



**HAL**  
open science

# Influence du réchauffement climatique sur les processus morphologiques dans les reliefs montagneux

Jean-Louis Mugnier

► **To cite this version:**

Jean-Louis Mugnier. Influence du réchauffement climatique sur les processus morphologiques dans les reliefs montagneux. Géologues, 2019. hal-02395890

**HAL Id: hal-02395890**

**<https://hal.science/hal-02395890v1>**

Submitted on 5 Dec 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **Influence du réchauffement climatique sur les processus morphologiques dans les reliefs montagneux**

**Jean-Louis Mugnier**

L'évolution climatique influence la morphologie des hautes montagnes de multiples façons, en particulier dans leurs parties hautes (*Figure 1*). En effet, la température de l'atmosphère affecte la température du sol qui contrôle le cycle gel/dégel. Cette évolution des températures affecte aussi les caractéristiques des précipitations - neige ou pluie- et l'occurrence d'événements extrêmes. Ces facteurs climatiques influencent la taille des glaciers, les processus morphologiques au voisinage de ceux-ci et les flux hydro-sédimentaires à l'aval.

Aussi dans la suite je vais détailler l'évolution des températures dans les Alpes, le recul des glaciers qu'elles induisent, les changements de condition de la température du sol, leur rôle dans les instabilités gravitaires et enfin leur influence dans le bilan hydro-sédimentaire des rivières.

### ***Evolution des températures dans les reliefs montagneux***

Dans la plupart des montagnes du monde, le réchauffement depuis le début de l'ère industrielle est bien plus marqué que celui enregistré à l'échelle mondiale (Pepin et al., 2015) : Ainsi, depuis 1900, le réchauffement moyen de la planète a été estimé à 0,8°, alors que le réchauffement dans les Alpes a été supérieur à 1.5° (*Figure 2*).

Cette évolution à la hausse se poursuivra quel que soit le scénario climatique envisagé à l'échelle mondiale (IPCC, 2014): pour le scénario le plus pessimiste (RCP 8.5, sans politique climatique), le réchauffement entre 1900 et 2100 pourrait atteindre 7.5° dans les Alpes (Taylor et al., 2012). Un scénario plus optimiste, avec une politique climatique visant à stabiliser les concentrations en CO<sub>2</sub>, (scénario RCP 6), conduirait à un réchauffement de 3,5° dans les Alpes. Dans tous ces scénarios, il apparaît que le réchauffement alpin sera près de deux fois le double du réchauffement moyen mondial et que le réchauffement sera plus marqué l'été que l'hiver.

Du point de vue précipitations, les tendances sont moins claires avec cependant un renforcement du taux de précipitations extrêmes et une possible augmentation des épisodes de sécheresse (Drias, 2019).

### ***Recul des glaciers***

Les glaciers présentent des fluctuations très importantes sous l'effet des variations climatiques. Ainsi depuis ~10 000 ans (Holocène), les glaciers alpins ont subi de fortes oscillations avec des retraits glaciaires très marqués. Par exemple, les glaciers du massif des Grandes Rousses ont été plus réduits qu'aujourd'hui durant plus de la moitié de l'Holocène (Simonneau et al., 2014).

En opposition, la période du Petit Age Glaciaire, entre le 14<sup>ème</sup> siècle et le milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, apparaît comme l'un des événements froids les plus importants de l'Holocène avec une avancée importante des glaciers (Holzhauser et al., 1999). Depuis la fin de ce Petit Age Glaciaire, les glaciers ont subi une très forte récession qui se traduit par une réduction de leur épaisseur moyenne et de leur extension. Dans les Alpes, les glaciers français ont ainsi perdu 50% de leur surface entre 1850 et 2006 (Gardent, 2014).

Depuis 1982, la perte de volume est constante et se produit à un rythme spectaculaire, supérieur à tous ceux estimés pour toutes les périodes précédentes. Si ces fluctuations sont reliées au climat, elles sont également influencées par d'autres paramètres dépendant de la dynamique de l'écoulement des glaciers. Aussi, la position du front d'un glacier réagit avec un temps de réponse de plusieurs années ou plusieurs décennies par rapport aux variations climatiques.

