

Evaluation et suivi des apports de nitrate par dépôt atmosphérique dans une prairie alpine

JC Clément (LECA), R. Jacob (M2ECE), N. Caillon et J. Savarino (LGGE)



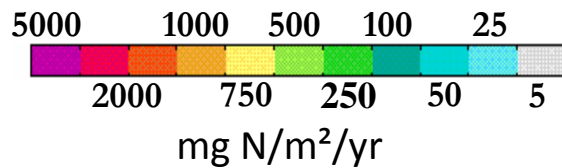
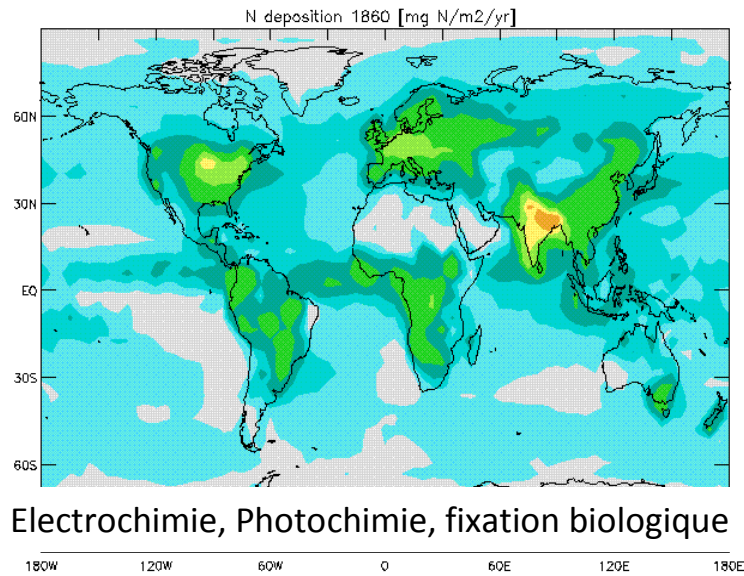
Lab OSUG@2020



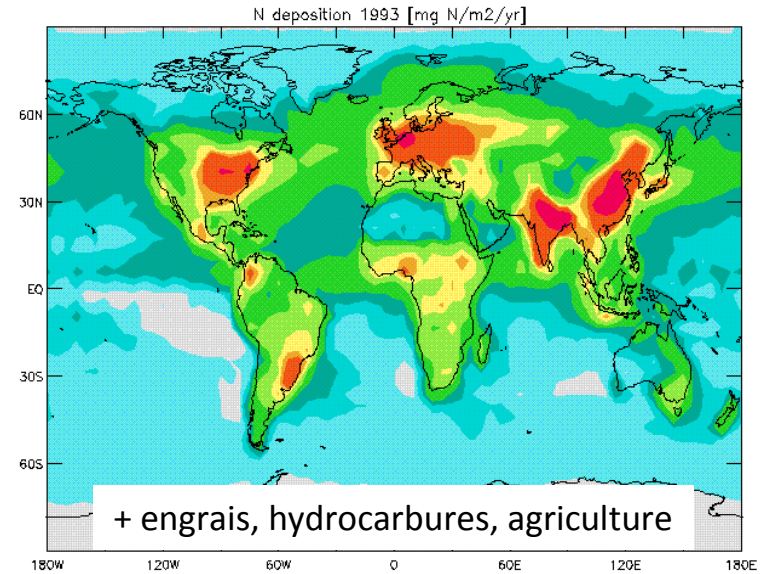
Remerciements à L. Bernard, C. Arnoldi, F. Delbart
Au DiPEE et au Labex OSUG@2020

La Déposition atmosphérique (N_2 , N_{ox} , NH_3 , HNO_3 , PAN, HONO, N_2O , N_2O_5)

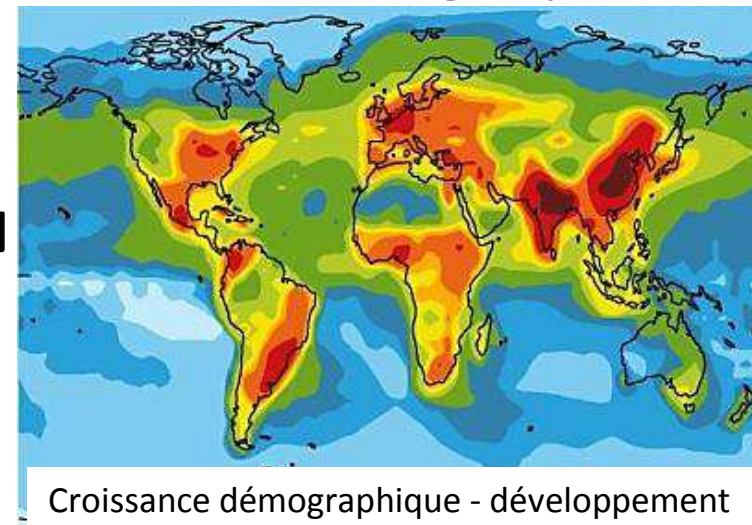
1860 (15 Tg.N.yr⁻¹)



1993 (156 Tg.N.yr⁻¹)



2050 (270 Tg.N.yr⁻¹)

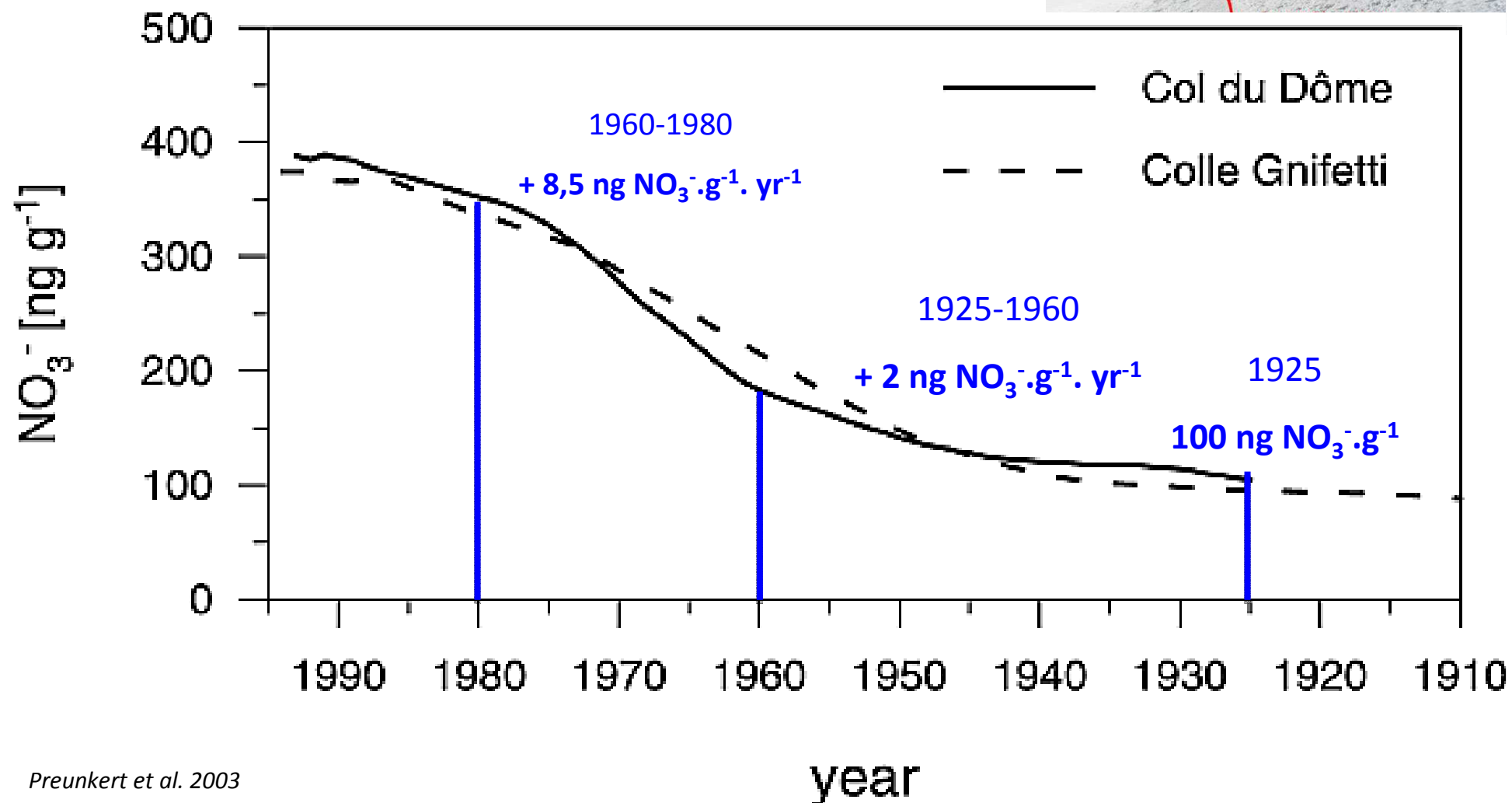
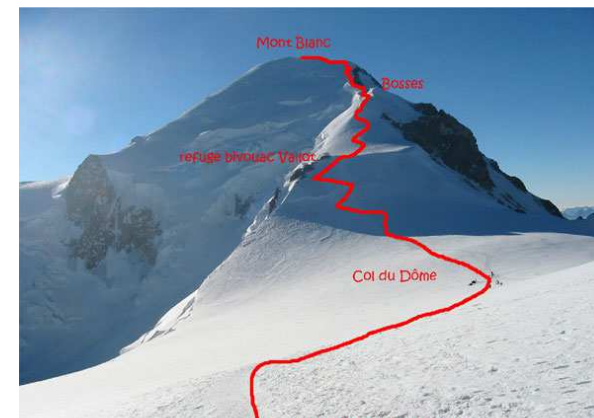


↗ Des retombées atmosphériques d'**N**
Les écosystèmes éloignés des sources
sont touchés

Plus localement...

Col du Dôme

Evolution [NO₃⁻] dans une carotte de glace



Les prairies subalpines...



