

Les lacs alpins: Des écosystèmes extrêmes menacés par les phénomènes globaux

A cause du froid et de la pauvreté en nutriments, du fort rayonnement UV et de la longue obscurité, les lacs de haute montagne sont des habitats exceptionnels. Les organismes qui y vivent doivent développer des adaptations extraordinaires. Mais même ces lacs isolés ne sont plus intacts et les modifications causées par les activités anthropiques interfèrent avec les facteurs naturels et influencent l'écosystème. Étant donné que les lacs de haute montagne sont très sensibles à ces modifications, ils peuvent servir comme systèmes de préalerte. Actuellement on ignore encore en grande partie comment ces changements influenceront ces réserves retirées.

Les lacs alpins sont des écosystèmes extrêmes et on pourrait croire qu'ils soient inadaptés à la vie. Ils se caractérisent par des conditions extrêmement acides, basiques, chaudes ou froides ou par une salinité particulièrement faible ou élevée. Souvent ils doivent subir l'effet d'une forte pression ou d'un fort rayonnement (en particulier UV). Il se pourrait que les lacs alpins doivent résister en même temps à plusieurs situations extrêmes ou qu'au cours d'une année les conditions passent rapidement d'un extrême à l'autre.

En outre, les lacs alpins doivent subir de plus en plus les effets délétères d'une influence anthropique. Non seulement les changements climatiques jouent un rôle, mais également des substances organiques transportées par l'air dans ces régions isolées. Des organismes non indigènes introduits de manière volontaire ou accidentelle par l'homme posent un autre problème à

l'intégrité des lacs de haute montagne. Ces lacs réagissent de manière particulièrement sensible aux transformations de l'environnement (voir encadré) et se qualifient depuis les années 80 comme systèmes de pré-alerte.

Extrême de manière naturelle ...

La couche de neige recouvrant un lac alpin en hiver peut atteindre plusieurs mètres d'épaisseur et peut le plonger dans une obscurité totale (Fig. 1). Dans le Gossenköllesee par exemple, un lac de 10 m de profondeur, elle occupe au moment de son extension maximale près d'un tiers du volume total du lac [1]. Sans lumière, une photosynthèse devient impossible et l'ensemble de la masse d'eau se transforme en un système hétérotrophe totalement isolé du monde extérieur pendant 6 à 8 mois de l'année. Seulement depuis quelque temps on sait que pendant cette période une com-

munauté particulière et pour la plupart microbienne se développe dans cette couverture hivernale. Ce milieu se compose non seulement d'éléments aquatiques mais aussi d'éléments terrestres et atmosphériques [2, 3].

Après la longue période d'obscurité hivernale, les lacs alpins se transforment rapidement en milieux très fortement éclairés par le rayonnement solaire. Ce passage se produit à la fin de juin ou au début juillet lorsque le rayonnement solaire atteint son intensité maximale et la couche de glace se brise. Plus l'altitude d'un lac est élevée, plus il est soumis aux ondes courtes UV (UVB, 280–320 nm). A 3000 m d'altitude, le rayonnement UVB est d'environ 50% plus élevé qu'au niveau de la mer. De plus, depuis 1970 le rayonnement UVB a augmenté environ de 10% en raison des modifications dans la stratosphère.

La faible teneur en acides humiques et en autres composés organiques permet au rayonnement UV de pénétrer jusqu'à une profondeur de 20 m (Fig. 2). Pour cette raison aucun organisme n'est protégé contre le rayonnement UV dans le lac lors de journées ensoleillées [4]. Une forme

L'hypothèse de base

L'état d'un lac dépend principalement de trois facteurs entretenant des relations hiérarchiques: le facteur n° 1 agit sur les facteurs n° 2 et n° 3, le facteur n° 2 agit sur le facteur n° 3 et le facteur n° 3 entraîne une expression spécifique des propriétés du lac concerné.

■ **Facteur n° 1: Le climat et les dépôts atmosphériques ...**

... conditionnent les gradients spatio-temporels des forces motrices.

■ **Facteur n° 2: La géologie, les sols et la végétation de son bassin versant ...**

... déterminent la sensibilité d'un lac à l'égard des influences extérieures.

■ **Facteur n° 3: La dynamique interne du lac (organismes, cycles de nutriments) ...**

... conditionne sa réponse individuelle aux perturbations.

