

L'écologie des cours d'eau alpins

La beauté sauvage de l'étage alpin, présent sur tous les continents, fascine depuis longtemps les géographes et les naturalistes. Mais curieusement, les recherches scientifiques menées dans cet étage ont surtout porté sur la glaciologie, l'hydrologie, l'écologie des milieux terrestres et la climatologie sans beaucoup se consacrer à l'écologie des cours d'eau. Nous avons lancé une étude globale de l'écologie des cours d'eau alpins fondée sur un programme d'échantillonnage prévoyant des prélèvements échelonnés tout au long de l'année. Nos résultats font état d'une hétérogénéité environnementale bien plus importante qu'on ne le supposait jusque là et établissent clairement le rôle crucial de la dynamique des plaines alluviales et des aquifères sur la structure des habitats. Dans les cours d'eau glaciaires, la période la plus propice à l'activité biologique se situe à la fin de l'automne et au début de l'hiver.

Les cours d'eau alpins font partie de nos ressources en eau les plus précieuses. Ces systèmes aquatiques fascinants qui ne sont, loin s'en faut, pas à l'abri de l'influence de l'homme, sont cependant beaucoup moins affectés par les activités anthropiques que les rivières de plaine. Les bassins hydrographiques alpins sont d'une grande valeur esthétique et scientifique et leurs écosystèmes sont considérés comme étant des indicateurs sensibles aux changements environnementaux [1]. Cependant, la région alpine reste «l'un des écosystèmes les moins étudiés au monde» [2]. Pour tenter de combler cette lacune, la division de limnologie de l'EAWAG a lancé une initiative de recherche de grande ampleur consacrée à l'écologie des cours d'eau alpins.

Cet article introductif donne une vue d'ensemble générale sur les connaissances actuelles en matière d'écologie des cours d'eau alpins. Les articles qui suivent dans ce numéro présentent les principaux résultats de divers projets de recherche menés sur des écosystèmes fluviaux situés au-dessus ou près de l'étage arborescent dans les Alpes suisses.

Qu'est-ce qu'un cours d'eau alpin?

Le terme «alpin» a deux significations différentes. Ainsi, dans le langage courant, cet adjectif désigne ce qui se situe dans les

Alpes, à n'importe quelle altitude. Mais ce terme désigne également ce qui se situe dans l'étage alpin au-dessus de la limite des arbres, que ce soit dans les Alpes ou partout ailleurs dans le monde. Pour éviter toute confusion, les écologues préfèrent

qualifier les rivières des Alpes d'«alpestres». Nous utiliserons le terme de «cours d'eau alpins» dans son deuxième sens et nous parlerons de l'écologie des torrents et ruisseaux situés entre la limite supérieure de la forêt et les neiges persistantes.

Distribution globale des cours d'eau alpins

L'étage alpin est présent sur tous les continents; la limite supérieure des arbres va d'une altitude proche de zéro aux latitudes élevées jusqu'à près de 4000 m en région tropicale (Fig. 1). La part de toundra alpine colonisée par la végétation occupe 4 millions de km² soit environ 3% de la surface des terres émergées [4]. 16% de cette surface se trouvent dans des régions tropicales ou sub-tropicales, 21% à des latitudes supérieures à 60°, les 63% restants étant situés à des latitudes moyennes (Fig. 2). La surface totale de l'étage alpin est d'environ

U. Uehlinger, EAWAG



Cours d'eau alpin dans le Val Muragl.

Caractéristique	Toundra alpine	Zone boisée de montagne
Canopée	Ouverte	Fermée
Végétation ripariale	Absente / herbes & buissons bas	Herbes, buissons, arbres
Gros débris de bois	Absents	Habitat important
Couverture neigeuse	Irrégulière	Épaisse
Rétention de matière organique	Faible	Forte
Apport de feuilles	Epars / absent	Principale source d'énergie
Production autotrophe	Limitée par la température et les nutriments	Limitée par la lumière
Etat trophique	Autotrophe	Hétérotrophe

Tab. 1: Diverses caractéristiques distinguant les cours d'eau de la toundra alpine de ceux des zones boisées de haute montagne.

6 millions de km² si l'on compte les zones dépourvues de végétation.

