudes en atteste (figure 3). Le grand écroulement du 29 juin 2005 a pu quant à lui être favorisé par la conjonction de la chaleur et de précipitations élevées entraînant ainsi de fortes pressions interstitielles.

L'analyse des 42 écroulements documentés sur le versant nord des Aiguilles de Chamonix durant la même période montre la forte corrélation de leur occurrence avec les périodes les plus chaudes de la période d'étude (figure 3). 70% de ces écroulements ont eu lieu lors des deux dernières décennies, qui sont caractérisées par une accélération du réchauffement climatique (BENISTON 2005), tandis que la fréquence maximale des écroulements est observée au cours de la canicule de l'été 2003. De manière générale, les périodes caniculaires (*e.g.* été 1947 ou août 2009) constituent des périodes particulièrement propices aux écroulements.

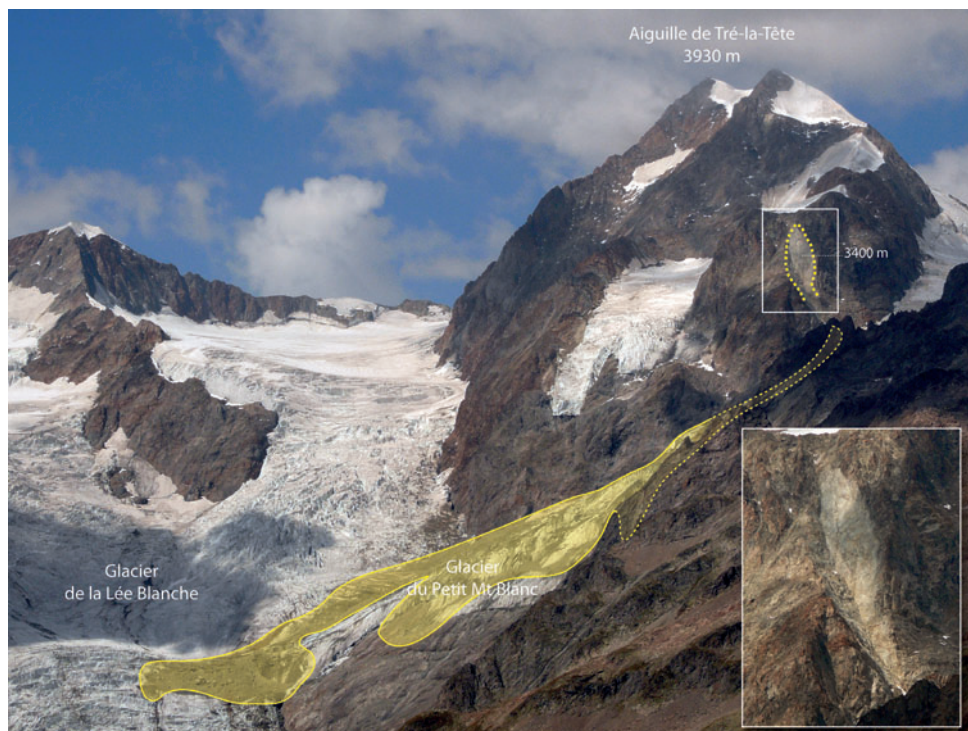


Figure 2.– L'éroulement de Tré-la-Tête (versant italien du massif) de septembre 2008.

Echelle annuelle

Au-delà de cette évolution des parois du massif du Mont Blanc depuis la fin du Petit Âge Glaciaire qui démontre le contrôle climatique sur le déclenchement des éroulements, on observe également une forte corrélation entre les éroulements de 2003, 2007, 2008 et 2009 et les conditions climatiques, en particulier thermiques, de ces années-là (figure 4). 139 éroulements ont été documentés entre 2007 et 2009 dans le massif du Mont Blanc, dont 53 précisément datés (38%). Parmi ceux-ci, 51 se sont produits entre juin et septembre, c'est-à-dire durant les mois les plus chauds de l'année. Les périodes particulièrement chaudes de type canicule apparaissent ici aussi comme les plus favorables au déclenchement d'éroulements. L'été caniculaire 2003, avec ses températures moyennes journalières de l'air positives jusque très haut en altitude, a engendré une activité morphodynamique extrême : dans la partie du massif couverte par le réseau d'observation, 152 éroulements ont été recensés en 2003 (sur un total de 182). Enfin, on peut constater que 38 des 53 éroulements (72%) précisément datés de 2007, 2008 et 2009 se sont produits au terme d'une période d'augmentation de la température moyenne journalière de l'air d'une durée minimale de deux jours (RAVANEL 2010).

