



## Enjeux fonctionnels de la restauration des roselières des grands lacs alpins

Florent ARTHAUD<sup>1,2,3</sup>, Baptiste BOGGIO<sup>1,3</sup>, Jean-Christophe CLÉMENT<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Université Savoie Mont Blanc, INRAE, CARRTEL, 75 bis avenue de Corzent, 74203 Thonon-les-Bains, France.

<sup>2</sup> OFB, Direction de la Recherche et de l'Appui Scientifique, Service EcoAqua, Thonon-les-Bains, France.

<sup>3</sup> Pôle R&D ECLA, France.

Correspondance : Florent ARTHAUD, [florent.arthaud@univ-savoie.fr](mailto:florent.arthaud@univ-savoie.fr)

*Les roselières lacustres, dominées par *Phragmites australis*, constituent des habitats essentiels des grands lacs alpins. Elles assurent à la fois des fonctions écologiques majeures pour la biodiversité et un rôle clé dans la régulation des cycles biogéochimiques. Leur forte régression, liée à l'aménagement des berges et à la stabilisation artificielle des niveaux d'eau, menace la fourniture de ces services. Comprendre et restaurer leur fonctionnement constitue aujourd'hui un enjeu écologique et de gestion primordial.*

### Les roselières lacustres : hotspots<sup>1</sup> biogéochimiques et de biodiversité en régression

Les roselières lacustres, dominées par *Phragmites australis*, jouent un rôle clé dans la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Elles offrent un habitat essentiel pour de nombreuses espèces faunistiques, notamment des oiseaux aquatiques, des amphibiens et une faune invertébrée diversifiée (Le Barz *et al.*, 2009). Elles influencent également les cycles biogéochimiques, en particulier celui de l'azote, en modulant la transformation et le transfert des nutriments entre sédiments, eau et biomasse végétale. Ce rôle est renforcé par l'oxygénation des sédiments *via* le système racinaire, favorisant l'activité microbienne et les processus associés.

Le déclin des roselières lacustres est documenté dans plusieurs grands lacs alpins, lié à diverses pressions anthropiques, principalement à l'aménagement des berges et à la stabilisation artificielle des niveaux d'eau. Ainsi, au cours du vingtième siècle, les roselières du lac d'Annecy ont perdu près de 90 % de leur surface, les zones restantes étant majoritairement considérées comme en mauvais état. Au lac du Bourget, la régression

atteint environ 50 %, entraînant une forte fragmentation des ceintures végétales. Cette régression compromet les services écosystémiques liés à la biodiversité et aux fonctions biogéochimiques associées (Le Barz *et al.*, 2009).

Des efforts de restauration sont entrepris depuis plusieurs décennies, visant à replanter ou protéger les roselières existantes, et à rétablir des conditions hydrologiques favorables. Les restaurations sont régulièrement suivies par les gestionnaires pour évaluer leurs effets sur la biodiversité, avec une recolonisation rapide de certaines espèces observée dans les zones concernées. En revanche, peu d'études ont évalué les effets sur les fonctions biogéochimiques, en particulier sur le cycle de l'azote.

Avant de pouvoir mesurer l'effet de la restauration sur ces fonctions, il est donc nécessaire de comprendre comment le cycle de l'azote est influencé par les caractéristiques environnementales (profondeur d'eau, saisonnalité, température, niveau trophique de la masse d'eau) et propres à la roselière (densité, biomasse, surface racinaire). Cette compréhension constitue une étape préalable à l'évaluation de l'effet de la restauration sur les fonctionnalités de l'écosystème. Ce travail a été mené dans le cadre du Pôle R&D ECLA<sup>2</sup> (Pôle Recherche et Développement

<sup>1</sup>. Zones où l'activité biogéochimique ou la biodiversité est disproportionnellement élevée par rapport aux conditions générales.

