

# La richesse en eau des Alpes au centre de multiples enjeux

**Dans les Alpes, l'eau joue un rôle capital. Dans nos esprits, elle y est associée à une nature sauvage et à des écosystèmes sensibles et elle représente une ressource à usages multiples. Mais cette valeur tant naturelle qu'économique se voit menacée voire détruite par une exploitation trop peu diversifiée et trop intense. Les régions alpines sont donc amenées à gérer leurs ressources en eau dans une optique de durabilité. Mais cela ne pourra se faire sans une coordination au-delà des frontières des intérêts en jeu. En effet, le long des grandes rivières européens, des millions de personnes et toute une économie dépendent directement des ressources en eau des Alpes. Etant donné le réchauffement climatique qui nous attend, il sera de plus en plus important de collaborer au niveau international.**

L'espace alpin suisse est riche en rivières et lacs et constitue le château d'eau d'une grande partie de l'Europe occidentale. Ses ressources en eau sont fortement exploitées pour des besoins de production hydro-électrique. De nombreuses rivières ont vu leur cours corrigé tant pour des raisons de sécurité (protection contre les dangers naturels) que pour livrer des surfaces exploitables par l'homme. Les intérêts économiques et de sécurité sont en partie incompatibles avec les besoins des écosystèmes aquatiques sensibles et avec une optique du paysage plus proche de la nature. Il est donc nécessaire de trouver un équilibre entre les divers intérêts en jeu dans le but à la fois de préserver des richesses naturelles et de permettre une certaine exploitation des ressources. Pour ce faire, il est besoin de modes de gestion intervenant à plusieurs niveaux et élaborés sur une base scientifique solide.

## Les Alpes: un espace de vie contrasté

Les Alpes couvrent une surface d'environ 190 000 km<sup>2</sup> répartis sur huit pays – la France, la principauté de Monaco, l'Italie, la Suisse, l'Allemagne, le Liechtenstein, l'Autriche et la Slovénie. La partie suisse des Alpes s'étend sur 25 000 km<sup>2</sup>. Cette surface correspond à 60 % du territoire national. L'altitude la plus basse des Alpes suisses est de 193 m au Lago Maggiore, la plus

élevée de 4634 m au sommet de la Pointe Dufour. Cette région présente une énorme diversité climatique dans un espace des plus restreints: Des zones sèches du cœur des Alpes à celles de climat boréal, on y rencontre toute une série de climats intermédiaires sans compter les zones de climat méditerranéen. La moyenne annuelle des précipitations varie entre 500 et 4000 mm d'eau.

La grande variabilité des conditions naturelles, accompagnée de formes d'exploitation agricole souvent restées très respectueuses de l'environnement, est à l'origine d'une grande diversité de milieux naturels. Ce n'est pas un hasard si, en Suisse, la majorité des zones inventoriées pour leur grande biodiversité, les «hotspots», se trouvent dans l'espace alpin. Grâce aux nombreuses traces laissées dans les «archives de la nature», il est d'autre part possible de reconstituer l'histoire des Alpes depuis les dernières glaciations.

La densité de population des Alpes est dans l'ensemble plutôt faible. L'arc alpin compte au total près de 14 millions d'habitants. En Suisse, seuls 1,6 millions de personnes, soit 22 % de la population totale, vivent dans la région alpine [1]. Dans le canton des Grisons, la densité de population est particulièrement faible puisqu'elle est de 26 habitants au km<sup>2</sup>, de nombreuses zones de haute montagne restant totalement inhabitées. Dans les fonds de vallées qui font l'ob-

jet d'une forte exploitation agricole, cette densité peut atteindre plus de 400 habitants au km<sup>2</sup>. Ces zones fertiles abritent aussi de nombreux sites industriels et présentent un bon réseau routier et ferroviaire, aussi important pour le transit international.

L'agriculture, qui représentait il y a 100 ans le principal secteur d'activité de la plupart des régions alpines, a largement perdu en importance et la part des personnes qui en vivent ne constitue plus que quelques pour cent de la population active. Suivant l'altitude, ce sont les arbres fruitiers, les champs, les prés ou les pâturages qui dominent. De plus en plus de surfaces agricoles sont inexploitées, phénomène particulièrement répandu dans le Tessin, le Valais et les Grisons. A l'opposé, le secteur du tourisme et des loisirs s'est énormément développé et il fournit aujourd'hui entre 10 et 20 % des emplois des régions de montagne.