Des modélisations de l'évolution future de la Mer de Glace montrent ainsi que le recul actuel se poursuivrait à une vitesse à peine plus faible qu'actuellement pendant au moins une vingtaine d'années si les températures et précipitations se stabilisaient au niveau actuel. Compte tenu de l'accroissement prévu des températures, ces modélisations indiquent plus probablement une légère augmentation de la vitesses de recul sans les prochaines décennies (Vincent et al., 2014).

### ***Réchauffement du sol permafrost et stabilité/instabilité des parois***

Les parois et les sols en haute montagne sont caractérisés, à partir d'une certaine altitude, par une température constamment négative en profondeur : c'est un permafrost. Sous l'effet du réchauffement climatique, le sol se réchauffe et ce permafrost a tendance à disparaître.

Ainsi des modélisations couplant le résultat de scénarios climatiques et de modélisations thermiques de l'évolution du sol (Magnin et al., 2016) prévoient que les parois de très hautes altitudes, tel le versant sud du Mont-Blanc, seront affectées d'ici la fin du siècle par un réchauffement supérieur à 6°C, conduisant à des dégels de surface, phénomènes ici probablement inconnus depuis des millénaires (**Figure 3**).

Ce réchauffement de la couche de surface du permafrost tend à déstabiliser les parois car le dégel de la glace fait disparaître un élément qui soude les blocs entre eux (Dobinski, 2011). Ainsi les récents épisodes de canicules en 2003 et 2015, caractérisés par une absence de regel nocturne, ont été ponctués par un accroissement considérable (plus de 5 fois plus) du nombre d'écroulements de parois (Ravanel et al., 2017). Compte tenu de l'augmentation probable des événements caniculaires, ces accroissements épisodiques des écroulements devraient se répéter d'ici la fin du 21<sup>ème</sup> siècle. De plus les successions de dégel/regel tendent à accentuer la fracturation par cryoclastie et fragilisent à terme les versants (Hales and Roering, 2007).

Par ailleurs la récession des glaciers libère de nouveaux versants. Ceux-ci subissent une décompression et sont susceptibles d'être affectés par des instabilités gravitaires. Cependant le cas de l'écroulement, encore actuellement actif et bien documenté, de Séchilienne (Isère) suggère que c'est aussi les précipitations qui favorisent les grands mouvements gravitaires dans les vallées (Swartz et al., 2017) : en effet, son évolution débute durant l'optimum climatique holocène et non lors du retrait glaciaire. De même l'effondrement en 2016 du Mont Granier (Savoie) succède à une suite sécheresse/fortes précipitations (Ravanel et al., 2016) .

### ***Flux hydro-sédimentaire et érosion***

Le bilan hydrologique des rivières de montagne est affecté par le réchauffement climatique. Celui-ci a deux effets antagonistes: l'accroissement des débits lié à la fonte des glaciers est contrebalancé par la diminution de leur extension. Il semblerait que pour le bassin du Rhône, le débit issu de la fonte des glaciers a déjà atteint son maximum et ne fera que diminuer dans l'avenir. Cette diminution sera particulièrement sensible pour les mois d'août, avec une diminution du débit total du Rhône qui pourrait excéder 10% à la fin du 21<sup>ème</sup> siècle, alors que l'événement de printemps (juin) serait cependant accru (Huss and Hock, 2018).

La charge en sédiment fournie par les glaciers est liée à l'évolution climatique mais reflète surtout la complexité des processus d'érosion sous glaciaire : lorsque la vitesse des glaciers diminue sous l'effet de leur récession, l'érosion basale a tendance à diminuer ; cependant l'évolution des pressions de fluide conduit à des érosions sous glaciaires localisées (Herman et al., 2011). Par ailleurs, le réchauffement progressif de la masse glaciaire (Gilbert and Vincent, 2013) diminue la surface couverte de glace froide ( $T < 0^\circ$  à la base) qui joue un rôle de protection vis-à-vis de l'érosion (Godon et al., 2013).

Les flux sédimentaires à l'aval des glaciers sont influencés à la fois par la récession des glaciers qui dégage des nouvelles sources sédimentaires dans les versants et par l'allongement des systèmes torrentiels le long desquels des zones de stockage des sédiments peuvent, au moins temporairement, apparaître (Guillon et al., 2018).

