

### 3. Glaciers et permafrost

#### Effets sur les glaciers des Alpes

Les glaciers jouent un rôle important dans le régime hydrologique de la Suisse: ils stockent des quantités d'eau considérables et représentent d'importants réservoirs d'eau en été. Il est connu, de par la reconstitution des phases de progression et de recul des glaciers alpins, que ces derniers ont passé par une phase de grande extension du milieu du 16e jusqu'au milieu de 19e siècle. Une phase de forte fonte a pris le relais. Au 20e siècle, le bilan de masse des glaciers alpins, c'est-à-dire l'amplitude de leur croissance ou décroissance, est globalement négatif [6].

L'interaction du rayonnement, de la température et des précipitations en fonction de la saison est l'aspect déterminant pour le bilan de masse des glaciers. Les chutes de neige en hiver, mais aussi en été, sont un facteur important. S'il y a de la neige sur un glacier au début de l'été, il se passe sensiblement plus de temps jusqu'à ce que la glace soit exposée aux rayons du soleil, car la couche de neige fraîche a une réflectivité beaucoup plus grande que l'ancienne neige ou que des parties sombres du glacier ou recouvertes d'éboulis. Un deuxième facteur important est donné par les conditions météorologiques de mai à septembre. Plus le temps est chaud, sec et ensoleillé, plus grande est la perte de masse des glaciers [6].

2003 fut, en raison de la sécheresse persistante, du grand excès de chaleur en altitude pendant l'été et de l'absence d'apports d'air froid, une année extrêmement défavorable aux glaciers. Après un hiver moyen du point de vue neige, le processus de fonte a été favorisé par une disparition précoce de la neige sur les glaciers. La limite au-dessous de laquelle la fonte des glaces domine est montée par moment à des altitudes jamais

observées jusqu'alors, de plus de 3500 m. Il s'en suivit un grossissement du débit des ruisseaux glaciaires, et les bassins d'accumulation en aval des sites fortement englacés se sont rapidement remplis [6]. Les prises de vue par satellite ont mis en évidence la formation rapide de nouveaux lacs et un assombrissement frappant de la surface des glaciers et des névés. On observa aussi en plusieurs endroits l'effondrement de structures de glace ainsi que la disparition totale de la neige sur de petits glaciers, dômes de glace et parois de roche englacées [15].

La fonte record des glaciers ne s'est pas limitée à la Suisse, mais a été observée aussi en Autriche. La quantité moyenne de la fonte est estimée correspondre à une colonne d'eau d'env. 2.5 m [15]. C'est un record absolu pour les Alpes, qui dépasse de plus de 50% la perte, jusqu'alors la plus grande, de 1998 (1.6 m) [15] (figure 6). La perte totale de volume des glaciers des Alpes en 2003 est estimée atteindre 5 à 10% du volume des glaciers en 2002 [6]. La diminution d'épaisseur des glaciers a été si forte que la longueur de ces derniers ne peut plus s'adapter à l'apport horizontal de glace. C'est pourquoi l'affaissement et l'effondrement des langues de glaciers, au lieu d'un lent recul, est un processus toujours plus fréquent [6].

#### Impacts sur les zones de permafrost

La vague de chaleur n'a pas seulement fait fondre les glaciers, mais a eu aussi des conséquences pour le permafrost. Environ 4 à 6% de la superficie de la Suisse sont des zones de permafrost, c'est-à-dire des régions où le sol est gelé en permanence. En été, le permafrost se cache sous une couche dégelée d'un demi à plusieurs mètres d'épaisseur et échappe par conséquent à l'obser-

