

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Band:** 97 (2018)

**Artikel:** Histoire et évolution des glaciers de la vallée de Chamonix  
**Autor:** Lehmann, Benjamin  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-813324>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.10.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Rétrospective

Par

Benjamin LEHMANN

### Histoire et évolution des glaciers de la vallée de Chamonix

#### Bulletin d'observation glaciaire il y a 150 ans

« Il y a 10 ans, lorsque je plantai mes premiers jalons pour étudier le mouvement du glacier des Bois, il était à 200 mètres de la pierre qui porte la date de 1826, il avait donc pendant les 29 ans fait une retraite moyenne de 7 mètres environ par an. » C'est ainsi que le naturaliste chamoniard, Venance Payot décrit il y a 150 ans le retrait du Glacier du Bois, la Mer de Glace comme on l'appelle maintenant (PAYOT 1868). La pierre dont il fait la référence fut placée en 1826 pour matérialiser le plus grand développement du glacier durant le siècle. Ce fut le dernier sursaut glaciaire d'une époque plus froide en Europe entre 1350 et 1850 : le Petit Âge Glaciaire. Cette période propice au développement des glaciers fut la plus grande poussée glaciaire depuis la fin de la dernière glaciation, il y a 11 000 ans. Les glaciers alpins entamèrent par la suite un inexorable recul.

#### L'origine de la glaciologie

L'intérêt scientifique pour ces géants alpins fut d'abord stimulé par la crainte plus que par la curiosité. En mai 1595, la rupture d'une poche de glace du glacier du Giétroz situé dans le Val de Bagnes, à la hauteur de l'actuel barrage de Mauvoisin, détruisit plus de 500 bâtiments et tua 140 personnes. Une autre catastrophe historique survint après un éboulement au prin-



Figure 1. Le lac de Mauvoisin et glacier du Giétroz en 1818 (gietroz1818.ch)



Figure 2. Bloc erratique « La Pierre à Cambot » à Lausanne, canton de Vaud en Suisse. Photo L. Péron (wikimedia.org)

temps 1818, les blocs de glace bloquèrent les eaux de la Dranse et créèrent un barrage naturel. Un lac de 60 mètres de profondeur pour 3,5 km de longueur se forma en amont. Le 16 juin 1818, il se déversa brutalement ses 20 millions de mètres cube dans la vallée de la Dranse de Bagnes (figure 1). L'inondation et les blocs de glace atteignirent Martigny en 90 minutes et provoquèrent la mort de 44 personnes ainsi que de nombreux dégâts dans la région. La préoccupation engendrée par ces catastrophes glaciaires répétées mena à la réalisation de premières études scientifiques sur les glaciers. Il fallait les comprendre pour mieux s'en protéger.

La découverte de blocs de roches de provenances éloignées et donc qualifiés d'erratiques stimula aussi l'étude des glaciers. La taille des blocs, leur nature contradictoire avec leur environnement et leurs positions inexplicables par des processus géomorphologiques connus avaient intrigués les géologues. L'existence de ces blocs fut d'abord interprétée comme une preuve biblique du déluge. Louis Agassiz fut le premier à défendre la « théorie glaciaire » (AGASSIZ 1837). Il défendit durant le fameux « discours de Neuchâtel » et devant l'Académie helvétique des Sciences naturelles que les énormes accumulations de blocs erratiques avaient été formés par une ancienne extension glaciaire (figure 2). Dès lors l'intérêt scientifique pour les glaciers alpins ne fut que croissant.

### Les glaciers alpins en chiffres

En 2017, les glaciers d'Europe centrale et d'Europe de l'Ouest représentaient une surface de 2000 km<sup>2</sup> (WGMS report, 2017). La plus grande partie de ces glaces est située dans les Alpes et le Grosser Aletschgletscher en Oberland bernois suisse est le plus grand. Les Alpes représentent le château d'eau de l'Europe et sont la source des bassins versants de la Mer Méditerranée, la Mer du Nord, le Nord de l'Océan Atlantique ainsi que la Mer Noire.

Dans le massif du Mont-Blanc, les glaciers couvrent une superficie de 145 km<sup>2</sup>, dont 105 km<sup>2</sup> en France. Il abrite plus de 101 glaciers dont 15 glaciers de plus de 5 km<sup>2</sup> et parmi eux la Mer de Glace (34 km<sup>2</sup> et 11 km de longueur). Le volume d'eau solide des glaciers représente approximativement 12 km<sup>3</sup> (figure 3).

