

# Caractérisation des Éléments de Terre Rare dans les apatites du gisement de P-Ti du Lac-à-Paul, Saguenay-Lac-St-Jean

William Chartier-Montreuil (UOttawa/UQAC)

Sarah Dare (UOttawa/UQAC)

Sarah-Jane Barnes (UQAC)

Ross Stevenson (UQAM)



# Gisements de Fe-Ti-P

**Minerai: Nelsonite**

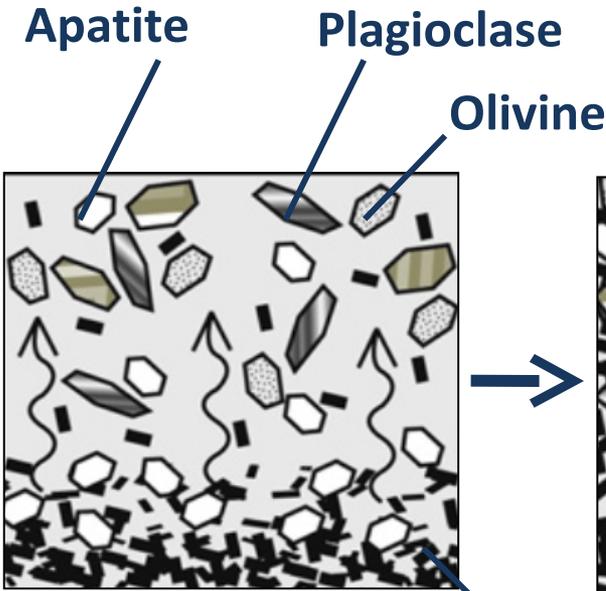
**2/3 oxydes de fer (Fe-Ti), 1/3 apatite (P, ÉTR)**

- **Origine magmatique**
- **Formés dans: 1. Intrusions litées**
- **2. Complexes anorthositiques d'âge Protérozoïque**
- **Cristallise à partir d'un liquide ferrodioritique évolué**

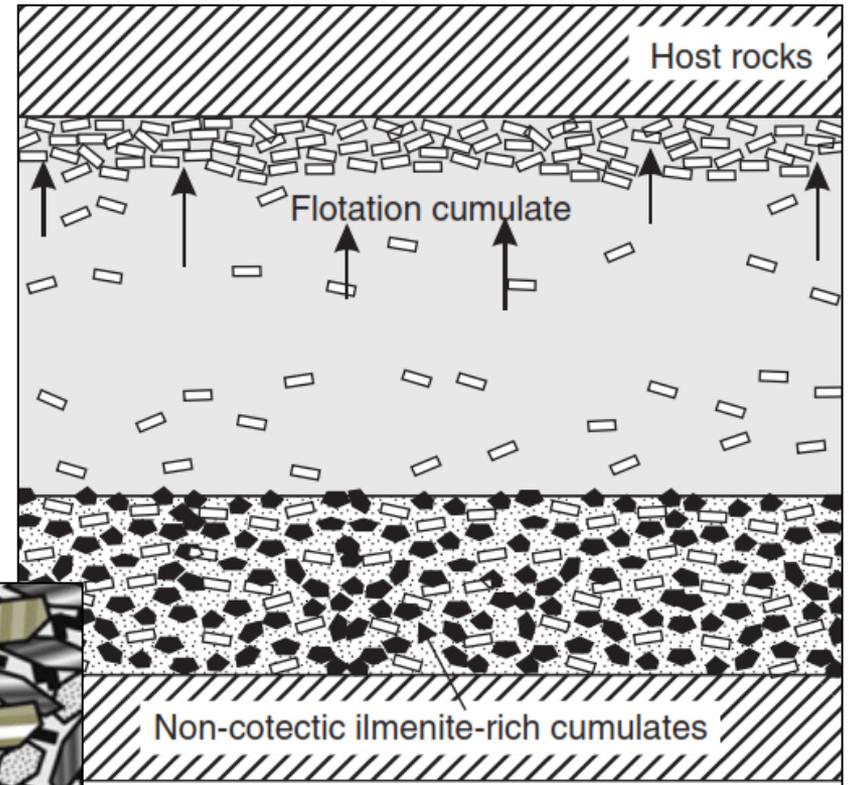


# Processus de formation des nelsonites

Par cristallisation fractionnée

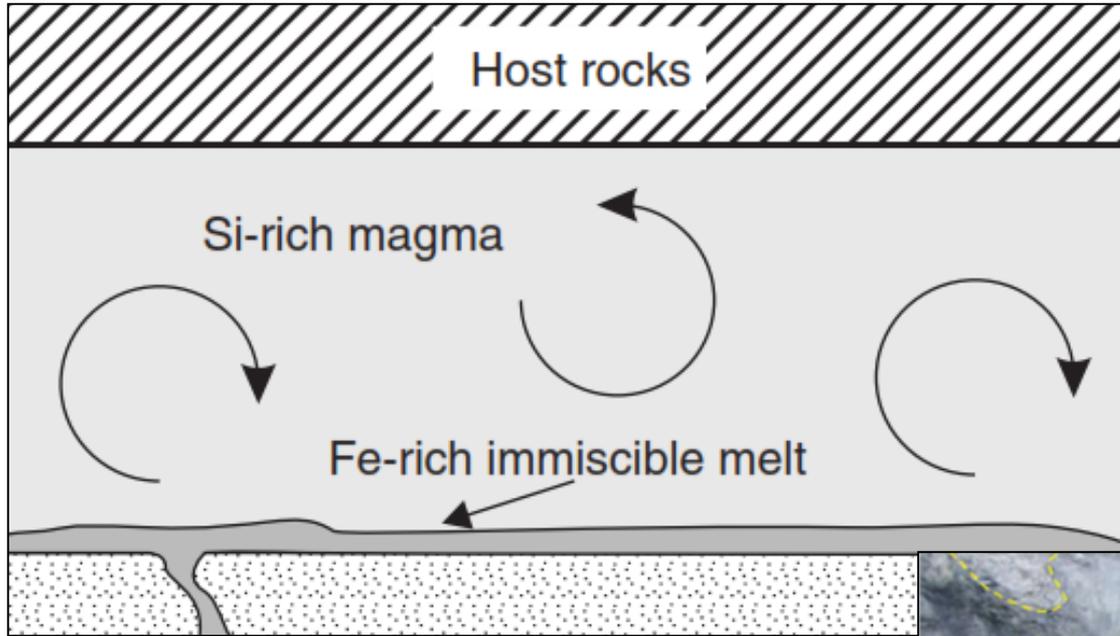


Oxyde de fer



Charlier et al. 2015

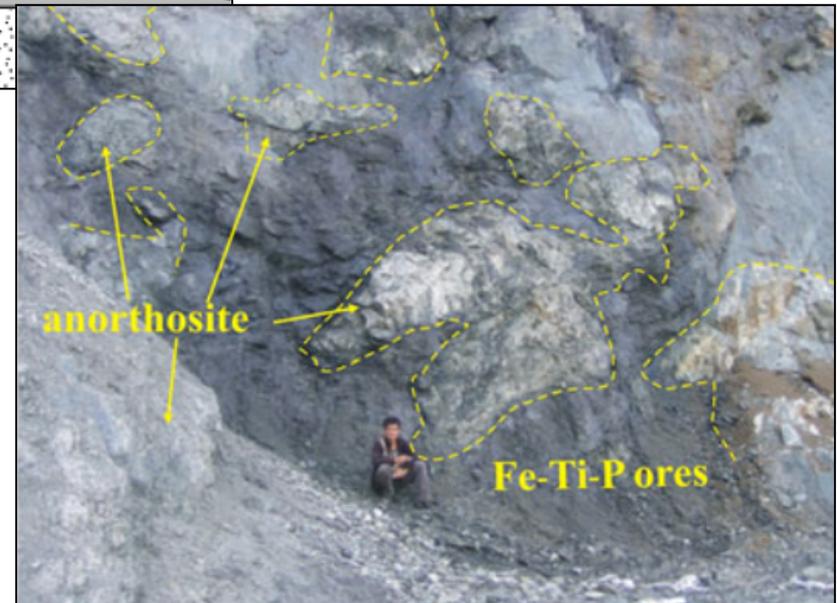
Ne peut produire  
de roches assez riches?



# Immiscibilité entre deux liquides magmatiques

Charlier et al. 2015

**Nécessite températures très élevées (1420°C)**

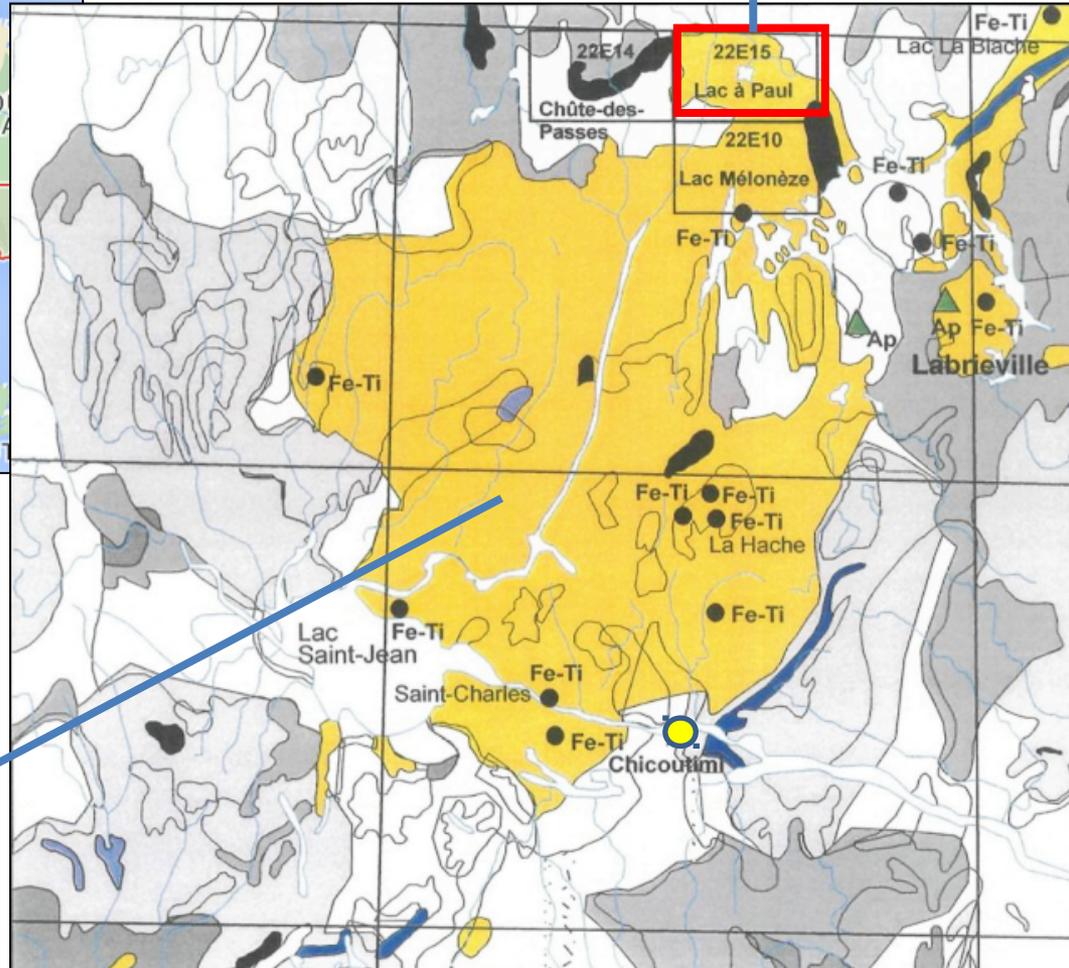


Chen et al. 2013 (Damiao, Chine)

