

## Planche 3.7 Variations de longueur et de masse des glaciers depuis le dernier maximum, vers 1850

### Introduction

Vers la fin de l'époque glaciaire, il y a environ 11 000 ans, le front du glacier d'Aletsch s'est trouvé pour la dernière fois près de Brigue, dans la vallée du Rhône. Depuis lors, et en quelques siècles seulement, les glaciers se sont retirés des principales vallées alpines pour se cantonner dans leur domaine de fluctuation de la période historique. Certaines découvertes archéologiques, comme le cadavre momifié trouvé au glacier de Similaun, dans l'Ötztal (Autriche), ont montré que les glaciers alpins étaient aussi petits il y a 5000 ans qu'aujourd'hui. Des restes d'arbres datant de l'époque romaine témoignent du fait qu'il y a 2000 ans, le grand glacier d'Aletsch se terminait plus haut qu'actuellement (minimum de notre millénaire) (v. planche 3.8). Vers la fin du Moyen Age, lors du «petit âge glaciaire», les glaciers ont laissé des talus morainiques qui, en général, délimitent leurs marges proglaciaires. Autour de 1850, ils sont redescendus pour la dernière fois jusqu'à cette limite. Le glacier du Trient a atteint ce stade d'avancée récente en 1845 déjà, celui d'Unteraar en 1870 seulement. Le retrait, qui est depuis lors la tendance dominante des glaciers, est observé depuis 1874, respectivement 1880, à l'aide du réseau de mesure que décrit la planche 3.1. La présente planche illustre les plus importants résultats ainsi obtenus. Elle met aussi en évidence certaines irrégularités atypiques du retrait, qui s'est pourtant déroulé, dans l'ensemble, de façon assez conforme. Ce retrait n'est que partiellement décrit par les séries de mesures mais il est rendu visible, sur le terrain, par les différents peuplements végétaux ainsi que par les caractéristiques des sols, dans la marge proglaciaire et en aval. Ces différences sont reportées sur les Cartes nationales. On a indiqué, basées sur ces cartes, les variations totales de longueur pour relier les séries de mesure à la position de la langue du glacier lors de son extension maximale, dont on ne connaît pas toujours la date exacte. Celle-ci se situe en général entre 1850 et 1860. Les séries de données concernant le bilan de masse sont complétées par des valeurs pluriannuelles déterminées géodésiquement et par quelques valeurs annuelles reconstituées. Les séries de mesures les plus longues et les plus complètes ont été publiées dans [1] et [2].

### Variations de longueur

La carte et le tableau montrent la diminution totale de la longueur des glaciers entrant dans le réseau de mesures. Tous ceux du réseau actuel ont été rattachés à l'un des types A, P, R, S ou T, selon leur comportement. Les principales caractéristiques de ces cinq types sont décrites dans le tableau 2. Comme dans toute classification, l'attribution à une catégorie plutôt qu'à une autre est parfois une affaire d'appréciation. La figure 1 montre la variation de longueur de six glaciers représentatifs de chacun des types A, P, R et T, à l'aide d'une courbe cumulative, qui est le principal critère servant à la classification. D'une façon générale, les variations de longueur, pour les glaciers de type A, R et T dépendent essentiellement des mouvements de la glace dans la langue. Pour le type P en revanche, ces variations de longueur dépendent fortement de l'ablation et l'accumulation, qui déterminent le bilan de masse. Ces quatre types de glaciers reflètent en quelque sorte le comportement normal, qui dans le cas du type S se trouve perturbé pour différentes raisons [11]. Les types A et T constituent deux extrêmes: grands glaciers plats et glaciers de grandeur moyenne, en pente raide. Ces deux types réagissent de façon différente aux variations climatiques. Les changements de longueur du glacier du Trient (type T) coïncident chronologiquement avec les fluctuations du bilan de masse. Au grand glacier d'Aletsch (type A), les variations de longueur se manifestent environ trente à quarante ans plus tard qu'au Trient. Le type R apparaît, à différents points de vue, comme un stade intermédiaire entre les types A et T. Si l'on s'imagine un glacier suisse moyen, les variations de longueur depuis 1850 peuvent, selon [7], se résumer ainsi: vers 1850, sa longueur était de 1.41 km et, décroissant d'environ 35 %, était réduite à 0.92 km en 1973. La diminution relative de longueur a donc été un peu plus marquée que la diminution relative de surface (27 %) ou de volume (31 %).

