

**Cadre d'utilisation:**

La végétation et l'occupation du bassin versant modulent la capacité des sols à stocker ou au contraire transférer l'azote déposé par l'atmosphère vers les eaux de surface. Les travaux de l'action 32 montrent effectivement que l'amplitude et le timing des arrivées d'azote atmosphérique dans les lacs est inégale d'un site à l'autre.

Les reconstructions paléolimnologiques révèlent d'autre part que certaines activités humaines sur les lacs (introductions de poissons) les rendent plus vulnérables aux conséquences des arrivées d'azote atmosphérique.

Bien que les dépôts d'azote atmosphériques soient voués à se maintenir voire s'intensifier dans les prochaines décennies, certaines mesures de gestion adaptative, tant sur les sols que dans les lacs, pourraient en limiter les conséquences écologiques.

**Références:**

Lepori, F., and F. Keck. 2012. *Effects of Atmospheric Nitrogen Deposition on Remote Freshwater Ecosystems*. *Ambio* 41:235-246.

Rogora, M., L. Colombo, F. Lepori, A. Marchetto, S. Steingruber, and O. Tornimbeni. 2013. *Thirty Years of Chemical Changes in Alpine Acid-Sensitive Lakes in the Alps*. *Water Air and Soil Pollution* 224.

Lepori, F., and J. Robin. 2014. *Nitrogen limitation of the phytobenthos in Alpine lakes: results from nutrient-diffusing substrata*. *Freshwater Biology* 59:1633-1645.

**Apports de nutriments aux lacs de montagne et effets écosystémiques : une approche multidisciplinaire****Résumé :**

L'azote déposé de l'atmosphère sur les sols de montagne est à présent transféré dans les eaux de surface et parvient dans les lacs de montagne. L'apport de ce nutriment ne conduit pas directement à fertiliser ces lacs mais altère leur fonctionnement et diminue leur biodiversité.

**Contexte :**

L'utilisation et émission accrues d'azote contribuent à augmenter considérablement les concentrations atmosphériques en nitrates et ammonium et leur transports et dépôts sur de longues distances. Le dépôt d'azote atmosphérique sur les sols des bassins versants, notamment lorsqu'ils sont déjà saturés, conduit au relargage d'azote inorganique, qui percole par la suite jusqu'aux eaux de surface causant à la fois une acidification et un enrichissement en nutriments. Les conséquences écologiques des dépôts d'azote seraient d'autant plus manifestes sur les écosystèmes aquatiques de haute altitude ou latitude qu'ils sont censés être isolés d'apports de nutriments issus des activités humaines locales. Si les effets de l'acidification ont été particulièrement bien documentés, ceux de la fertilisation sont beaucoup plus parcellaires.

Aux effets des dépôts d'azote sur la biomasse ou la productivité primaire des lacs s'ajoutent ceux sur l'équilibre stœchiométrique des nutriments et leurs conséquences sur la taxonomie des producteurs primaires.

Les effets de l'enrichissement que sur le déséquilibre des nutriments ont été très largement démontrés pour les écosystèmes terrestres et dans une moindre mesure sur les rivières mais sont très peu documentés pour les lacs de montagne. Pour les Alpes Françaises, la question mérite d'autant plus d'attention que les dépôts atmosphériques y sont en général élevés et ont conduit une acidification démontrée des lacs (Rogora et al, 2013). Leur vulnérabilité à l'enrichissement en azote dissous serait élevée mais les rares études expérimentales n'ont pu mettre en évidence de conséquences manifestes (Lepori et Keck, 2012). Le manque de données de suivi ne permet pas à ce jour d'observer directement les effets des dépôts d'azote atmosphériques sur les lacs d'altitude.

**Contacts :**

Marie-Elodie Perga, INRA  
Centre Alpin de Recherches sur les réseaux trophiques et les écosystèmes limniques (CARRTEL)  
75 avenue de Corzent, 74203 Thonon les Bains  
[marie-elodie.perga@thonon.inra.fr](mailto:marie-elodie.perga@thonon.inra.fr); 04 50 26 78 18

## Objectifs:

L'action 32 évalue les conséquences des dépôts d'azote atmosphériques sur le fonctionnement écologique des lacs alpins français.