# Lac-à-Paul



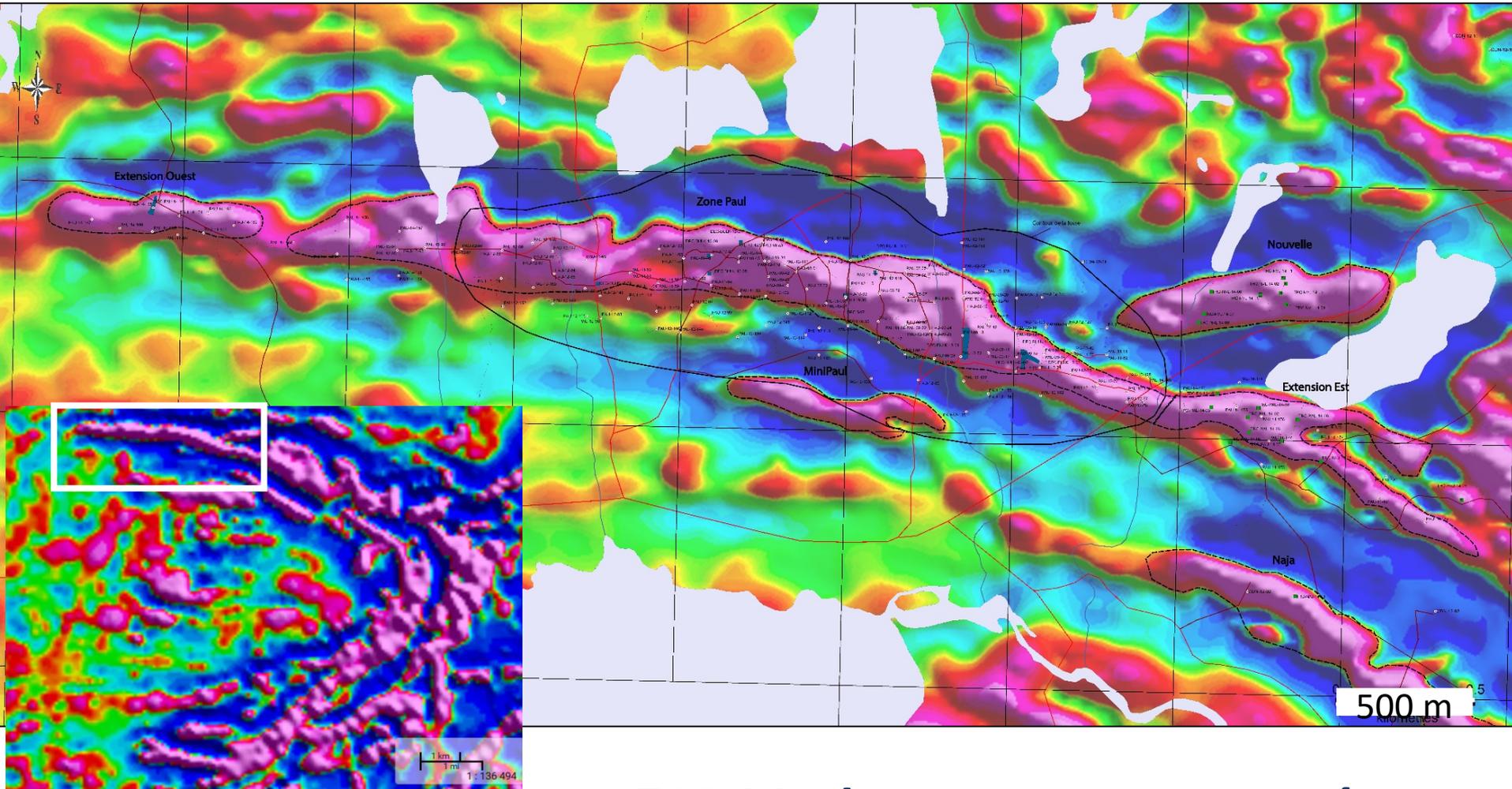
Google Earth



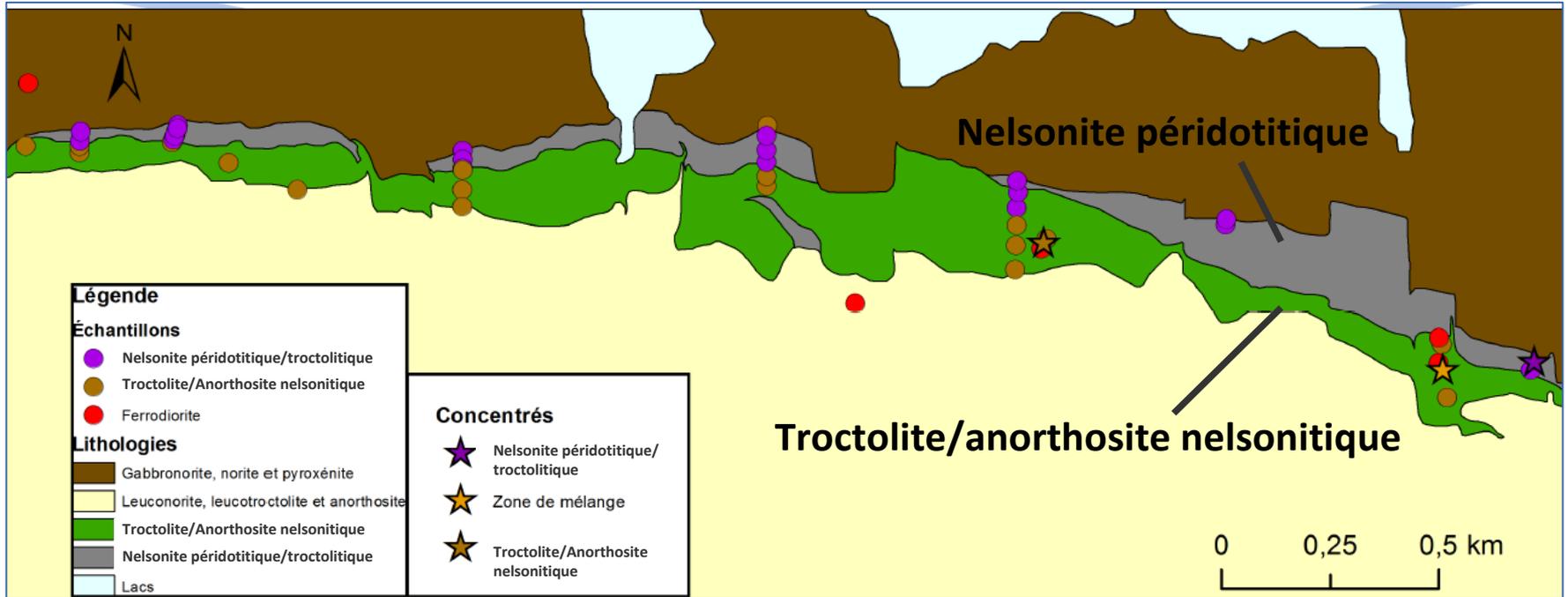
**Anorthosite  
de Saguenay  
Lac-St-Jean  
(1.1 – 1.0 Ga)**

Fredette, 2006, modifié de Avramtchev, 1993

# Gisement de P-Ti du Lac-à-Paul



**702 Mt de ressources mesurées et indiquées à 7,16% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**



Modifié de Pelletier et al., en préparation

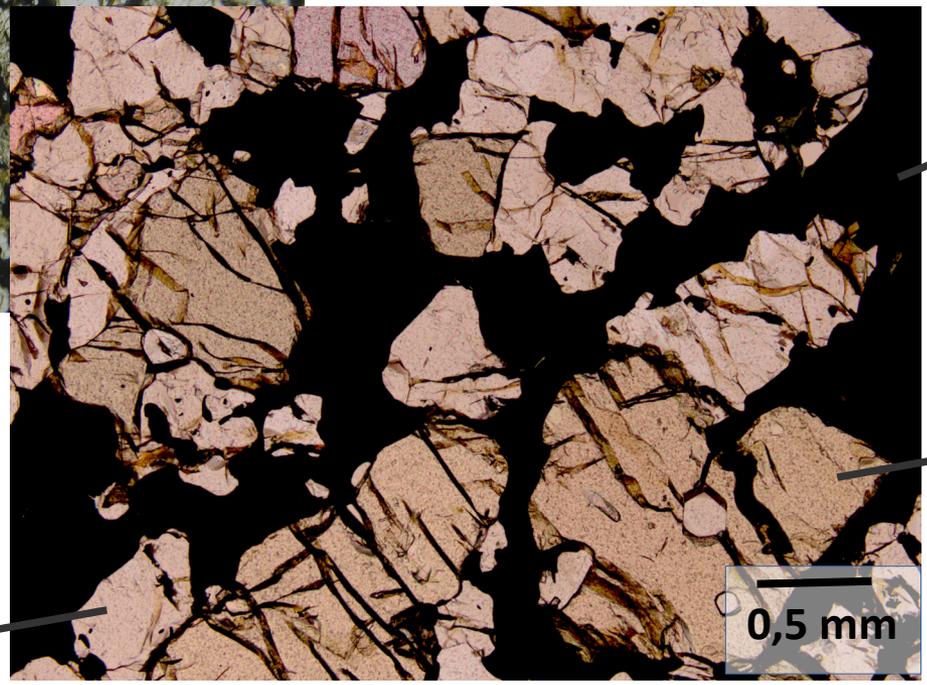
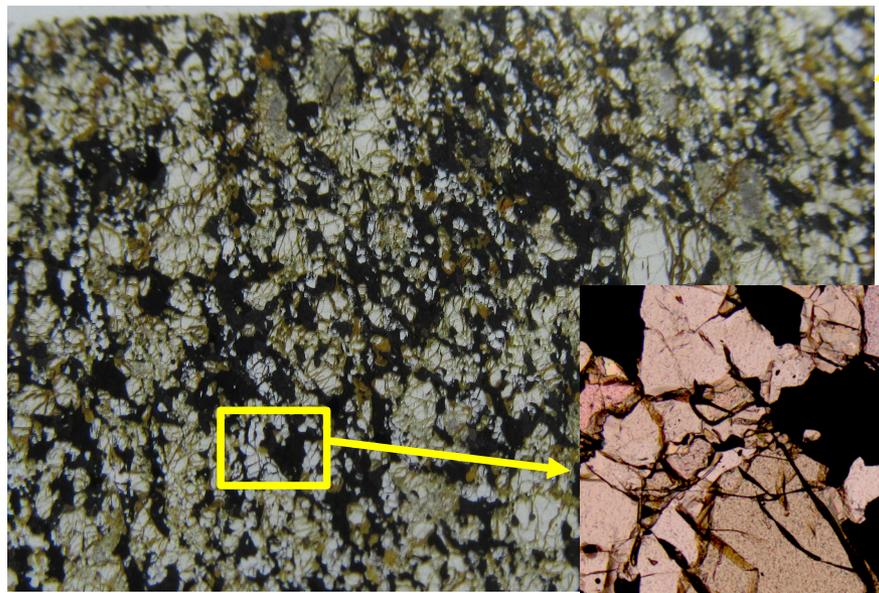
Encaissant nord:  
**Gabbronorites, norites  
 & pyroxénites**

Encaissant sud:  
**Leuconorites,  
 leucotroctolites &  
 anorthosites**



**Dyke de ferrodiorite**

Nelsonites péridotitiques  
/troctolitiques (6-12% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)