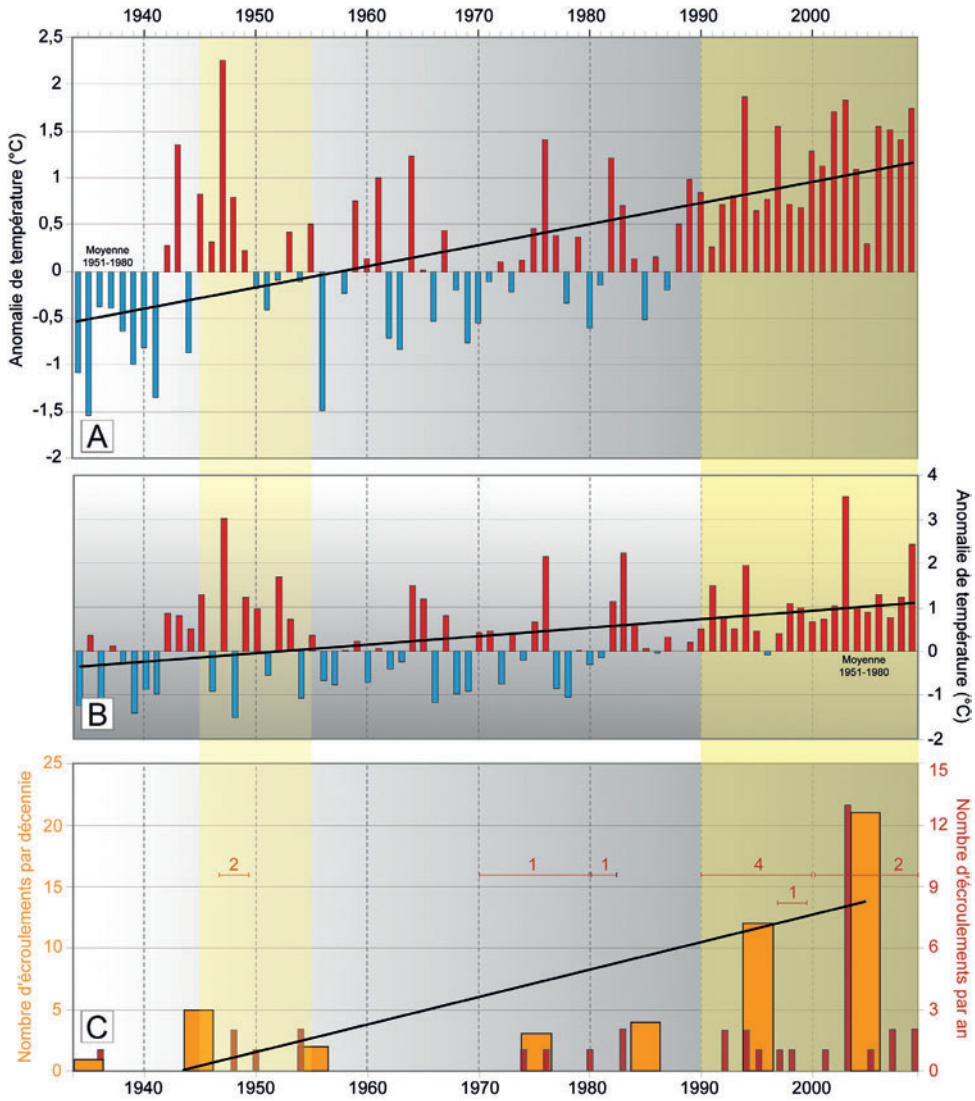


Figure 3.—Evolution comparée du climat à Chamonix-Le Bouchet (1040 m) et des écoulements rocheux dans la face ouest des Drus et sur le versant nord des Aiguilles de Chamonix (données météorologiques: Météo-France) - A: anomalie de la température moyenne annuelle de l'air par rapport à la moyenne 1951-1980; B: anomalie de la température moyenne des trois mois les plus chauds (juin-juillet-août ou juillet-août-septembre) par rapport à la moyenne 1951-1980; C: nombre d'écroulements par an et par décennie. Traits noirs: tendances (régressions linéaires, décennale pour C); barres avec nombre en C: écoulements non datés précisément.

QUELLES PERSPECTIVES ?

Il y a donc une forte corrélation entre les périodes les plus chaudes et l'occurrence des écoulements. A l'échelle du siècle, les périodes à température de l'air élevée sont celles qui ont vu l'occurrence de la plupart des 50 écoulements depuis la fin du PAG dans la face ouest des Drus et sur le versant nord des