

## Planche 6.6 Bilan hydrologique de grands bassins versants au 20<sup>e</sup> siècle

### Introduction

Le bilan hydrologique d'un bassin versant est influencé non seulement par le climat régional, mais aussi par la couverture et l'utilisation du sol ainsi que par diverses interventions anthropiques liées à la gestion des eaux, telles que l'irrigation à grande échelle, la retenue d'eau dans des réservoirs ou la régulation des lacs. Il reflète en conséquence les modifications du climat ou de l'affectation du sol. Sous l'effet des changements climatiques, que l'on observe depuis le milieu du 19<sup>e</sup> siècle déjà, la température de l'air augmente, ce qui favorise la fonte des glaciers et élève l'évaporation. Cela peut aussi se répercuter sur les précipitations. Les changements d'affectation des terres, résultant par exemple de l'intensification de l'agriculture ou de l'extension de la surface forestière, renforcent encore l'évaporation. De longues séries chronologiques des éléments du bilan hydrologique renseignent ainsi d'une part sur la disponibilité des ressources en eau dans un bassin versant et d'autre part sur les changements que les divers facteurs mentionnés ci-dessus auraient pu faire subir au bilan hydrologique. L'équation simplifiée qui suit permet d'exprimer le bilan hydrologique d'un bassin versant fermé sans dérivations artificielles et sans apports ni pertes en surface ou sous terre:

$$P - R - E - \delta S = 0$$

où P, R, E et  $\delta S$  représentent respectivement les précipitations, l'écoulement, l'évapotranspiration et la variation des réserves (glaciers, couche de neige, lacs, réservoirs artificiels, eau souterraine p. ex.). La variation des réserves, glaciers exceptés, pouvant être négligée si l'intervalle de temps considéré est suffisamment long, l'évaporation a été calculée ici en soustrayant l'écoulement des précipitations.

### Données et méthodologie

La présente planche est une version actualisée et complétée de la planche 6.1, dont les données s'arrêtent en 1980 alors que c'est justement à cette époque que les températures ont commencé à fortement augmenter et la fonte des glaciers à s'intensifier. Elle représente les différentes composantes du bilan hydrologique de grands bassins versants pour l'ensemble du 20<sup>e</sup> siècle.

L'écoulement des grands bassins fluviaux étudiés se base en grande partie sur les données relevées par les stations de jaugeage fédérales (v. planche 5.1<sup>2</sup>). Par rapport à la planche 6.1, les bilans hydrologiques de deux nouveaux sous-bassins de l'Aar (Berne à Brügg et Brügg à Brugg) ont également été calculés et représentés. Les données des deux sous-bassins de l'Aar Aar-Berne (dont la série de mesures débute en 1917 seulement) et Aar-Brügg (dont la série de mesures débute en 1904 seulement) ont en partie été reconstituées à l'aide de modèles de régression. Les bassins intermédiaires de l'Aar Berne à Brügg et Brügg à Brugg ont ensuite pu être calculés par pondération.

Les «vieilles» données pluviométriques de 1901–1980 figurant à la planche 6.1 ont été harmonisées avec les «nouvelles» données de 1961–2007 [3] et combinées pour former un jeu de données homogène couvrant la période 1901–2007. L'ensemble de la série de mesures a ensuite été normalisé avec les données pluviométriques de la planche 6.3 [7]. Cette méthode garantit d'ailleurs la cohérence des résultats obtenus avec les contenus des planches 4.1 (évaporation), 2.6 et 2.7 (précipitations). Les «nouvelles» données résultent d'une interpolation à haute résolution (grille de 2 km • 2 km) des données des stations pluviométriques réalisée à l'aide du programme PRISM Climate Mapping (v. planches 2.6, 2.7 et [1]).