Dans un premier volet, les impacts potentiels des apports d'azote atmosphériques sur la structure et le fonctionnement trophiques des lacs d'altitude sont évalués par expérimentations de bio-essais en conditions environnementales.

Le second volet quantifie l'impact réel des dépôts d'azote atmosphérique sur les lacs d'altitude et repose sur deux types d'approches de rétro-observations. Une comparaison synchronique dite 'top-bottom' menée sur 9 lacs teste l'hypothèse selon laquelle le niveau trophique des lacs d'altitude a augmenté depuis le début de l'Anthropocène en même temps que les dépôts d'azote atmosphérique. Une seconde approche, diachronique de paléo-écologie, évalue ensuite dans quelle mesure les dépôts d'azote atmosphérique ont contribué aux altérations écologiques de deux lacs d'altitude au cours des derniers siècles.

## Intérêt opérationnel:

Cette action contribue à quantifier la vulnérabilité des lacs de montagne aux changements globaux et à évaluer la possibilité d'adaptations.

## Principaux résultats:

Les expérimentations confirment que l'augmentation des concentrations en azote dans les lacs d'altitude engendrerait des modifications importantes de la structure et du fonctionnement benthique, avec notamment une augmentation de la production, des modifications de la communauté des producteurs primaires et une diminution de l'efficacité trophique (Lepori et Robin, 2014). Ces effets s'ajouteraient à d'autres effets des retombées d'azote bien ou mieux connus, surtout l'acidification des eaux et l'eutrophisation du système planctonique.



Expérimentations au lac Canard (été 2010)

Les dépôts d'azote atmosphériques sur la bordure occidentale des Alpes sont d'amplitude relativement faible ( $7 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) par rapport aux segments orientaux et méridionaux ( $35\text{-}40 \text{ kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ). Les observations confirment que tous les lacs alpins couverts par l'action 32 reçoivent à présent de l'azote atmosphérique. Même si ce transfert est relativement récent pour certains d'entre eux et d'amplitude inégale entre lacs, il atteste du dépassement de la charge critique en azote pour les sols alpins. Le maintien ou l'augmentation des dépôts dans un futur proche devrait conduire à une accélération et un emballement de ces tendances.

L'augmentation des apports d'azote atmosphériques ne génère pas systématiquement des conséquences écologiques directes. Dans le lac de la Muzelle par exemple dans lequel les apports ont pu être mis en évidence dès les années 1970, leur effet sur le fonctionnement de l'écosystème sont improbables avant le début du XX<sup>ème</sup> siècle. Plutôt qu'une augmentation de la production phytoplanctonique (= « verdissement des eaux »), les approches expérimentales et observationnelles montrent que les apports d'azote atmosphériques contribuent à une translocation du réseau trophique vers le compartiment benthique, la perte du rôle fonctionnel des zones littorales et pélagiques et une diminution drastique de l'efficacité trophique. Une telle réponse aux arrivées d'azote atmosphérique dans les lacs de montagne implique que leur augmentation future pourrait impliquer des modifications fonctionnelles cruciales des réseaux trophiques. La diminution de l'efficacité trophique conduirait à en limiter fortement la production piscicole, tandis que l'accumulation de la matière organique et la plus forte décomposition favoriseraient l'hypoxie des eaux.

Indépendamment de la capacité de rétention des sols, le fonctionnement interne du lac pourrait renforcer ou au contraire limiter l'impact des concentrations croissantes d'azote. Ainsi, dans les deux cas d'étude diachronique (lacs Canard et Muzelle), des effets écologiques apparaissent après la disparition de zones à macrophytes (sous effet climatique ou suite à l'introduction de poissons). S'il ne s'agit à ce stade que d'une conjecture, il semble important d'évaluer dans quelle mesure certaines altérations écologiques des systèmes peuvent générer des effets vulnérabilisants face aux dépôts d'azote atmosphérique.



Carottage du lac de la Muzelle (Hiver 2011)