



L'eau en Suisse – un aperçu

sc | nat 

Geosciences
Platform of the Swiss Academy of Sciences
Commission suisse d'hydrologie CH

Contenu

Préface	3
Les ressources en eau de la Suisse.....	4
D'où vient notre eau ?.....	4
Les régimes d'écoulement.....	6
Le bilan hydrologique de la Suisse	8
Les conséquences du changement climatique.....	10
Utilisation et consommation de l'eau	12
Qualité de l'eau et écologie.....	14
Les défis de l'avenir	16
Glossaire	18
Bibliographie.....	22
Liens	24
Annexes	25
Annexe 1	25
Annexe 2	26
Annexe 3	26
Annexe 4	27

IMPRESSUM

Distribution:

CHy
Commission suisse d'hydrologie
c/o groupe d'hydrologie
Institut de Géographie de l'Université de Berne
Hallerstrasse 12
3012 Berne

Auteurs: Pascal Blanc et Bruno Schädler,

groupe d'hydrologie, Institut de Géographie de l'Université de Berne

Rédaction: Milena Conzetti, text.bildung.wald; Emmanuel Rey, Institut
de Géographie de l'Université de Berne

Traduction: Pascal Blanc, Institut de Géographie de l'Université
de Berne

Graphiques: Alexander Hermann, Institut de Géographie de l'Université
de Berne

Mise en page: Olivia Zwygart, Académie suisse des sciences naturelles
(SCNAT)

Review: Commission suisse d'hydrologie CHy
de l'Académie suisse des sciences naturelle (SCNAT)

Citation: Blanc Pascal et Schädler Bruno (2013): L'eau en Suisse –
un aperçu. Commission suisse d'hydrologie, Berne, 28. p.

Photos: Image de titre: fontaine de la Place fédérale (Max Baumann,
Schaffhouse) | p. 4, 5: image satellitaire de l'Europe (Institut de Géographie
de l'Université de Berne) | p. 6: Madranertal (Christoph Ritz) |
p. 9: Bachalpsee, Grindelwald (Jungfraubahnen) | p. 11: glacier d'Aletsch
(Christoph Ritz) | p. 13: irrigation (agroscope ART, Jürg Fuhrer) |
p. 15: l'Aar à Bern (berninfo.com) | p. 17: KWO/Robert Bösch |
p. 21: gorges de l'Aar (Christoph Ritz) | p. 23: inondation de la Matte, Berne
(Christoph Ritz) | Image de verso: Klöntalersee (Edith Oosenbrug)

ISBN: 978-3-9524235-1-6

1^{re} édition
© CHy 2013

Préface



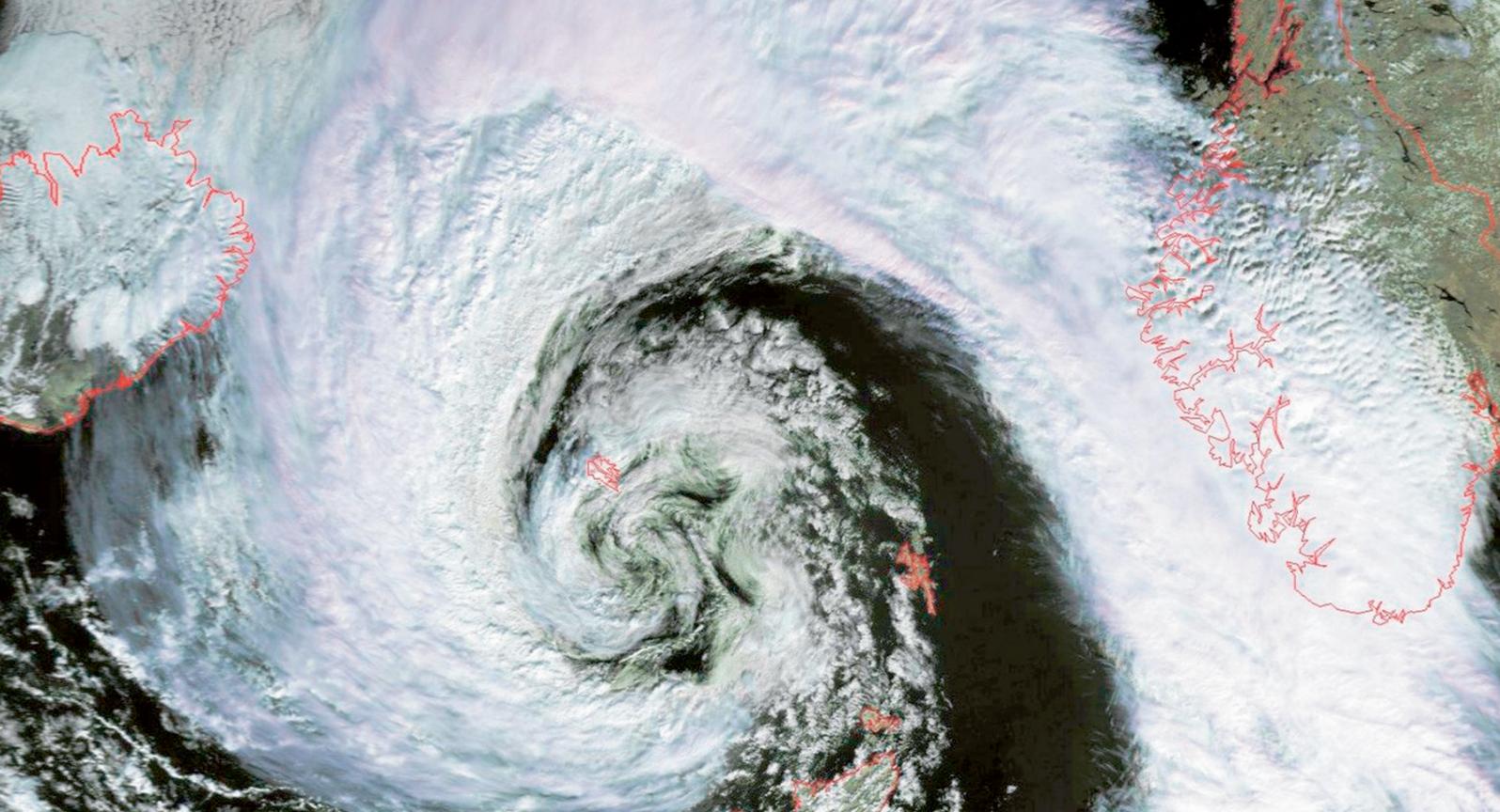
Cette brochure d'information sur l'eau en Suisse est un produit de la Commission suisse d'hydrologie CHy de l'Académie des sciences naturelles (SCNAT). Elle a été réalisée dans le cadre d'un groupe de travail du domaine de l'« exploitation durable des ressources limitées » de la « Platform Geosciences » de la SCNAT. Cette brochure est conçue comme source d'information de base pour le grand public intéressé et pour les écoles. En annexe, vous trouverez un tableau avec tous les chiffres importants sur le thème de l'eau en Suisse ainsi que des illustrations parlantes de ceux-ci (bilan hydrologique depuis 1901, bilan hydrique actuel complet, flux entrants et sortants de ou vers nos voisins limitrophes, etc.). Les termes les plus importants qui figurent dans cette brochure sont expliqués dans le glossaire. Outre une version digitale de la présente brochure, d'autres informations et du matériel didactique seront mis à disposition sur le site <http://chy.scnatweb.ch>.

L'origine des précipitations constitue le point de départ de la présente brochure. La Suisse doit sa richesse en eau à sa particularité topographique qui induit des précipitations élevées – en particulier dans les Alpes. L'eau est une ressource d'importance centrale dont les aspects hydrologiques, sociétaux, écologiques et de la gestion des eaux sont traités ici dans un langage compréhensible. Etant donné qu'une part non négligeable des précipitations tombe sous forme de neige, le stockage d'eau dans le manteau neigeux ou dans nos glaciers joue un rôle prépondérant dans la disponibilité de l'eau au cours des saisons. Que ce soit la force hydraulique, la pêche ou les loisirs: toutes et tous ont besoin d'eau en suffisance et de bonne qualité.

C'est dans une constellation d'acteurs aux intérêts divergents que l'avenir énergétique de la Suisse se décidera. En effet, plus de la moitié de nos besoins en électricité sont couverts par la force hydraulique. Cette part devrait encore augmenter, suite à la décision de ne plus compter sur l'énergie nucléaire dans un avenir proche. La pression sur les cours d'eau et leurs écosystèmes va ainsi encore s'accroître. Le changement climatique finalement apportera des modifications du cycle de l'eau.

Nous espérons que cette brochure permettra de diffuser les connaissances actuelles sur l'eau en Suisse. Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé à la réalisation de cette publication.

Prof. Dr. Rolf Weingartner
Président de la Commission suisse d'hydrologie CHy



Les ressources en eau de la Suisse

D'où vient notre eau ?

Les précipitations sous forme de pluie ou de neige constituent la source principale de nos ressources en eau présentes dans nos lacs, nos rivières ou le sous-sol. Selon les saisons et la situation météorologique, l'humidité contenue dans les précipitations provient de régions différentes.

La situation météorologique dominant la Suisse influence l'origine, la forme et l'intensité des précipitations. En été, les précipitations tombent la plupart du temps sous forme liquide (pluie), par exemple lors d'un orage estival. En hiver, les précipitations sont plus généralisées et souvent sous forme de neige. Deux situations météorologiques relativement rares mènent à des événements extrêmes dans nos contrées (voir Fig. 1 b). La situation de gauche conduit à des situations de sécheresse, celle de droite à des inondations. En Suisse, pays riche en relief, l'altitude joue également un rôle important sur la quantité des précipitations et leur forme : plus on va en altitude, plus la neige est fréquente et plus les quantités de précipitations sont importantes.

L'importance de l'Atlantique Nord

L'humidité est transportée de différentes régions vers la Suisse par les vents qui varient selon la situation météorologique. En moyenne,

environ 40% des précipitations atteignant le sol Suisse sont issus de vapeur d'eau évaporée à la surface de l'Atlantique Nord, pour un quart de la région méditerranéenne et pour un cinquième de la zone continentale européenne. Finalement, 15% trouvent leur origine au-dessus de la mer du Nord ou de la Baltique (Fig. 1 a). Les sources d'humidité diffèrent néanmoins beaucoup selon les saisons. Ainsi, l'Atlantique Nord représente en hiver une source encore plus importante que le montre la figure 1, alors qu'en été les surfaces de l'Europe de l'Ouest sont prédominantes. De plus, l'origine des précipitations au Nord et au Sud des Alpes diffère dû à la barrière naturelle que celles-ci représentent: Le Tessin est approvisionné plus fortement par de l'humidité émanant de la région méditerranéenne que ne l'est le Nord de la Suisse. L'importance des différentes sources d'humidité peut varier fortement d'une année à l'autre, sans pour autant affecter la quantité totale des précipitations.

