

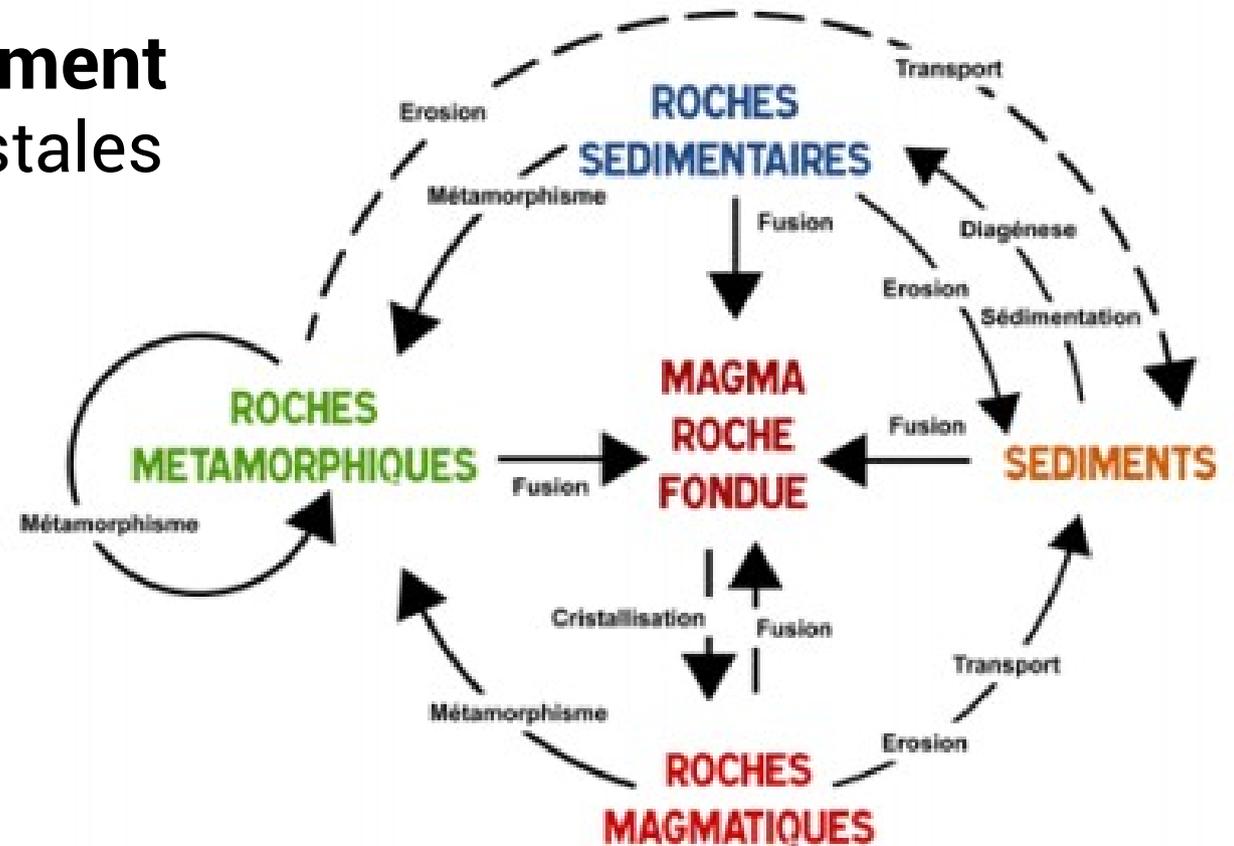
SV-G Le métamorphisme, marqueur de la géodynamique interne