Aiguilles de Chamonix – près des trois quarts s'y étant produits au cours des deux dernières décennies caractérisées par l'accélération du réchauffement climatique. Par ailleurs, la fréquence maximale des écoulements a été observée au cours de la canicule de l'été 2003, ce qui démontre là encore le rôle de la température de l'air dans le déclenchement des écoulements. A l'échelle annuelle, on remarque également une très bonne corrélation entre les écoulements de 2007, 2008 et 2009 et les conditions thermiques de ces années-là: 96% des écoulements précisément datés pour ces trois années se sont produits en été (figure 4).

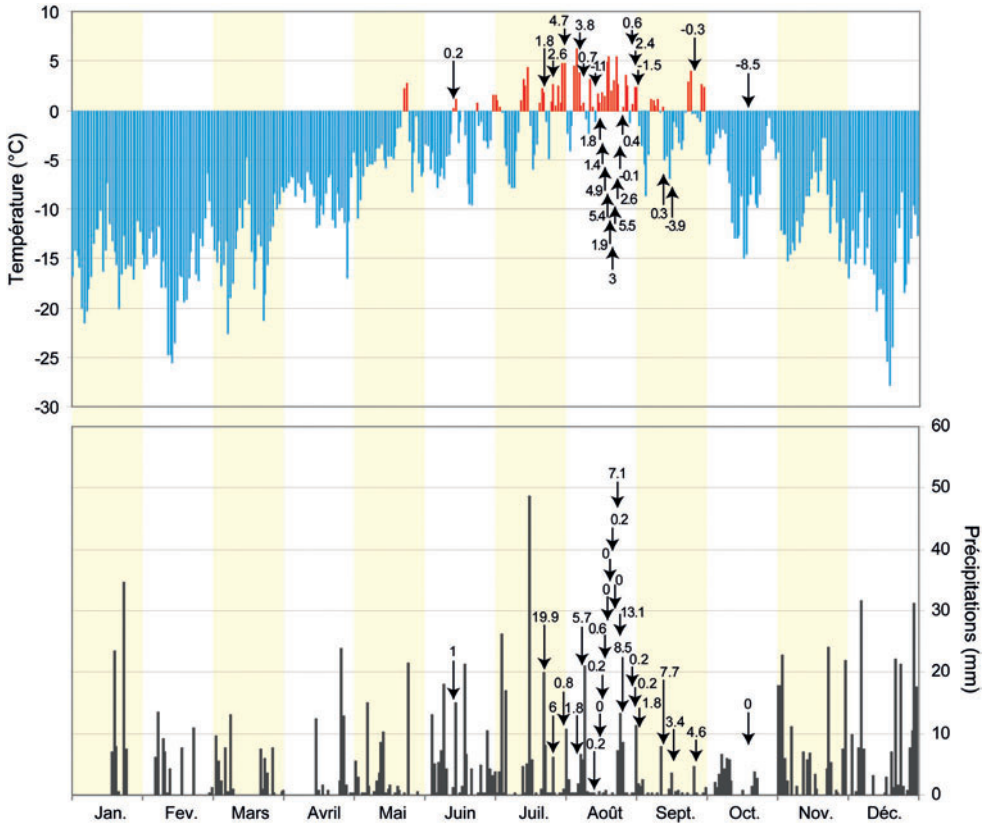


Figure 4.—Température moyenne journalière de l'air à l'Aiguille du Midi (données Météo France) et cumuls journaliers de précipitations à Chamonix-Le Bouchet (données Météo France) pour l'année 2009 - les flèches indiquent les jours où un ou plusieurs écoulements ont eu lieu, avec la valeur de température ou de précipitations de ces jours-là.

