

Accord Cadre ZABR- Agence de l'Eau Fiche résumé

Titre du projet : Apports de nutriments aux lacs de montagne et effets écosystémiques : une approche multidisciplinaire

Personne responsable : Fabio Lepori (Université Lyon 1)

Equipes de recherche « ZABR » concernées :

- ❖ UMR 5023 - LEHNA, Laboratoire d'Ecologie des Hydrosystèmes Naturels et Anthropisés, Université Lyon 1 : Fabio Lepori (écologie aquatique, MCF) et Joël Robin (ISARA ; algues, plancton, fonctionnement trophique des écosystèmes aquatiques)
- ❖ EDYTEM, Université de Savoie, CNRS : Fabien Arnaud (sédimentologie-géochimie, CR1 CNRS)
- ❖ CARRETEL, Université de Savoie, INRA : Marie-Elodie Perga (paléoécologie- fonctionnement trophique des écosystèmes aquatiques, CR1 INRA)

Pilotage du projet : Le projet sera piloté par un comité composé par les équipes de recherche concernées, des représentants de l'Agence de l'eau et des gestionnaires du PN Ecrins.

Thème de rattachement ZABR : Flux polluants, écotoxicologie, écosystèmes (Responsables : Yves Perrodin, ENTPE, LES ; Véronique Lavastre, Université Jean Monnet, LTL)

Thème de rattachement Agence de l'Eau : Le projet entre dans le cadre de l'axe prioritaire défini par l'Agence de l'Eau et la ZABR : « Les risques environnementaux et la vulnérabilité des milieux » ainsi que dans les questions concernant l'impact de substances sur les écosystèmes listée comme nécessitant un besoin prioritaire de connaissance.

Site de rattachement ZABR: Site « Zones Humides » (Pilote scientifique : Gudrun Bornette, Université Lyon 1, UMR CNRS 5023)

Finalités et attendus opérationnels :

-Attendus scientifiques

Des programmes de recherche précédents ont montré que, dans les Alpes, le niveau trophique des lacs de montagne a considérablement augmenté aux cours du siècle dernier. Cette augmentation est probablement à mettre en relation avec des apports de nutriments anthropogènes, dont l'origine précise reste pourtant inconnue. Ce nouveau programme de recherche vise à répondre à deux questions centrales soulevées par ces résultats :

[1] Quelle est l'origine des nutriments responsables de l'augmentation du niveau trophique des lacs de montagne ?

[2] Quelles sont les conséquences de l'apport de ces nutriments sur le fonctionnement des écosystèmes aquatiques ?

L'étude de ces problématiques est importante pour plusieurs raisons. D'abord, les lacs de montagne sont naturellement peu productifs et ainsi très vulnérables à des apports, même modestes, en nutriments. Par conséquent, l'augmentation de la quantité de nutriments peut altérer les processus qui soutiennent le bon fonctionnement écologique de ces lacs.

Deuxièmement, de par la position en tête de bassin des lacs de montagne, les changements qui les concernent se propagent vers l'aval. Ainsi, l'altération des caractéristiques écologiques de ces lacs peut avoir des effets importants à l'échelle du bassin versant entier. Enfin, une étude menée sur des écosystèmes aquatiques peu exposés aux pollutions par le bassin versant peut permettre de quantifier la pollution atmosphérique et apporter des précisions sur ses effets sur les écosystèmes aquatiques en général.

Ce projet a donc deux attendus scientifiques généraux :

- ❖ l'identification des sources de nutriments aux lacs de montagne de bassin du Rhône au cours de ce dernier siècle ;
- ❖ la compréhension des effets des nutriments sur l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes. En particulier, nous visons à éclairer si la disponibilité de nutriments limite la biomasse des producteurs primaires (algues, cyanobactéries) dans ces lacs, et comment les effets sur les producteurs primaires se propagent aux consommateurs (invertébrés aquatiques).

Les résultats scientifiques obtenus à partir de cette étude feront l'objet de présentations à des conférences internationales et de publications dans des revues scientifiques à comité de lecture.