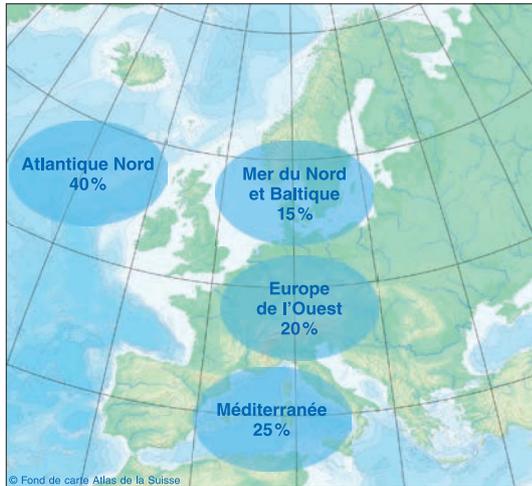


Fig. 1 a : Les sources d'humidité de la Suisse entre 1995 et 2002 (d'après Sodemann et al. 2010).

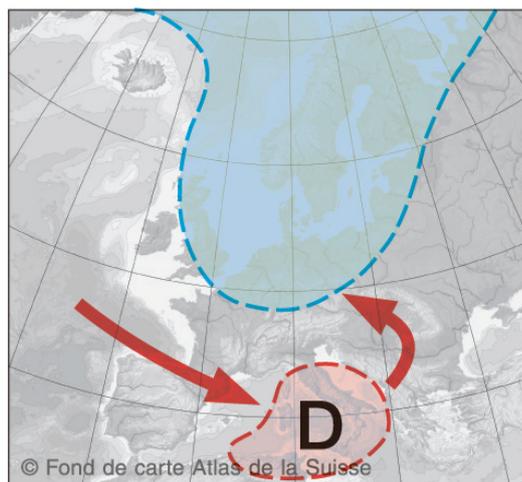
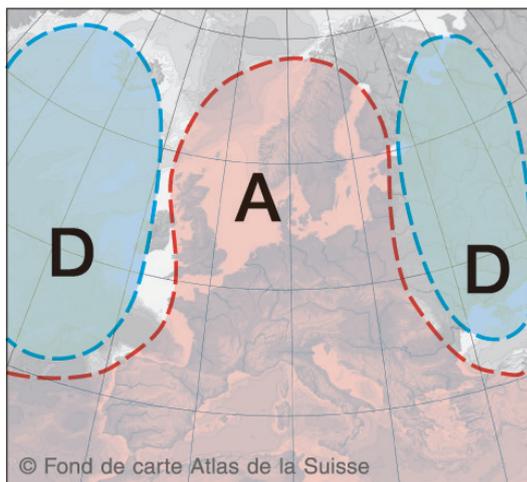


Fig. 1 b : Deux situations météorologiques qui peuvent conduire à des événements extrêmes en Suisse. La situation « oméga » (à gauche) avec une zone de haute pression étendue et stable (A) pouvant conduire à des périodes de sécheresse (par exemple : été 2003). La situation « 5b » par contre (à droite), avec le parcours caractéristique d'une basse pression (D) est connue pour son apport d'air humide et doux élevant la limite pluie-neige. Si les sols sont déjà gorgés d'eau, les fortes précipitations peuvent déclencher des crues, la plupart du temps au printemps ou en automne et dans l'espace alpin.

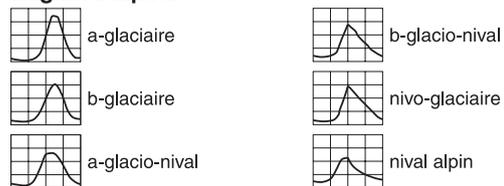


Les régimes d'écoulement

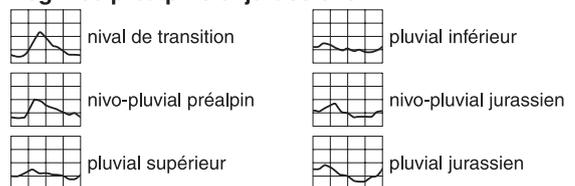
Des quantités d'eau (appelés débits) typiques s'écoulent dans les cours d'eau de Suisse selon la saison. Le « régime » décrit l'évolution moyenne de ces débits au cours de l'année et dépend de la région, de l'altitude et de la présence d'un glacier ou non. 16 différents types de régimes ont été identifiés en Suisse.

En Suisse, le stockage temporaire des précipitations sous forme de neige ou de glace joue un rôle important dans la répartition — appelée « régime » — des débits en fonction de la saison. Au sein de la crête jurassienne, la neige fond au printemps et conduit à un pic des débits des rivières. Dans les Alpes, le pic de la fonte des neiges intervient plus tard et cède la place à la fonte des glaciers durant l'été. Les précipitations — souvent plus élevées en été à cause des orages — renforcent encore l'écoulement dans les Alpes. Les régimes sont dénommés différemment selon le processus déterminant le pic: régimes glaciaires (les hauts débits sont générés par la fonte des glaces), nivaux (fonte des neiges) et pluviaux (pluie). Il existe 16 différentes variations de régimes pour la Suisse (Fig. 2). Cinq d'entre eux — répartis sur tout le territoire — sont représentés dans la figure 3.

Régimes alpins



Régimes préalpins et jurassiens



Régimes sudalpins



Fig. 2: Les 16 régimes d'écoulement de Suisse d'après Weingartner et Aschwanden (1992). Ils sont représentés schématiquement de décembre à décembre. Pour comparer les régimes entre eux, le coefficient de Pardé est souvent utilisé. Ce quotient s'obtient en divisant les débits mensuels moyens par le débit annuel moyen pour une période donnée.

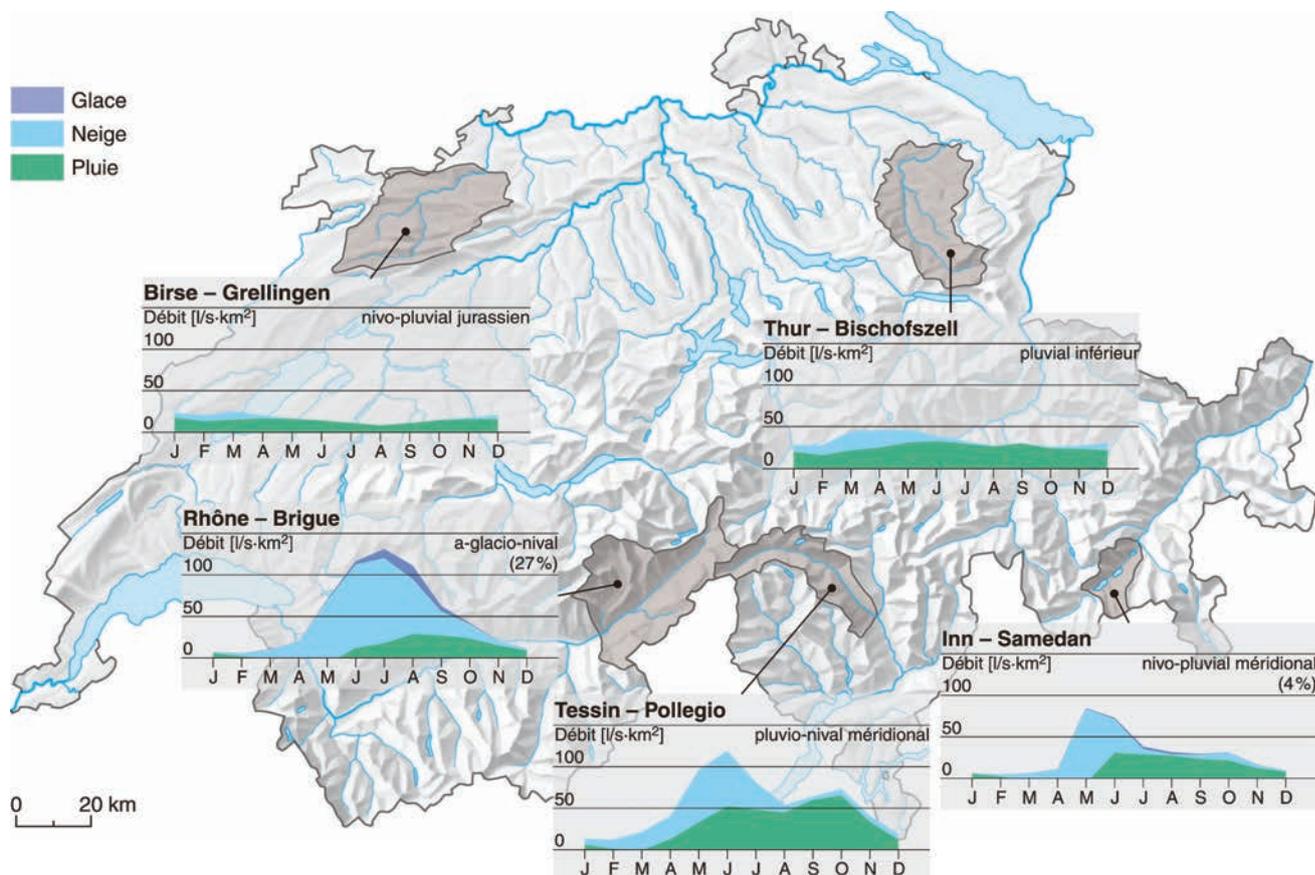


Fig. 3 : Les régimes d'écoulement de janvier (J) à décembre (D) de cinq bassins versants représentatifs pour différentes régions de la Suisse pour la période 1984 à 2005. Si des glaciers sont présents, la proportion du bassin versant couverte de glace est indiquée (en %). Il s'agit à chaque fois du débit spécifique (en litres par seconde et par km² de janvier à décembre), ceci pour permettre la comparaison du régime des différents bassins versants. En plus, les débits sont fractionnés selon leur origine : fonte de neige, fonte de glace et écoulement de pluie (ou d'eau souterraine). Prenons l'exemple de l'Inn (régime nival) : son régime est caractérisé par de faibles débits en hiver puisque les précipitations restent stockées sous forme de neige. Celle-ci fond au printemps et conduit à une forte augmentation des débits. Source des données : Köplin et al. 2011.

Bassins versants

Le régime d'un cours d'eau change naturellement dépendamment du lieu où est mesuré le débit. Le régime du Rhône à Brigue ou à Genève est différent de celui observé à son embouchure dans la Méditerranée. Le débit dépend de la surface et des caractéristiques du bassin versant se trouvant en amont. Un bassin versant est, en hydrologie, une surface fermée pouvant inclure un mètre carré de prairie, toute une vallée ou une unité politique comme la Suisse. Les précipitations qui s'abattent sur un bassin versant s'écoulent sous l'effet de la gravité — à moins que celles-ci s'évaporent ou soient temporairement stockées sous forme de neige, de glace, d'eau souterraine ou dans un lac. Selon la pente, le type de sol ou de plantes (végétation) se trouvant dans le bassin versant, l'eau s'écoule plus ou moins rapidement. En moyenne suisse, un tiers des précipitations

s'écoule de manière relativement directe, un tiers s'évapore (se référer au bilan hydrologique) et un tiers est stocké temporairement sous forme de neige (avant de fondre et de s'écouler à son tour).

