



L'azote dans les lacs de haute montagne

Maria Page

Marine Souchier

Ilann Bourgeois

Jean-Christophe Clément

Pression sur les Lacs

Les lacs alpins subissent de plus en plus de pressions¹ peut être dues aux activités humaines



Lac Sarenne, Julliet 2024

PROCEEDINGS B

royalsocietypublishing.org/journal/rspb

Research



Cite this article: Oleksy IA, Baron JS, Leavitt PR, Spaulding SA. 2020 Nutrients and warming interact to force mountain lakes into unprecedented ecological states. *Proc. R. Soc. B* **287**: 20200304.

<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2020.0304>

Nutrients and warming interact to force mountain lakes into unprecedented ecological states

Isabella A. Oleksy^{1,2}, Jill S. Baron^{3,1}, Peter R. Leavitt^{4,5}
and Sarah A. Spaulding⁶

¹Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523, USA

²Cary Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, NY 12545, USA

³U.S. Geological Survey, Fort Collins, CO 80526, USA

⁴Institute of Environmental Change and Society, University of Regina, Regina, Saskatchewan, S4S 0A2 Canada

⁵Institute for Global Food Security, Queen's University Belfast, Belfast, Antrim BT9 5DL, UK

⁶U.S. Geological Survey/INSTAAR, University of Colorado, Boulder, CO, USA

 IAQ, 0000-0003-2572-5457; JSB, 0000-0002-5902-6251; PRL, 0000-0001-9805-9307; SAS, 0000-0002-9787-7743

Pression sur les Lacs

Les lacs alpins subissent de plus en plus de pressions¹ peut être dues aux activités humaines



Lac Sarenne, Julliet 2024

PROCEEDINGS B

royalsocietypublishing.org/journal/rspb



Research

Cite this article: Oleksy IA, Baron JS, Leavitt PR, Spaulding SA. 2020 Nutrients and warming interact to force mountain lakes into unprecedented ecological states. *Proc. R. Soc. B* **287**: 20200304.

<http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2020.0304>

Nutrients and warming interact to force mountain lakes into unprecedented ecological states

Isabella A. Oleksy^{1,2}, Jill S. Baron^{3,1}, Peter R. Leavitt^{4,5}
and Sarah A. Spaulding⁶

¹Natural Resource Ecology Laboratory, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523, USA

²Cary Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, NY 12545, USA

³U.S. Geological Survey, Fort Collins, CO 80526, USA

⁴Institute of Environmental Change and Society, University of Regina, Regina, Saskatchewan, S4S 0A2 Canada

⁵Institute for Global Food Security, Queen's University Belfast, Belfast, Antrim BT9 5DL, UK

⁶U.S. Geological Survey/INSTAAR, University of Colorado, Boulder, CO, USA

 IAQ, 0000-0003-2572-5457; JSB, 0000-0002-5902-6251; PRL, 0000-0001-9805-9307; SAS, 0000-0002-9787-7743



EDITABLE STROKE



L'Importance de l'Azote

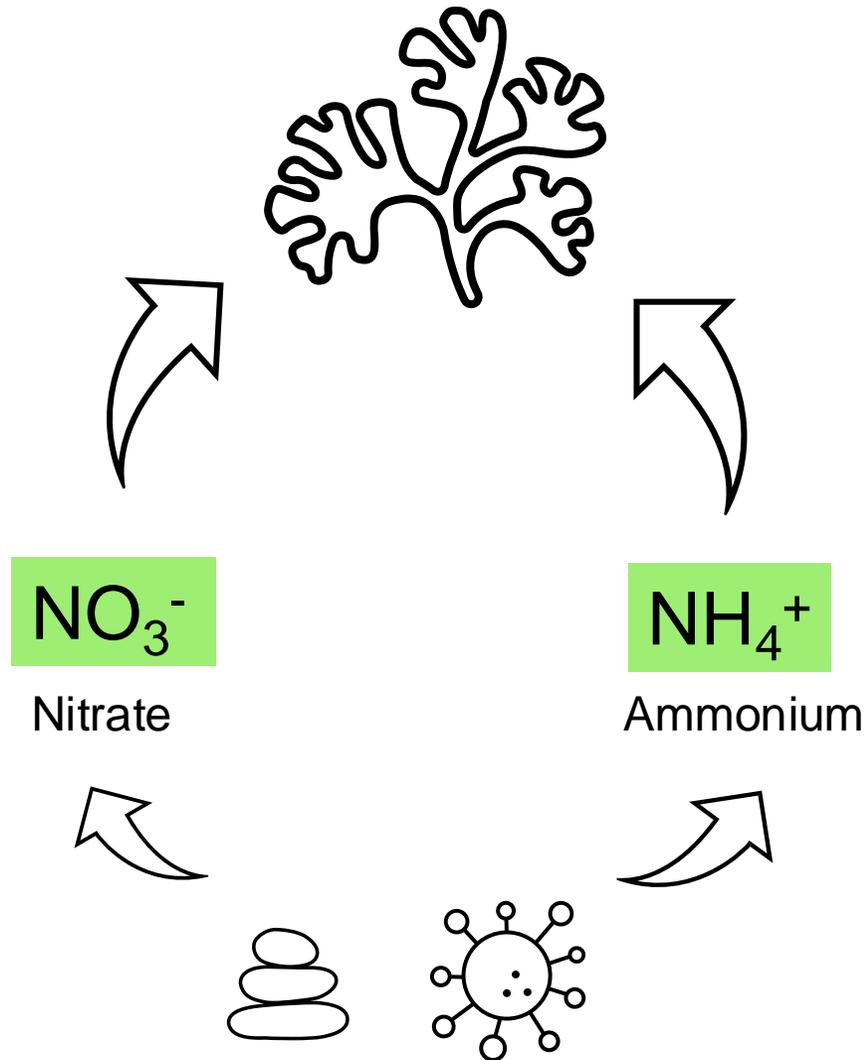
En **nature**, on trouve l'azote dans l'atmosphère, le sol, les rochers...

Il est **cyclé** entre ses formes par les microbes.

NO_3^- et NH_4^+ sont les formes les **plus disponibles** aux plantes et algues à utiliser

Donc l'azote est un nutriment essentiel pour les écosystèmes des lacs

L'Importance de l'Azote



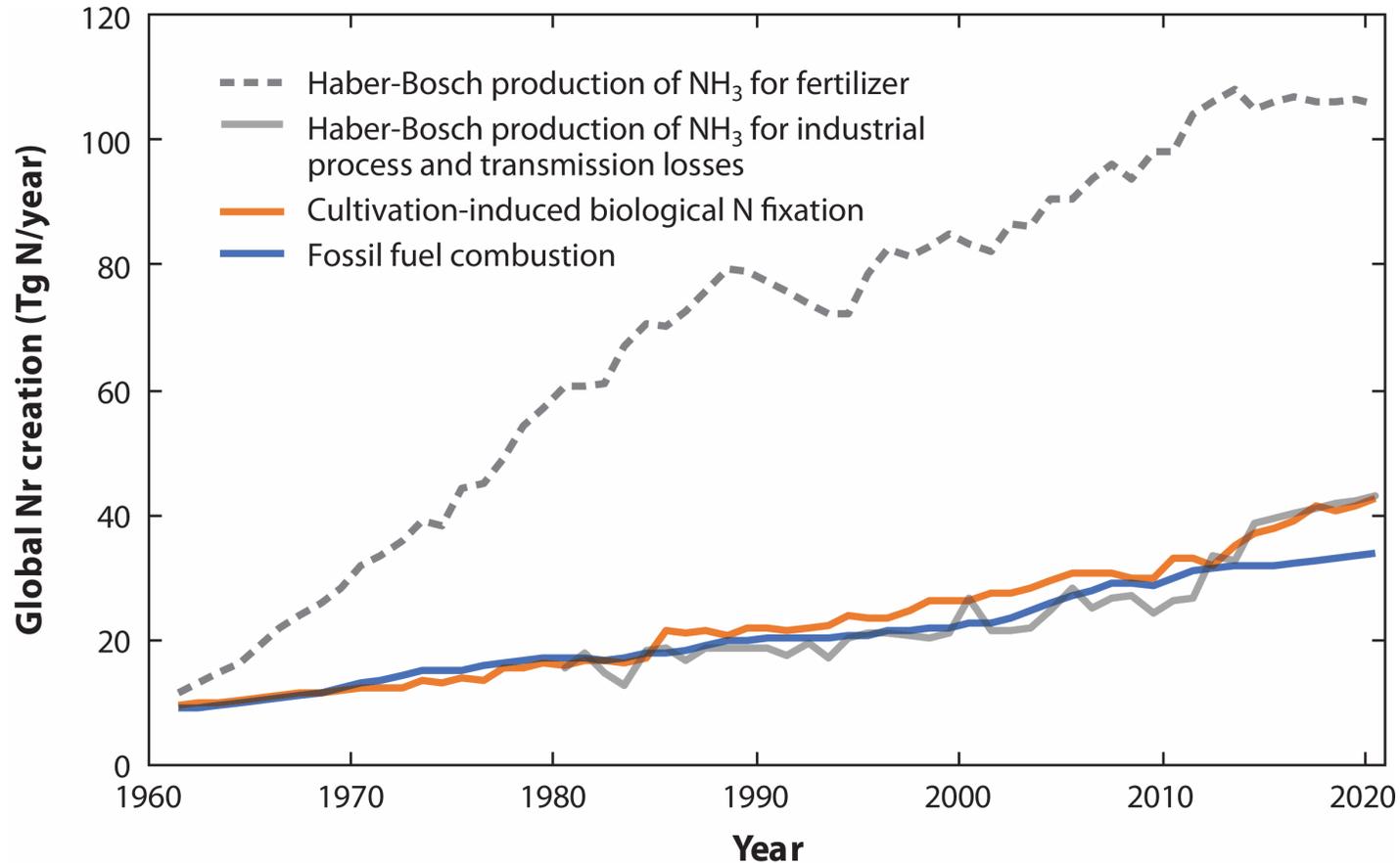
En **nature**, on trouve l'azote dans l'atmosphère, le sol, les rochers...

Il est **cyclé** entre ses formes par les microbes.