Si les moraines constituent initialement des zones particulièrement instables, leur stabilisation se produit relativement rapidement (en quelques dizaines d'années) et l'absence d'une forte connectivité entre système torrentiel et moraines conduit à une érosion habituellement limitée de ces dernières (Berthet, 2016).

Cependant, les événements hydrologiques extrêmes jouent actuellement un rôle essentiel en remobilisant les stocks sédimentaires déposés le long des systèmes torrentiels, parfois sous forme de laves torrentielles. Ainsi 1000 laves torrentielles sont décrites dans les Alpes depuis 1950 (Pavlova et al., 2014) et leur analyse indique que la probabilité annuelle d'occurrence est dépendante du nombre de jours de précipitation et de la moyenne des maximum de température (**Figure 4**). Compte tenu du

réchauffement climatique, ces événements hydro-sédimentaires extrêmes sont donc susceptibles de jouer un rôle encore plus grand à l'avenir.

### ***Un défi pour le 21<sup>ème</sup> siècle***

Toutes ces évolutions morphologiques et hydrologiques ont des implications importantes sur le développement durable des zones de montagne car elles affectent leur attractivité touristique et accroissent les risques naturels dans ces zones. Les évolutions de ces processus sont le plus souvent observées et archivées depuis le 19<sup>ème</sup> siècle. Actuellement, de nombreux services de l'état continuent le recueil et l'analyse de données les concernant. Ce travail d'observation nécessite de la part de la communauté scientifique un investissement régulier à long terme et aux retombées à un horizon qui se compte souvent en dizaines d'années. Ce travail d'observation est pourtant indispensable comme base pour contraindre les modélisations qui permettent d'affiner la compréhension des mécanismes et d'augmenter la fiabilité des prévisions de leur évolution durant le 21<sup>ème</sup> siècle. La diffusion de ces résultats scientifiques est nécessaire pour nourrir la réflexion sur les choix qui permettront une meilleure résilience sociétale face au réchauffement climatique.

### ***Bibliographie***

- Berthet, J., 2016. l'évolution géomorphologique des systèmes torrentiels proglaciaires dans la vallée de Chamonix, Thèse communauté Grenoble-Alpes. 302 p.
- Dobinski, W., 2011. Permafrost. *Earth Sci. Rev.* 108:158–169. <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.06.007>.
- Drias, 2019. Les futurs du climat, projections climatiques pour l'adaptation de nos sociétés, <http://www.drias-climat.fr/>
- Hales, T.C., Roering, J.J., 2007. Climatic controls on frost cracking and implications for the evolution of bedrock landscapes. *J. Geophys. Res.* 112, F02033. doi:10.1029/2006JF000616.
- Herman et al., 2011. Glacial hydrology and erosion patterns: A mechanism for carving glacial valleys. *Earth and Planetary Science Letters* 310, 498–508.
- Holzhauser, H., Zumbühl H., 1999. Glacier fluctuations in the Western Swiss and French Alps in the 16th century. *Climatic Change* 43: 223-237.
- Huss M., Hock, R., 2018. Global-scale hydrological response to future glacier mass loss , nature climate changes, <https://doi.org/10.1038/s41558-017-0049-x>
- IPCC, 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* IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Gardent M., 2014. Inventaire et retrait des glaciers dans les alpes françaises depuis la fin du Petit Age Glaciaire. *Géographie*. Thèse Université de Grenoble.
- Godon, C. et al., 2013, The Glacier des Bossons protects Europe's summit from erosion, *Earth and Planetary Science Letters.* 375, 135-147.
- Guillon H. et al., 2018. Separating subglacial and proglacial inputs to the sediment export of a glaciated catchment using high-resolution monitoring (Bossons glacier, Mont-Blanc massif, France). *Earth Surface Process and Landform.* <https://doi.org/10.1002/esp.4333>.
- Gilbert, A., Vincent, C., 2013. Atmospheric temperature changes over the 20th century at very high elevations in the European Alps from englacial temperatures. *Geophysical Research Letters*, 40(10), 2102–2108.
- Herman et al., 2011. Glacial hydrology and erosion patterns: A mechanism for carving glacial valleys. *Earth and Planetary Science Letters* 310, 498–508
- Magnin et al., 2016. Modelling rock wall permafrost degradation in the Mont Blanc massif from the LIA to the end of the 21st century. *The Cryosphere Discussion*, doi:10.5194/tc-2016-132
- Pavlova, I. et al., 2014. Debris flow activity related to recent climate conditions in the French Alps: A regional investigation. *Geomorphology*, 219 (4), pp.248 - 259.
- Pepin N et al.. 2015. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. *Nature Climate Change* 5, 424-430.