Dans les massifs atteignant une altitude supérieure à celle des neiges persistantes, les torrents alpins peuvent être directement alimentés par l'eau de fonte des glaciers. L'altitude de la limite inférieure de la neige en été, qui va de 5000 m dans les régions tropicales au niveau de la mer en zone arctique, est essentiellement une fonction de la latitude modulée par des facteurs tels que le degré de continentalité, l'orientation et les précipitations. Le glacier de Lewis sur le Mont Kenya, près de l'équateur, est le plus grand glacier du continent africain avec une surface pourtant modérée de tout juste 0,25 km². Les glaciers couvraient 32 % des terres émergées au cours des dernières glaciations du Pléistocène pour ne plus totaliser que 10 % des terres émergées à l'heure actuelle [1]. Les glaciers de vallée ont connu une progression au cours du Petit âge glaciaire (de 1550 à 1850 environ), mais le XX^e siècle a été caractérisé par leur retrait général en Europe. Les glaciers ont une influence décisive sur les régimes d'écoulement et de transport des sédiments qui sont eux-mêmes les moteurs de la dynamique morphologique des cours d'eau [5] et déter-

minent avec la température les biotes qui les peuplent [6].

Caractéristiques principales des rivières alpines

On distingue différents types de cours d'eau alpins, chacun ayant ses caractéristiques propres qui seront décrites dans la partie suivante de cet article. Ils ont cependant certains éléments en communs qui les distinguent tous des cours d'eau des zones de montagne arborées (Tab. 1). Contrairement aux rivières des zones boisées qui sont caractérisées par une végétation ripariale dense, les rives des cours d'eau alpins peuvent être uniquement constituées de rochers ou d'alluvions minérales totalement dépourvues de plantes supérieures. Dans des conditions optimales, les rivières alpines sont bordées d'une végétation herbacée ou de buissons bas. Ainsi, les débris de bois qui contribuent à structurer les habitats et augmentent la rétention des matériaux ainsi que les apports de feuilles qui stimulent le métabolisme des rivières des zones boisées sont rares ou absents dans les cours d'eau alpins. Le facteur limitant de la production autotrophe est plutôt la lumière dans les zones arborées alors que ce sont le manque

de nutriments et les basses températures qui lui font obstacle dans les cours d'eau alpins.

Différents types de cours d'eau alpins

L'étage alpin abrite trois grands types de cours d'eau caractérisés par différentes formes d'habitats: les torrents du **kryal** alimentés par les eaux de fonte des glaciers, ceux du **crénal** alimentés par les eaux souterraines et ceux du **rhithral** alimentés par les précipitations et la fonte des neiges [6]. Notons cependant que les caractéristiques des cours d'eau du kryal et du crénal se perdent au fur et à mesure qu'ils s'éloignent de leur source et qu'ils s'apparentent alors plutôt au rhithral.

Les **cours d'eau kryaux** abritent la faune la plus particulière et subissent les transformations les plus importantes lors de leur écoulement vers l'aval. Les filets d'eau de fonte qui s'écoulent au sein des glaciers, dans ce que l'on appelle l'eukryal, sont colonisés par des groupements microbiens hétérotrophes se nourrissant de particules organiques libérées par la glace. Les parois des fissures dans lesquelles circule cette eau abritent des organismes autotrophes,