Oxyde de fer

Olivine

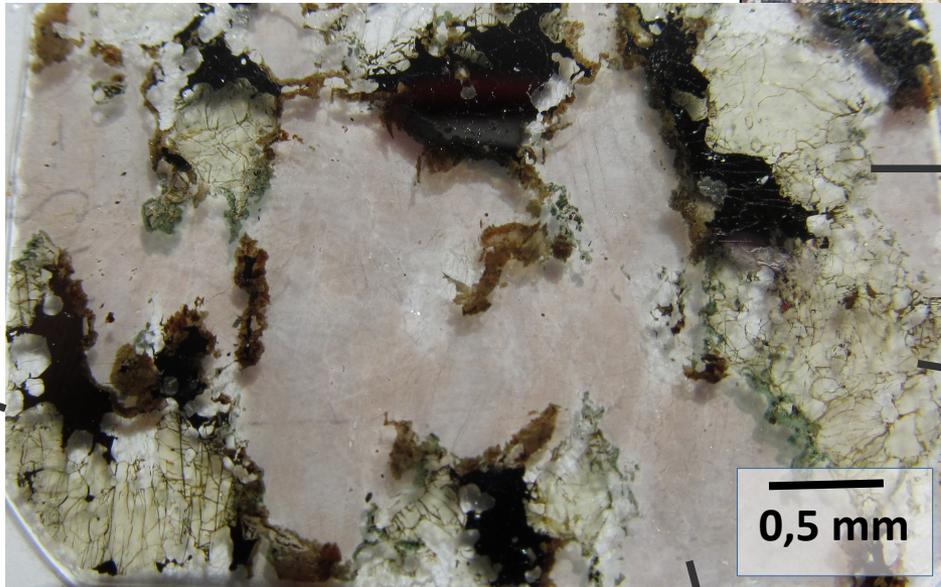
Apatite

0,5 mm

1 cm

# Troctolites et anorthosites nelsonitiques (4-6% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

## Troctolite nelsonitique



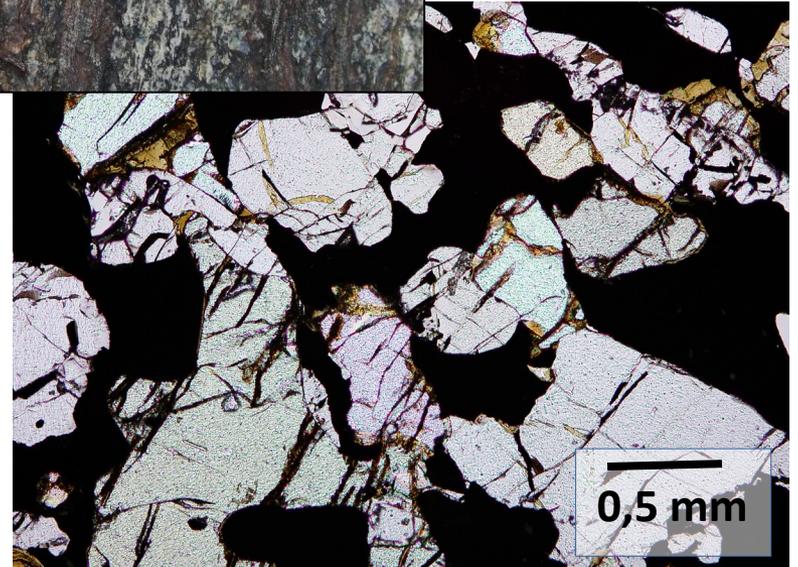
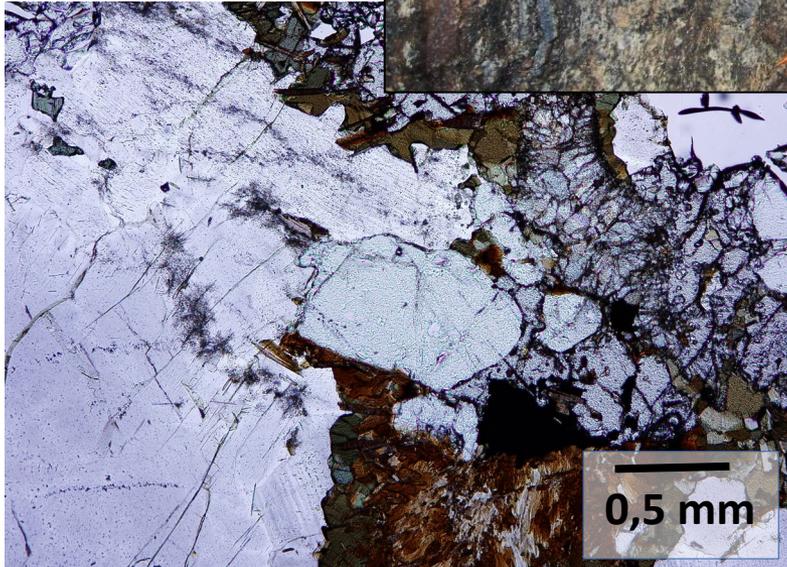
Oxyde  
de fer

Apatite

Olivine

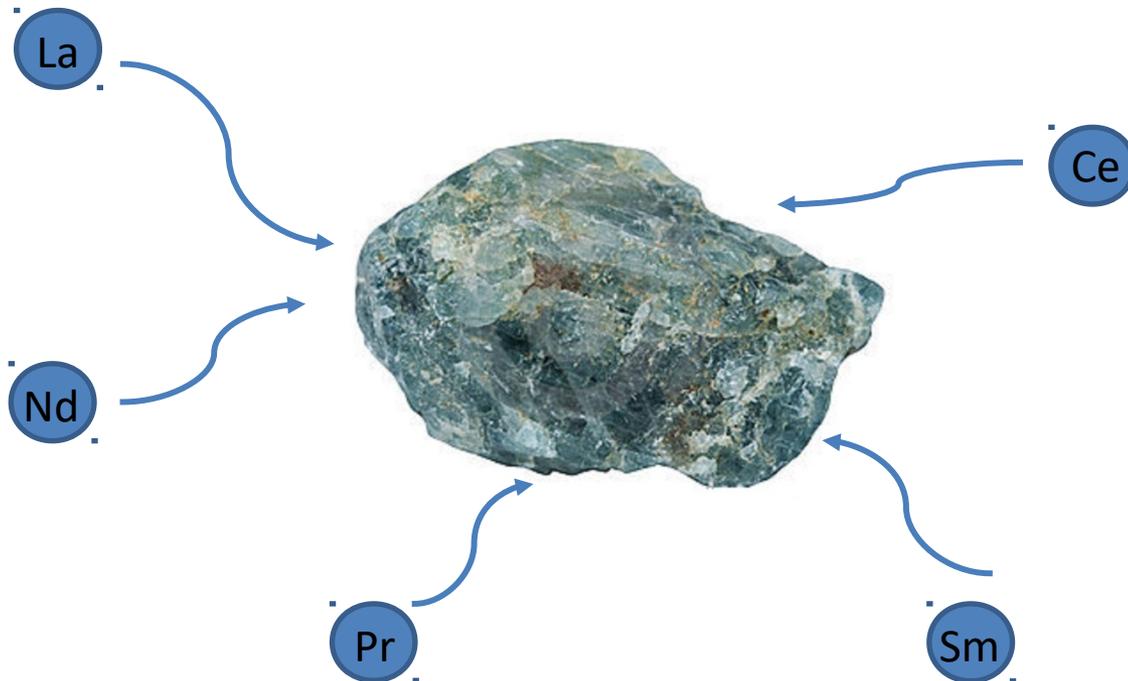
Plagioclase

# Zone de mélange (4-8% $P_2O_5$ )



# But et objectifs

- Améliorer notre compréhension de l'intrusion en caractérisant les ÉTR dans les apatites



# Objectifs et méthodologie

- 1) **L'apatite est-elle l'hôte principal des ÉTR?**
- 2) **Déterminer les facteurs qui influencent leur distribution**
- 3) **Établir le lien entre la nelsonite péridotitique et la troctolite nelsonitique**
- 4) **Déterminer si les ferrodiorites proximales au gisement sont cogénétiques avec les nelsonites du Lac-à-Paul**

# Bilan d'analyses

## 39 analyses totales de roche

Analyses in-situ des ÉTR dans 44 échantillons par LA-ICP-MS :

- 452 analyses d'apatite
- 49 analyses d'amphibole, d'olivine, de pyroxène, de plagioclase et d'ilménite

Analyses de 319 grains de silicate dans 14 échantillons par microsonde

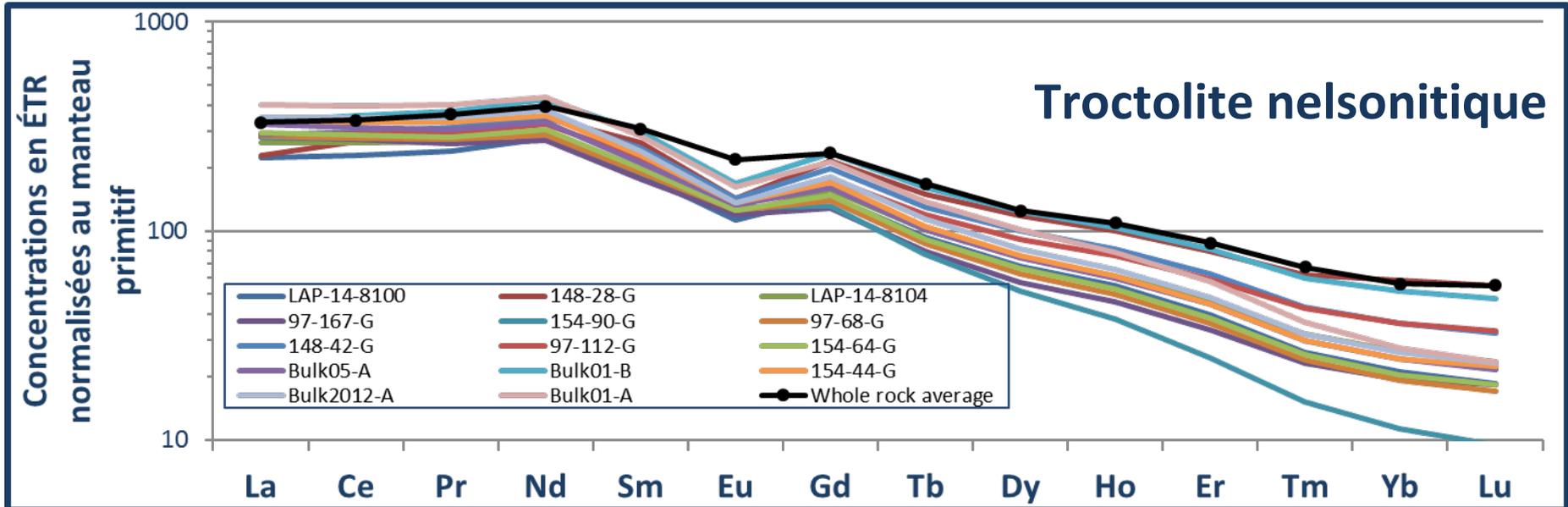
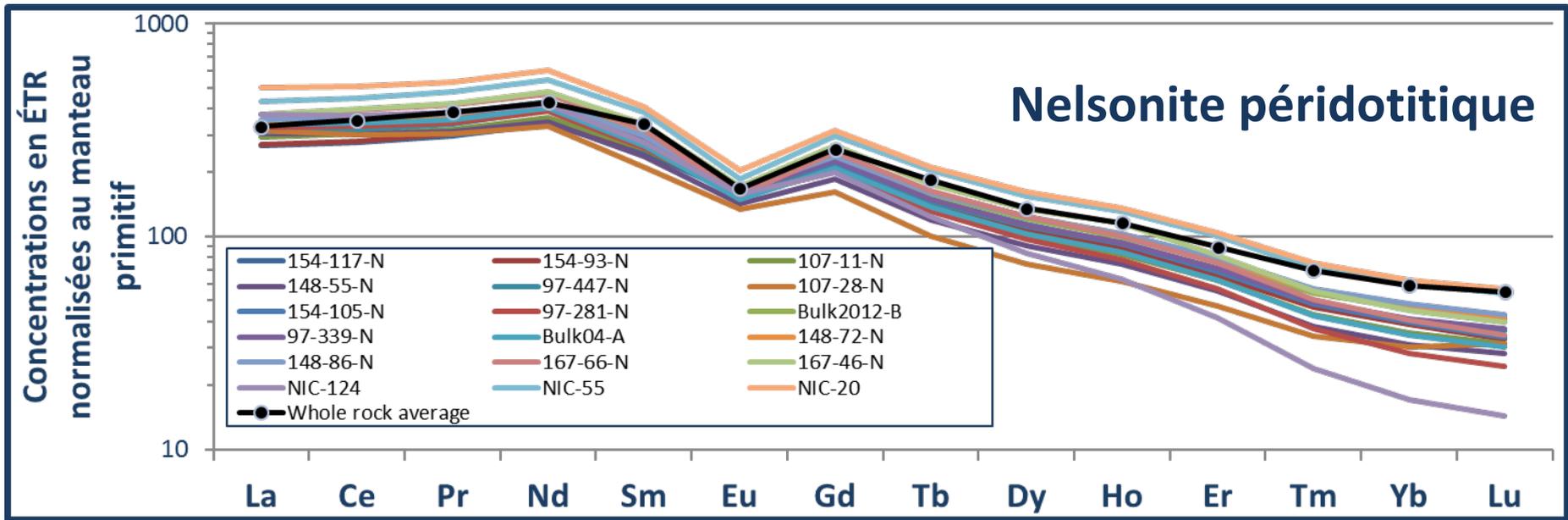
Analyses isotopiques sur Sm/Nd et Rb/Sr :