## Le château d'eau

C'est dans les Alpes suisses que le Rhin et le Rhône prennent leur source, de même que l'Inn et le Ticino, affluents principaux du Danube et du Pô. La moyenne annuelle des précipitations y est d'environ 2000 mm d'eau. 1175 mm soit 28 km<sup>3</sup> ou 900 m<sup>3</sup>/s s'écoulent dans les zones de plus basse altitude. 24 % des eaux que le Rhin déverse à son embouchure dans la Mer du Nord proviennent des Alpes suisses. Pour les autres rivières, cette part est de 1 à 10 % (Tab. 1). Sur de longs tronçons de rivière, l'écoulement en provenance des Alpes joue cependant un rôle quantitatif important.

Les Alpes constituent d'autre part une énorme réserve d'eau: ainsi près de 74 km<sup>3</sup> sont stockés dans les glaciers suisses. En 1901, ce stock était encore de 95 km<sup>3</sup> [2]. Dans les lacs naturels (en comptant les lacs du pourtour des Alpes et uniquement la part suisse des lacs limitrophes), sont emmagasinés quelque 100 km<sup>3</sup> d'eau contre à peine 4 km<sup>3</sup> dans les lacs artificiels. Une autre réserve d'eau, qui varie en fonction des saisons, est constituée par la neige. Des quantités difficilement quantifiables sont

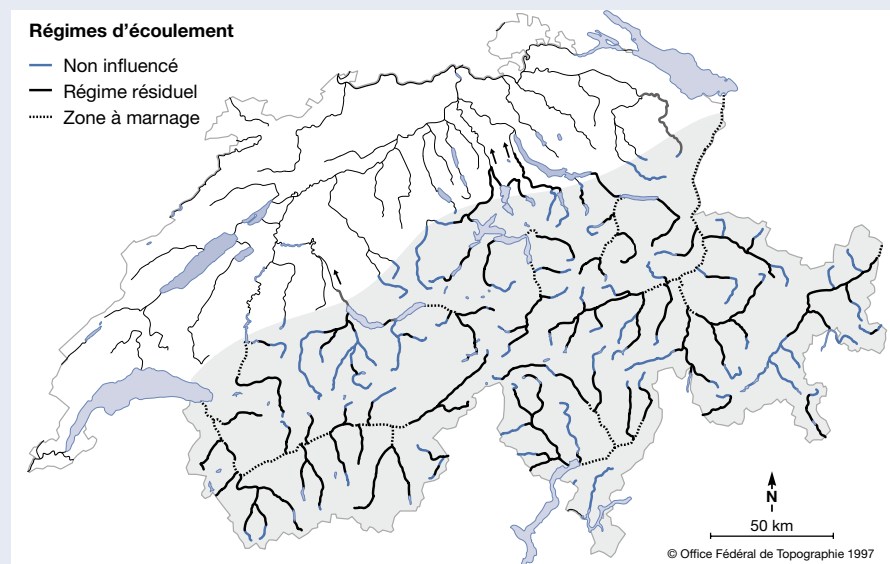


Fig. 1: Cours d'eau alpins touchés par l'exploitation hydroélectrique. Adapté de [14].

d'autre part stockées dans divers systèmes souterrains, dans les dépôts récents des vallées fluviales ainsi que dans les pores et fissures des roches.

### L'abondance en eau marque les milieux naturels

La zone alpine suisse compte près de 30 000 km de cours d'eau, 17 lacs naturels et 47 lacs artificiels de surface supérieure à 0,5 km<sup>2</sup>. A cela s'ajoute un nombre incalculable de petits lacs de montagne. Les glaciers suisses couvrent aujourd'hui une surface de 1300 km<sup>2</sup>, soit environ 5% de la surface des Alpes suisses.

Les cours d'eau alpins ont de multiples formes: on rencontre de petits ruisseaux de source, des émissaires de lac assez tranquilles, des torrents rectilignes à forte pente, des systèmes ramifiés dans les plaines d'inondation, des cascades, des rivières glaciaires turbulentes ou calmes, mais souvent aussi des cours d'eau corrigés, canalisés et même parfois mis à sec. On distingue différents types de cours d'eau en fonction de l'origine de l'eau qui les alimente: fonte des glaces, pluies et fonte des neiges ou

sources. Les différentes formes de cours d'eau correspondent à autant d'habitats qui se distinguent par leurs caractéristiques hydrologiques, morphologiques et physico-chimiques. Des barrières climatiques et topographiques induisent la fragmentation de nombreux habitats et populations [3] (voir l'article de M. Hieber, p. 9).