Trois facteurs peuvent expliquer cette étroite relation entre climat et écroulements: la décompression post-glaciaire, l'évolution de la couverture glacio-nivale des parois rocheuses d'altitude, et la dégradation du permafrost dans ces parois. Les deux premiers facteurs ne pouvant expliquer qu'un faible nombre des écroulements recensés, le rôle de la dégradation du permafrost est ici probablement prépondérant – d'autant que la quasi-totalité des écroulements recensés s'est produite en contexte de permafrost d'après la modélisation de la distribution des températures de surface dans le massif du Mont Blanc à l'aide de TEBAL (GRUBER *et al.* 2004).

Compte tenu d'une évolution de la température fortement liée aux émissions anthropiques de gaz à effet de serre et des projections sur les émissions futures de ces gaz, des scénarii climatiques sont proposés pour le 21^e siècle, avec des changements qui seront plus importants que ceux observés durant le 20^e siècle. Ces différents scénarii prévoient en effet une augmentation de la température annuelle moyenne de surface comprise entre 1.8°C et 4.0°C pour la fin du 21^e siècle (GIEC 2007; figure 5). Dans les Alpes, l'augmentation moyenne pourrait atteindre 4 à 5°C, avec des températures estivales extrêmes pouvant dépasser de 6 à 8°C celles actuelles (BENISTON 2003). L'été 2003, qui a été le plus chaud jamais enregistré en Europe depuis les premières mesures systématiques, a donné un aperçu du type d'été qui pourrait assez régulièrement affecter les Alpes vers la fin du 21^e siècle, avec un nombre de jours caniculaires multiplié par 5 d'ici 2070-2100 (BENISTON 2004). Ainsi, le réchauffement devrait conduire à une hausse du nombre de jours à température extrêmement élevée, y compris en altitude (JUNGO & BENISTON 2001), et une baisse du nombre de jours à températures extrêmement basses. Ces éléments montrent que les

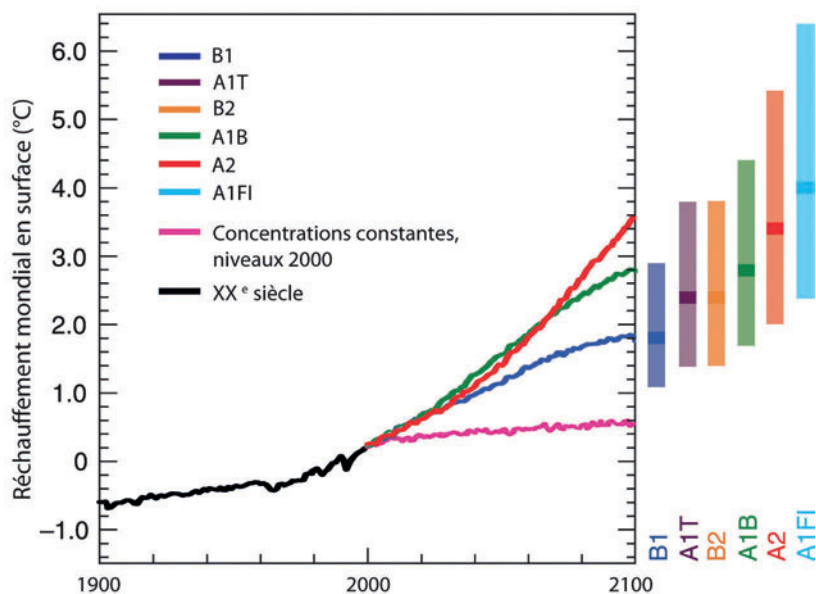


Figure 5.—Projections relatives aux températures de surface en fonction de différents scénarii de concentration de gaz à effet de serre pour le 21^e siècle (GIEC, 2007).