- 9 analyses de concentrés d'apatite provenant des unités minéralisées
- 10 analyses de roche totale (3 anorthosites, 3 ferrodiorites et  
4 roches encaissantes)

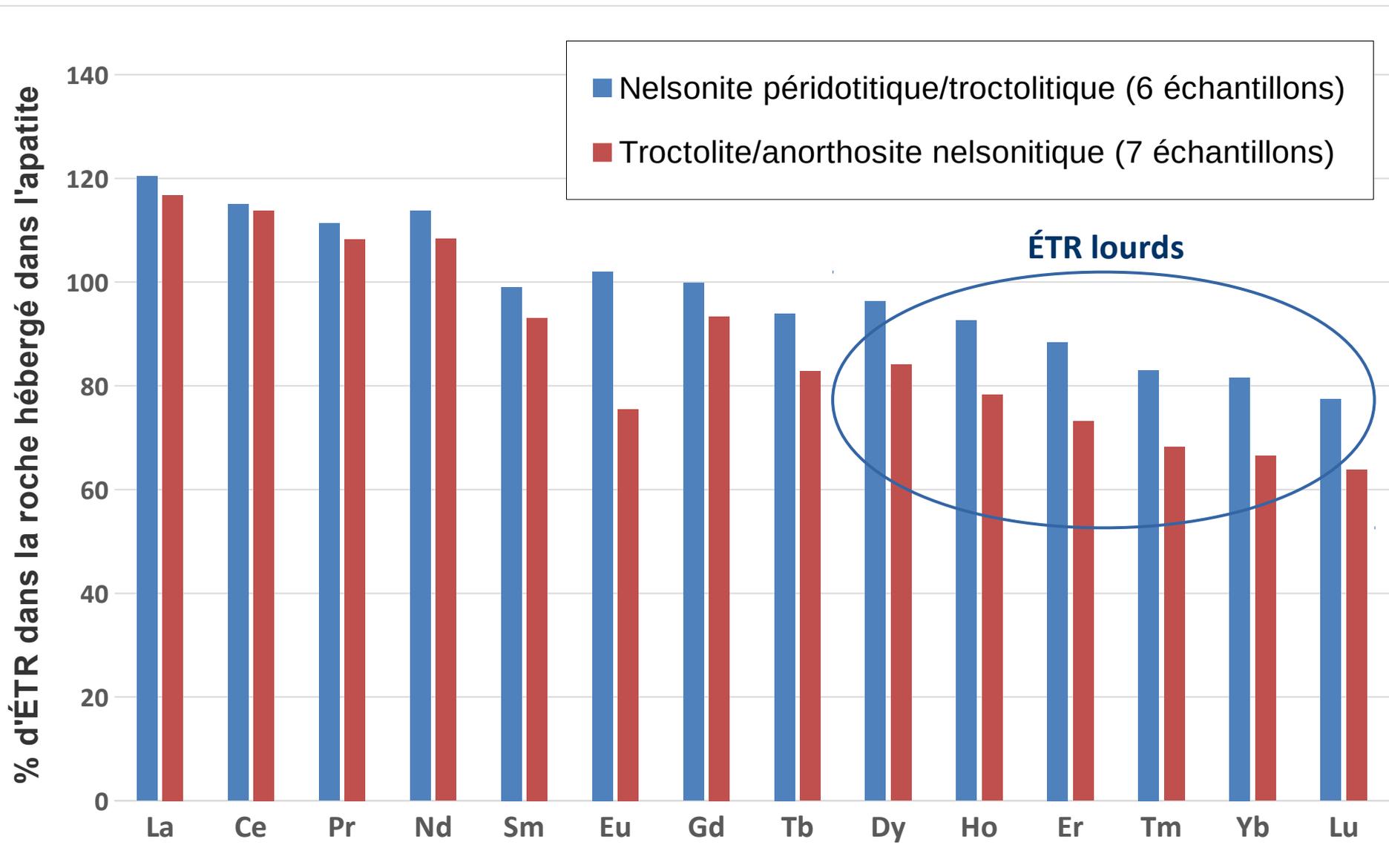
# Objectifs et méthodologie

- 1) L'apatite est-elle l'hôte principal des ÉTR?
- 2) Déterminer les facteurs qui influencent leur distribution
- 3) Établir le lien entre la nelsonite péridotitique et la troctolite nelsonitique
- 4) Déterminer si les ferrodiorites proximales au gisement sont cogénétiques avec les nelsonites du Lac-à-Paul

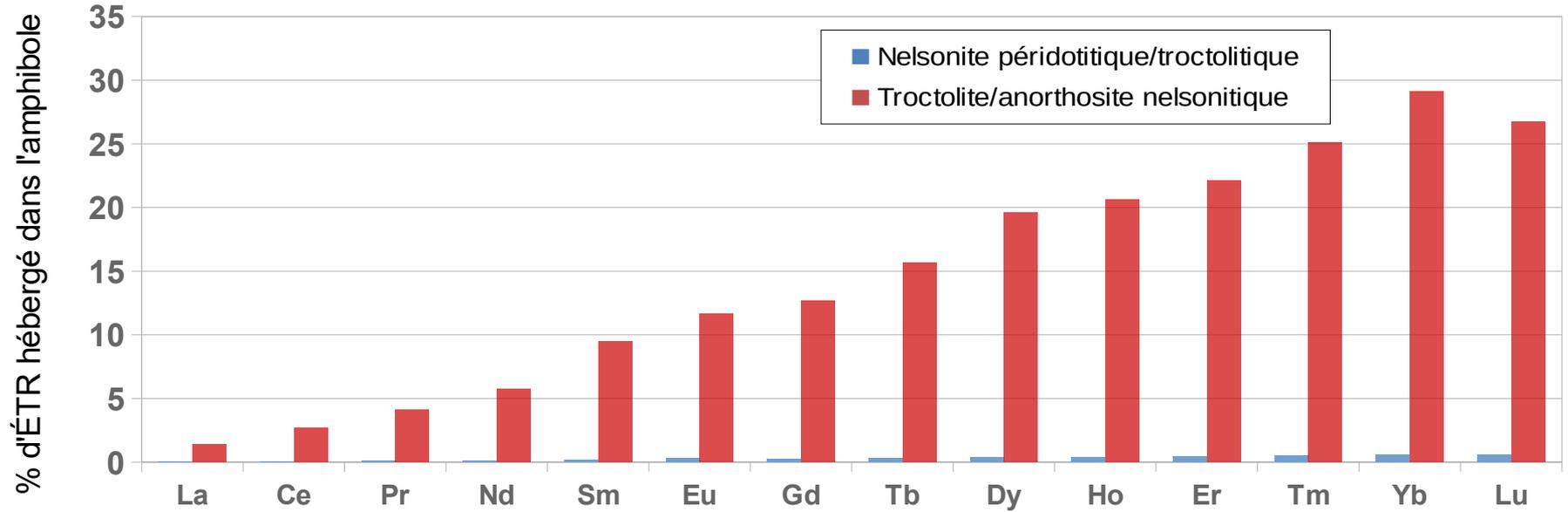
# Concentrations d'ÉTR dans les apatites