Les lacs de haute montagne sont des écosystèmes de l'extrême soumis à des conditions climatiques particulièrement rudes et caractérisés par une grande pauvreté en substances nutritives et en sels minéraux. La pollution par des produits chimiques anthropogènes n'épargne malheureusement pas non plus ces lacs éloignés. Les polluants sont libérés dans l'atmosphère dans laquelle ils se répartissent et se redéposent également dans les zones alpines de haute altitude (voir l'article de R. Psenner, p. 12). Les grands lacs du pourtour des Alpes, le Lac Léman, le lac de Constance, le Lac des Quatre-Cantons, le Lac de Zoug, le Walensee, le Lac de Brienz, le Lac de Thoune, le Lago di Lugano et le Lago Maggiore, jouent un rôle prédominant d'un point de vue tant hydrologique que paysager.

Les cours d'eau alpins tout comme les lacs de haute montagne réagissent de manière très sensible aux changements climatiques et aux interventions humaines (voir l'article de M. Sturm, p. 15).

### L'abondance en eau exploitée par l'homme

Dans les Alpes suisses, la forme dominante d'exploitation de l'eau est liée à la production hydroélectrique. Le potentiel exploitable est pratiquement utilisé à 100%. Près de 60% des besoins suisses en électricité sont couverts par la production hydroélectrique, en grande partie réalisée dans les Alpes. Mais l'eau est également utilisée pour alimenter en eau potable et industrielle les habitations, les centres touristiques et l'industrie de même qu'elle assure l'évacuation des eaux usées qui sont après traitement recueillies et transportées par les fleuves et rivières.

Une forme très traditionnelle d'exploitation de l'eau est l'irrigation des cultures qui est surtout pratiquée dans les zones sèches du cœur des Alpes. Cette vieille pratique est particulièrement bien illustrée par les systèmes d'irrigation bien connus du Valais qui sont parfois vieux de plusieurs siècles. L'eau y est captée à haute altitude et transportée jusqu'aux champs à irriguer au moyen de canalisations qui traversent les terrains les plus accidentés. Les canalisations du Valais ont une longueur de 1500 à 2000 km et irriguent une surface de 140 à 200 km<sup>2</sup> [4]. Une autre forme d'utilisation de l'eau, qui n'est plus pratiquée à l'heure actuelle mais qui le fut jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle, est le flottage des grumes. Cette pratique nécessita dans de nombreuses rivières des interventions hydrauliques tels que des retenues artificielles ou des ouvrages d'aménagement [4].

Au-delà de ces formes d'exploitation, l'eau est la source de nombreuses activités sportives, de loisirs et de détente. Les lacs et rivières contribuent à la richesse du paysage, à notre bien-être et éveillent souvent

Rivières des Alpes suisses	Cours d'eau principal	Embouchure	Ecoulement provenant		Part des Alpes suisses dans	
			des Alpes suisses	de tout le bassin	le bassin du fleuve principal	le débit annuel à l'embouchure
Bassin Rhin-Aar*	Rhin	Mer du Nord	1238 mm/an 530 m <sup>3</sup> /s	309 mm/an 2200 m <sup>3</sup> /s	6%	24%
Rhône	Rhône	Méditerranée	1100 mm/an 182 m <sup>3</sup> /s	611 mm/an 1900 m <sup>3</sup> /s	5%	10%
Bassin du Ticino**	Pô	Adriatique (Méditerranée)	1239 mm/an 134 m <sup>3</sup> /s	657 mm/an 1460 m <sup>3</sup> /s	5%	9%
Inn	Danube	Mer Noire	876 mm/an 54 m <sup>3</sup> /s	253 mm/an 6450 m <sup>3</sup> /s	0,2%	1%

\* Rhin, Thur, Linth, Aar, Emme, Reuss, etc. / \*\* Ticino, Maggia, Tresa, etc.

Tab. 1: Importance hydrologique des Alpes suisses. Ecoulement en provenance de la partie suisse des Alpes [15].

en nous toutes sortes d'émotions. Des milieux naturels et aquatiques diversifiés et préservés sont très attractifs pour les activités de loisirs d'une région. Mais ces mêmes activités constituent une réelle contrainte pour ces milieux de plus en plus sollicités [5]. Inversement, l'eau ainsi que les lacs et rivières peuvent également être à l'origine d'inondations, de laves torrentielles et de glissements de terrain et constituer ainsi une menace pour l'homme.