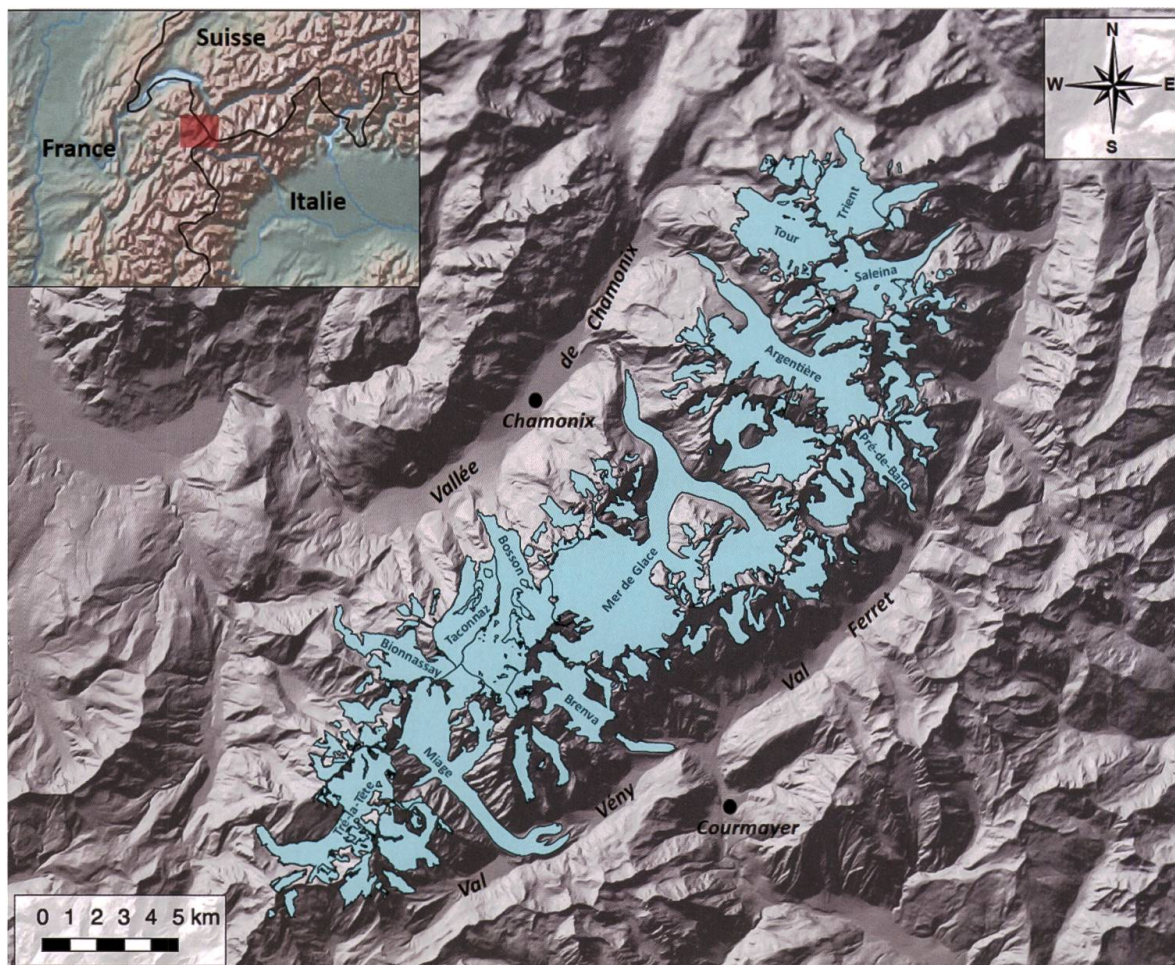


Figure 3. Étendue des glaciers du massif du Mont-Blanc. L'étendue des glaces a été téléchargée à partir de la base de données GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space, RAUP *et al.*, 2007). Les étendues de glace de Suisse ont été produites à partir d'images de 2011 par SMIRAGLIA *et al.* (2015). Les étendues de glace d'Italie ont été produites à partir d'images de 2009 par FISCHER *et al.* (2015). Les étendues de glace de France ont été produites à partir d'images de 2004 par RABATEL *et al.* (2016).

Cela est bien peu par rapport aux glaciers de l'Antarctique (26 millions de km<sup>3</sup>), du Groenland (4 millions de km<sup>3</sup>), ou de l'ensemble des glaciers alpins (115 km<sup>3</sup>). Si l'Antarctique venait à fondre en totalité, le niveau des mers remonterait de 60 mètres et de 7 mètres pour la fonte du Groenland. La contribution de la fonte des glaciers du Mont-Blanc serait, elle, inférieure à 1 centimètre.

### L'histoire de l'étude des glaciers dans le Mont-Blanc

Dans le massif du Mont-Blanc, un événement décisif se produisit en 1741. Deux anglais, William Windham et Richard Pocke entreprirent un voyage à Chamonix, voyage motivé par la visite des « glacières » (le mot « glacier » étant encore inconnu). Guidés par les cristalliers, ancêtres des guides de Chamonix, ils atteignirent en quelques heures le site du Montenvers et découvrirent la « grande vallée de glace ». Windham en fit une description qui resta dans les mémoires « Il faut vous imaginer votre lac [le Léman] agité d'une grosse brise et gelé tout d'un coup. Encore ne sais-je si cela ferait précisément le même effet ». De cette comparaison est née l'expression « Mer de Glace », qui sera reprise pratiquement dans les mêmes termes d'un voyageur à l'autre. Cet événement marqua le début du tourisme alpin.

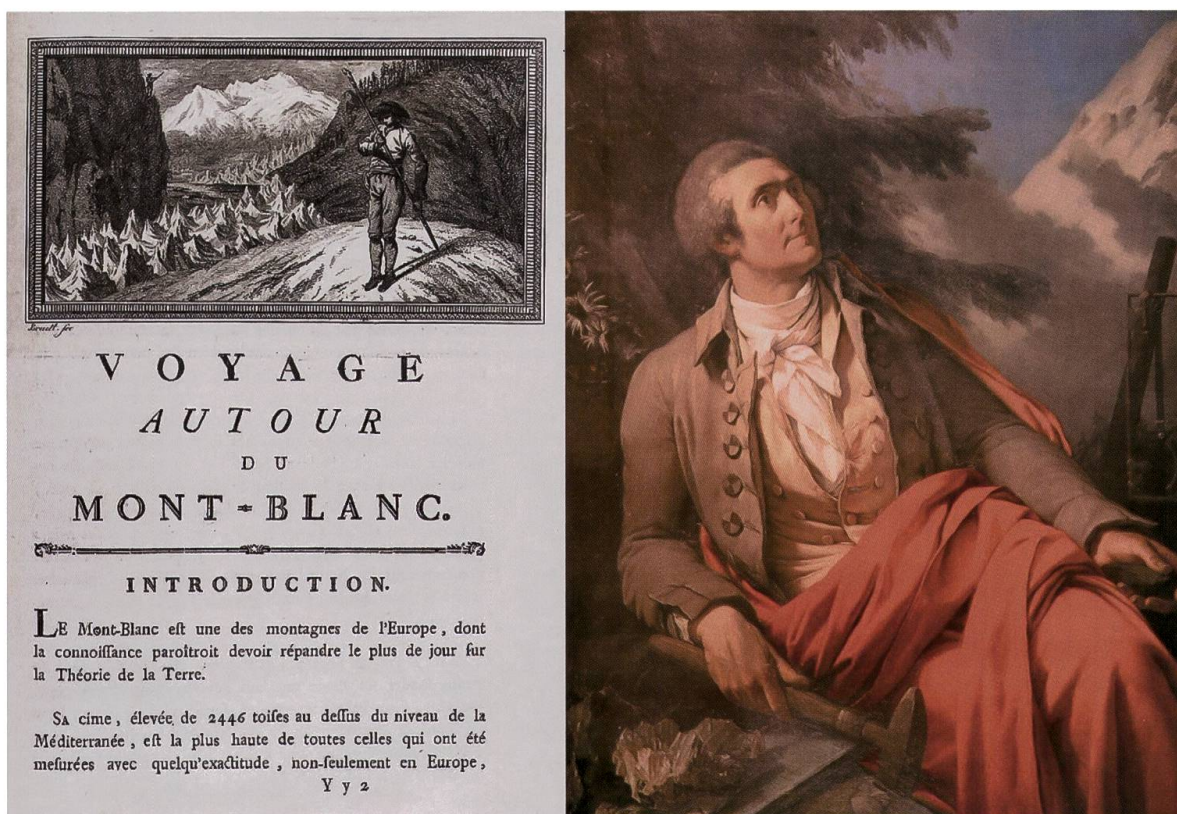


Figure 4. À gauche la première de couverture de l'œuvre de H.-B. de Saussure. À droite, son portrait peint par Saint-Ours en 1796 (glaciers-climat.com).