- Attendus opérationnels

Les résultats du projet contribueront à la gestion des écosystèmes du bassin du Rhône. Les principaux attendus opérationnels sont :

- ❖ Le développement d'une méthode basée sur l'analyse des isotopes stables de l'azote qui pourrait permettre l'identification des sources de nutriments aux lacs de montagne ;
- ❖ L'évaluation de l'importance relative de ces sources, qui permettrait de hiérarchiser des actions de politique de gestion visant à préserver le bon état écologique de ces écosystèmes.
- ❖ La démonstration du lien entre la pollution chimique des lacs et les effets sur des cibles écologiques d'intérêt pour la société, comme le fonctionnement de l'écosystème et la productivité biologique (qui pourrait par exemple influencer la productivité du compartiment piscicole).

La méthode d'identification des sources de nutriments fera l'objet d'un rapport technique à l'Agence de l'eau. Les autres résultats opérationnels feront l'objet d'une réflexion avec les gestionnaires du parc des Ecrins et le responsable des lacs de l'agence de l'eau. A ce titre, ce projet s'inscrit dans la dynamique « lacs sentinelles » qui vise à coordonner les actions de recherches sur les lacs d'altitude au sein des grands espaces protégés alpins (PN Ecrins, Vanoise, Mercantour, RN Haute-Savoie et PNR Queyras).

Objectifs et méthodologie :

-Problématique et objectif

Loin d'être exempts de toute pression anthropique, les lacs de montagne du bassin du Rhône sont le fruit d'une longue histoire d'interactions entre l'homme et son milieu. Dans les Alpes, la pression pastorale, une importante source de nutriments, s'exerce sur les bassins versants d'altitude depuis

la fin du Néolithique (~3000 av. J.-C.). D'autre part, depuis la révolution industrielle, les lacs d'altitude ont été soumis à des pollutions d'origine atmosphérique, dont les retombées d'azote représentent aussi une source potentiellement importante de nutriments. De ce fait, le niveau trophique de plusieurs lacs alpins a augmenté considérablement au cours du temps, surtout pendant le siècle dernier.

Cette évolution s'inscrit dans la problématique plus générale du croissant apport de nutriments (surtout azote) issus d'activités humaines aux écosystèmes naturels. Au présent, cet apport est considéré comme un des majeurs impacts écologiques globaux, en même temps que le l'altération des habitats naturels et les invasions biologiques. Malgré plusieurs décennies de recherche, les effets des nutriments sur les écosystèmes aquatiques restent peu connus. Ainsi, ils font aujourd'hui l'objet d'une intense activité de recherche. Parmi les questions ouvertes deux nous semblent prioritaires : comprendre le rôle des apports d'azote dans l'eutrophisation des écosystèmes aquatiques, et évaluer les prédictions théoriques provenant de modèles de réseaux alimentaires plus récents, fondés sur la stœchiométrie écologique. La plus part des limnologues ont cru que les écosystèmes aquatiques sont surtout limités par le phosphore, mais cette opinion a été récemment mise en question par des chercheurs travaillant sur des lacs de montagne aux Etats Unis et en Scandinavie. Si les lacs alpins sont aussi limités par l'azote, ils seraient très vulnérables au problème des dépôts atmosphériques, qui y sont particulièrement importants. La stœchiométrie écologique, une des disciplines émergentes plus prometteuses dans le domaine de l'écologie moderne, offre un cadre théorique qui pourrait permettre de comprendre et prédire les effets de ces apports sur le réseau trophique entier.

En particulier, ce projet a trois objectifs principaux :

- [1] Identifier les sources des apports d'azote aux lacs de montagne du bassin du Rhône (pastoralisme *versus* apports atmosphériques). On s'attend à ce que la concentration d'azote ait augmenté au cours du dernier siècle, et que les apports atmosphériques en constituent une source croissante.
- [2] Evaluer l'effet des apports de nutriments (azote et phosphore) sur la biomasse et la composition des producteurs primaires. On s'attend à ce que, dans des lacs peu impactés par des apports de nutriments, la biomasse des producteurs primaires est limitée (ou co-limitée) par l'azote, et non pas seulement par le phosphore.
- [3] Evaluer l'effet des apports de nutriments sur les interactions entre producteurs primaires et consommateurs. On s'attend à ce qu'une augmentation de l'état trophique comporte une perte de transfert d'énergie entre les producteurs primaires (algues et cyanobactéries) et les consommateurs (invertébrés et poissons), du fait d'une altération de la qualité nutritive des premiers. Cette perte de transfert d'énergie pourrait se propager dans le réseau alimentaire et affecter négativement tous les consommateurs, y compris les poissons. Ainsi, les effets des apports d'azote croissants pourraient se propager jusqu'au bout à travers le réseau trophique de ces lacs.