Lorsque le débit d'une rivière, en mètres cubes par seconde, est mesuré à un certain endroit, le bassin versant constitue toute la surface dont les précipitations doivent s'y écouler tôt ou tard. Dans le cas du Rhône jusqu'à Brigue, le bassin versant comporte moins de 900 km² qui sont en grande partie (27%) recouverts de glace, alors que jusqu'à son embouchure la surface du bassin versant passe à plus de 90 000 km² (= × 100) et son débit de 40 à 1600 m³/s (= × 40). En général, plus la surface du bassin versant est grande, plus le débit de son cours d'eau l'est aussi.

Le bilan hydrologique de la Suisse

Le bilan hydrologique de la Suisse se calcule de manière comparable au budget d'un ménage qui dépend des recettes, des dépenses et de l'épargne. Les débits s'obtiennent ainsi en soustrayant l'évaporation et les changements de réserves (stockage sous forme de neige, de glace ou dans le sol et les lacs) des précipitations.

L'eau qui s'écoule naturellement dans les cours d'eau constitue une ressource renouvelable inégalable pour la population suisse. Par le fait que plusieurs fleuves européens trouvent leur source en Suisse (Rhin, Rhône, Pô, Danube), nous portons une lourde responsabilité comme «château d'eau de l'Europe». Le bilan hydrologique de la Suisse peut être chiffré grâce à de nombreuses mesures des précipitations, des débits, mais aussi des quantités de neige et de glace. Ainsi près de 40% de l'eau s'écoulant en Suisse sont issus de la fonte de neige, seuls 2% de la fonte des glaciers.

L'évaporation n'est pas à sous-estimer

Contrairement aux précipitations ou aux débits, l'évaporation ne se mesure pas directement, mais résulte de l'équation du bilan hydrologique $\text{évaporation} = \text{précipitations} - \text{écoulement} - \text{changement de réserves}$ (Spreafico & Weingartner, 2005). L'eau s'évapore de la végétation (transpiration), des sols et des surfaces d'eau. L'évaporation totale (= évapotranspiration) dépend de l'énergie disponible, c'est-à-dire de la température ambiante, de la quantité d'eau présente dans le sol et de la végétation. Des températures de l'air plus élevées augmentent l'évaporation maximale (= potentielle). Mais pour que l'évapo-

Bilan hydrologique de la période 1901–2000

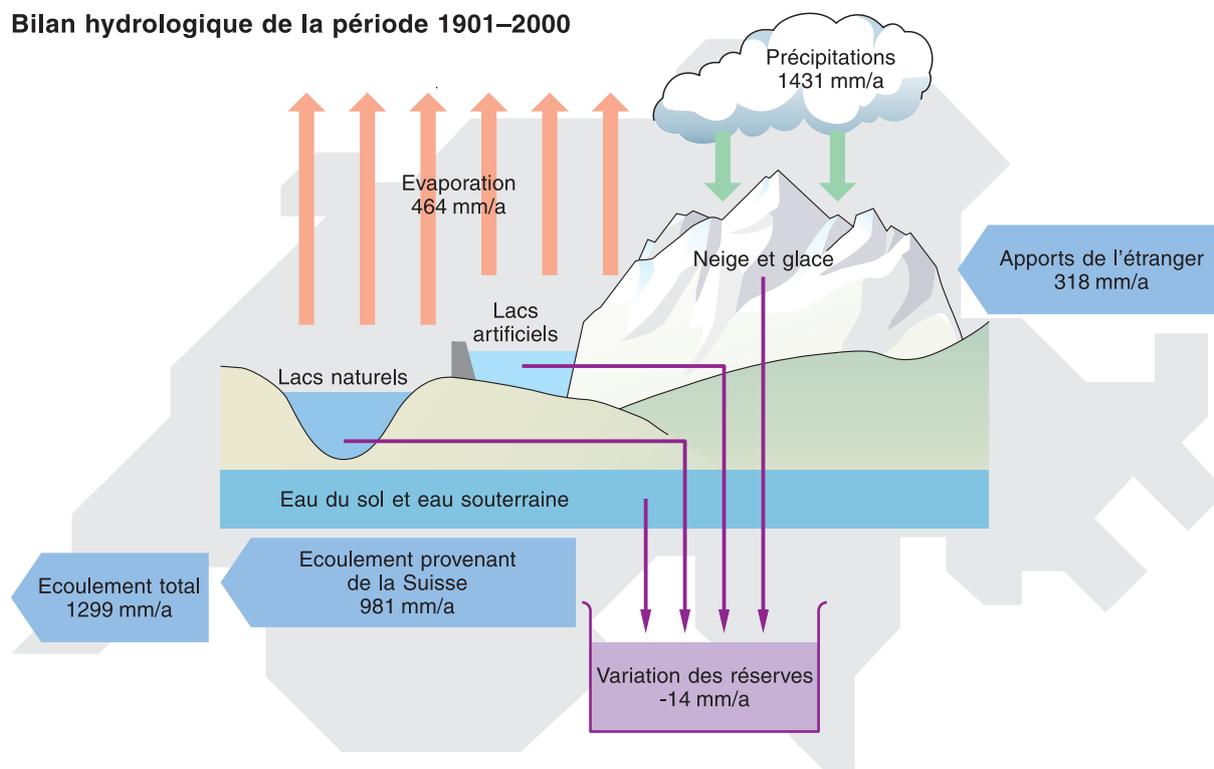


Fig. 4: Le bilan hydrologique de la Suisse entre 1901 et 2000 (Hubacher et Schädler, 2010). 1 mm réparti sur toute la surface de la Suisse correspond à 41,3 millions de mètres cubes d'eau. 60 milliards de mètres cubes d'eau s'abattent ainsi sur la Suisse chaque année! Le changement de réserves de -14 mm par année signifie que 600 milliards de litres d'eau ont été « perdus » par la Suisse chaque année à cause de la fonte des glaciers. L'évolution des composantes du bilan hydrologique depuis 1901 se trouve à l'annexe 2 (Fig. 12), l'annexe 4 comporte un bilan plus complet (Fig. 14).



ration réelle puisse véritablement s'accroître, le sol doit contenir suffisamment d'eau.

L'évaporation provenant des pores de la végétation constitue une part non négligeable de l'évaporation totale. Avec l'altitude, la température moyenne baisse, tout comme la densité de la végétation (pensons aux terres agricoles du Plateau, aux forêts et aux prairies des montagnes jurassiennes et des Préalpes jusqu'aux éboulis et glaciers des Alpes). Par ces changements de la couverture végétale, les taux de transpiration baissent avec l'altitude.

Une partie des précipitations est « recyclée », en particulier en été. En effet, jusqu'à deux tiers des quantités d'eau qui s'évaporent en été des surfaces de l'arc alpin conduisent à la formation de nouveaux nuages (d'orages), lesquels laissent s'abattre leurs précipitations dans les mêmes régions (van der Ent et al., 2010).

L'eau souterraine : l'inconnue du bilan hydrologique

Bien que 80% de notre eau potable soient issus du souterrain (voir Utilisation et consommation de l'eau), on sait très peu sur le renouvellement des ressources en eau souterraine. Une part inconnue de l'écoulement du bilan hydrologique alimente les réserves en eau souterraine. Une même quantité d'eau souterraine alimente les cours d'eau en retour (la quantité totale d'eau souterraine ne change pas). On part du principe (Sinreich et al. 2012) qu'environ 10% des ressources en eau souterraine théoriquement exploitables de la Suisse sont utilisables de manière durable (18 km³, ce qui correspond à environ un tiers des précipitations annuelles). La recharge naturelle des eaux souterraines dépend de l'aquifère en présence

(voir glossaire). L'eau souterraine peut rester plus ou moins longtemps dans un aquifère. Ce temps dépend de la géologie du sous-sol (l'eau [de pluie] peut-elle s'infiltrer facilement ?), de la grandeur de l'aquifère et de la présence d'un cours d'eau. Le temps de séjour de l'eau dans le sous-sol peut durer de quelques mois (vallées fluviales comme la vallée du Rhône) à plus de 10 ans (zones calcaires : parties des Alpes et Jura). En cas de fortes précipitations en région calcaire, les rivières réagissent pourtant rapidement. Ce malgré le fait qu'une grande part de l'écoulement a lieu de manière souterraine. On peut comparer le processus à une éponge gorgée d'eau : si de l'eau supplémentaire vient s'y ajouter, la pression exercée conduit à ce que de l'eau contenue dans l'éponge s'en échappe.



Les conséquences du changement climatique

Les quantités d'eau disponibles en Suisse d'ici 2100 vont rester stables. Par contre, la répartition des précipitations au cours de l'année va changer. Les quantités de neige et de glace stockées dans les Alpes vont diminuer fortement. En conséquence, la répartition des débits des cours d'eau va être modifiée. On s'attend à une recrudescence des événements de basses eaux et d'inondations.

La fonte des glaciers

La hausse des températures conduit à des précipitations qui se manifestent plus souvent sous forme de pluie que de neige. Du fait d'une baisse de l'accumulation neigeuse en haute altitude et d'une augmentation de la fonte estivale, les glaciers perdent de plus en plus de leur masse. Les glaciers ne sont plus en équilibre avec les conditions climatiques actuelles. Depuis la dernière extension maximale des glaciers à la fin du « petit âge de glace » (aux alentours de 1850), la moitié du volume des glaciers suisses a fondu (Fig. 5). Si le réchauffement s'arrêtait aujourd'hui, les glaciers continueraient leur retrait ces prochaines décennies et perdraient à nouveau la moitié de leur masse. Avec un réchauffement attendu de $3^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ d'ici à 2085, leur retrait va néanmoins s'accélérer. Selon les modèles, il ne devrait rester en 2100 tout au plus 20 à 30% du volume de glace actuel, principalement dans le bassin versant du Rhône (grâce au glacier le plus volumineux de Suisse, celui d'Aletsch). Par conséquent, les régimes d'écoulement de type glaciaire vont quasiment disparaître (Fig. 6).

Moins de neige

40% de l'eau s'écoulant en Suisse sont issus de la fonte des neiges. Avec le changement climatique, cette part va passer à 25% d'ici 2085. Ceci est dû à l'élévation de la limite des chutes de neige. Un degré de réchauffement représente un déplacement de 150 m de cette limite vers le haut. Cela induit une plus grande part d'écoulement relativement direct, pendant que le stockage d'eau sous forme de neige diminue.

Les conséquences pour les débits des rivières de type nival se laissent déjà observer: les pics de débit dus à la fonte des neiges interviennent toujours plus tôt au printemps et tendent à s'estomper.

Augmentation de la variabilité des débits des cours d'eau

Le changement climatique se fait ressentir non seulement par une baisse des quantités d'eau stockées de manière temporaire, mais aussi par un changement de la répartition des précipitations au cours des saisons (les quantités de précipitations annuelles ne devraient pas changer). Ainsi on s'attend à une baisse considérable des précipitations estivales d'environ 20% d'ici 2085, pendant que les précipitations du semestre hivernal (septembre à février) devraient augmenter légèrement (CH2011, 2011). Ces effets combinés (baisse des réserves, changement dans la répartition et la variabilité des précipitations) vont automatiquement augmenter l'irrégularité des débits. La fréquence des crues devrait augmenter pendant le semestre d'hiver, mais aussi et surtout la fréquence et la sévérité des situations de basses eaux pendant les mois d'été dans les régions déjà sensibles comme le Valais, le Tessin et une partie du Plateau. Sur le Plateau suisse, un nouveau régime d'écoulement va voir le jour: le régime « pluvial de transition ». Il va se caractériser par un minimum prononcé des débits en fin d'été. Etant donné la recrudescence et la normalisation d'étés caniculaires tels que 2003, ce régime sera particulièrement sujet à des événements de basses eaux.