Un autre personnage historique marqua l'exploration des glaciers du Mont-Blanc fut Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799). Il peut être considéré comme le premier et, en quelque sorte, le plus grand savant de la montagne. De Saussure avait une réelle passion pour les montagnes, mais ses excursions étaient avant tout justifiées par la poursuite de la science. En parcourant de nombreuses régions des Alpes, de Saussure influença et stimula l'exploration et l'étude des milieux alpins. Son ouvrage « Voyages dans les Alpes » (de Saussure, 1779-1796), dont le premier volume parut en 1779, est devenu rapidement un classique (figure 4). Il fournit une quantité inégalée d'informations et d'observations sur la topographie, la géologie, les glaciers et la météorologie des Alpes.

En 1842, le physicien James David Forbes s'est établi sur la Mer de Glace et débuta une longue série de mesures du mouvement et de la température de la glace. C'est véritablement à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle que commencèrent les mesures systématiques. En France, de 1891 à 1899, Joseph Vallot mesura la vitesse de la glace sur la langue terminale de la Mer de Glace avec une ligne de pierres peintes. Cette méthode de relevés fut ensuite adoptée par les Eaux et Forêts de 1907 à 1960, fournissant une base de données unique sur un demi-siècle pour les changements de forme et d'écoulement des glaciers.

En raison de la facilité d'accès aux glaciers depuis la vallée de Chamonix, le massif du Mont-Blanc a vu se succéder des glaciologues de toutes nationalités. Les Liboutry, Reynaud, pour ne citer qu'eux, étudièrent les phénomènes glaciaires les plus variés. Depuis les années 1960, l'Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE) de Grenoble a pris la suite.

## Qu'est-ce qu'un glacier ?

Un glacier est un système pérenne à l'échelle humaine, stock d'eau solide (neige, névé, glace). Il se renouvelle continuellement, par le jeu combiné de l'accumulation (chutes de neige, neige apportée par le vent ou par les avalanches) en amont et de l'ablation à l'aval (fonte). Il s'écoule en permanence sous l'effet de son poids, des parties hautes, où l'accumulation l'emporte, vers les parties basses, où l'ablation domine (figure 5). L'altitude à laquelle l'accumulation égale l'ablation, où le bilan de masse entre le gain et la perte est nul, correspond à la ligne d'équilibre.

Dans la zone d'accumulation, l'apport de neige se transforme en glace. Les gels et dégels successifs compactent et arrondissent rapidement les cristaux de neige initiaux tandis que la porosité diminue. L'eau de fonte superficielle percole vers les couches inférieures et contribue au changement d'état de la neige, à sa métamorphose. La densité évolue de 0,04 à 0,40 pour la neige de saison, entre 0,5 et 0,7 pour une neige de névé et enfin de 0,84 à 0,90 pour la glace. En profondeur de la Mer de Glace, la glace a un âge supérieur à 100 ans. Suivant les conditions de pressions, de températures et les contraintes, les cristaux de glaces, tout petits au départ, vont croître d'environ un à deux dixièmes de millimètres par an, atteignant ainsi au cours du temps des tailles de plusieurs centimètres.

En dessous de la ligne d'équilibre, la glace apparaît à nu : la fonte annuelle devient plus importante que l'accumulation. Dans les Alpes, la position de cette ligne d'équilibre va dépendre de l'exposition et du vent mais est principalement contrôlée par la quantité de précipitation hivernale et par les températures estivales (OERLEMAN 2005).

Le rapport entre la surface de la zone d'accumulation d'un glacier et sa surface totale détermine l'état de santé du glacier. Il est couramment admis que si les deux tiers de la surface du glacier se situent en zone d'accumulation, le glacier est en équilibre climatique. Les mesures effectuées ces quinze dernières années dans les Alpes montrent que, en moyenne, seulement 30

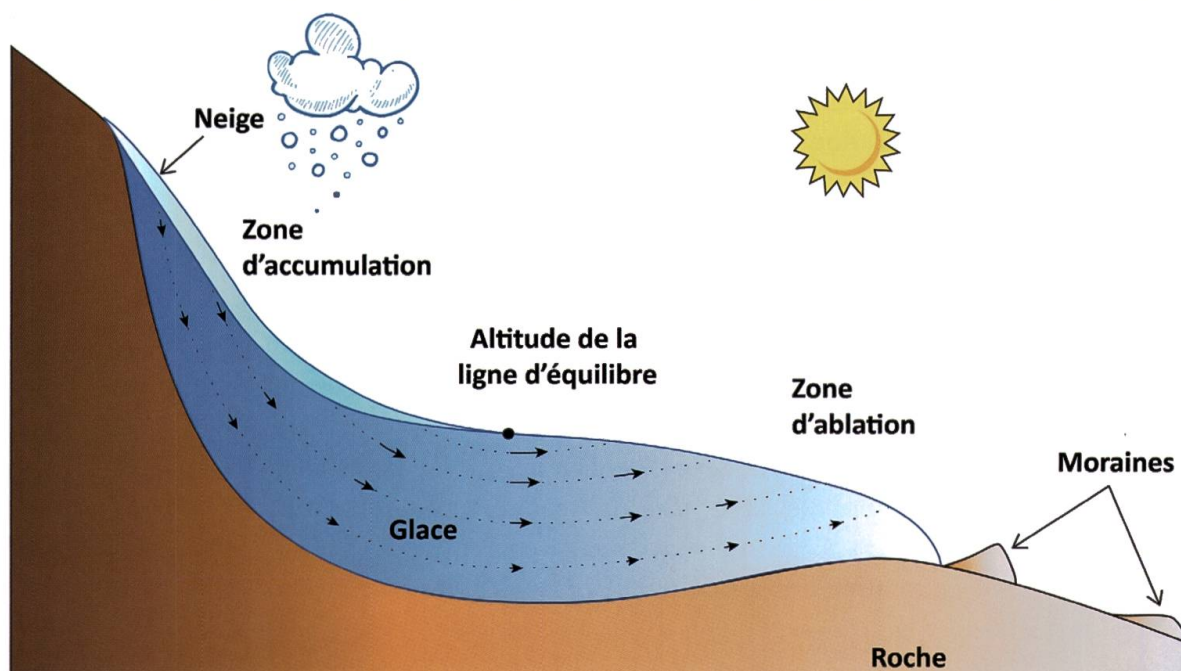


Figure 5. Coupe schématique d'un glacier. Les flèches représentent les vecteurs de vitesse d'écoulement. La glace est formée dans la zone d'accumulation à partir de la compaction de couches de neige. La glace disparaît dans la zone d'ablation. L'altitude de la ligne d'équilibre représente l'altitude où l'accumulation équivaut à l'ablation.

