

Planche 6.5 Bilan hydrologique d'un choix de bassins versants de taille moyenne, 1961–2007

Introduction

Le bilan hydrologique des bassins versants de taille moyenne non influencés par les activités humaines reflète directement les conditions climatiques qui y règnent et permet ainsi d'en détecter les changements éventuels. Il est donc très important de bien connaître les caractéristiques des composants du cycle de l'eau (précipitations, écoulement, évaporation et variations des réserves). Or, vu les nombreuses atteintes portées à ses eaux de surface (utilisation de la force hydraulique, prélèvement d'eau potable et industrielle, régulation des lacs), la Suisse compte peu de bassins versants présentant des conditions d'écoulement naturelles suffisamment intactes pour pouvoir y déterminer ces composants de façon fiable. Le Service hydrologique national, prédécesseur de la division Hydrologie de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), a entrepris dès 1957 la mise sur pied d'un réseau de bassins de recherches hydrologiques (HUG) dans le but d'observer les modifications naturelles du cycle de l'eau au moyen de mesures à long terme. Afin d'obtenir des informations couvrant si possible l'ensemble des régions paysagères et climatiques du pays, il s'est efforcé d'intégrer au réseau des bassins versants de caractère tout différent, se distinguant par le type de leur régime, leur altitude, etc.

Evolution des précipitations et de l'écoulement

L'évolution à long terme et le comportement saisonnier des éléments du bilan hydrologique «précipitations» et «écoulement» sont représentés pour douze bassins versants répartis sur l'ensemble du pays. Les précipitations des bassins versants ont été estimées à partir des analyses spatiales des précipitations effectuées par MétéoSuisse. Ces analyses, qui couvrent toute la Suisse, ont une résolution spatiale d'environ 2 km et se basent sur les données de quelque 430 stations de mesure. Les données ont été exploitées à l'aide d'un algorithme SYMAP modifié ([4,6]), les données de base utilisées n'étant pas les valeurs des précipitations elles-mêmes, mais les écarts relatifs par rapport à la moyenne à long terme. Cette méthode permet de réduire l'erreur systématique résultant de la répartition non représentative des stations de mesure selon l'altitude. Une moyenne régionale est calculée à partir des précipitations tramées. Comme les précipitations sont fortement sous-estimées dans quelques bassins versants exposés, les précipitations régionales estimées ainsi ne correspondent pas toujours aux précipitations réelles, mais permettent néanmoins parfaitement de représenter l'évolution relative.

Les diagrammes de l'évolution des moyennes glissantes sur 10 ans des précipitations et de l'écoulement décrivent d'une part l'augmentation ou la diminution de la moyenne des périodes de 1961–1970 à 1998–2007 (axe des x) et d'autre part la modification de la variabilité pour le même laps de temps (écart type; axe des y). Les différents points sont reliés par une ligne et un choix de périodes sont mises en évidence pour assurer une meilleure lisibilité. Afin d'éliminer la variabilité liée à la tendance, l'intervalle de temps considéré a chaque fois été corrigé avant de procéder à l'estimation de l'écart type (cf. [2,5]). Les valeurs ont ensuite été normalisées relativement à la période de base ou de référence 1961–1970 pour améliorer la comparabilité des divers bassins versants. Un bootstrap [3] a permis de calculer la zone de signification de 95 % (surface ombrée): 1000 séries temporelles artificielles ont d'abord été générées à partir de la période de référence par tirage et remplacement (correction de la tendance comprise), puis ont servi à leur tour de base pour calculer les moyennes et les écarts types. Finalement, la zone de signification entourant ces valeurs artificielles a été déterminée à l'aide d'un estimateur à noyau de densité gaussien bidimensionnel.

La partie inférieure gauche des figures illustre le comportement saisonnier des précipitations et de l'écoulement en représentant les coefficients de Pardé moyens de trois périodes différentes (période entière: 1961–2007; période la plus ancienne: 1961–1970; période la plus récente: 1998–

2007). Ces diagrammes permettent d'évaluer l'impact d'une modification du régime des précipitations sur le régime d'écoulement.