Des conséquences au-delà des frontières

La fiabilité des cours d'eau comme fournisseurs d'eau va baisser. Les événements extrêmes de basses eaux et de crues vont augmenter selon les saisons et mettre à mal cer-

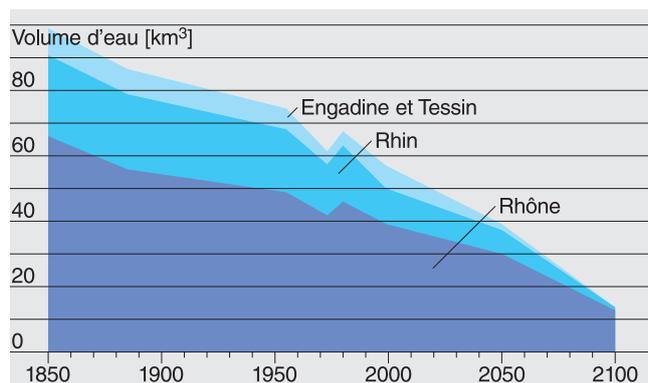


Fig. 5 : L'évolution des volumes d'eau stockés dans les glaciers de Suisse, répartis selon les principaux bassins versants (Rhône, Rhin, Engadine et Tessin). Depuis 1850, la moitié des masses de glace a fondu. Plus de 70% de ce qu'il reste de nos glaciers devrait avoir disparu d'ici la fin du siècle. Source: OFEV 2012.



tains secteurs économiques des eaux comme les producteurs d'électricité et la navigation sur le Rhin. Mais ces changements vont toucher également le reste de l'Europe: en effet, les plus grands fleuves d'Europe trouvent leur source en Suisse (Rhin, Rhône, Pô, Danube). Pourtant, comparée à d'autres régions du globe, la Suisse devrait rester relativement épargnée des conséquences néfastes du chan-

gement climatique sur la disponibilité des ressources en eau. De plus, beaucoup d'études scientifiques à ce propos existent et des moyens financiers sont à portée de main. Si une volonté politique et de la population sont au rendez-vous, rien ne devrait empêcher la prise de mesures d'adaptation anticipatives et efficaces (OFEV 2012b).

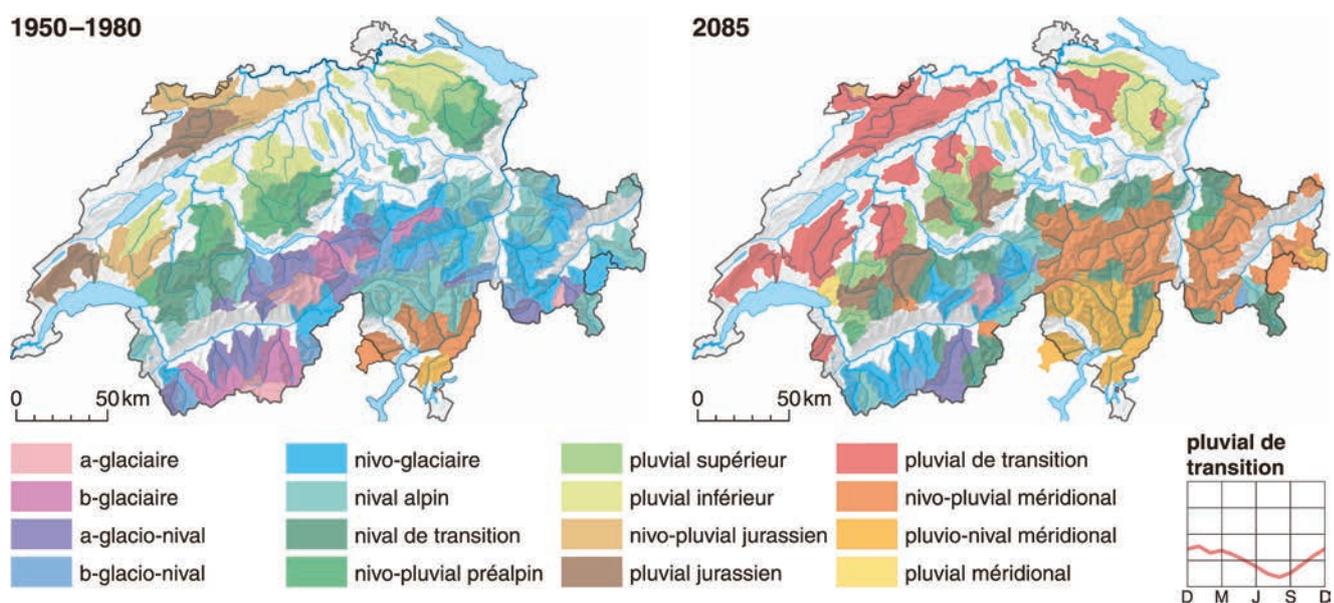


Fig. 6: Changements des régimes d'écoulement de 189 bassins versants de surface moyenne. A gauche: Répartition selon la classification de l'Atlas Hydrologique de la Suisse (HADES) pour la période 1950-1980. A droite: Répartition future des régimes aux alentours de 2085. En bas à droite: Aspect schématisé du nouveau régime « pluvial de transition ». Veuillez vous référer au texte et à la classification des régimes de la Suisse (Fig. 2). OFEV 2012.

Utilisation et consommation de l'eau

L'eau trouve un usage multiple en Suisse. Non seulement les ménages, mais aussi l'industrie et l'agriculture ne peuvent se passer d'eau de qualité en quantité suffisante. La force de l'eau couvre plus de la moitié de nos besoins en électricité. En tant que consommateurs, nous sommes en mesure de participer à la préservation des ressources en eau globales par nos choix de biens de consommation et par une utilisation parcimonieuse de l'eau potable.

L'eau peut être « consommée » ou « utilisée ». L'eau consommée en Suisse englobe l'eau potable distribuée publiquement, mais aussi l'eau captée à des fins d'irrigation, qui est polluée (eaux usées) ou qui s'évapore à nouveau (par exemple comme eau de refroidissement des centrales nucléaires). L'eau utilisée contient principalement les masses d'eau qui servent à produire de l'électricité (force hydraulique) ou au refroidissement et qui sont retournées à l'environnement sans détérioration de leur qualité initiale.

La force hydraulique comme principale utilisatrice de l'eau en Suisse

Les plus grands captages d'eau sont liés à la production d'électricité (voir Tableau 1, annexe 1). Ainsi 50 à 60% de la production électrique indigène (environ 36 TWh [térawattheures]) s'opère par la force hydraulique. L'énergie ainsi produite correspond à 50 fois l'énergie contenue tout au long de l'année dans les chutes du Rhin près de Schaffhouse. L'eau des rivières et des fleuves est turbinée plus de 10 fois avant de quitter la Suisse. Près de 30% de l'énergie potentielle totale de l'eau en Suisse sont ainsi mis à profit (OFEN 2004). La Confédération estime qu'il serait possible d'augmenter de 10% la production actuelle d'ici à 2050 sans compromettre les prescriptions sur la protection de l'environnement et des cours d'eau (OFEN 2012). A noter qu'à court terme, les centrales hydroélectriques alpines pourront augmenter légèrement leur production grâce à l'eau supplémentaire de la fonte des glaciers. Sur le moyen terme, le changement climatique n'aura pas de conséquences financières majeures dans ce secteur (SSHL & CHy, 2011).

Consommation d'eau

Chaque Suisseuse et chaque Suisse utilisent journalièrement 170 litres d'eau pour boire, cuisiner, laver et nettoyer. La consommation en eau des ménages contribue donc à un quart de la consommation totale. 20% du total incombe à l'agriculture. Il faut pourtant noter qu'environ la moitié de l'eau consommée par l'agriculture est en fait « utilisée », car elle coule dans les fontaines sans utilisation propre (Freiburghaus 2009). Plus de la moitié de l'eau consommée en Suisse l'est par l'industrie (Fig. 7). L'eau consommée est captée pour une bonne moitié de

manière publique (eau potable), pour une autre moitié de manière privée (essentiellement par l'agriculture et l'industrie). Chaque année, un volume d'eau correspondant au tiers du volume du lac de Thoune est consommé (2,2 km³).

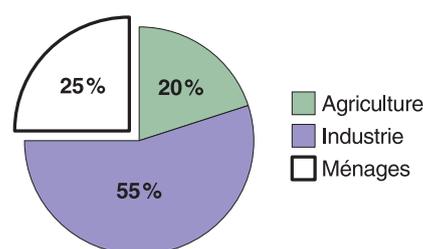


Fig. 7: Consommation d'eau en Suisse (alimentation privée incluse): répartition entre les secteurs de l'industrie, des ménages et de l'agriculture (données: Freiburghaus 2009).

Eau potable

L'eau potable distribuée publiquement en Suisse (environ la moitié des captages totaux) provient pour 40% de sources, 40% sont pompés du souterrain et 20% sont extraits des cours d'eau (principalement des lacs). 80% de l'eau potable proviennent donc des réserves en eau souterraine (eau pompée et eau s'échappant naturellement du sous-sol par les sources). Presque 40% de l'eau captée n'ont pas besoin d'être traités, 30% doivent être traités une seule fois, les derniers 30% passent par un traitement à plusieurs paliers (souvent l'eau des lacs). L'eau potable en Suisse est ainsi de bonne qualité, comparable à l'eau minérale. 15% de l'eau potable sont perdus par les conduites, bien que celles-ci soient rénovées sans relâche. La longueur totale des conduites (53 000 km) suffirait à faire 28 fois le tour de la Suisse en suivant sa frontière. Les conduites doivent être échangées environ tous les 50 ans. Ainsi, 1000 km de conduites sont renouvelés chaque année.

Le recul de la consommation journalière calculée par habitant de 500 à environ 300 litres d'eau depuis 1990 (voir figure 8) s'explique en partie par la délocalisation de branches industrielles gourmandes en eau vers l'étranger. De plus en plus de biens industriels (p.ex. vêtements) ou de denrées alimentaires sont ainsi importés, augmentant l'importance de l'« eau virtuelle » nécessaire à la fabrication de ces pro-





duits sur place (voir prochain paragraphe). Des machines à laver plus efficaces et la sensibilisation de la population (par exemple: pommeaux de douche économiques) ont également contribué à la baisse de la consommation d'eau.

L'eau virtuelle

Le terme d'«eau virtuelle» englobe les masses d'eau nécessaires à l'étranger pour la fabrication de produits d'origine agricole (60% de l'eau consommée à l'étranger) et industrielle (40%) importés et consommés en Suisse. Si l'eau virtuelle est additionnée à la consommation indigène, notre consommation d'eau passe à 4000 litres d'eau par jour et par personne. A l'échelle de la Suisse, cela correspondrait à la consommation de près d'un tiers de nos ressources renouvelables en eau (= toute l'eau s'écoulant dans les ruisseaux et les rivières) si tous les produits que nous consommons étaient produits ici.