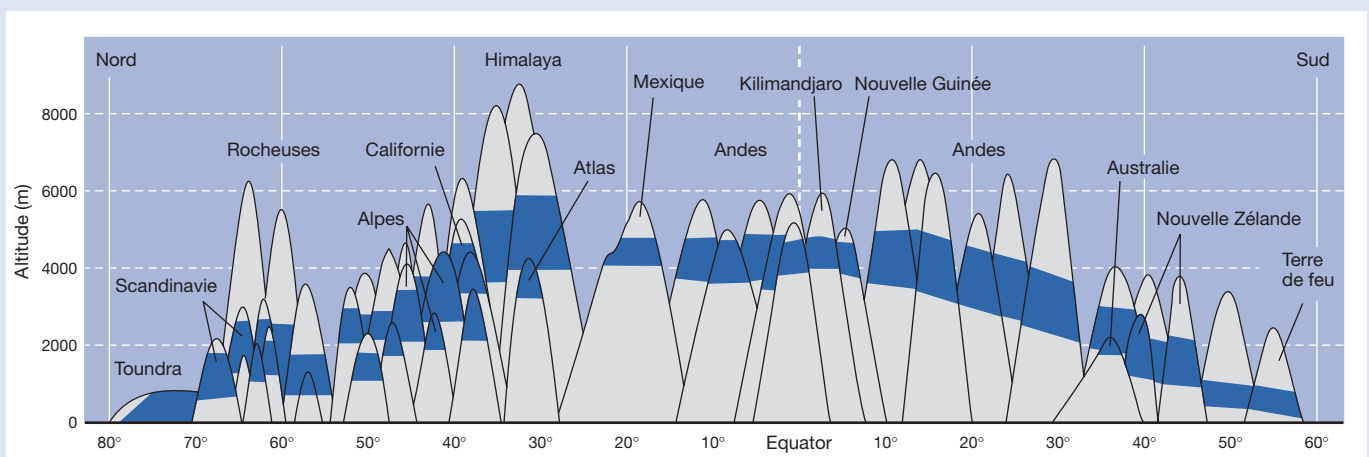


Fig. 1: Position altitudinale de l'étage alpin en fonction de la latitude [d'après 3].

en majorité des chlorophycées et des cyanophycées. Certains auteurs mentionnent même la présence de larves d'insectes aquatiques dans ces milieux «intraglaciers» [7]. Le métakryal, la zone qui correspond au ruisseau émissaire du glacier, est caractérisé par une température de l'eau n'excédant pas 2 °C, de fortes fluctuations journalières du débit en été, une turbidité de l'eau en général élevée et une saison de végétation extrêmement brève. Les poissons et les plantes aquatiques supérieures en sont absents. L'algue macroscopique filamenteuse *Hydrurus foetidus*, une espèce spécialiste des eaux froides, occupe les torrents glaciaires de tout l'Holarctique. Dans cette zone, le zoobenthos semble être limité à un seul genre, *Diamesa*, de la famille des chironomidés. Les espèces de *Diamesa* sont les éléments prédominants, probablement les seuls, du zoobenthos dans le métakryal des Alpes, de Scandinavie, des Tatras, des Balkans, du Caucase, des Rocheuses, de l'Himalaya et même des régions tropicales. Les larves de *Diamesa* occupent de petites dépressions à la surface des rochers au-dessus desquelles elles tissent une toile pour éviter d'être délogées ou écrasées si les rochers venaient à se retourner. A peu de distance en aval, la température de l'eau dépasse 2 °C en été et d'autres diptères et oligochètes apparaissent dans cette zone alors appelée hypokryal. Encore plus en aval, les températures excèdent 4 °C et les conditions environnementales correspondent au rhithral permettant la présence d'autres éléments faunistiques tels que les éphéméroptères, les plécoptères et les trichoptères.

Les **rivières rhithrales** se rencontrent également dans les bassins hydrographiques ne comprenant pas de glaciers, qu'elles soient alimentées par la fonte des neiges ou émergent de lacs. Les habitats rhithraux sont caractérisés par des températures de l'eau comprises entre 5 et 10 °C en été et ne présentent pas les fortes fluctuations

journalières de débit, l'instabilité du lit, la forte turbidité et la pauvreté trophique des cours d'eau du kryal. On y rencontre habituellement des poissons, des mousses aquatiques, des lichens et une faune algale assez diversifiée. Le zoobenthos contient assez peu de spécialistes des eaux d'amont, étant majoritairement constitué d'espèces des torrents de montagne adaptées au froid et capables de coloniser un large domaine altitudinal et qui se trouvent dans l'étage alpin à la limite supérieure de leur aire de répartition.

Les **rivières du crénal**, qui sont alimentées par des eaux souterraines, se rencontrent à toutes les altitudes. Celles qui proviennent de la toundra alpine présentent des conditions environnementales assez constantes et paisibles comparées à celles des torrents du kryal. Elles sont caractérisées par des eaux assez chaudes et peu turbides et par un substrat stable. Les rivières crénales résultent de l'émergence de nappes alluviales (sources alluviales) ou de nappes de versant qui émergent le long du corridor fluvial (sources de versant). Ces sources constituent des refuges de choix pour les biotes aquatiques dans les conditions très rudes de l'étage alpin.

Le milieu alpin présente en général une mosaïque d'habitats kryaux, crénaux et rhithraux, fournissant une grande diversité de conditions environnementales à la flore et à la faune aquatiques.

Qu'avons-nous appris?

