

Fenêtres écologiques dans les écosystèmes fluviaux glaciaires

Les cours d'eau alpins et en particulier ceux qui sont glaciaires sont soumis à des conditions environnementales particulièrement rudes pendant la majeure partie de l'année. Mais pendant deux courtes périodes situées au début et à la fin de la pulsation annuelle du débit, la disponibilité en nutriments, la luminosité, le débit et la température sont favorables aux processus écologiques et au bon développement des biotes.

Les Alpes, une chaîne de montagnes aux contours déchiquetés et aux pentes abruptes, sont caractérisées par des conditions environnementales particulièrement rudes. Avec l'altitude, une part croissante des précipitations annuelles tombe sous forme de neige. Au-dessus de 3500 m d'altitude, cette part atteint virtuellement 100% [1]. La neige et la glace des glaciers permettent un stockage passager de l'eau qui est partiellement libérée en été formant une pulsation du débit qui caractérise plus particulièrement les cours d'eau alimentés par les glaciers (voir article p. 7). Cette pulsation du débit contrôlée par le rayonnement solaire et la température est un facteur important qui vient s'ajouter aux contraintes climatiques telles que le manteau neigeux ou le gel hivernal pour déterminer la nature des conditions habitationnelles que rencontrent les algues et les invertébrés. Jusqu'à récemment, l'étude des rapports entre communautés benthiques et conditions habitationnelles s'est cependant limitée à la

saison de fonte des glaces et des neiges [2]. Cet article livre une description générale des caractéristiques physico-chimiques des habitats fluviaux glaciaires fondée sur des études menées tout au long de l'année dans le Val Roseg et ailleurs [3] et traite de leurs implications pour les organismes benthiques.

L'été et l'hiver: des saisons aux conditions défavorables

La pulsation du débit glaciaire provoquée par la fonte estivale des neiges et des glaces crée dans les cours d'eau glaciaires des conditions habitationnelles défavorables aux organismes (Fig. 1). Elles sont le résultat:

- d'une force de cisaillement élevée;
- du transport important de charge de fond et donc de la grande instabilité du lit, surtout quand les versants sont abrupts et l'apport de sédiment est élevé comme c'est le cas dans les zones récemment déglacées qui précèdent les glaciers;

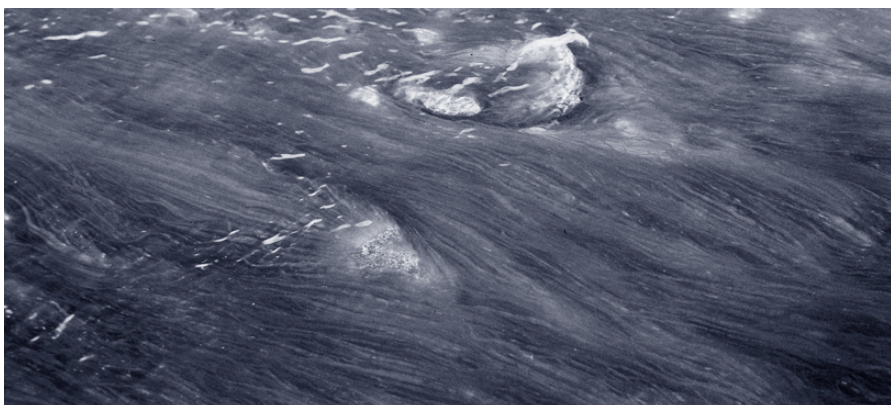
- de la forte turbidité de l'eau due aux farines glaciaires qui se traduit par une atténuation de la lumière incidente et par une abrasion accrue du substrat;
- de faibles concentrations en phosphore dissous et en carbone organique dissous [4];
- de températures de l'eau $< 2^{\circ}\text{C}$ près de l'exutoire du glacier.

La grande hétérogénéité habitationnelle qui caractérise entre autres la plaine alluviale du Val Roseg (voir article p. 16), atténue les effets délétères de la pulsation du débit glaciaire, tout au moins dans les chenaux sans contact superficiel avec le chenal principal. De la fin de l'automne aux prémices du printemps, les habitats sont tout aussi inhospitaliers mais présentent des conditions bien différentes de celles d'été. Le domaine des températures proches de zéro s'étend loin vers l'aval, le débit est faible, et certains cours d'eau peuvent même s'assécher ou geler. Le lit des cours d'eau couverts de neige se trouve totalement privé de lumière. Mais dans certains chenaux, la résurgence d'eau souterraine chaude peut localement empêcher la formation de glace et celle d'un manteau neigeux malgré des températures de l'air très basses, phénomène que l'on observe dans la plaine alluviale du Val Roseg et dans d'autres cours d'eau glaciaires des Alpes suisses [3, 5].