Par ailleurs, suite à la publication de nouveaux travaux scientifiques fondamentaux consacrés à la détermination du volume des glaciers [2,4], la variation des réserves emmagasinées dans les glaciers a été recalculée: une nouvelle méthode a permis d'obtenir pour chaque bassin la variation des réserves entre 1901 et 2007 en partant des données annuelles du bilan de masse du glacier

d'Aletsch [4]. Afin de chiffrer l'évolution des surfaces glaciaires dans les différents bassins au cours du 20<sup>e</sup> siècle, des valeurs de référence ont été calculées pour 1901, 1930 et 1973 à partir de l'Inventaire des glaciers de 1973 [5] et, pour 2007, à partir du Modèle numérique du paysage de la Suisse «VECTOR25» de l'Office fédéral de topographie. Les valeurs situées entre les différentes valeurs de référence ont été interpolées. Le recours aux mesures du bilan de masse du glacier d'Aletsch en vue de déterminer l'évolution annuelle du volume glaciaire dans l'ensemble des grands bassins versants étudiés se base sur l'hypothèse très simplificatrice que l'évolution relative du volume de ce glacier est représentative pour les glaciers de toute la Suisse.

Les données relatives à la variation des réserves stockées dans les lacs naturels se basent sur les stations limnimétriques de la Confédération. Seuls les grands lacs ayant pu provoquer au moins une variation mensuelle de 1 mm de la réserve du bassin ont été considérés. La variation des réserves contenues dans les lacs artificiels et les dérivations a été analysée sur une base mensuelle pour la période 1901–1980 à la planche 6.1 [6]. Comme pour les autres années il n'existait plus de mesures pour les dérivations, à l'exception de la dérivation de Spöl (bassin versant Inn/En–Martina) et de l'adduction de l'Unteralpreuss au Ritomsee (bassin versant Ticino–Bellinzona), il a fallu estimer les données manquantes sur la base des dernières années disponibles.

L'évaporation a été calculée à l'aide de l'équation du bilan hydrologique. Les valeurs indiquées ici pour la période 1901–1980 s'écartent parfois légèrement des données de la planche 6.1, puisque, comme on l'a déjà expliqué, la variation des réserves emmagasinées dans les glaciers a été déterminée à l'aide d'autres méthodes. Globalement, les valeurs de l'évaporation des grands bassins versants correspondent bien à celles de la planche 4.1.

## Analyses

La carte des précipitations régionales fait ressortir clairement les régions climatiques de la Suisse: alors que le Tessin et le versant nord des Alpes reçoivent des quantités de pluie dépassant la normale, le nord du Jura, les parties basses du Plateau ainsi que l'Engadine, vallée sèche intraalpine, sont nettement moins arrosés que la moyenne. La carte de l'écoulement régional fait apparaître une distribution spatiale semblable, mais encore plus accentuée, puisque l'évaporation est supérieure à la moyenne dans les bassins du Plateau situés à basse altitude. Comme l'évaporation dépend principalement de la température lorsque les précipitations sont suffisantes, la carte de l'évaporation régionale met en évidence l'altitude des bassins. La variation des réserves à long terme étant dominée par le recul des glaciers, c'est dans le bassin versant du Rhône, où se trouve le plus grand volume glaciaire, que s'observent les valeurs les plus élevées (v. tab. 1). A l'échelle de la Suisse et sur l'ensemble du 20<sup>e</sup> siècle (fig. 2), pratiquement un tiers des précipitations s'évapore et deux tiers quittent notre pays sous forme d'écoulement via les grandes rivières. Et bien que les glaciers aient perdu près de 40 % de leur volume ces 100 dernières années, ils ne fournissent en moyenne qu'environ 1.4 % de l'écoulement.

Notons au sujet de la carte représentant la variation des réserves, des figures 2 et 3 ainsi que du tableau 1 que les chiffres relatifs à la variation des glaciers dans les différents bassins versants et aux réserves d'eau sous forme de glace pour 2007 sont très imprécis [2]. Ces imprécisions se situent dans un ordre de grandeur de  $\pm 12$  % pour les volumes et sont même bien plus importantes pour les variations temporelles.