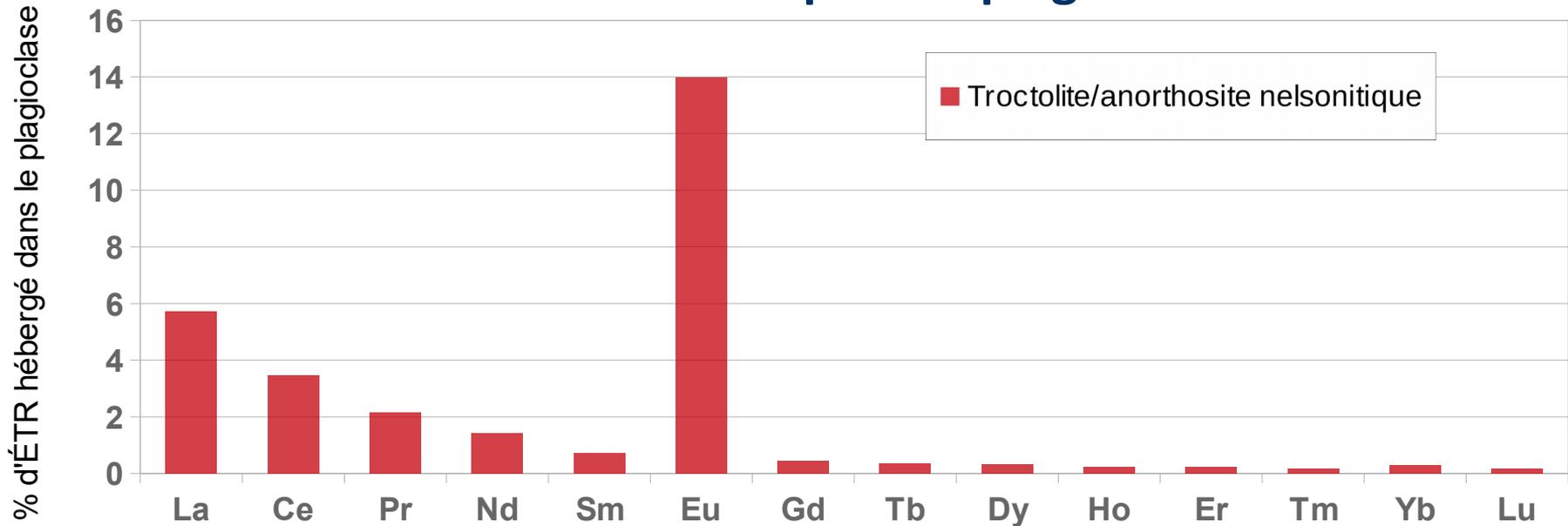
# Bilan de masse pour l'apatite



## Bilan de masse pour l'amphibole



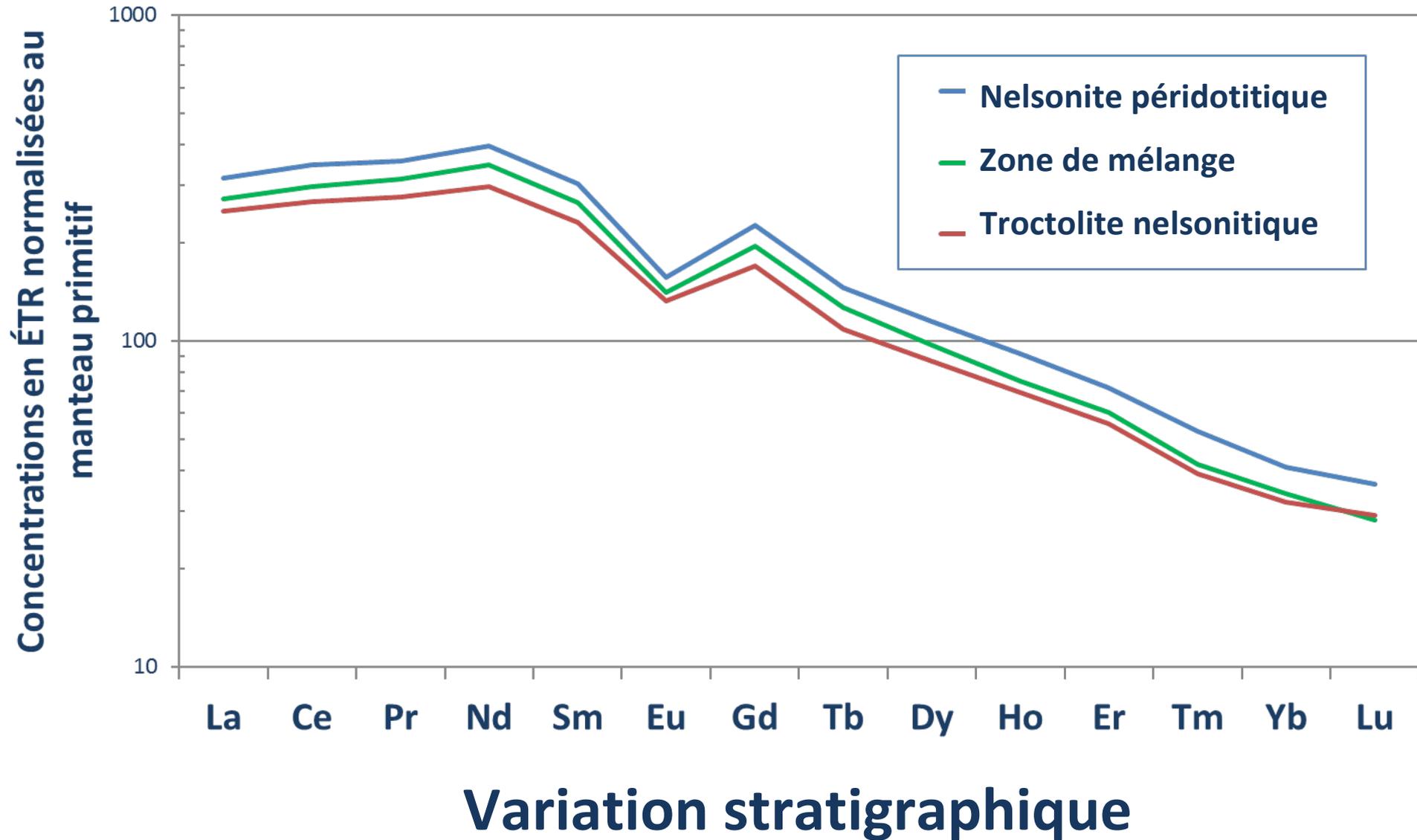
## Bilan de masse pour le plagioclase



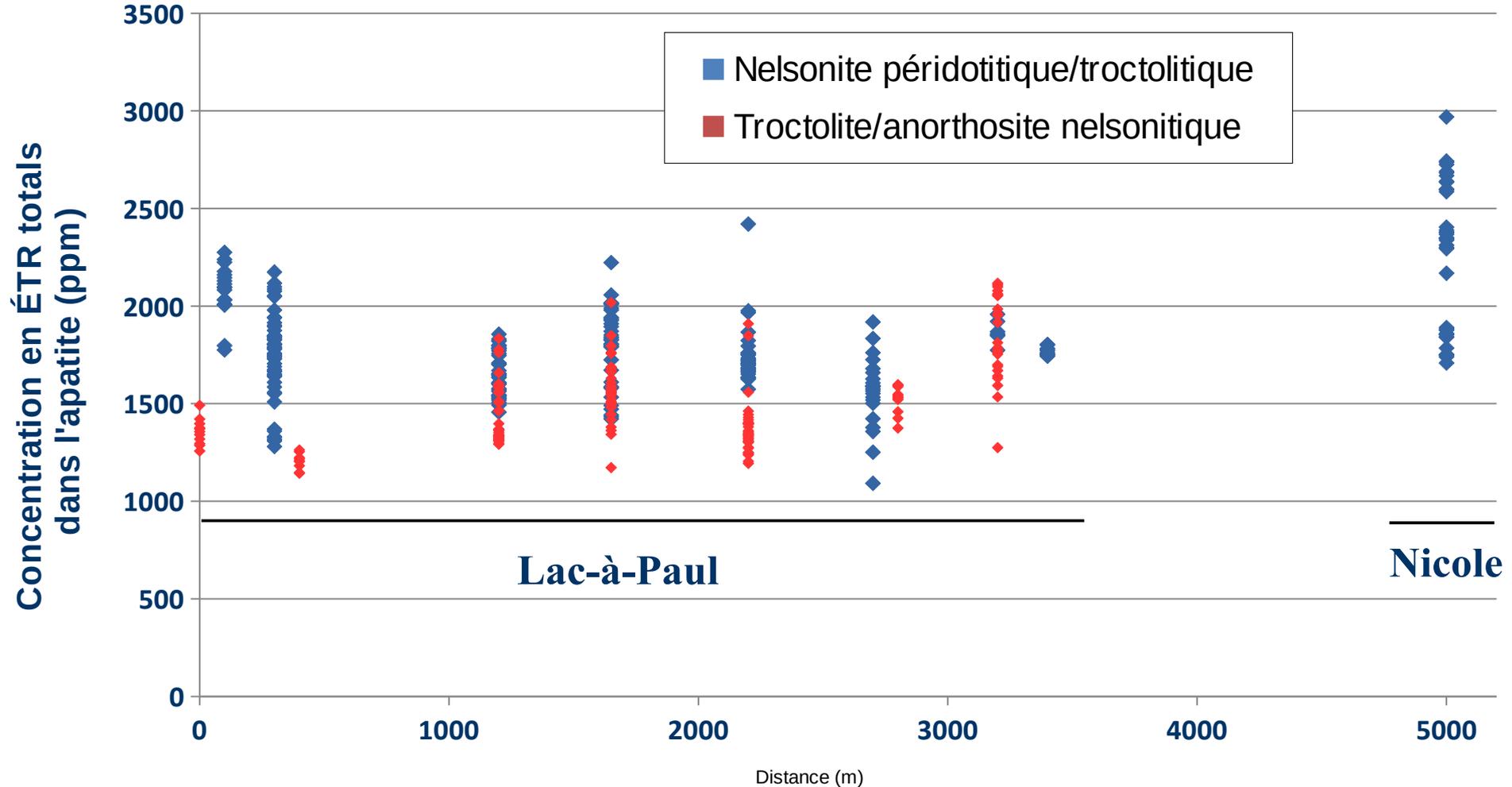
# Objectifs et méthodologie

- 1) L'apatite est-elle l'hôte principal des ÉTR?
- 2) Déterminer les facteurs qui influencent leur distribution
- 3) Établir le lien entre la nelsonite péridotitique et la troctolite nelsonitique
- 4) Déterminer si les ferrodiorites proximales au gisement sont cogénétiques avec les nelsonites du Lac-à-Paul

# Concentrations en ÉTR dans les apatites de différentes unités



# Concentrations en ÉTR dans les apatites selon leur position latérale relative



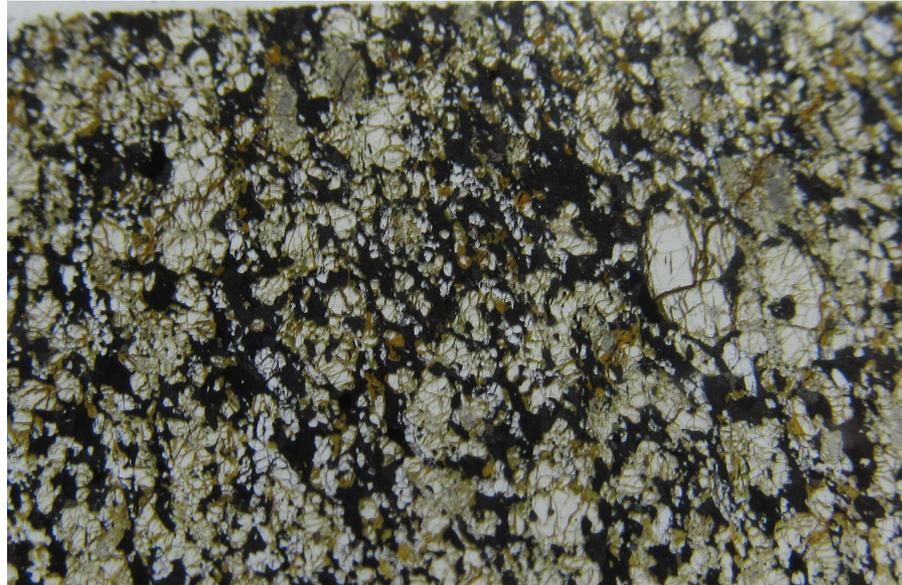
**Pas de variation latérale constante**

# Objectifs et méthodologie

- 1) L'apatite est-elle l'hôte principal des ÉTR?
- 2) Déterminer les facteurs qui influencent leur distribution
- 3) Établir le lien entre la nelsonite péridotitique et la troctolite nelsonitique
- 4) Déterminer si les ferrodiorites proximales au gisement sont cogénétiques avec les nelsonites du Lac-à-Paul