- Sites d'étude

Ce projet recherche propose de se concentrer sur deux lacs, le lac du Pontet et le lac Lauvitel :

- ❖ Le lac du Pontet (site ZABR, 1982 m), en bordure du Parc des Ecrins, est un lac très fréquenté (pêche, baignade) autour duquel des vaches pâturent.
- ❖ le Lac Lauvitel (1505 m), dans le massif des Ecrins, a probablement été peu impacté par le pastoralisme de par sa difficulté d'accès. De plus la majeure partie de son bassin versant a

été classée en réserve intégrale en 1995 et n'est donc affectée par aucun processus anthropique direct.

Ces lacs ont été sélectionnés sur la base de 3 critères : [1] un impact contrasté des apports de nutriments ; [2] un accès suffisamment aisé (dénivelé $\sim < 600$ m), pour permettre le transport de matériel lourd et des visites fréquentes lors des manipulations prévues ; et [3] des caractéristiques géographiques et physiques (altitude, surface, profondeur, etc.) similaires, tenant compte des contraintes [1] et [2].

Un troisième lac sera étudié, uniquement par l'approche paléolimnologique, dans un premier temps :

- ❖ le lac de la Muzelle (2300m), dans le massif des Ecrins, il est situé à proximité du lac Lauvitel, mais à la différence de ce dernier, il subit une forte pression pastorale actuelle (1100 moutons y pâturent en été). L'étude couplée de deux systèmes proches, soumis à des pressions variées permettra d'affiner l'analyse des causes potentiels d'apports de nutriments. Ce lac n'a pas été retenu pour l'instant pour opérer un suivi écologique pour des raisons logistiques (> 1100 m de dénivelée). Il est cependant suivi dans le cadre des activités du « groupe lacs » du PNE et sera équipé en 2011 d'un mouillage scientifique composé d'une sonde multi-paramètre (pression, température, O₂, turbidité, conductivité au fond et chlorophylle en surface), d'une chaîne de thermistors et de trappes à sédiment. Son carottage est programmé en septembre 2011.

- Approches méthodologiques

→ Approche paléolimnologique

Les lacs choisis auront fait l'objet en 2011 de carottages dans le cadre d'autres programmes de recherche. Dans le cadre du présent projet, deux types d'analyses complémentaires seront menées sur les sédiments dans le but d'étudier l'évolution temporelle des apports d'azote et d'en identifier les sources :

- 1) Les modifications temporelles de l'apport d'azote aux lacs seront étudiées à partir du contenu en azote de la matière organique des sédiments (Table 1). La date de début de l'augmentation de l'apport d'azote aux lacs fournira aussi un premier élément pour en discriminer l'origine : le pastoralisme existe dans les Alpes depuis plus de 5000 ans et il a connu un maximum historique au XIII^{ème} siècle, alors que le problème des dépôts azotés atmosphériques est typique du XX^{ème} siècle ;
- 2) Pour tracer les sources des apports d'azote (dépôts atmosphériques *versus* pastoralisme) davantage, nous développerons aussi une méthode basée sur l'évolution du $\delta^{15}\text{N}$ (signature isotopique) de l'azote contenu dans les sédiments (Table 1). L'azote provenant de l'atmosphère a souvent une signature isotopique plus « légère » de celle de l'azote provenant de processus naturels et du pastoralisme (sources édaphiques). Nous mesurerons la signature de l'azote contenu dans les sédiments (CARRTEL et EDYTEM). Une tendance vers une diminution du $\delta^{15}\text{N}$ pendant le dernier siècle indiquerait aussi une augmentation relative des sources d'azote atmosphériques par rapport aux sources édaphiques. De plus, nous mesurerons la signature isotopique des différentes sources d'azote (dépôts atmosphériques et déchets animaux) pour vérifier qu'elle soit effectivement différente dans la région d'étude. Une fois validée, cette méthode pourrait devenir un outil précieux aux fins de la discrimination des sources d'azote en milieu aquatique, et sera mis à disposition de l'Agence de l'eau.