à 40 % de la surface totale des glaciers alpins est située en zone d'accumulation, démontrant la tendance inéluctable à la baisse de volume des glaciers.

Le bilan de masse d'un glacier tient compte, d'une part, de la quantité de glace accumulée, exprimée en hauteur d'eau et provenant des chutes de neige, et d'autre part de la quantité de glace perdue, elle aussi exprimée en hauteur d'eau, et principalement due à la fonte estivale. À une altitude de 2 890 m au-dessus du niveau marin et sur la période de 1995 à 2011 (RÉVEILLET *et al.* 2017), la plupart des précipitations ont lieu sous forme solide sur le glacier d'Argentière. À partir de juin, la fusion estivale commence. Il reste en moyenne 3 à 4 m au col du Midi à 3 500 m représentant une accumulation équivalente à 2 m d'eau.

Il doit être mesuré tous les ans afin de connaître l'état de santé du glacier. La méthode classique consiste à mesurer l'émergence de balises implantées dans la glace en zone d'ablation. Ces balises permettent de connaître la quantité de glace perdue mais aussi de mesurer le déplacement annuel du glacier. En zone d'accumulation, les mesures sont faites par pesée d'une carotte de neige subsistant à la fin de l'été. Toutes ces mesures sont converties en équivalence de hauteur d'eau. Au gain de la zone d'accumulation est soustrait la perte de la zone d'ablation. Si le bilan est positif, la ligne d'équilibre s'abaisse et, par conséquent, la masse du glacier augmente, ce qui se traduira après un laps de temps variable par une avancée du front du glacier. Si le bilan est négatif, le front du glacier recule, là aussi avec un certain décalage temporel. Le suivi annuel des bilans de masse constitue donc un indicateur fiable des modifications climatiques. C'est le cas depuis plus d'un demi-siècle pour la Mer de Glace et le glacier d'Argentière car la reconstitution historique de leurs variations a été possible.

L'étude du bilan de masse et plus généralement des glaciers a vécu une révolution technologique durant cette dernière décennie avec l'apparition de modèles numériques de terrain de haute précision. Ces modèles représentent numériquement la géographie d'une zone spécifique où à chaque pixel est attribué une latitude, une longitude et une altitude. La comparaison de modèles numériques de terrain de différentes époques permet d'étudier l'évolution de volumes au cours du temps. Le développement technologique de la dernière décennie a révolutionné les techniques de télédétection. Cette pratique d'acquisition à distance de données environnementales peut être effectuée depuis l'espace grâce aux satellites, depuis le ciel grâce à des avions ou des drones, ou depuis le sol en utilisant des caméras ou des lasers.

### **Le Petit Âge Glaciaire**

Le Petit Âge Glaciaire (en anglais Little Ice Age) s'étendant de 1350 à 1850 après J.-C, et est caractérisé par la plus importante récurrence glaciaire des temps postglaciaires, avec quatre maxima : vers 1350, 1600, 1820 et 1850.

Cette période climatique froide a touché l'ensemble du globe et se caractérise par des avancées successives des glaciers, auxquelles correspondent plusieurs minima de températures moyennes très nets (1 à 1,5 °C de moins qu'aujourd'hui). Elle succède à l'optimum climatique médiéval. Elle est contemporaine d'une série d'hivers froids et d'étés frais. Ce refroidissement général est probablement la conséquence d'une période de faible activité solaire. Les études récentes de l'Institut des Géosciences de l'Environnement de Grenoble (IGE) et de l'École Polytechnique Fédérale de Zurich (ETHZ) nous éclairent sur les causes de ces avancées glaciaires. Elles suggèrent qu'elles seraient plutôt dues à une augmentation notable des précipitations qu'à une baisse des températures. Ainsi, les crues glaciaires seraient la conséquence d'une

hausse de plus de 25 % des chutes de neige, tout particulièrement durant la première partie du Petit Âge Glaciaire. Cette situation a généré des bilans de masse positifs et, en conséquence un important développement des langues glaciaires.

Dans les Alpes, les traces du Petit Âge Glaciaire sont généralement bien soulignées par les immenses moraines latérales bâties ou simplement rechargées à cette époque, ainsi que par quelques moraines frontales situées à l'aval.

Dans le cas de La Mer de Glace, ou plutôt le Glacier des Bois comme il était nommé à l'époque, l'avancée maximale du front glaciaire est matérialisée par la pierre gravée 1926 mentionnée par Venance Payot en introduction. Un lent recul va ensuite débiter. Mais à partir de 1840, le Glacier des Bois progresse de nouveau et atteint une nouvelle position extrême en 1852. C'est à partir de 1870 qu'intervient le grand recul du Glacier des Bois. Après une courte crue en 1890 la langue glaciaire perd plus de 800 mètres en une quinzaine d'années (MOUGIN 1912). La glace se retire dans la gorge de l'Arveyron et disparaît aux yeux des Chamoniards après 1900 (figures 6 et 7).

