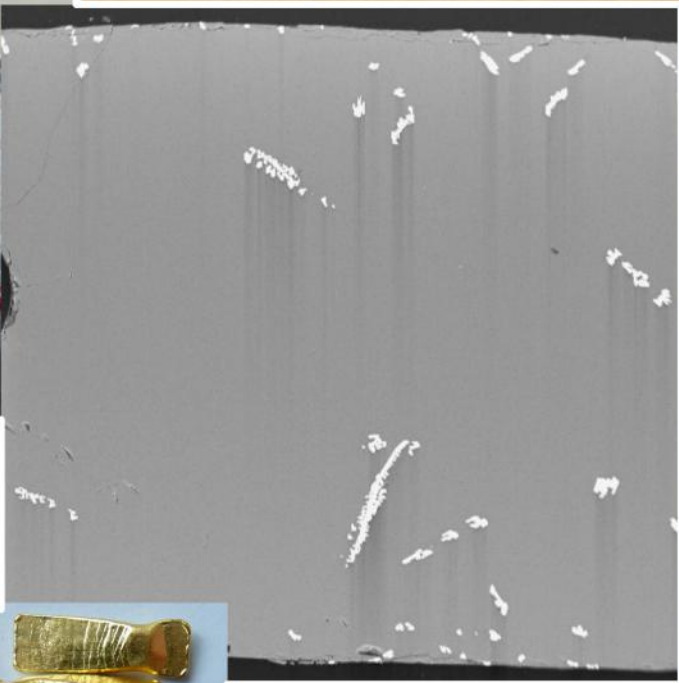


Les minéraux porteurs de métaux stratégiques dans les pegmatites vus à travers les expériences en cristallisation

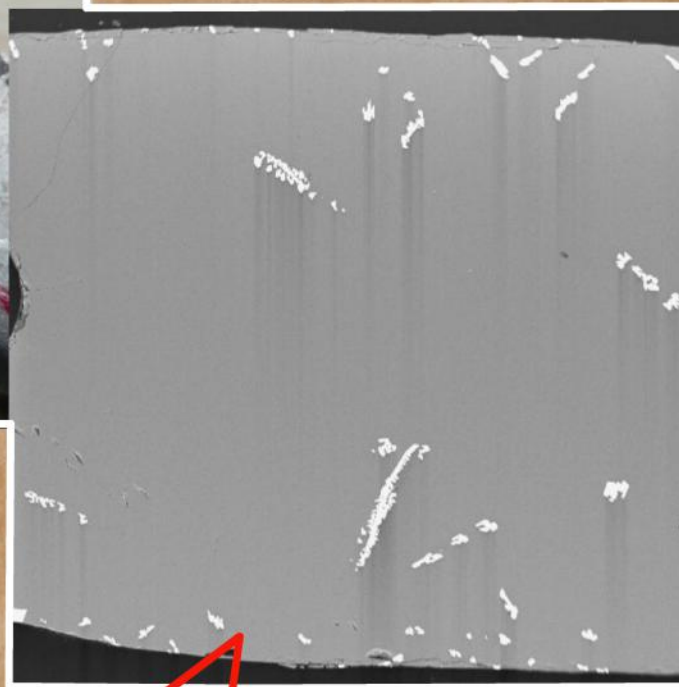
Marieke Van Lichtervelde



La présentation d'aujourd'hui



1. Ce qu'on sait des processus de formation des pegmatites

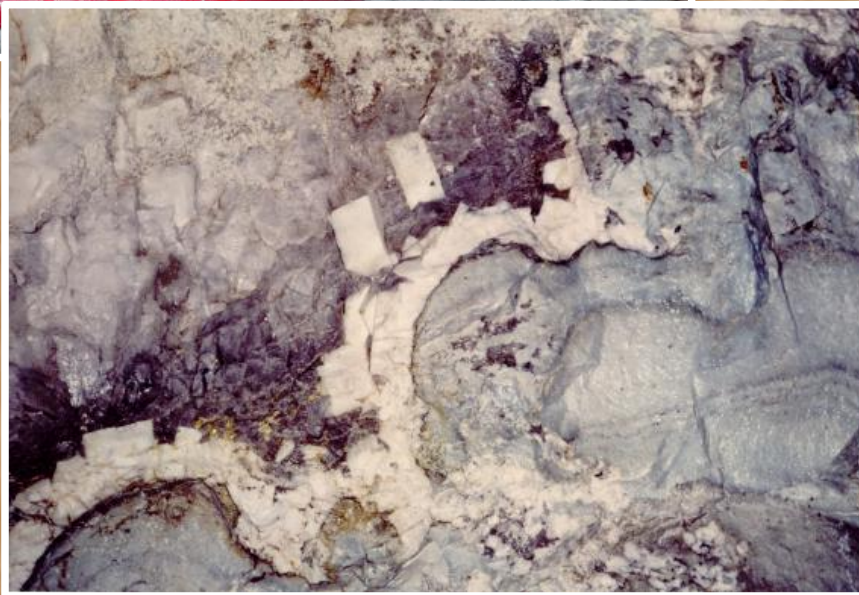
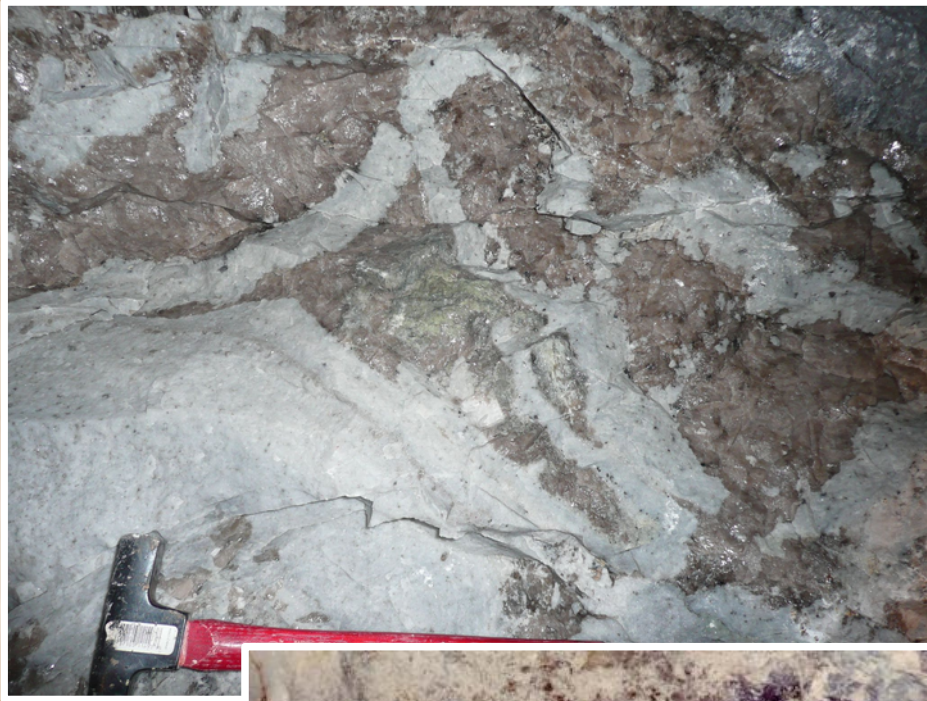


2. Ce qu'on apprend de la pétrologie expérimentale

3. Les implications pour l'exploration des métaux stratégiques



1. Les processus de formation des pegmatites



1. Les processus de formation des pegmatites

La recette magique :

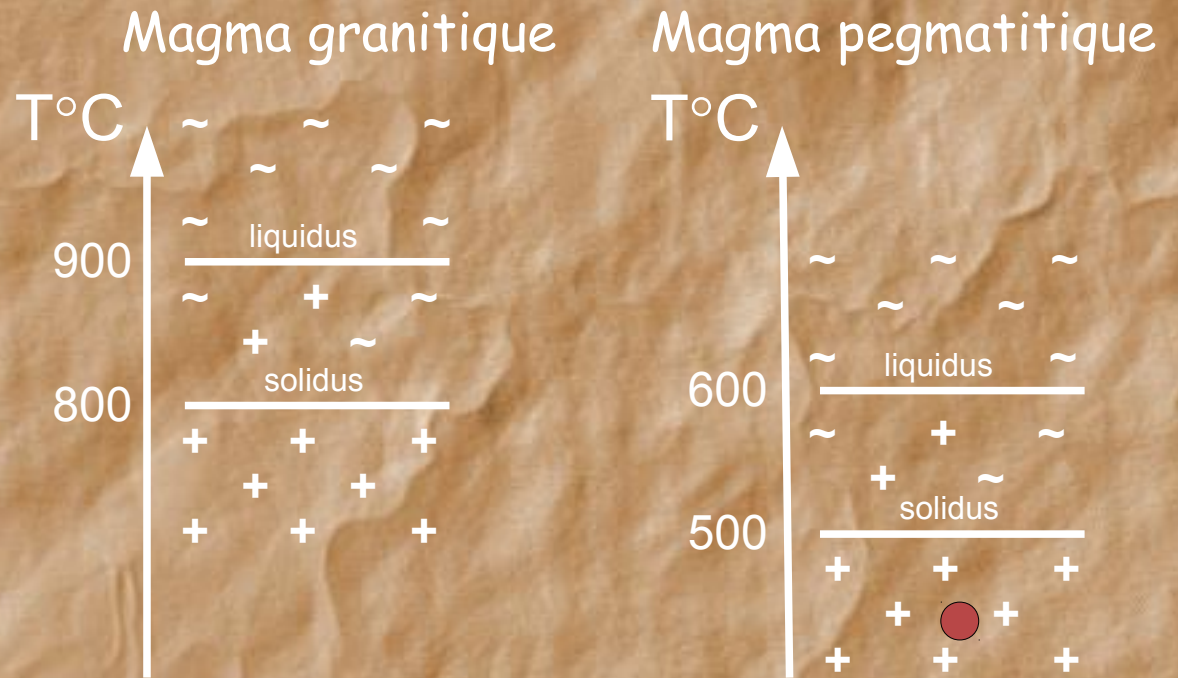
- ☹ Un magma Si-Al-Na-K avec $ASI > 1$ ou < 1
- ☹ Des éléments fluants : Li, F, B, P, Cl...
- ☹ Beaucoup d'eau $> 10\%$

- diminue la viscosité du magma (liquide supercritique)
- inhibe la nucléation des cristaux (retard à la cristallisation)
- diminue le solidus du magma
- augmente les vitesses de diffusion des éléments
- influence les cinétiques de cristallisation
- augmente la solubilité des métaux rares