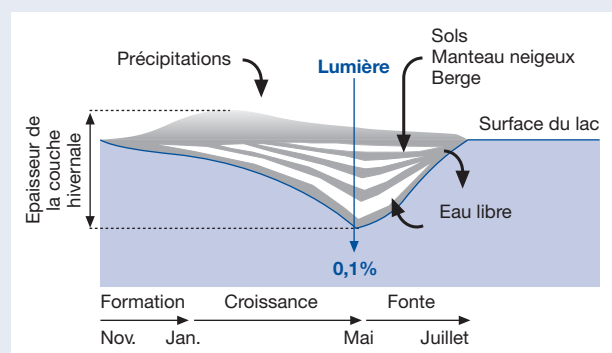


Fig. 1: Formation, constitution et fonte de la couche hivernale des lacs alpins. Sur une couche de glace transparente de quelques centimètres d'épaisseur se forme une structure en sandwich de plusieurs mètres d'épaisseur constituée de neige fondue (en blanc) et de glace glauque (en gris). L'origine et le transport des microorganismes sont indiqués par les flèches. Adapté de [3].



d'adaptation à cette situation extrême constitue par exemple l'accumulation d'acides aminés du type mycosporine dans certains petits crustacés [5]. Ces acides aminés sont absorbés par la consommation d'algues et retiennent les rayonnements UV dangereux dans le domaine de longueur d'onde 310–340 nm.

...mais pas extrêmement naturel

Les conditions extrêmes naturelles sont de plus en plus dominées par certaines activités anthropiques. Une des interventions les plus massives de l'homme dans les eaux naturelles est l'introduction d'«alien species» [6]. Ainsi, les lacs de haute montagne n'abritent normalement pas de poissons. S'ils sont tout de même empoisonnés, d'autres espèces peuvent se voir décimées, comme p. ex. certaines rares espèces de daphnies, et au pire des cas entraîner la destruction de l'écosystème. Mis à part le fait que les poissons ne sont pas adaptés à une vie dans des lacs particulièrement pauvres en nutriments et en sels minéraux [7]. Suite à un peuplement par des truites fario du Danube, une sous-espèce intéressante a curieusement survécu dans deux lacs de haute montagne autrichiens. Il y a plus de 500 ans que ces poissons furent lâchés sur l'initiative de l'empereur Maximilien I^{er} (Fig. 3).

De plus, les lacs alpins ne sont pas à l'abri de certains polluants, produits de notre civilisation moderne, tels que les polychlorobiphényles (PCB) ou le DDT et ses métabolites. Leur lieu d'utilisation ou d'émission importe peu étant donné que les polluants sont répartis dans l'atmosphère tout autour du globe [8]. L'endroit où ils se déposent dépend par contre de la température. Ainsi, les substances très volatiles comme les hexachlorobenzènes ne se déposent pratiquement que dans les régions polaires, alors que les composés peu volatiles comme le PCB 153, le PCB 180 et le DDT s'accumulent dans les zones froides des régions tempérées, soit par exemple dans les zones de haute altitude des Alpes. Les poissons provenant de lacs alpins contiennent ainsi jusqu'à 1000 fois plus de PCB (Fig. 4) et de DDT que ceux de moindre altitude [9].

Le réchauffement climatique et ses conséquences

On ignore encore comment les lacs alpins vont changer sous l'influence du réchauffement global [10]. En 1900, quand la température dans les Alpes était encore 2 °C de moins qu'aujourd'hui, et lors d'une période particulièrement froide autour de 1970, le Schwarzsee par exemple (Fig. 5) était gelé pendant toute l'année. Son bassin versant de très petite taille et ne s'élevant guère au-dessus de 3000 m était jusque dans les années 80 du XX^e siècle couvert de neiges éternelles. En outre, il y régnait probablement du permafrost. Depuis 1985, on assiste cependant à un fort réchauffement qui a déjà eu pour conséquence un dégel du lac de juillet à septembre et une fonte totale des névés à la fin de l'été. Le lac a fortement réagi à ces changements climatiques: le pH a montré une nette augmentation, la conductivité de l'eau et sa teneur en acide silicique dissous ont doublé. De plus, le Schwarzsee s'est réchauffé et a augmenté sa productivité, deux caractéristiques qui contrebalancent l'acidification des précipitations [11]. D'un côté, le ré-