Fertilisation & fauche

Fauche

Pâturage

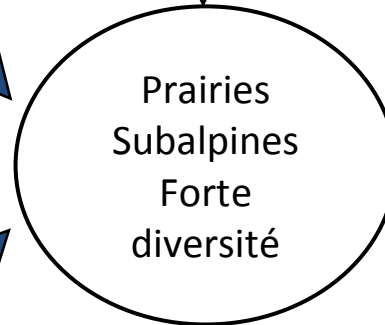
Pratiques agricoles extensives



Mésotopographie (terrasses vs. prairie de pente)



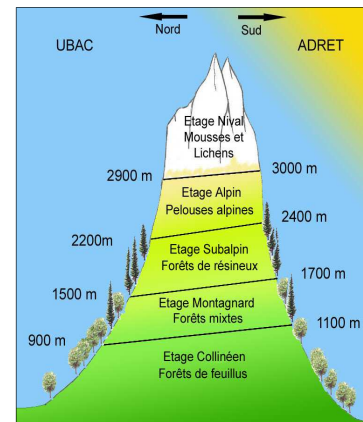
Fort Enneigement
Eté secs
Saison de végétation courte



Sol pauvre en N



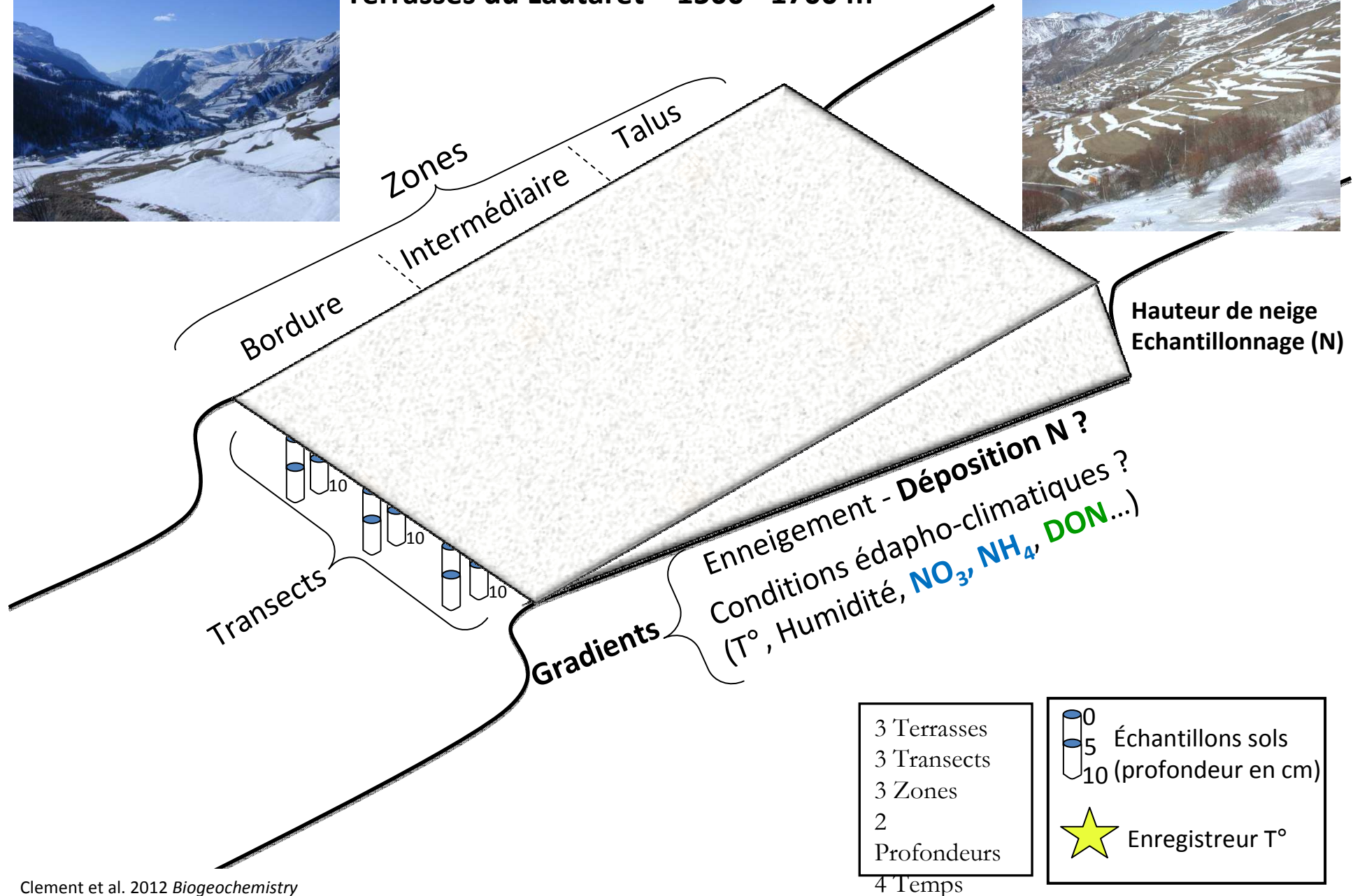
Déposition atmosphérique d’N?
Quantification ?
Traçage ?
Impact?



Dynamique de l'enneigement et des variables édapho-climatiques



Terrasses du Lautaret – 1500 - 1700 m

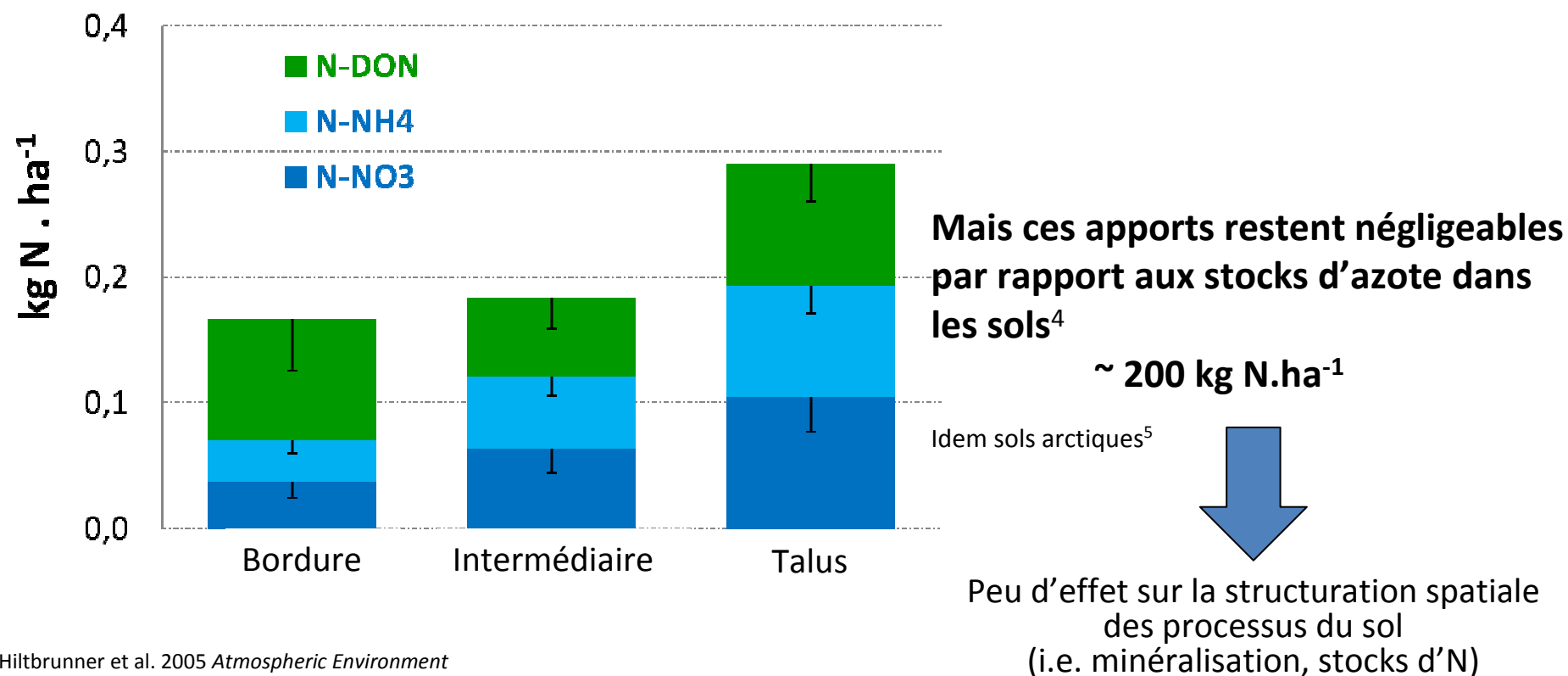


Azote dans la neige – Formes, Concentrations et Quantités

Concentrations cohérentes¹

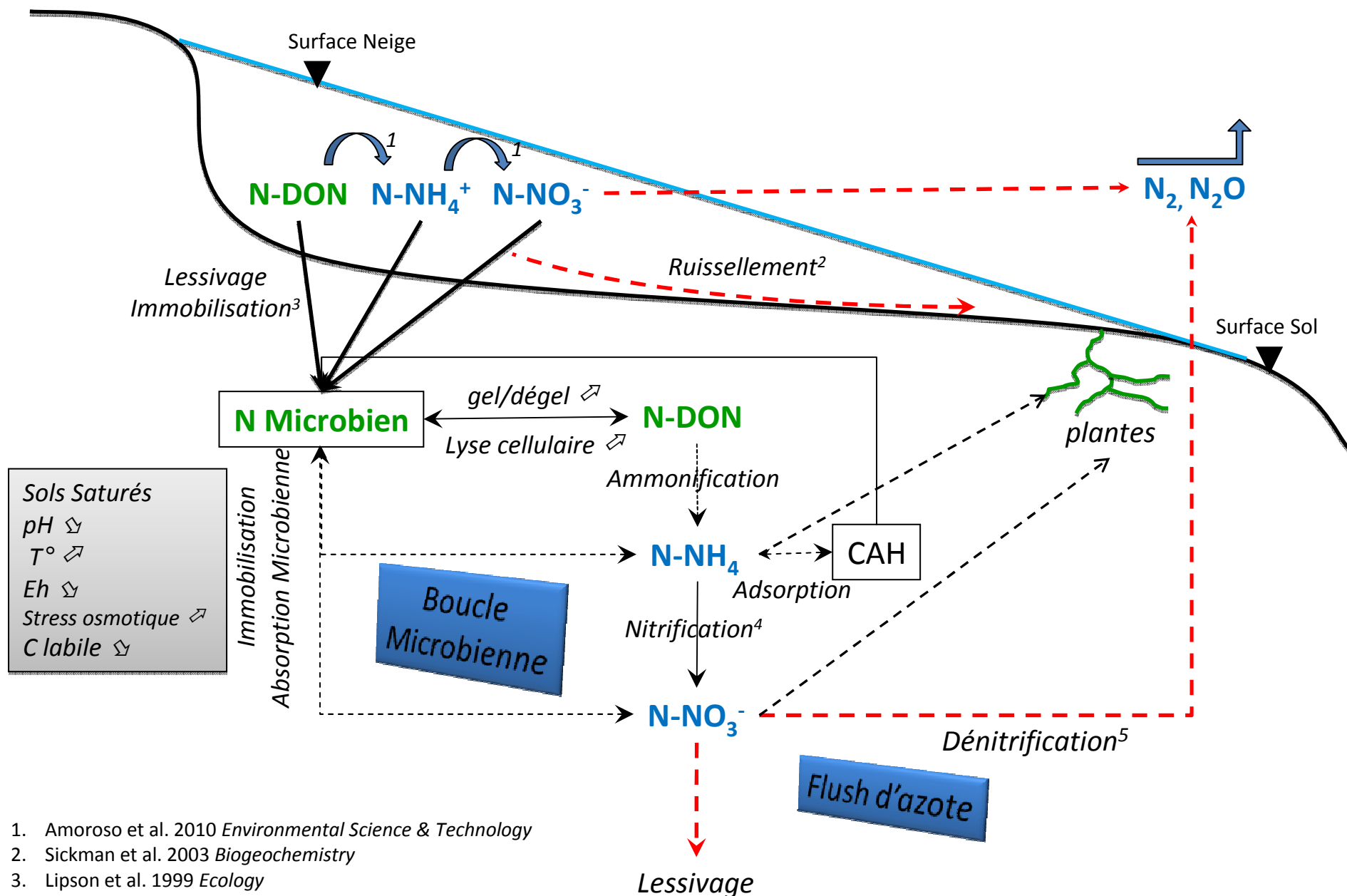
- **N-NH₄** 0.02 – 0.09 mg.L⁻¹ (~27%)
 - **N-NO₃** 0.02 – 0.19 mg.L⁻¹ (~31%)
 - **N-DON** 0.00 – 2.35 mg.L⁻¹ (~42%)
- ⇒ Manteau neigeux = Piège à particules²

Origines ? ⇒ Fertilisation, Trafic routier, Industries et Centres Urbains (Pô et Grenoble)³



1. Hiltbrunner et al. 2005 *Atmospheric Environment*
2. Burns 2004 *Environmental Pollution*
3. Schmitt et al. 2005 *Atmospheric Environment*
4. Robson et al. 2007 *Soil Biology & Biochemistry*
5. Buckeridge & Grogan 2010 *Biogeochemistry*

Azote dans la neige – Quels devenir ?