1. Les processus de formation des pegmatites

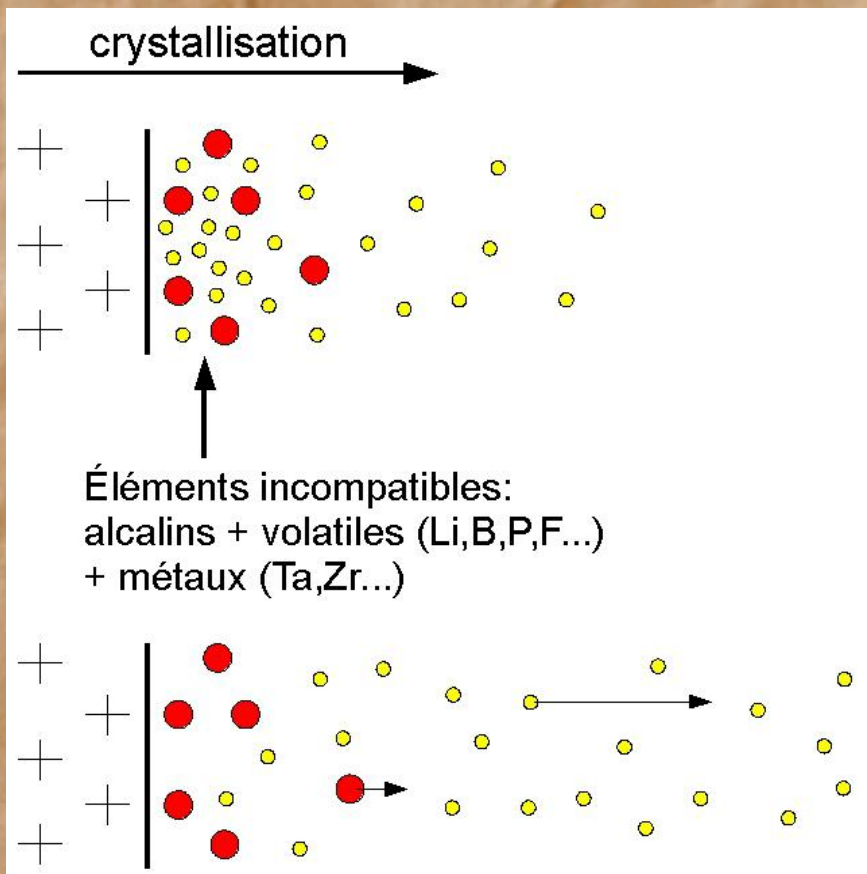
→ notion de sur-refroidissement (supercooling) ou surfusion



→ Cristallisation rapide et en déséquilibre

1. Les processus de formation des pegmatites

→ notions de couche-limite et d'immiscibilité



1. Les processus de formation des pegmatites



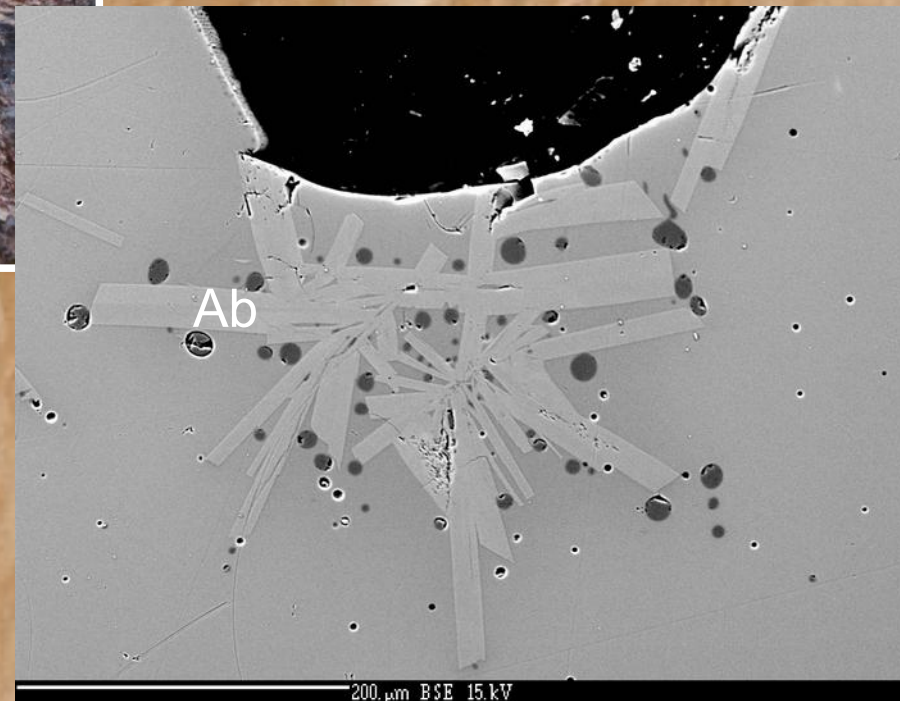
Starting glass:

SiO ₂	60 wt%
Al ₂ O ₃	20 wt%
Na ₂ O	7.2 wt%
K ₂ O	3.8 wt%
F	5.5 wt%
P ₂ O ₅	2.5 wt%
Li ₂ O	1.7 wt%
B ₂ O ₃	2.8 wt%

Bartels 2012 unpublished

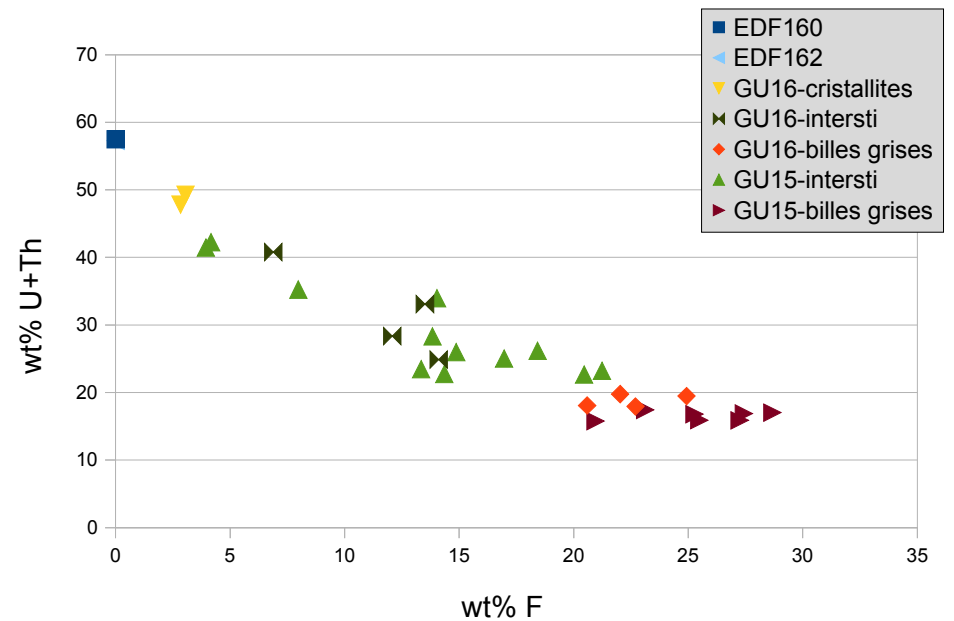
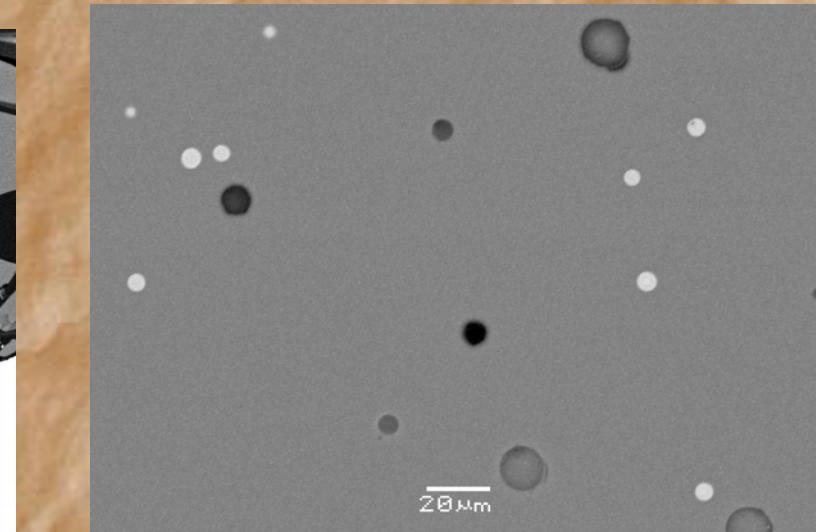
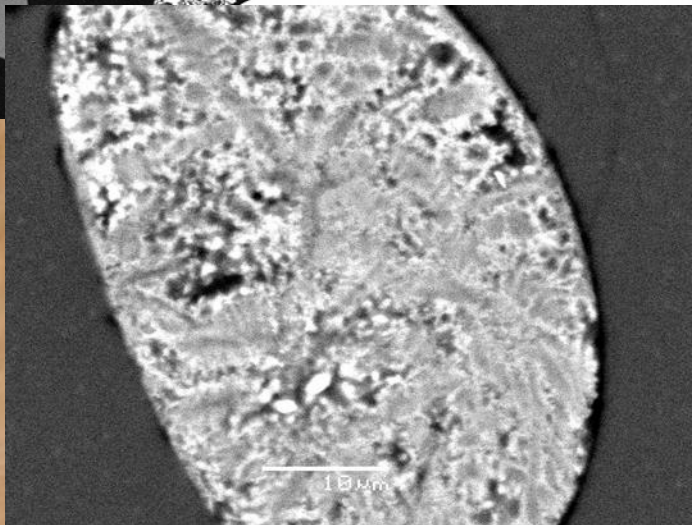
Immiscible melt:

SiO ₂	0.2 wt%
Al ₂ O ₃	25 wt%
Na ₂ O	12 wt%
K ₂ O	0.4 wt%
F	48 wt%
P ₂ O ₅	23 wt%



2. Apport des expériences en cristallisation

Dissolution de monazite à U-Th



2. Apport des expériences en cristallisation

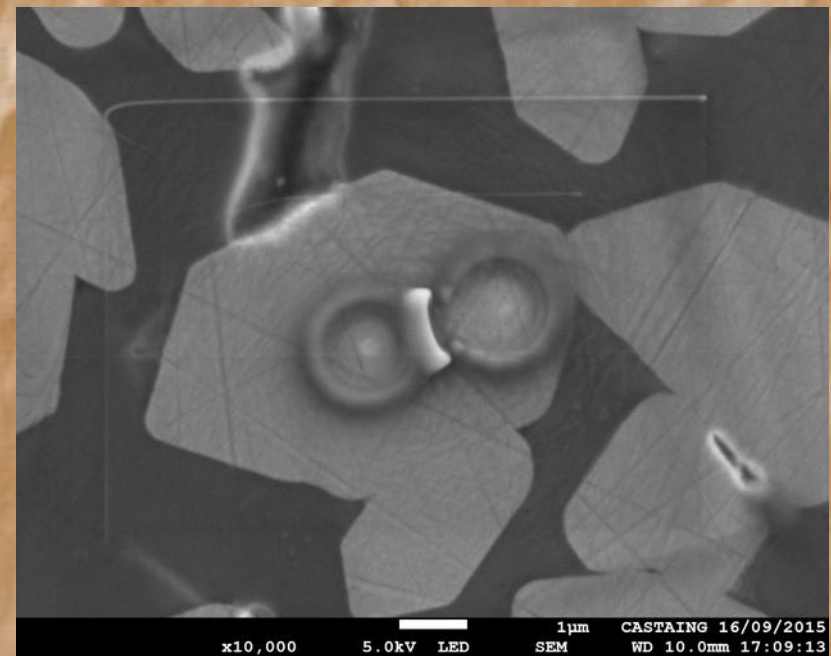
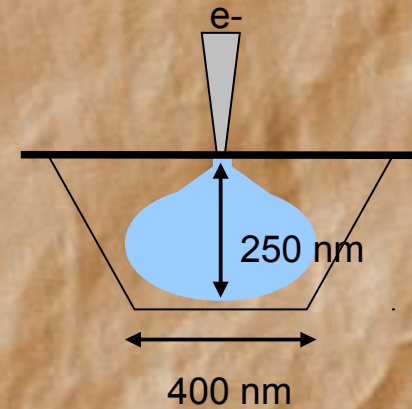
Les difficultés des expériences en cristallisation:

