

# Effets des changements climatiques sur les hydrosystèmes alpins

**Les changements climatiques ont une répercussion directe sur le cycle de l'eau dans les Alpes. Les 10 dernières années ont probablement été les plus chaudes du dernier millénaire. Si ce réchauffement se maintient, les conséquences se feront sentir au niveau du cycle de l'eau en Suisse. Il faudra s'attendre à une diminution de la quantité des précipitations en été et à une augmentation en hiver, de même qu'à une augmentation de la limite des neiges éternelles et à une fonte des glaciers. Mais quelles seront les conséquences sur les eaux alpines?**

Les hydrosystèmes alpins – rivières et fleuves, petits et grands lacs, eaux souterraines, occupant pores, fissures et aquifères – font partie du cycle global de l'eau. Par le jeu de l'évaporation et des précipitations, il relie entre eux l'atmosphère, le sol, la végétation et les hydrosystèmes. Le cycle de l'eau est influencé par le climat et les conditions météorologiques et, inversement, ceux-ci sont également sous son influence, il s'agit d'une boucle de régulation très complexe. Pour encore compliquer le tout, l'homme s'immisce dans cette boucle de régulation par les usages qu'il fait de l'eau: rétention dans des lacs et réservoirs, dérivation vers d'autres bassins versants, irrigation à grande échelle de surfaces agricoles, drainage de zones humides, actions modifiant le niveau des nappes phréatiques. Dans nos régions tempérées, les relations entre climat, conditions météorologiques et

cycle de l'eau semblent se maintenir sur de longues périodes, c'est-à-dire sur plusieurs siècles, à condition que le climat global ne se modifie pas. Cette règle vaut également pour le milieu alpin.

## Variations au sein du cycle de l'eau dans le passé proche et lointain

Pour évaluer l'évolution future du climat, on ne saurait négliger de considérer le cycle de l'eau et en particulier les précipitations. Dans toutes les régions de Suisse, elles ont présenté d'importantes fluctuations au cours des 100 dernières années (Fig. 1): Dans le bassin versant du Ticino, par exemple, elles ont varié entre 1084 mm en 1949 et 3038 mm en 1977 – ce qui signifie qu'elles varient du simple au triple. Probst et Tardy [1] ont analysé l'écoulement des fleuves et grandes rivières et ont pu montrer

que ces variations étaient applicables dans le monde entier. Elles sont liées à des fluctuations au niveau de la circulation générale de l'atmosphère.

Les débits sont indirectement reliés aux précipitations. Si l'évaporation se maintient à un niveau constant, ils suivent au cours des ans les variations des précipitations. Celles-ci ne s'écoulent cependant pas toujours directement et sont partiellement stockées dans le manteau neigeux et les glaciers, dans le sol, dans les aquifères et dans les lacs naturels et artificiels. La libération d'eau à partir de ces réserves influence les débits pendant une courte période de temps. Suivant la place occupée par les glaces et les neiges dans un bassin versant, on distingue divers types de régimes hydrologiques caractérisés par des évolutions différentes des débits au cours de l'année. La figure 2 présente un certain nombre de régimes saisonniers. Le type «a-glaciaire» présente les fluctuations saisonnières les plus marquées. Il comprend des cours d'eau principalement alimentés par la fonte des neiges et des glaces. Le débit moyen mensuel peut facilement y varier d'un facteur 30 entre l'hiver et l'été. Les fluctuations les plus faibles sont observées dans les cours d'eau de type «pluvial supérieur» principalement alimentés par les pluies.

Si l'on considère les débits extrêmes correspondant aux périodes d'étiages ou de crues, les différences sont encore plus marquées. Dans le Rappengraben, une rivière au bassin versant très restreint, on a mesuré des débits allant de 0,1 l/s à plus de 2300 l/s. Par contre, dans le Rhin au bassin versant très étendu (dont on ne prend en compte que la partie située en amont de Bâle), on observe des extrêmes comprises entre 205 m<sup>3</sup>/s en 1858 et 5700 m<sup>3</sup>/s en 1876.