SVG-1 Les associations minéralogiques indicatrices de pression et de température

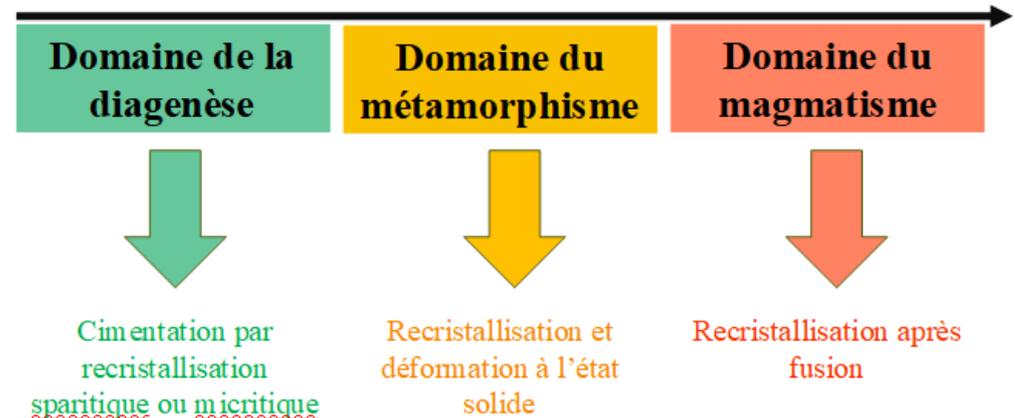
SVG-2 La distribution spatiale des roches métamorphiques et les variations temporelles des associations minéralogiques

Les roches se transforment

Ex : cycle de roches crustales

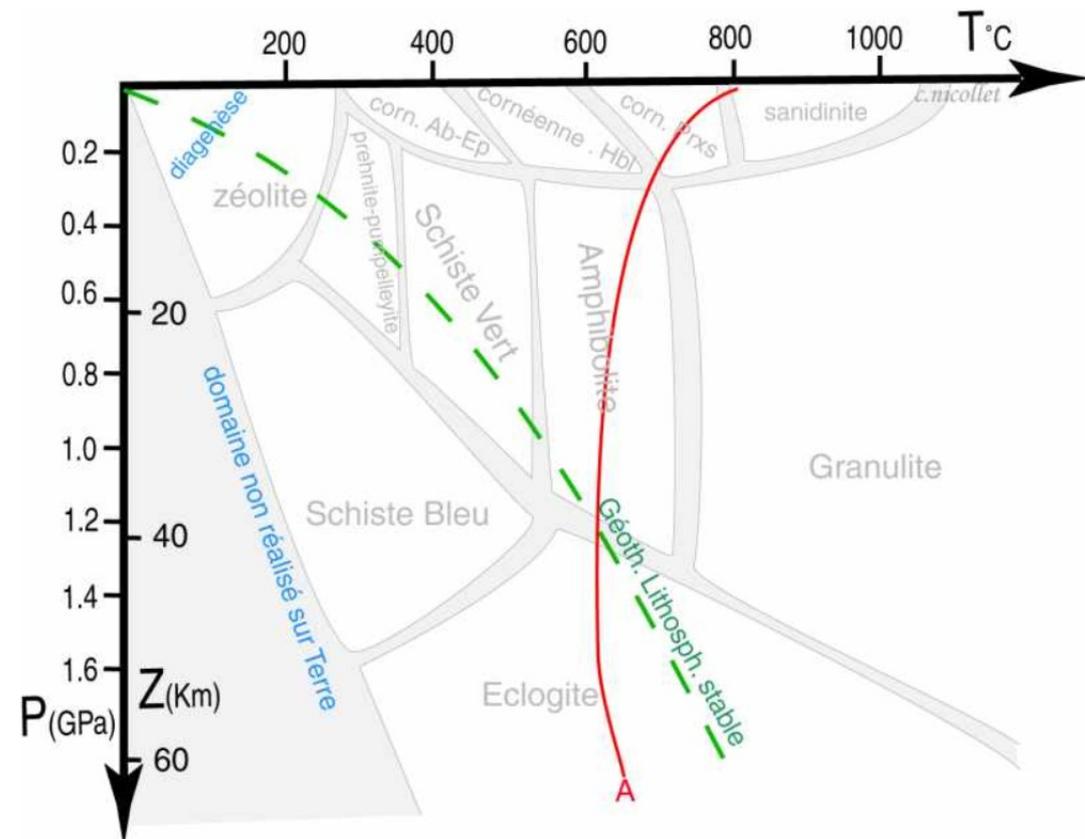
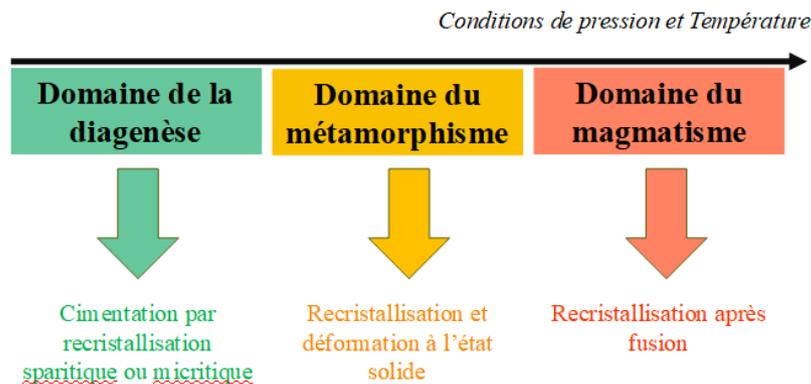