- Cristalliser des phases minérales à l'équilibre avec un magma, dans un temps raisonnable (mois)
- Analyser les produits expérimentaux souvent petits ($< 1\mu\text{m}$)

Nos atouts :

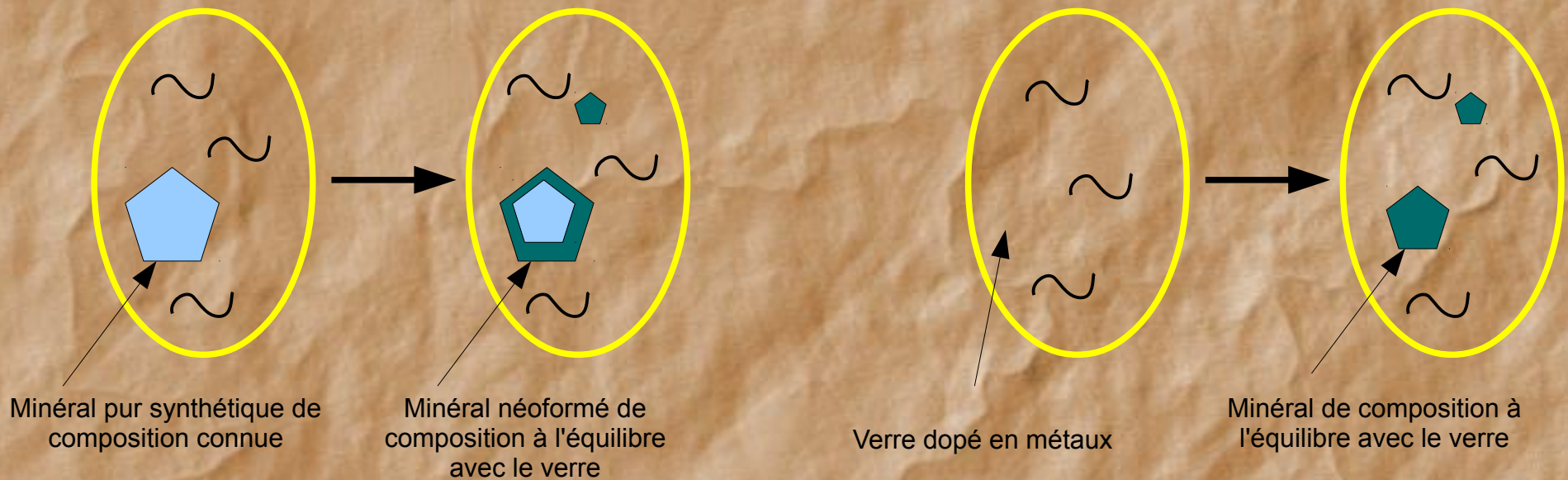
- Des liquides aluminosilicatés enrichis en eau et fluants (Li~1 wt %, F~3 wt %, P~3 wt %)
 - augmentent les cinétiques de cristallisation
- MEB et microsonde à technologie FEG (field emission gun)

2. Apport des expériences en cristallisation



2. Apport des expériences en cristallisation

Deux types d'expériences en cristallisation :

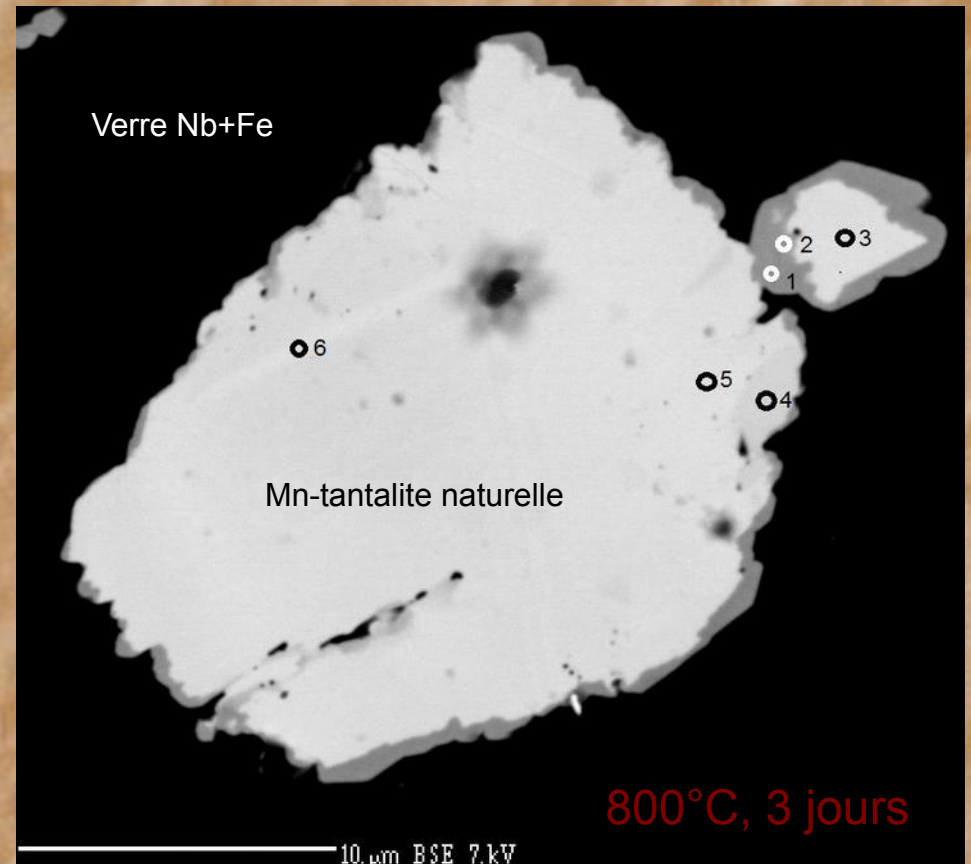
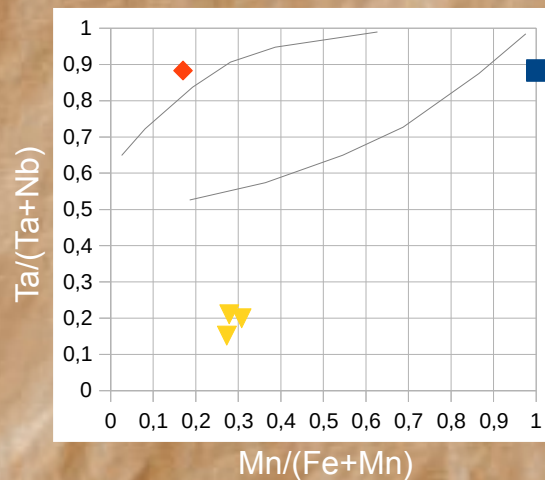
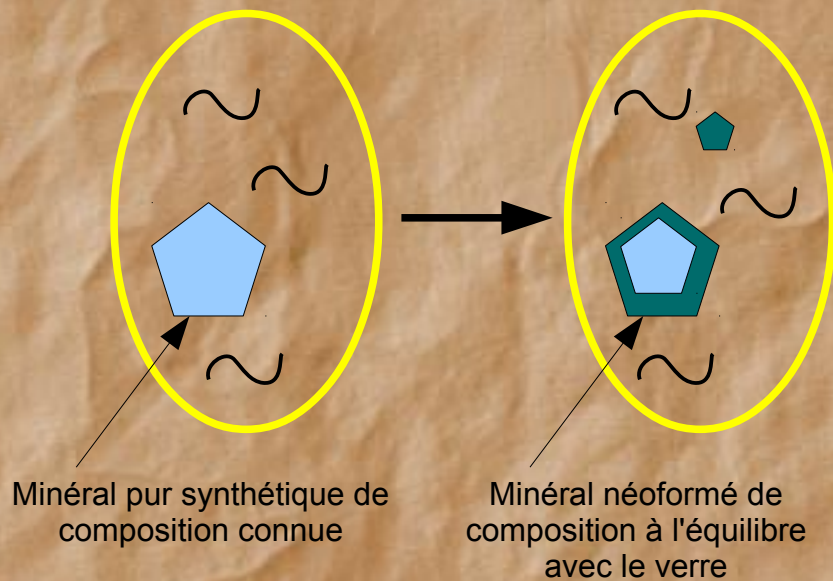


- Dissolution-reprécipitation à partir de cristaux synthétiques

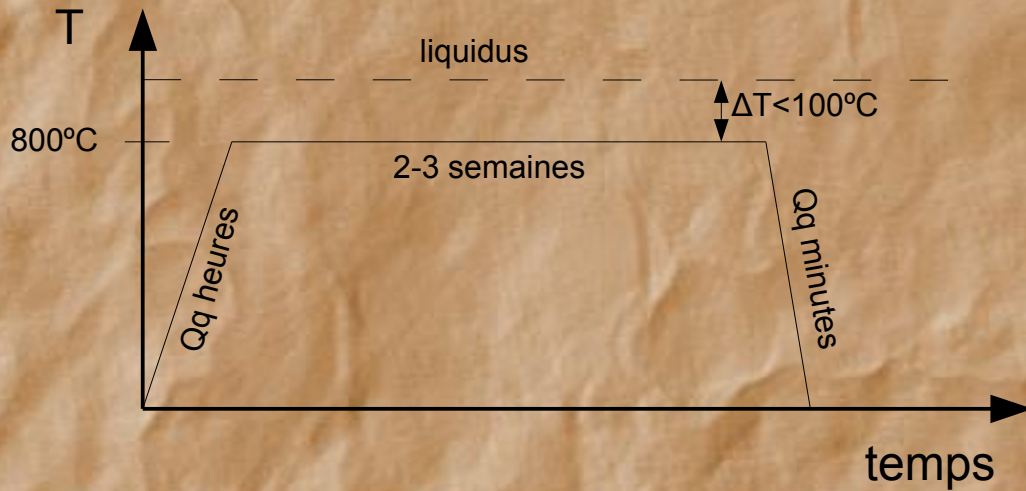
- Cristallisation à partir de verres homogènes dopés

2. Apport des expériences en cristallisation

Deux types d'expériences en cristallisation :