Alpes sont une région particulièrement sensible au réchauffement climatique (BENISTON & HAEBERLI 2001, BENISTON 2003). Compte tenu de la relation très étroite entre température de l'air et écroulements (RAVANEL 2010), les massifs alpins devraient connaître au cours des prochaines décennies une augmentation de la fréquence des écroulements, ainsi que, très vraisemblablement, de leur volume. Les gestionnaires du risque en montagne doivent donc s'intéresser de près à ces phénomènes longtemps considérés comme ubiquistes et imprévisibles.

REMERCIEMENTS

Ces travaux sont conduits dans le cadre du projet *PermaNET – Permafrost Long-term Monitoring Network*, financé par le programme CTE Espace Alpin de l'UE.

RÉFÉRENCES

- BENISTON M., 2003. Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts. *Clim. Change*, 59, 5-31.
- BENISTON M., 2004. The 2003 heat wave in Europe. A shape of things to come? *Geophys. Res. Lett.*, 31, 2022-2026.
- BENISTON M., 2005. Mountain climates and climatic change: an overview of processes focusing on the European Alps. *Pure and Applied Geophysics*, 162, 1587-1606.
- BENISTON M. & HAEBERLI W., 2001. Sensitivity of mountain regions to climatic change. In: LOZAN J.L., GRASSL H., HUPFER P., Dir. *Climate of the 21st century: changes and risks*. GEO Publications, Hamburg, 237-244.
- DELINE P., KIRKBRIDE M., RAVANEL L. & RAVELLO M., 2008. The Tré-la-Tête rockfall onto the glacier de la Lex Blanche (Mont-Blanc massif, Italy) in September 2008. *Geogr. Fis. Din. Quat.*, 31, 251-254.
- 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*. GIEC, Genève, Suisse, 103 pp.
- GRUBER S. & HAEBERLI W., 2007. Permafrost in steep bedrock slopes and its temperature-related destabilization following climate change. *J. Geophys. Res.*, 112, DOI: 10.1029/2006JF000547.
- GRUBER S., HOELZLE M. & HAEBERLI W., 2004. Rock-wall temperatures in the Alps: modelling their topographic distribution and regional differences. *Perma. Perigl. Proc.*, 15, 299-307.
- HARRIS C., DAVIES M.C.R. & ETZELMULLER B., 2001. The assessment of potential geotechnical hazards associated with mountain permafrost in a warming global climate. *Perma. Perigl. Proc.*, 12, 145-156.
- JUNGO P. & BENISTON M., 2001. Changes in the anomalies of extreme temperature anomalies in the 20th century at Swiss climatological stations located at different latitudes and altitudes. *Theor. App. Clim.*, 69, 1-12.
- RAVANEL L., 2010. *Caractérisation, facteurs et dynamiques des écroulements rocheux dans les parois à permafrost du massif du Mont Blanc*. Thèse de Doctorat (Université de Savoie, Le Bourget du Lac), 322 pp.
- RAVANEL L. & DELINE P., 2008. La face ouest des Drus (massif du Mont-Blanc): évolution de l'instabilité d'une paroi rocheuse dans la haute montagne alpine depuis la fin du Petit Age Glaciaire. *Géomorphologie*, 4, 261-272.
- RAVANEL L. & 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. *The Holocene*, DOI: 10.1177/0959683610374887.
- RAVANEL L., ALLIGNOL F., DELINE P., GRUBER S. & RAVELLO M., 2010. Rockfalls in the Mont Blanc Massif in 2007 and 2008. *Landslides*, DOI: 10.1007/s10346-010-0206-z.
- RAVANEL L., ALLIGNOL F. & DELINE P., 2011. Les écroulements rocheux dans le massif du Mont Blanc pendant l'été caniculaire de 2003. *Géovisions*, 36, 245-261.