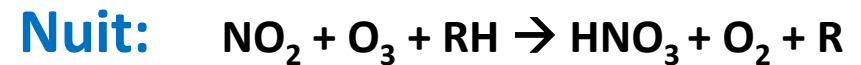
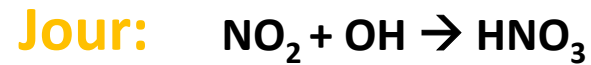
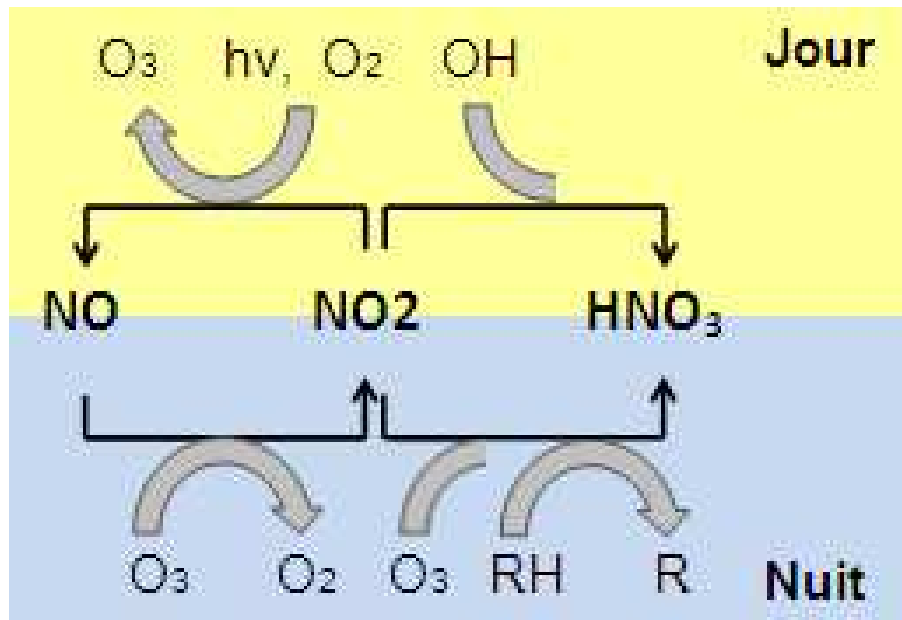
1. Amoroso et al. 2010 *Environmental Science & Technology*
2. Sickman et al. 2003 *Biogeochemistry*
3. Lipson et al. 1999 *Ecology*
4. Piatek et al. 2005 *Water Air And Soil Pollution*
5. Filippa et al. 2009 *Biogeochemistry*

Evaluation et suivi des apports de nitrate par dépôt atmosphérique dans une prairie alpine

- **Contribution des dépôts atmosphériques de nitrate (NO_3) dans la neige, les sols, les eaux de rivière ?**
 - **Signal isotopique ?**
 - **Marqueur de la fonte des neiges ?**
 - **Sensibilité à un stress hydrique ?**
 - **(Sensibilité au couvert végétal ?)**

Mécanismes de formation du NO_3 atmosphérique ($\text{NO}_{3\text{atm}}$)

2 principales voies



Cycle de Leighton (adapté de J.Erbland, 2011)

O de $\text{NO}_{3\text{atm}}$ issus essentiellement de O_3

$\rightarrow \Delta^{17}\text{O}$ semblable à celui de O_3

●●●●● Isotopie

- Mesure des isotopes dans les différents réservoirs terrestres :

$$\delta^{17}\text{O} \approx 0.5 \times \delta^{18}\text{O}$$

→ Fractionnement dépendant de la masse.

Mais

- Ozone : excès d' $^{17}\text{O} = \Delta^{17}\text{O}$

$$\Delta^{17}\text{O} = \delta^{17}\text{O} - 0.52 \times \delta^{18}\text{O}$$

→ Fractionnement indépendant de la masse

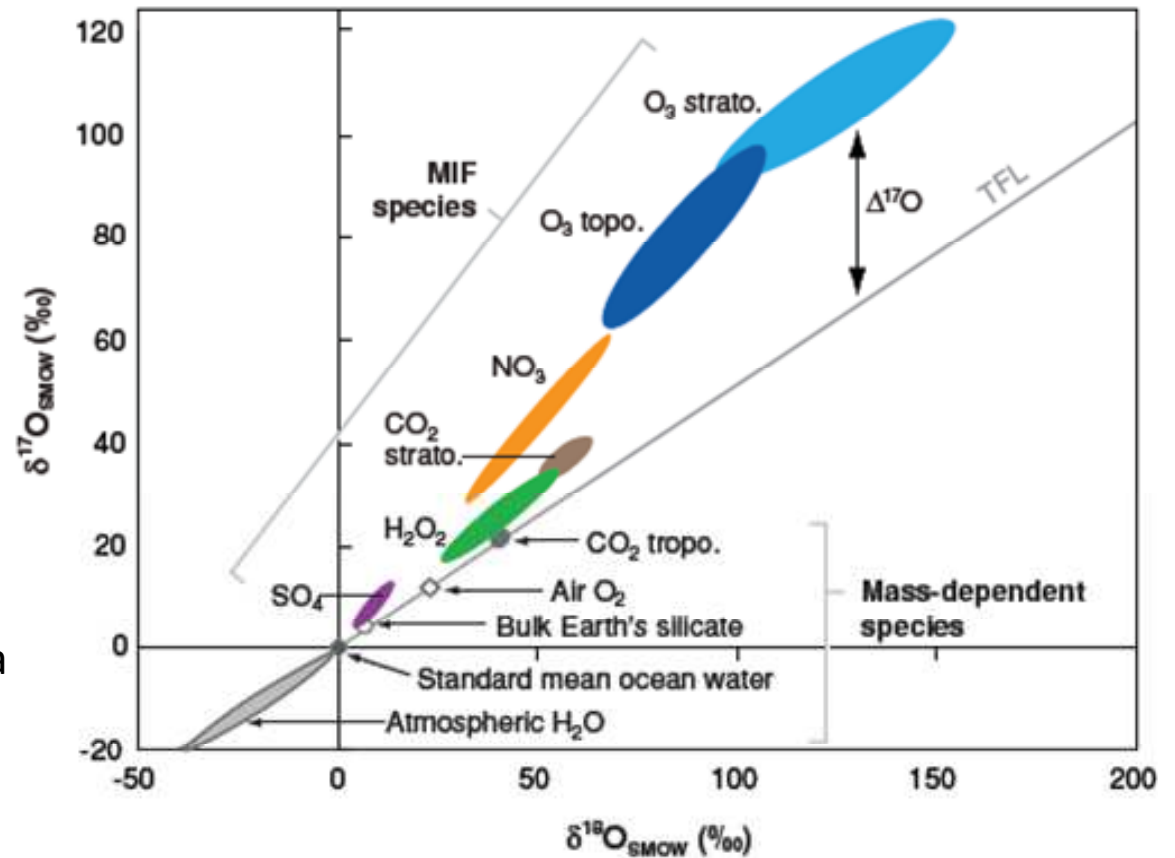
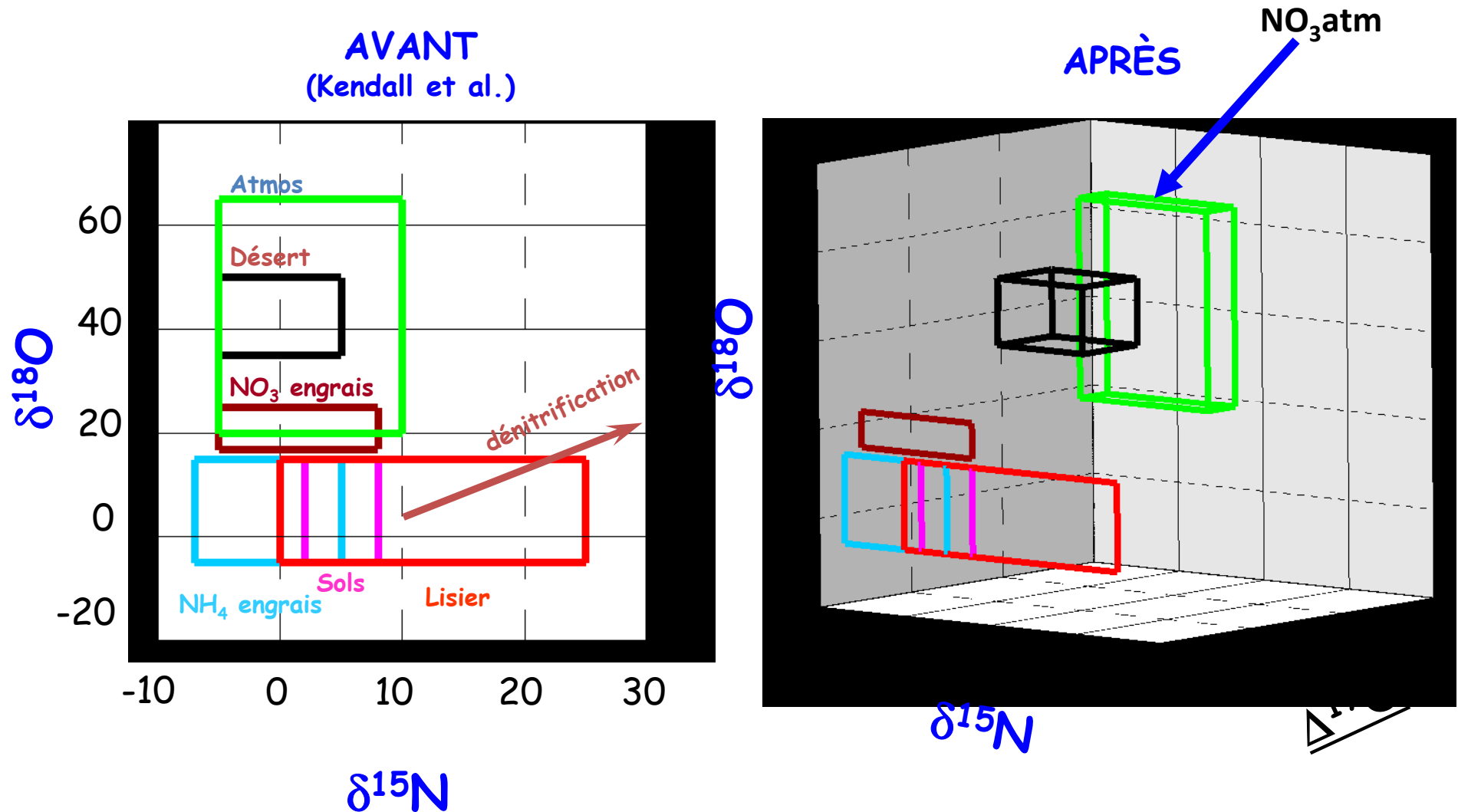