<sup>2</sup>. <https://poleecla.fr>

3. Centre alpin de recherche sur les réseaux trophiques et écosystèmes limniques.

Écosystèmes Lacustres) et de la thèse de Baptiste Boggio à l'université Savoie Mont Blanc (Boggio, 2023) au sein du laboratoire CARTEEL<sup>3</sup>, afin de fournir des éléments clés pour guider des restaurations efficaces et durables.

### Le cycle de l'azote dans les roselières lacustres

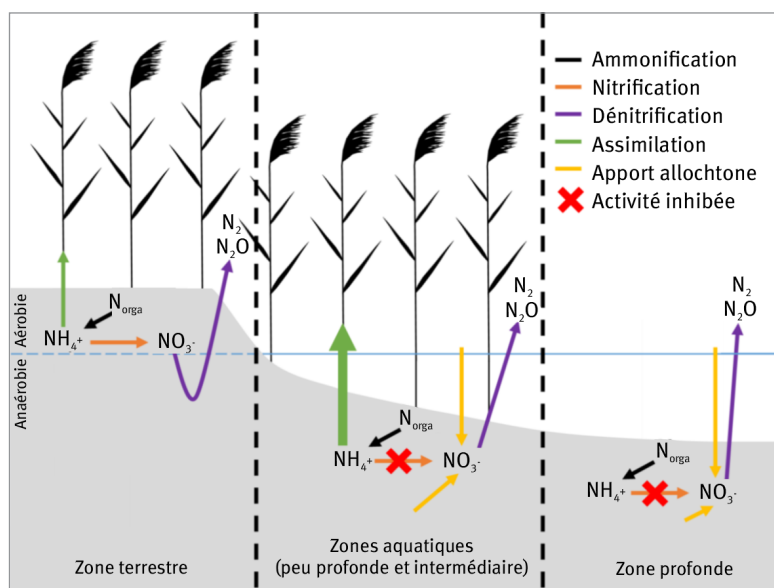
L'azote dissous dans les lacs, principalement sous forme d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et de nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), provient des apports externes (ruissellement agricole, eaux usées, dépôts atmosphériques) et de la minéralisation de la matière organique dans les sédiments. Si le phosphore est historiquement identifié comme le principal nutriment de l'eutrophisation des lacs, l'azote joue également un rôle majeur en favorisant la croissance des algues et en modulant la dynamique des écosystèmes aquatiques. Le cycle de l'azote dans les zones littorales lacustres repose sur des interactions complexes entre sédiments, végétation et micro-organismes. L'ammonium présent dans les sédiments peut être transformé en nitrate par la nitrification, processus microbien aérobie. Le nitrate peut ensuite être réduit en diazote gazeux ( $\text{N}_2$ ) par la dénitrification, processus microbien anaérobie qui permet l'élimination de l'azote inorganique dissous du lac vers l'atmosphère, contribuant ainsi à diminuer la charge azotée de l'écosystème. Dans les roselières, les organes souterrains de la végétation, rhizomes et racines, prélèvent l'ammonium et le nitrate pour leur croissance mais ils créent en même temps des micro zones oxygénées susceptibles de favoriser localement la nitrification, tandis que les zones saturées par l'eau interstitielle ou peu oxygénées limitent cette activité microbienne et favorisent plutôt la dénitrification qui élimine le nitrate. L'hydrologie contrôle donc la dynamique de l'azote dans les horizons superficiels des zones humides riveraines (Hefting *et al.*, 2004). Un niveau de nappe situé à moins

de 10 cm de la surface favorise l'ammonification, entraînant une accumulation d'ammonium; une nappe comprise entre 10 et 30 cm stimule la dénitrification et réduit la disponibilité en azote; tandis qu'une nappe située à plus de 30 cm conduit à une accumulation de nitrates en raison d'une nitrification nette plus élevée.