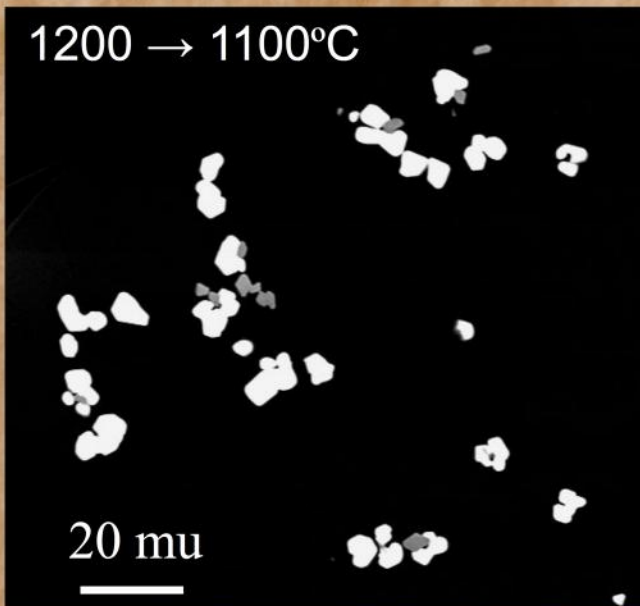
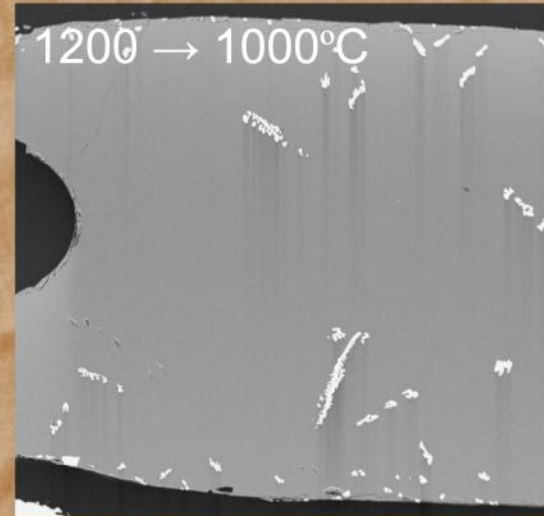
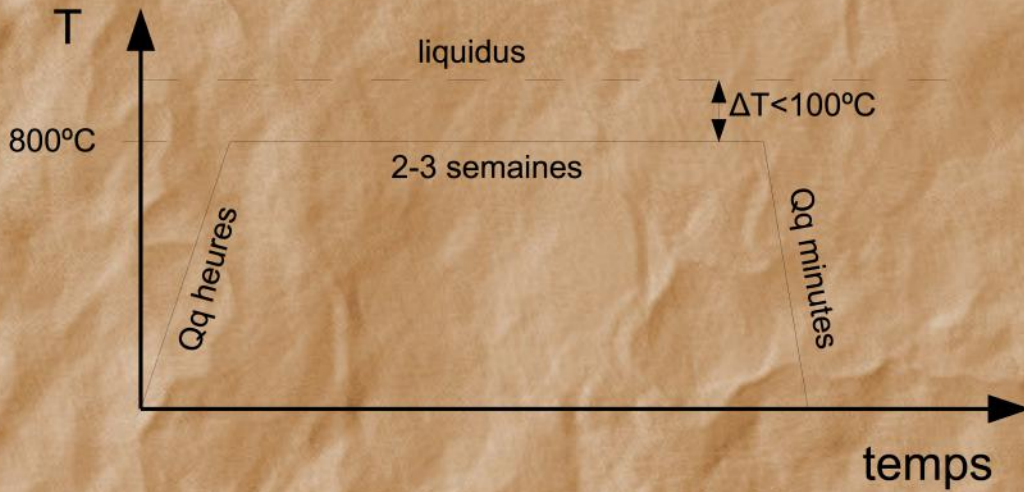


2. Apport des expériences en cristallisation

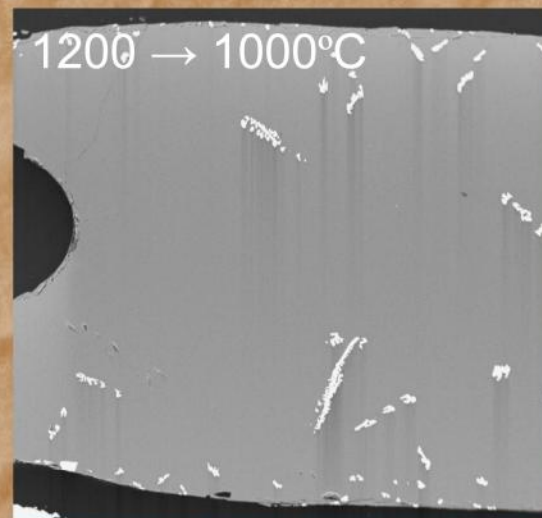
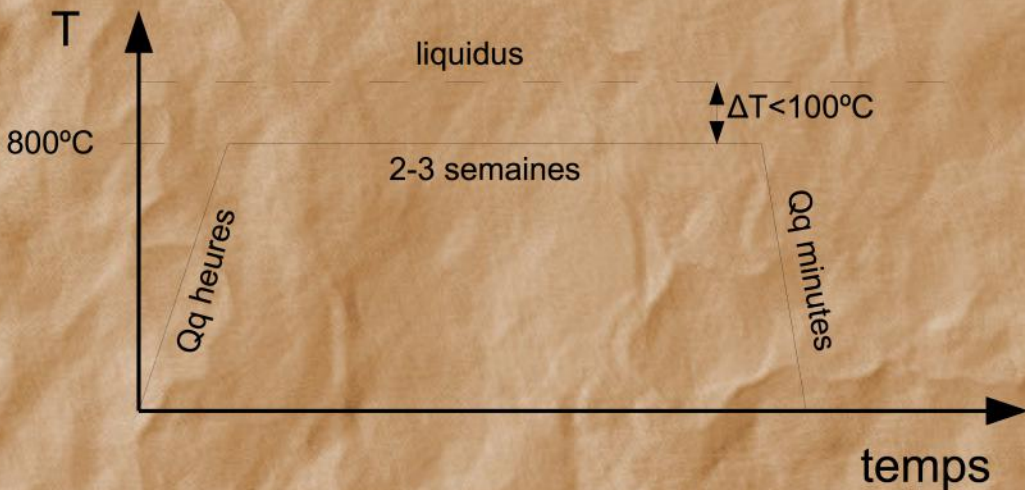


Les chemins de cristallisation

2. Apport des expériences en cristallisation



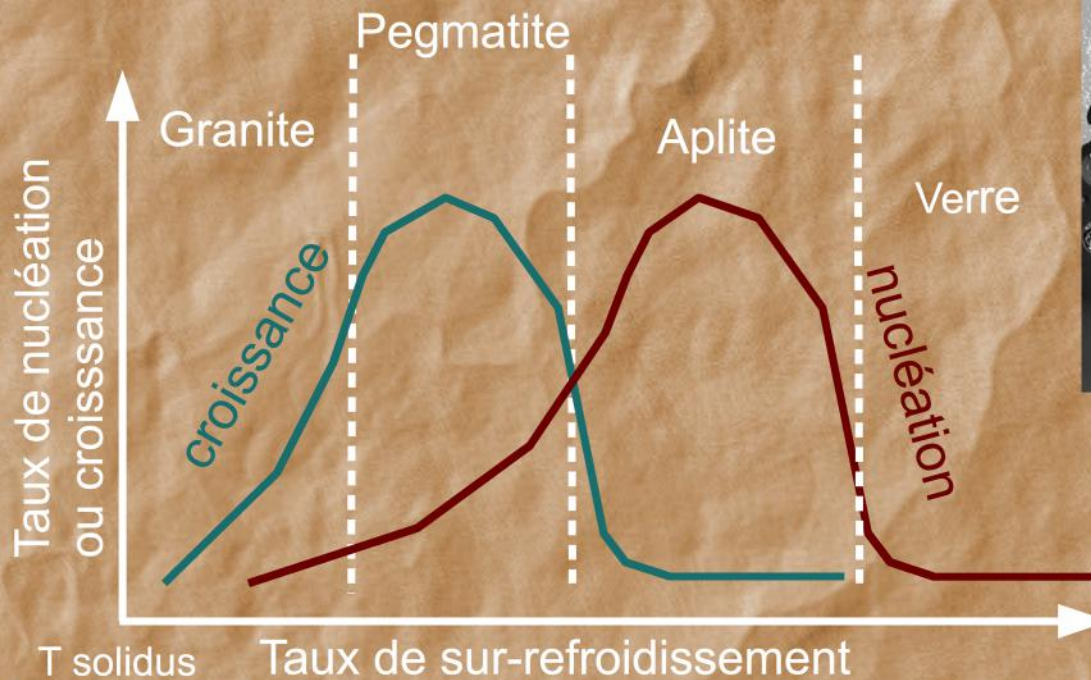
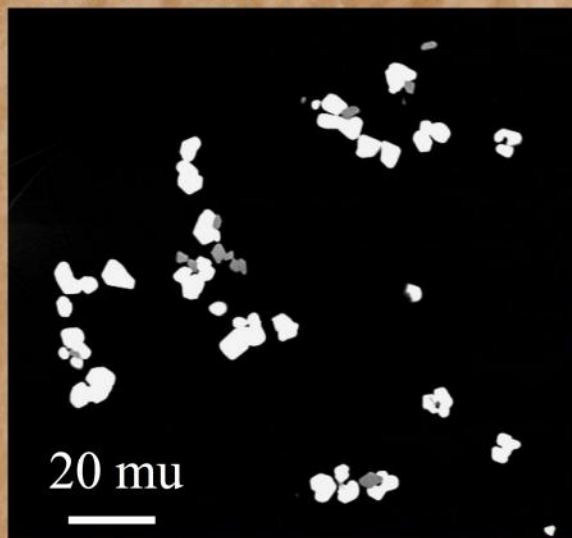
2. Apport des expériences en cristallisation