Diagramme isotopes du nitrate

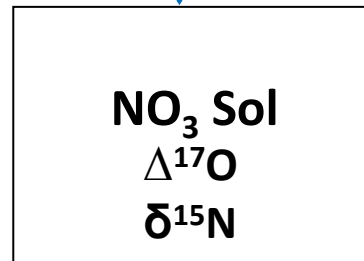


Dépôts atmosphériques de NO_3 atm

$26 \text{ ‰ (été)} < \Delta^{17}\text{O} < 30 \text{ ‰ (hiver)}$

(Savarino et al.2013)

$\delta^{15}\text{N-NO}_3 = -6,5\text{‰} \pm 2,8$ (cette étude)

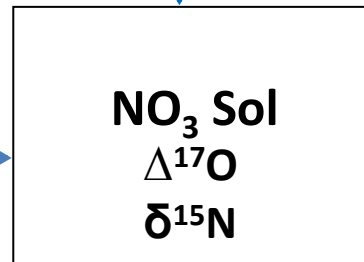


Dépôts atmosphériques de NO_3_{atm}

26 ‰ (été) < $\Delta^{17}\text{O}$ < 30 ‰ (hiver)

(Savarino et al. 2013)

$\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3 = -6,5\text{‰} \pm 2,8$ (cette étude)



Nitrification

Nitritation: $\epsilon^{15}\text{N} = -12 \text{‰}$

Nitratation: $\epsilon^{15}\text{N} = +14 \text{ à } +38 \text{‰}$

(Casciotti et al. 2009)

Nitrification: $\epsilon^{15}\text{N} > 0$

$$\Delta^{17}\text{O} = 0$$

→ **augmentation** de $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3$

et **dilution** de $\Delta^{17}\text{O}$ du signal

atmo.

ϵ = fractionnement isotopique
instantané lié à un processus

≠

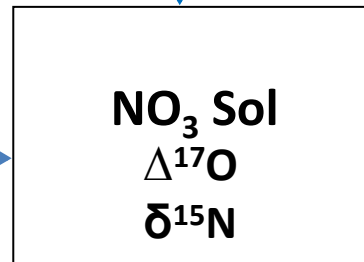
δ = valeur numérique du fractionnement

Dépôts atmosphériques de NO_3 atm

26 ‰ (été) < $\Delta^{17}\text{O}$ < 30 ‰ (hiver)

(Savarino et al. 2013)

$\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3 = -6,5\text{‰} \pm 2,8$ (cette étude)



Nitrification

$\epsilon^{15}\text{N} > 0$

$\Delta^{17}\text{O} = 0$ (Casciotti et al. 2009)

→ **augmentation** de $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3$ et **dilution** de $\Delta^{17}\text{O}$ du signal atmo.

Aucun impact sur $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3$ et sur $\Delta^{17}\text{O}$

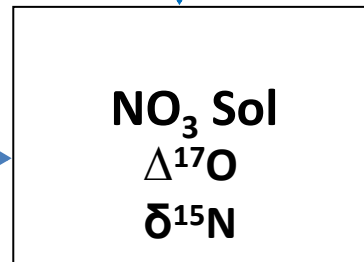
Lixiviat

Dépôts atmosphériques de NO_3_{atm}

26 ‰ (été) < $\Delta^{17}\text{O}$ < 30 ‰ (hiver)

(Savarino et al. 2013)

$\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3 = -6,5\text{‰} \pm 2,8$ (cette étude)



Nitrification

$\epsilon^{15}\text{N} > 0$

$\Delta^{17}\text{O} = 0$ (Casciotti et al. 2009)

→ **augmentation** de $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3$ et **dilution** de $\Delta^{17}\text{O}$ du signal atmo.

Dénitrification

13 ‰ < $\epsilon^{15}\text{N}$ < 30 ‰ (Casciotti et al. 2009)

Pas d'impact sur $\Delta^{17}\text{O}$

→ **augmentation** de $\delta^{15}\text{N}$ et **aucun impact** sur $\Delta^{17}\text{O}$ du signal atmo.

Aucun impact sur $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3$ et sur $\Delta^{17}\text{O}$

Lixiviat

●●●●● Matériel et méthode

- Site
- Echantillonnage
- Ligne d'analyse

Col du Lautaret:

- Villar d'Arène, Hautes-Alpes
- 2050 m d'altitude
- BV de la Romanche
- Site étudié depuis 10 ans par le LECA/SAJF



(Photo R. Jacob)



- Températures moy: $-7,4^{\circ}\text{C}$ l'hiver et $19,5^{\circ}\text{C}$ l'été
- Précipitations moy: 1300 mm/an

●●●●● **Matériel et méthode**

- Site
- **Echantillonnage**
- Ligne d'analyse

• **Manteau neigeux** : 25/02/2014 et 16/04/2014

(R. Jacob, N. Caillon, LGGE)



(Photo N. Caillon)

• **Eau de rivière** : entre le 16 avril et le 24 mai 2014

(R. Jacob, LGGE; F. Delbart, SAJF)



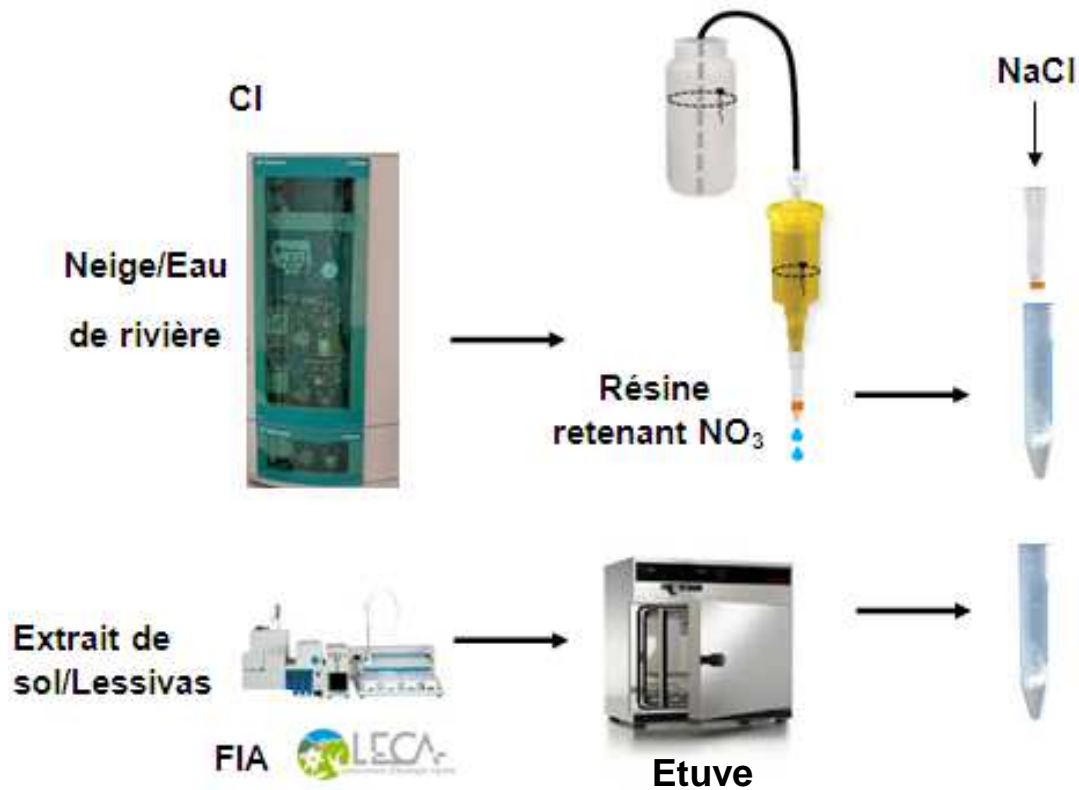
• **Echantillons souterrains** : 9 septembre 2013 (L. Bernard, LECA)

- **Extraits de sol** au K_2SO_4
- **Lixiviats** par entrainement à l'arrosage
- Prairies **contrôles** vs. Prairies **sécheresse**