Etonnamment, l'évolution à long terme des composantes du bilan hydrologique est très stable. Des évolutions semblables s'observent à l'échelle du pays (fig. 1), mais aussi dans chacun des bassins versants (fig. 4) : les précipitations annuelles et, en conséquence, les écoulements annuels sont soumis à de très fortes fluctuations. Des années très humides peuvent afficher deux fois plus de précipitations que les années très sèches et se suivre. En outre, les périodes humides, respectivement sèches, semblent se suivre à intervalles presque réguliers d'environ 7 à 12 ans. Par contre, sauf pour l'évaporation, il ne se dessine guère de tendances significatives à long terme. Les précipitations ont sensiblement augmenté au nord de la Suisse de la Birse à la Thur, dans la partie occidentale du bassin de l'Aar et, de façon moins marquée, en Valais, alors qu'elles ont plutôt diminué dans le bassin de la Tresa. L'augmentation de l'évaporation a compensé cette hausse des précipitations, de sorte que les écoulements n'ont presque pas changé.

## Aspects particuliers

La figure 5 renvoie à la planche 6.5 et traite de la question de savoir si les petits bassins peuvent fournir des indications sur le comportement hydrologique des bassins versants d'ordre supérieur. La comparaison des régimes d'écoulement montre clairement que les plus petits bassins situés en montagne affichent des régimes à caractère nival (Rotenbach) ou glaciaire (Massa), qui contrastent avec les régimes plus équilibrés des bassins de la plaine. L'analyse des lames d'eau écoulées annuelles moyennes met bien en évidence l'écoulement abondant des bassins d'altitude: dans le bassin non englacé du Rotenbach, les quotients restent relativement stables au cours des années, alors qu'ils varient considérablement dans le bassin fortement englacé de la Massa, en fonction de l'apport des glaciers. Le graphique représentant les quotients de l'écoulement de janvier et juillet fait encore mieux ressortir les différents régimes. Il est intéressant d'observer comme en Valais ces proportions changent depuis 1950 environ sous l'influence des lacs artificiels, qui retiennent l'eau de fonte en été pour la laisser s'écouler en hiver. Ceci reste même visible à l'exutoire du Léman! Les quotients des précipitations de janvier et juillet sont très semblables d'un bassin à l'autre, les précipitations mensuelles ne variant guère à l'intérieur d'une région climatique.

La figure 6 illustre la répartition spatiale des précipitations saisonnières en représentant les rapports entre le semestre d'été (avril à septembre) et le semestre d'hiver (octobre à mars). La carte indique que le rapport entre les précipitations estivales et les précipitations hivernales varie nettement selon les régions. Ces quotients augmentent d'ouest en est et en direction du sud surtout, ce qui signifie que les précipitations sont bien plus abondantes en été qu'en hiver. Comme le montrent les quatre exemples, les précipitations saisonnières n'ont pas évolué de façon significative au cours du 20<sup>e</sup> siècle.

La figure 7 synthétise les conclusions de l'analyse des hydrogrammes des figures 1 et 4. L'évaporation surtout augmente dans tous les bassins, parfois de plus de 20 %. Les précipitations sont également en augmentation, mais dans une bien moindre mesure et pas partout, alors que les écoulements restent plutôt stables.

## Bibliographie

- [1] **Daly, C. et al. (2002):** A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate. In: *Climate Research* 22:99–113, Oldendorf/Luhe.
- [2] **Farinotti, D. et al. (2009):** An estimate of the glacier ice volume in the Swiss Alps. In: *Global and Planetary Change* 68 (3):225–231, Amsterdam.
- [3] **Frei, C., Schär, C. (1998):** A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. In: *Int. J. Climatol.* 18 (8):873–900, Chichester.
- [4] **Huss, M. et al. (2008):** Determination of the seasonal mass balance of four Alpine glaciers since 1865. In: *J. Geophys. Res.*, Vol. 113(F01015), Washington.
- [5] **Müller, F., Caflisch, T., Müller, G. (1976):** Firn und Eis der Schweizer Alpen – Gletscherinventar. ETH Zürich, Publ. Nrn. 57 und 57a, Zürich.
- [6] **Schädler, B. (1985):** Der Wasserhaushalt der Schweiz. Mitteilung der Landeshydrologie und -geologie, Nr.6, Bern.
- [7] **Schädler, B., Weingartner, R. (2002):** Ein detaillierter hydrologischer Blick auf die Wasserressourcen der Schweiz – Niederschlagskartierung im Gebirge als Herausforderung. In: *Wasser–Energie–Luft* 94. Jg., Heft 7/8:189–197, Baden.