1500 → 1000°C

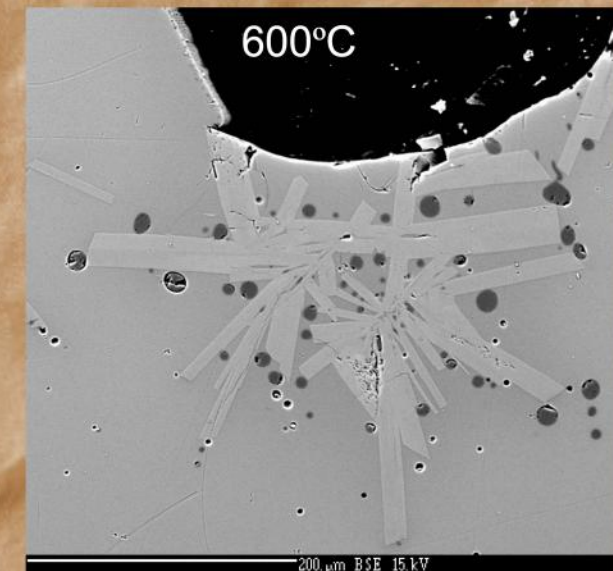
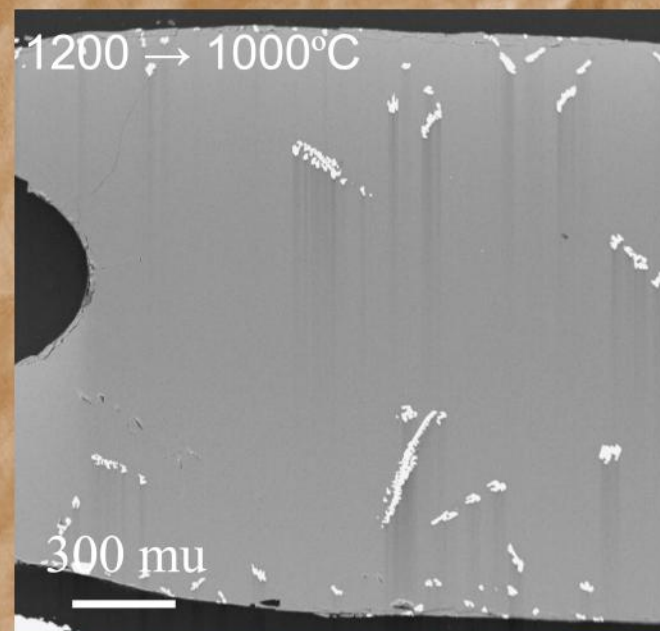
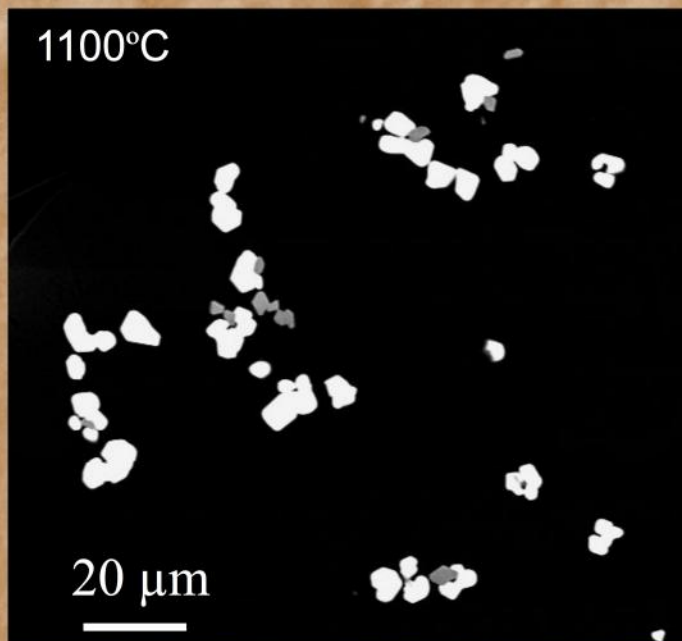
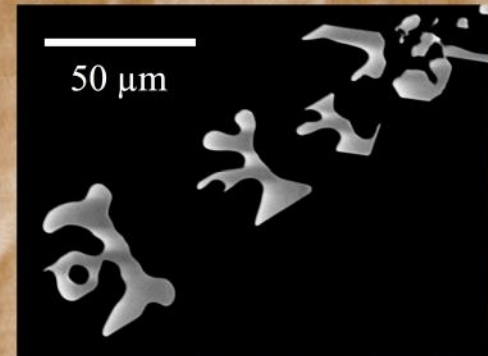


1200 → 1100°C



2. Apport des expériences en cristallisation

- solubilité des métaux
- spéciation des métaux, affinités/compétition entre eux
 - coefficients de partage
- effets du sur-refroidissement
- phénomènes d'immiscibilité

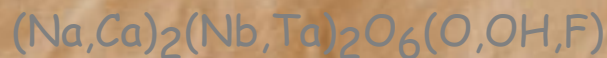


2. Apport des expériences en cristallisation

Les minéraux accessoires porteurs de métaux rares

périalcalin NYF

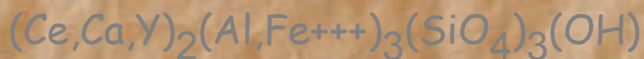
Pyrochlore



Euxénite



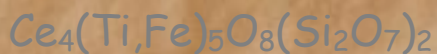
Allanite



Fergusonite



Chevkinite



Eudyalite



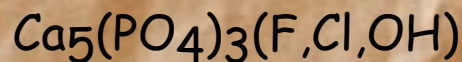
Zircon



Monazite



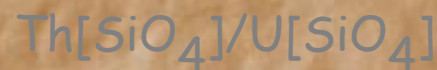
Apatite



Xénotime



Huttonite/ Coffinite

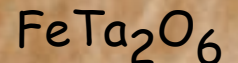


périalumineux LCT

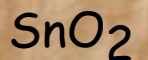
Colombo-tantalite



Tapiolite



Cassiterite



Rutile



Microlite

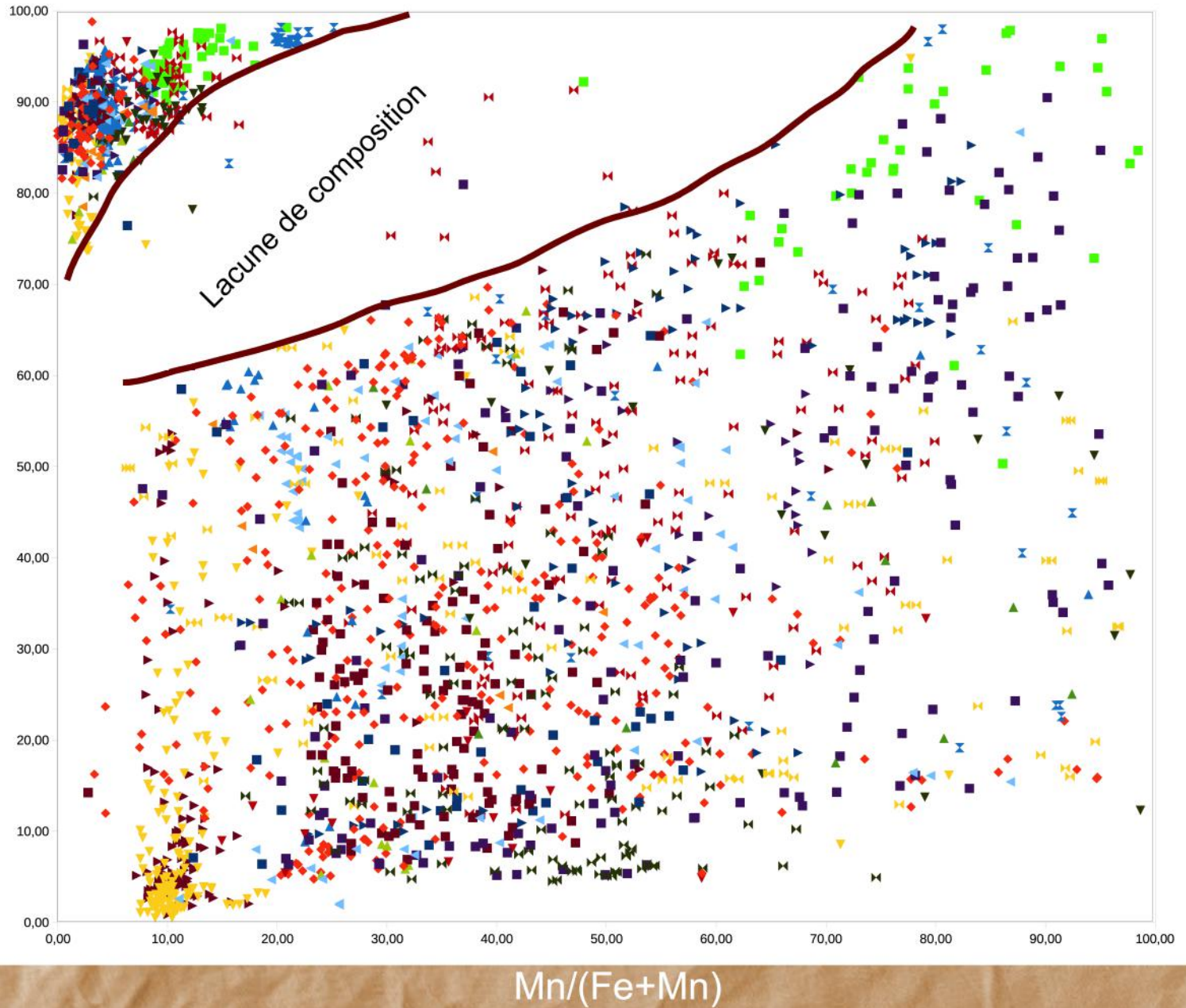


Uraninite/ Thorite



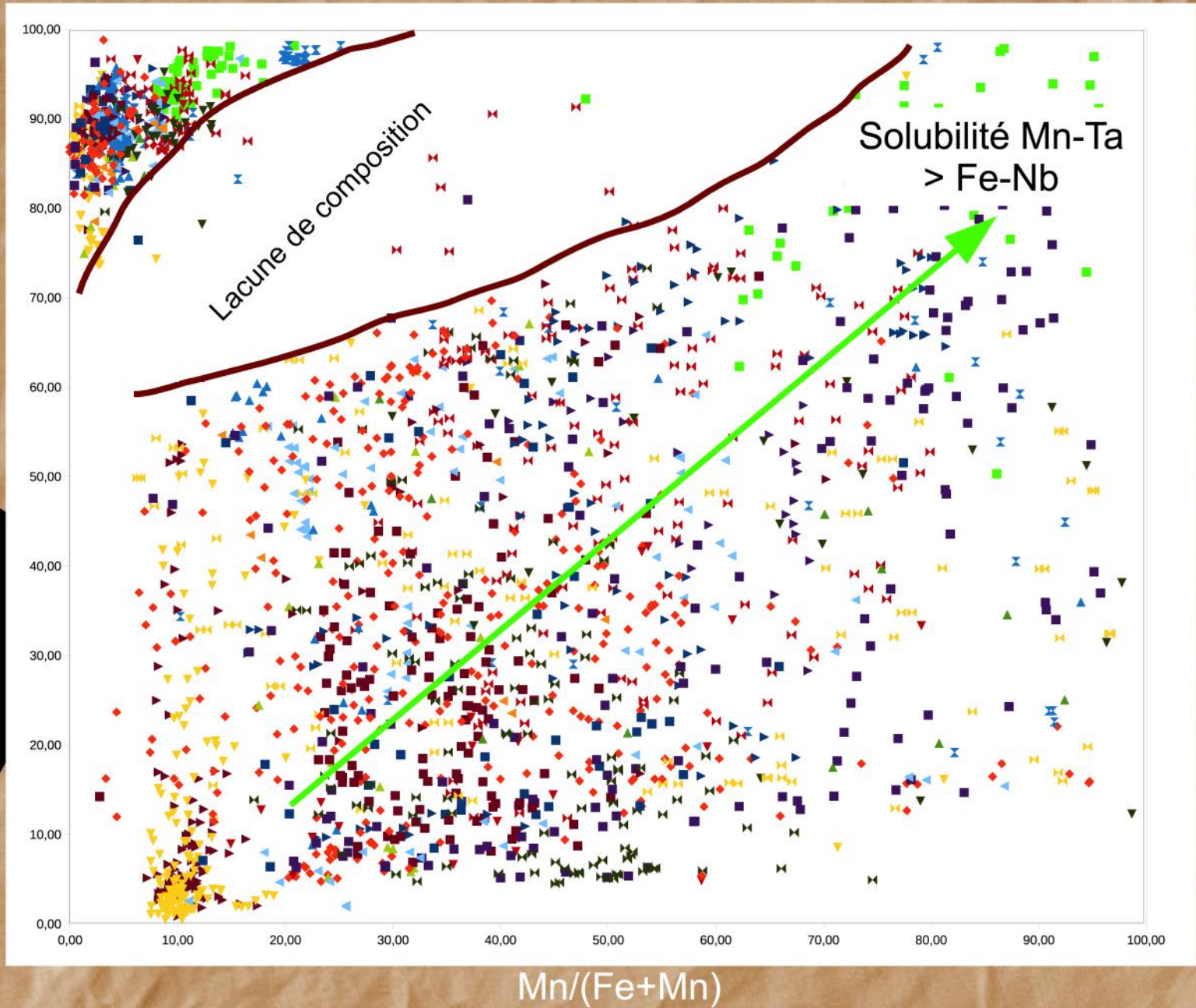
2. Apport des expériences en cristallisation