●●●●● **Matériel et méthode**

- Site
- Echantillonnage
- **Ligne d'analyse**



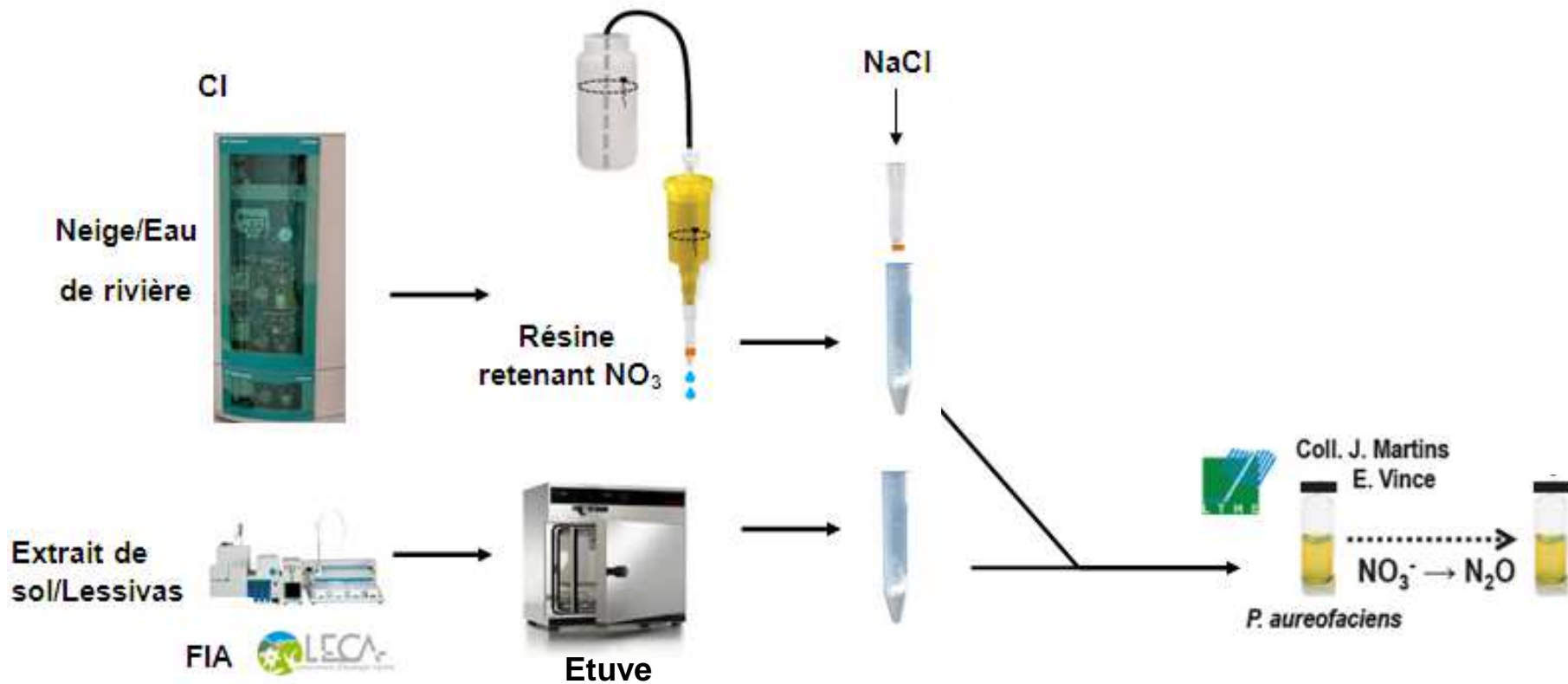
CI = chromatographie ionique

FIA (Flow Injection Analysis) = analyse colorimétrique à flux continu

Concentrations

●●●●● Matériel et méthode

- Site
- Echantillonnage
- Ligne d'analyse



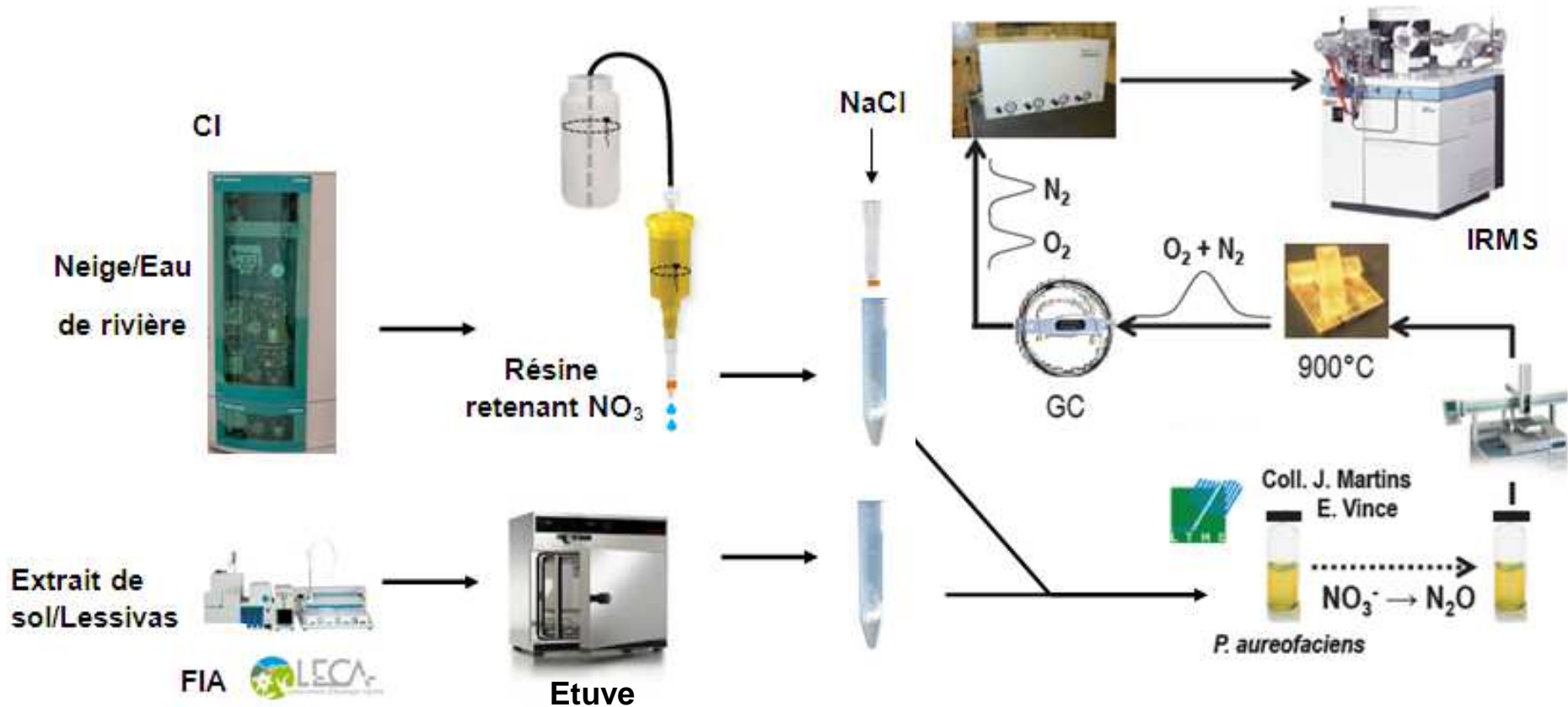
CI = chromatographie ionique

FIA (Flow Injection Analysis) = analyse colorimétrique à flux continu

Concentrations

●●●●● Matériel et méthode

- Site
- Echantillonnage
- Ligne d'analyse



CI = chromatographie ionique

FIA (Flow Injection Analysis) = analyse colorimétrique à flux continu

Concentrations

IRMS (Isotope Ratio Mass Spectrometer) = permet l'analyse des rapports isotopiques par spectrométrie de masse

Concentrations moyennes

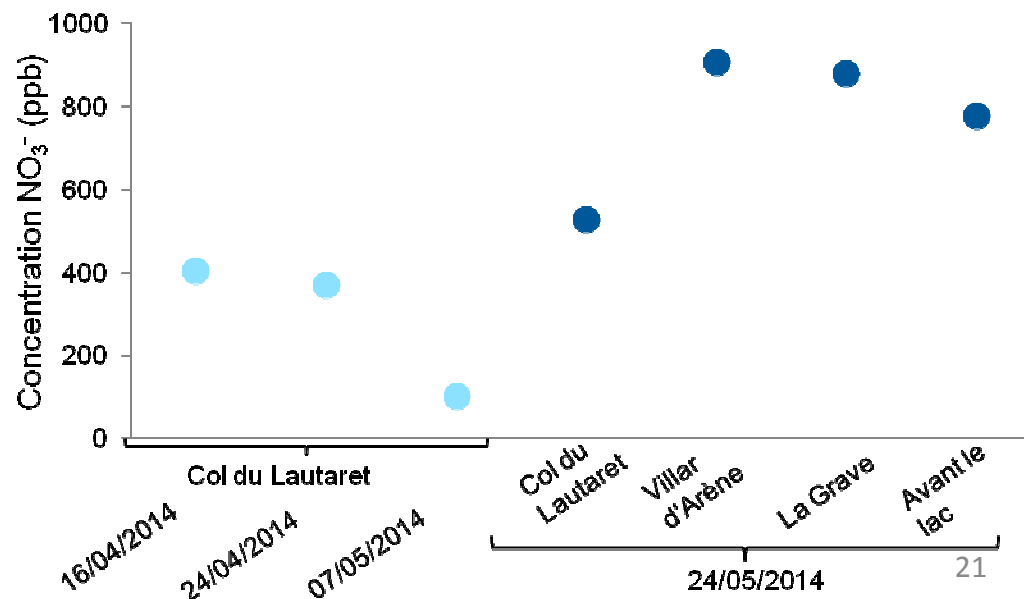
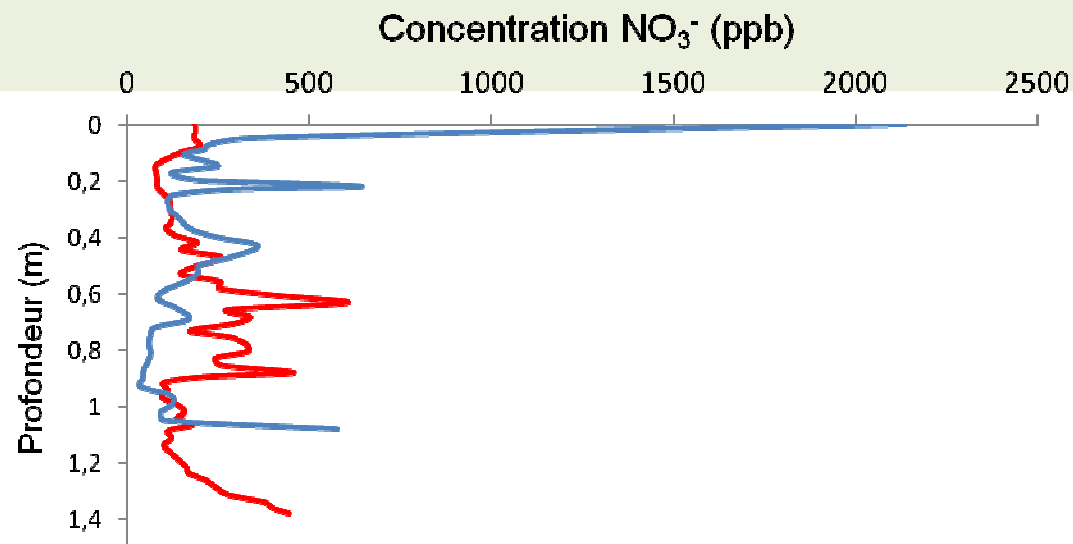
Valeurs moyennes

- Neige **25/02/2014** : 233 ± 333 ppb
16/04/2014 : 203 ± 112 ppb

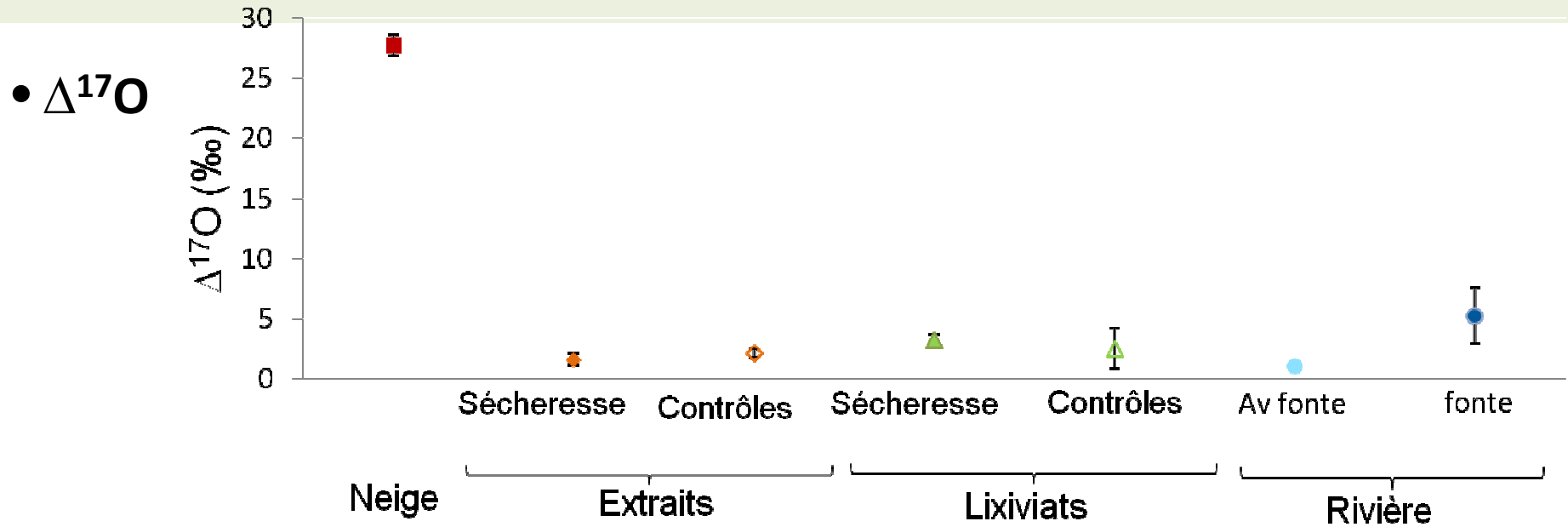
- Sol : extraits : 697 ± 1092 ppb
 lessivas : 1032 ± 2909 ppb

Très forte variabilité

- Eau de rivière:
temporelle = 351 ± 179 ppb
spatiale = 772 ± 172 ppb



●●●●● Résultats et interprétation



Neige : 28‰ ±0,9 → Signal atmo.