Bien que les eaux de haute montagne suscitent depuis longtemps un vif intérêt, et ce, plus particulièrement en Europe [8], nous avons rencontré assez peu de données sur

M. Heiber, EAWAG



La Guglia près du Julierpass.

l'écologie des cours d'eau alpins au moment de rédiger une revue sur le sujet en 1994 [6]. Cet état des choses contrastait fortement avec l'abondance des connaissances rassemblées sur la climatologie, la glaciologie, l'hydrologie et l'écologie des milieux terrestres de l'étage alpin [2, 4]. A cette époque, les études menées sur l'écologie des torrents alpins étaient générale-

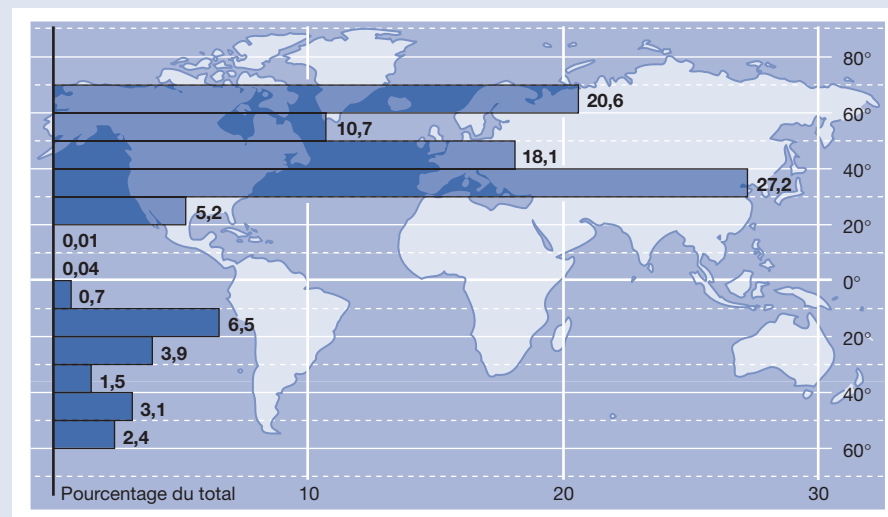


Fig. 2: Contribution relative de chaque portion de 10 degrés de latitude à la surface occupée par la végétation alpine sur la Terre. Adapté du chapitre de Ch. Koerner intitulé «Alpine plant diversity: A global survey and functional interpretations», dans [4].



M. Hieber, EAWAG

La Moesa près du San Bernardino.

ment limitées à la courte saison estivale. C'est pour cette raison que la division de limnologie de l'EAWAG lança en 1996 un programme de recherche prévoyant une large palette d'études menées tout au long de l'année. Comme en témoignent les articles présentés dans ce numéro, cette initiative a fortement contribué à faire avancer les connaissances scientifiques sur les structures et processus écologiques régissant les ruisseaux alpins. D'autres équipes de recherche européennes ont également été actives dans ce domaine au cours des dernières années [9, 10].

Quatre des grands fleuves d'Europe, le Rhône, le Rhin, le Pô et le Danube, s'écoulent en régime glaciaire en Suisse sur une partie de leur cours. L'article de C.T. Robinson et U. Uehlinger, page 7, est basé sur des recherches menées sur six rivières de ce type. Les émissaires des lacs peuvent subir ou non l'influence des glaciers. A la page 10, M. Hieber et ses collaborateurs exposent les résultats des études qu'ils ont menées sur divers émissaires pour tenter de savoir en quoi ils diffèrent de cours d'eau alpins non reliés à des lacs. L'article de U. Uehlinger, page 13, présente le Val Roseg, une plaine alluviale glaciaire bien étudiée par la division de limnologie. Le Val Roseg fait également l'objet d'autres articles de ce numéro. Ainsi, K. Tockner et son équipe se

