

## Planche 3.6 Variations de la limite des neiges

### Introduction

On a dit de la couche de neige [7] qu'elle était «une mince pellicule sur la sphère terrestre, une isolation thermique d'extension variable et temporaire, caractérisée par un pouvoir réfléchissant extrêmement élevé et jouant un rôle important, parfois même essentiel, dans différents domaines: tourisme hivernal (couche de glisse), agriculture (couche isolante), économie hydraulique (réserve d'eau temporaire), avalanches, glaciers, permafrost, climat». Le rôle économique joué par la couche de neige est bien souligné par l'exemple du tourisme aux Grisons dont les deux tiers du produit proviennent de la saison hivernale, centrée essentiellement sur le ski. Mais la couche de neige joue également un rôle prééminent dans le cycle hydrologique, comme le montre bien la planche 5.2, consacrée aux régimes d'écoulement. Sous nos latitudes, la neige se trouve exposée fréquemment à des températures proches du point de fusion, elle réagit donc de façon très sensible à leurs variations. Elle est par là même un excellent indicateur des changements climatiques [7].

### Observations relatives à la couche de neige

En plus des observations ponctuelles fournies par les réseaux de mesure de la couche de neige (v. planche 3.1), on dispose maintenant aussi des observations des satellites météorologiques ou d'imagerie terrestre qui offrent des vues d'ensemble de la couche de neige. Pour un endroit donné, la fréquence de passage des satellites météorologiques est très élevée. Pour les recherches présentées ici, on a utilisé les données du satellite américain NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) dont la résolution temporelle est de douze heures. Grâce à ce taux élevé de répétition des prises de vue, on peut compter sur au moins une vue dégagée par semaine, même par temps nuageux. Le scanner AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) monté sur ce satellite a un grand angle d'ouverture, ce qui lui permet le relevé de vastes domaines, d'une extension maximum de  $2000 \cdot 5000 \text{ km}^2$ . Les résolutions spatiale ( $1 \cdot 1 \text{ km}^2$ ) et spectrale ( $0.55\text{--}0.68 \mu\text{m}$ ,  $0.73\text{--}1.1\mu\text{m}$ ,  $3.55\text{--}3.75\mu\text{m}$  et  $11.5\text{--}12.5\mu\text{m}$ ) de cet instrument conviennent parfaitement au relevé cartographique de la couche de neige [4]. Les données NOAA-AVHRR sont rapidement disponibles grâce à l'installation de réception et au système de leur archivage de l'Institut de géographie de l'Université de Berne [2].

### Cartes de l'accumulation et de l'ablation de la couche de neige

A partir des données satellitaires, en utilisant un logiciel de manipulation d'image ainsi qu'un système d'information géographique, on peut obtenir diverses cartes décrivant la couche de neige. Par la superposition de cartes montrant une succession chronologique d'états de la couverture de neige [3], on peut suivre la progression de l'enneigement (accumulation) ou sa disparition (ablation). Les quatre cartes au 1:1'100'000 figurant sur cette planche d'Atlas montrent le développement général de la couche de neige au cours des deux hivers 1983/84 et 1992/93. Ce qui n'a pas été retenu, ce sont les changements à très court terme, telle la constitution d'une couche de neige éphémère fondant au bout de quelques jours. Pour mieux pouvoir comparer les cartes entre elles on a retenu, pour les deux hivers, des relevés effectués le même jour de l'année, ou alors à des dates aussi proches que possible, selon l'état de la couverture nuageuse. Les données de chacun de ces deux hivers prennent place dans une plus longue période qui fait d'ailleurs l'objet de la figure 1. Au cours de l'hiver 1983/84, l'accumulation tout comme l'ablation se sont produites environ une à deux semaines plus tard qu'aux dates moyennes. La période avec couverture neigeuse permanente a été d'une longueur normale ou même un peu plus longue, si on la compare avec le long terme. Comme le montrent bien les cartes, la Suisse se trouvait presque entièrement couverte de neige au début du mois de mars 1984. L'hiver 1992/93 a été caractérisé par une période d'enneigement courte et, en comparaison avec la moyenne, par une fonte très précoce. Une

grande partie du Plateau est restée sans neige. Cet hiver est représentatif des hivers courts et pauvres en neige qui ont été fréquents à la fin des années 1980 et au début des années 1990.

Certaines caractéristiques mesurées en un point d'observation dépendent de son altitude. Des modèles simples de régression, permettant de déterminer les dates moyennes d'apparition et de disparition de la couche de neige en fonction de l'altitude, peuvent alors être établis. On a ainsi pour le versant nord des Alpes:

$$E = -0.0386 \cdot \text{altitude} + 140.89 \quad r^2 = 0.78, \quad n = 31$$
$$A = 0.0752 \cdot \text{altitude} + 128.89 \quad r^2 = 0.88, \quad n = 31$$

où

E : date moyenne du début de l'enneigement [Nb. jours après le 1<sup>er</sup> septembre]

A : date moyenne de la disparition de la neige [Nb. jours après le 1<sup>er</sup> septembre]

altitude : hauteur au-dessus du niveau de la mer [m]