Conditions de pression et Température



Métamorphisme = réajustement minéralogique et/ou structural, de phases cristallines, à de nouvelles conditions PT.

Ces réarrangements se font à l'état solide (sans fusion) en présence souvent d'une phase fluide (H_2O ou CO_2)

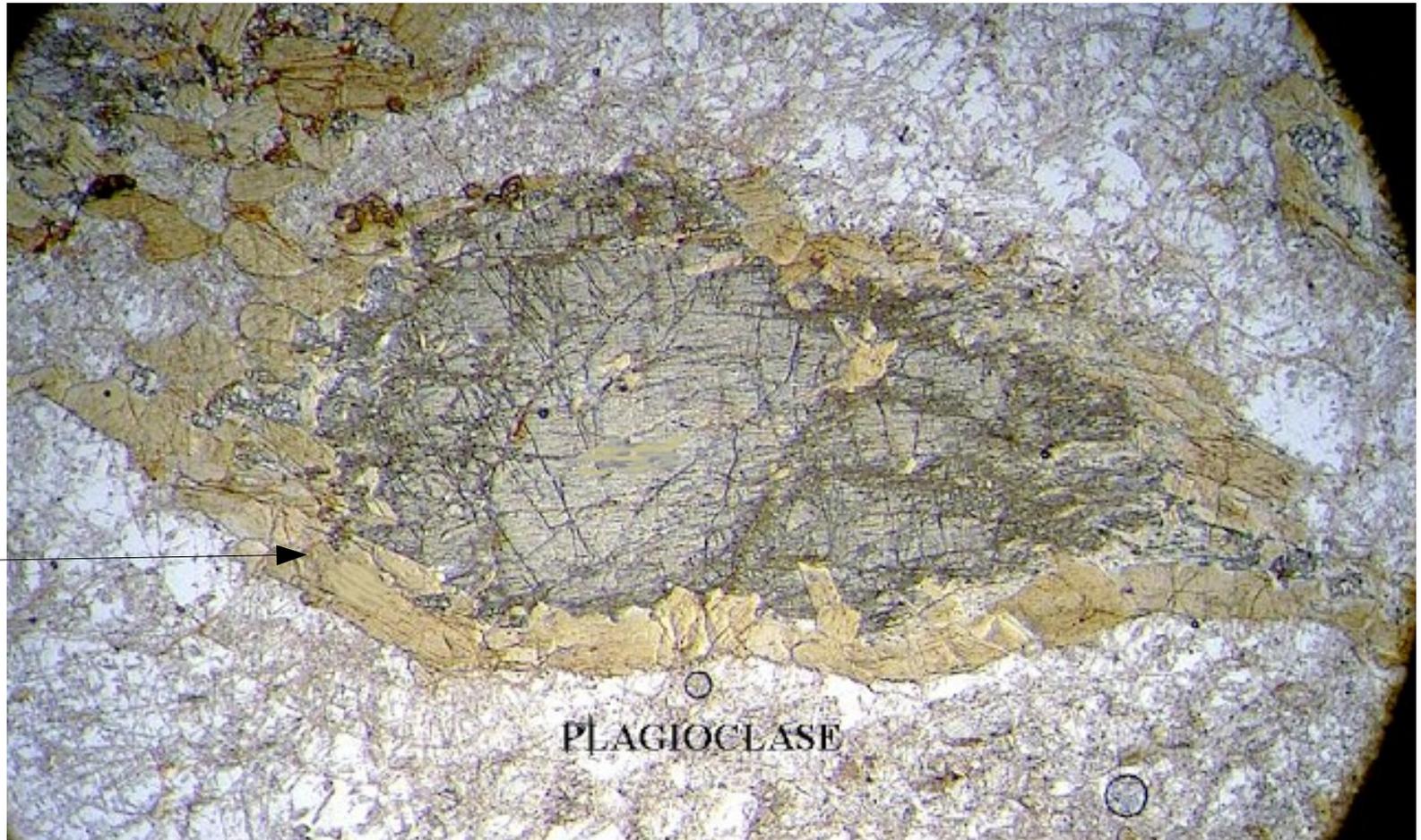


A-Un minéral est une structure métastable

= stable dans un champ de P et T donné

1-témoins des transformations

Couronne
réactionnelle

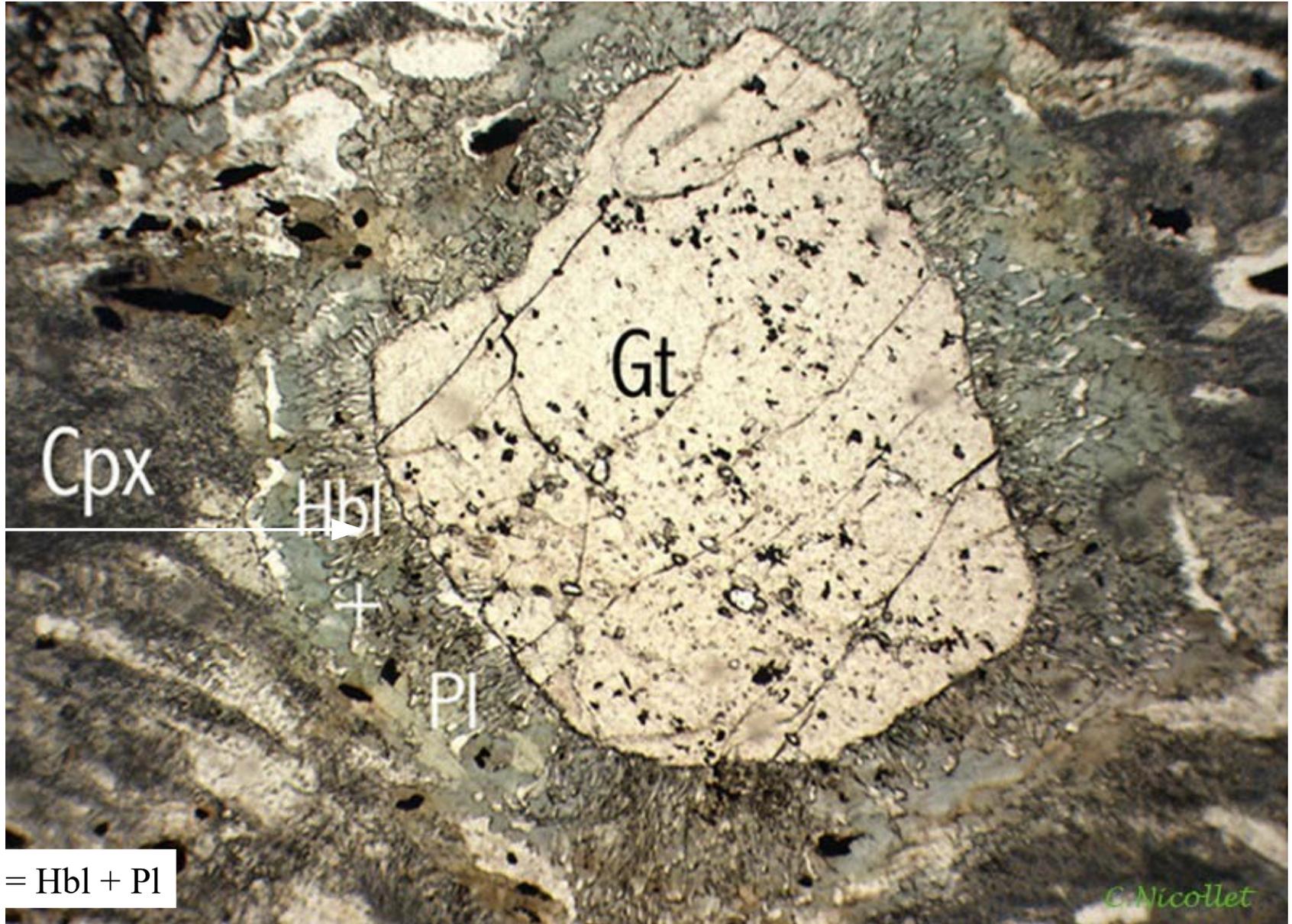


Métagabbro : Pyroxène + plagioclase + H₂O => hornblende

