

Résumé

Les changements de climat se reflètent nettement dans les fluctuations des glaciers. Le bilan de masse glaciaire est une fonction directe de la température et de la précipitation, et détermine, à côté d'autres facteurs, le comportement dynamique et les fluctuations d'un glacier. Bien que les changements de longueur des glaciers représentent un signal indirect et tardif d'une information de climat, ils sont un moyen apte à examiner la relation glaciers – climat. C'est à la fin du 19^{ème} siècle qu'on a mesuré pour la première fois les changements de longueur des glaciers. Malheureusement le temps précédent du Petit Age de Glace n'est pas documenté par des données expérimentales. De ce fait il est indispensable d'avoir recours à un procédé interdisciplinaire comprenant aussi bien des méthodes historiques que physiques pour pouvoir reconstituer les fluctuations des glaciers pour le temps d'alors. Dans le travail que voici un tel procédé a donc été choisi pour faire des recherches sur les fluctuations de la *Mer de Glace* (massif du Mont-Blanc, France).

Courbe de changement de longueur de la *Mer de Glace*

La *Mer de Glace* est un glacier de vallée de 12 km avec trois chalandises principales (*Glacier du Géant*, *Glacier de Leschaux*, *Glacier de Talèfre*). Elle se trouve au versant nord du Mont-Blanc et recouvre un territoire d'environ 32 km², allant de 4000 à 1500 m d'altitude. Elle est ainsi le glacier le plus grand et le plus long des Alpes occidentales. Lors du Petit Age de Glace la *Mer de Glace* tombait plus ou moins continûment jusqu'en bas, près de Chamonix à 1000 m. Le caractère intéressant du paysage et son accessibilité facile faisaient du glacier de bonne heure un objet de recherche par excellence, attirant savants, artistes et touristes. Cela menait à une grande quantité de matériel historique qui rend témoignage de la *Mer de Glace*.

Ce matériel sert de fondement à ce travail de diplôme ayant pour but de mettre sur pied une courbe de changement de longueur de la *Mer de Glace*, courbe concernant le temps du Petit Age de Glace. Certes, il y a déjà une telle courbe pour la période 1590-1911, ayant été établie par Mougins (1912). Cette courbe montre toutefois certaines incertitudes, aussi est-elle peu détaillée. D'autres investigations concernant les fluctuations de la *Mer de Glace* dans le Holocène tardif ont été faites par Wetter (1987). Le but de ce travail de diplôme est donc d'établir une courbe de longueur révisée et raffinée pour la *Mer de Glace*, en exploitant le matériel de documentation récemment accessible et en tenant compte des résultats des travaux précédents.

Méthodes historiques et physiques

L'analyse et l'interprétation de documents historiques rendent possible la reconstruction des positions d'autrefois du front du glacier. L'iconographie ancienne (dessins, peintures à l'huile, tirages, photos

et cartes) ainsi que des écrits historiques (descriptions de vallée etc.) sont analysés. Un choix critique du matériel de documentation est indispensable pour recevoir des informations sûres. La comparaison de tableaux anciens avec la situation d'aujourd'hui examinée sur place, ainsi que le relevé des moraines permettent de déterminer les positions d'autrefois du front du glacier. D'excellents exemples qui donnent une représentation remarquable de la *Mer de Glace* sont les dessins de Jean-Antoine Linck (1766-1843) et de Samuel Birmann (1793-1847) ainsi que les cartes de James David Forbes (1809-1868) et d'Eugène Viollet-le-Duc (1814-1879).

La nouvelle courbe de longueur sert de base à des simulations de glacier, dans lesquelles on utilise des données de climat et un nouveau procédé statistique se basant sur des réseaux neuronaux (Steiner, 2005). Un "*back-propagation neural network model*" non-linéaire est appliqué à la *Mer de Glace* en utilisant des reconstructions "*multiproxy*" de données de température et de précipitation, dissoutes selon la saison, reconstructions qui remontent jusqu'à l'an 1500 (Casty *et al.*, 2005).

Comme complément, l'analyse d'anciennes cartes topographiques (de 1906, 1939, 1958 et 1967) et l'exploitation photogrammétrique de photos aériennes actuelles (de 2001) donnent une description détaillée de l'état de la *Mer de Glace*. En outre l'évaluation d'un modèle d'altitude (DEM) pour les années mentionnées permet en plus la quantification des changements de volume du glacier pour le 20^{ème} siècle.