## Diminution de la longueur du glacier du Trient

La variation de la longueur du glacier du Trient est mesurée chaque année sur le terrain depuis 1878 (sauf 1993). La position de l'extrémité de la langue est reportée sur la figure 3 (à partir de 1956) et le profil en long du glacier, pour certaines années, sur les coupes de la figure 4. La figure 2 montre le domaine dans lequel fluctue la partie terminale de la langue par rapport à l'ensemble du glacier. La figure 3 présente, reportés sur orthophoto, le relevé de ses positions successives. La surface dénudée de la marge proglaciaire est à l'intérieur du domaine délimité par la moraine laissée par l'avancée de 1987 et la jeune forêt en aval a poussé depuis l'avancée des années 1920. La figure 4 montre l'aspect typique et bien connu de la zone frontale de la langue d'un glacier, bombée et raide s'il avance, en forme de coin et aplatie s'il recule.

## Variations de masse

La variation de masse est déterminée par la méthode décrite dans la planche 3.1. Le bilan de quatre glaciers est donné dans la figure 5. Le diagramme, qui remonte jusqu'au stade d'avancée maximum de 1856 pour le glacier du Rhône, présente les valeurs annuelles et la courbe cumulative, complétée par des valeurs pluriannuelles. Pour les autres glaciers, cette courbe est partiellement extrapolée linéairement. La courbe cumulative du glacier de Silvretta repose sur la valeur moyenne de la période 1938–1959, puis sur les valeurs annuelles dès 1959. Pour le glacier de Limmern, les valeurs annuelles ont été déterminées à l'aide du réseau de balises, de 1947 à 1985, les autres étant reconstruites à l'aide des mesures en cours depuis 1914 sur le Claridenfirn [9,10]. Dans le cas du glacier du Rhône, les valeurs pluriannuelles 1856–1874 et 1874–1881 ont été déterminées géodésiquement [8]. Les valeurs annuelles 1882–1913 et 1978–1982 sont déterminées à l'aide du réseau de balises, les autres valeurs ayant été reconstruites à l'aide des sommes annuelles de précipitations et des températures estivales aux stations climatologiques d'Andermatt et de Reckingen [5,9]. Pour les glaciers de la région d'Aletsch, les valeurs annuelles ont été dérivées du bilan hydrologique du bassin de la Massa (fig. 10). Ce sont des moyennes se rapportant à l'ensemble des glaciers du bassin de recherche [4,9].

Les années de décrue, avec un bilan déficitaire, dominant dans toutes les séries de mesures. Entre 1850 et 1973, le volume des glaciers, de  $107 \text{ km}^3$  à l'origine, s'est réduit à  $74 \text{ km}^3$  [7]. La série de valeurs annuelles met en évidence un peu partout une accumulation d'années de crue autour de 1920 et de 1980 ainsi qu'un nombre excessif d'années de décrue marquée autour de 1950. En raison de la répartition spatiale irrégulière des précipitations, le bilan annuel des divers glaciers donne souvent des résultats très différents, voire opposés. Ce phénomène apparaît aussi pour les courbes cumulatives. Ainsi, dans les années 1920, le glacier du Rhône a augmenté davantage que les glaciers de Limmern et d'Aletsch. Autour de 1980, les comportements ont été inverses.

## Variations de masse du glacier de Gries

Le bilan de masse du glacier de Gries est établi depuis 1923 à l'aide de la méthode géodésique, par intervalles pluriannuels. Depuis 1961, les mesures sont faites annuellement au réseau de balises [3,6]. La figure 6 montre les variations d'épaisseur au cours de la période 1986–1991, durant laquelle la surface du glacier s'est abaissée de  $1.4 \text{ m/an}$  en moyenne. Le calcul du bilan des années où le retrait, ou l'accroissement, a été le plus marqué dans la période 1961–1991, est présenté dans la figure 7, de même que celui de l'année sans changement de la masse. Les lignes d'égale variation de masse montrent les différences spatiales du bilan de masse. La ligne d'équilibre représente approximativement la limite de la neige à la fin de la période de la fonte. Les variations spatiales sont déterminées par l'altitude et d'autres caractéristiques de la surface du glacier (par exemple sa pente, son exposition, sa courbure, son albédo). La relation entre la variation de masse et l'altitude est représentée dans un graphique, sous forme de courbe de régression, à partir de toutes les valeurs mesurées dans l'année. Cette courbe change d'année en année, suivant les conditions climatiques. Le régime des précipitations est déterminant en période

de croissance des glaciers. En période de retrait, en revanche, le facteur jouant le rôle le plus important est le régime des températures.

### Retrait des glaciers dans la région d'Aletsch

De 1850 à nos jours, la surface des glaciers du bassin de la Massa, qui était de 148 km<sup>2</sup> s'est réduite à 127 km<sup>2</sup> (fig. 8). Le bassin comprend actuellement 33 glaciers distincts. Trois d'entre eux, les plus grands, sont couverts par le réseau de mesure.