### L'évolution des glaciers du Mont-Blanc depuis le Petit Âge Glaciaire

L'histoire des glaciers alpins est faite de cycles, pouvant aller de quelques dizaines d'années à de longues périodes, comme le Petit Âge Glaciaire. Amorcé bien avant l'avènement de l'ère industrielle, le recul des glaciers a ensuite été constant, même si des ralentissements ou inversions ponctuelles de tendance au retrait ont été observés au XX<sup>e</sup> siècle. À l'échelle des Alpes,

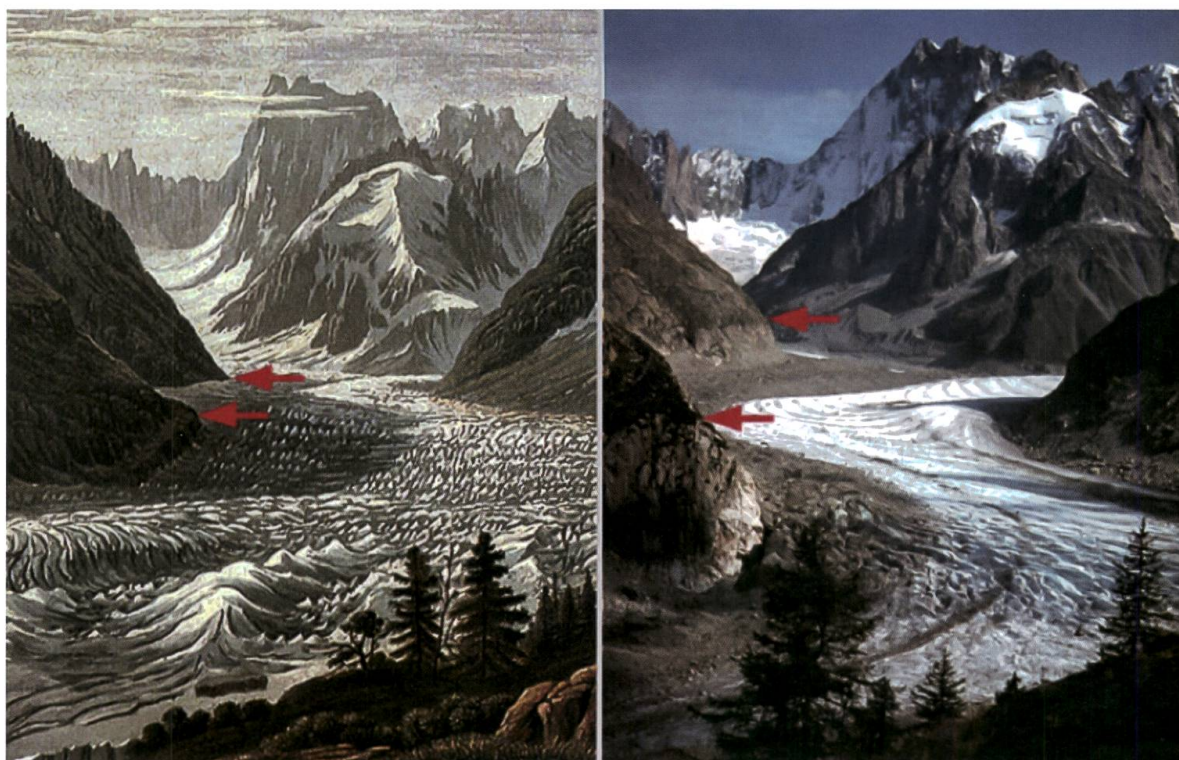


Figure 6. La Mer de Glace vue depuis le Montenvers, massif du Mont-Blanc, Alpes françaises. À gauche, une peinture de Birman juste après le maxima du Petit Âge Glaciaire. La photographie de droite fut prise à la même position en 2000. Les flèches indiquent les mêmes positions sur la marge du glacier, et indiquent le niveau d'abaissement de la surface des glaciers. Peinture de la collection Gugelmann, Bibliothèque nationale suisse, Berne. Photo de M. J. Hambrey, 2000 (swisseduc.ch).