Le problème réside dans le fait que la société et le secteur de l'économie de l'eau adoptent les valeurs extrêmes des 100 dernières années en tant que valeurs empiriques de référence. Si l'on remonte cependant plus loin dans le temps, force est de

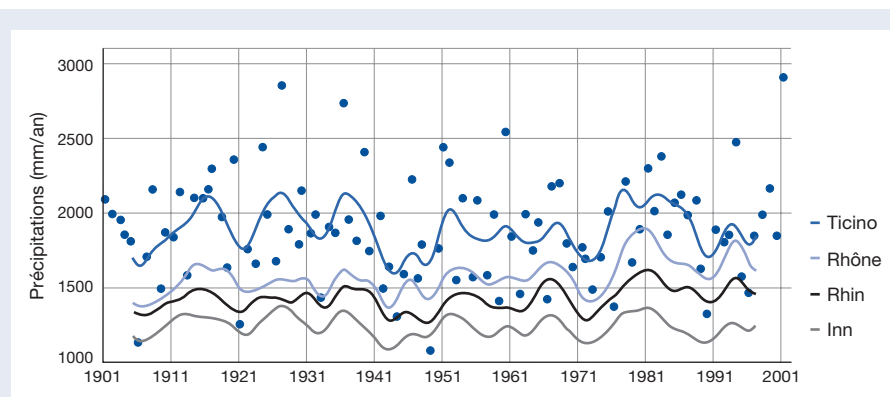


Fig. 1: Séries chronologiques des précipitations annuelles (mm/an) mesurées de 1901 à 2002 dans les bassins versant du Ticino jusqu'à Bellinzona, du Rhône jusqu'au Lac Léman, du Rhin jusqu'à Bâle (Suisse uniquement) et de l'Inn jusqu'à la frontière. Pour le Ticino, chacune des valeurs annuelles est de surcroît indiquée par des points [7].

constater que ces valeurs empiriques ne rendent pas compte de toute l'ampleur des variations possibles. Pfister [2] a étudié les changements climatiques survenus au cours des 500 dernières années et a constaté que le XX<sup>e</sup> siècle était un siècle



Une lave torrentielle en action.



Le résultat: Davantage de laves torrentielles suite au réchauffement du climat?

particulièrement clément. Ainsi, pour les gens du XVIII<sup>e</sup> siècle, les lacs gelés en hiver étaient chose tout à fait commune et ils étaient habitués à des hivers secs et froids. En même temps, la sécheresse estivale était assez fréquente: avant 1730, les étés secs se produisaient tous les 12 à 15 ans, contre tous les 50 ans plus tard et même une seule fois (en 1947) au XX<sup>e</sup> siècle. La période comprise entre 1576 et 1635 est marquée par des mois d'été froids et humides ainsi que par une avancée des glaciers. Depuis ce temps, les étés aussi extrêmes sont devenus rares.

La dynamique des crues s'est, elle aussi, modifiée: Dans les cantons de montagne que sont le Valais, l'Uri, le Tessin et les Grisons, les périodes de 1550 à 1580 et de 1827 à 1875 sont particulièrement touchées par les inondations, ces événements paroxysmiques étant par contre plutôt rares entre 1641 et 1706 ainsi qu'entre 1927 et 1975. Au XX<sup>e</sup> siècle, on observe une recrudescence des inondations depuis 1977. Il n'est donc pas étonnant que Schmidli et ses collaborateurs [3] observent une augmentation des précipitations hivernales et que Frei et Schär [4] fassent état d'une fréquence accrue des périodes de fortes précipitations depuis cette date.

### Le cycle de l'eau dans le futur proche et lointain

Les années 1990 ont probablement été la décennie la plus chaude du dernier millénaire. Le troisième rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, en anglais IPCC) l'a bien montré [5]. Ce rapport insiste d'autre part sur le fait que la plus grande part du réchauffement survenu au cours des 50 dernières années est attribuable aux activités anthropiques. L'Organisme consultatif sur les Changements Climatiques (Occc) [6] a établi à partir du rapport du GIEC une liste

des principaux effets concernant la Suisse. Suite au réchauffement probablement persistant de l'atmosphère, il faut s'attendre à des conséquences significatives sur le cycle de l'eau en Suisse:

- diminution des précipitations en été et augmentation en hiver; variations plus importantes de la quantité annuelle de précipitations;
- augmentation de la fréquence des fortes précipitations en hiver (cf. Fig. 3);
- réduction de la part de la neige dans les précipitations;
- montée de la limite des neiges de 200 m;
- fonte d'une grande partie des glaciers;
- augmentation de 10% du volume écoulé au nord des Alpes, diminution de ce volume de 10% au sud des Alpes;
- décalage d'un degré des types de régimes hydrologiques (cf. Fig. 2);
- augmentation de la fréquence et de l'ampleur des crues surtout hivernales dans les régions de moyenne et de faible altitude;
- accentuation de la sécheresse en été, surtout dans les cours inférieurs;
- fluctuations plus importantes au niveau de la dynamique fluviale;
- augmentation de la fréquence des laves torrentielles dans les zones très pentues occupées par des éboulis; ces zones apparaissent à la surface suite à la fonte du permafrost et des glaciers.

Soulignons toutefois que les changements annoncés dans notre région restent incertains. Les modèles climatiques globaux livrent en effet des scénarios assez incertains à l'échelle régionale.