Ravanel L. et al., 2016, The small rock avalanche of January 9, 2016 from the calcareous NW pillar of the iconic Mont Granier. Fiche de synthèse International symposium rock slope stability 2016 – proceedings, 15-17 november 2016 Lyon

Ravanel L. et al., 2017. Impacts of the 2003 and 2015 summer heatwaves on permafrost-affected rock-walls in the Mont Blanc massif. *Science of the Total Environment*. 609 (2017) 132–143.

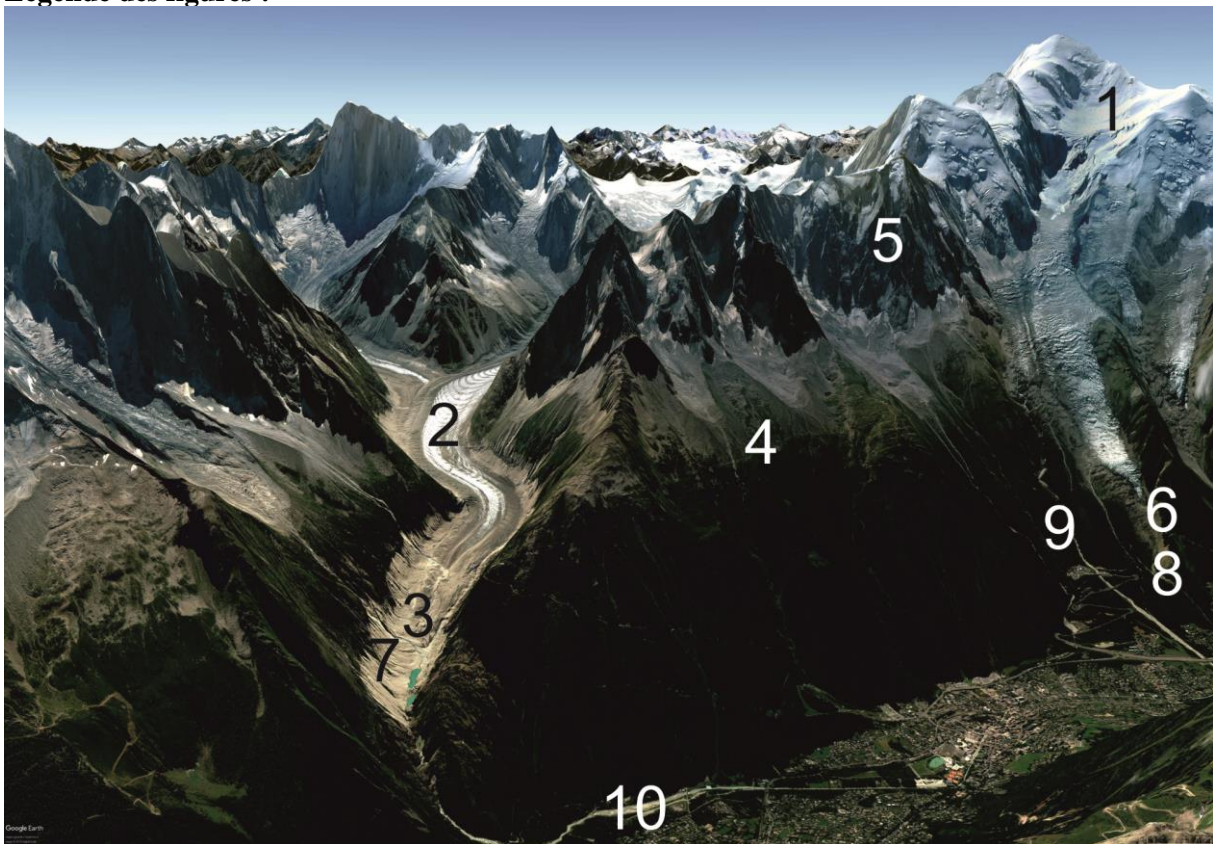
Simonneau A. et al., 2014. Tracking Holocene glacial and high-altitude alpine environments fluctuations from minerogenic and organic markers in proglacial lake sediments (Lake Blanc Huez, Western French Alps). *Quaternary Science Reviews*. 89, 27-43