NO_3^- et NH_4^+ sont les formes les **plus disponibles** aux plantes et algues à utiliser

Donc l'azote est un nutriment essentiel pour les écosystèmes des lacs

Apports de l'azote d'origine anthropique

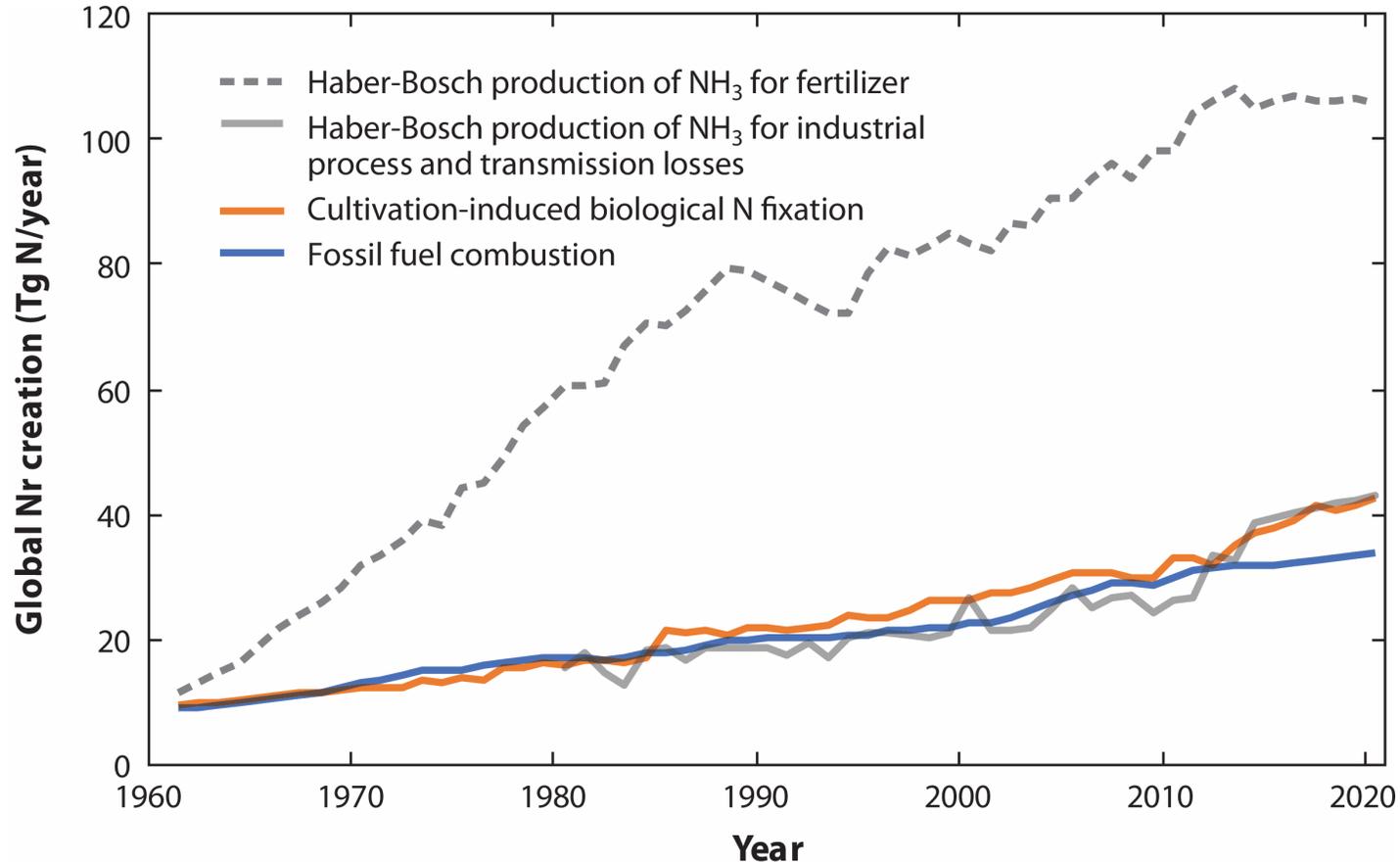


Par une combinaison d'activités, l'homme émettent de plus en plus d'azote dans l'atmosphère et dans la terre

Fig.1 Production mondiale d'azote réactif par l'homme

Données et estimations pour 2019 et 2020 basées sur la FAO, Lassaletta et al. et BP Statistical Review of World Energy.

Apports de l'azote d'origine anthropique



Par une combinaison d'activités, l'homme émet de plus en plus d'azote dans l'atmosphère et dans la terre

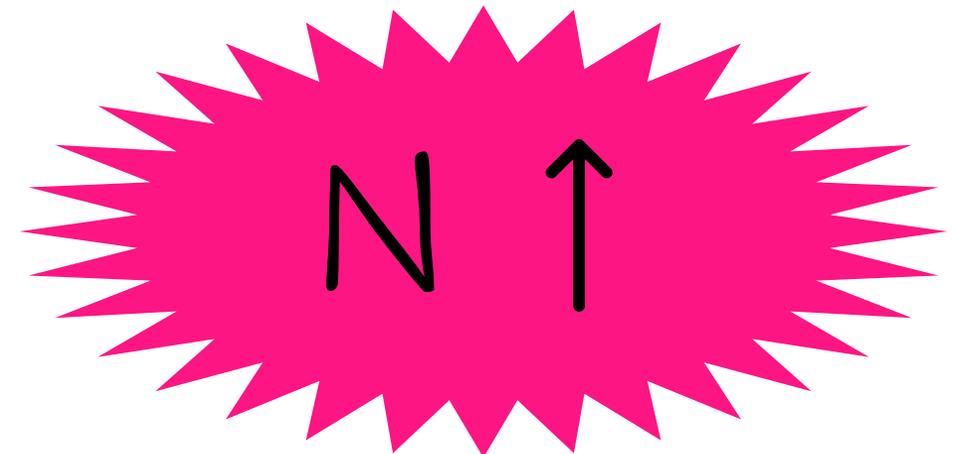


Fig.1 Production mondiale d'azote réactif par l'homme

Données et estimations pour 2019 et 2020 basées sur la FAO, Lassaletta et al. et BP Statistical Review of World Energy.

Que voulons-nous savoir ?

L'azote est un **nutriment essentiel** pour les algues. Donc il constitue souvent le **facteur limitant** de la croissance de la biomasse dans un écosystème.

Des **activités humaines** émettent de l'azote qui est transporté par voie **atmosphérique et terrestre** vers les bassins versants des lacs des régions alpines.

Que voulons-nous savoir ?

L'azote est un **nutriment essentiel** pour les algues. Donc il constitue souvent le **facteur limitant** de la croissance de la biomasse dans un écosystème.

Des **activités humaines** émettent de l'azote qui est transporté par voie **atmosphérique et terrestre** vers les bassins versants des lacs des régions alpines.

Est-ce qu'il y a un changement des **sources des nutriments** dans les lacs alpins causé par les **activités humaines** ?

En plus, est-ce que la modification de l'apport d'azote va avoir un **impact sur le fonctionnement des écosystèmes** des lacs alpins ?

Émissions de NO_x

Les gaz NO_x proviennent
de la combustion
d'énergies fossiles



Émissions de NO_x

Les gaz NO_x proviennent de la combustion d'énergies fossiles

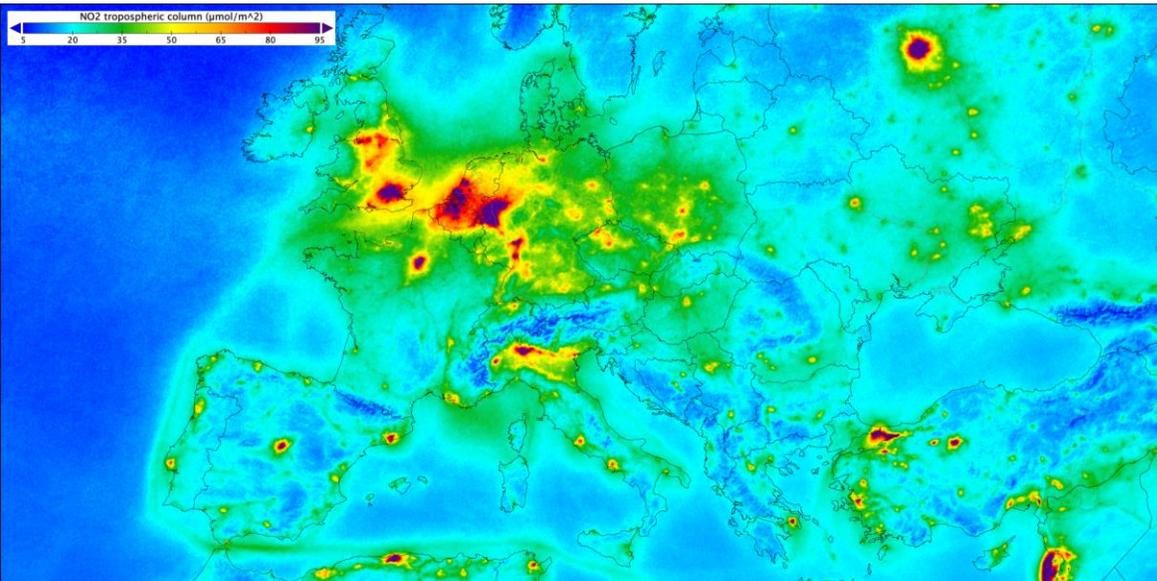


Fig. 2 Dioxyde d'azote en Europe, 2019 ¹

1. *European Space Agency, 2019*

2. Galloway et al, *Annu. Rev. Environ. Resour.* , 2021

Émissions de NO_x

Les gaz NO_x proviennent de la combustion d'énergies fossiles



Mais le taux d'émissions de NO_x en Europe diminuent en général...