# Nelsonite péridotitique

Apatite + oxydes de fer + olivine  
± plagioclase ± clinopyroxene

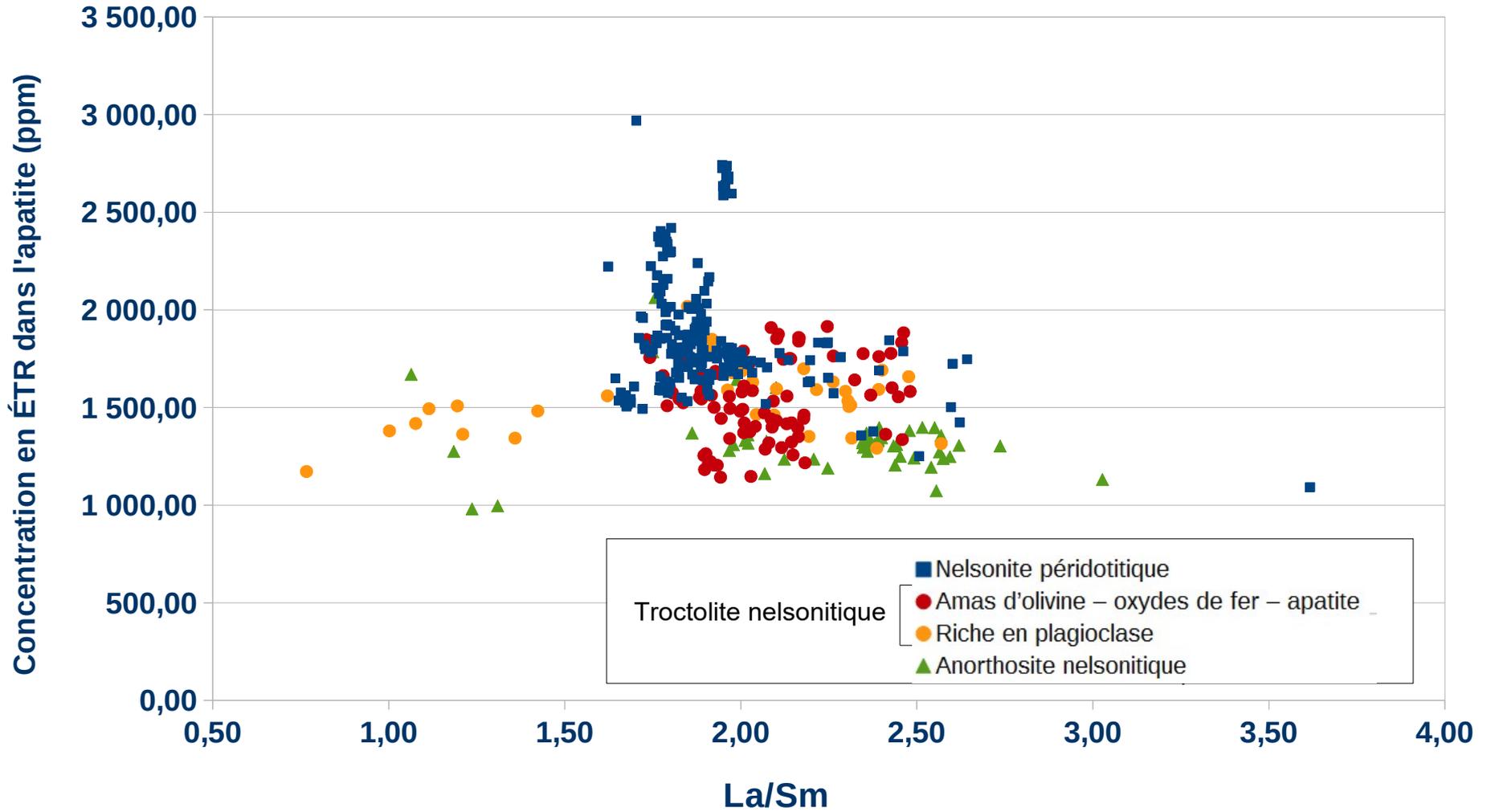


# Troctolite nelsonitique

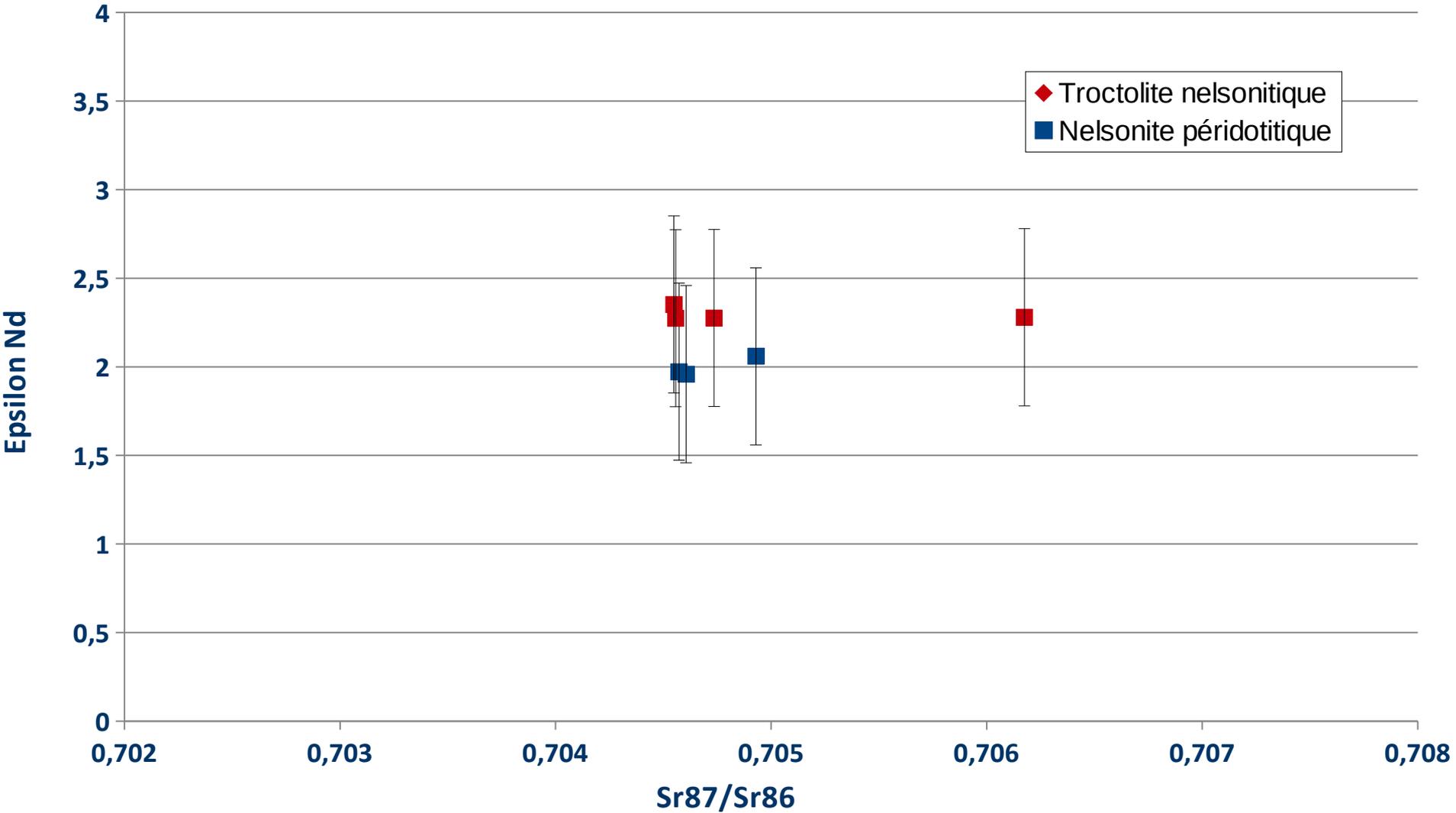
Plagioclase + apatite + oxydes de fer  
+ olivine ± clinopyroxene