Colombo-
tantalite
 $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$
Tapiolite
 FeTa_2O_6



2. Apport des expériences en cristallisation

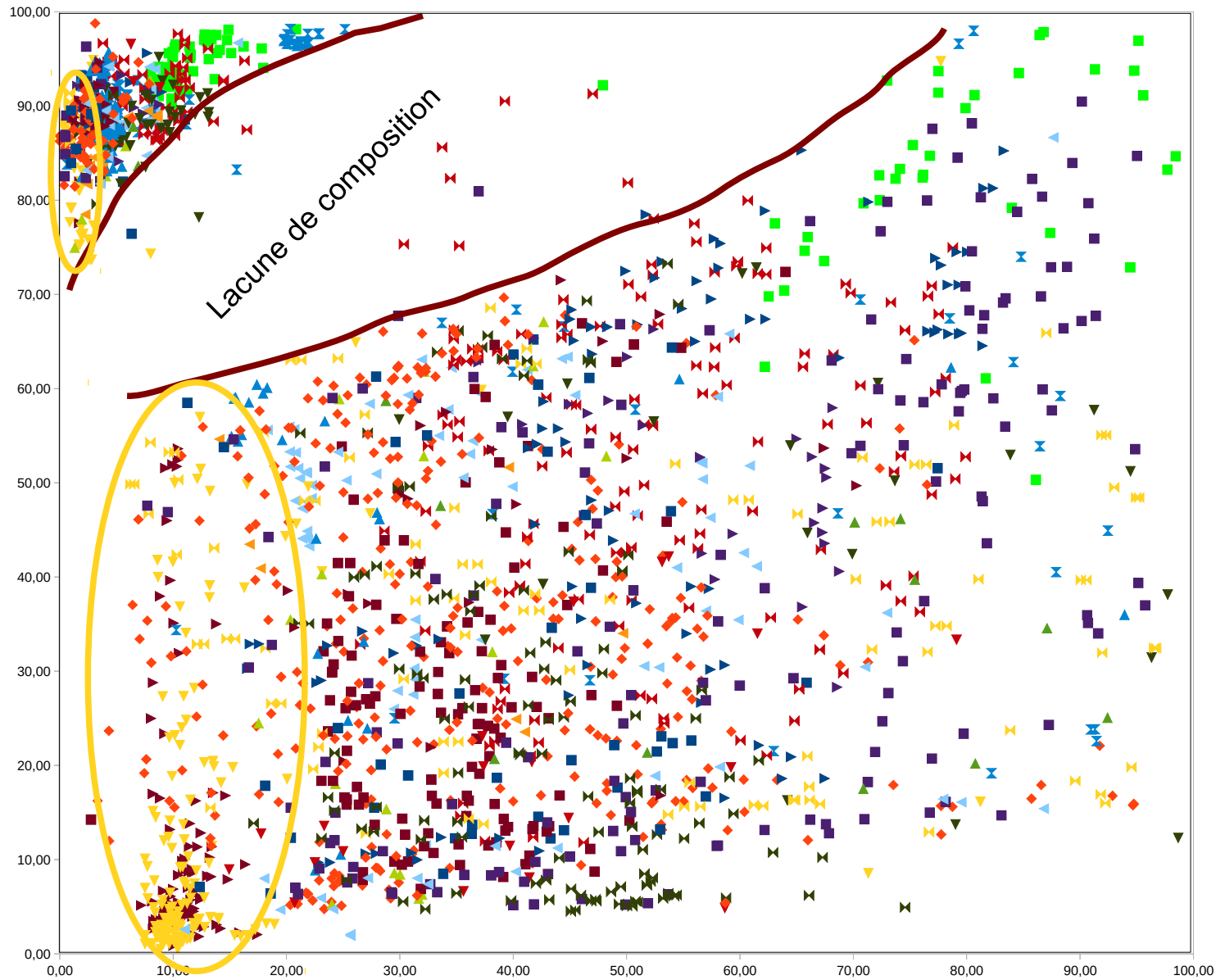
Colombo-
tantalite
 $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$
Tapiolite
 FeTa_2O_6



2. Apport des expériences en cristallisation

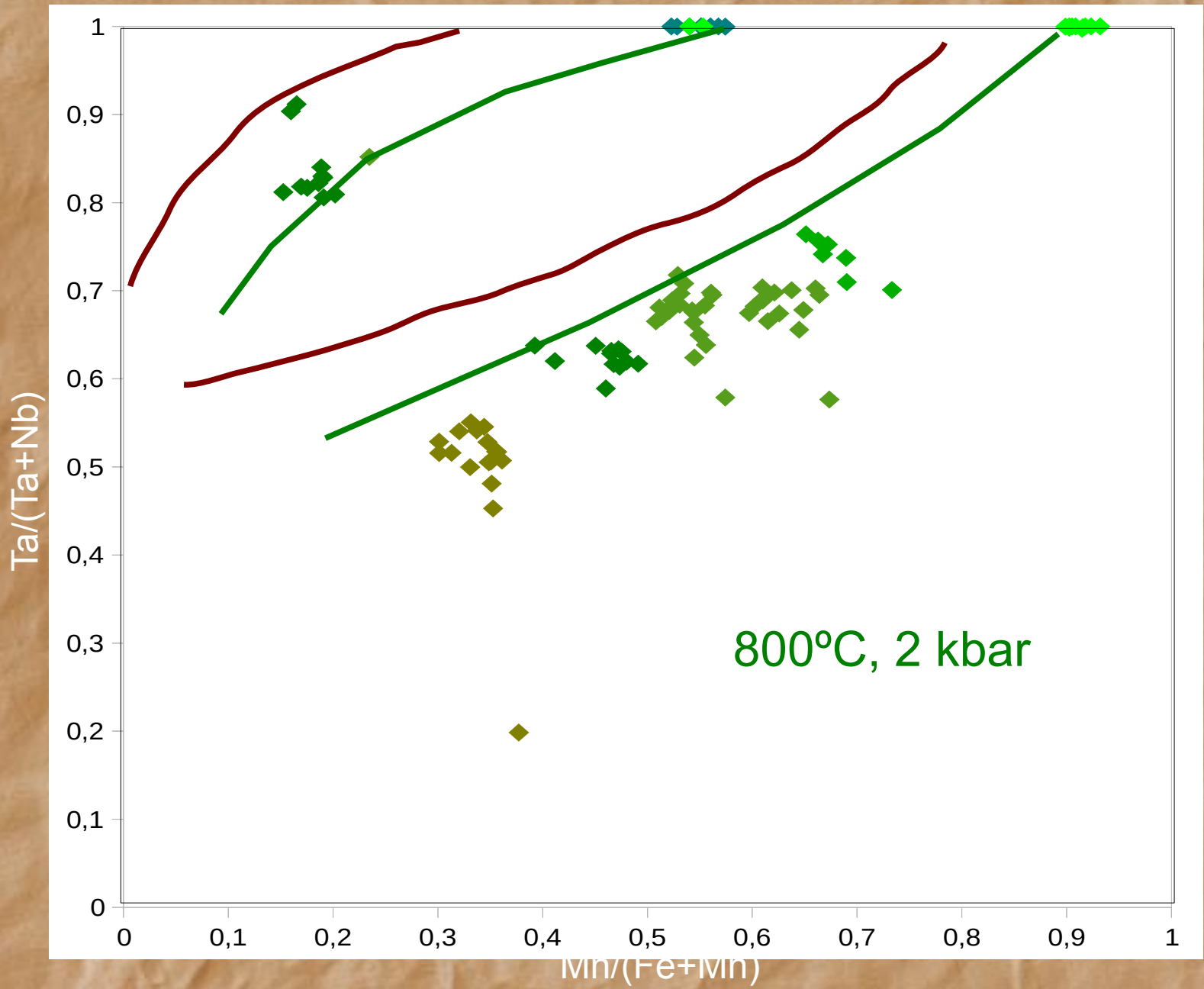
Colombo-
tantalite
 $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$
Tapiolite
 FeTa_2O_6

Ta/(Ta+Nb)