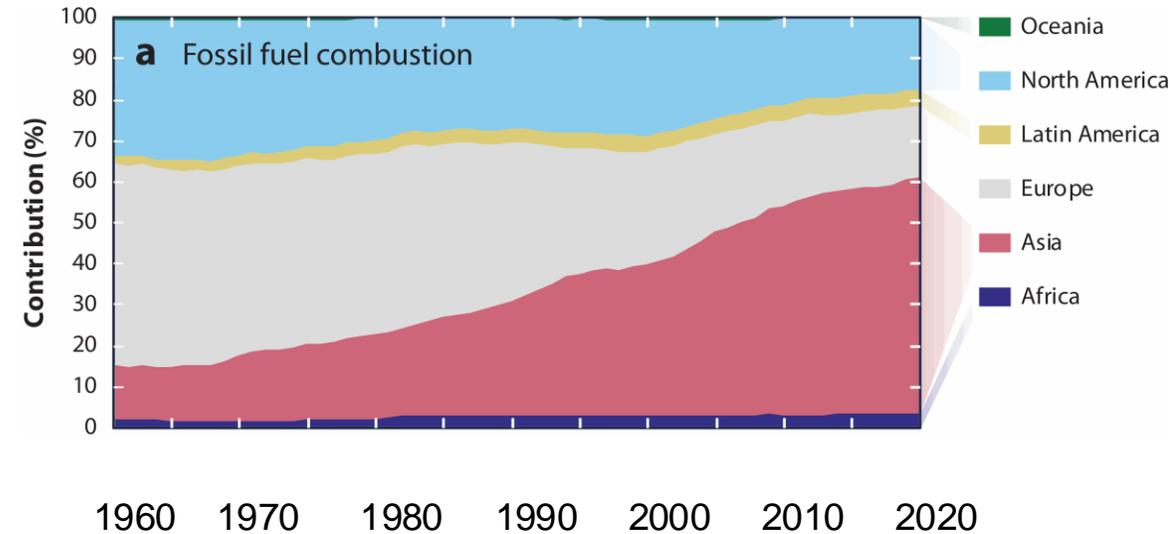


Fig. 3 Importance relative (%) de la création d'azote par la combustion de combustibles fossiles 1960-2020 ²

Données et estimations pour 2019 et 2020 basées sur la FAO, Lassaletta et al. et BP Statistical Review of World Energy.

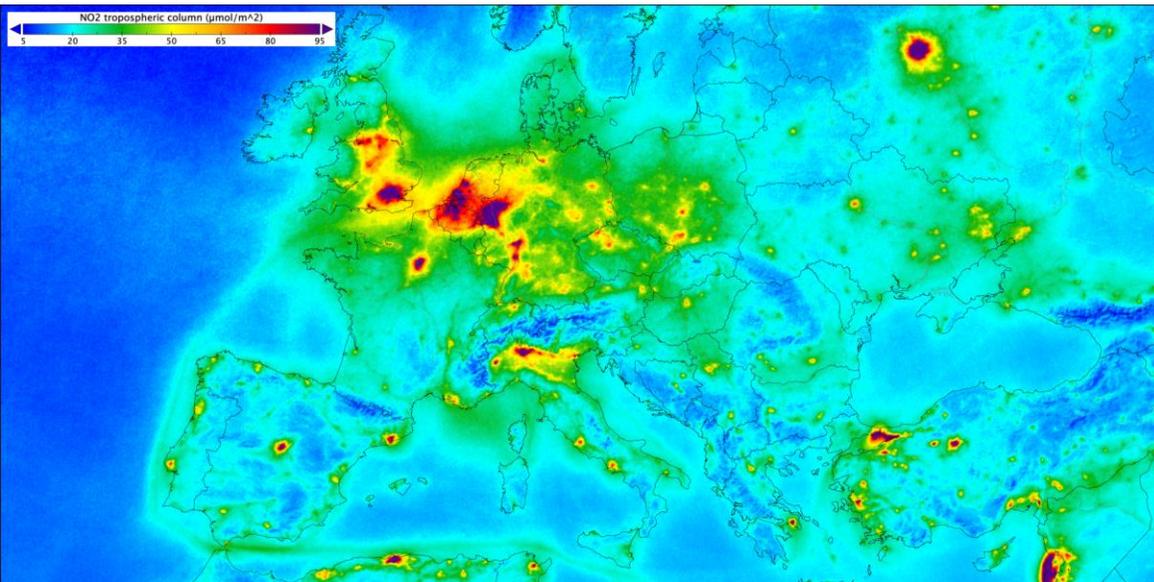


Fig. 2 Dioxyde d'azote en Europe, 2019 ¹

1. European Space Agency, 2019

2. Galloway et al, Annu. Rev. Environ. Resour. , 2021

Agriculture



Les engrais contenant du nitrate et de l'ammonium arrivent de loin dans les lacs de montagne par transport éolien¹

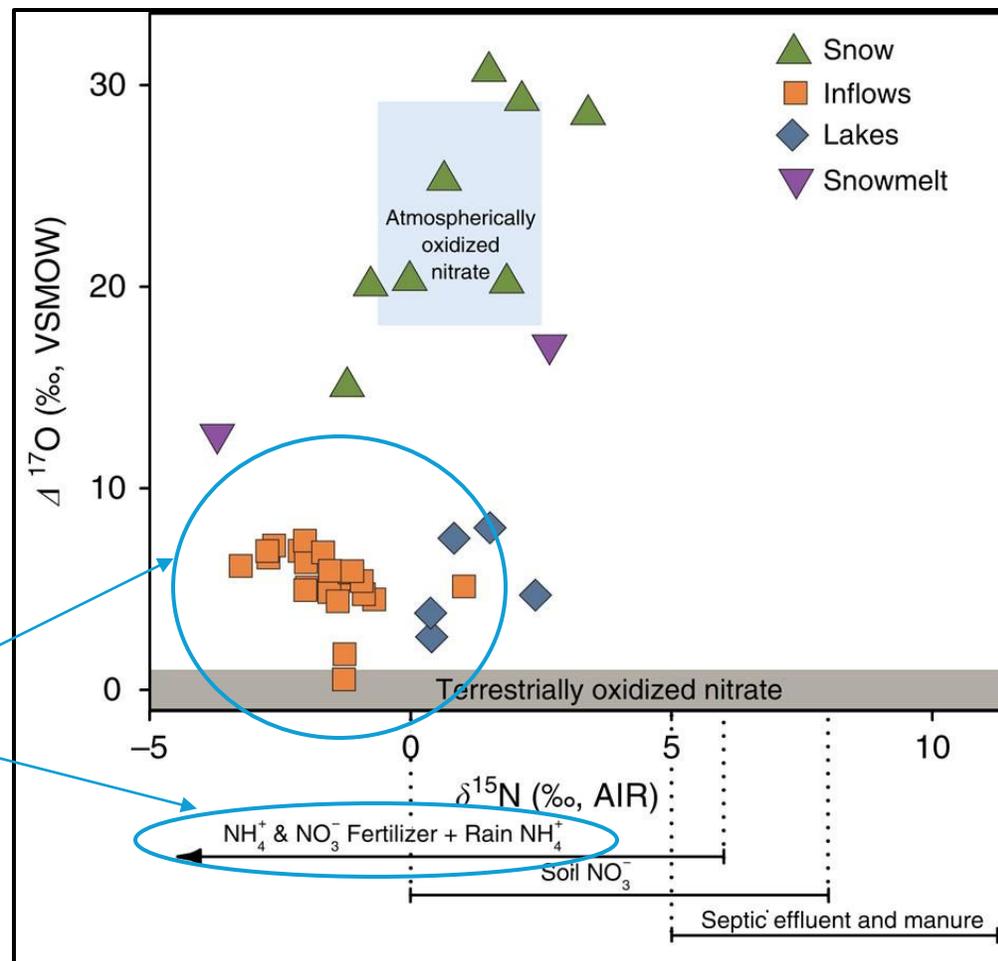
1. Tiberti et al, Aquat. Sci. 2019

2.Hundey et al, Nature Communications, 2016

Agriculture



Les engrais contenant du nitrate et de l'ammonium arrivent de loin dans les lacs de montagne par transport éolien¹



Cette étude a conclu que les engrais sont les principaux leviers du verdissement des lacs de montagne dans les Rocky Mountains, USA.

Fig. 4 $\Delta^{17}\text{O-NO}_3^-$ vs $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$ des échantillons d'eau des montagnes Uinta par rapport aux sources possibles²

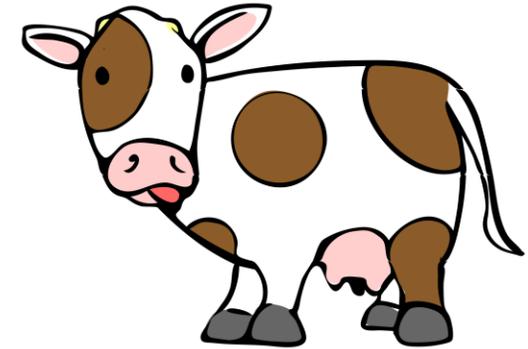
1. Tiberti et al, Aquat. Sci. 2019

2. Hunday et al, Nature Communications, 2016

Pastoralisme

Le pastoralisme est une activité qui remonte à des siècles dans les Alpes.

Les déchets du bétail ajoutent du nitrate et d'ammonium dans les lacs alpins.



Pastoralisme

Le pastoralisme est une activité qui remonte à des siècles dans les Alpes.
Les déchets du bétail ajoutent du nitrate et d'ammonium dans les lacs alpins.

