

Planche 3.1² Réseaux de mesure de la cryosphère: neige, glaciers, permafrost

Introduction

Ces derniers temps, les réseaux de mesure de la cryosphère ont subi quelques changements qui ont nécessité une réédition de la planche 3.1. En effet, les réseaux de mesures nivologiques ont été étendus et automatisés, tandis que le réseau de mesures glaciologiques traditionnel a été développé et adapté. Le réseau de mesure du permafrost, lancé d'abord en 2000 sous forme de projet pilote, est venu s'y ajouter. C'est la nouvelle Commission d'experts Cryosphère, fondée en 2006 par l'Académie suisse des sciences naturelles (scnat), qui se charge de coordonner ces différents réseaux.

Neige

En Suisse, les mesures nivologiques sont principalement effectuées aux stations de l'Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches (ENA) et de l'Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse). Il existe aussi des stations indépendantes et de petits réseaux de mesure à caractère local. Ceux-ci sont utilisés pour la recherche, le tourisme hivernal ou pour apprécier la sécurité de l'exploitation des trains de montagne et des téléphériques et permettent aux sociétés de production d'électricité d'estimer l'offre en eau [5,7,14].

La carte, les tableaux et les figures donnent une vue d'ensemble de la situation des stations et des paramètres mesurés en indiquant si les séries de mesures de chaque réseau sont complètes ou non. Lorsqu'on veut analyser les valeurs mesurées proprement dites (voir par ex. [3,8,11]), il faut savoir que seule une partie des données ont été contrôlées, corrigées et interpolées et que les années manquantes signalées se rapportent à la hauteur de la neige. Pour d'autres paramètres aussi, il peut manquer des valeurs. De plus, à supposer qu'une station ait changé de réseau avec le temps, c'est le réseau auquel elle était rattachée en 2006 qui est indiqué. Cette année-là, sur les 581 stations de mesures nivologiques représentées, 311 étaient en service (voir tab. 1). On a uniquement retenu les stations dont les valeurs, enregistrées dans les banques de données des institutions concernées, sont mises à disposition des personnes intéressées sous forme numérique.

Paramètres nivologiques

Les trois principaux paramètres nivologiques représentés dans cette planche sont la hauteur de la neige (HS), la hauteur de la neige fraîche (HN) et l'équivalent en eau de la couche de neige (SWE) (voir tab. 2). La hauteur de la neige est relevée sur une échelle graduée ou déterminée automatiquement par un capteur ultrasonique. La neige fraîche est mesurée toutes les 24 heures, chaque matin vers 7 h, en relevant la hauteur de la neige tombée sur une table à neige depuis la dernière observation. On enlève ensuite la neige de la table, qu'on repose sur la neige. Ce paramètre ne peut pas être mesuré au moyen d'un capteur. L'équivalent en eau de la couche de neige correspond à la hauteur de la neige fondue de la couche de neige.

Les stations automatiques permettent de modéliser la densité et l'équivalent en eau de la neige fraîche, si, en plus de la hauteur de la neige, on mesure aussi le rayonnement, l'humidité de l'air, la direction et la vitesse du vent, la température de l'air et celle de la neige à diverses profondeurs.

Réseaux de mesures nivologiques

Le réseau automatique ANETZ est le système de mesure au sol à haute résolution temporelle de MétéoSuisse. Réalisé entre 1977 et 1982, il regroupe un total de 72 stations, qui enregistrent automatiquement toutes les 10 min un large éventail de données météorologiques sur l'ensemble du territoire suisse (voir planche 2.1²). A 34 de ces stations, on mesure la neige de manière

conventionnelle. Depuis 2005, ces stations sont transférées dans le nouveau réseau SwissMetNet, lui aussi automatique, et équipées de nivomètres automatiques [10].

Le réseau complémentaire ENET a été mis sur pied entre 1990 et 1994 [9]. Remplaçant ce qu'on appelait alors le réseau Gfeller d'alerte en cas de tempête de MétéoSuisse, il compte en tout 44 stations, dont 10 sont situées en haute montagne et effectuent des mesures nivologiques. Il s'agit en fait de stations doubles, composées d'une station sommitale (équipée d'un anémomètre chauffé, d'un thermomètre ventilé pour mesurer la température de l'air, parfois d'un radiomètre) et d'une station de champ plat située à l'écart (relevant la hauteur de la neige ainsi que les températures de la neige en surface et en profondeur).