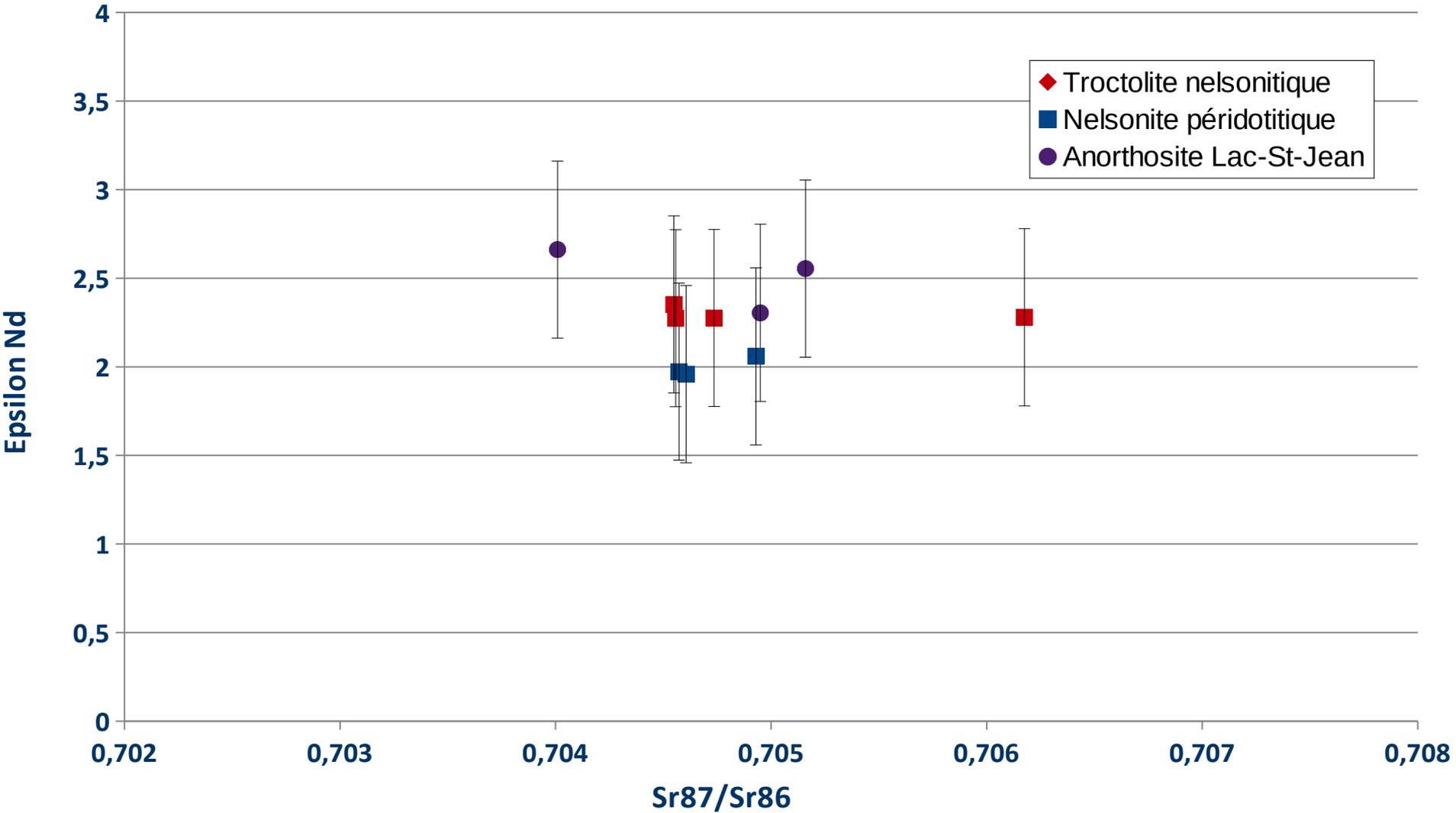
# Comparaison des ÉTR dans les apatites

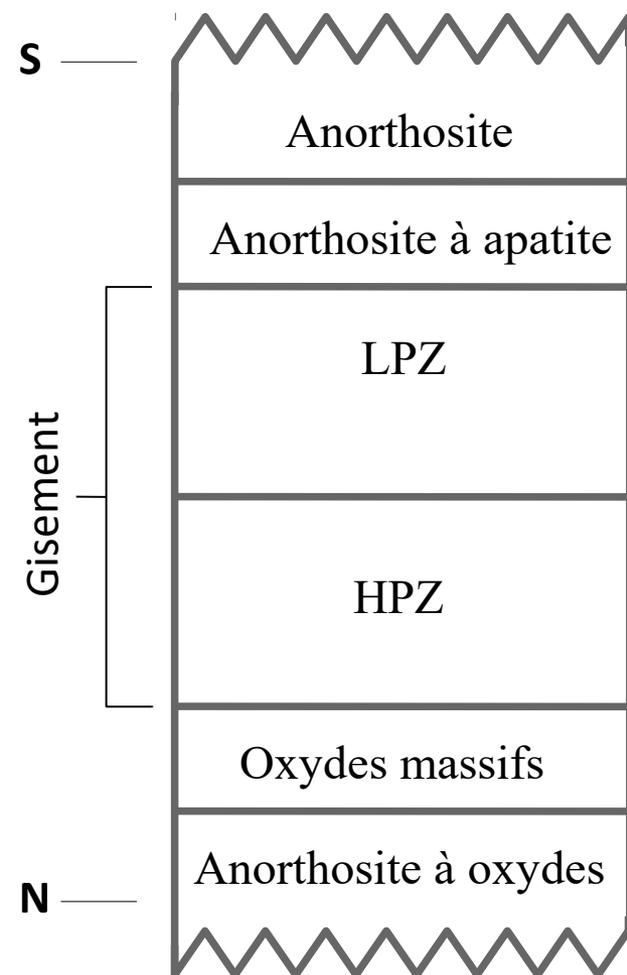


# Comparaison des analyses isotopiques

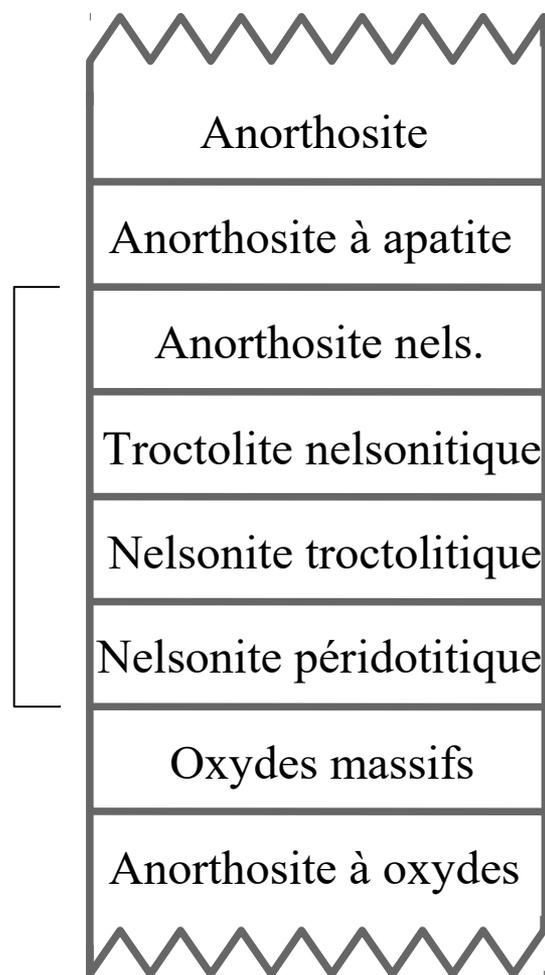


# Comparaison des analyses isotopiques

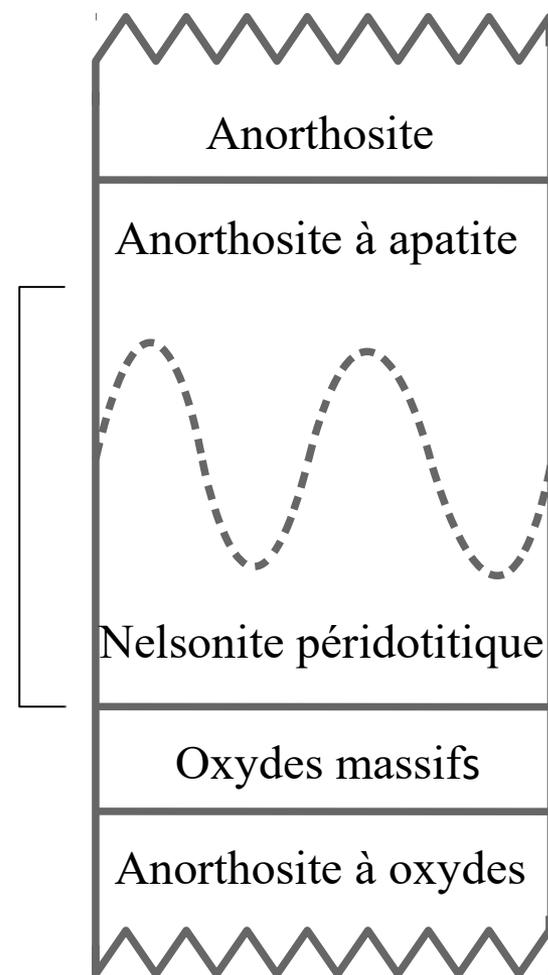




Deux injections

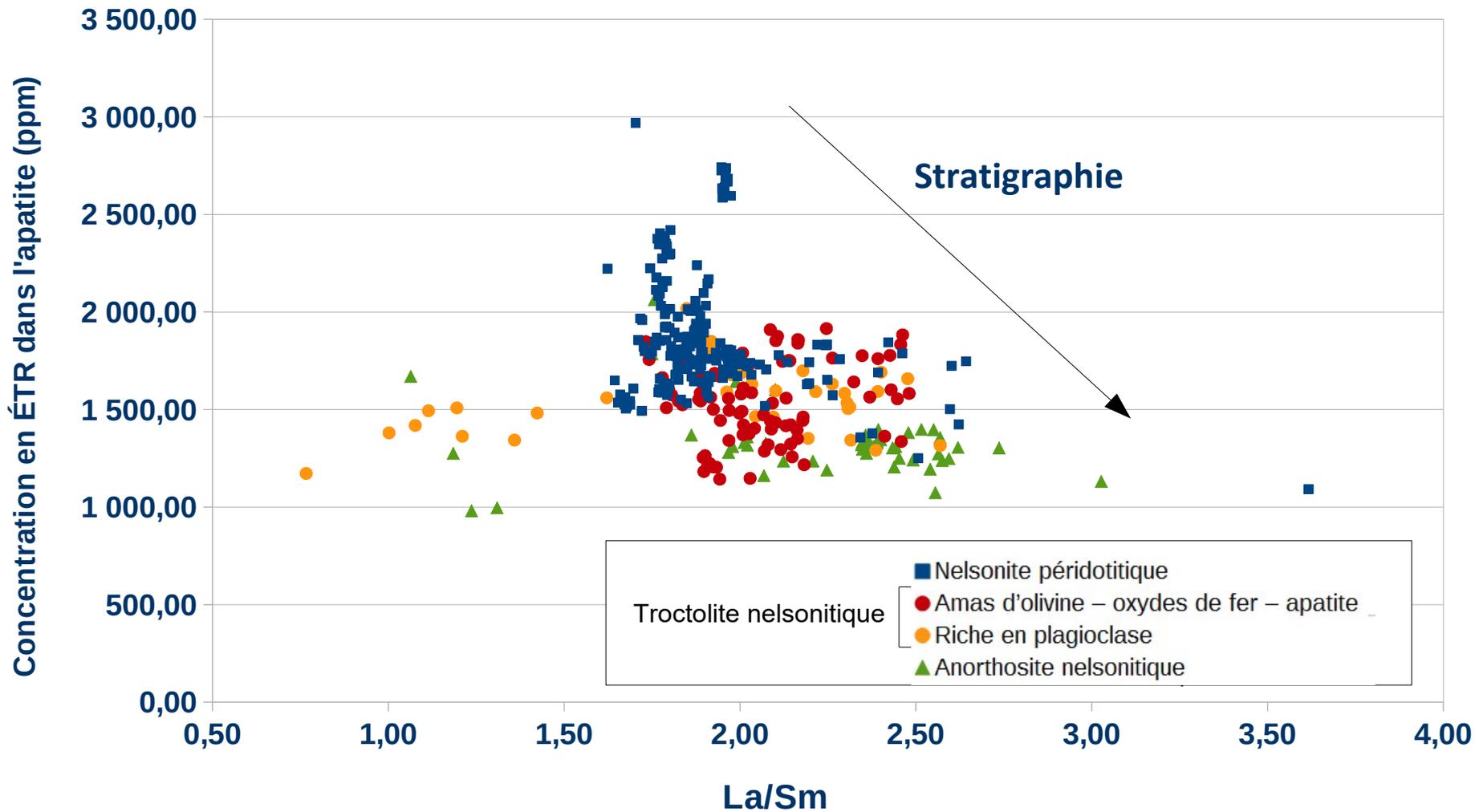


Cristallisation fractionnée



Séparation de deux liquides immiscibles

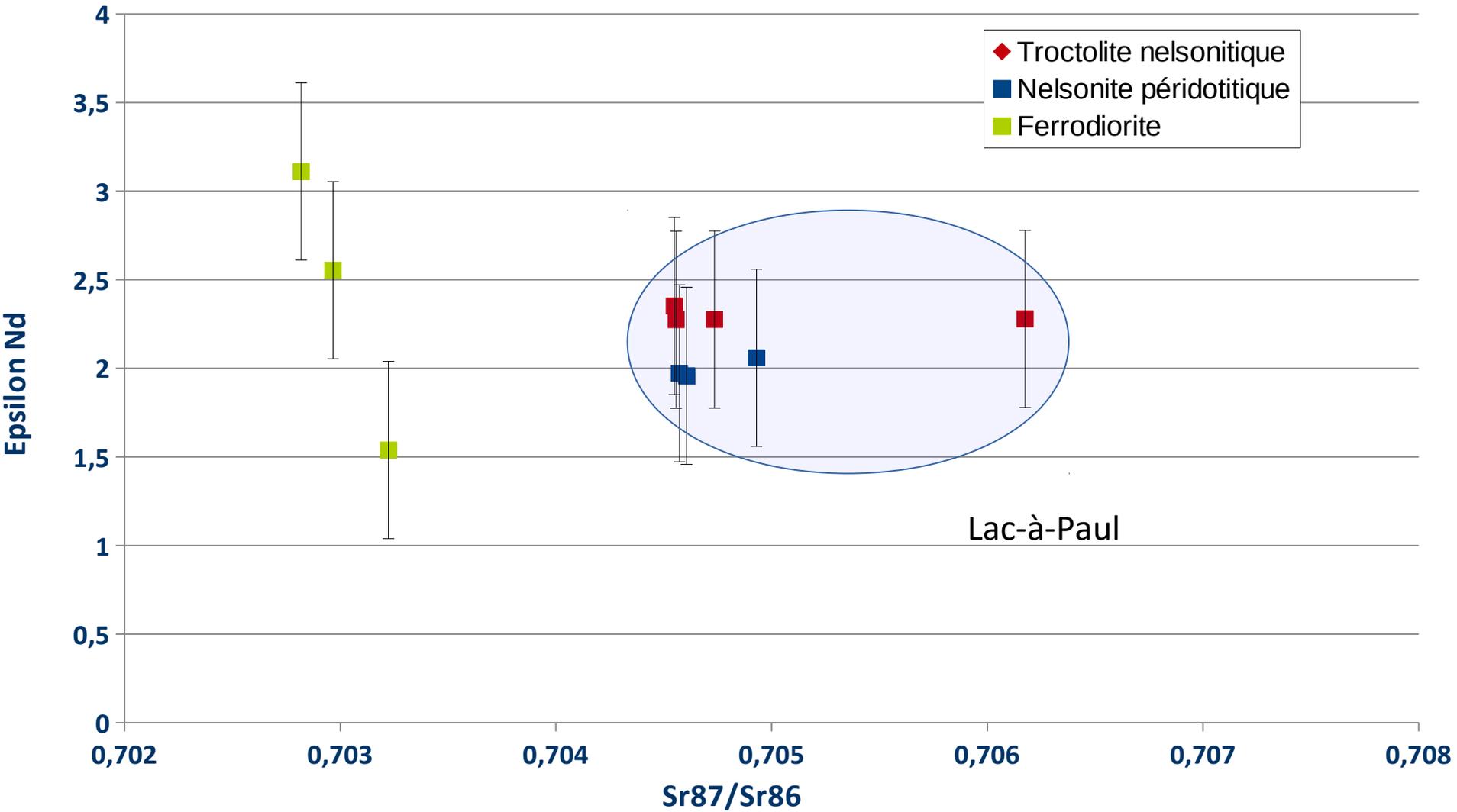
# Comparaison des ÉTR dans les apatites



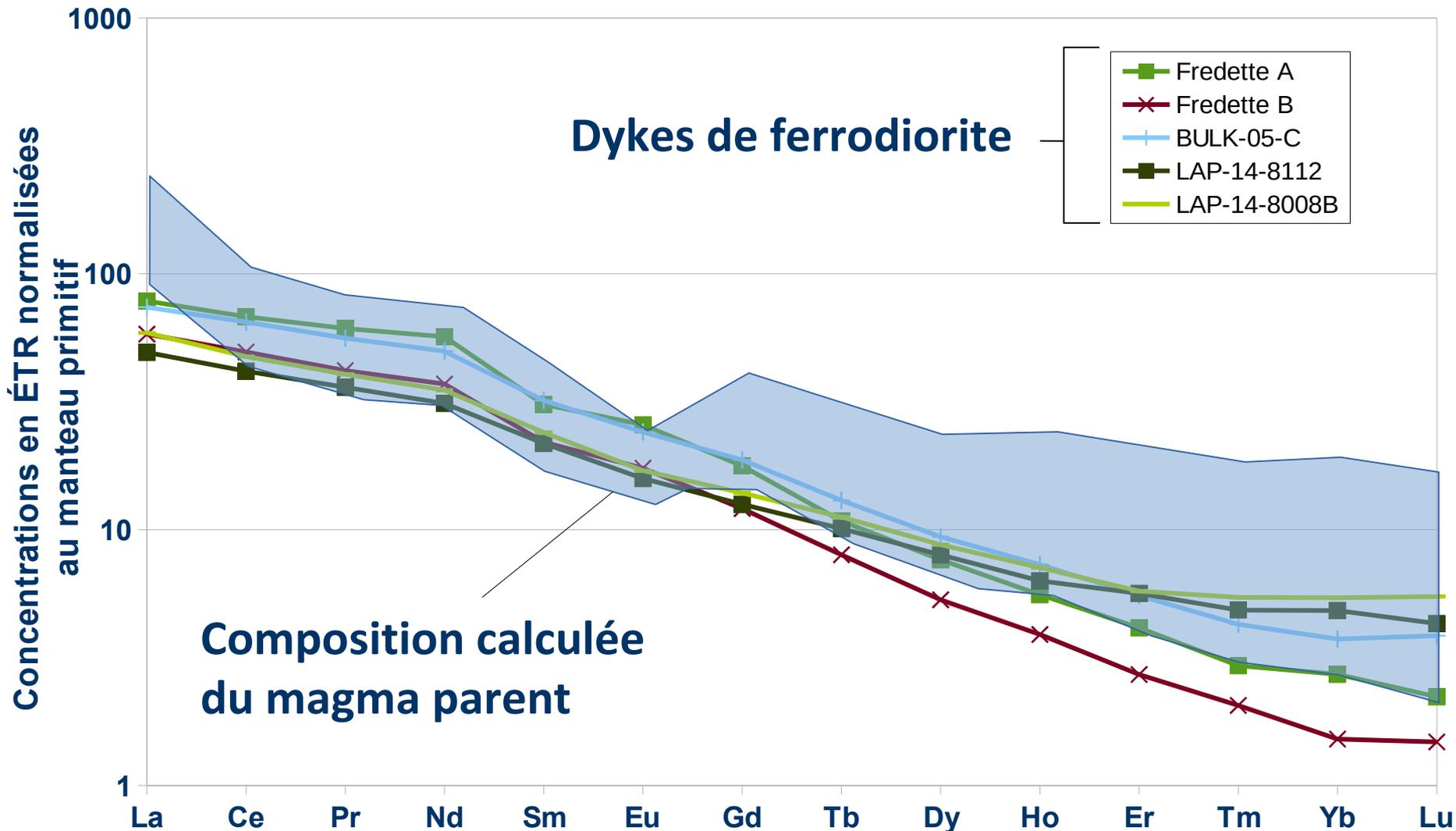
# Objectifs et méthodologie

- 1) L'apatite est-elle l'hôte principal des ÉTR?
- 2) Déterminer les facteurs qui influencent leur distribution
- 3) Établir le lien entre la nelsonite péridotitique et la troctolite nelsonitique
- 4) Déterminer si les ferrodiorites proximales au gisement sont cogénétiques avec les nelsonites du Lac-à-Paul