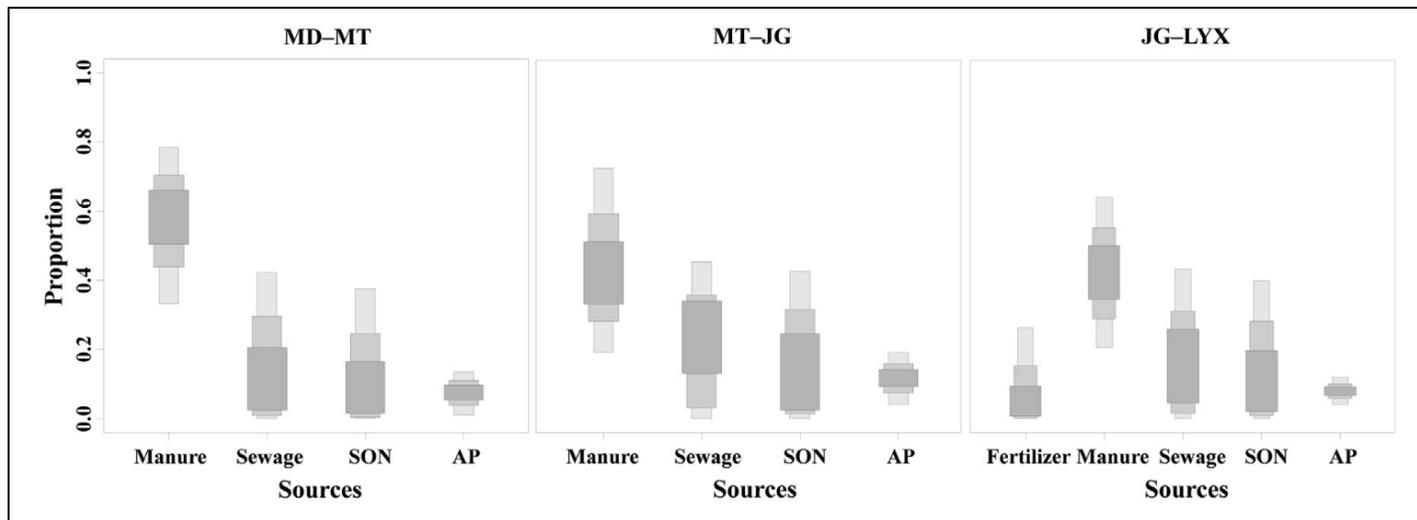
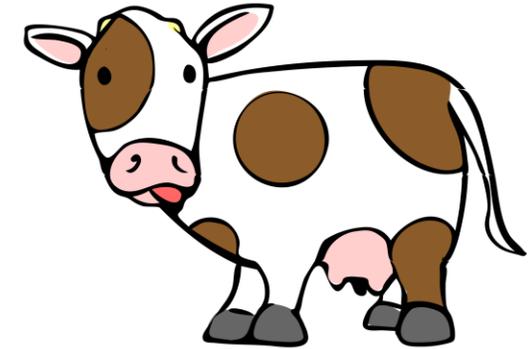


Fig. 5 Distribution de probabilité des contributions proportionnelles de diverses sources aux nitrates fluviaux dans différentes sections de la région source du Yellow River¹

Cette étude a conclu que le fumier et donc les activités pastorales sont le principal facteur d'apport de nitrates dans la rivière du plateau tibétain.

Tourisme



Les déchets humains des touristes qui visitent les montagnes sont chargés de nitrate et d'ammonium.

Tourisme



Les déchets humains des touristes qui visitent les montagnes sont chargés de nitrate et d'ammonium.

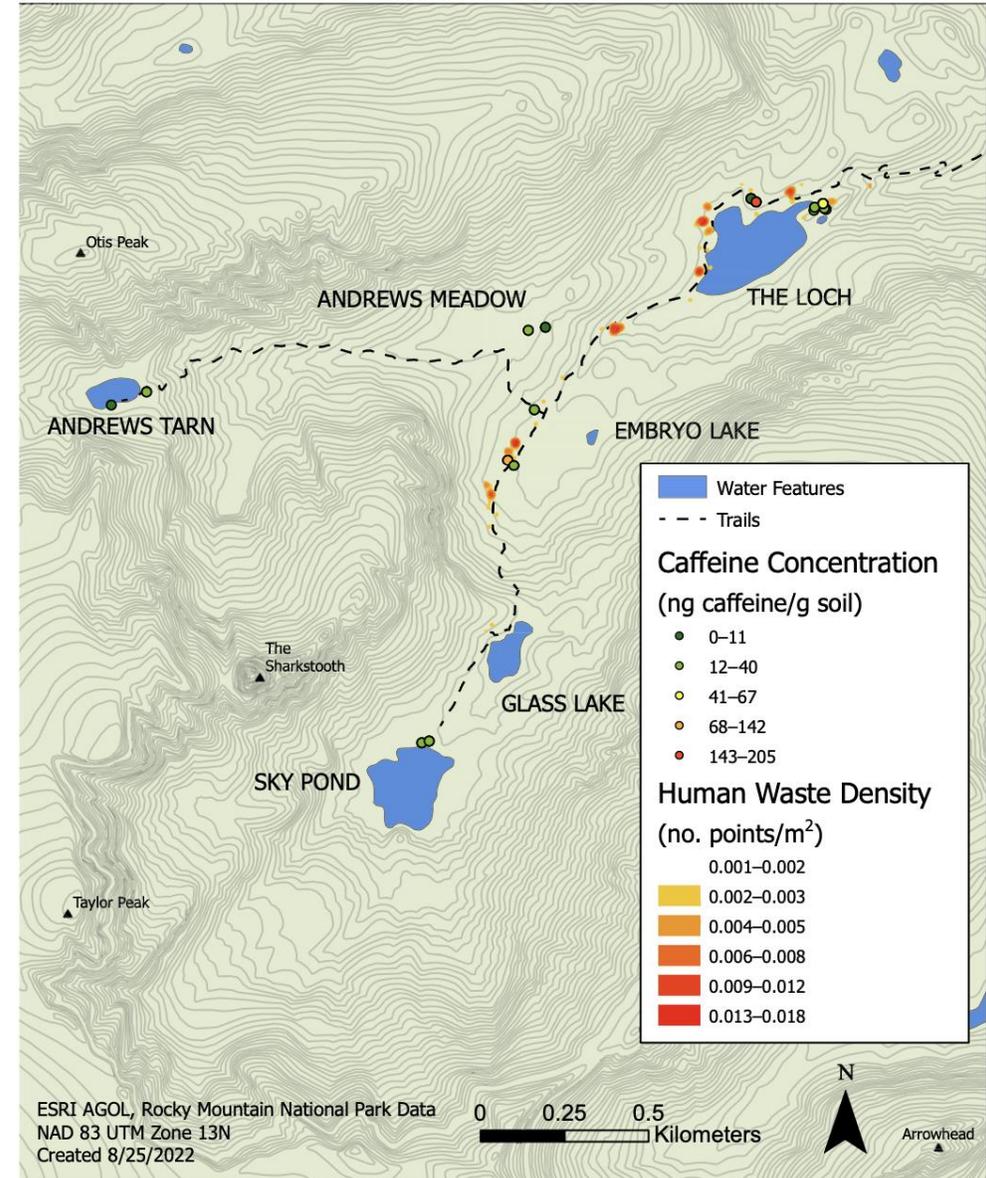
ARTICLE

Marmots do not drink coffee: Human urine contributions to the nitrogen budget of a popular national park destination

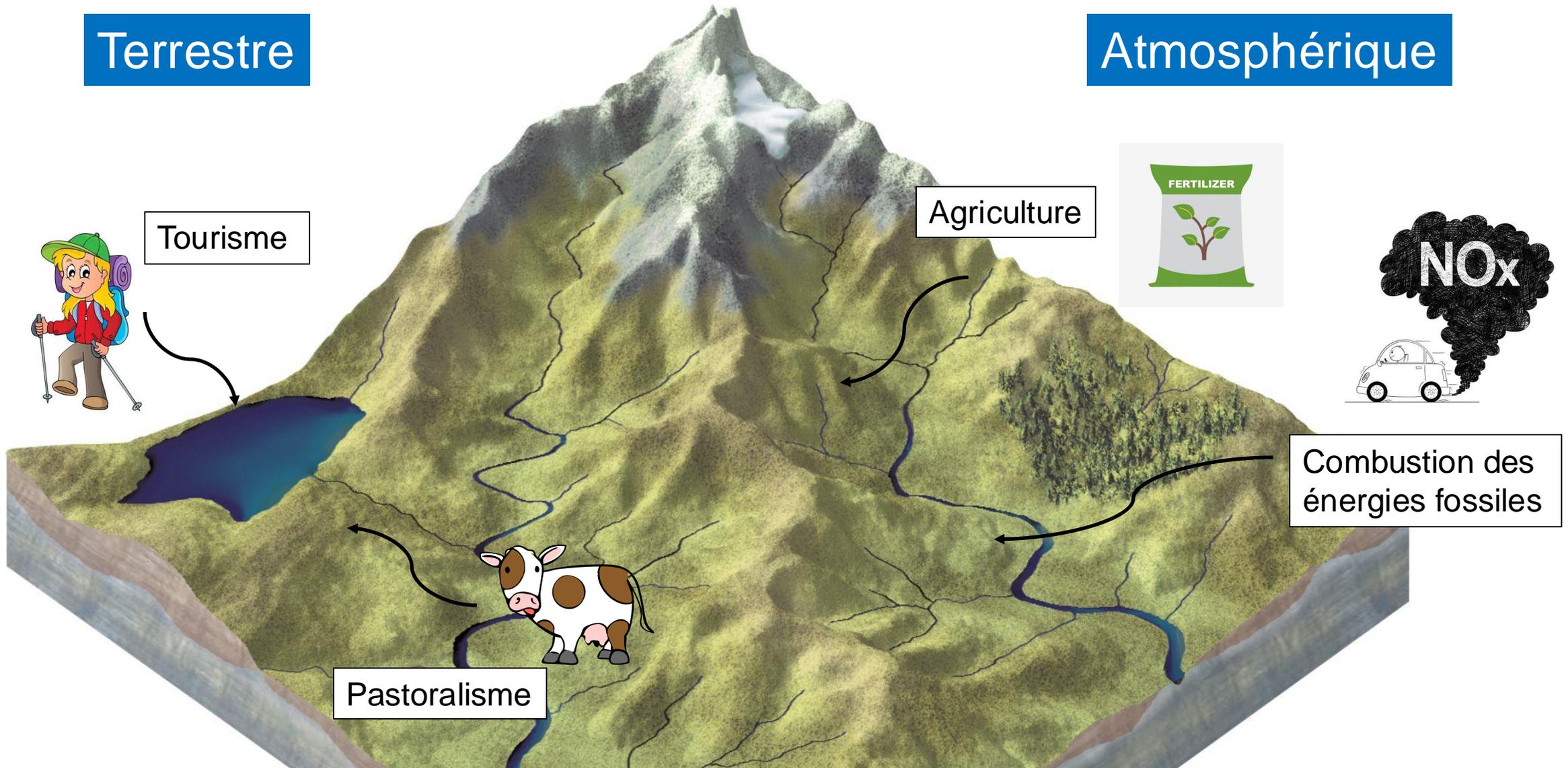
Jill S. Baron¹  | Tim Weinmann¹ | Varun Kirk Acharya² | Caitlin Charlton³ | Koren R. Nydick⁴ | Scott Esser⁴

45000 randonneurs par an = 2 % de l'azote du Loch (Rocky Mountain National Park, CO, USA) par l'urine.