→ *Approche écologique expérimentale de terrain*

Pour étudier l'effet de la disponibilité en nutriments sur la biomasse et la composition des producteurs primaires (objectif 2), on utilisera la méthode des substrats diffusants (« nutrient diffusing substrata ») sur le terrain. Cette méthode comporte l'utilisation de pots perméables remplis de gel d'agar pur (contrôles) ou enrichis en nutriments (traitements), qui sont colonisés extérieurement par des algues benthiques. Les nutriments utilisés comprendront l'azote et un mélange d'azote et phosphore. Les substrats seront placés dans le littoral (profondeur < 1 m) des deux lacs d'étude pendant 7-8 semaines. Ensuite, ils seront transportés au laboratoire pour l'analyse des algues et des invertébrés qui auront colonisé leur surface.

Pour étudier l'effet la disponibilité de nutriments sur les consommateurs (objectif 3), les substrats seront placés dans des cages de maille de nylon (~ 100 µm) ouvertes ou fermées pour inclure ou exclure les invertébrés racleurs de substrat (les consommateurs primaires), qui s'alimentent d'algues benthiques. Les réponses mesurées comprendront la biomasse et la composition (taxonomique, fonctionnelle et chimique) des algues et des racleurs colonisant les substrats (Table 2).

Ces manipulations seront accompagnées d'un volet de base (hydrochimie, algues, invertébrés benthiques) caractérisant le fonctionnement actuel des deux sites d'étude (Table 2).

Table 1. Facteurs mesurés pour reconstituer l'histoire des apports d'azote et en identifier les sources

◆ C total et C _{org} des sédiments
◆ N total des sédiments
◆ δ ¹⁵ N et ¹³ C de la matière organique des sédiments
◆ δ ¹⁵ N et ¹³ C des retombées atmosphériques
◆ δ ¹⁵ N et ¹³ C des déchets animaux

Budget global du projet, durée et aide annuelle demandée :

La durée prévue pour la réalisation du projet est de un an et demi. Le budget provisionnel est détaillé sur l'annexe CNRS.

En plus du financement ZABR-Agence de l'eau et des apports des différents partenaires académiques, ce programme bénéficiera du soutien logistique du « groupe lacs » du Parc national des Ecrins. Ceci se traduira par 2 missions de terrain annuelles sur le lac de la Muzelle et par des visites régulières au lac de Lauvitel. Lors de ces visites (1 à 2 fois par mois en été), des profils de températures, oxygène, conductivité et turbidité seront réalisés grâce à une sonde multi-paramètres prêtée au PNE par le laboratoire EDYTEM.

Table 2. Facteurs mesurés pour évaluer les effets du changement l'état trophique des lacs sur les algues et les invertébrés benthiques.

Facteurs physico-chimiques

- ◆ Phosphates, nitrates, nitrites, ammonium de l'eau des lacs
- ◆ pH, conductivité, température de l'eau des lacs
- ◆ Phosphates et nitrates, pour tests préliminaires en laboratoire des substrats diffusants

Facteurs biologiques

- ◆ Chlorophylle en milieu naturel et sur les substrats diffusants
 - ◆ Taxonomie des algues (famille) en milieu naturel et sur les substrats diffusants
 - ◆ Taxonomie (genre-famille), biomasse, et densité des macroinvertébrés littorales en milieu naturel et sur les substrats diffusants
-

Rappels

Tout projet ZABR doit répondre à 5 critères : être pluridisciplinaire, entrer dans les problématiques scientifiques de la ZABR, impliquer au moins 2 organismes membres du GIS ZABR, s'appliquer sur un site ou un observatoire de la ZABR, provenir d'équipes ayant une production scientifique internationale garantissant la valorisation future du travail de recherche. Tous les renseignements sont disponibles sur le site internet de la ZABR. <http://www.zabr.org>

Modalités d'intervention de l'Agence de l'Eau :

Règle générale : une subvention de 50% d'un budget prévisionnel HT

Montant global alloué par l'Agence de l'Eau sur l'accord cadre AE ZABR : 250 k€