Extrait de sol (K_2SO_4) : 2‰ ±0,5 soit 7% ±2 du signal atmo.

Lixiviats de sol (H_2O) : 3‰ ±0,5 soit 10% ±2 du signal atmo.

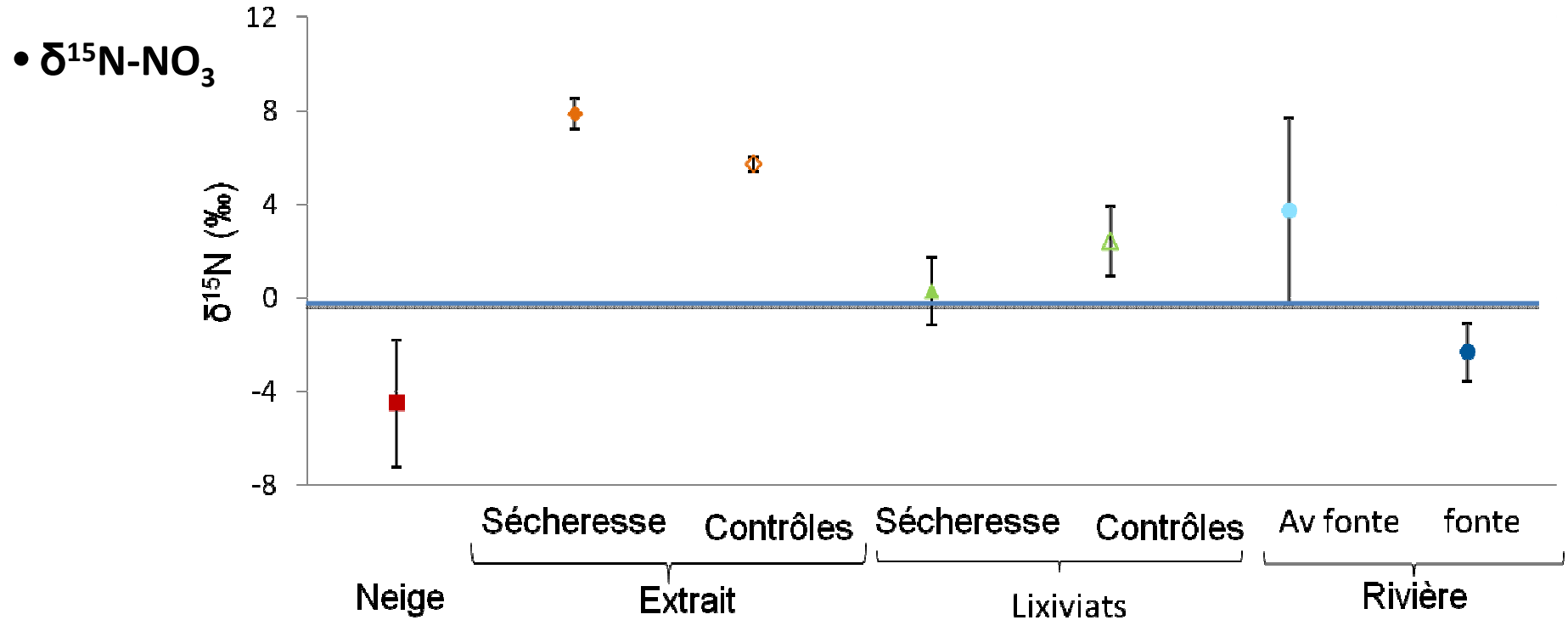
Rivière : **avant fonte** : 1‰ ±0,4 soit 4% ±2 du signal atmo.

fonte : 5‰ ±0,4 soit 18% ±2 du signal atmo.

→ $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ facilement emportés : circulant dans la macroporosité (Lixiviats)

vs. NO_3^- produits dans la microporosité du sol par nitrification (Extraits sol)

●●●●● Résultats et interprétation



Neige : $-6,5\text{‰} \pm 2,8$

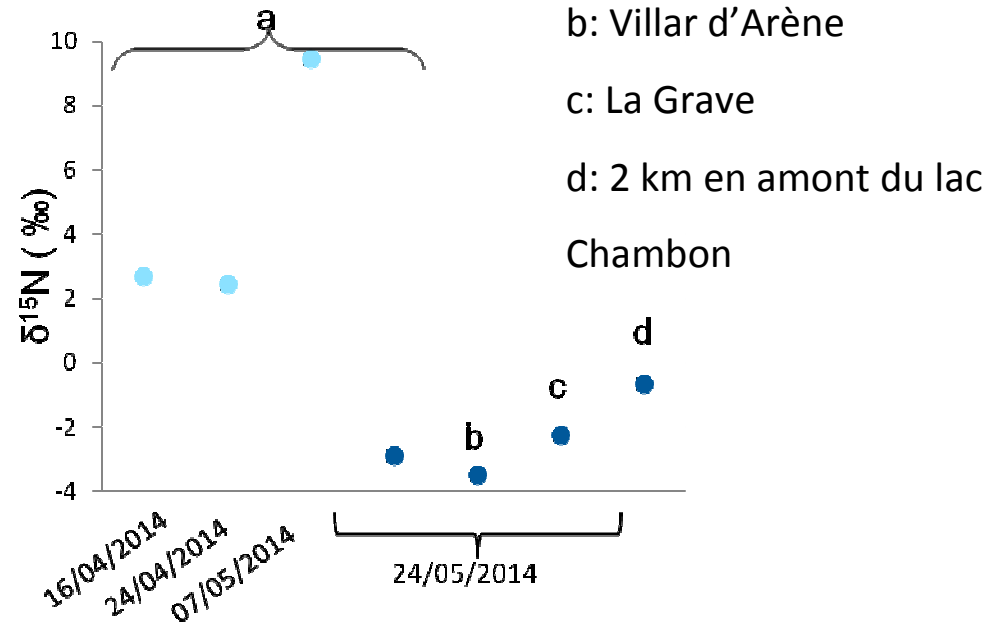
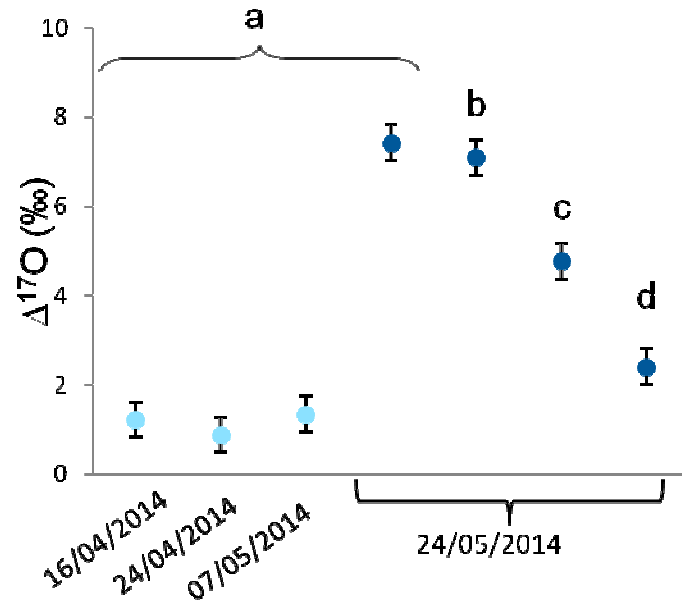
Lixiviats, **Rivière avant fonte**, **Extraits** ≥ 0

Rivière pendant fonte ≤ 0

→ Impact des Processus biologiques dans les sols (Nit. Et Denit.)

● ● ● ● ● Résultats et interprétation

• Eaux de rivière: **avant** et **pendant** la fonte



- a: Col du Lautaret
- b: Villar d'Arène
- c: La Grave
- d: 2 km en amont du lac Chambon

➤ **Evolution temporelle:** Δ¹⁷O ↗ → signal atmo ↗ avec la fonte

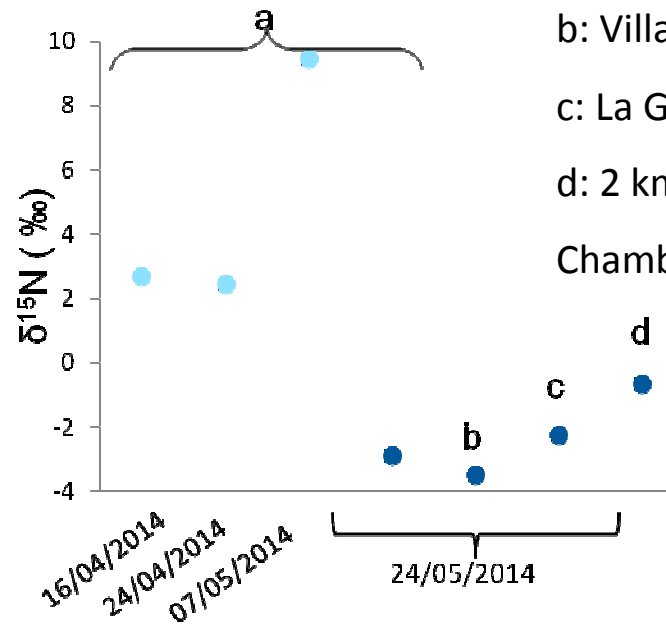
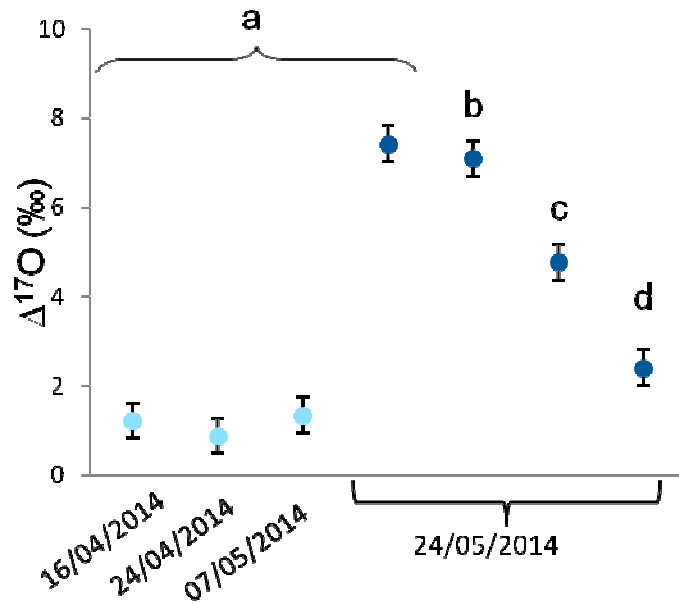
δ¹⁵N ↗ le 07/05 → **reprise de l'activité microbienne**

puis à la fonte → **dilution** du signal

➤ **Evolution spatiale:** Δ¹⁷O ↘ } Signal atmo **dilué** le long de l'écoulement
 δ¹⁵N ↘ }