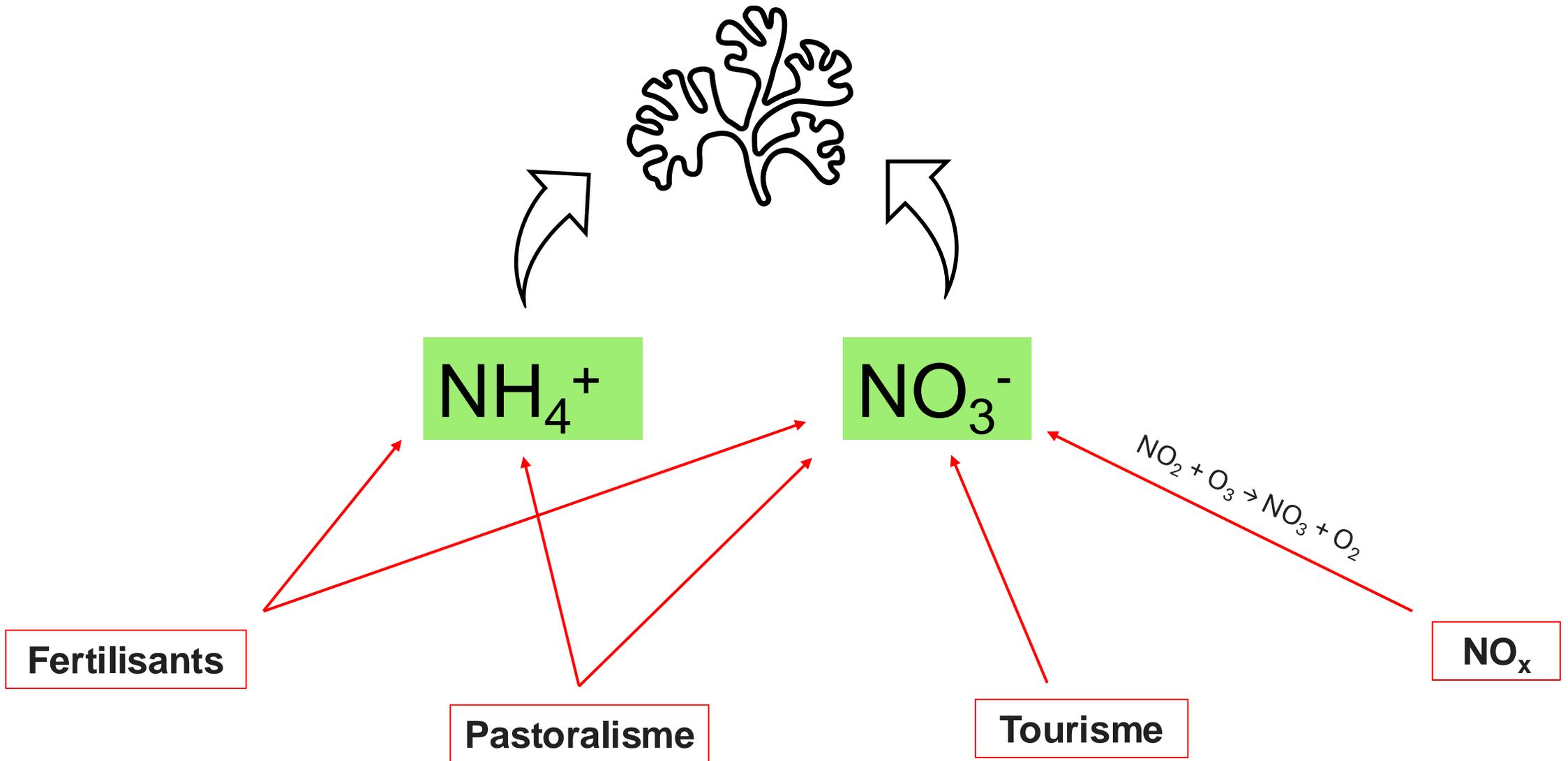
ECOSPHERE
AN ESA OPEN ACCESS JOURNAL



Contribution anthropogénique de l'azote



Augmentation en nutriments



Comment tracer ces sources d'azote?

Avec des
Isotopes Stables

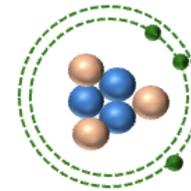
Comment tracer ces sources d'azote?

Avec des
Isotopes Stables



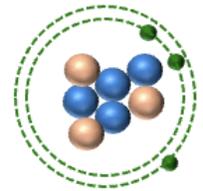
Chaque source d'azote et d'oxygène possède une **signature isotopique**

c'est-à-dire une gamme de valeurs pour $\delta^{18}\text{O}$ qui **caractérisent cette source**



^{14}N

7 protons
7 neutrons



^{15}N

7 protons
8 neutrons

Sources de NO_3^-

Analyse isotopique de NH_4^+ et NO_3^-

En utilisant $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{18}\text{O}$ and $\Delta^{17}\text{O}$

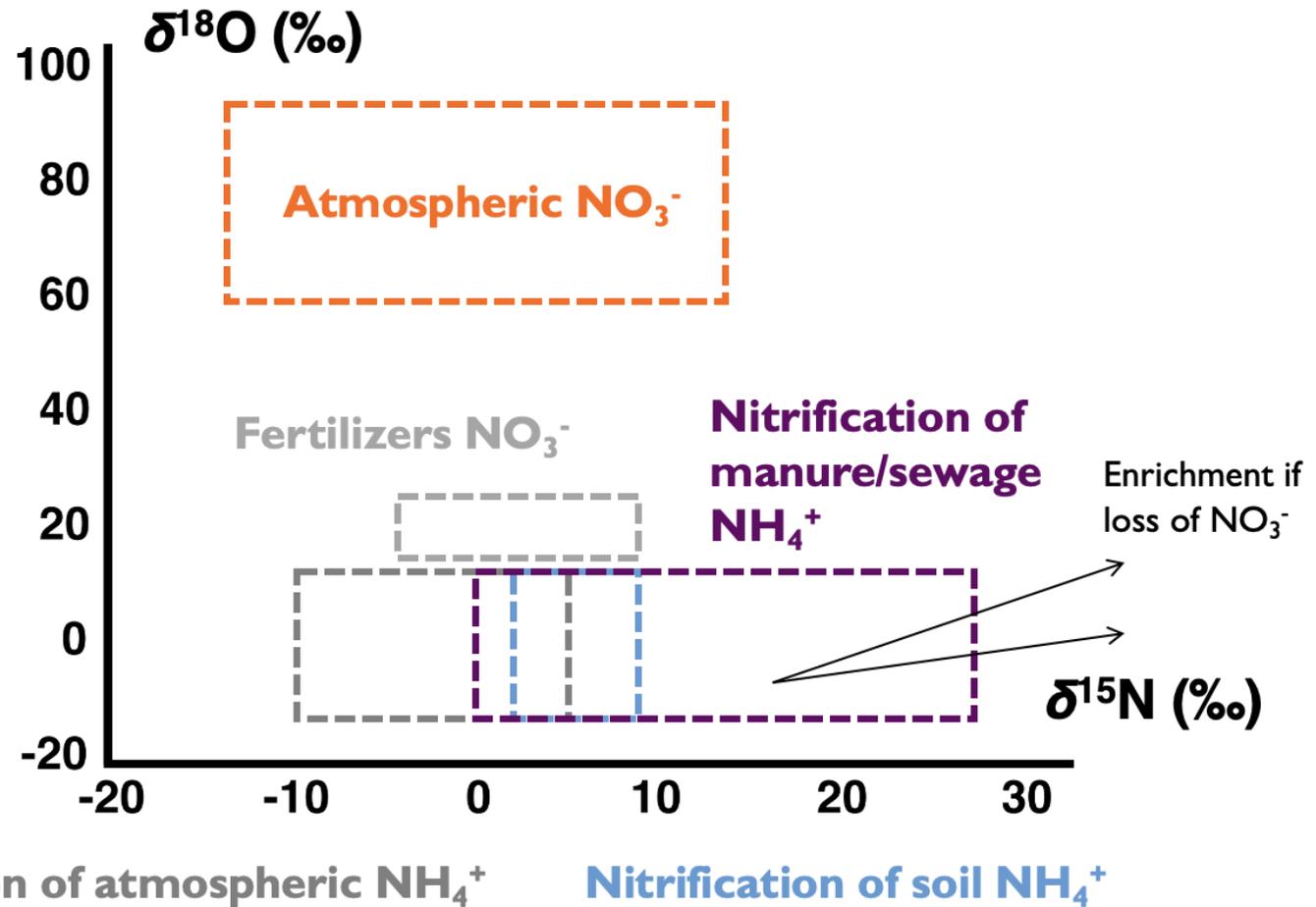
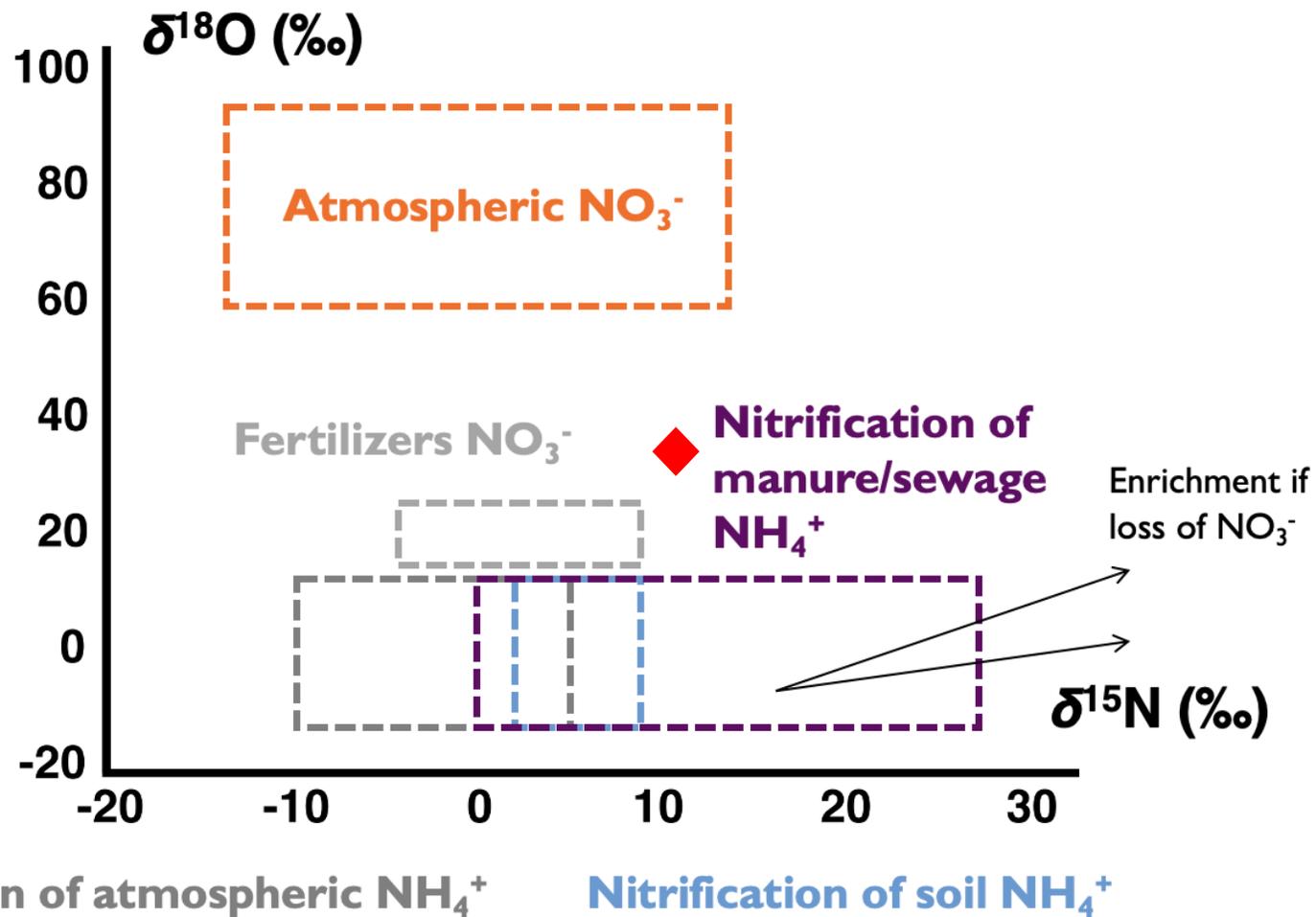


