

Planche 3.10 Caractéristiques des glaciers et leurs changements, 1850–2000

Introduction

Les inventaires des glaciers des Alpes suisses dressés vers 1850, en 1973 et vers 2000 constituent une source de données riche et unique au monde [5,6,7,8]. Ils ont servi de base à l'élaboration de cette planche, qui décrit les caractéristiques des surfaces englacées de la Suisse ainsi que leurs changements durant la période de retrait depuis le stade maximum de 1850.

Le matériel de base ainsi que les données recueillies sur les glaciers sont disponibles et mémorisés sous forme analogique (cartes, feuilles de données, tableaux, photos aériennes) et numérique (par ex. banques de données, photos satellites). Les caractéristiques répertoriées peuvent être traitées statistiquement selon des critères spatiaux (par ex. par groupes de montagnes) ou selon des points de vue glaciologiques (par ex. par types de glaciers ou expositions) et analysées de manière ciblée pour répondre à des questions spécifiques [6].

Les inventaires des glaciers mentionnés ci-dessus offrent à la recherche et à la pratique des aspects et des possibilités d'application intéressants:

- estimation de l'envergure et de la dynamique du retrait des glaciers depuis 1850;
- application de méthodes d'estimation pour modéliser le comportement des glaciers (par ex. dérivation des bilans de masse à partir des variations de longueur) [1,2];
- base pour la modélisation de scénarios de retrait pour le 21^{ème} siècle [5,6];
- critères pour le choix de glaciers appropriés à des études spécifiques (par ex. glaciers «froids» comme archives climatiques et environnementales pour des forages de glace);
- relevé et quantification des réserves disponibles de glace ou d'eau;
- localisation de glaciers menacés de rupture ainsi que de lacs proglaciaires potentiellement dangereux et donc détection précoce de risques de crues ou de laves torrentielles [3].

Surfaces englacées et types de glaciers

Actuellement, selon les données de l'inventaire, près de 2000 glaciers sont encore enregistrés dans les Alpes suisses (v. carte au 1:1 100 000) [6]. Les surfaces englacées sont concentrées sur les zones centrales des Alpes valaisannes (par ex. régions du Mont Rose, de la Dent Blanche), des Alpes bernoises (Finsteraarhorn, Jungfrau, Aletschhorn) et des Alpes de la Suisse centrale (Damma) ainsi que, secondairement, sur le sud des Alpes rhétiques (Bernina, Val Bregaglia). Cette distribution spatiale asymétrique est l'expression des conditions climatiques et topographiques qui varient beaucoup localement.

Les dimensions des glaciers, et par conséquent également la fréquence des quatre types de glaciers, sont très hétérogènes (fig. 1). Les champs de glace et les névés (types C et D) sont supérieurs en nombre dans tous les groupes de montagnes (fig. 2). Toutefois, en termes de surface, ils ne forment qu'une petite partie de la surface englacée totale (fig. 3). Les larges glaciers de vallée (type A) et les glaciers de montagne (type B) sont beaucoup moins fréquents. Le Grand glacier d'Aletsch, qui est d'ailleurs le plus grand glacier alpin, arrive toujours en tête de presque toutes les comparaisons quantitatives (v. tab. 1).

La plupart des glaciers se trouvent dans les secteurs d'exposition NO, N, NE orientés au nord et donc protégés du rayonnement. Les glaciers sont en principe bien plus rares dans les situations SE, S, SO orientées au sud et exposées au rayonnement. Dans ces emplacements défavorables, ils sont aussi généralement bien plus petits que sur la face nord, même si la topographie est semblable (fig. 4,5).

Retrait des glaciers

Vers 1850, les glaciers suisses recouvraient encore une surface totale de 1800 km² (fig. 6). Suite à une hausse de température d'environ 1 °C, ils ont ensuite perdu 500 km², soit 27 % de leur surface, et n'occupaient plus que 1300 km² en 1973 [6]. 250 km² ont encore disparu jusqu'en 2000, année de référence [8]. Les glaciers s'étendaient encore sur une surface totale de 1050 km². Le «retrait séculaire» a donc réduit la surface englacée de la Suisse à 58 % de son extension en 1850. Aujourd'hui, 2,5 % du territoire national est encore recouvert de glace.