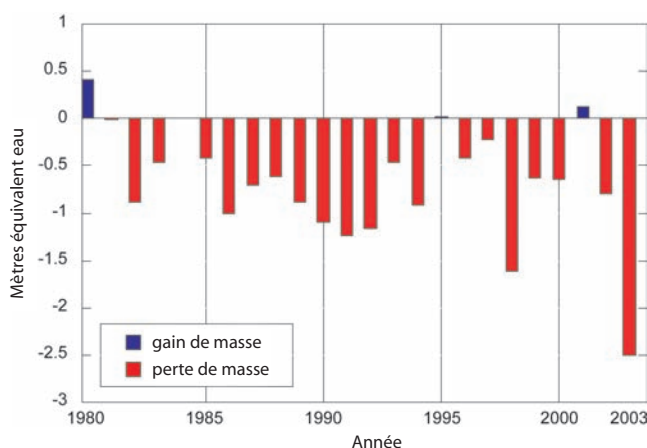
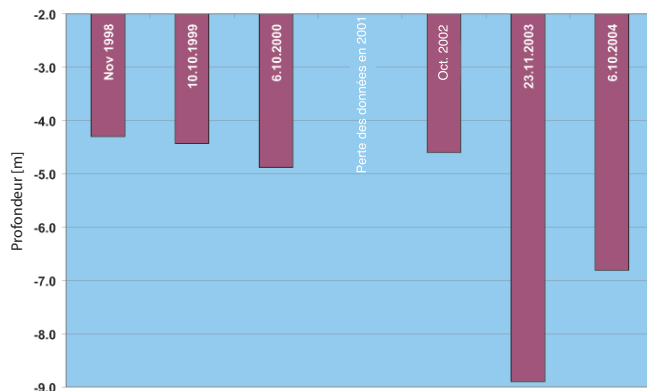


Figure 6: Perte de masse des glaciers alpins depuis 1980. Les moyennes ont été calculées à l'aide des bilans de masse annuels des glaciers suivants: St Sorlin (F), Sarennes (F), Silvretta (CH), Gries (CH), Sonnblickkees (A), Vernagtferner (A), Kesselwandferner (A), Hintereisferner (A), Caresèr (I).

Figure 7: Epaisseur maximale de la couche dégelée en été et moment correspondant au Schilthorn depuis 1998. Le permafrost dans la roche ne contient pratiquement pas de glace. C'est pourquoi la plus grande partie de l'énergie thermique donne lieu à une hausse de la température. Il s'ensuivit, en 2003, un doublement de l'épaisseur de la couche dégelée.



Source: Vonder Mühll et al. 2005

vation directe. Mais quand le sous-sol gelé fond, cela a des conséquences tangibles.

Pendant l'été caniculaire 2003, en particulier de juin à août, de nombreux éboulements ont été observés dans tout l'espace alpin, surtout à haute altitude et sur les pentes exposées au nord. Ni des précipitations violentes, ni d'autres phénomènes influençant passagèrement la stabilité des pentes n'entrent en ligne de compte comme cause ayant pu déclencher cette augmentation de la fréquence des éboulements et des chutes de pierres. Reste, comme explication plausible, la dégradation du permafrost en haute montagne en raison des températures élevées. La fréquence exceptionnelle des éboulements pendant l'été 2003 est interprétée comme indiquant que la déstabilisation est une

réaction presque immédiate à la chaleur extrême [16,17]. Les hautes températures n'ont pas été le seul facteur déterminant pour la déstabilisation des zones de permafrost. L'insolation et la chaleur ont pu exercer leur effet avant tout là où une couche de neige protectrice faisait défaut. En été, la neige a fonction de couche isolante pour le permafrost sous-jacent et réfléchit en outre le rayonnement incident beaucoup plus qu'un sol non recouvert [18]. En hiver par contre, une couche de neige précoce et continue empêche, du fait de son effet isolant, le sol de se refroidir. En effet, seuls les sols non recouverts permettent à la chaleur du sous-sol de se dégager librement. Cela signifie qu'un hiver pauvre en neige, indépendamment du fait qu'il soit trop chaud ou trop froid du point de vue climatologique, a un effet réfrigérant sur le permafrost.