### Conséquences pour l'économie de l'eau

Les changements climatiques en progression peuvent avoir pour conséquence que les éléments du cycle de l'eau prennent des valeurs qui dépassent les valeurs empiriques communément admises actuelle-

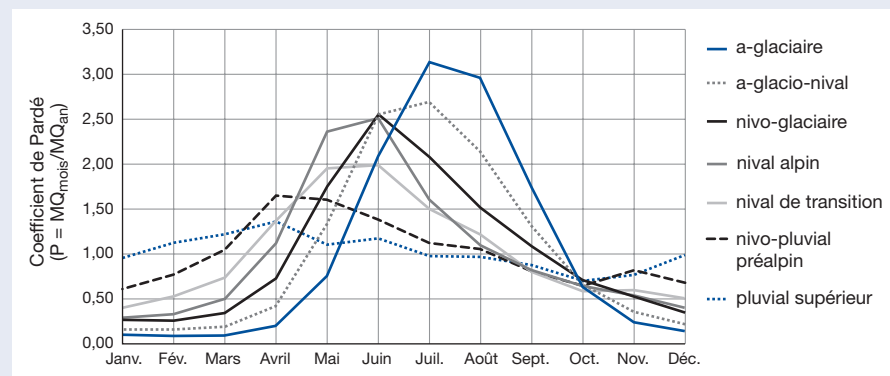


Fig. 2: Régimes d'écoulement moyens de bassins versants suisses situés à différentes altitudes, allant par étapes de 300 m d'altitude du régime pluvial supérieur (800 m d'altitude moyenne) au régime a-glaciaire (2700 m d'altitude) [d'après 8]. MQ = débit moyen.

ment. Il faut donc s'attendre à en observer les conséquences à divers niveaux du secteur économique de l'eau:

- Suite à une baisse des précipitations estivales, les lacs et cours d'eau contiendraient et transporteraient moins d'eau. De plus, les surfaces agricoles nécessiteraient une irrigation artificielle supplémentaire, ce qui aggraverait la pénurie. Cette pénurie en eau aurait en plus des conséquences fâcheuses sur la qualité des eaux. D'un côté, les polluants déversés dans les milieux aquatiques ne seraient plus assez dilués. D'un autre côté, on assisterait à un réchauffement des eaux. Normalement, la température de l'eau et celle de l'air ont une évolution parallèle (Fig. 4). Si les débits diminuent, il faut s'attendre à un réchauffement plus important que la normale, et ce, plus particulièrement dans les cours d'eau de petite taille.

- Il n'est pas exclu que des conséquences se fassent sentir au niveau des aquifères situés à proximité des rivières, étant donné qu'une réduction de l'infiltration d'eau de pluie et d'eau fluviale se produirait en même temps qu'une augmentation de l'évaporation.

- La gestion des grands lacs suisses (exception faite du Lac de Constance et du Walensee) s'appuie sur l'expérience acquise au cours du XX<sup>e</sup> siècle ainsi que sur un équilibre entre les intérêts des divers usagers de ces lacs. Une augmentation des précipitations hivernales pourrait accroître l'importance des impératifs sécuritaires contre les crues, ce qui nécessiterait l'établissement de nouveaux règlements ou peut-être même la construction de nouveaux aménagements hydrauliques. Étant donné que de telles adaptations demandent une longue période de planification et de mise en œuvre, il est besoin au plus vite de scénarios prévisionnels concernant ce problème.

- La distribution dans le temps de l'alimentation des lacs de rétention par leurs affluents sera probablement modifiée de même que celle de la demande en électricité. Il se peut d'autre part que les gestionnaires des lacs soient confrontés au besoin venant de l'aval de volumes de rétention supplémentaires pour les crues devenues plus importantes et plus fréquentes. Un important travail de préparation doit donc être fourni au niveau politique, juridique et technique pour adapter les lacs de rétention à ces nouvelles fonctions.

- S'il s'avère que les crues hivernales ont une influence accrue sur celles qui se produisent dans les pays situés en aval, il faut s'attendre à ce que ceux-ci demandent à la Suisse d'adopter des mesures visant à assurer une certaine rétention au niveau des lacs et réservoirs. Les deux points précédemment cités prennent alors une dimension politique particulière.

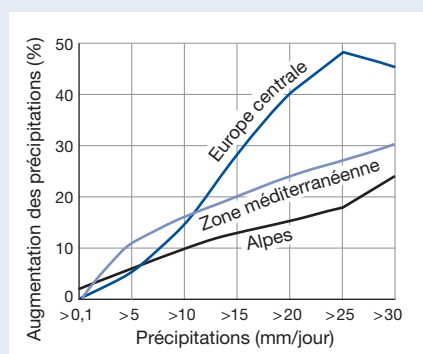
- Enfin, la navigation fluviale pourrait être également touchée: Dans le Rhin, il faut s'attendre en particulier en été et en automne à des niveaux d'eau très faibles jusqu'aux Pays-Bas, et en hiver au passage de crues.