Dans les cours d'eau alpins, les périodes aux conditions habitationnelles défavorables sont plus facilement prévisibles que dans les cours d'eau de plus basse altitude. Les cours d'eau des Préalpes du Nord, par exemple, subissent fréquemment l'influence néfaste de crues se produisant pratiquement au hasard, ce qui reflète la forte influence océanique de cette région [6].

Des fenêtres aux conditions favorables

Le diagramme conceptuel de la Figure 1 rend compte des relations existant entre le climat régional, les conditions environnementales dans les cours d'eau alpins et la réponse des biotes qui les peuplent. L'effet



EAWAG

Dense tapis algal formé par la chrysophycée *Hydrurus foetidus* dans le chenal principal du Roseg en janvier 1998.

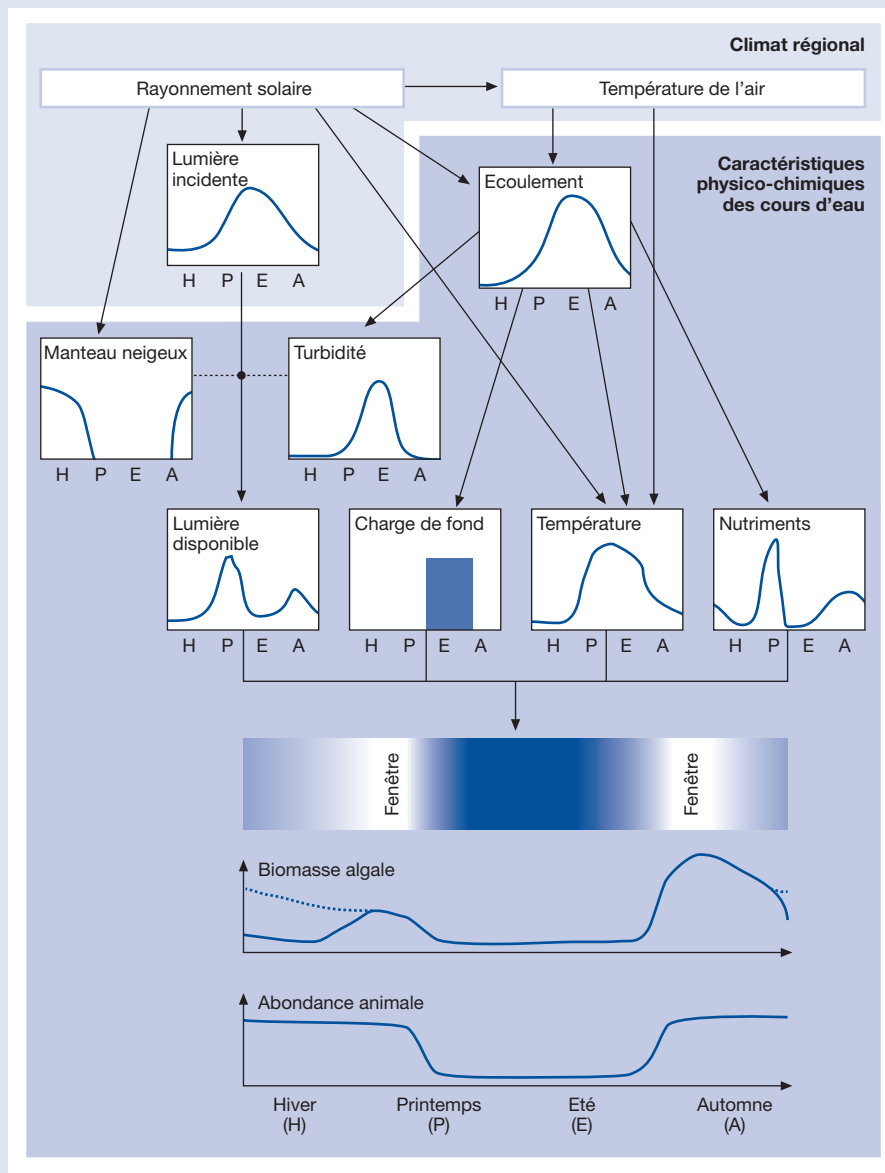


Fig. 1: Fenêtres favorables dans l'évolution des conditions habitationnelles physico-chimiques des cours d'eau glaciaires (diagramme conceptuel).