De grandes disparités apparaissent lorsque l'on compare le comportement des précipitations et de l'écoulement dans divers bassins versants. Ainsi, dans celui de la Massa par exemple, la variabilité et surtout le débit annuel moyen ont nettement augmenté ces 40 dernières années. Par contre, les conditions sont restées bien plus constantes dans ceux de l'Allenbach et du Rhin Postérieur. Alors que le régime d'écoulement de la Massa semble avoir peu varié entre la période la plus ancienne et la période la plus récente, l'Allenbach a vu son débit diminuer en été et augmenter légèrement en hiver. Les bassins versants situés à plus basse altitude, tels que celui de la Singine ou de la Sitter, présentent une image encore un peu différente. En effet, si dans les graphiques de l'évolution des moyennes le point d'arrivée se situe relativement près du point de départ, de nettes différences apparaissent toutefois lorsque l'on compare la période la plus ancienne à la plus récente dans les graphiques de l'évolution saisonnière. D'importants changements y sont déjà visibles au printemps à la fonte des neiges. En moyenne des dernières années, les précipitations se transforment plus tôt en écoulement (mars), entraînant une diminution de l'écoulement moyen en avril et mai. Cependant, les changements subis par le régime des précipitations ne suffisent pas à eux seuls à expliquer ces décalages, car la température, et par conséquent la position de la limite des chutes de neige, jouent également un rôle très important dans les bassins versants situés en altitude. Le régime des bassins dont l'altitude moyenne est importante ne change guère, puisqu'en hiver les précipitations y tombent sous forme de neige même si les températures sont élevées et que, lorsque le taux de glaciation est élevé, les débits maximaux s'écoulent en plein été durant la fonte des glaciers. A plus basse altitude, sous un climat plus chaud, les précipitations tombent davantage sous forme de pluie même en hiver et s'écoulent donc directement. L'effet de stockage de la couverture neigeuse diminue et le régime subit des décalages.

La partie inférieure droite des figures complète les graphiques de l'évolution en représentant les écarts des moyennes annuelles des précipitations et de l'écoulement par rapport aux moyennes à long terme pour l'ensemble de la période 1961–2007.

Caractérisation des bassins versants

Les deux cartes et le tableau de la colonne droite de la page de cartes livrent des informations utiles qui permettent d'interpréter les graphiques des précipitations et de l'écoulement. Sur la carte du haut, comme la partie bleue des colonnes exprime l'écoulement moyen et la partie rouge l'évaporation moyenne (moyenne modélisée de la période 1973–1992 selon la planche 4.1), le problème de l'imprécision du niveau absolu des précipitations, qui a été évoqué précédemment, est en partie résolu. La hauteur totale de la colonne représente donc une estimation des précipitations moyennes, en fonction de laquelle le bassin versant est caractérisé sur la carte. Les valeurs de l'écoulement proviennent du réseau de mesure de l'OFEV et ont été corrigées le cas échéant en tenant compte des influences anthropiques (adductions d'eau et dérivations).

La carte du bas est une visualisation du tableau 1. Les paramètres sont tirés de [1] et sont disponibles pour l'ensemble des HUG.

Modélisation du bilan hydrologique

Pour connaître plus en détail le bilan hydrologique d'un bassin versant, on peut recourir à des modèles hydrologiques. Simulant les principaux composants du cycle de l'eau (fig. 1) – selon leur complexité dans divers degrés de spécification –, ceux-ci sont généralement calibrés sur l'écoulement mesuré. Le système de modèles hydrologiques utilisé ici à titre d'exemple, le PREVAH (Precipitation-Runoff-EVApotranspiration Hydrotope Model) [7], se compose de plusieurs stocks linéaires reproduisant la dynamique de la neige (SSNO), l'interception (SI), la dynamique de l'eau du sol (SSM) et la formation de l'écoulement (SUZ, SLZ₁₋₃) (fig. 2). Un module spécifique supplémentaire est également disponible pour les régions recouvertes de glace. Les modules de stockage constituent à leur tour le point de départ pour les flux d'eau modélisés, à savoir la fonte des stocks neigeux (SM), l'évaporation (ESM, EI), l'infiltration (IF), la percolation (PERC) ainsi que les différents composants de l'écoulement (R_0 , R_1 , R_2) et l'écoulement total (R_{TOT}). Le modèle est

alimenté par les valeurs horaires des précipitations, de la température, de l'humidité de l'air, de la vitesse du vent, de la durée d'ensoleillement et du rayonnement global.

La partie gauche de la figure 3 représente l'évolution saisonnière des entrées et sorties qui déterminent le bilan hydrologique de six bassins versants, en moyenne des années 1984 à 2003.