Consommation d'eau pour la fabrication des denrées alimentaires

La production de viande (principalement bœuf et porc) et de produits laitiers consomme 75% de l'eau nécessaire à la production agricole de la Suisse (eau virtuelle comprise). Contrairement à ces produits, les produits d'origine végétale (fourrage, fruits, légumes, ...) sont souvent importés et pèsent donc lourds dans notre budget en eau virtuelle. Les produits dont la fabrication requiert le plus d'eau sont (dans l'ordre d'importance): le cacao, le café, le sucre, les noix, le blé, les graines oléagineuses (dont on extrait de l'huile) ou le riz. Pour le cacao ou le café, il n'y a pas lieu d'avoir mauvaise conscience. Ils ne peuvent pas être cultivés en Suisse pour des raisons climatiques et les régions tropicales qui les produisent disposent la plupart du temps de ressources en eau renouvelables suffisantes. Mais la fabrication de certains produits peut aussi conduire à une accentuation de la pénurie en eau des pays exportateurs. C'est le cas par exemple du coton (1 kg = 10000 litres d'eau consommés pour sa production) ou du riz (1 kg = 2500 litres d'eau) cultivés en Chine, en Espagne ou au Portugal.

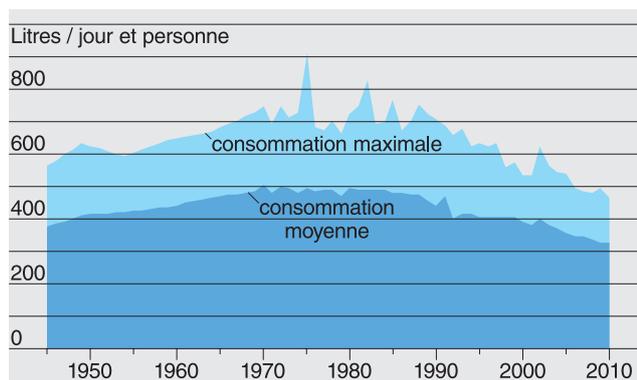


Fig. 8: Evolution de la consommation d'eau potable journalière moyenne (qm) et maximale (qmax) par habitant de 1945 à 2011. Les consommateurs sont les ménages, l'industrie, l'agriculture et le secteur public. Les pertes (env. 15%) sont aussi prises en compte. Le pic de consommation en 1976 s'explique par une forte sécheresse au début de l'été qui a fait passer la consommation journalière maximale à 900 litres d'eau par personne (statistiques SSIGE, www.trinkwasser.ch).

Conclusions

Ce qui donne à réfléchir, c'est le fait que la Suisse couvre seulement 25% des besoins en eau nécessaires pour la fabrication des biens et produits que nous consommons au quotidien. Les trois quarts restants sont consommés dans les pays producteurs et affectent donc les ressources en eau locales de pays étrangers dont les normes environnementales — si existantes — sont souvent bien moins restrictives qu'en Suisse.

La Suisse exporte elle aussi des biens à l'étranger, soit environ la moitié de sa production industrielle et agroalimentaire, dont la production nécessite l'usage d'eau. Le bilan en eau virtuelle (l'eau consommée pour l'importation moins l'eau consommée pour l'exportation) est positif et correspond au volume d'eau contenu dans le lac de Thoun (env. 7 km³, voir tableau de l'annexe 1). Il s'agit de la quantité d'eau consommée à l'étranger pour la production de biens importés et consommés en Suisse chaque année.

Qualité de l'eau et écologie

On peut se réjouir de l'amélioration de la qualité des eaux ces dernières décennies. Elle est le fruit de mesures efficaces prises par les politiques sur la base de connaissances scientifiques et d'observations minutieuses. Néanmoins, de nouveaux défis se profilent : la biodiversité des écosystèmes aquatiques a baissé, les teneurs en micropolluants augmentent et le changement climatique se fait déjà sentir.

La qualité des eaux s'améliore

Il y a encore moins de 30 ans, il était déconseillé de se baigner dans certains lacs et cours d'eau comme le Rhin. En effet, la pollution des eaux par les eaux usées des agglomérations, de l'industrie ou par l'usage exagéré d'engrais dans l'agriculture posait plus problème qu'aujourd'hui. Les phosphates et les nitrates étaient particulièrement concernés. Le développement d'un réseau de stations d'épuration efficaces dès 1980, l'interdiction des phosphates dans les poudres à lessive (1985) et la prise de conscience écologique dans l'agriculture dans les années 1990 ont permis de baisser les contaminations (voir figure 9, phosphore dans les lacs suisses) et d'augmenter de manière significative la qualité des eaux, en particulier des lacs qui furent durement touchés. Pourtant, les concentrations en polluants se développent différemment selon les régions (densité de la population et d'animaux en captivité) et les caractéristiques des lacs. Les sols constituent aujourd'hui la principale source de phosphore. En effet, il faudra des décennies pour que les quantités emmagasinées dans les sols soient lessivées par les précipitations. Les nutriments que constituent les phosphates et les nitrates peuvent conduire à une eutrophisation des

cours d'eau et des lacs : une prolifération des algues engendre une baisse de la teneur en oxygène de l'eau, mettant à mal la faune aquatique (en particulier les poissons). Une étude récente montre que près de 40% des espèces indigènes de feras ont disparu suite au phénomène d'eutrophisation (Vonlanthen et al. 2012). Seuls les lacs moins touchés par les pollutions, comme ceux de Brienz, de Thoune ou des Quatre-Cantons ont pu maintenir leurs populations.

Nouveaux polluants

On observe une augmentation inquiétante des teneurs en micropolluants dans les eaux (traces de médicaments, de produits cosmétiques, de produits phytosanitaires, etc.). En particulier les hormones et les nanoparticules semblent avoir des conséquences néfastes chez l'homme et sur l'environnement. L'ampleur des risques reste toutefois encore méconnue. A noter que les eaux souterraines des régions agricoles du Plateau contiennent des quantités de nitrates élevées.

Les températures de l'eau augmentent, les débits se réorganisent

Ces dernières décennies, la température de l'air a augmenté à cause du changement climatique, conduisant à une élévation des températures de l'eau des cours d'eau (de 0,1 à 1,2 °C entre 1970 et 2010 selon le régime d'écoulement). Dans les bassins versants en présence de glaciers, la variabilité des températures d'une année à l'autre et l'augmentation sur toute la période ont été moindres (voir figure 10). D'ici à 2085, les spécialistes s'attendent à une augmentation moyenne de l'air de 3 à 4 °C. Le réchauffement devrait particulièrement se faire sentir en été. Le remaniement des débits (voir Les conséquences du changement climatique) va conduire à des niveaux plus bas des eaux en été sur le Plateau, dans le Jura et au sud des Alpes. Les deux facteurs « eaux plus chaudes » à cause du réchauffement climatique et « moins d'eau en été » vont accroître considérablement les températures de l'eau. Cela ne va pas rester sans conséquences pour la vie dans les cours d'eau. La hausse des températures observée jusqu'à ce jour a d'ores et déjà entraîné un re-

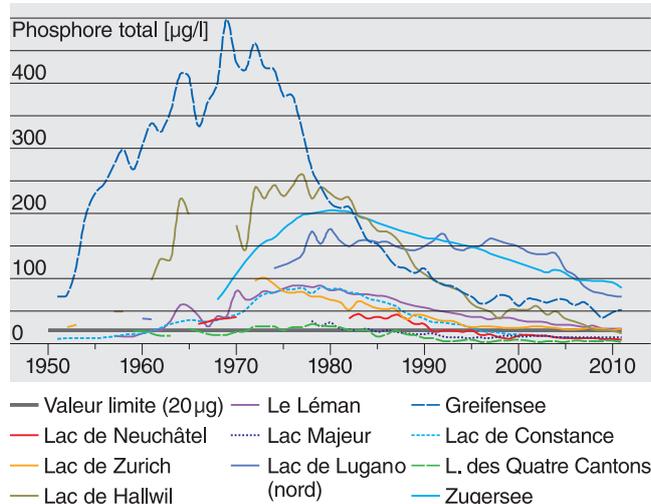


Fig. 9 : L'évolution des teneurs en phosphore des principaux lacs de Suisse. Les normes sont respectées au-dessous de 20 microgrammes de phosphore par litre d'eau. Source : OFEV.



trait des truites vers des régions situées 100 à 200 m plus hautes en altitude (Hari et al. 2006). Des eaux plus chaudes contiennent en outre moins d'oxygène et favorisent la dissémination de maladies des poissons et en conséquence la mortalité piscicole.

Ecomorphologie

L'expansion des agglomérations, l'intensification de l'agriculture et les mesures de protection contre les crues ont fortement augmenté la pression sur les cours d'eau. Ainsi, un quart des cours d'eau de Suisse sont canalisés ou mis sous terre (Fig. 11). La diversité morphologique et naturelle des cours d'eau ont souffert de ces mesures de correction (Ewald et Klaus, 2010). La diversité morphologique dépend de la diversité du lit du torrent ou de la rivière: la présence de bancs de galets et de sable, de bois mort le long du cours d'eau, une transition douce entre le lit de la rivière et sa rive ou encore des zones de profondeur et de vitesses d'écoulement variées. Une forte densité morphologique est favorable à l'établissement d'un écosystème riche en espèces végétales et animales (biodiversité), elle apparaît souvent dans des zones plutôt plates où les cours d'eau peuvent former des méandres au lieu de s'écouler en ligne droite.

Suite aux crues de 1999, 2005 et 2007 – celle de 2005 fut l'événement naturel le plus coûteux des derniers 100 ans – la Confédération est en passe de repenser sa philosophie d'aménagement des cours d'eau. Ceux-ci doivent recevoir à nouveau plus d'espace, dans le but de retenir et de ralentir les masses d'eau en cas de situation de crue. Par la même occasion, ces zones de détente sont revalorisées et deviennent plus attractives, comme par exemple le long de la Thur, de la Birse, de la Linth ou du Brenno.

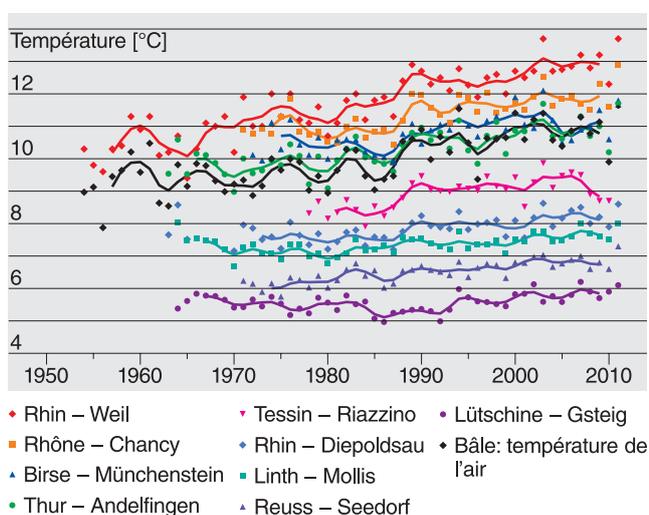


Fig. 10: L'évolution de la température des eaux sur ces dernières décennies pour neuf stations et de la température de l'air à Bâle. Pour les stations où la température moyenne des eaux est basse (Lütschine près de Gsteig, p. ex.) le fort accroissement constaté entre 1987 et 1988 pour d'autres stations (p. ex. Tessin) y est moins marqué. On notera également la plus faible variabilité interannuelle des températures mesurées par ces stations. Les deux s'expliquent par l'effet stabilisateur exercé par les glaciers sur la température des eaux. Source: OFEV.