## Les usages de l'eau ne restent pas sans effets

L'exploitation hydroélectrique nécessite tout un système de centrales au fil de l'eau et de centrales à accumulation qui se complètent selon divers motifs [6]. Elle implique différentes mesures opérationnelles et structurelles à effets divers sur les cours d'eau (Tab. 2). On observe d'autre part une influence sur les rapports d'infiltration et d'exfiltration et donc sur le régime des eaux souterraines.

Les lacs de retenue reçoivent souvent des eaux provenant d'autres bassins versants. La dérivation des eaux est pratiquée aussi bien au sein d'un même bassin hydrographique qu'entre les bassins des grandes rivières. Par exemple, le Ticino reçoit des eaux des bassins du Rhin, de la Reuss (Aar) et du Rhône. Il existe aussi des dérivations au-delà des frontières. Ainsi, une quantité d'eau correspondant à 55 mm de précipitations est exportée du bassin versant de l'Inn vers l'Italie [2].

Dans les Alpes suisses, presque toutes les grandes rivières et une grande partie des cours d'eau de moindre importance sont concernés par les dérivations et les phénomènes de marnage (Fig. 1). Le fonctionnement des centrales à accumulation peut également produire un décalage des régimes d'écoulement de l'été vers l'hiver. C'est par exemple le cas dans le Rhône et le Rhin antérieur [2, 6].

Pour assurer la protection d'habitations contre les dangers naturels et pour gagner sur les rivières de précieuses terres agri-

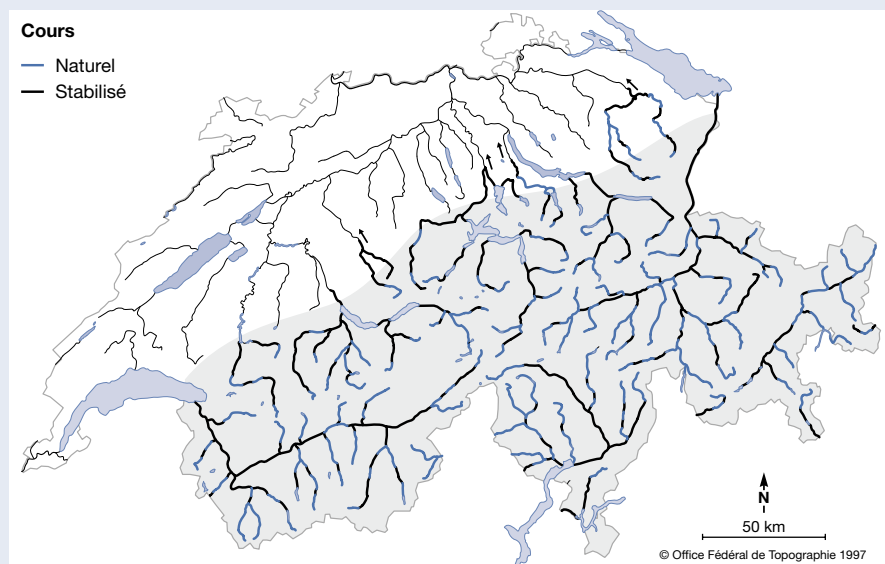


Fig. 2: Cours d'eau alpins au cours corrigé. Adapté de [14].

coles, de nombreux torrents ont dû subir des aménagements durs et une grande partie de leur cours est actuellement rectifié et endigué (Fig. 2).

Les mesures de correction des cours d'eau sont souvent accompagnées du drainage à grande échelle des terrains limitrophes. Il ne reste dans les Alpes suisses qu'une infime partie des zones alluviales autrefois répandues.

L'exploitation hydroélectrique et de correction des rivières peuvent avoir des répercussions sur des milieux situés loin en aval, modifiant les régimes d'écoulement, de transports solides, de nutriments et de température (voir l'article de A. Wüest, p. 18).

## Incidence des changements climatiques

Le réchauffement global du climat impliquera une modification du régime des eaux dans le bassin hydrographique des grandes rivières. Les changements qui se produiront dans les Alpes se feront sentir tout au long du Rhin, de sa source à son embouchure dans la Mer du Nord et masqueront les effets régionaux [7]. La remontée de la limite des neiges éternelles, l'importance crois-

sante des crues hivernales, la baisse des écoulements estivaux, la dynamisation des écoulements, l'augmentation de l'évapotranspiration, la montée du niveau des mers et l'augmentation consécutive de la salinité des eaux souterraines proches des côtes de même que des changements au niveau de l'occupation du territoire par les habitations et les activités agricoles nécessitent une adaptation de la politique de gestion des eaux ainsi que de la pratique de toutes les activités liées à cette ressource (voir aussi l'article de B. Schädler, p. 24).