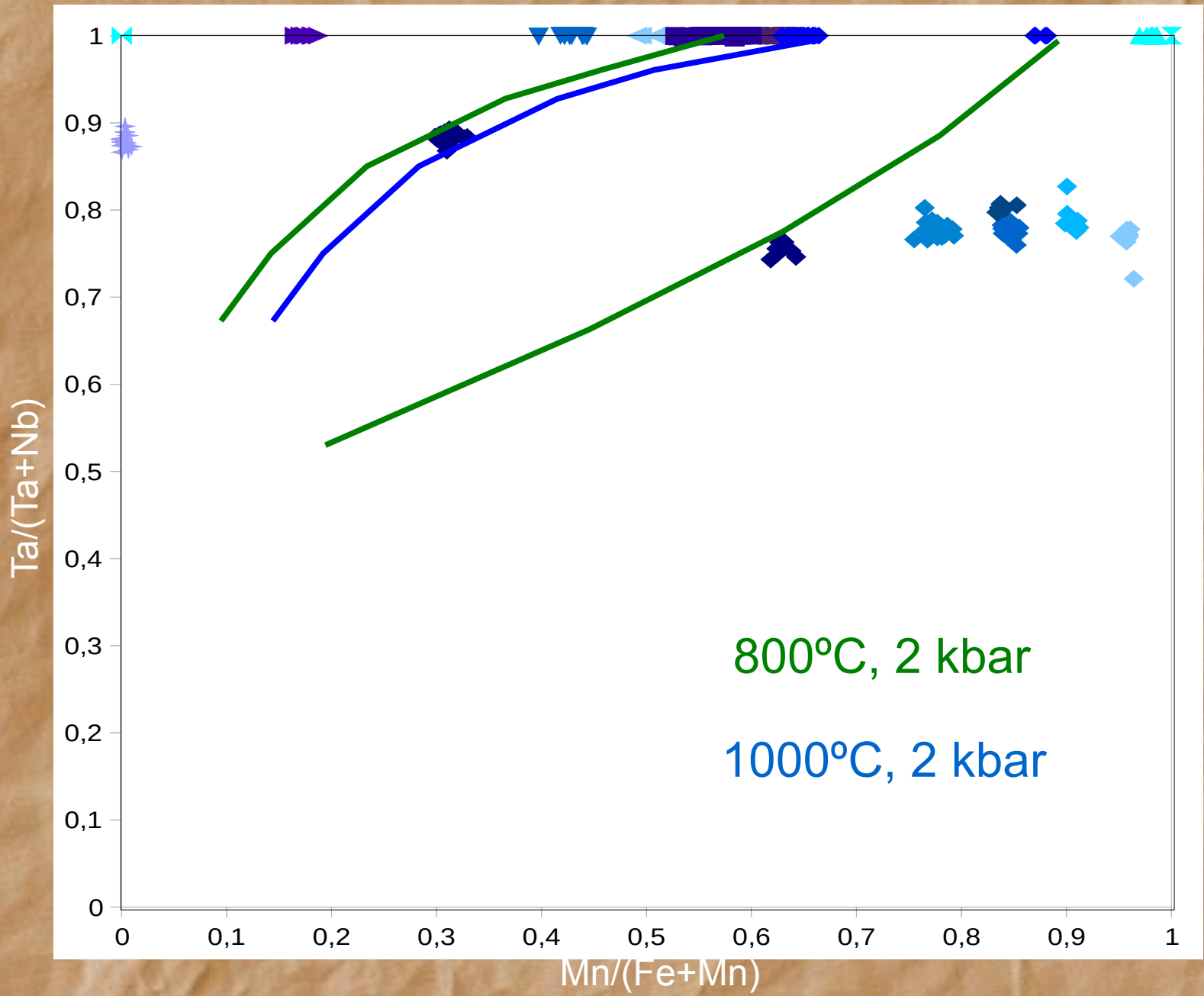


Mn/(Fe+Mn)

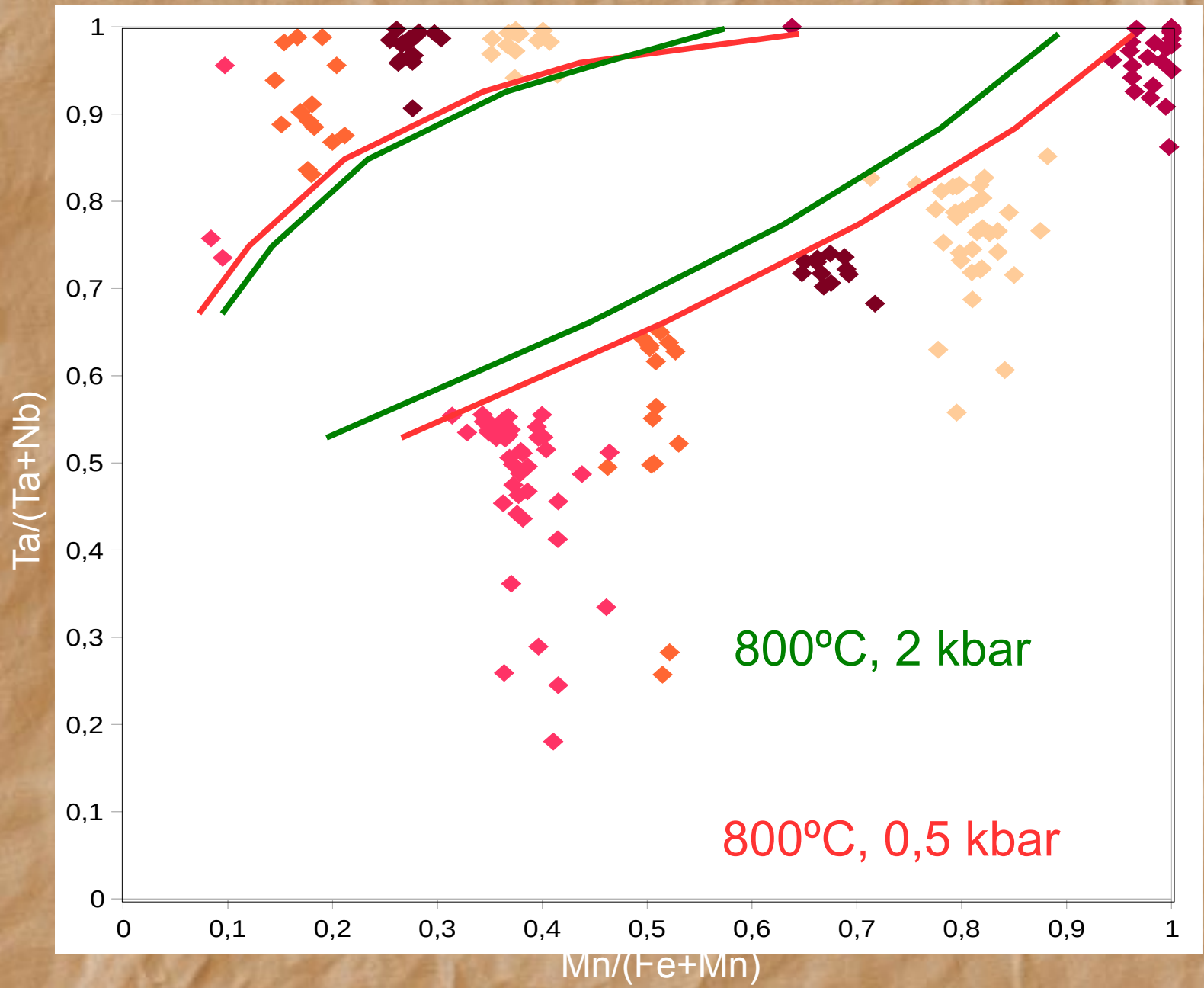
2. Apport des expériences en cristallisation



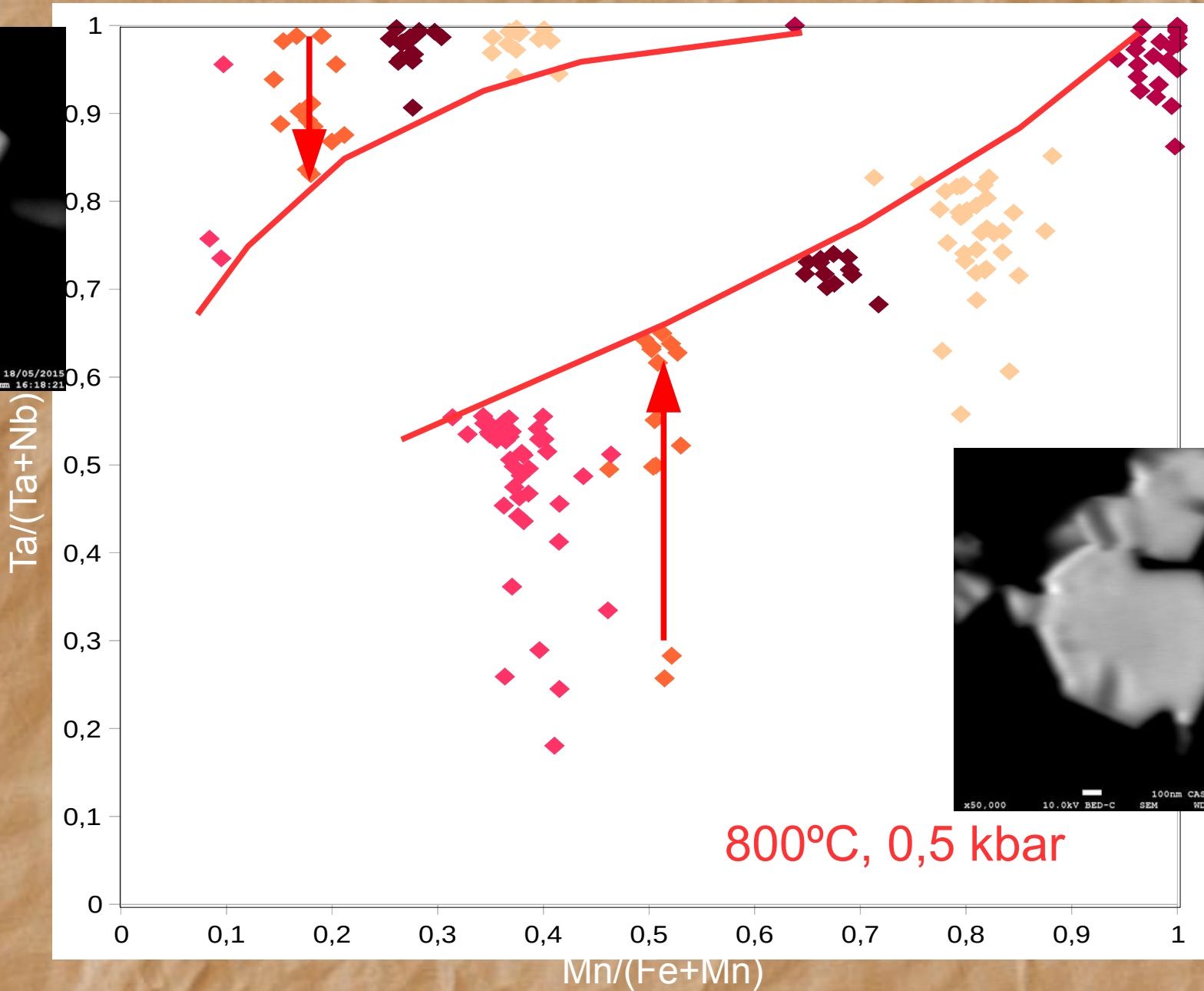
2. Apport des expériences en cristallisation