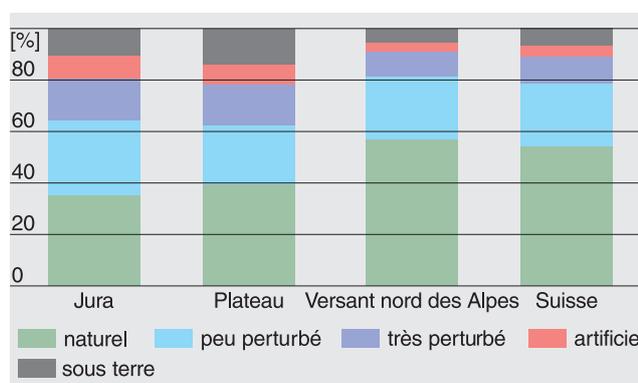


Fig. 11: Etat écomorphologique (5 catégories) des cours d'eau du Jura, du Plateau, du versant nord des Alpes et de toute la Suisse (en %). Source: monitoring de la biodiversité en Suisse (2010).



Les défis de l'avenir

Dans un futur proche, la Suisse aura à surmonter des défis importants liés à l'eau. Pour y parvenir avec succès, une collaboration active entre les acteurs de la science, de la politique, de l'économie et la population sera cruciale.

La force hydraulique gagne en importance

La décision de la Suisse de ne plus compter dans un avenir proche sur la production électrique nucléaire accroît l'attrait de la force hydraulique. Bien que largement écologique, la force hydraulique a comme toute autre production électrique des inconvénients. Les centrales modifient les débits en aval, l'élargissement et la construction de nouvelles petites centrales peuvent aller à l'encontre des mesures de renaturation et constituent des obstacles à la migration des poissons. Les centrales à pompage-turbinage (voir glossaire) permettent certes de stocker de l'énergie sous forme d'eau dans les lacs de retenue. Elles utilisent néanmoins par le pompage d'eau plus d'électricité qu'elles n'en produisent. Ces centrales pourraient par contre être combinées aux centrales solaires et éoliennes. En effet, le soleil et le vent sont des sources d'énergies renouvelables et inépuisables. Leur disponibilité dépend toutefois de la météo et de l'heure du jour. Le stockage de ces énergies par les centrales à pompage-turbinage est un atout de la Suisse pour l'avenir énergétique de l'Europe.

Dans les prochaines décennies, de nombreux renouvellements de concessions et d'agrandissements de centrales hydrauliques sont agendés. Les discussions et décisions concernant les concessions, de nouvelles petites centrales, l'extension de lacs de retenue, etc. vont avoir lieu entre des acteurs aux intérêts divergents (écologie, population, économie). Quels tronçons des cours d'eau doivent impérativement être protégés (beauté du paysage, zones de repos, pêche, biodiversité), lesquels peuvent être exploités? Quelles mesures peuvent réduire les variations artificielles des débits en aval (régimes d'éclusées)? Des méthodes intégrales d'évaluation (p. ex. Hemund 2012) et la participation de la population concernée seront nécessaires.

Le changement climatique modifie la disponibilité de l'eau au cours de l'année

Le changement climatique va modifier les quantités d'eau stockées dans les réservoirs naturels que sont la neige et la glace. De plus, il faut s'attendre à un remaniement des précipitations au cours des saisons (moins en été, plus pendant le reste de l'année). Les deux se répercuteront sur les débits des cours d'eau. La période propice aux crues va passer du début de l'été au semestre hivernal et donc se rallonger. Des situations de basses eaux vont se multiplier vers la fin de l'été dans la plupart des régions du Plateau.

Ces bouleversements attendus dans le cycle de l'eau auront à leur tour des conséquences sur la gestion des eaux. Il faudra revoir la réglementation des divers domaines concernés (prélèvements d'eau, déversement d'eaux de refroidissement dans les cours d'eau, régulation des lacs, débits résiduels des centrales hydroélectriques, etc.). Il s'agira par ailleurs de vérifier les besoins supplémentaires en réservoirs (à usages multiples) pour l'approvisionnement en eau. Car la recrudescence de pénuries d'eau en été pourrait entraîner des conflits d'intérêt entre les divers utilisateurs. De plus, l'accroissement de la fréquence et de l'intensité des périodes d'étiage (= de basses eaux) et l'augmentation des débits hivernaux pourraient entraver plus fréquemment la navigation sur le Rhin.



Nouvelles priorités

Malgré une amélioration progressive de la qualité des eaux ces dernières décennies et un approvisionnement de haut niveau, il y a nécessité d'agir dans plusieurs secteurs. Une gestion durable des eaux requiert une volonté de collaboration de tous les acteurs.

Approvisionnement en eau potable

- La sécurité et l'efficacité des systèmes d'approvisionnement peuvent être optimisées par leur raccordement (régionalisation de la gestion des eaux).

Agriculture

- Une irrigation plus efficace permet d'économiser de l'eau (par exemple: irrigation goutte-à-goutte).
- L'utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires doit être en partie remise en question.

Force hydraulique

- Le renouvellement et l'extension de différentes centrales ces prochaines années doivent aussi permettre la réduction des variations artificielles des débits en aval (régimes d'éclusées).
- Des mesures de revitalisation doivent réduire les obstacles à la migration des poissons et permettre le maintien ou le renforcement de ces populations.

Industrie

- Certains micropolluants (hormones, nanoparticules, etc. contenus dans les médicaments et les produits cosmétiques) posent problème car ils peuvent s'accumuler dans l'environnement. L'ampleur des risques que peuvent engendrer ces micropolluants pour l'environnement et chez l'homme est encore méconnue. Quels produits chimiques sont vraiment nécessaires? Lesquels pourraient être remplacés par des substances biodégradables?

Traitement des eaux usées

- La séparation des eaux de pluie des eaux usées qui commence à être pratiquée permet de décharger sensiblement les stations d'épuration.
- La mise en commun de petites stations permet de perfectionner le traitement des eaux usées.
- Des méthodes doivent être développées pour détecter les moindres micropolluants et les éliminer des eaux usées.



Glossaire

Aquifère: roche perméable et suffisamment poreuse pour contenir temporairement ou en permanence de l'eau souterraine.

Bassin versant: Surface fermée pouvant inclure un mètre carré de prairie, toute une vallée ou une unité politique comme la Suisse. Les précipitations qui s'abattent sur un bassin versant s'écoulent sous l'effet de la gravité – à moins que celles-ci s'évaporent ou soient temporairement stockées sous forme de neige, de glace, d'eau souterraine ou dans un lac. Lorsque le **débit** d'un **cours d'eau** est mesuré à un certain endroit, le bassin versant constitue toute la surface dont les précipitations doivent s'y écouler tôt ou tard.

Bilan hydrologique: **Débit = précipitations** moins évaporation moins changement de réserves (voir **réservoirs**). La formule du bilan hydrologique est une description simplifiée de l'état d'un bassin versant donné. Elle ne donne pas d'informations sur les flux vers les eaux souterraines, ni des quantités d'eau ressortant des sources et encore moins sur la part des précipitations qui a été recyclée, c'est-à-dire l'eau qui s'est évaporée du bassin versant (par exemple la Suisse) pour y retomber une nouvelle fois.

Bisses: Canaux d'irrigation historiques du Valais. Ils transportent l'eau des torrents alpins – en partie de manière aventureuse – vers les prairies sèches, les champs, les vignes ou les vergers. Le Valais est la région la plus sèche de Suisse, ce qui explique qu'on y trouve la plupart des bisses de Suisse.

Centrale à pompage-turbinage: Il existe deux types de centrales produisant de l'électricité par l'utilisation de la force de l'eau: les centrales « au fil de l'eau » et à accumulation. La plupart des centrales se trouvent le long de nos rivières (au fil de l'eau) et mettent à profit la force de l'eau qui s'y écoule. Les centrales à accumulation comportent un lac de retenue et exploitent la hauteur de chute de l'eau entre le barrage et la centrale située plus bas. Si l'eau peut être pompée à nouveau vers le lac de retenue, on parle de centrales de pompage-turbinage.

Coefficient de Pardé: Ce coefficient porte le nom d'un hydrologue français renommé. Il s'agit d'un quotient qui s'obtient en divisant les débits mensuels moyens par le débit annuel moyen pour une période donnée. Il permet de comparer les **régimes d'écoulement** de différents **bassins versants** entre eux.

Cours d'eau: ruisseaux, torrents, rivières, fleuves, etc. aménagés ou à leur état naturel.

Débit: Volume d'eau (m³) par seconde traversant une section prédéfinie d'un cours d'eau.

Débit spécifique: Correspond au **débit** (souvent en litres par seconde) par km² pour un **bassin versant** donné.

Eau bleue: eau propre s'écoulant dans les torrents et les rivières ou se trouvant dans les lacs ou le sous-sol et qui rejoindra la mer un jour ou l'autre. L'eau de fonte de la neige et des glaciers peut aussi constituer de l'eau bleue.

Eau consommée: eau captée (de manière publique ou privée) et qui est souillée (**eau grise**) par sa consommation, qui s'évapore ou qui s'infiltré dans le sol (irrigation).

Eau grise: eau souillée par son utilisation et qui ne peut plus être utilisée à d'autres fins.

Eau potable: eau propre distribuée (après traitement si cela est nécessaire) aux ménages et aux autres consommateurs par les canalisations publiques.

Eau souterraine: eau sous forme liquide se trouvant dans le sous-sol (eau d'infiltration et nappes d'eau souterraine, par exemple dans les **aquifères** karstiques du Jura ou les **aquifères** poreux du Plateau). Près de 80 % des réserves d'eau souterraine se trouvent entre 100 et 1000 m de profondeur dans les régions calcaires des Préalpes et du Jura. L'eau souterraine dite renouvelable est celle qui se renouvelle naturellement et qui peut être utilisée sans entraver ni sa quantité ni sa qualité. Cette part varie selon les régions (en moyenne 10 % de l'eau souterraine disponible) et dépend principalement de la géologie du sous-sol et de la présence de cours d'eau. Le terme de « nappe phréatique » [phréatique: du grec

ancien signifiant « puits »] est utilisé pour l'eau souterraine à faible profondeur qui alimente les puits et les sources en eau potable.

Eau verte: eau de pluie stockée dans les sols et utilisée par les plantes.