Fig. 6 $\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3^-$ vs $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ avec valeurs des sources

Sources de NO_3^-



Complications

- Les sources se chevauchent
- Le fractionnement peut brouiller les résultats

Identification de l'azote atmosphérique

$$\Delta^{17}\text{O}$$

Une représentation de l'enrichissement en isotope léger de l'oxygène, un phénomène qui ne provient que de réactions dans l'atmosphère

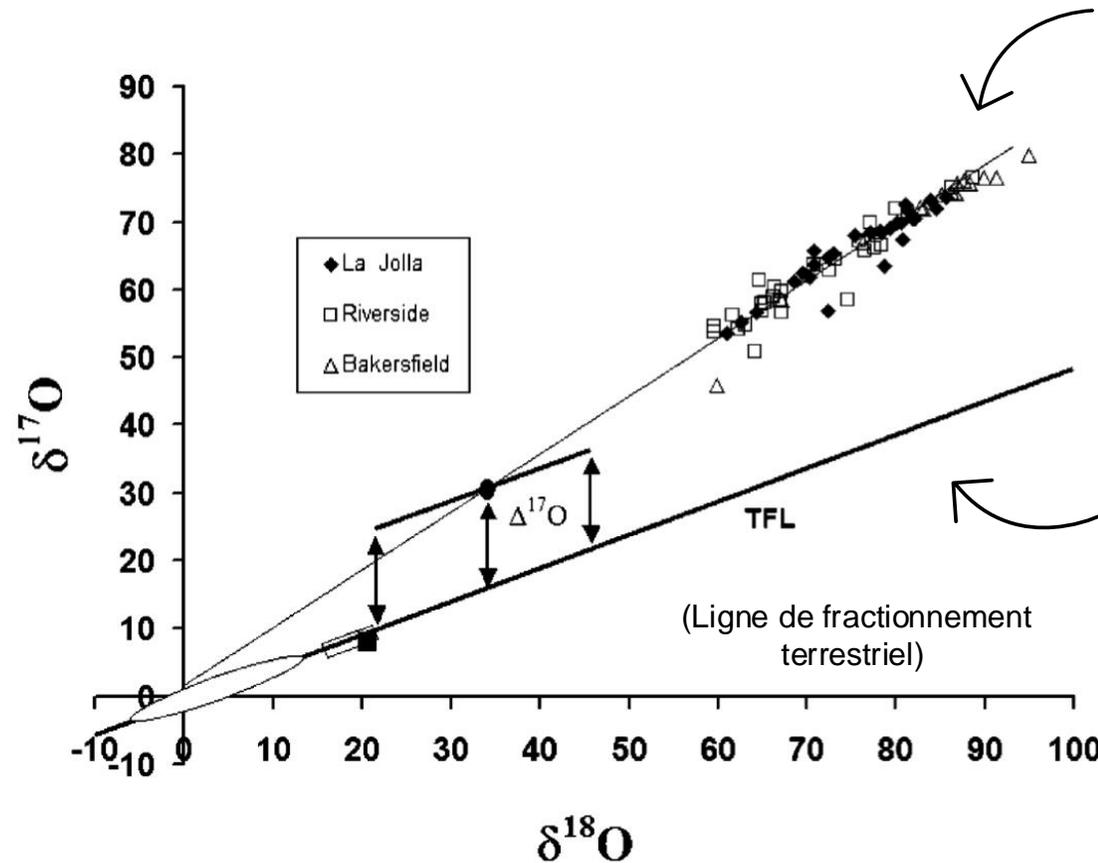
Si $\Delta^{17}\text{O} > 0$,
 NO_3^- d'origine
atmosphérique.

Identification de l'azote atmosphérique

$\Delta^{17}\text{O}$

Une représentation de l'enrichissement en isotope léger de l'oxygène, un phénomène qui ne provient que de réactions dans l'atmosphère

Si $\Delta^{17}\text{O} > 0$, NO_3^- d'origine atmosphérique.



Le nitrate provenant de sources atmosphériques se situe au-dessous du TFL

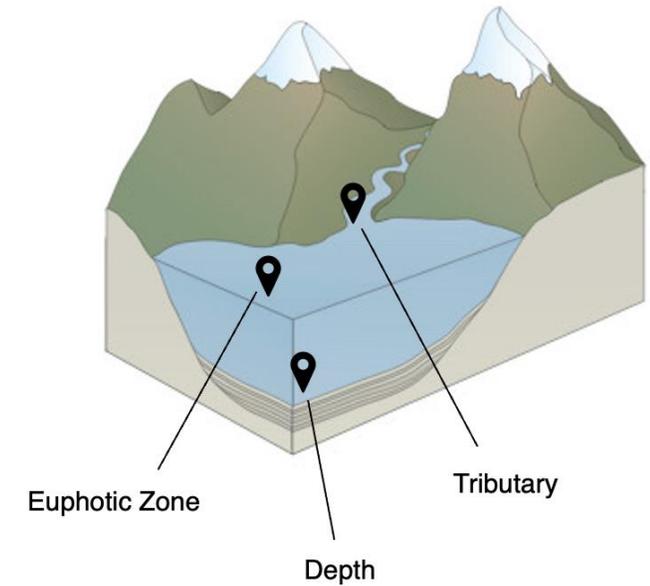
Le nitrate ne provenant que de sources terrestres se situe sur le TFL

Fig. 7 Tracé des trois isotopes de l'oxygène de NO_3^- atm de l'air de Riverside Basin and Bakersfield, California

Campagne de septembre 2023



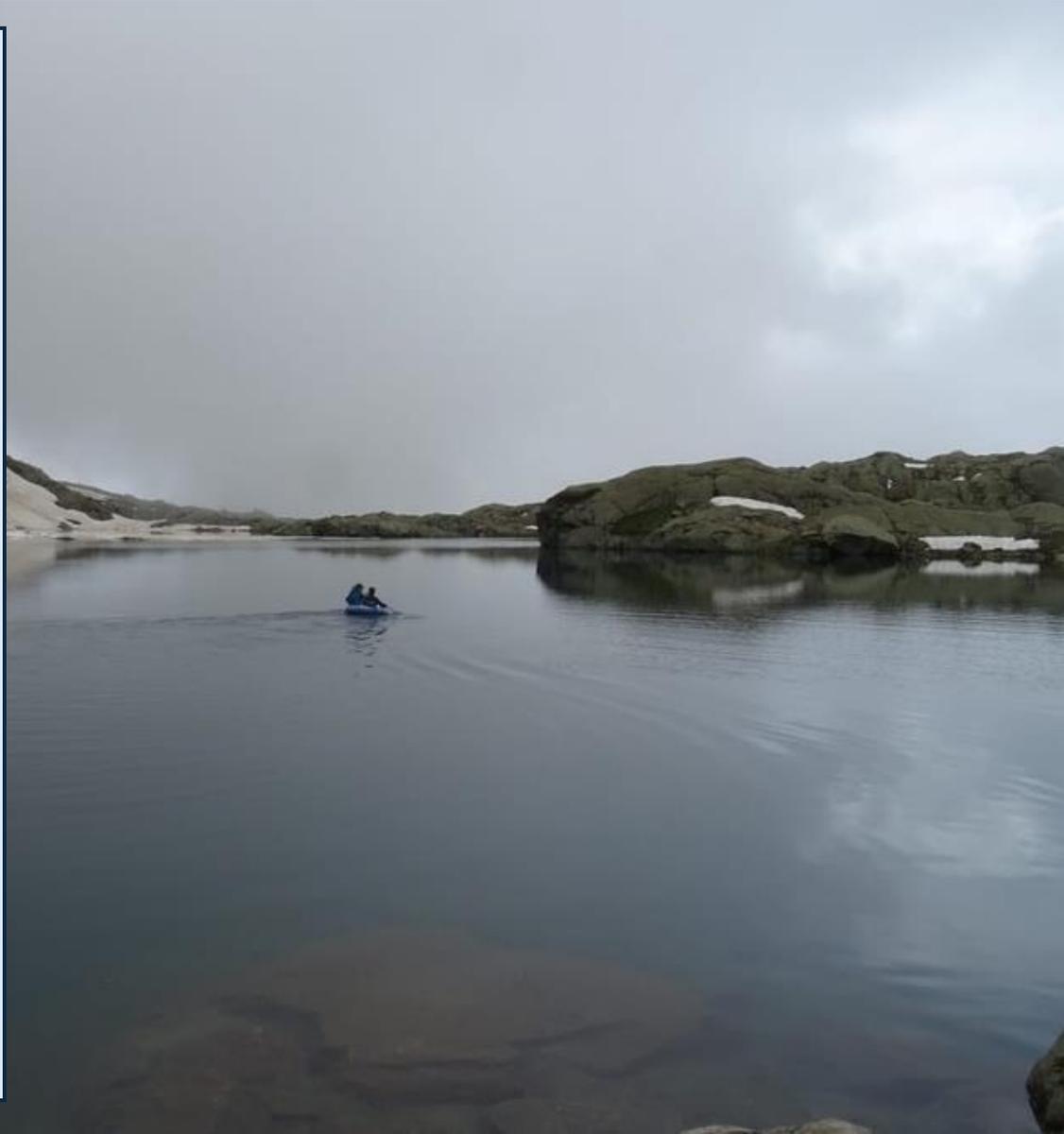
- Septembre 2023
campagne du terrain
- 25 lacs du réseau Lacs Sentinelles
- 3 points d'échantillonnage par lac