## Conflits d'intérêts

Les divers intérêts liés aux multiples usages de l'eau au niveau local et régional sont plus ou moins divergents. Les perspectives d'exploitation hydroélectrique et de correction des rivières sont ainsi généralement en opposition avec celles de préservation des milieux naturels, de tourisme et de détente. Les intérêts des populations de plaine et de basse altitude sont également à prendre en considération. D'un côté, l'électricité et l'eau provenant de la zone alpine sont vitales pour la population et l'industrie. D'un autre côté, les activités de protection des

Conséquences physico-chimiques de l'exploitation hydroélectrique	Type de l'intervention humaine				
	Prélèvement d'eau	Dévasement (nettoyage du dispositif)	Restitution d'eau	Retenue d'eau	Constructions
Modification du régime d'écoulement	P	(P)	P		
Modification des caractéristiques de l'écoulement	S		S		P
Modification du régime des solides	S	P	S	P	(S)
Réduction de la taille et/ou altération des structures des habitats	S	S	S		P
Modification de la chimie et de la température de l'eau et des sédiments	S		S	P	

Tab. 2: Effets primaires (P) et secondaires (S) de l'exploitation hydroélectrique sur les cours d'eau. S résulte de P.

milieux naturels et les usages de l'eau concernant les lacs et les rivières de plaine et de basse altitude sont directement influencés par les problèmes qui se posent dans la zone alpine. Citons à titre d'exemple les activités de protection contre les inondations, de navigation fluviale et d'approvisionnement en eau potable.

La sensibilité des populations de plaine à l'égard de ces rapports amont-aval augmente, et ce, d'autant plus que les problèmes de réchauffement climatique se retrouvent au centre des débats. Une bonne gestion des eaux dans les Alpes devra de plus en plus souvent tenir compte des problèmes et attentes des régions de plaine. Mais les populations de plaine ont également une certaine responsabilité. Ainsi, plus une région de plaine gaspille ses ressources en eau, plus elle est contrainte d'en importer une certaine quantité, entre autres en provenance des Alpes [8]. Il apparaît donc clairement que les intérêts liés à l'eau sont en rapport les uns avec les autres, et ce, des sommets des Alpes à l'embouchure des fleuves.

## Consignes pour la mise en œuvre de mesures

L'eau des Alpes sert à la nature comme aux hommes. Il est donc exclu d'en pratiquer une exploitation excessive et trop polarisée sur une seule activité qui mettrait en cause les valeurs naturelles des Alpes et qui se ferait au détriment des intérêts d'autres régions. Il est nécessaire d'agir à différents niveaux d'un point de vue spatial et politique – à l'échelle locale, régionale et internationale.

Les divers intérêts et problèmes doivent être analysés et évalués aux différents niveaux d'approche et considérés dans une perspective globale pour être intégrés dans les concepts de gestion des eaux. Pour que cela puisse se faire, il faut disposer d'un cadre politique clair dont les objectifs puissent être progressivement atteints par des mesures à appliquer aux différents niveaux considérés. Mais il est important que les consignes politiques laissent assez de champ libre aux différents acteurs impliqués et les incitent à prendre des initiatives cohérentes [9].

La Directive-cadre sur l'Eau de l'UE fournit un cadre juridique à une gestion globale des ressources en eau au niveau des grands bassins hydrographiques [10]. Elle ne suffit cependant pas pour garantir la préservation des inestimables ressources écologiques des Alpes. C'est la raison pour laquelle divers acteurs demandent l'adjonction d'un protocole relatif aux eaux à la Convention

alpine signée par les états alpins. Ce protocole doit permettre d'obtenir un équilibre entre les divers intérêts liés à l'eau en intégrant une dimension de durabilité dans les aspects de protection des milieux et d'exploitation des ressources (voir l'article de M. Broggi, p. 7).

## Exemples d'actions et de mesures

L'élaboration d'un processus suisse pour la certification et la promotion d'une électricité produite selon un mode respectueux de l'environnement constitue un exemple réussi d'optimisation écologique de l'exploitation des ressources en eau réalisée en tenant compte des intérêts en jeu. Ce genre d'approche permet de combiner les aspects écologiques et les impératifs de production d'énergie pour aboutir à une solution bénéfique à tous les acteurs impliqués [11].