sont penchés sur l'hétérogénéité spatio-temporelle des habitats de la plaine alluviale glaciaire de cette vallée. Leur étude, résumée dans l'article de la page 16, a livré le pool de données le plus complet jamais rassemblé sur la dynamique des habitats d'eaux courantes alpins. Des travaux menés sur la dynamique de la matière organique dans le Val Roseg sont exposés dans l'article de U. Uehlinger et de ses collaborateurs à la page 19. Des études ont été menées à différentes échelles, allant de la modélisation spatiale des flux de matière organique dans l'ensemble du corridor fluvial au suivi la dynamique de décomposition d'un amas de feuilles. Cet article montre bien l'importance d'un suivi sur toute l'année dans une approche holistique des écosystèmes d'eaux courantes alpins. L'article de U. Uehlinger et de ses collaborateurs de la page 22 montre que les apports de nutriments, la luminosité, le débit et la température favorisent les processus écologiques et les biotes pendant deux courtes périodes situées au début et à la fin de la fonte des glaces et neiges. L'article de F. Malard à la page 24 rend compte d'une étude détaillée de la faune hyporhéique, c'est à dire des animaux évoluant dans l'espace interstitiel saturé du lit alluvionnaire des rivières, et de sa distribution selon un gradient décroissant d'influence glaciaire. P. Burgherr et ses collaborateurs se sont intéressés à la biodiversité de la faune benthique de différents types de cours d'eau alpins. Les résultats de leurs travaux, exposés page 26, font le jour sur les liens étroits existant entre hétérogénéité des habitats et diversité faunistique. Les rivières alpines peuvent se trouver fragmentées pour des raisons naturelles ou anthropogéniques. L'étude de M. Monaghan et de ses collaborateurs résumée page 28 porte sur les effets de la fragmentation des cours d'eau due à des lacs et des réservoirs d'époques différentes sur la diversité génétique des insectes des milieux fluviaux. L'article final de C.T. Robinson et U. Uehlinger, page 31, présente une étude des effets de crues expérimentales dans le Parc National Suisse. Cette technique ouvre de nouvelles perspectives de gestion pour la restauration écologique des cours d'eau régulés.

L'effort collectif de recherche que nous avons fourni nous a entre autres permis de tirer les enseignements suivants: (1) notre conception passée des cours d'eau alpins était beaucoup trop simpliste, (2) les écosystèmes fluviaux alpins peuvent présenter une grande hétérogénéité spatio-temporelle, en particulier ceux des cours d'eau possédant une plaine alluviale et un réseau

de multiples chenaux, (3) la succession des phases d'expansion et de contraction des habitats aquatiques joue un rôle important dans la détermination des conditions habitationnelles et des réponses biotiques qui leurs sont liées, (4) la période maximale d'activité biologique des torrents glaciaires se situe à la fin de l'automne et au début de l'hiver et non pendant l'été, période pendant laquelle la plupart des études avaient été menées jusqu'à présent, (5) les interactions entre eau souterraine et eau de surface jouent un rôle important dans la structuration des conditions environnementales et des communautés biotiques, et enfin, (6) les effets de la fragmentation des habitats sur la circulation des gènes varient entre les espèces et sont le reflet de l'évolution des glaciations à l'échelle du bassin versant.



J.V. Ward détenait la chaire d'écologie aquatique de l'EPF de Zurich et dirigeait la division de limnologie de l'EAWAG. Il a pris sa retraite en automne 2002.

- [1] McGregor G., Petts G.E., Gurnell A.M., Milner A.M. (1995): Sensitivity of alpine stream ecosystems to climate change and human impacts. *Aquatic Conservation* 5, 233–247.
- [2] Bowman W.D., Seastedt T.R. (Eds.) (2001): Structure and function of an alpine ecosystem – Niwot Ridge, Colorado. Oxford University Press, Oxford, 337 p.
- [3] Koerner C. (1999): *Alpine plant life*. Springer-Verlag, Berlin, 338 p.
- [4] Chapin F.S., Koerner C. (Eds.) (1995): *Arctic and alpine biodiversity*. Springer-Verlag, Berlin, 332 p.
- [5] Gurnell A.M., Edwards P.J., Petts G.E., Ward J.V. (1999): A conceptual model for alpine proglacial river channel evolution under changing climatic conditions. *Catena* 38, 223–242.
- [6] Ward J.V. (1994): Ecology of alpine streams. *Freshwater Biology* 32, 277–294.
- [7] Kohshima S. (1984): A novel cold-tolerant insect found in a Himalayan glacier. *Nature* 310, 225–227.
- [8] Steinmann P. (1907): *Die Tierwelt der Gebirgsbäche. Eine faunistischbiologische Studie*. Annales de Biologie lacustre 2, 30–150.
- [9] Brittain J.E., Milner A.M. (Eds.) (2001): Glacier-fed rivers – unique lotic ecosystems. *Freshwater Biology* 46, 1571–1847.
- [10] Sommaruga R., Psenner R. (Eds.) (2001): High-mountain lakes and streams: indicators of a changing world. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 33, 383–492.