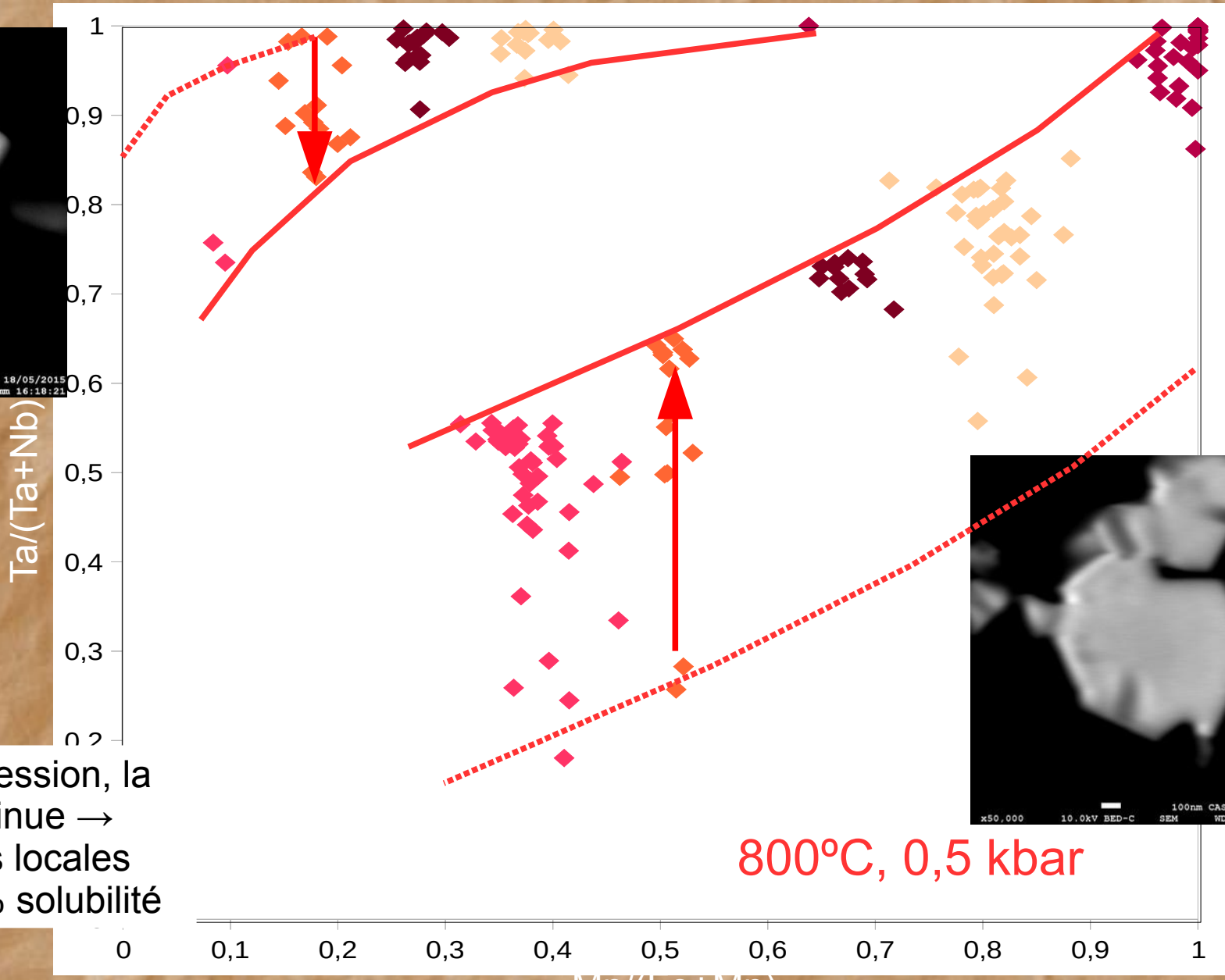
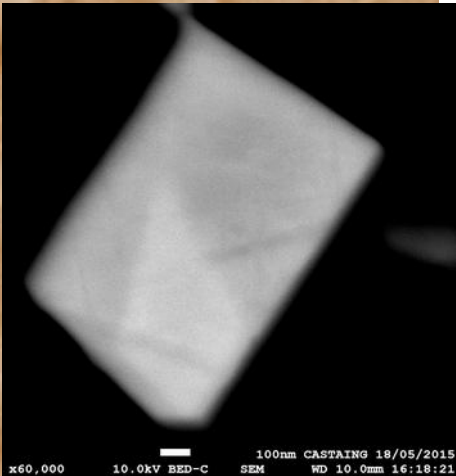
2. Apport des expériences en cristallisation



2. Apport des expériences en cristallisation



2. Apport des expériences en cristallisation

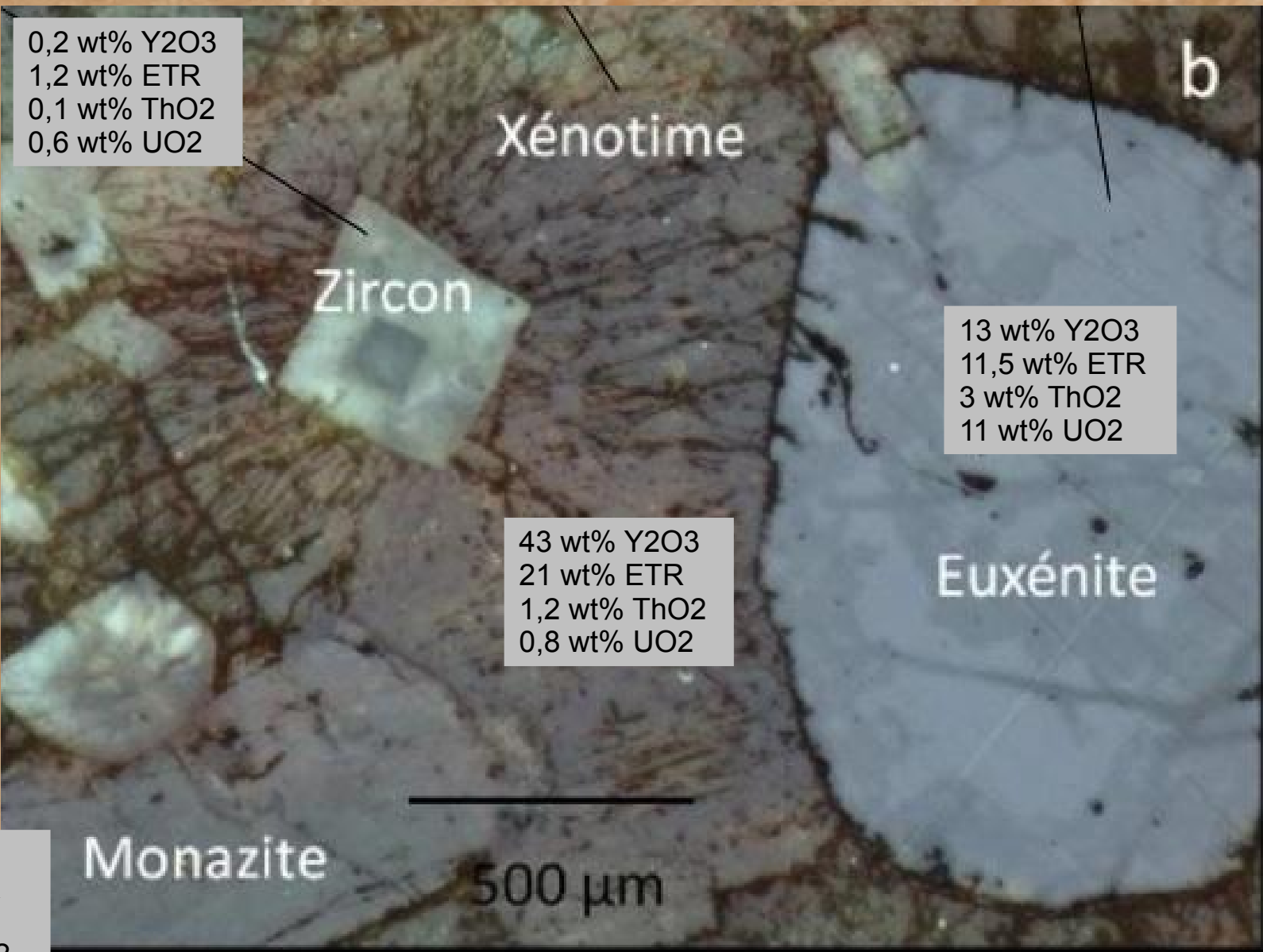


→ A basse pression, la diffusivité diminue → sursaturations locales dominantes % solubilité

800°C, 0,5 kbar

3. Implications pour l'exploration des métaux stratégiques

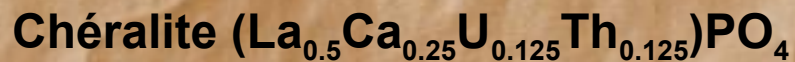
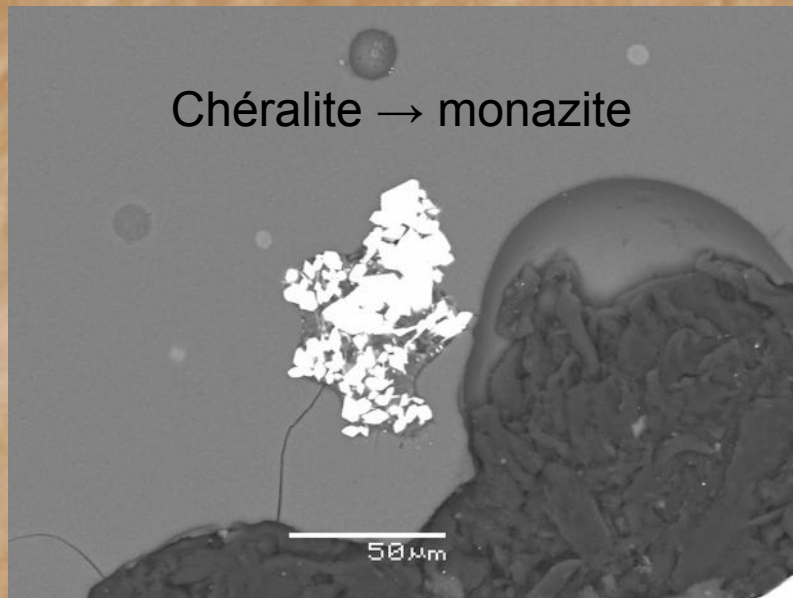
Norvège
Pegmatites
NYF à
biotite ±
tourmaline



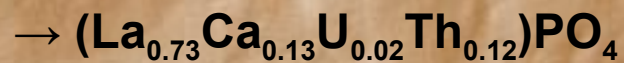
2 wt% Y₂O₃
60 wt% ETR
7 wt% ThO₂
0,4 wt% UO₂

2. Apport des expériences en cristallisation

Dissolution-recristallisation

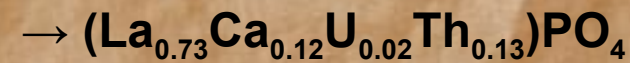
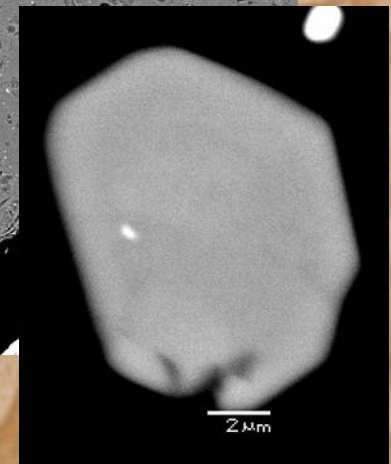


$$\text{U/Th} = 1$$



$$\text{U/Th} = 0.17$$

Cristallisation



$$\text{U/Th} = 0.13$$

$$\text{Apatite U/Th} = 0.5$$