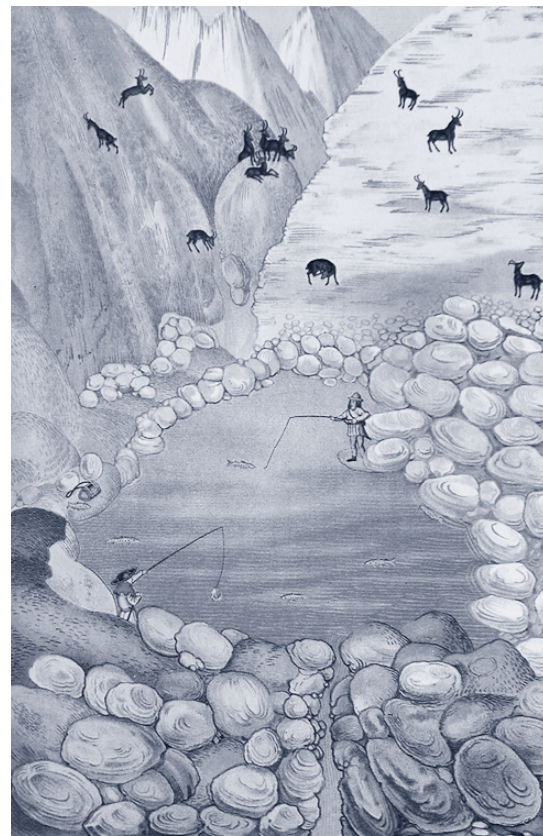


Fig. 3: Illustration extraite des livres de chasses et de pêches de l'empereur Maximilien I^{er}. Vers 1500, il fit empoisonner de nombreux lacs de haute montagne du Tyrol avec des truites et des ombles.

chauffement climatique a ainsi contribué à une réduction des extrêmes. D'un autre côté, le rayonnement UV dans l'eau augmente suite à l'extension de la phase de dégel, une situation qui rend les conditions encore plus extrêmes pour les organismes du lac.

Les lacs de haute montagne en tant qu'indicateurs

Grâce à cinq propriétés particulières, les lacs de haute montagne sont des indicateurs de choix pour les transformations globales:

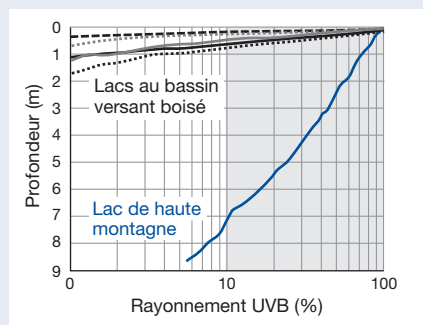


Fig. 2: Profondeur atteinte par le rayonnement UVB (longueur d'onde = 305 nm) dans des lacs à forte et à faible teneur en substances organiques dissoutes ou en acides humiques. Adapté de [4].

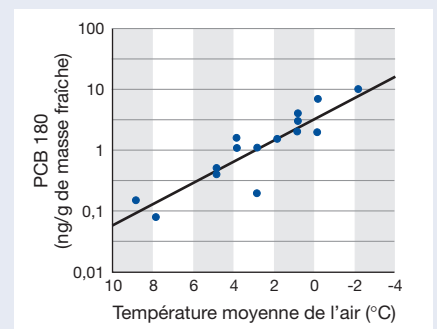


Fig. 4: Accumulation de polychlorobiphényle 180 (PCB 180) dans des poissons de différents lacs de haute montagne européens. La température moyenne de l'air présente un écart d'environ 10 °C entre les extrêmes, ce qui induit une accumulation 100 fois plus élevée. Adapté de [9].



R. Psenner, Université d'Innsbruck

Fig. 5: Il y a 100 ans que le Schwarzsee, situé à une altitude de presque 2800 m au-dessus de Sölden dans les Alpes de l'Ötztal en Autriche, était encore gelé pendant toute l'année.

Uniforme: On rencontre des lacs alpins sur toutes les latitudes, de l'équateur jusqu'aux pôles; ils sont comparables sur toute la planète et présentent des caractéristiques similaires.

Isolé: A moins d'être concernés par des aménagements locaux (routes, pistes, refuges, etc.), les lacs alpins se situent en général à bonne distance des communautés humaines et de leurs activités et sont influencés par des phénomènes globaux comme la pollution atmosphérique et le changement climatique.

Simple: Les lacs de haute montagne sont en général de petite taille et de faible profondeur, pauvre en espèces et disposent de réseaux trophiques simples, ce qui les rend plus facile à comprendre que d'autres écosystèmes.

Extrême: Les conditions physico-chimiques, telles que la température, le rayonnement UV, la couverture de glace et la pauvreté en nutriments, sont plus extrêmes que celles des lacs de moindre altitude; même des petites modifications des forces motrices mènent à des réactions mesurables.