Dans le cadre des recherches menées par le Pôle R&D ECLA, il a été montré que *Phragmites australis* jouait un rôle majeur dans la régulation de l'azote inorganique dissous dans les zones riveraines des grands lacs alpins. Ces travaux reposent notamment sur le suivi de topohydroséquences dans les roselières des lacs du Bourget et d'Annecy, combinant la caractérisation des peuplements de roseaux, les mesures biogéochimiques et les paramètres environnementaux. Les résultats confirment comme attendu que la transformation de l'ammonium en nitrate (nitrification) est fortement contrainte par l'hydrologie. Elle reste possible, mais à un niveau très faible, lorsque les sédiments sont simplement gorgés d'eau et pauvres en oxygène (figure 1). En revanche, la nitrification est totalement absente dès lors que la colonne d'eau recouvre les sédiments de façon permanente, indépendamment de la hauteur d'eau. Cette faible production de nitrate est signe d'une boucle microbienne incomplète probablement due à l'anoxie de sédiments toujours immergés. Malgré cette absence de nitrification significative, une faible activité de dénitrification est néanmoins détectée ce qui suggère l'existence d'apports alternatifs en nitrate dans les sédiments immergés, permettant la réduction de nitrate en diazote gazeux, émis vers l'atmosphère, entraînant ainsi une perte d'azote pour l'écosystème. Ce processus de dénitrification reste très faible en roselière aquatique en réponse probablement à des conditions réductrices dans des sédiments immergés en permanence. Bien que les potentiels redox n'ont pas été mesuré dans cette étude, des valeurs de 300 mV sont optimales pour la dénitrification, alors que des valeurs plus faibles entraîne l'utilisation d'autres accepteurs d'électrons tels que les ions manganèse ( $\text{Mn}^{4+}$ , fer ( $\text{Fe}^{3+}$ ) ou sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) par exemple, au lieu de l'utilisation du nitrate.

Parallèlement, *Phragmites australis* joue un rôle également déterminant dans le devenir de l'azote réduit. Les roseaux assimilent efficacement l'ammonium présent dans les sédiments et l'eau interstitielle, ce qui peut entraîner une diminution de plus de 95 % des concentrations par rapport aux zones dépourvues de végétation. Cette réduction de la concentration d'ammonium se maintient quelle que soit la densité de peuplement, avec des capacités similaires observées entre 5 et 200 tiges.m<sup>-2</sup>. À l'inverse, l'absence totale de roseaux conduit à une accumulation marquée de l'ammonium dans les sédiments superficiels, soulignant le rôle essentiel de la végétation comme puits biologique. Ainsi, la présence, même clairsemée, de *Phragmites australis* assure une assimilation efficace de l'ammonium et prévient son accumulation, alors que son absence favorise des concentrations élevées. Ces résultats soulignent que la restauration des roselières ne peut se limiter à la seule replantation de *Phragmites australis*. Elle doit absolument être envisagée de manière intégrée avec la gestion hydrologique afin de rétablir durablement les fonctions biogéochimiques des roselières alpines.

**Figure 1** – Effets de la profondeur d'eau et de la présence de roseaux sur les pools et les flux principaux du cycle de l'azote dans les roselières à *P. australis*. La taille des caractères et l'épaisseur des flèches correspondent à la taille respective du stock ou à l'intensité relative de l'activité concernant l'azote organique ( $\text{N}_{\text{orga}}$ ), le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ), l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), le diazote ( $\text{N}_2$ ) et le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ ).



**Photo 1** – Roselières du lac du Bourget au niveau d'eau estival (à gauche) et lors de la baisse exceptionnelle du lac survenant tous les quatre ans (à droite). Source de la photo : © CISALB (<https://www.cisalb.fr>).



### Restauration des roselières : combiner génie écologique et gestion hydrologique

La restauration des roselières lacustres des grands lacs alpins constitue un enjeu fonctionnel majeur. Au-delà de la préservation de la biodiversité faunistique, ces roselières contribuent à la régulation du cycle de l'azote, notamment par l'absorption de l'ammonium et les interactions complexes avec la microfaune et la microflore des sédiments.