Le système intercantonal de mesure et d'information IMIS a été installé de 1992 à 2006. Ses 99 stations se composent elles aussi d'une station sommitale et d'une station de champ plat. En plus des paramètres mesurés par le réseau ENET, elles enregistrent également l'humidité de l'air et le rayonnement réfléchi de petites longueurs d'onde. Ces données servent de base au modèle SNOWPACK de la couche de neige [1], qui simule la stratification de la neige, l'indice de glissement, l'indice de givre, la neige fraîche et l'équivalent en eau de la couche de neige.

Le réseau de comparaison VG, réseau de base utilisé pour l'alerte en cas d'avalanche, regroupe 80 stations. Les observateurs qui s'en occupent annoncent non seulement les paramètres nivologiques, mais aussi les avalanches observées, et évaluent le danger d'avalanche dans leur région.

Glaciers

Le but principal du programme de mesure consacré à la documentation à long terme des variations des glaciers est de constituer une base de données représentative et de la mettre à disposition pour répondre à un large éventail de besoins. Ce programme qui étudie les relations entre le climat et les glaciers s'occupe aussi d'économie (force hydraulique, tourisme) et de relations publiques (information, formation). En outre, il sert à identifier et évaluer les dangers naturels.

Les premières mesures annuelles systématiques, destinées entre autres aux recherches sur les causes des glaciations, remontent à 1880. Les objectifs visés par les mesures glaciologiques ont changé au fil du temps et de nouvelles méthodes de mesure ont été développées. Aujourd'hui, il s'agit de combiner les nouvelles technologies, telles que la télédétection ou la géoinformatique, aux techniques de mesure traditionnelles, comme les mesures sur le terrain. Les résultats des mesures sont repris dans différents programmes internationaux, qui sont consacrés à la documentation des variations glaciaires.

Paramètres mesurés

Le réseau de mesures glaciologiques est structuré de sorte que les variations des glaciers puissent être analysées autant au niveau global que régional. Le programme de mesure comprend le relevé annuel ou pluriannuel des variations de longueur, du bilan de masse et des modifications de volume, de la vitesse d'écoulement et de la température du névé ainsi que la détermination périodique des paramètres glaciologiques (voir tab. 3).

Les variations de longueur d'un glacier sont relativement faciles à déterminer à partir du déplacement de l'extrémité de la langue, au moyen de différents instruments de mesure utilisés directement sur place (mètre à ruban, théodolite ou GPS) ou du dépouillement de photographies aériennes. Pour le moment, les variations de longueur d'une centaine de glaciers sont calculées vers la fin de chaque été. Elles représentent un signal climatique retardé et filtré selon la taille, la géométrie et la dynamique d'écoulement du glacier (voir planche 3.7). Comme le réseau de mesure est dense et englobe des glaciers de toutes tailles, il donne une bonne vue d'ensemble des fluctuations régionales (fig. 7,[6]). Depuis les premiers relevés documentés du 19^e siècle, on dispose d'environ 9100 observations d'une durée moyenne de 71 ans.

Le bilan de masse qui résulte de l'accumulation de neige et de l'ablation de glace (surtout par la fonte) est déterminé à la fin de l'hiver (généralement mi-mai) et à la fin de l'année bilan (généralement fin septembre). Cette mesure est actuellement effectuée sur trois glaciers au moyen de la méthode glaciologique directe, qui est très compliquée (balises et puits à neige). Ces relevés détaillés sont complétés par des mesures ponctuelles annuelles sur quelques autres glaciers et par des mesures à long terme de la variation totale de volume de 25 glaciers [2]. La figure 8 en présente certains résultats.

La vitesse d'écoulement à la surface du glacier dépend de l'épaisseur de la glace, de la pente et du frottement sur le substrat. Elle est relevée chaque année par le mesurage terrestre de balises ou de profils transversaux et par l'analyse photogrammétrique de photographies aériennes. La température du névé ou de la glace, qui est mesurée sur quelques glaciers seulement, ne figure pas dans cette planche. Des relevés périodiques de la surface englacée totale des Alpes suisses ainsi que d'autres paramètres qui en sont dérivés (voir planche 3.10) complètent les observations.