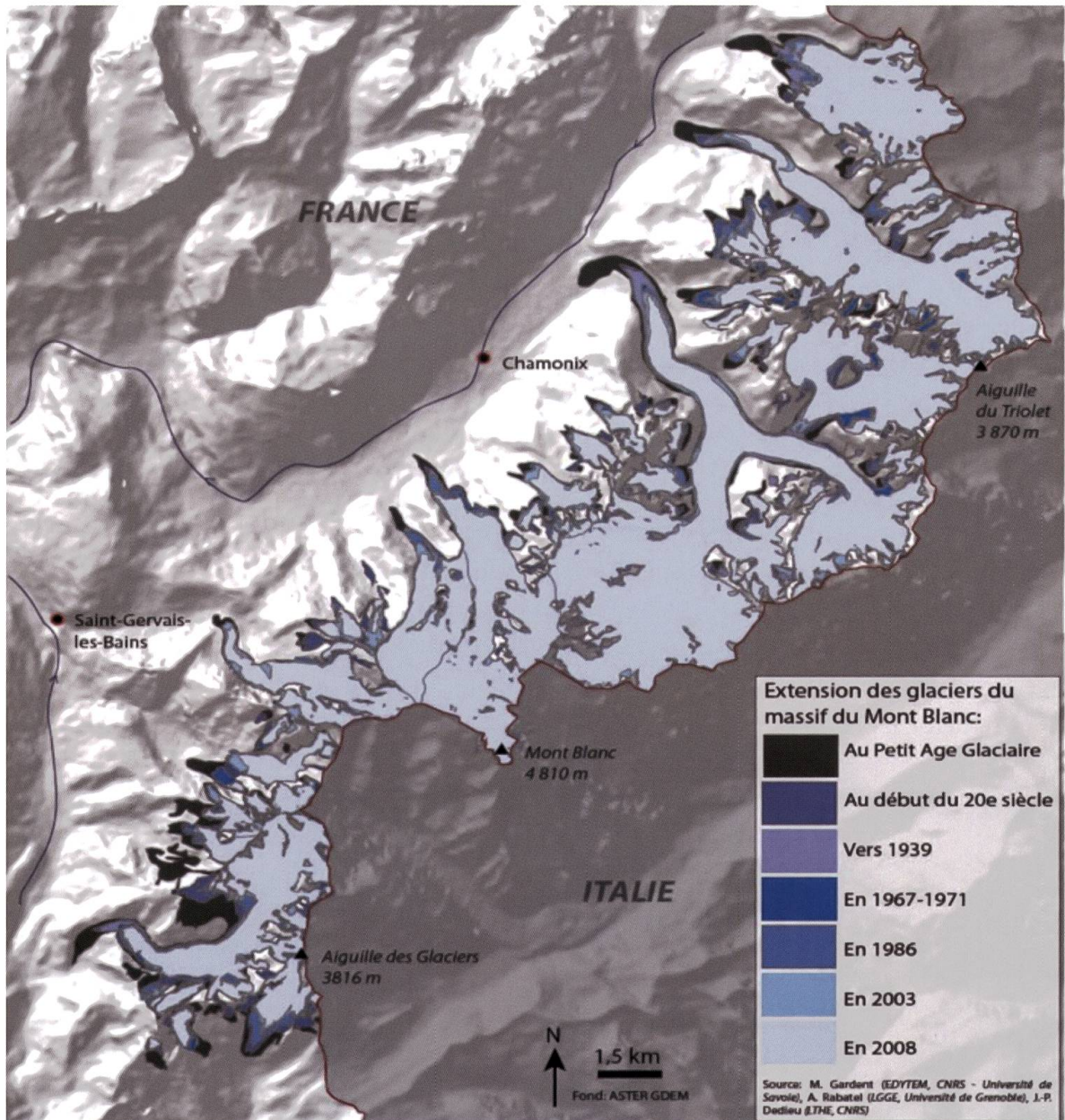


Figure 7. Carte diachronique d'extension des glaciers du massif du Mont-Blanc (GARDEN *et al.* 2014).

les glaciers alpins ont perdu 35 % de leur superficie totale entre 1850 et 1970 et près de 50 % en 2000 (ZEMP *et al.* 2006).

L'analyse des mesures annuelles et des bilans de masse des glaciers du Mont-Blanc depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle montre quatre périodes d'alternance de crues et de décrues glaciaires. Entre le début du XX<sup>e</sup> siècle et 1941, les glaciers alpins français ont perdu régulièrement de leur surface malgré une crue marquée entre 1915 et 1925. Entre 1941 et 1953, les glaciers ont subi des déficits importants à cause de précipitations hivernales réduites et d'importantes ablations estivales. Durant cette décennie, le glacier du Bosson perd 700 m de longueur (figures 7 et 8). Entre 1954 et 1981, les bilans de masse généralement positifs sont responsables d'une importante crue glaciaire (+ 300 m pour le front de la Mer de Glace, + 450 m pour le glacier d'Argentière et + 540 m pour les Bossons). Depuis 1982, les bilans de masse sont en déficit

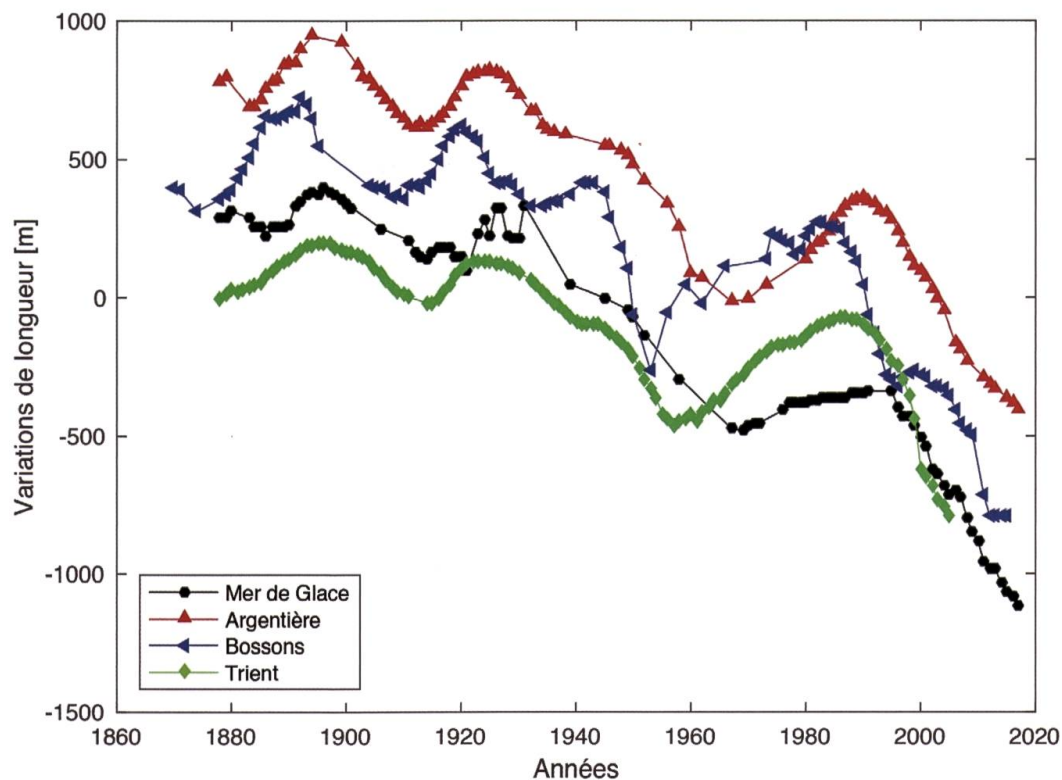


Figure 8. Évolution du front des glaciers de la Mer de Glace, d'Argentière, des Bossons et du Trient dans le massif du Mont Blanc (données Glacioclim).

(hormis deux années, 1995 et 2001), à cause d'un niveau élevé d'ablation estivale contrôlé par une augmentation des températures durant l'été (de 1,9 mètres à 2,8 mètres à 2800 m d'altitude).

Ces bilans de masse négatifs sont le reflet d'une élévation de la limite des neiges permanentes, c'est-à-dire de la ligne d'équilibre glaciaire, d'environ 150 m dans les Alpes occidentales, mais variant fortement suivant les régions et les glaciers. À cette élévation en altitude correspond une augmentation de la température moyenne annuelle d'environ 2 °C depuis un siècle à Chamonix (1 °C à l'échelle de la planète).

À la Mer de Glace, le retrait du glacier s'est traduit par une perte d'épaisseur de 190 m en 150 ans au niveau de la gare du Montenvers (figure 8). Malgré tout, cette décrue a été interrompue par quelques avancées au XX<sup>e</sup> siècle, dont la dernière entre 1970 et 1993. Depuis 1993, le recul du glacier n'a fait que s'accélérer (-700 m et une perte d'épaisseur de près de 70 m au niveau de la Grotte de Glace). Un premier lac est apparu au front en 1998 à l'intérieur des moraines déposées par le glacier en 1993, puis le glacier se retirant encore, un deuxième lac s'est formé en 2001 ; le contact de l'eau avec la glace a accéléré encore le recul du glacier. Au glacier des Bossons, le retrait considérable de la langue glaciaire est encore plus démonstratif, car bien visible aux regards des touristes et habitants de la vallée ; il atteint plus d'un kilomètre depuis 1885.