Les recherches menées par le Pôle R&D ECLA montrent que le fonctionnement du cycle de l'azote dans les roselières dépend fortement des conditions hydrologiques locales. Les fluctuations du niveau d'eau sont essentielles pour permettre des alternances d'oxygénation et de saturation des sédiments qui stimulent la nitrification et soutiennent la dénitrification. Par ailleurs, la germination des roseaux se déroule presque uniquement lors des phases hors de l'eau, soulignant la nécessité d'une gestion fine de l'hydrologie pour assurer également le renouvellement et le maintien des roselières.

Dans de nombreux lacs français, et même européens, la régulation et stabilisation artificielles des niveaux d'eau ont supprimé le marnage naturel, éliminant les phases d'assèchement des roselières. Il est donc essentiel de réinstaurer le plus possible des événements de baisse des niveaux du lac, comme c'est le cas depuis 2017 pour le lac du Bourget (photo 1). Pour être pleinement efficaces, ces événements doivent permettre la mise à sec complète des roselières aquatiques, afin de favoriser une oxygénation ponctuelle des sédiments, permettant certaines étapes clés des cycles biogéochimiques, comme la nitrification, la respiration aérobie mais aussi la méthanotrophie (transformation du méthane en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)). La période de ces assecs ponctuels est également un élément essentiel pour la réussite de l'opération : l'été semble être le plus propice, dans la mesure où les températures chaudes stimulent les activités microbiennes. Parallèlement, pour permettre la dénitrification, qui peut être temporellement et spatialement découplée de la nitrification, il est également nécessaire que les roselières soient submergées une partie de l'année. Ce régime alter-

nant assèchement et submersion, initialement naturel, se rapproche du fonctionnement « en chasse » des stations d'épuration à macrophytes, dont l'efficacité pour l'abattement des pollutions azotées est bien documentée. Ces variations du niveau d'eau semblent parallèlement avoir peu d'impact sur la faune benthique et piscicole littorale (Lenormand *et al.*, 2019), qui s'adapte aux cycles saisonniers de submersion et d'assèchement.

Ainsi, une restauration efficace ne peut se limiter à la seule plantation de roseaux : elle requiert une approche intégrée et adaptée aux conditions locales combinant végétation et hydrologie, les deux étant liées puisque le cycle de vie des roseaux et donc la régénération des roselières aquatiques, dépendent de l'alternance de périodes d'assec et de périodes en eau. Ces résultats fournissent des leviers concrets pour orienter les restaurations et guider les recherches futures. Ils mettent en évidence l'importance de coupler restauration végétale et gestion hydrologique afin de rétablir pleinement les services écosystémiques des roselières alpines, en particulier la régulation des nutriments et la résilience des écosystèmes face au changement global. ■

### RÉFÉRENCES

- Boggio, B. (2023). Fonctionnement biogéochimique des roselières lacustres et effets de la restauration sur le cycle de l'azote [Thèse, Université Savoie Mont Blanc]. <https://hal.science/tel-04876171v1>
- Keddy, P. (2023). *Wetland Ecology: Principles and Conservation*. Third edition. Cambridge University Press.
- Hefting, M., Clément, J., Dowrick, D., Cosandey, A., Bernal, S., Cimpian, C., Tatur, A., Burt, T., & Pinay, G. (2004). Water table elevation controls on soil nitrogen cycling in riparian wetlands along a European climatic gradient. *Biogeochemistry*, 67(1), 113-134. <https://doi.org/10.1023/b:biog.0000015320.69868.33>
- Le Barz, C., Michas, M. & Fouque, C. (2009). Les roselières en France métropolitaine – premier inventaire (1998-2008). *Faune Sauvage n°283*.
- Lenormand, J., Crétollier, F., Taubaty, M., & Raymond, J. C. (2019). *Évaluation de l'abaissement du niveau du lac du Bourget : impact sur la qualité biologique et piscicole de la zone littorale*. OFB.