$r^2$  : degré de dépendance

n : effectif de l'échantillon

## Modifications à long terme de la couche de neige

Les variations temporelles de l'extension de la couche neigeuse sont d'excellents indicateurs climatiques, ce qui a justifié une analyse systématique des séries chronologiques d'observations disponibles. Quelques exemples caractéristiques sont présentés à la figure 1: pour chaque région ENA (Institut suisse pour l'étude de la neige et des avalanches, v. planche 3.3) on a, dans la règle, choisi deux stations, chacune dans une tranche d'altitude différente (environ 1100 m–1500 m et 1700 m–2000 m), avec en plus un exemple de station de haute altitude (Weissfluhjoch) et du niveau inférieur (Interlaken). Au cours d'un hiver, on peut avoir plusieurs périodes d'enneigement séparées par des périodes sans neige. Ainsi, les graphiques de la figure 1 montrent chaque fois le plus long intervalle avec couverture neigeuse ininterrompue. Ces données proviennent des «Winterberichte» [5], rapports annuels de l'ENA (n'existant qu'en langue allemande). Comme l'indiquent bien les graphiques, on ne parvient pas à distinguer de tendance nette, ni dans les dates du début et de la fin de l'enneigement, ni dans sa durée. Une comparaison entre stations montre par ailleurs une diminution des variations annuelles des dates du début et de la fin de l'enneigement, avec l'augmentation de l'altitude. Dans ce contexte, on peut évoquer la règle dite des cent jours, très importante pour le tourisme hivernal, qui veut que l'enneigement soit qualifié de «garanti» dans un domaine skiable, si entre la mi-décembre et la mi-avril une couche de neige permettant de skier est présente pendant 100 jours au moins [1]. Au-dessus de 1800 m, cet enneigement peut être considéré comme garanti, mais entre 1000 m et 1800 m, il varie fortement d'une année à l'autre, suivant l'exposition, la distance à la crête des Alpes et divers facteurs encore [1].

## Variations de la limite des neiges et de la couverture neigeuse

Les variations de la limite des neiges et de la couverture neigeuse ont été analysées dans un certain nombre de bassins, à partir des quatre cartes de l'accumulation et de l'ablation de la couche de neige des deux hivers 1983/84 et 1992/93 (fig. 2 et 3). Dans les graphiques, les différences marquant les deux hivers choisis apparaissent de nouveau clairement: au cours de l'hiver 1992/93, la limite de la neige s'est située généralement plus haut qu'au cours de l'hiver 1983/84. De décembre 1992 à février 1993, une vaste zone de haute pression, a fait que cette limite a peu varié. Au début de mars 1993, la limite de la neige est brièvement descendue jusqu'entre 500 m et 1000 m, mais sous l'influence de températures relativement élevées, elle est

rapidement remontée. Au cours de l'hiver 1983/84, comme on l'a déjà signalé, le début de l'enneigement et le moment de la disparition de la neige ont été en retard par rapport aux dates moyennes. A part cela, les variations de la limite de la neige ont suivi dans une large mesure les moyennes données par les modèles de régression.

Le développement différent de l'évolution des limites de la couche de neige au cours des deux hivers retenus se retrouve aussi dans les graphiques montrant différents degrés de couverture neigeuse. Ce qui est particulièrement frappant, ce sont les variations considérables au début de la période d'ablation en mars, tout particulièrement dans les bassins de l'Aar, de la Reuss et du Tessin.

## Modélisation des débits dus à la fonte de la neige

Une application intéressante des données présentées ici consiste à prévoir les débits à l'aide d'un modèle simulant la fonte des neiges. En prenant comme exemple le modèle SRM (Snowmelt Runoff Model) [8], essayons brièvement de voir de quoi il s'agit. Le modèle SRM est basé sur le procédé dit du degré-jour et nécessite comme données de départ les valeurs journalières de la couverture neigeuse, de la température et des précipitations. Les informations relatives à la couche de neige peuvent être obtenues à partir des données satellitaires. Pour cela, comme le montre l'exemple de la figure 4, on subdivise le bassin versant en tranches d'altitude et on calcule séparément le débit de fonte de chacune d'elles. La figure 5 montre les résultats obtenus avec le modèle en question pour le bassin du Rhin jusqu'à Felsberg. Pour comparer les débits simulés et les débits mesurés, ces derniers ont dû être transformés en débits naturels, en tenant compte de l'effet de l'exploitation des forces hydrauliques.

## Bibliographie

- [1] **Abegg, B. (1996):** Klimaänderung und Tourismus. Zürich.
- [2] **Baumgartner, M., Fuhrer, M. (1991):** A Swiss AVHRR and Meteosat receiving station. In: EUMETSAT P-09:23–33, Darmstadt.
- [3] **Baumgartner, M., Apfl, G. (1994):** Towards an integrated geographic analysis system with remote sensing, GIS, and consecutive modelling for snow cover monitoring. In: International Journal of Remote Sensing, Vol. 15, No. 7: 1507–1518, Dundee.
- [4] **Baumgartner, M., Weingartner, R. (1995):** Schneeschmelz- und Abfluss-Modellierung in den Alpen unter Einbezug von Fernerkundungsdaten. In: Österreichische Wasserwirtschaft 47. Jahrgang, Heft 9/10:216–224, Wien.
- [5] **Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (1936/37–1993/94):** Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen, Winterberichte Nrn. 1–57, Davos.
- [6] **Elsasser, H., Abegg, B. (1995):** Tourismus und Klima im Alpenraum. In: unizürich 2/95:39–41, Zürich.
- [7] **Föhn, P. (1990):** Schnee und Lawinen. In: Mitteilung der VAW Nr. 108:33–48, Zürich.
- [8] **Martinec, J., Rango, A., Roberts, R. (1994):** The Snowmelt Runoff Model (SRM) – User's Manual. Geographica Bernensia P–29, Bern.