Résultats et discussion

La courbe de longueur révisée et raffinée de la *Mer de Glace* remonte jusqu'à 1570 et indique – ce qui n'est pas surprenant – une particulièrement grande extension du glacier durant le Petit Age de Glace (Appendix 4, Figure 7.25). La plus grande extension du glacier, attestée par divers textes d'archives et prouvée également par les moraines, a eu lieu vers 1644. L'avancée la plus remarquable du glacier au 19^{ème} siècle a atteint son point culminant en 1821 et il avait environs 40 m de moins qu'en 1644. La deuxième avancée au 19^{ème} siècle avait lieu en 1852 et le front s'est arrêté à peu près 70 m derrière la moraine de 1821, aujourd'hui encore visible. D'autres grandes avancées du glacier sont documentées vers 1600, 1720 et 1778. A l'exception de certaines ré-avancées mineures (pour la dernière fois en 1995), le glacier s'est retiré continuellement depuis les années 1850 jusqu'à aujourd'hui de plus que 2 km. Au 20^{ème} siècle la *Mer de Glace* montre une perte de volume considérable qui a eu lieu principalement dans la partie inférieure du glacier.

En raison du manque de données avant 1570, l'application du modèle de glacier se basant sur des réseaux neuronaux nous livre des reconstructions plausibles pour les fluctuations du glacier au 16^{ème} siècle (maximum de glacier vers 1565, minima vers 1552 et 1575). En outre, en appliquant deux scénarios de climat, il est possible de simuler le comportement du glacier jusqu'à 2042. Selon scénario 1, qui part d'un climat constant, la *Mer de Glace* arrive à trouver une sorte d'équilibre avec une position de la langue du glacier vers 2042 qui est à peu près la même qu'aujourd'hui. Scénario 2 prend en considération le réchauffement du climat actuel et indique un recul du glacier continu et remarquable. Pour tous les deux scénarios, on fait une simulation qui s'étend sur la période de 1900 jusqu'à 2042, et on constate que les fluctuations de glacier simulées durant le 20^{ème} siècle correspondent étonnamment bien aux données de longueur mesurées. Enfin, le modèle rend possible aussi une analyse de sensibilité du glacier aux paramètres de température et de précipitation. Dans ce contexte il s'est avéré que la *Mer de Glace*, mise en comparaison avec l'*Unterer Grindelwaldgletscher*, réagit plus fortement à la température qu'à la précipitation.

La nouvelle courbe de longueur correspond assez bien à la courbe de Mougin (1912). Il y a toutefois des différences significatives en ce qui concerne les années vers 1850, quand le glacier avait

manifestement une beaucoup plus grande extension que supposé par Mougin. En outre, le matériel documentaire supplémentaire permet une description plus détaillée des fluctuations du glacier pour la période de 1750 à 1820. Enfin, l'extension du glacier autour de 1644 est environs de 100 m moindre que montré par la courbe de Mougin.

Une comparaison des courbes de longueur de la *Mer de Glace* et de l'*Unterer Grindelwaldgletscher* (Zumbühl, 1980; Zumbühl et al., 1983) a montré que les deux glaciers réagissaient au cours des derniers 500 ans d'une façon presque synchrone, malgré les positions différentes des deux glaciers dans les Alpes occidentales respectivement centrales. Il y a de petites différences vers les années 1850, quand l'*Unterer Grindelwaldgletscher* atteignait son maximum d'extension au 19^{ième} siècle (*Mer de Glace* vers 1821), ainsi qu'entre 1650-1750 (en général une plus grande extension de la *Mer de Glace* avec plus de variabilité).

Un modèle statistique non-linéaire se basant sur des réseaux neuronaux a été appliqué avec succès à la *Mer de Glace* et contribue ainsi aux investigations concernant le système glaciers – climat. Grâce au matériel historique nouveau (surtout iconographique) qui témoigne abondamment du domaine du Mont-Blanc, il était possible de montrer les fluctuations de la *Mer de Glace* pour le Petit Age de Glace et pour l'avenir proche. Bien que l'influence de paramètres de climat sur la longueur de glacier soit compliquée et difficile à déterminer, des énonciations claires étaient possibles quant à la réaction d'un glacier à des paramètres de climat changeant. Les résultats traitant de la *Mer de Glace* pourraient être comparés avec ceux d'autres glaciers dans les Alpes ou dans d'autres parties du monde pour pouvoir examiner de plus près et mieux comprendre les fluctuations de glaciers pendant le Petit Age de Glace.