Eau virtuelle: eau nécessaire à la production étrangère de biens industriels ou de denrées alimentaires (production de matières premières et transformation) consommés en Suisse. On fait la distinction entre *eau virtuelle verte, bleue et grise*.

Ecomorphologie: (du grec οἶκος [oikos]: maison ou ménage, μορφή [morphé]: figure ou forme et λόγος [logos]: étude, science) Science qui se penche sur la structure des cours d'eau, leurs rives et leurs interactions avec les plantes et les animaux (biodiversité). Les sections des cours d'eau portent différents noms selon la profondeur de l'eau et la vitesse d'écoulement: mouille (pool), radier (riffle), plat (glide), chenal lotique (run).

Écoulement de surface: Part des précipitations qui s'écoule à la surface du sol sous l'effet de la gravité.

Eutrophisation: Si de grandes quantités de substances nutritives (souvent des nitrates ou des phosphates contenus dans les engrais agricoles ou les eaux usées) se retrouvent dans les eaux, cela peut conduire à une prolifération des algues et de ce fait à une baisse de la teneur en oxygène de l'eau, mettant à mal la biodiversité (en particulier celle des poissons). Certains petits lacs de régions à forte exploitation agricole doivent être aérés artificiellement pour éviter leur effondrement (par exemple lac de Sempach).

Évapotranspiration: De l'eau s'évapore continuellement à la surface des étendues d'eau (mer, lacs, cours d'eau), mais aussi des sols (humidité du sol). De plus, les plantes (par exemple les arbres) transpirent durant le processus de photosynthèse au sein de leurs feuilles. La vapeur d'eau ainsi dégagée (gaz invisible) peut à nouveau former des gouttelettes d'eau ou des nuages (par exemple du brouillard) si l'air se refroidit.

Intensité (des précipitations): Les précipitations (pluie, neige, grêle, etc.) peuvent être plus ou moins fortes (par exemple bruine ou forte averse lors d'un orage estival). Leur intensité dépend de la situation météorologique et de l'altitude. Les unités souvent utilisées pour décrire l'intensité des précipitations sont les litres d'eau s'abattant sur une surface de 1 m² pendant 10 minutes, une heure ou encore un jour entier.

Interception: Part des précipitations qui n'atteint pas directement le sol, mais qui est d'abord retenue par la végétation (feuillage, branches, tronc, etc.). L'eau interceptée s'écoule ainsi au ralenti vers le sol ou s'évapore à nouveau.

Précipitations: voir *précipitations annuelles* ou *intensité (des précipitations)*.

Précipitations annuelles: Quantité moyenne de précipitations mesurée à un endroit précis pendant une année. L'unité usuelle est le millimètre. Sur le Plateau, on enregistre en moyenne 1000 mm de précipitations par année. Cela correspondrait à une couche d'eau de 1 m de profondeur (= 1000 litres d'eau par m²) s'il n'y avait ni écoulement de l'eau, ni évaporation durant une année entière.

Régime d'écoulement: Répartition moyenne des débits d'une rivière au cours des saisons.

Renaturation (ou revitalisation): Les cours d'eau de Suisse ont été fortement modifiés ces dernières décennies (rectifications, canalisations, mises sous terre), entravant la flore (par exemple les plantes rares des zones humides) et la faune (en particulier les poissons) dans et aux abords de ceux-ci. Par le passé, ces interventions ont souvent été considérées comme des mesures de protection contre les crues. Aujourd'hui, on se rend compte que les risques ont même en partie augmenté par une élévation de la vitesse d'écoulement. Pourtant, il est possible d'allier protection contre les crues et mesures de renaturation: les cours d'eau sont élargis et peuvent à nouveau former des méandres. Un plus pour l'homme et son environnement.

Régimes d'éclusées: Après le turbinage de l'eau dans les centrales hydroélectriques, on observe une élévation rapide du niveau d'eau. Lorsque les besoins en électricité sont moindres (la nuit ou en week-end), le turbinage est stoppé et le débit en aval baisse rapidement. Ces régimes d'éclusées posent problèmes pour les écosystèmes aquatiques.

Réservoirs: Unités hydrologiques pouvant stocker de l'eau sur le court (manteau neigeux, humidité du sol, eau souterraine) ou le long terme (lacs, eau souterraine, glaciers).

Ressources en eau: L'homme ne peut pas influencer les quantités de précipitations, elles nous sont offertes par la nature. Une partie de celles-ci s'évapore à nouveau, une autre reste stockée temporairement (par exemple sous forme de neige). Le reste finalement alimente nos rivières, nos lacs et renouvelle l'eau souterraine: ce sont nos ressources en eau.

Sources d'humidité: Les régions desquelles s'évaporent de grandes quantités d'eau qui forment par la suite des nuages déversant leurs précipitations en Suisse.

Variabilité (des précipitations ou des débits): Les *précipitations annuelles* varient d'une année à l'autre, c'est pourquoi une moyenne sur 30 ans est généralement calculée. La variation des valeurs annuelles (par exemple la différence entre l'année la plus humide et l'année la plus sèche) représente la variabilité des précipitations annuelles. Cette analyse peut aussi être effectuée pour les *débits* d'un *cours d'eau*.





Bibliographie

CH2011, 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC. Zurich: 88 p. ISBN 978-3-033-03065-7.

Direction du développement et de la coopération (DDC) & WWF 2012: Etude de l'empreinte hydrique suisse: Illustration de la dépendance de la Suisse à l'égard de l'eau. Avec la collaboration de CIDD eau.

Ewald K.C., Klaus G. 2010: Die ausgewechselte Landschaft, Haupt Verlag (seulement en allemand).

Freiburghaus M. 2009: Wasserbedarf der Schweizer Wirtschaft. Gas-Wasser-Abwasser, gwa 12/09, 1001-1009 (seulement en allemand).

Hari R.E., Livingstone D.M., Siber R., Burkhardt-Holm P., Güttinger H. 2006: Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. *Global Change Biology* 12: 10–26.

Hemund, C. 2012: Methodik zur ganzheitlichen Beurteilung des Kleinwasserkraftpotentials in der Schweiz. Dissertation.

Hubacher R., Schädler B. 2010: Bilan hydrologique de grands bassins versants au 20^e siècle. Planche 6.6. Dans: Weingartner R., Spreafico M. (éd.): Atlas hydrologique de la Suisse (HADES). Office fédéral de l'environnement, Berne.

Köplin N., Schädler B., Viviroli D., Weingartner R. 2011: Klimaänderung und Wasserhaushalt in sensitiven Bilanzierungsgebieten. 43 S.

Office fédéral de l'environnement (OFEV) (éd.) 2012: Impacts des changements climatiques sur les eaux et les ressources en eau. Rapport de synthèse du projet « Changement climatique et hydrologie en Suisse » (CCHydro). Office fédéral de l'environnement, Berne. *Connaissance de l'environnement* n° 1217: 76 p.

OFEV 2012b: Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz im Sektor Wasserwirtschaft – Beitrag des Bundesamtes für Umwelt zur Anpassungsstrategie des Bundesrates (seulement en allemand).

OFEN (éd.) 2004: Ausbaupotential der Wasserkraft. Teil des Forschungsprogramms «Energiewirtschaftliche Grundlagen» des BFE (seulement en allemand).

OFEN (éd.) 2012: Le potentiel hydroélectrique de la Suisse. Potentiel de développement de la force hydraulique au titre de la stratégie énergétique 2050.

OFEN 2012b: Statistique des aménagements hydroélectriques de la Suisse.

SSHL, CHy (éd.) 2011: Les effets du changement climatique sur l'utilisation de la force hydraulique – rapport de synthèse. Matériaux pour l'Hydrologie de la Suisse No. 38. Berne: 28 p.

Sinreich, M., Kozel, R., Lützenkirchen, V., Matousek, F., Jeannin, P.-Y., Löw, S., Stauffer, F. 2012: Grundwasserressourcen der Schweiz – Abschätzung von Kennwerten. In: *Aqua & Gas* n°9.

Sodemann H., Zubler E. 2010: Seasonal and inter-annual variability of the moisture sources for Alpine precipitation during 1995-2002. *International Journal of Climatology*, 30, 947-961.

Spreafico, M., Weingartner, R. 2005: Hydrologie der Schweiz – Ausgewählte Aspekte und Resultate. Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 7, Bern (seulement en allemand).

van der Ent R.J., Savenije H.H.G., Schaeffli B., Steele-Dunne S.C. 2010: Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water resources research*, 46.

Vonlanthen P., Bittner D., Hudson A.G., Young K.A., Müller R., Lundsgaard-Hansen B., Roy D., Di Piazza S., Largiader C.R., Seehausen O. 2012: Eutrophication causes speciation reversal in whitefish adaptive radiations. *Nature*. Vol. 482. 357-363.

Weingartner R., Aschwanden H. 1992: Abflussregimes als Grundlage zur Abschätzung von Mittelwerten des Abflusses. In: *Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 5.2*, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern.





Liens

Factsheet Eau

- Des informations supplémentaires sur le thème de l'eau en Suisse, ainsi que des documents pour l'enseignement.
<http://chy.scnatweb.ch>

Données et bases hydrologiques de l'Office fédéral de l'environnement,

- Données actuelles et historiques pour toute la Suisse
www.hydrodaten.admin.ch

Factsheets de l'association suisse pour l'aménagement des eaux

- Factsheets sur la force hydraulique
www.swv.ch/fr/Downloads

Atlas hydrologique de la Suisse HADES

- Fiches de travail sur le thème de l'hydrologie pour le niveau secondaire II, guides d'excursions « En route à travers le monde aquatique », accès aux données digitales pour les abonnés.
www.hades.unibe.ch

E-Dossier sur l'eau de la haute école pédagogique de Berne (en allemand)

- D'autres factsheets, fiches de travail, suggestions pour des mesures sur le terrain, matériel audio et vidéo, articles de journaux, cartes et plans, rapports scientifiques.
<http://campus.phbern.ch/bildungsmedien/themenportal/e-dossier-wasser/>

DVD eau – perspective suisse (2005)

- La Suisse est un pays riche en eau. Découvrez comment la Suisse utilise ses ressources en eau et quels dangers y sont liés. 17 vidéos ainsi que des documents, graphiques et photos nous expliquent aussi pourquoi la Suisse est nommée « Château d'eau de l'Europe » et les préoccupations qui en découlent pour garantir une protection des eaux efficace.
www.swissworld.org/dvd_rom/water_2006

Les bisses du Valais

- Un site de référence très bien documenté sur l'histoire des bisses. Galerie de photos, inventaire (avec carte) et liens bibliographiques (un guide d'excursions est disponible).
www.suone.ch/

Hydroweb

- Interface permettant de visualiser les différentes grandeurs influençant l'hydrologie comme la température, les précipitations ou l'évaporation en fonction de la topographie. A cours terme, du matériel didactique pour le niveau secondaire I-II devrait être mis à disposition (courte introduction en hydrologie pour les enseignant(e)s, collection d'exercices à résoudre en partie avec Hydroweb).
<http://lasigpc8.epfl.ch/hydroweb/>

Eau potable

- Beaucoup d'informations utiles sur le thème de l'eau potable en Suisse, y compris des fiches de travail pour l'enseignement.
www.trinkwasser.ch

Qualité de l'eau potable

- Quelle est la qualité de mon eau potable ? Des données sont disponibles en ligne par commune ou par distributeur.
www.wasserqualitaet.ch/

Animations sur des thèmes de géographie physique (notamment hydrologie)

- Animations utiles (p.ex. situation météo 5b), p. ex. pour l'enseignement (seulement en allemand).
www.geog.fu-berlin.de/~schulte/animationen.html
- Pour l'enseignement sur l'eau à l'échelle globale : Le livre de l'Institut de Recherche de l'Eau du Domaine des EPF (eawag) « Wem gehört das Wasser ? », Lanz K. et al 2006, Lars Müller Publishers contient des photographies et des textes (en allemand) évocateurs.