A-Une association minéralogique est métastable

= stable dans un champ de P et T donné

1-témoins des transformations



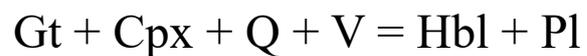
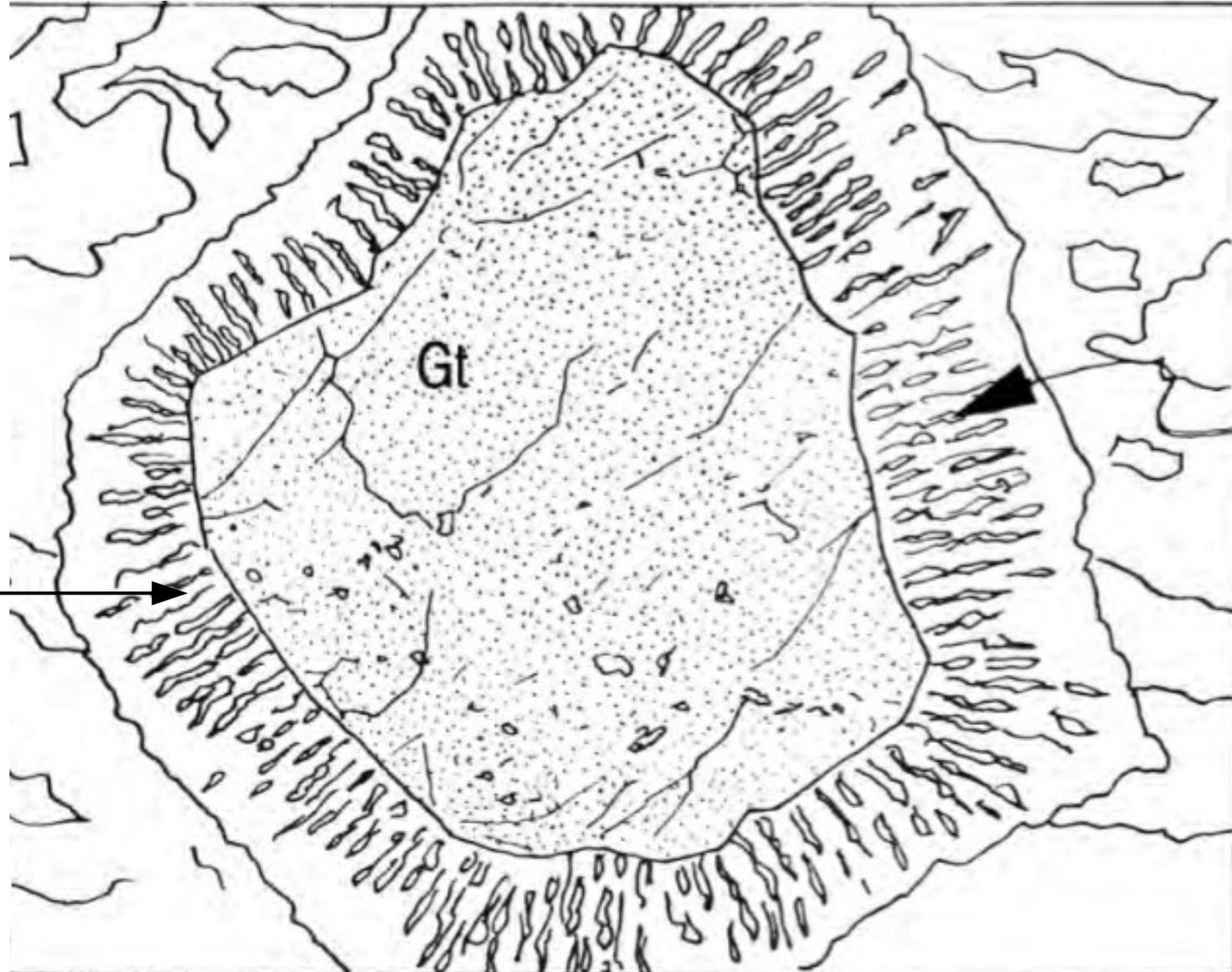
A-Une association minéralogique est métastable