Sensible: Étant donné leurs conditions extrêmes et leur forte réactivité, les lacs de haute montagne sont particulièrement menacés par les transformations globales.

Réduire au minimum les perturbations anthropiques

Malgré la complexité des rapports et l'incertitude quant au développement des conditions écologiques, nous pouvons résumer

nos connaissances concernant les lacs alpins en quelques phrases:

- Les lacs alpins sont à la fois extrêmes et extrêmement sensibles à certaines modifications anthropiques (et naturelles). Certaines perturbations, comme p.ex. une acidification et un réchauffement des eaux, se compensent mutuellement ou interfèrent quasi totalement avec d'autres phénomènes.

- Les conditions extrêmes ont entraîné des formes adaptatives intéressantes chez certains organismes. Certains d'entre eux vivent cependant à la limite de leurs possibilités.

- Les lacs alpins sont certes isolés mais pas intacts. Il n'existe pas de lacs de haute

montagne «naturels» au sens strict, ils sont tous concernés par des modifications globales. Tout de même les lacs alpins font partie des derniers écosystèmes proches de l'état naturel dans un monde modelé par l'homme.

- Il faut donc que toutes les perturbations d'origine anthropiques soient réduites à un minimum, qu'il s'agisse de modifications au niveau local («alien species», aménagements touristiques) ou global (émission de polluants et de gaz à effet de serre).

Au cours des deux dernières décennies, nous avons acquis beaucoup de connaissances sur les habitats extrêmes, sur les lacs alpins et sur les interrelations complexes qui régissent ces milieux – nous devons nous attendre à d'autres surprises et révélations.



Roland Psenner est professeur de limnologie à l'Université d'Innsbruck. Ses recherches portent notamment sur les lacs de haute montagne, sur les effets des changements globaux sur les bassins versants alpins, sur les cycles biogéochimiques de nutriments et de polluants

ainsi que sur l'écologie microbienne de l'eau, de la glace et de la neige.

- [1] Psenner R., Sattler B. (1998): Microbial communities: Life at the freezing point. *Science* 280, 2073–2074.
- [2] Felip M., Sattler B., Psenner R., Catalan J. (1995): Highly active microbial communities in the snow and ice cover of high mountain lakes. *Applied and Environmental Microbiology* 61, 2394–2401.
- [3] Felip M., Wille A., Sattler B., Psenner R. (2002): Microbial communities in the winter cover and the water column of an alpine lake: system connectivity and uncoupling. *Aquatic Microbial Ecology* 29, 123–134.
- [4] Sommaruga R., Psenner R. (1997): Ultraviolet radiation in a high mountain lake of the Austrian Alps: Air and under-water measurements. *Photochemistry & Photobiology* 65, 957–963.
- [5] Sommaruga R., Garcia-Pichel F. (1999): UV-absorbing mycosporine-like compounds in planktonic and benthic organisms from a high-mountain lake. *Archiv für Hydrobiologie* 144, 255–269.
- [6] Schindler D.W., Parker B.R. (2002): Biological pollutants: Alien fishes in mountain lakes. *Water, Air & Soil Pollution: Focus* 2, 379–397.
- [7] Hofer R. (1998): Fische in alpinen Hochgebirgsseen: Ökotoxikologische und ökophysiologische Aspekte. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ichthyologie* 1, 59–73.
- [8] Carrera G., Fernandez P., Grimalt J.O., Ventura M., Camarero L., Catalan J., Nickus U., Thies H., Psenner R. (2002): Atmospheric deposition of organochlorine compounds to remote high mountain lakes of Europe. *Environmental Science & Technology* 36, 2581–2588.
- [9] Grimalt J.O., Fernandez P., Berdie L., Vilanova R., Catalan J., Psenner R., Hofer R., Appleby P.G., Rosseland B.O., Lien L., Massabuau J.C., Battarbee R.W. (2001): Selective trapping of organochlorine compounds in mountain lakes of temperate areas. *Environmental Science & Technology* 35, 2690–2697.
- [10] Psenner R., Schmidt R. (1992): Climate-driven pH control of remote alpine lakes and effects of acid deposition. *Nature* 356, 781–783.
- [11] Sommaruga-Wögrath S., Koinig K.A., Schmidt R., Sommaruga R., Tessadri R., Psenner R. (1997): Temperature effects on the acidity of remote alpine lakes. *Nature* 386, 64–67.