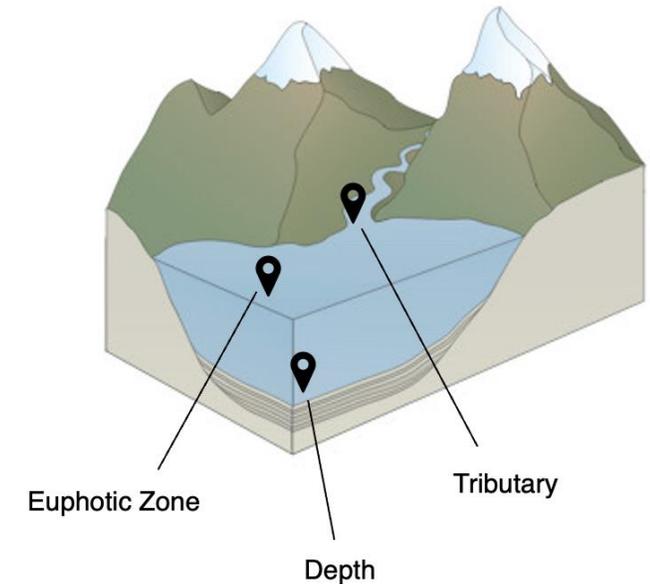
Campagne de septembre 2023

Analyses faits

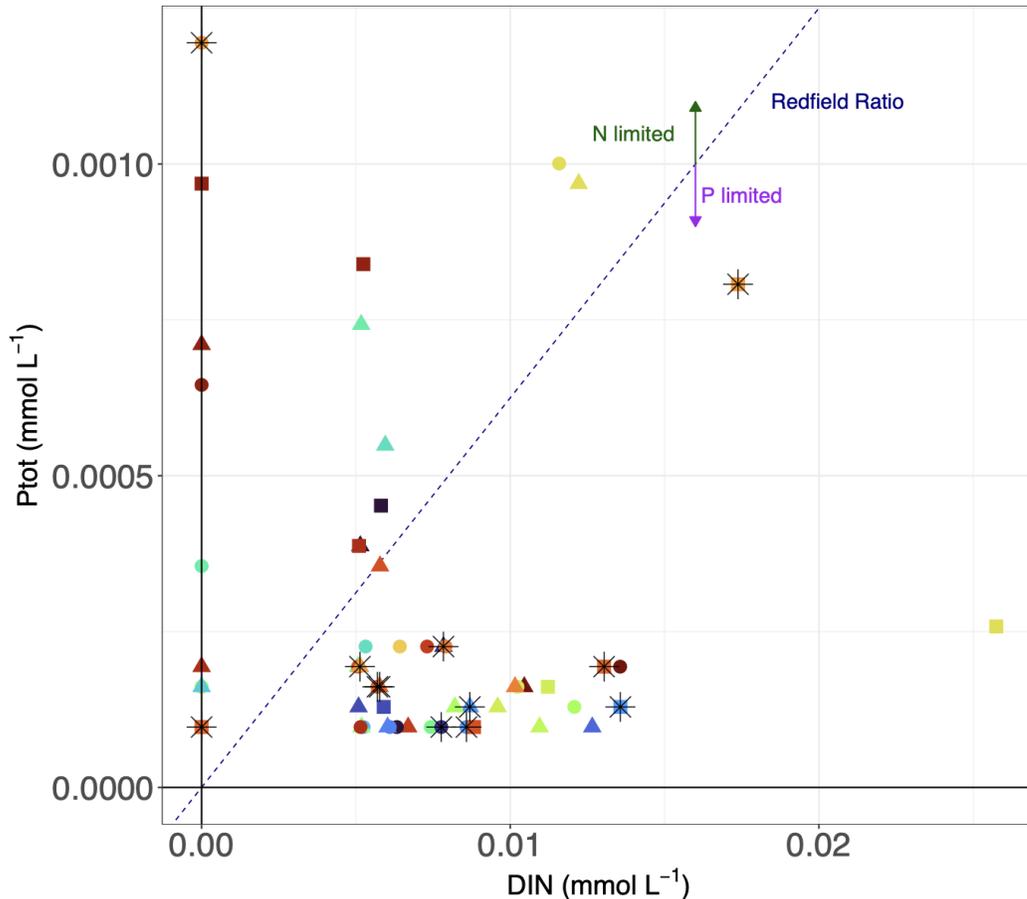
- ❖ Profil de capteurs à haute fréquence
(*oxygène dissous, température, profondeur*)
- ❖ Isotopie du nitrate
- ❖ Chimie
(*concentrations en nutriments et métaux*)
- ❖ Matière en suspension
- ❖ Chlorophylle



- Septembre 2023
campagne du terrain
- 25 lacs du réseau Lacs Sentinelles
- 3 points d'échantillonnage par lac



Équilibre des nutriments



Lake

- Anterne
- Arpont
- Aumar
- Bionnassay
- Blanc du Bramant
- Blanc du Carro
- Bramant
- Bresses Inférieur
- Bresses Supérieur
- Brévent
- Corne
- Cornu
- Cos
- Izourt
- Jovet
- Lac Sarenne
- Lauzanier
- Merlet Supérieur
- Mont Coua
- Muzelle
- Noir du Carro
- Pétarel
- Pisses
- Plan Vianney
- Pormenaz
- Rabuons

Position

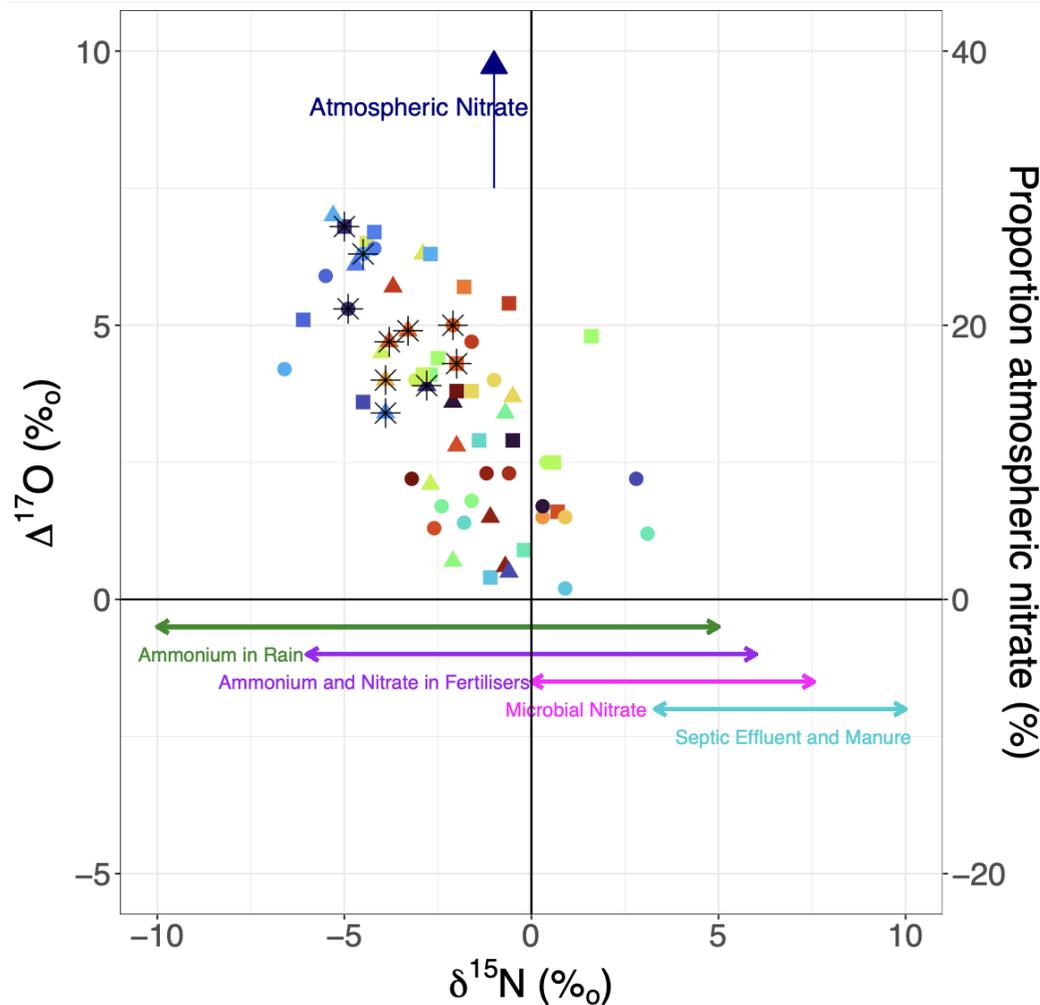
- Depth
- ▲ Euphotic Zone
- Tributary

Le 'Redfield Ratio' de N:P 16:1 est le seuil limite accepté dans les écosystèmes³, qui définit l'équilibre entre le système étant limité par P ou par N

Fig. 9 Concentration de phosphore total vs azote inorganique dissous, Septembre 2023

Dans le passé, on a toujours pensé que le P limitait les écosystèmes des lacs alpins, mais avec le changement des conditions climatiques, l'équilibre pourrait être en train de se modifier.