6

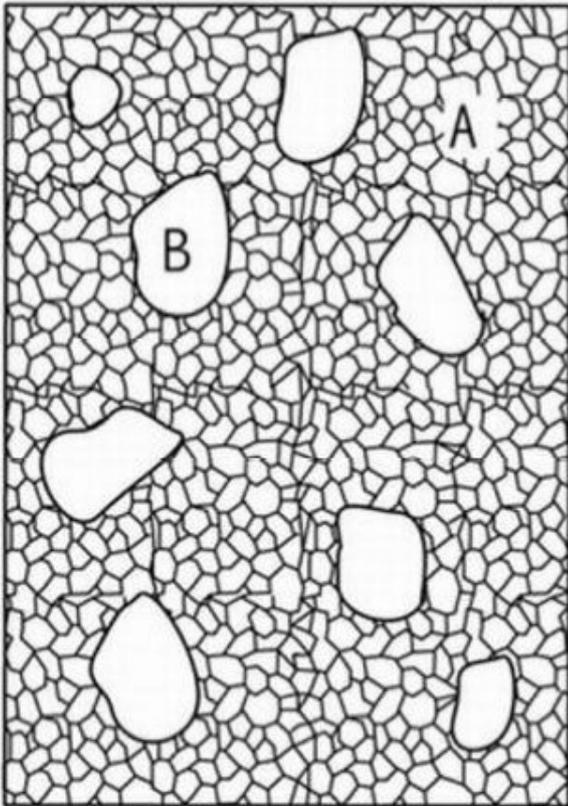
= stable dans un champ de P et T donné

1-témoins des transformations

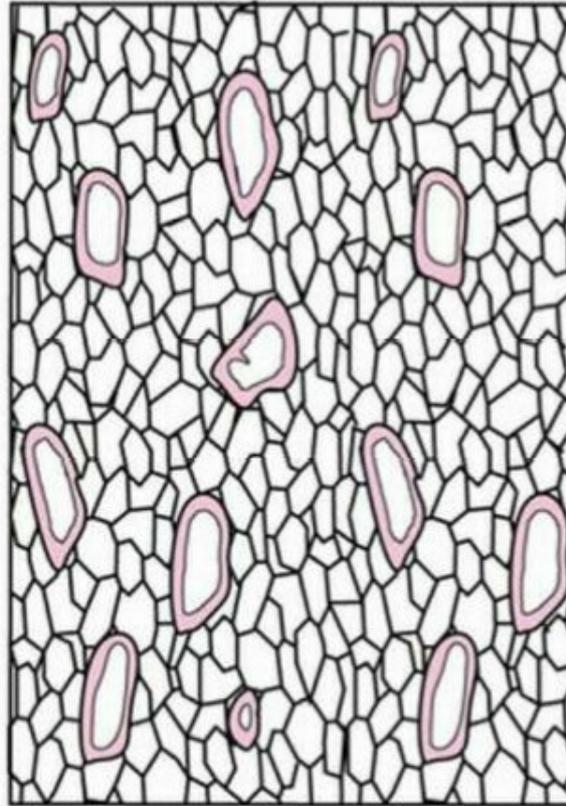
Couronne
réactionnelle



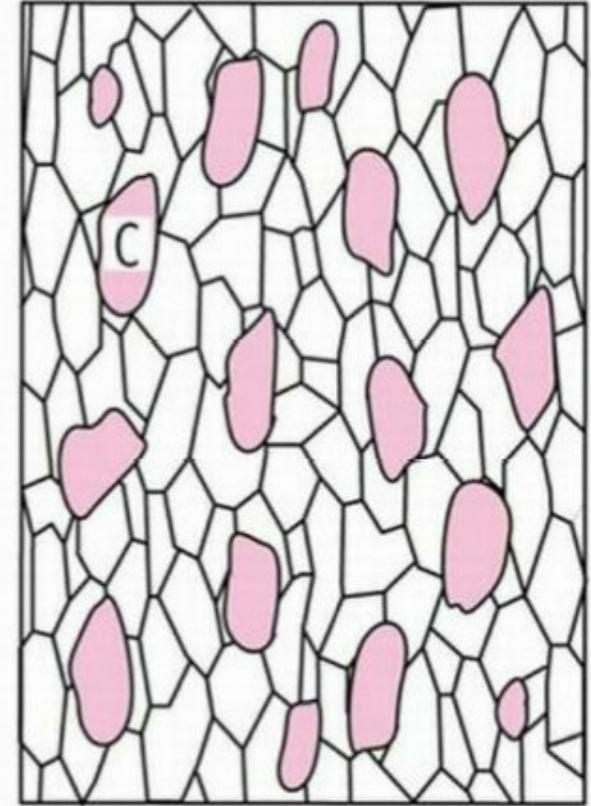
A P0-T0 la roche
contient les minéraux A+B