Annexe 1

Données sur les volumes d'eau de la Suisse

Composante	km ³ d'eau	km ³ d'eau / an
Précipitations ^a		60
Evaporation ^a		20
Ecoulement		53
dont affluents de l'étranger ^a		13
dont eau de fonte de neige ^b		22 (part CH: 17)
dont eau de fonte des glaciers ^a		0,6
Changements de réserves (surtout fonte des glaciers) ^b		< 1
Réservoirs naturels		
Lacs (surfaces sur sol suisse) ^a	130	
Glaciers (en 2012) ^b	55 ± 15	
Eau souterraine totale ^c	150	
régions calcaires	120	
part renouvelable	18	
utilisée		1,3
Humidité du sol (utilisable par les plantes) ^a	7	
Réserves maximales de neige (env. en avril) ^b	7	
Consommation d'eau (captage privé inclu) ^d		
dont eau potable		1
eau traitée (stations d'épuration)		1,5
Industrie		1,1
dont enneigement artificiel		0,02
Ménages		0,5
Agriculture		0,4
dont irrigation		0,1 – 0,2
eau bue par les animaux de la ferme		0,05
Pertes		0,1
Besoins publics (fontaines, administration, ...)		0,1
Eau virtuelle ^e		
eau nécessaire à la production de biens de consommation		
Produits agricoles (produits et consommés en CH)		1,4
Produits agricoles (importation)		7,4
Produits industriels (importation)		5,0
Exportation		5,1
Secteur de l'énergie		
Force hydraulique ^f		550
Lacs de retenue ^a	4	
Refroidissement des centrales nucléaires ^d		1,6
Tours de refroidissement ^g		0,04

Tab. 1: Valeurs actuelles des composantes du bilan hydrologique, de la consommation et de l'utilisation d'eau de la Suisse (a : Hubacher & Schädler 2010, b : OFEV 2012, c : Sinreich et al. 2012, d : Freiburghaus 2009, e : DDC & WWF 2012, f: calculé sur la base de OFEN 2012b, g: données des exploitants des centrales nucléaires). 1 km³ = 1 milliard de m³. 41 km³ correspondent à une couche de 1 m d'eau répartie sur toute la surface de la Suisse (41 285 km²). Pour l'exemple des réservoirs naturels: si le volume d'eau sur sol suisse de nos lacs (130 km³) était déversé sur la Suisse, il en résulterait une couche d'environ 3 m de profondeur – ce qui équivaut à 2 ans de précipitations. Une illustration du bilan hydrique de la Suisse se trouve en annexe 4 (Fig. 14).

Annexe 2

Séries chronologiques des précipitations, de l'écoulement et de l'évaporation

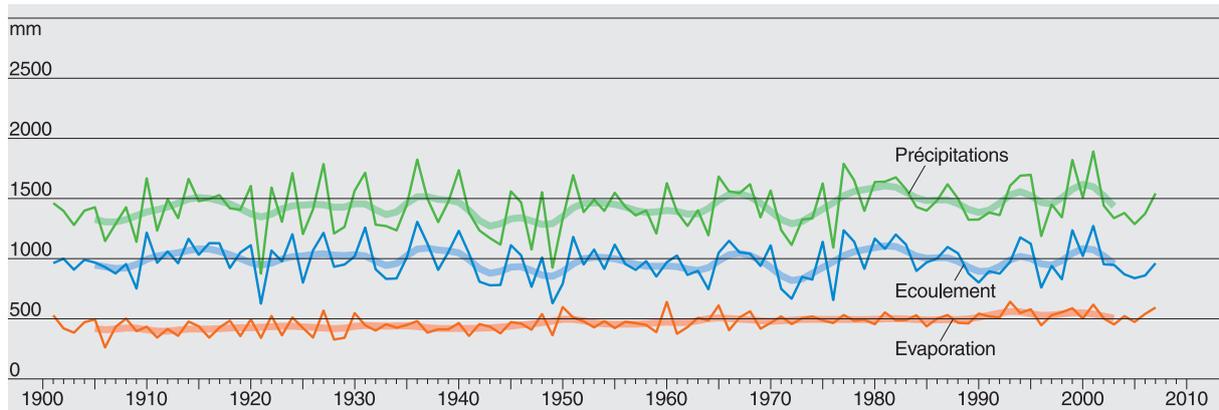


Fig. 12: Le bilan hydrologique de la Suisse depuis 1901. Aussi bien les précipitations que l'évaporation ont légèrement augmenté, pendant que les débits – en dehors de la variabilité d'une année à l'autre – sont restés constants. Source: Hubacher R., Schädler B. 2010.

Annexe 3

Les écoulements d'eau vers et hors de la Suisse

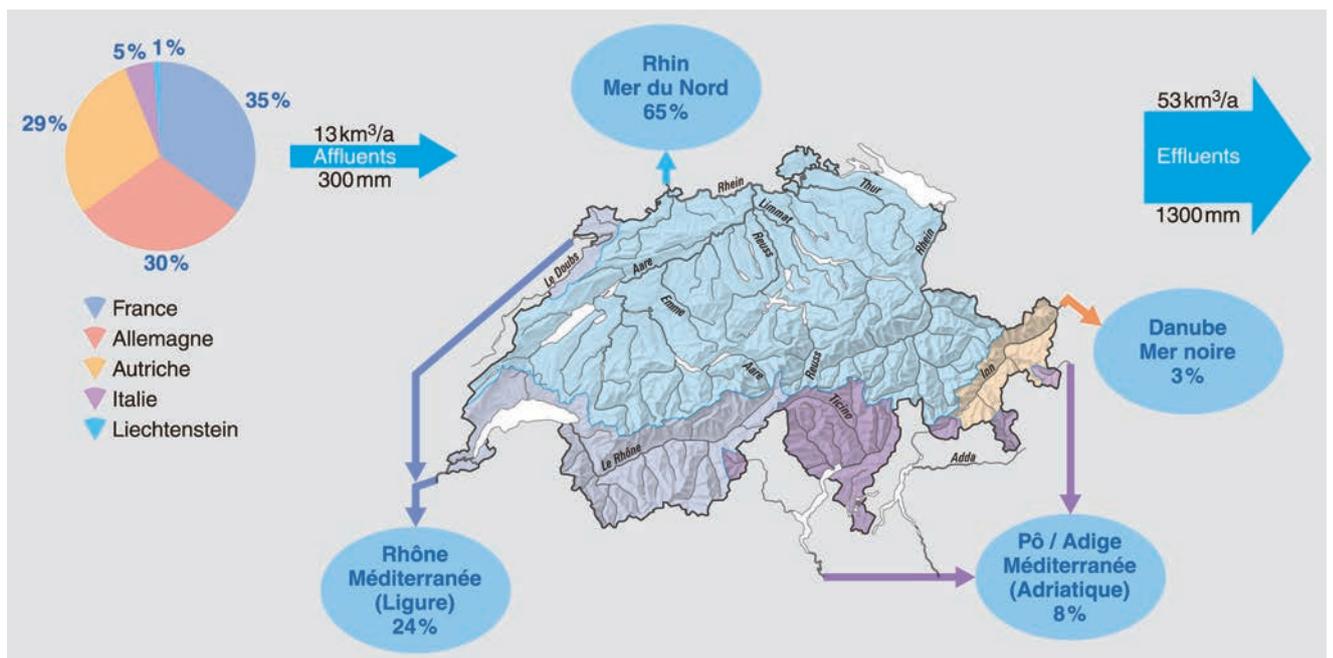


Fig. 13: Géographie des affluents (selon le pays d'origine) et des effluents vers l'étranger (selon l'embouchure) de la Suisse.

Annexe 4

Bilan hydrique de la Suisse

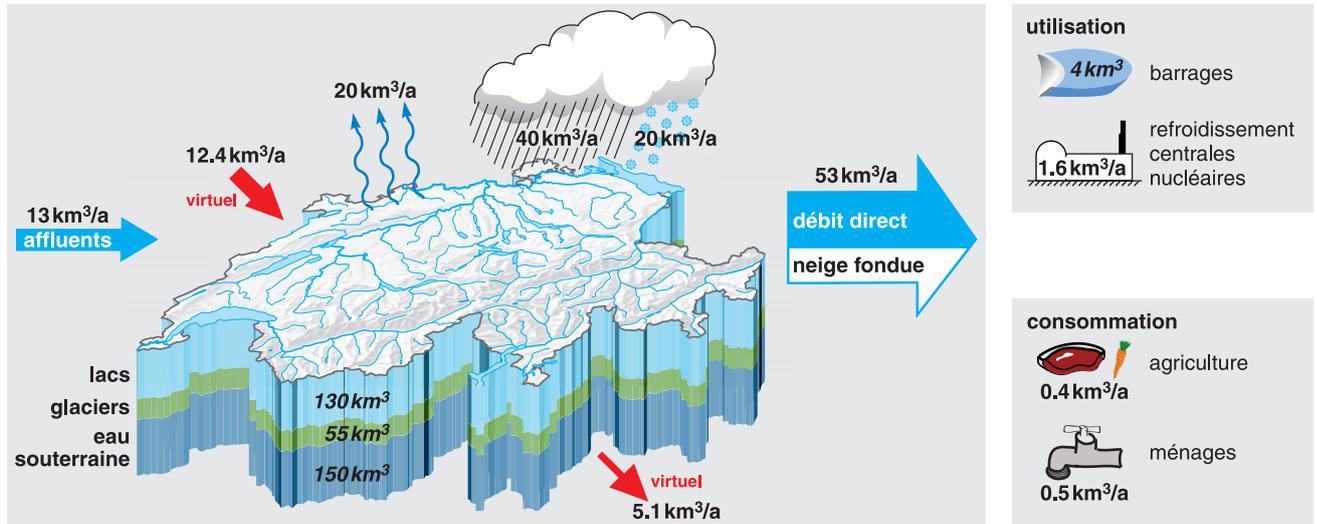


Fig. 14: Le bilan hydrique de la Suisse. Les réservoirs, les entrées (précipitations, affluents de l'étranger, eau virtuelle des produits importés) et les sorties (évaporation, écoulement vers l'étranger, eau virtuelle des produits exportés) sont illustrés. De plus, les principaux utilisateurs et consommateurs d'eau sont mentionnés. 10 km³ équivalent à 25 cm d'eau répartis sur toute la surface de la Suisse.





ISBN: 978-3-9524235-1-6