Fonte: moment clé pour les sols et les eaux

• Eaux de rivière: **avant** et **pendant** la fonte



a: Col du Lautaret

b: Villar d'Arène

c: La Grave

d: 2 km en amont du lac

Chambon

➤ **Evolution temporelle:** Δ¹⁷O ↗ → signal atmo ↗ avec la fonte

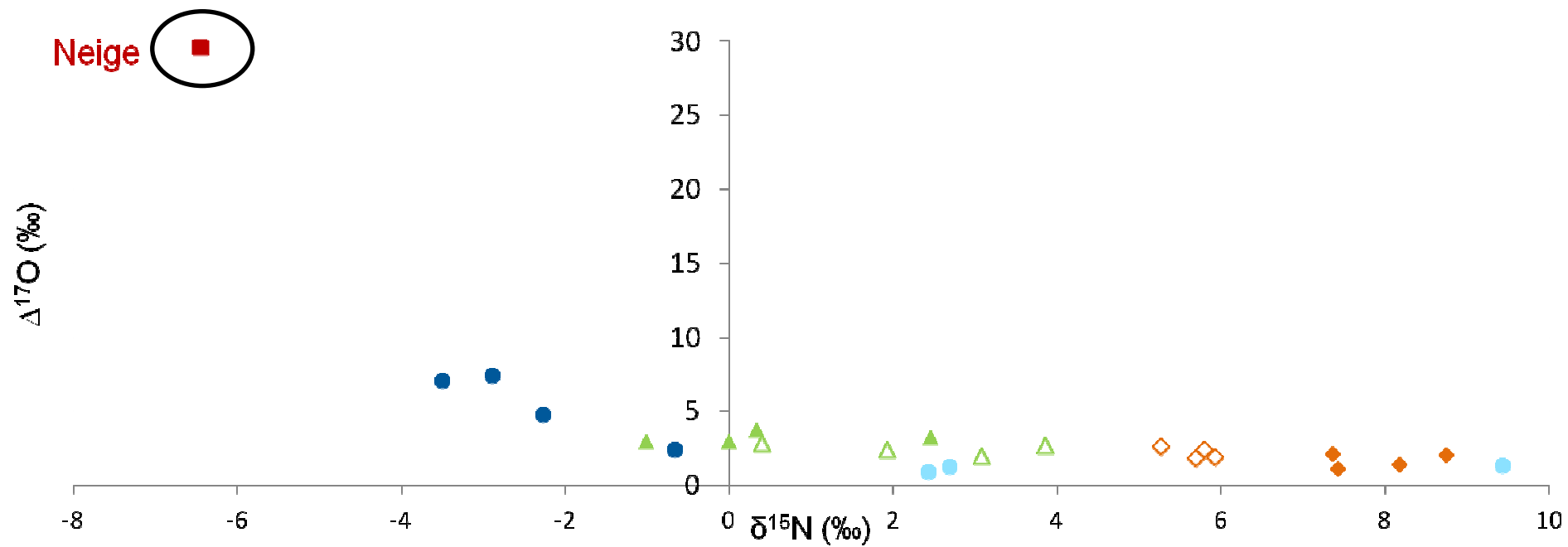
δ¹⁵N ↗ le 07/05 → **reprise de l'activité microbienne**

puis à la fonte → **dilution** du signal

➤ **Evolution spatiale:** Δ¹⁷O ↘ } Signal atmo **dilué** le long de l'écoulement
 δ¹⁵N ↘ }

● ● ● ● ● Résultats et interprétation

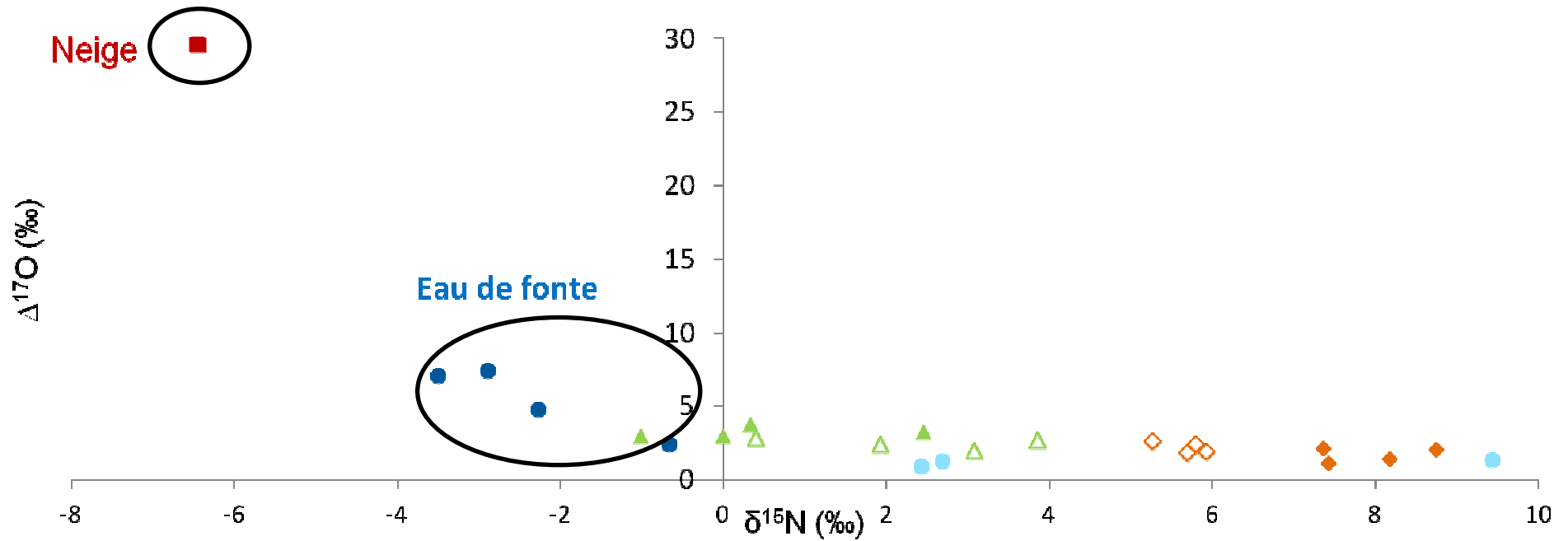
● $\Delta^{17}\text{O}$ versus $\delta^{15}\text{N}$



➤ Neige : $\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3 = -6.5\text{‰} \pm 2.8$ et $\Delta^{17}\text{O} = 28\text{‰} \pm 0.9$

● ● ● ● ● Résultats et interprétation

● $\Delta^{17}\text{O}$ versus $\delta^{15}\text{N}$

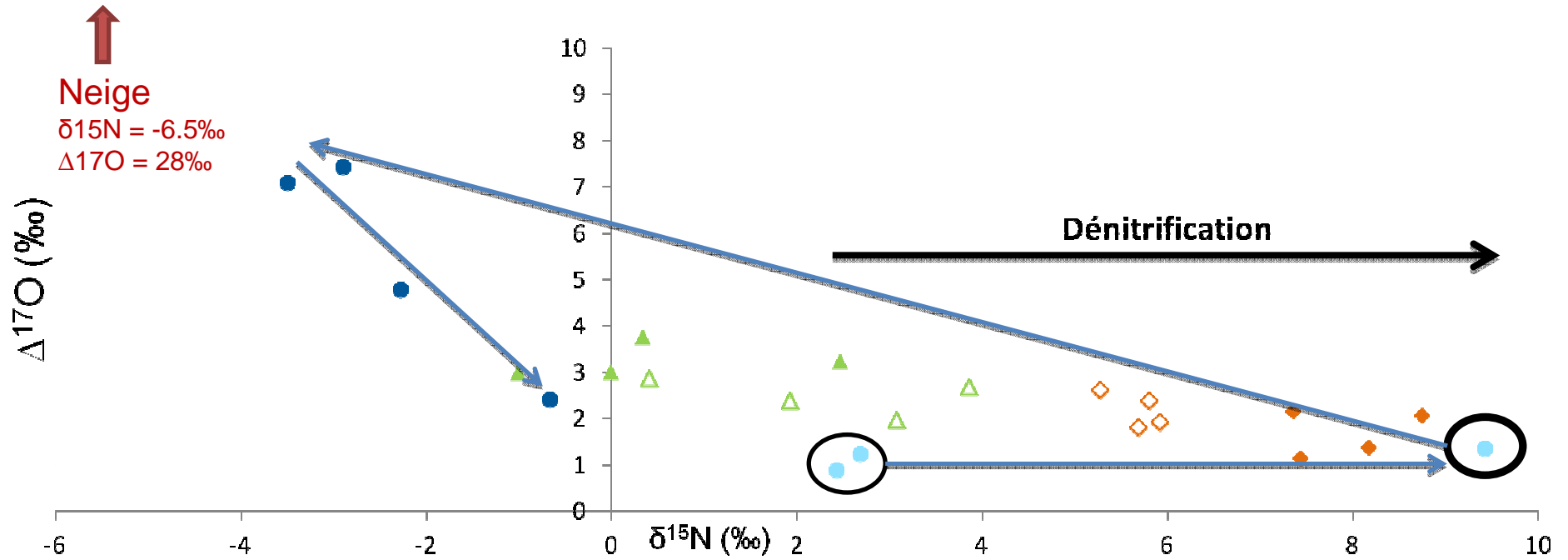


➤ Neige : $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3 = -6.5\text{‰} \pm 2.8$ et $\Delta^{17}\text{O} = 28\text{‰} \pm 0.9$