Le climat régional caractérisé par le rayonnement solaire et la température de l'air conditionne le débit et la lumière incidente et influe sur la température de l'eau. Une augmentation de la température de l'air et du rayonnement solaire provoque une libération d'eau de fonte froide qui atténue le réchauffement printanier de l'eau des cours d'eau (voir également p. 14). Dès que s'amorce la fonte de la glace, la turbidité augmente fortement et un transport de charge de fond se produit pendant les périodes de hautes eaux. Au printemps, la fonte de la neige livre de grandes quantités de composés azotés dissous provenant de dépôts aériens mais pendant l'été les flux importants d'eau de fonte induisent une dilution des nutriments. La lumière constitue la source primaire d'énergie des algues benthiques. La quantité de lumière disponible dans les cours d'eau dépend de la lumière incidente, qui varie en fonction des saisons et de l'atténuation de la lumière, produite par les farines glaciaires en été, et par le manteau neigeux en hiver (ligne pointillée = biomasse algale dans les cours d'eau dégagés en hiver). L'importance des débits, du transport de charge de fond et de matières en suspension en été limite considérablement le développement des organismes benthiques qui profitent plutôt du printemps et de l'automne.

abrasif du transport estival des sédiments limite l'abondance des invertébrés [2, 3] et, de concert avec la faible disponibilité en lumière et en nutriments, il s'oppose au développement des algues benthiques. Pendant l'augmentation printanière de l'écoulement, des débits modérés coïncident avec des températures et une disponibilité en nutriments assez élevées de même qu'avec une turbidité assez faible. A l'automne, les débits redeviennent modérés et la température de l'eau est un peu plus faible qu'au printemps. Les algues sont

capables de réagir rapidement à ces conditions plutôt favorables, ce qui est particulièrement net à l'automne mais également visible au printemps. La biomasse algale des chenaux recouverts de neige est faible, mais les algues peuvent proliférer même en hiver dans ceux qui restent dégagés (voir photo). La période qui s'étend de l'automne au printemps est caractérisée par une densité d'invertébrés et une richesse spécifique maximales [3, voir également article p. 26]. Les conditions environnementales de l'hiver sont moins contraignantes pour les inverté-

brés benthiques que pour les algues; certaines espèces effectuent même la totalité de leur cycle vital dans des chenaux recouverts de neige et de glace.

Les cours d'eau alpins concernés par le réchauffement climatique

Soulignons en conclusion qu'il est nécessaire d'effectuer des prélèvements tout au long de l'année pour obtenir une perception holistique de la structure et du fonctionnement des écosystèmes fluviaux alpins. Le projet du Val Roseg et d'autres études l'ont bien montré [3, 7]. Dans les cours d'eau glaciaires, les périodes aux conditions environnementales particulièrement rudes sont séparées par des intervalles de temps assez courts mais de conditions modérées. Cette évolution saisonnière est hautement prévisible et se traduit par des changements d'abondance et de richesse spécifique des organismes benthiques. Les modèles sur les changements climatiques globaux prédisent une régression des systèmes régis par la fonte des glaces et des neiges à la faveur des régimes d'écoulement nivaux et pluviaux. Dans de tels cours d'eau, la pulsation annuelle du débit prendrait déjà fin au début de l'été et les crues dues aux pluies deviendraient plus fréquentes. Le régime d'écoulement moins prévisible et l'extension de la fenêtre favorable automnale vers la fin de l'été auront une répercussion certaine sur la structure et la dynamique des communautés benthiques.

Urs Uehlinger (voir portrait p. 15)

Coauteurs:
K. Tockner, F. Malard

- [1] Röthlisberger H., Lang H. (1987): Glacial Hydrology. In: Gurnell A.M., Clark M.J. (eds.) Glacio-fluvial sediment transfer. Wiley & Sons, Chichester p. 207-284.
- [2] Milner A.M., Petts G.E. (1994): Glacial rivers: physical habitat and ecology. *Freshwater Biology* 32, 295-307.
- [3] Robinson C.T., Uehlinger U., Hieber M. (2001): Spatio-temporal variation in macroinvertebrate assemblages of glacial streams in the Swiss Alps. *Freshwater Biology* 46, 1663-1672.
- [4] Tockner K., Malard F., Uehlinger U., Ward J.V. (2002): Nutrients and organic matter in a glacial river floodplain system (Val Roseg, Switzerland). *Limnology and Oceanography* 47, 266-277.
- [5] Tockner K., Malard F., Burgherr P., Robinson C.T., Uehlinger U., Zah R., Ward J.V. (1997): Physico-chemical characterization of channel types in a glacial floodplain ecosystem (Val Roseg, Switzerland). *Archiv für Hydrobiologie* 140, 433-463.
- [6] Uehlinger U. (2000): Resistance and resilience of ecosystem metabolism in a flood-prone river system. *Freshwater Biology* 45, 319-332.
- [7] Schütz C., Wallinger M., Burger R., Füreder L. (2001): Effects of snow cover on the benthic fauna in a glacier-fed stream. *Freshwater Biology* 46, 1961-1704.