De 1850 à 1973, année de l'inventaire, le volume de glace a bien diminué d'un tiers en passant de 110 à 75 km³ (perte de 35 km³). Durant les trois dernières décennies, le déclin s'est accéléré, provoquant la fonte d'encre 20 à 30 % du volume de glace. Dans la plupart des régions, les pertes de volume depuis 1850 dépassent nettement la moitié du volume initial. On peut donc estimer que, vers 2000, le volume de glace dans les Alpes suisses atteint 50 à 60 km³, ce qui correspond à une quantité d'eau stockée dans la glace des glaciers de 45 à 55 km³ (fig. 7).

En pourcentage, les pertes de surface et de volume sont inversement proportionnelles aux dimensions initiales ainsi qu'à l'extension régionale de la surface prise par les glaces. Les glaciers ou les régions de glaciers qui au départ étaient de dimensions modestes (par ex. Basse-Engadine, Basòdino, Grand Muveran) ont dû supporter, en pourcentage, de bien plus grandes pertes que les glaciers plus étendus et les régions davantage englacées (par ex. Aletschhorn, Mont Rose, Dent Blanche).

Position moyenne et élévation de la ligne d'équilibre

La position moyenne de la ligne d'équilibre résulte d'un rapport admis de 2:1 entre la surface de la zone d'accumulation et celle de la zone d'ablation. Pour cette raison, cette ligne est appelée ligne d'équilibre 2:1. Son altitude varie dans une bande verticale très large qui s'étend de 2300 m à 3100 m et qui comprend ainsi des conditions thermiques très variées. Cette variation considérable s'explique avant tout par l'emplacement et les conditions climatiques. Les différences d'exposition jouent également un rôle, car elles mènent à des écarts de la ligne d'équilibre pouvant atteindre 300 m entre les versants sud et les versants nord.

Une surface de tendance calculée à partir des moyennes régionales met en évidence une élévation des surfaces englacées, respectivement de leur ligne d'équilibre, dirigée des zones pluvieuses de la bordure septentrionale des Alpes vers les régions plus sèches du centre des Alpes. On observe que la ligne d'équilibre culmine dans les régions du Mont Rose, de l'Aletschhorn et de la Bernina et qu'elle s'abaisse fortement dans les régions sensiblement plus humides de la Tour Sallière, du Grand Muveran, du Gothard, de Flims–Pizol et du Val Bregaglia. Les différences d'exposition, donc les conditions de rayonnement et encore d'autres facteurs locaux comme l'accumulation de neige par le vent, se superposent à cette tendance principale qui dépasse le cadre régional et qui dépend surtout des précipitations. Les positions de la ligne d'équilibre en 1973 représentent la période 1960–1990 (fig. 8,9).

L'élévation de la ligne d'équilibre durant la période 1850–1973 se situe, globalement, dans un ordre de grandeur d'à peine 100 mètres (fig. 10). Cette valeur donne une idée générale de la réaction des glaciers au changement climatique qui a lieu depuis le milieu du 19^{ème} siècle. La variation spatiale de l'élévation de la ligne d'équilibre indique une tendance au dessèchement en légère hausse depuis 1850 dans les régions situées au centre et au sud des Alpes (par ex. Mont Rose, Aletschhorn, Bernina), c'est-à-dire là où les glaciers se trouvent généralement à haute altitude.

A l'aide des schémas des glaciers disponibles depuis peu sous forme numérique et d'un modèle numérique d'altitude, on a calculé la surface que les glaciers occupent à chaque étage altitudinal et comparé ces parts les unes aux autres pour les périodes 1850–1973 et 1973–2000 (fig. 11). Il ressort clairement des deux figures partielles que les plus grosses pertes de surface, en valeur absolue, surviennent dans les étages les plus englacés alors que les plus grandes variations relatives ont lieu dans les étages inférieurs.

Variation de la surface des glaciers

Les figures 12, 13 et 14 montrent clairement que chaque glacier varie de manière très individuelle. Dans les deux périodes de référence 1850–1973 et 1973–2000, malgré la dispersion particulièrement élevée chez les champs de glace et les névés, on observe clairement que le retrait exprimé en pourcentage est inversement proportionnel aux dimensions des glaciers. Les glaciers de vallée ont ainsi enregistré en moyenne les plus faibles pertes (10 à 20 %), les névés les plus importantes (20 à 100 %). Plusieurs centaines de champs de glace et de névés ont totalement disparu depuis 1850.