Swartz S. et al., 2017. Cosmic ray exposure dating on the large landslide of Séchilienne (Western Alps): A synthesis to constrain slope evolution. *Geomorphology*

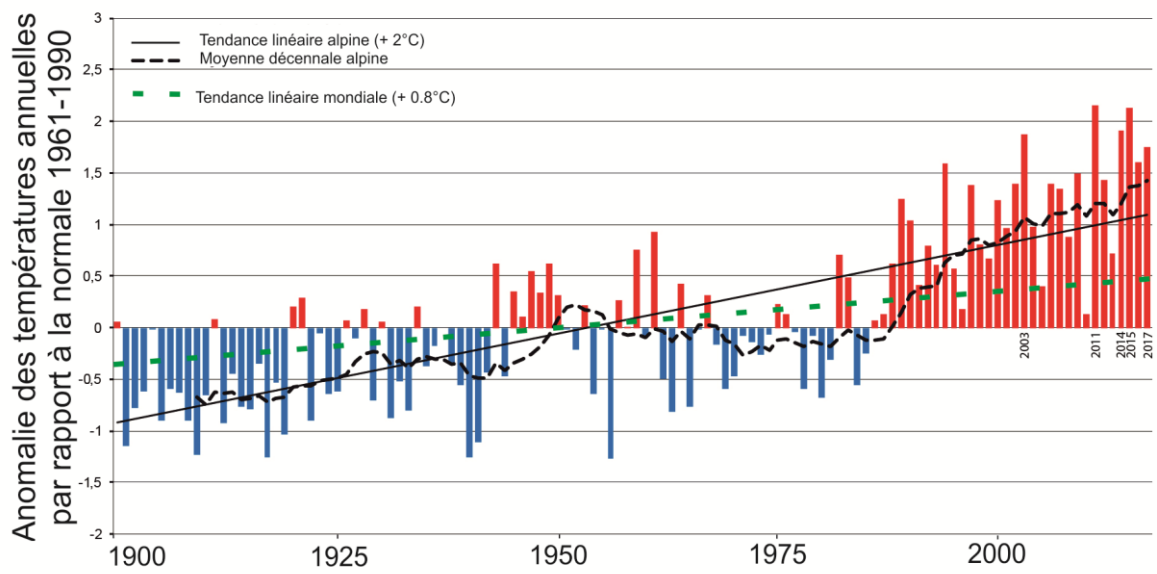
Taylor, K.E., et al., 2012. An Overview of CMIP5 and the experiment design.” *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 485-498.,

Vincent et al., 2014 Future fluctuations of Mer de Glace, French Alps, assessed using a parameterized model calibrated with past thickness changes. *Annals of Glaciology* 55.

### Légende des figures :

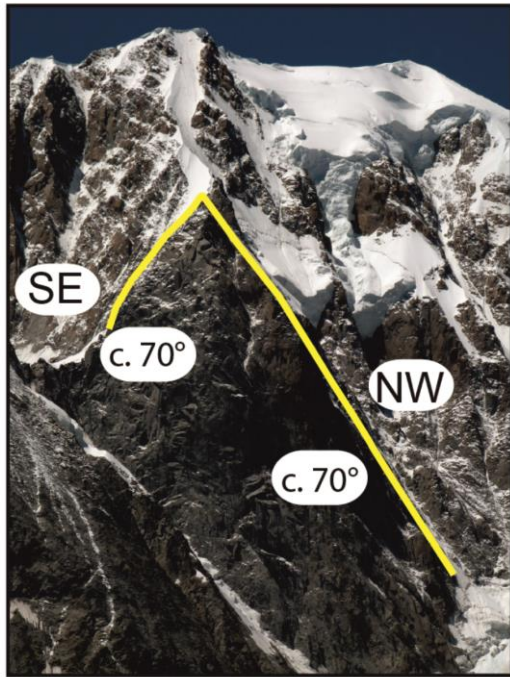


**Figure 1 :** Influence du réchauffement climatique sur la montagne (Fond Google Earth). Concernant les glaciers: 1- réchauffement de la glace ; 2- diminution de la vitesse d'écoulement ; 3- recul du front. Concernant le permafrost: 4- réchauffement général du sol ; 5- augmentation du nombre d'écroulements lié au dégel de la couche superficielle. Concernant les flux sédimentaires: apparition de nouvelles sources sédimentaires incluant : 6- les écroulements par décompression des versants et 7- les moraines ; de plus, de 8- nouvelles zones de piégeage se développent, parfois 9- temporaires avec libération possible des sédiments lors d'événements hydrologiques extrêmes et/ou de laves torrentielles. Du point de vue hydrologique: 10- l'augmentation des débits due à la fonte est contrebalancée par la diminution des surfaces englacées.