Une étude récente publiée par des chercheurs français de l'Université de Grenoble montre que, depuis 40 ans, la surface des glaciers des Alpes françaises a diminué d'environ 26 % (VINCENT *et al.* 2005).

## Les prédictions

Afin d'étudier l'évolution des glaciers dans le futur, les scientifiques utilisent des simulations numériques à l'aide d'outils mathématiques sophistiqués. Ces modèles numériques permettent alors de reconstruire l'évolution du climat dans le passé et de simuler celle du futur. Ces modèles sont basés sur les connaissances théoriques acquises sur la mécanique des fluides géophysiques, les lois de conservation de l'énergie et de l'eau. Des processus tels que les transferts radiatifs à la surface du glacier et la convection de la glace sont mis en équations. Ces modèles sont évalués sur leur capacité à reproduire le climat du passé et en particulier celui du XX<sup>e</sup> siècle pour lequel on dispose de nombreuses séries météorologiques.

Depuis 1988, Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) est mandaté par l'ONU pour évaluer les informations scientifiques et les impacts socio-économiques potentiels liés au changement climatique. Leurs prédictions sur l'évolution du climat ne sont pas optimistes sur l'avenir des glaciers.

Ils interprètent le dérèglement de climat global comme une conséquence de l'activité anthropique depuis l'ère industrielle à travers une intense production de gaz à effet de serre. Afin de produire des simulations du climat dans le futur et d'évaluer les impacts sur les autres composantes de notre environnement (banquises, glaciers, végétation, niveau des mers etc.), la communauté scientifique s'appuie sur des scénarios d'émission de gaz à effet de serre au cours du XXI<sup>e</sup> siècle dénommées *Representative Concentration Pathway* (RCP) (figure 9). Le scénario RCP2.6, le plus optimiste, correspond à un forçage radiatif de 2,6 W/m<sup>2</sup> (pour information 1 W est la puissance développée par une ampoule lumineuse). À l'inverse, le scénario RCP8.5, le plus pessimiste, correspond à un forçage de 8,5 W/m<sup>2</sup>. Le premier modèle prend en compte une société qui a réduit de façon drastique ses émissions, tandis que le second projette une société qui continue de croître et à émettre sans se soucier des conséquences. Selon les compilations du GIEC, la température moyenne de l'air à la surface du globe devrait augmenter de 0,3 à 1,7 °C suivant le scénario optimiste (RCP2.6) et de 2,6 à 4,8 °C suivant le scénario

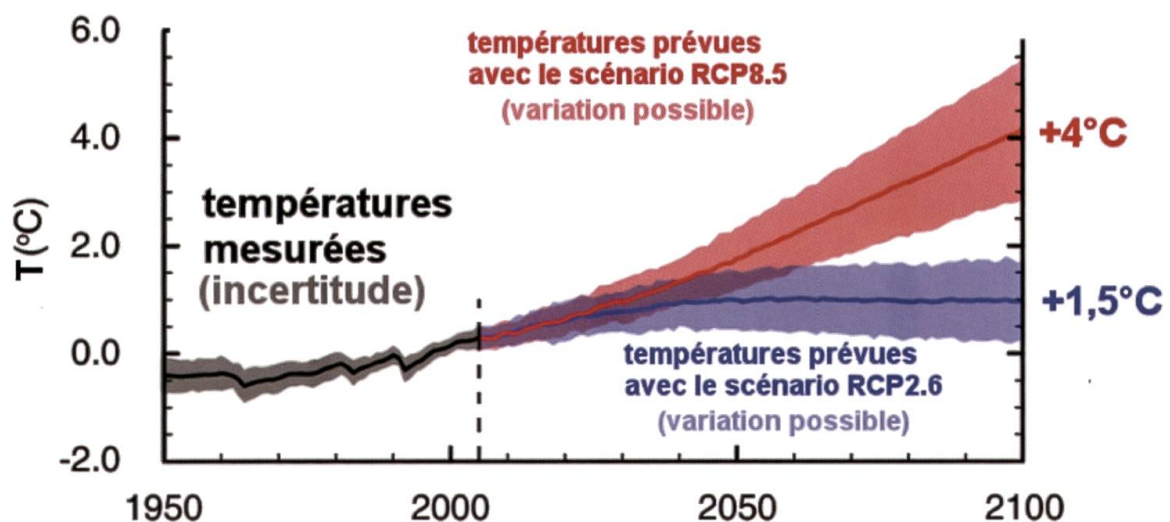


Figure 9. Températures historiques pour la période 1950-2005 et températures simulées jusqu'à 2100 par rapport à la période de référence 1986-2005. Plusieurs sorties de modèles ont été utilisées pour confectionner ces courbes. À droite, valeurs médianes des divers scénarios RCP pour la période 2081-2100 avec leur intervalle de confiance (GIEC, 2014).

pessimiste (RCP8.5). Ces chiffres représentent les températures moyennes des deux dernières décennies du XXI<sup>e</sup> siècle (2081-2100) par rapport à celles de la période de référence 1986-2005.

Comme discuté ci-dessus, les glaciers alpins ont fortement diminué au cours du XX<sup>e</sup> et début du XXI<sup>e</sup> siècle. Les glaciers devraient donc continuer à décliner dans les années à venir. ZEMP *et al.* (2006) ont estimé qu'une augmentation des températures estivales de 3 °C d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle devrait entraîner une diminution de 80 % de la surface glaciaire des Alpes, et qu'une augmentation de 6 °C entraînerait la disparition totale de leurs glaciers. En ce qui concerne la Mer de Glace, le front glaciaire devrait reculer de 1 000 m à 1 200 m d'ici 2040, selon différents scénarios (+ 0 °C à + 4 °C de réchauffement sur un siècle). L'étude montre qu'à l'échelle de quelques décennies, les scénarios climatiques ne prédominent pas sur le retrait du glacier (figure 10). Paradoxalement, c'est son comportement passé qui conditionne les prochaines décennies. En effet, le glacier est en déséquilibre important avec le climat depuis trente ans, ce qui implique que sa surface doit se réadapter aux nouvelles conditions climatiques par une diminution appropriée. Par conséquent, ce déséquilibre implique que le glacier rétrécisse, même si les conditions climatiques restent stables à l'avenir. À l'échelle des trente prochaines années, le front reculera plus vite si le réchauffement s'accroît, mais à peine plus vite que si les conditions restent stables.