En conséquence de cela, les bateaux ne pourraient plus atteindre la Suisse à moins de n'être que partiellement chargés, ce qui induirait une augmentation du prix des marchandises en vrac (comme le pétrole).

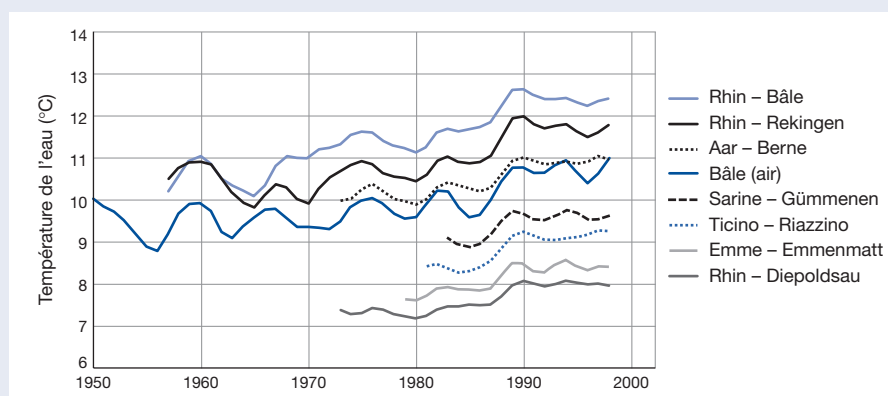
Le secteur de l'économie de l'eau s'adapte depuis toujours aux situations extrêmes en réagissant et en adoptant des mesures flexibles. Les changements climatiques dont font état les prévisions correspondent cependant à une situation particulièrement délicate à laquelle il est possible de réagir dès à présent en adoptant des mesures calquées sur le principe du «sans regret». Il s'agit d'une part de mesures visant à minimiser les effets des changements climatiques et d'autre part de démarches souhaitables à d'autres points de vue, comme par exemple une adaptation de la politique d'aménagement du territoire ou une gestion plus flexible des grands lacs.



**Bruno Schädler est docteur en physique de l'atmosphère et en hydrologie. Il dirige la division «Economie des eaux» de l'Office Fédéral des Eaux et de la Géologie, à Berne-Ittingen, et exerce les fonctions d'expert des eaux et du climat au sein de l'Organe consultatif sur les Changements Climatiques (OcCC).**



**Fig. 3: Augmentation des précipitations hivernales dans trois régions d'Europe calculée pour une augmentation de 2 °C de la température et de 15% de l'humidité de l'atmosphère par rapport aux conditions actuelles [d'après 9].**



**Fig. 4: Température moyenne annuelle de l'eau observée de 1954 à 2001 dans divers fleuves et rivières suisses comparée à la température de l'air à Bâle. Les séries chronologiques des moyennes annuelles ont été lissées avec un filtre passe-bas gaussien appliqué sur 7 ans [d'après 10].**

- [1] Probst J.L., Tardy Y. (1987): Long range streamflow and world continental runoff fluctuations since the beginning of this century. *Journal of Hydrology* 94, 289–311.
- [2] Pfister C. (1999): *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*. Verlag Haupt, Bern, 304 S.
- [3] Schmidli J., Schmutz C., Frei C., Wanner H., Schär C. (2002): Mesoscale precipitation variability in the region of the European Alps during the 20th century. *International Journal of Climatology* 22, 1049–1074.
- [4] Frei C., Schär C. (2001): Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. *Journal of Climate* 14, 1564–1584.
- [5] IPCC (2001): *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 944 p.
- [6] OcCC (2002): *Le climat change, en Suisse aussi – Les points principaux du troisième rapport du GIEC sur l'état des connaissances, du point de vue de la Suisse*. Berne, 48 p.
- [7] Schädler B. (1985): *Der Wasserhaushalt der Schweiz. Mitteilungen der Landeshydrologie Nr. 6*, Bern, 84 S.
- [8] Weingartner R., Aschwanden H. (1992): Régimes d'écoulement comme base pour l'estimation des valeurs moyennes des débits. *Atlas hydrologique de la Suisse*, planche 5.2, Berne.
- [9] Frei C., Schär C., Lüthi D., Davies H. C. (1998): Heavy precipitation processes in a warmer climate. *Geophysical Research Letters* 25, 1431–1434.
- [10] Jakob A., Liechti P., Schädler B. (1996): Temperatur in Schweizer Gewässern – Quo vadis?. *Gas-Wasser-Abwasser* 76, 288–294.