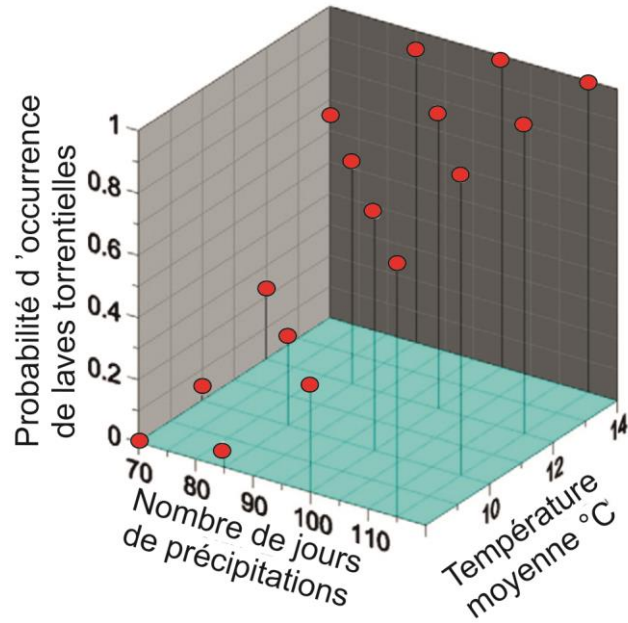
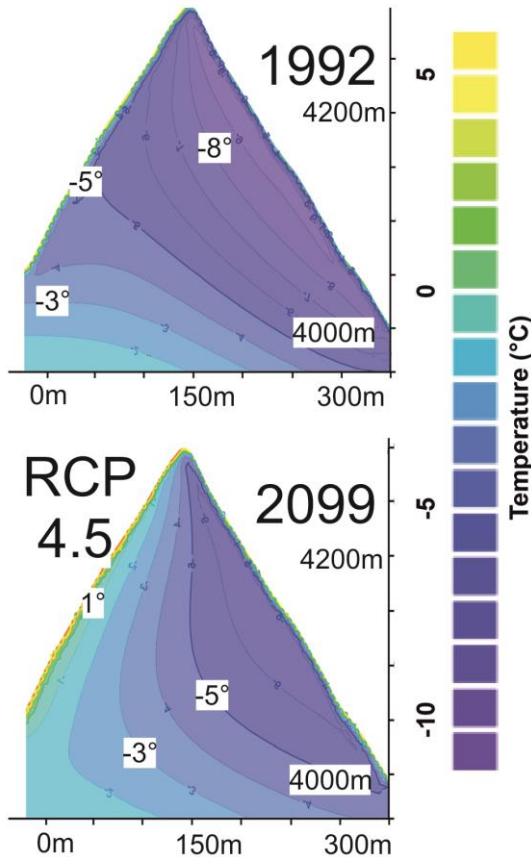


**Figure 2 :** Evolution des températures dans les alpes depuis le début du 20eme siècle, comparée à l'évolution moyenne mondiale (Données HISTALP MétéoFrance, adapté de OSGC-MDP73).





**Figure 3:** Modélisation de l'évolution de la température du sol dans la face sud du Mont Blanc (pilier d'angle ; d'après Magnin et al., 2016). Entre la fin du 20<sup>ème</sup> siècle et la fin du 21<sup>ème</sup> siècle, la température des parois sud augmenterait de +6°C, même dans le cas d'un scénario optimiste.



**Figure 4:** Influence du nombre de jours de précipitation et de la moyenne des maximum de température sur la probabilité annuelle d'occurrence de coulées de boue dans les Alpes du Nord (Analyse de la période 1970-2005, d'après Pavlova et al., 2014).