La troisième correction du Rhône qui va être réalisée dans le Valais tient compte dès le départ des multiples intérêts liés au fleuve. Ce projet accorde une importance égale aux impératifs de protection contre les inondations, aux objectifs d'amélioration de la qualité écologique et de l'attractivité touristique du fleuve et aux aspects socio-économiques (voir l'article de M. Fette, p. 21).

Dans le cas du Rhône, le mode de fonctionnement et d'entretien des lacs de retenue a un rôle important à jouer. Une bonne gestion associée à des dispositifs de rétention visant une réduction du marnage peut fortement contribuer à une bonne protection contre les crues et à une atténuation des effets délétères au niveau écologique. D'une manière générale, l'optimisation écologique de la gestion des retenues fait partie des domaines d'action prioritaires de la politique future de gestion des eaux dans les Alpes.

## La science mise à contribution

Les approches globales de gestion des ressources en eau nécessitent la contribution de divers acteurs: Des spécialistes de la chimie, de la physique, de la biologie, de l'hydrologie, des constructions hydrauliques, de l'économie, de la sociologie, mais aussi de l'économie énergétique et de la politique régionale, doivent collaborer avec les groupes d'intérêts impliqués pour dégager des solutions applicables et les réaliser en commun.

Evidemment, des actions sensées ne peuvent être entreprises sans l'appui de la science. D'un côté, il est besoin de connaissances de base sur l'écologie des lacs et cours d'eau alpins [12] et sur les effets d'at-

teintes directes et indirectes portées à ces systèmes. Ce numéro de l'EAWAG news présente des résultats sur ces thèmes de recherche. D'un autre côté, les scientifiques doivent aider à définir et à tester des modes de gestion de l'eau prenant en considération les impératifs politiques, juridiques, économiques, institutionnels, sociaux et culturels [13].

Les chercheurs doivent répondre à l'attente des gestionnaires en s'engageant tant au niveau scientifique que personnel pour un développement durable des ressources en eau des Alpes.



Ulrich Bundi fait partie de la direction de l'EAWAG et se consacre aux problèmes de gestion des eaux et de politique environnementale globale.

Je tiens à remercier Rudolf Koblet (EAWAG) pour sa contribution substantielle à la rédaction du manuscrit.

- [1] Broggi M.F., Staub R., Ruffini F.V. (1999): Grossflächige Schutzgebiete im Alpenraum – Daten, Fakten, Hintergründe. Europäische Akademie Bozen, Fachbereich Alpine Umwelt, 241 S.
- [2] Schädler B. (1985): Der Wasserhaushalt der Schweiz. Bundesamt für Umweltschutz – Landeshydrologie, Mitteilung Nr. 6, 9–83.
- [3] Monaghan M. (2003): Fragmentation des habitats et diversité génétique. EAWAG news 54f, 28–30.
- [4] Koblet R. (2000): Spiel mit dem Wasser – Spiel mit dem Feuer?, Selbstverlag, 70 S.
- [5] Office fédéral de la statistique (2002): Environnement Suisse 2002 – Statistiques et analyses, 322 p.
- [6] Forstenlechner E., Hütte M., Bundi U., Eichenberger E., Peter A., Zobrist J. (1997): Ökologische Aspekte der Wasserkraftnutzung im alpinen Raum. Vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 100 S.
- [7] Daamen K., Gellens D., Grabs W., Kwadijk J.C.J., Lang H., Middelkoop H., Parmet B.W.A.H., Schädler B., Schulla J., Wilke K. (1997): Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin (CHR), 172 p.
- [8] Lehn H. (1998): Nachhaltiges Wassermanagement in Baden-Württemberg? Spektrum der Wissenschaft, April, 96–97.
- [9] Bundi U., Truffer B. (2001): La gestion intégrée des eaux: une approche pour l'avenir. EAWAG news 51f, 3–6.
- [10] European Community (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, L327/1–L327/72. [http://europa.eu.int/comm/environment/water/water-framework/index\\_en.html](http://europa.eu.int/comm/environment/water/water-framework/index_en.html)
- [11] Bratrich C. (2001): Protection des eaux et instruments de marché. EAWAG news 51f, 20–22.
- [12] EAWAG (2003): Cours d'eau alpins. EAWAG news 54f, 40 p.
- [13] EAWAG (2001): Evaluation et gestion des eaux. EAWAG news 51f, 32 p.
- [14] Service hydrologique et géologique national (1992): Atlas hydrologiques de la Suisse.
- [15] Koblet R. (2002): Communications personnelles.