Isotopie de Nitrate



Lake

- Anterne
- Arpont
- Aumar
- Bionnassay
- Blanc du Bramant
- Blanc du Carro
- Bramant
- Bresses Inférieur
- Bresses Supérieur
- Brévent
- Corne
- Cornu
- Cos
- Izourt
- Jovet
- Lac Sarenne
- Lauzanier
- Merlet Supérieur
- Mont Coua
- Muzelle
- Noir du Carro
- Pétarel
- Pisses
- Plan Vianney
- Pormenaz
- Rabuons

Position

- Depth
- ▲ Euphotic Zone
- Tributary

Explication

- ❖ Une source commune d'azote dans les lacs alpins, indépendamment du bassin versant environnant et de l'utilisation des terres ?
- ❖ L'azote est recyclé si rapidement par les microbes que les signatures isotopiques convergent ?

Fig. 11 $\Delta^{17}\text{O-NO}_3^-$ vs $\delta^{15}\text{N-NO}_3^-$, Nitrate Isotopy, Septembre 2023

Comparaison aux autres études

France, 2023

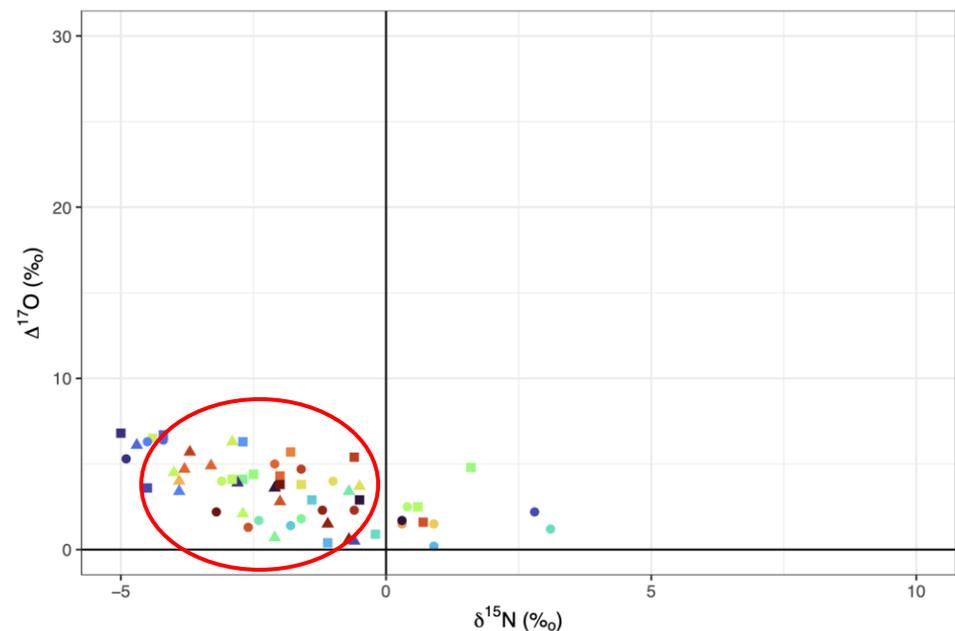


Fig. 12 $\Delta^{17}\text{O}\text{-NO}_3^-$ vs $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$
Lacs Sentinelles, Septembre
2023

U.S.A, 2016

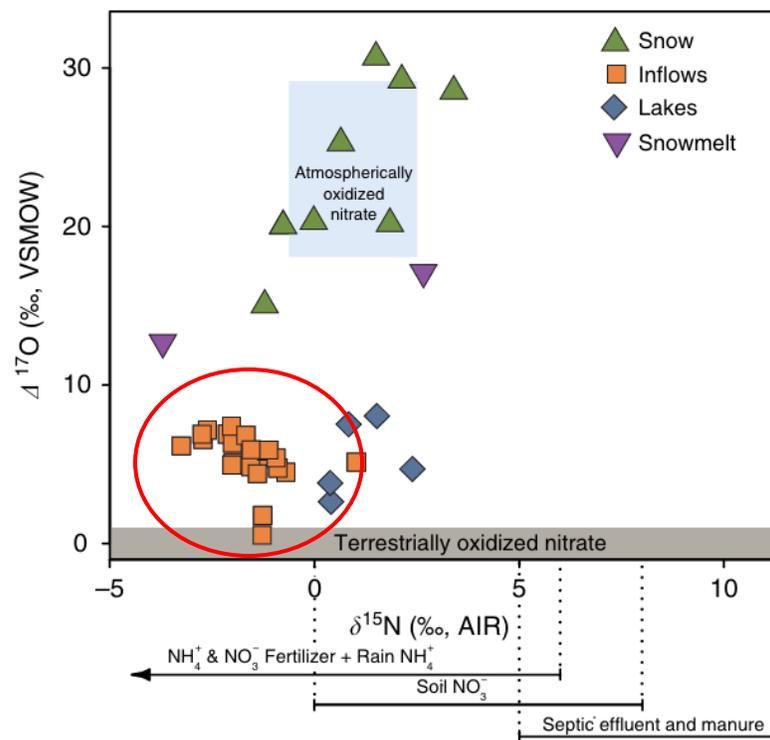


Fig. 11 $\Delta^{17}\text{O}\text{-NO}_3^-$ vs $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3^-$ Uinta Mountain water
samples, U.S, 2016¹

Ces deux études
distinctes, menées
dans des lieux
différents,
présentent
exactement la
même répartition
des signatures
isotopiques...

À l'avenir...

- ❖ Suivi de 8 lacs dans les Alpes françaises, 2024

- ❖ *pour observer les variations saisonnières et étudier de plus près l'impact du type de bassin versant*

- ❖ Incubation de sédiments en laboratoire, 2025

- ❖ *pour examiner l'effet du réchauffement sur le taux de libération des nutriments*



Lacs suivis 2024



Lac du Poursollet, *June 2024*

Forestier

- Bénit
- Poursollet

Glaciaire

- Sarenne
- Bionnassay

Isolé

- Cornu
- Mont Coua

Tourisme

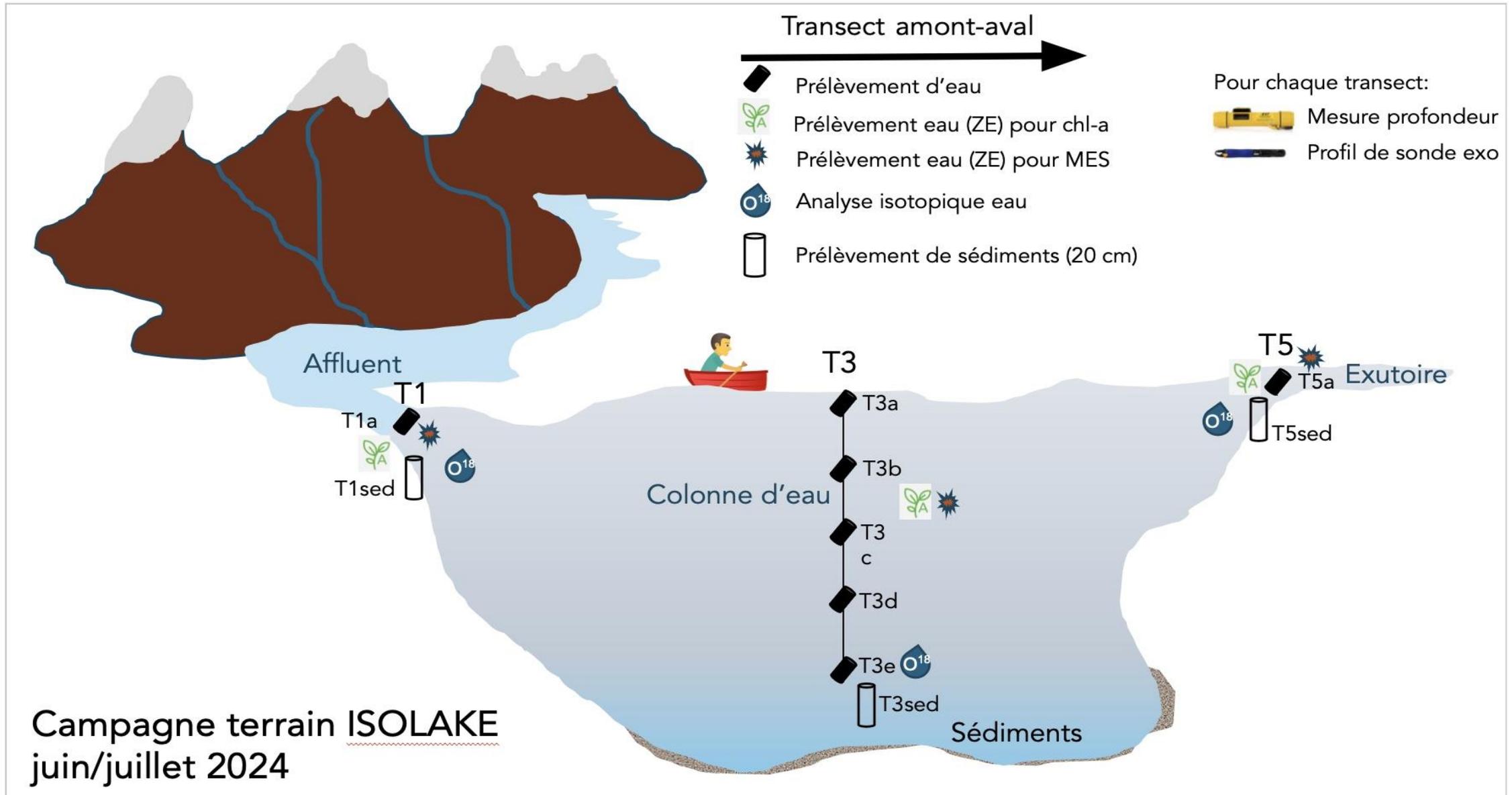
- Muzelle
- Brévent



Lac de la Muzelle, *July 2024*

NB. Les catégories sont brouillées!

Stratégie d'Echantillonnage





Merci
Beaucoup!