Les précipitations constituent l'entrée élémentaire qui alimente le système en eau. En moyenne pluriannuelle, elles affichent une saisonnalité plus ou moins marquée en fonction de la situation géographique du bassin. Le stock neigeux (SSNO) assume la fonction de sortie (accumulation dans les stocks neigeux) en hiver et d'entrée (fonte de la neige) du printemps en été. On observe que la dynamique de la neige influence fortement le bilan hydrologique saisonnier des bassins de caractère nival à glaciaire de l'Allenbach (nival alpin), du Dischmabach (b-glacio-nival) et de la Minster (nival de transition). Le comportement du stock d'eau souterraine (SLZ₁₋₃) se différencie lui aussi selon les saisons: il représente une sortie durant les mois où les quantités d'eau sont importantes (accumulation dans les stocks d'eau souterraine), alors qu'il constitue généralement une entrée le reste du temps (déstockage des eaux souterraines). Dans les bassins alpins, l'accumulation dans les stocks d'eau souterraine est liée à la fonte des neiges (bassin du Dischmabach p. ex.), alors qu'elle a lieu en hiver dans les bassins du Plateau et du Jura, lorsque l'évaporation est plus faible (bassin de la Mentue p. ex.). L'évaporation elle-même est une sortie. Se composant de l'évaporation de l'eau interceptée (EI) et de l'évaporation de l'eau du sol (ESM), elle affiche une saisonnalité marquée dans l'ensemble des bassins, avec des valeurs maximales en été. Finalement, l'écoulement dépend pour l'essentiel des sorties et des entrées citées ci-dessus et représente la sortie caractérisant le comportement hydrologique du bassin en tant que tout. Le modèle simule des valeurs séparées pour l'écoulement de surface (R_0), l'écoulement de subsurface (R_1) et l'écoulement souterrain (R_2), qui additionnés forment l'écoulement total (R_{TOT}). Les variations modélisées du stock d'eau du sol (SSM) et du stock d'écoulement de surface et de subsurface n'étant pas représentées pour des raisons de lisibilité, les montants des entrées de chaque mois ne correspondent pas exactement à ceux des sorties, mais le bilan hydrologique simulé est néanmoins bouclé si l'on considère l'ensemble de l'année.

Puisqu'il se base sur le principe des hydrotopes (sous-unités réagissant de façon semblable au point du vue hydrologique), le modèle PREVAH permet non seulement d'obtenir des informations ponctuelles sur les sorties du bassin, mais aussi d'effectuer des analyses spatiales différenciées de toutes les grandeurs modélisées. La deuxième et la quatrième colonnes de la figure 3 représentent les résultats obtenus pour l'écoulement annuel total modélisé, la résolution choisie ici pour le modèle étant de 500 m • 500 m. Dans l'ensemble des bassins, on observe clairement que l'écoulement total dépend de l'altitude, ce qui est essentiellement dû à l'augmentation des précipitations avec l'altitude et accentué par la diminution de l'évaporation réelle. Cette dépendance est bien plus visible dans les bassins alpins et préalpins (Allenbach, Dischmabach, Minster) que sur le Plateau, où les différences de relief sont moins importantes (Murg, Mentue, Scheulte).

Bibliographie

- [1] **Aschwanden, H. (1996):** Einzugsgebietskenngrößen der hydrologischen Untersuchungsgebiete der Schweiz. Hydrologische Mitteilungen Nr. 23, Bern.
- [2] **Della-Marta, P.M. et al. (2007):** Doubled length of western European summer heat waves since 1880. In: J. Geophys. Res., Vol. 112(D15), Washington.
- [3] **Efron, B., Tibshirani, R. (1993):** An introduction to the bootstrap. New York.
- [4] **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.
- [5] **Scherrer, S.C. et al. (2005):** European temperature distribution changes in observations and climate change scenarios. In: Geophysical Research Letters, 32(L19705), Washington.
- [6] **Shepard, D.S. (1984):** Computer Mapping: The SYMAP Interpolation Algorithm. In: Gaile G.L., Willmott, C.J. (Ed.): Spatial Statistics and Models:133–145, Dordrecht.
- [7] **Viviroli, D., Gurtz, J., Zappa, M. (2007):** The Hydrological Modelling System PREVAH. Geographica Bernensia P40. Bern.