Permafrost

Le permafrost est un indicateur important des modifications environnementales en haute montagne. Depuis quelques années, de plus en plus de recherches s'y intéressent. Après une phase d'élaboration de plusieurs années, le projet PERMOS (PERmafrost MONitoring Switzerland) a été réalisé entre 2000 et 2006 sous forme de phase test [12,13]. Il a permis de contrôler les séries de mesures existantes et d'affiner la méthode utilisée pour l'observation du permafrost.

Associés au dépouillement de photographies aériennes prises régulièrement, les relevés permettent de mieux évaluer les dangers naturels qui trouvent leur origine dans les zones de permafrost (par ex. les coulées de boue et les effondrements). Les paramètres qui jouent le plus grand rôle sont les suivants:

- l'épaisseur de la couche dégelée, les températures du permafrost relevées dans les forages: d'après les observations, il faut près de six mois pour qu'un signal de température émis en surface pénètre à 10 m de profondeur. A cette profondeur, les fluctuations de courte durée (par ex. entre le jour et la nuit) ne sont plus perceptibles, ce qui fait ressortir d'autant mieux les influences des fluctuations saisonnières (voir fig. 6);
- les températures à la surface du sol et dans la roche: des capteurs de température installés juste sous la surface enregistrent les effets de la température de l'air, du rayonnement solaire, de la couche de neige et d'une éventuelle circulation d'air entre les blocs grossiers sur les températures à la surface du sol. Certains de ces capteurs sont disposés sur des parois rocheuses presque verticales où la neige ne tient pas alors que d'autres sont placés en terrain plat, ce qui permet de déterminer l'influence respective de divers paramètres tels que la température de l'air, le rayonnement, la neige et la circulation de l'air et d'observer leurs variations dans le temps (voir fig. 5).

Bibliografie

- [1] **Bartelt, P., Lehning, M. (2002):** A physical SNOWPACK model for the Swiss avalanche warning, Part I: numerical model. In: Cold regions Science and Technology 35:123–145, Amsterdam.
- [2] **Bauder, A. (2001):** Bestimmung der Massenbilanz von Gletschern mit Fernerkundungsmethoden und Fließmodellierungen. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Nr. 169, Zürich.
- [3] **Beniston, M., Keller, F., Goyette, S. (2003):** Snow pack in the Swiss Alps under changing climatic conditions: an empirical approach for climate impacts studies. In: Theoretical and Applied Climatology, V74, N1–2:19–31, Wien.
- [4] **Colbeck, S. et al. (1990):** The International Classification for Seasonal Snow on the Ground. ICSI, International Association of Scientific Hydrology, Springfield.
- [5] **Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (1936/37–2002/03):** Winterberichte. Davos.
- [6] **Gletscherberichte (1881–2006):** Die Gletscher der Schweizer Alpen. Nr. 1–126, Zürich.
- [7] **Laternser, M. (2002):** Langjährige SLF-, SMA- und RhB-Schneedatenreihen: Übersicht und Grundlagen für die Messnetzevaluation. Interner Bericht Nr. 746 des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos.
- [8] **Laternser, M. (2002):** Snow and Avalanche Climatology of Switzerland. Diss. ETH No. 14493, Zurich.
- [9] **MeteoSchweiz (1995):** Automatisches meteorologisches Ergänzungsnetz (ENET). Arbeitsbericht Nr. 180 des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz), Zürich.
- [10] **MeteoSchweiz (2002):** Konzept Messnetz 2010 von MeteoSchweiz. Arbeitsbericht Nr. 199 des Bundesamtes für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz), Zürich.
- [11] **Scherrer, S.C., Appenzeller, C., Laternser, M. (2004):** Trends in Swiss Alpine snow days: The role of local- and large-scale climate variability. In: Geophysical Research Letters, Vol 31; L13215, Washington.
- [12] **Vonder Mühll, D. et al. (2004):** Permafrost in Switzerland 2000/2001 and 2001/2002. Glaciological Report (Permafrost) No 2/3. Permafrost Monitoring Switzerland. Zurich.
- [13] **Vonder Mühll, D. et al. (2005):** Permafrost in den Schweizer Alpen 2002/2003 und 2003/2004. In: Die Alpen 10/05:24–31, Bern.
- [14] **Witmer, U. (1986):** Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz. Geographica Bernensia. G25, Bern.