# Comparaison des analyses isotopiques



# Comparaison entre les ferrodiorites et le magma parent calculé



# Conclusion

**Apatite est bel et bien l'hôte principal des ÉTR**

**Les unités du LAP et l'anorthosite sont cogénétiques**

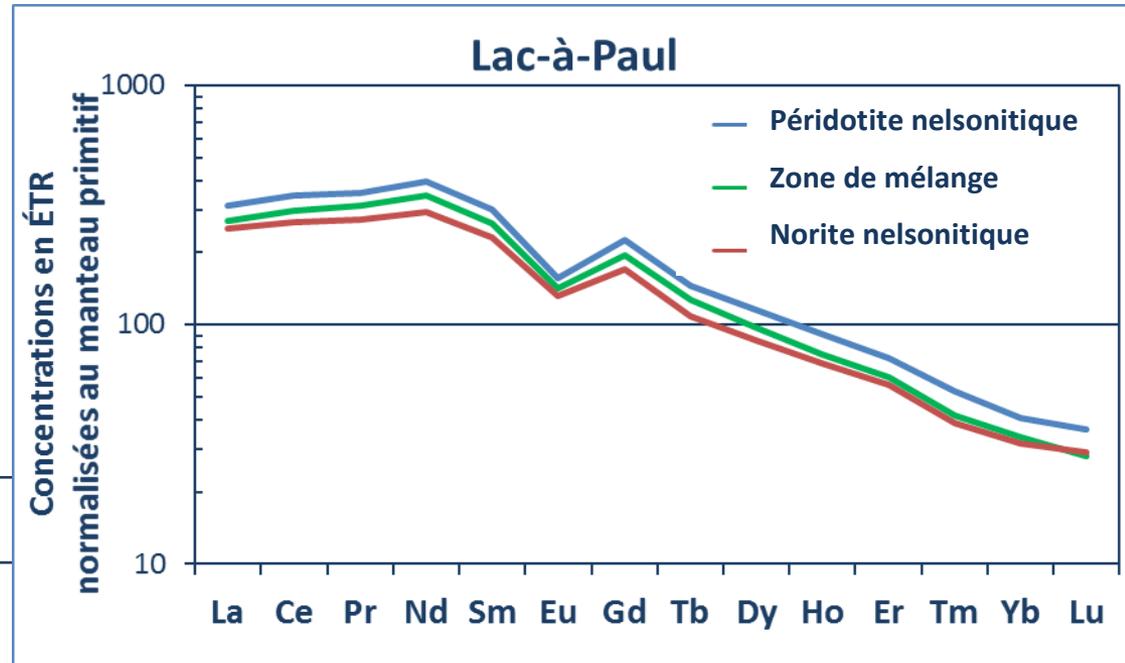
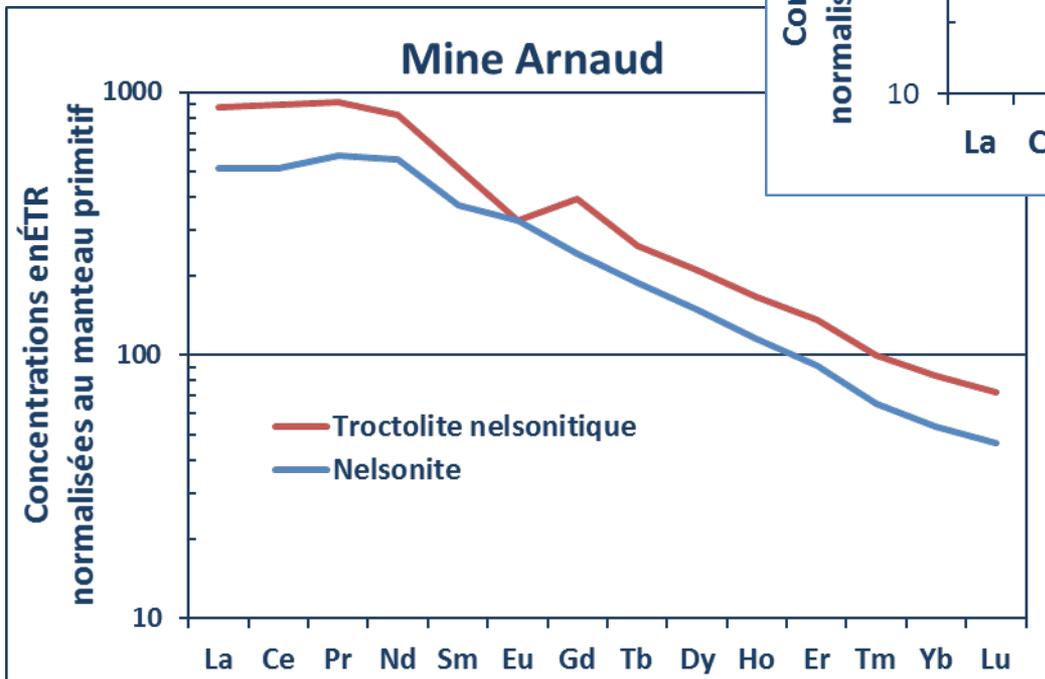
**Implication des ferrodiorites dans la formation du gisement?**

**Meilleure compréhension du gisement du Lac-à-Paul**

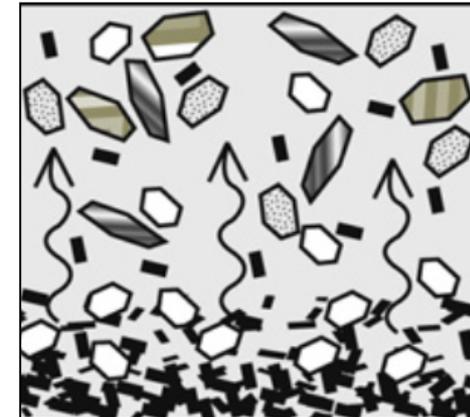
**Qu'est-ce qui explique les différences observées avec les gisement de Fe-Ti-P typique?**

# Mine Arnaud vs Lac-à-Paul

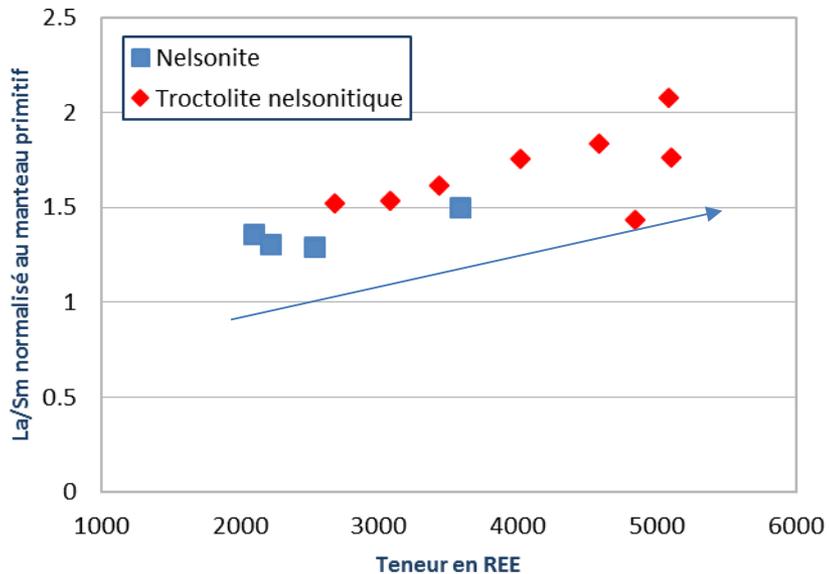
Concentrations en ÉTR dans les apatites de différentes unités



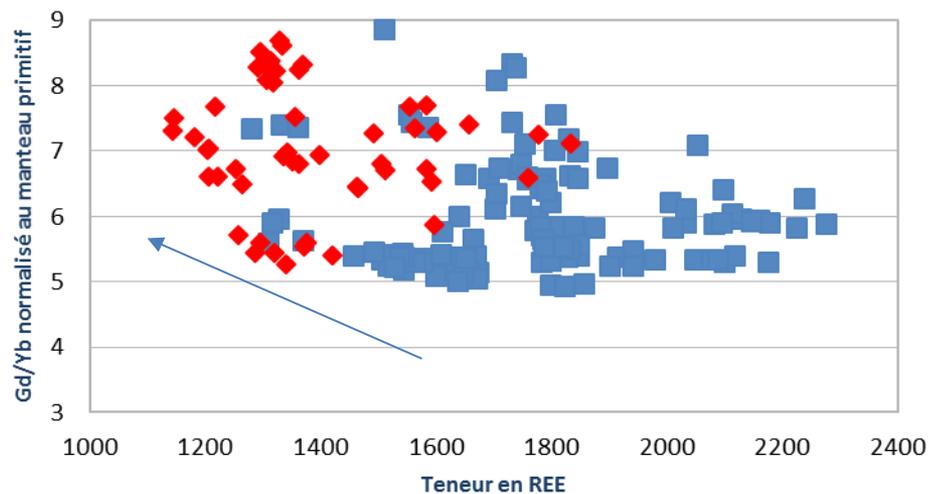
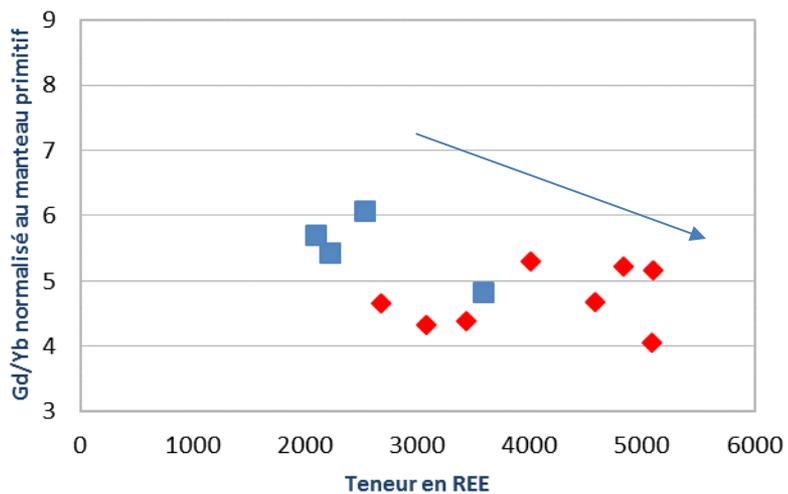
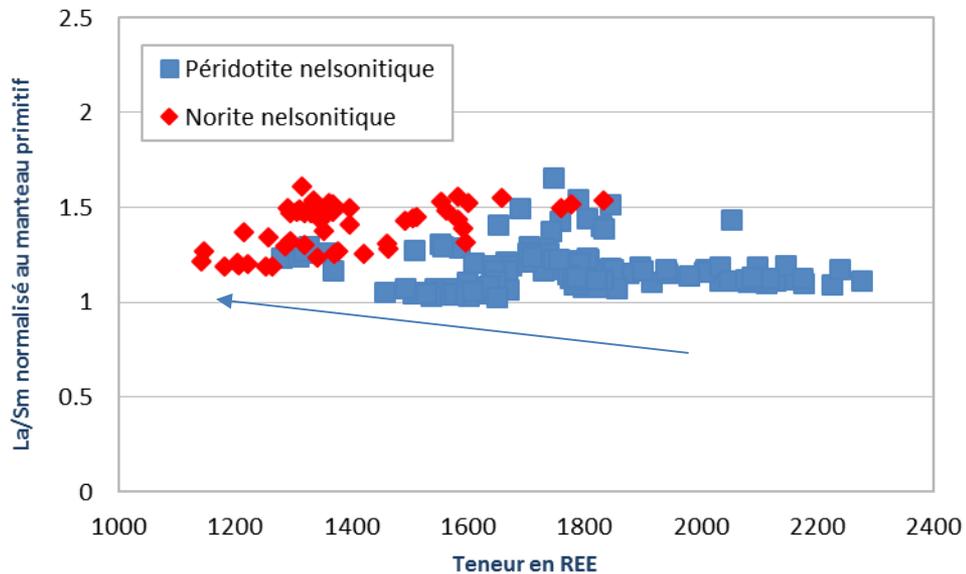
Mine Arnaud:  
Liquide  
devient plus  
évolué plus on  
monte dans la  
séquence



## Mine Arnaud



## Lac-à-Paul



**Coefficient de partition de l'apatite**

**La < Sm  
Gd > Yb**