Méthodologie

En 1850, 1973 et 2000, on a utilisé différentes méthodes pour déterminer la superficie des glaciers et pour relever leurs principales caractéristiques (fig. 15,16). Les minutes originales ont servi à délimiter le stade maximum atteint par les glaciers en 1850 et ont été complétées par régions par des relevés sur le terrain et une cartographie des moraines (fig. 17) [5,6]. L'inventaire de 1973 est basé sur des vols organisés spécialement pour prendre des photos aériennes; ces photos ont permis de délimiter les glaciers visuellement et de reporter ensuite manuellement leurs contours sur les cartes topographiques au 1:25 000 (fig. 17) [7]. Le nouvel inventaire suisse des glaciers de 2000 repose sur des données satellites (Landsat Thematic Mapper) et sur une cartographie automatique de la surface glaciaire (fig. 18) [8]. Les principaux paramètres définissant les glaciers (par ex. leur pente, leur exposition, l'altitude de leur ligne d'équilibre, etc.) ont été dérivés au moyen d'un système d'information géographique et d'un modèle numérique d'altitude. Ce nouvel inventaire ouvre de nouvelles perspectives en raison de sa méthodologie moderne et des possibilités d'analyse et de représentation offertes [4,8,9]. Comme il n'est pas encore tout à fait terminé, il n'a pas été possible de disposer pour cette planche de toutes les données souhaitables. C'est donc l'état de 1973 qui a été représenté dans les figures 2 et 3 entre autres; toutefois, pour cette thématique, cet état est encore représentatif des années 2000.

Conclusion

Les faits glaciologiques représentés ici soulignent l'importance des glaciers en tant qu'indicateurs sensibles du climat. Comme ils peuvent être utilisés dans les modèles servant à la détection précoce d'évolutions accélérées comme la variation du bilan hydrique, du potentiel de dangers naturels et du paysage, les glaciers des Alpes suisses représentent une donnée clé du changement climatique actuel et prévisible pour le 21^{ème} siècle [2].

Bibliographie

- [1] **Haerberli, W., Hoelzle, M. (1995):** Application of inventory data for estimating characteristics of and regional climate-change effects on mountain glaciers: a pilot study with the European Alps. In: *Annals of Glaciology* 21:206–212, Cambridge.
- [2] **Haerberli, W., Maisch, M., Paul, F. (2002):** Mountain glaciers in global climate-related observation networks. In: *Bulletin WMO*, Vol. 51, No. 1:18–25, Genève.
- [3] **Huggel, C. (2004):** Assessment of Glacial Hazards based on Remote Sensing and GIS modeling. PhD Thesis, Department of Geography, University of Zurich, *Physische Geographie* Vol. 44, Zürich.
- [4] **Kääb, A. et al. (2002):** The new remote sensing derived Swiss glacier inventory: II. Results. In: *Annals of Glaciology* 34:362–366, Cambridge.
- [5] **Maisch, M. (1992):** Die Gletscher Graubündens. Rekonstruktion und Auswertung der Gletscher und deren Veränderungen seit dem Hochstand von 1850 in Gebiet der östlichen Schweizer Alpen. Teile A und B, *Physische Geographie* Vol. 33, Zürich.

- [6] **Maisch, M. et al. (2000):** Die Gletscher der Schweizer Alpen. Gletscherhochstand 1850, Aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien. Schlussbericht NFP 31, Zürich.
- [7] **Müller, F., Cafilisch, T., Müller, G. (1976):** Firn und Eis der Schweizer Alpen – Gletscherinventar. ETH-Zürich, Publ. Nrn. 57 und 57a, Zürich.
- [8] **Paul, F. (2004):** The new Swiss glacier inventory 2000 – Application of Remote Sensing and GIS. PhD Thesis, Department of Geography, University of Zurich, Zürich.
- [9] **Paul, F. et al. (2002):** The new remote sensing derived Swiss glacier inventory: I. Methods. In: Annals of Glaciology 34:355–361, Cambridge.
- [10] **Wipf, A. (1999):** Die Gletscher der Berner, Waadtländer und nördlichen Walliser Alpen. Eine regionale Studie über die Vergletscherung im Zeitraum «Vergangenheit» (Hochstand von 1850), «Gegenwart» (Ausdehnung im Jahr 1973) und «Zukunft» (Gletscherschwund-Szenarien 21. Jhdt.). Dissertation Geographisches Institut der Universität Zürich, Physische Geographie Vol. 40, Zürich.
-
- [11] **Quellen Fig. 17:** Original-Messtischblatt Nr. 495 Zermatt (Ausschnitt) © Bundesamt für Landestopographie; Luftbild vom 7. September 1973, Gletscherinventar 1973, ETH Zürich; Photo: M. Maisch.