➤ Eau de fonte (24/05) : mélange de neige et d'eau de sol

● ● ● ● Résultats et interprétation

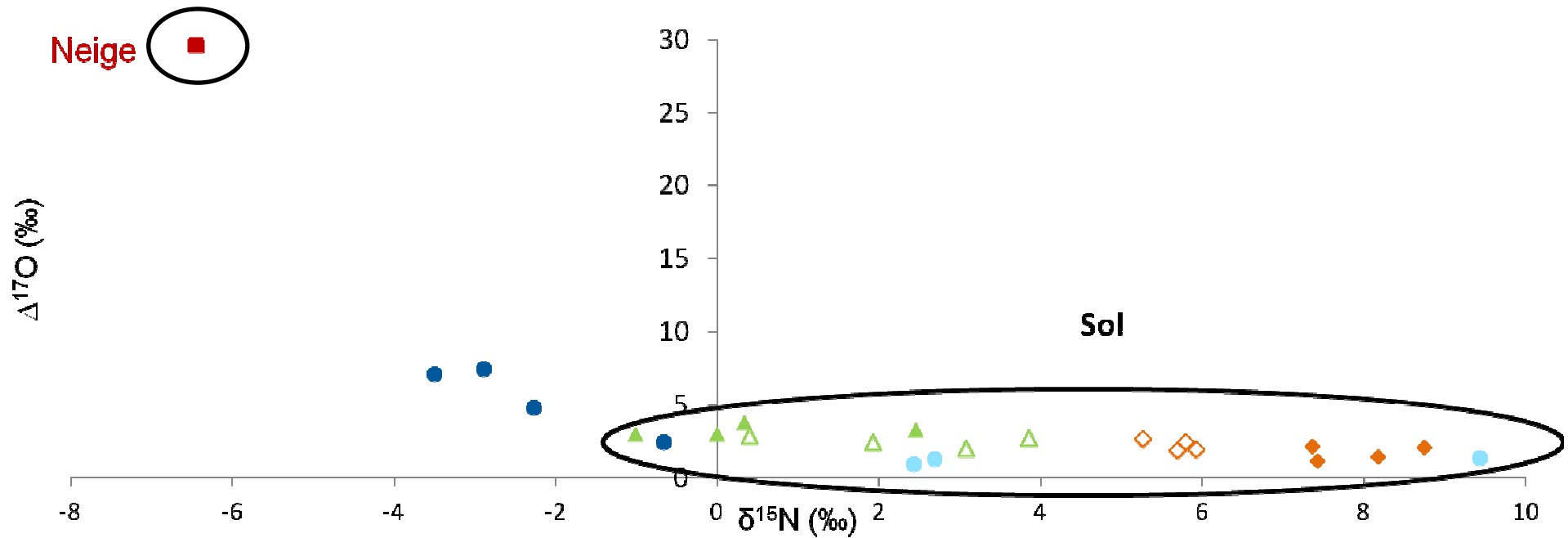
● $\Delta^{17}\text{O}$ versus $\delta^{15}\text{N}$



Rivière avant fonte (07/05): pic de $\delta^{15}\text{N}\text{-NO}_3$ due une dénitrification flash dans les sols

● ● ● ● ● Résultats et interprétation

● $\Delta^{17}\text{O}$ versus $\delta^{15}\text{N}$



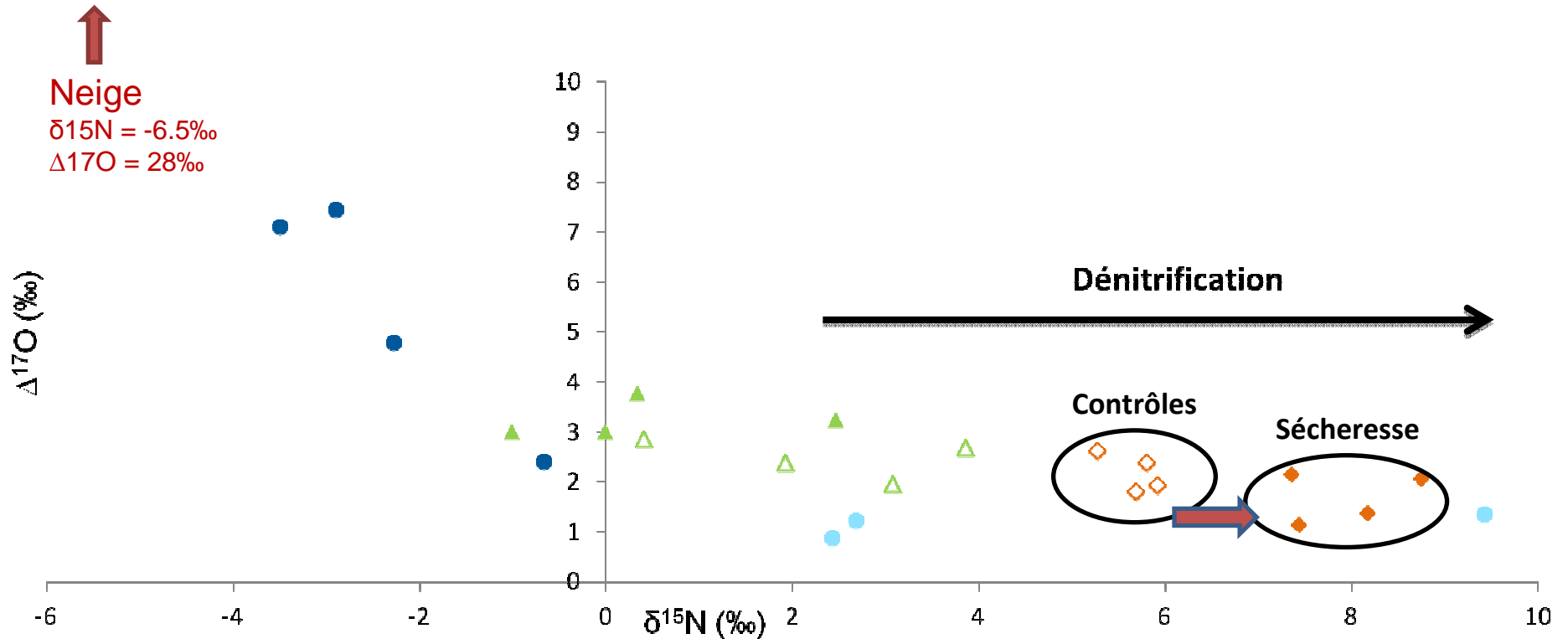
➤ Entre la **Neige** et le **Sol** :

➤ dilution de $\Delta^{17}\text{O}$ d'un facteur 14

➤ Augmentation $\delta^{15}\text{N}$: Nitrification = source de NO_3 14 fois plus grande que source atmo

● ● ● ● ● Résultats et interprétation

● $\Delta^{17}\text{O}$ versus $\delta^{15}\text{N}$

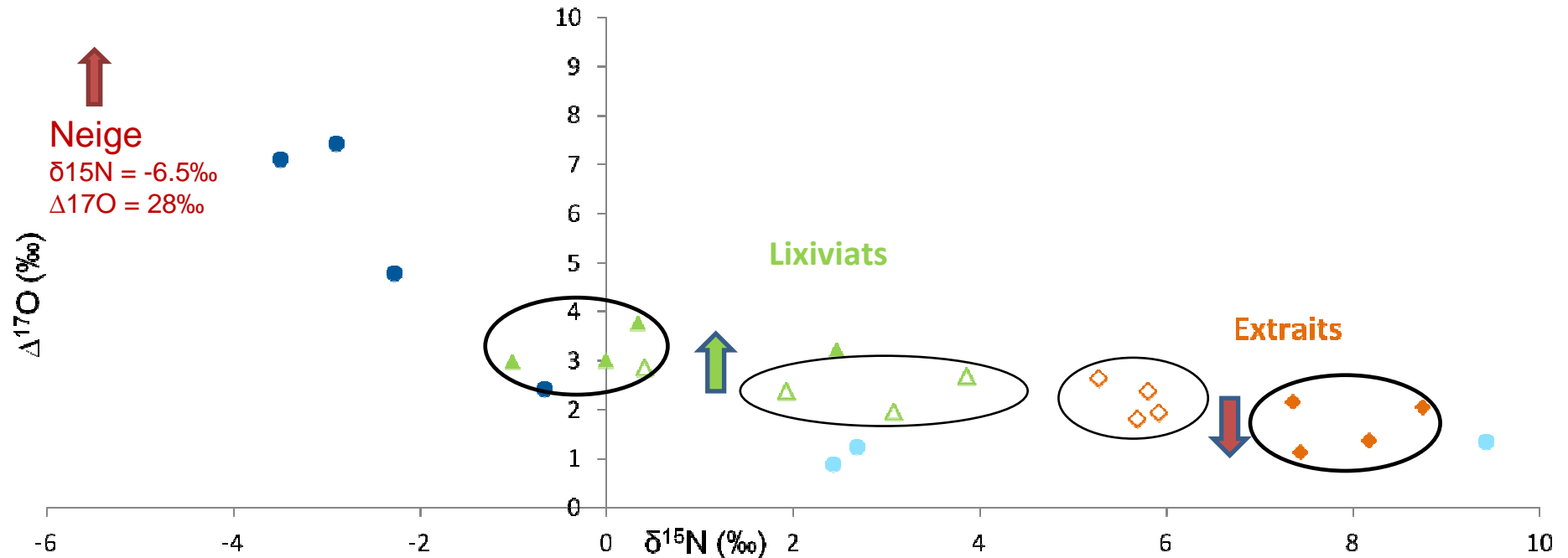


➤ **Extraits:** $\delta^{15}\text{N}$ plus fort après sécheresse mais faible variation de $\Delta^{17}\text{O}$

➔ processus majoritaire: pulse de dénitrification à la reprise de l'arrosage

● ● ● ● Résultats et interprétation

● $\Delta^{17}\text{O}$ versus $\delta^{15}\text{N}$



➤ **Sécheresse** : $\Delta^{17}\text{O}$ ↘ pour les **Extraits** et ↗ pour les **Lixiviats** ???

→ $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ moins bien incorporés dans la microporosité sous stress hydrique

→ et donc plus facilement entraînés à la reprise de l'arrosage

→ La diminution des précipitations pourrait conduire à une diminution de la



« fixation » de $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ dans les sols malgré l'augmentation des dépôts.

●●●●● Conclusion et perspectives

- ⊕ • Signal des $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ confirmé $\delta^{15}\text{N-NO}_3 = -6.5\text{‰} \pm 2.8$ et $\Delta^{17}\text{O} = 28\text{‰} \pm 0.9$
 - Signal $\Delta^{17}\text{O}$ des $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ traçable dans les sols et les rivières
 - Signaux $\Delta^{17}\text{O}$ et $\delta^{15}\text{N}$ marqueurs de processus:
 - **biologiques** pour le $\delta^{15}\text{N}$: nitrification et dénitrification variables selon conditions externes (humidité, C labile, Eh...).
 - **physiques (dilution)** pour le $\Delta^{17}\text{O}$: stress hydrique impacte le temps de résidence du $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$ dans les sols.
 - **Couplage activités bactéries/temps de vie du $\text{NO}_3^-_{\text{atm}}$** : disponibilité de l'N dans les sols et élimination par lixiviation ou ruissellement vers les eaux de surface.

- ⊖ • Problème technique avec extractions des sols : matrice K_2SO_4 précipite aux changements de $T^\circ \rightarrow$ risque de fractionnement.
- Et aucun résultat lors de l'étude des ions NH_4

Perspectives:

- Thèse d'Ilann Bourgeois  
- Poursuite de l'étude : cours d'eau, retrait précoce du manteau neigeux, fertilisation, fauche
- Relier le signal aux variations saisonnières et au land-cover
- Indice de saturation en azote du sol

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