Des mesures ont montré que l'apport de chaleur en montagne pendant l'été caniculaire fut nettement plus important qu'une année normale. Ceci tient moins au niveau des températures absolues qu'à la longueur de la période de chaleur. A la paroi nord de l'Eiger, la température de l'air s'est maintenue pendant plus de 700 heures au-dessus de 10 °C, en 2002 cela avait été environ 120 heures [17]. Pour la première fois, des traces d'eau de fonte ont été observées en 2003 sur le flanc nord du Sphinx, au Jungfraujoch (3570 m d'alt.) [17]. Du fait de l'action prolongée de la chaleur, la couche dégelée a atteint en moyenne une profondeur dépassant d'environ 10 à 50 cm celle de l'année précédente [16]. Dans d'autres régions, comme par exemple au Schilthorn, le sous-sol a dégelé même jusqu'à une profondeur dépassant de plusieurs

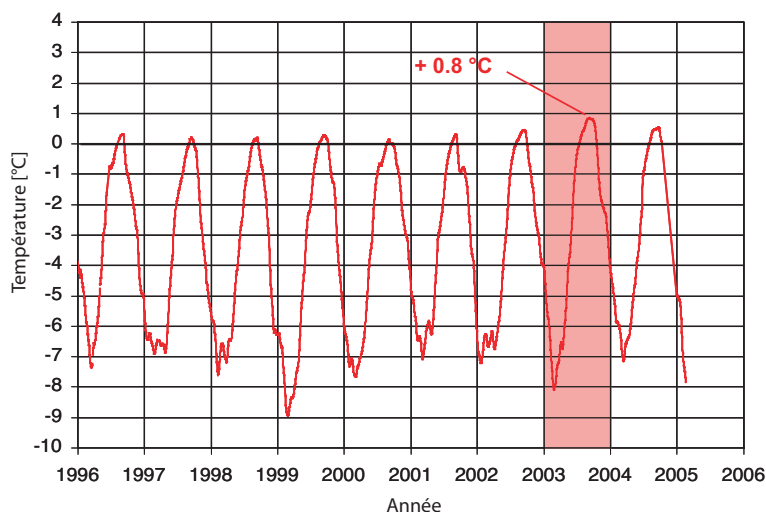


Figure 8: Températures de la roche sur le flanc nord du Sphinx (3570 m d'alt.) de 1996–2005, mesurées à 4 m au-dessus de la surface.

Source: H.R. Keusen [17]

mètres celle d'années antérieures [15]. L'épaisseur de la couche dégelée en été dépend de la teneur en glace du permafrost. Au Schilthorn, le permafrost dans la roche ne contient pratiquement pas de glace, si bien que l'énergie thermique donne lieu en majeure partie à une hausse de la température. Cela explique qu'au Schilthorn, la couche dégelée ait atteint en 2003 une profondeur presque double de celle des années antérieures (figure 7). Il est remarquable qu'en 2004 aussi, le sous-sol ait dégelé beaucoup plus profondément qu'avant l'été caniculaire. Cela indique que la couche dégelée de 2003 a peut-être subi une modification structurale, par exemple par un dégel suivi d'une déshydratation.

Sur les pentes nord, la couche dégelée en été dépend avant tout de la température de l'air, alors que sur les pentes sud, c'est le rayonnement de courte longueur d'onde qui joue un rôle important. Il s'ensuit que les pentes exposées au sud sont sujettes à une plus grande variabilité au cours de l'année et que la couche dégelée a atteint de grandes profondeurs déjà avant 2003 [16]. Les flancs nord situés dans une zone de basse température sont aussi prédestinés aux instabilités du fait qu'ils contiennent beaucoup d'eau ou de glace. L'eau de fonte se trouvant dans des fissures peut y exercer une pression qui déforme la roche [17]. L'influence de la chaleur a donc été particulièrement grande sur les pentes exposées au nord, ce qui explique l'augmentation de la fréquence des chutes de pierre et des éboulements qui s'y sont produits [16,17] (figure 8).

Quand bien même le dégel des zones de permafrost dans les Alpes se déroule de façon moins spectaculaire que la disparition des glaciers, il peut être lourd de conséquences. Il est à craindre que des modifications thermiques se produisant à des profondeurs toujours plus grandes auront pour effet d'augmenter le danger de gros éboulements – une menace possible pour les régions de montagne habitées. De même, différentes infrastructures ancrées dans le sol durci par le permafrost sont exposées à un risque accru. Si le sous-sol dégèle, de nombreux chemins de fer de montagnes, remonte-pente et ouvrages anti-avalanches nécessiteront des mesures pour éviter des dommages dus à des phénomènes d'affaissement et à des sols rampants [18].