## Conclusion

L'histoire des glaciers de la vallée de Chamonix est directement liée à l'évolution de la présence humaine dans les Alpes. De par leur proximité, ils furent d'abord craints, puis fantasmés par les artistes, et enfin étudiés sous tous les angles. Leurs observations firent naître une science en constante progression, la glaciologie. Au cours des derniers 150 ans, les glaciers alpins ont perdu près de 50 % de leur surface. La Mer de Glace a perdu 190 m d'épaisseur au niveau du Montenvers et a vu sa langue glaciaire se retirer de plus de 1300 m dans la vallée. Les prédictions futures ne sont guère optimistes. La poursuite des mesures ainsi que le développement de nouvelles techniques d'observation sur les glaciers alpins est donc primordiale pour évaluer et s'adapter aux futurs changements.

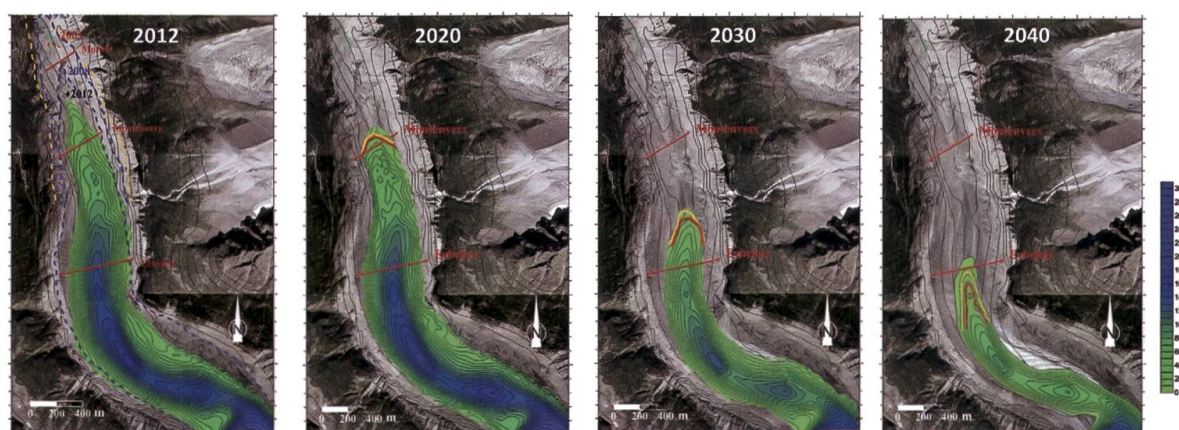


Figure 10. Évolution de la langue de la Mer de Glace depuis 1958 et simulations en 2020, 2030 et 2040, suivant les différents scénarios. L'échelle des couleurs représente les changements négatifs d'épaisseur de glace en mètre (VINCENT *et al.* 2014).

## Remerciements

Je remercie Delphine Six de l'Institut de Géosciences de l'Environnement (IGE, Université Grenoble Alpes) et le service d'Observation GLACIOCLIM ([glacioclim.osug.fr](http://glacioclim.osug.fr)) pour avoir mis à ma disposition leurs précieuses données. Je recommande aussi de consulter le site internet du Dr Sylvain Couterrand ([glaciers-climat.com](http://glaciers-climat.com)), ce site étant une mine d'informations sur les glaciers alpins du passé, du présent et du futur. Merci à Olivier Glaizot pour m'avoir donné l'opportunité d'écrire cette rétrospective. Finalement, merci à Cécile et Michel Lehmann pour leurs révisions ainsi que pour leurs conseils avisés dans la rédaction.

## Bibliographie

- AGASSIZ L., 1837. Discours prononcé à l'ouverture des séances de la Soc. helv. sci. natur. à Neuchâtel, le 24 juillet 1837, par L. Agassiz, président. Actes de la Société Helvétique des sciences naturelles, réunie à Neuchâtel, 22. sess., Neuchâtel. 5-32.
- FISCHER M., HUSS M. & HOELZLE M., 2015. Surface elevation and mass changes of all Swiss glaciers 1980-2010, *Cryosphere*, 9: 525-540.
- GARDENT M., DELINE P. & SCHOENEICH P., 2014. Inventaire et retrait des glaciers dans les alpes françaises depuis la fin du Petit Âge Glaciaire. Thèse de doctorat. HAL archives-ouvertes.fr. 455 p.
- MOUGIN P., 1912. Études glaciologiques. Savoie - Pyrénées. Tome III. Imprimerie Nationale, Paris. 166 p.
- OERLEMAN J., 2005. Extracting a climate signal from 169 glacier records. *Science* 308: 675-677.
- PAYOT V., 1868. Oscillations des 4 grands glaciers de la vallée de Chamounix pendant le XIX<sup>e</sup> siècle. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 9: 319-325.
- RAUP B., RACOVITEANU A., KHALSA S.J.S., HELM C., ARMSTRONG R. & ARNAUD Y., 2007. The GLIMS geospatial glacier database: a new tool for studying glacier change. *Global and Planetary Change*. 56 (1-2): 101-110.
- RABATEL A., DEDIEU J.-P. & VINCENT C., 2016. Spatio-temporal changes in glacier-wide mass balance quantified by optical remote sensing on 30 glaciers in the French Alps for the period 1983-2014. *Journal of Glaciology* 62 (236): 1153-1166.
- RÉVEILLET M., VINCENT C., SIX D. & RABATEL A., 2017. Which empirical model is best suited to simulate glacier mass balances? *Journal of Glaciology* 63 (237): 39-54.
- SMIRAGLIA C., AZZONI R. S., D'AGATA C., MATAGNO D., FUGAZZA D. & DIOLAIUTU G.A., 2015. The evolution of the italian glaciers from the previous data base to the new italian inventory. Preliminary considerations and results. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 38: 79-87.
- VINCENT C., LE MEUR E., SIX D. & FUNK M., 2005. Solving the paradox of the end of the Little Ice Age in the Alps, *Geophysical Research Letters* 32: L09706.
- VINCENT C., HARTER M., GILBERT A., BERTHIER E. & SIX D., 2014. Future fluctuations of Mer de Glace, French Alps, assessed using a parameterized model calibrated with past thickness changes. *Annals of Glaciology* 55: 15-24.
- ZEMP M.W., HAEBERLI M. & PAUL F., 2006. Alpine glaciers to disappear within decades? *Geophysical Research Letters* 33: L13504.