Les pentes de moraines dénudées qui entourent ces glaciers, rendent leur diminution d'épaisseur bien visible sur le terrain. La figure 9 permet de comparer la position de la surface du glacier à l'aide de deux coupes en travers. Dans la coupe «Konkordia», la diminution totale d'épaisseur depuis 1850 atteint en gros 100 m. Le lit rocheux a été localisé par des sondages radar effectués à l'exutoire de la Konkordiaplatz à une profondeur d'environ 600 m sous la surface. Au milieu de la Konkordiaplatz, un forage a atteint la roche à une profondeur de 900 m en été 1990. Des sondages sismiques, en 1929 déjà, puis en 1958, ont mis en évidence le fort surcreusement de fond de la vallée. Dans la coupe de la forêt d'Aletsch («Aletschwald»), la surface de la glace, qui s'est abaissée de 300 m depuis 1850, se trouve actuellement à une altitude de seulement de 50 à 60 m plus élevée que celle de la langue du glacier. Dans cette portion de la vallée, la surface du glacier se trouvait à quelques 600 m plus haut à la fin de l'ère glaciaire. La glace atteignait donc pratiquement les crêtes.

La variation d'épaisseur de la glace est mesurée annuellement depuis 1945 dans la région des névés et dans la région de la langue, au moyen de profils de surface. Entre 1927 et 1944, elle a été déterminée à l'aide des cartes topographiques (fig. 9). Durant la période de crue glaciaire des années 1980 (v. fig. 5) l'épaisseur de la glace a augmenté par intermittence dans la région la plus reculée de la langue, alors que dans la région frontale, elle a continuellement et progressivement diminué (v. fig. 9).

### Bilan hydrique du bassin versant d'Aletsch

Le bilan hydrique du bassin versant situé à l'amont de la station de jaugeage de la Massa a été calculé au moyen d'un modèle de bilan, à partir des précipitations et des débits mesurés [4,9]. La figure 10 montre les séries chronologiques de la période 1931–1990, établi sur la base des moyennes journalières. Les précipitations sont plus ou moins régulièrement réparties sur toute l'année. Le débit suit le régime annuel glaciaire typique, avec un étiage marqué en hiver et des valeurs élevées en été (v. planche 5.2). La quantité d'eau accumulée sous forme de neige augmente graduellement en hiver. En été, cette réserve diminue au gré des déficits journaliers, variant en fonction des cycles de températures journaliers, qui déterminent la fonte et le débit.

On peut relever, dans la série chronologique 1901–1995, les fortes quantités de précipitations des années 1980 et les débits particulièrement abondants en 1947. La tendance périodiquement changeante du régime du débit (croissant jusqu'en 1950 et après 1980, décroissant de 1950 à 1980) agit parfois en sens inverse sur le volume d'eau stocké.

### Bibliographie

- [1] **Aellen, M. (1995):** Jährlich erfasste Gletscherveränderungen in den Schweizer Alpen. In: Gletscher im ständigen Wandel – Jubiläumssymposium der Schweizerischen Gletscherkommission:123–146, Zürich.
- [2] **Aellen, M. (1995):** Glacier mass balance studies in the Swiss Alps. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Band 31:159–168, Innsbruck.
- [3] **Aellen, M., Funk, M. (1988):** Massenbilanz des Griesgletschers von 1961 bis 1986 – Vergleich verschiedener Bestimmungsverfahren. In: Mitteilungen der VAW, Nr. 94:9–50, Zürich.

- [4] **Aellen, M., Funk, M. (1990):** Bilan hydrologique du bassin versant de la Massa et bilan de masse des glaciers d'Aletsch. In: IAHS Publication, no. 193:89–98, Wallingford.
- [5] **Chen, J., Funk, M. (1990):** Mass balance of Rhonegletscher during 1882/83–1986/87. In: Journal of Glaciology 36, no. 123:199–209, London.
- [6] **Funk, M., Morelli, R., Stahel, W. (1997):** Mass balance of Griesgletscher 1961–1984: Different methods of determination. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Band 33, Heft 1: 41–56, Innsbruck.
- [7] **Maisch, M. et al. (1998):** Die Gletscher der Schweizer Alpen. Gletscherhochstand 1850 – Aktuelle Vergletscherung – Gletscherschwund-Szenarien. Schlussbericht NFP 31, Zürich.
- [8] **Mercanton, P.L. (1916):** Vermessungen am Rhonegletscher 1874–1915. Neue Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Band 52, Basel.
- [9] **Müller, H. et al. (1994):** Langjährige Massenbilanzreihen von Gletschern in der Schweiz. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Band 30:141–160, Innsbruck.
- [10] **Müller, H., Kappenberger, G. (1991):** Claridenfirn-Messungen 1914–1984. Zürcher Geographische Schriften, Heft 40, Zürich.
- [11] **Röthlisberger, H. (1997):** «Normale» und aussergewöhnliche Gletscherveränderungen. In: Mitteilungen der VAW, Nr. 149:11–27, Zürich.