A P1-T1, la réaction
 $A+B=C$ intervient ...



... jusqu'à disparition
de B.



Noter la recristallisation de A aussi

2-les études expérimentales permettent de construire des grilles pétrogénétiques

principe : reproduire en laboratoire les conditions physico-chimiques de l'intérieur de la Terre

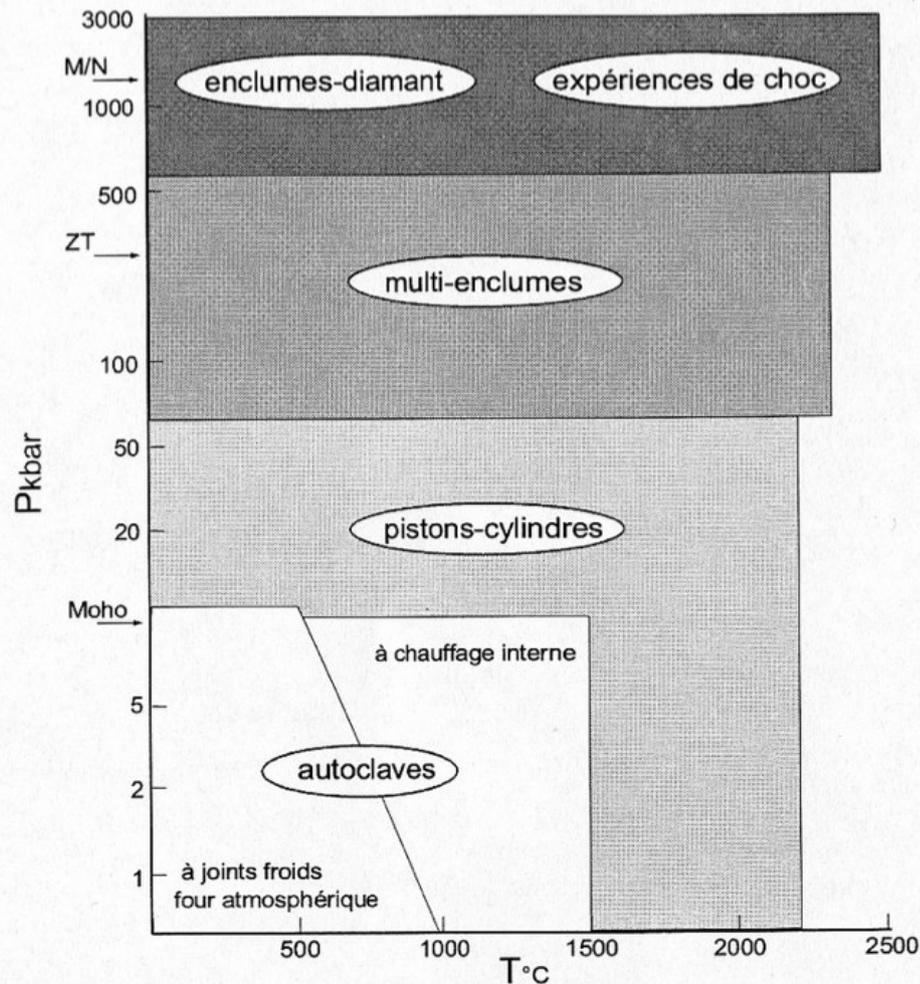


Fig. 4.2. Domaines P-T couverts par les principaux types d'appareillages expérimentaux. M/N = transition manteau-noyau, ZT = zone de transition, Moho = discontinuité de Mohorovicic. D'après Holloway et Wood (1988).

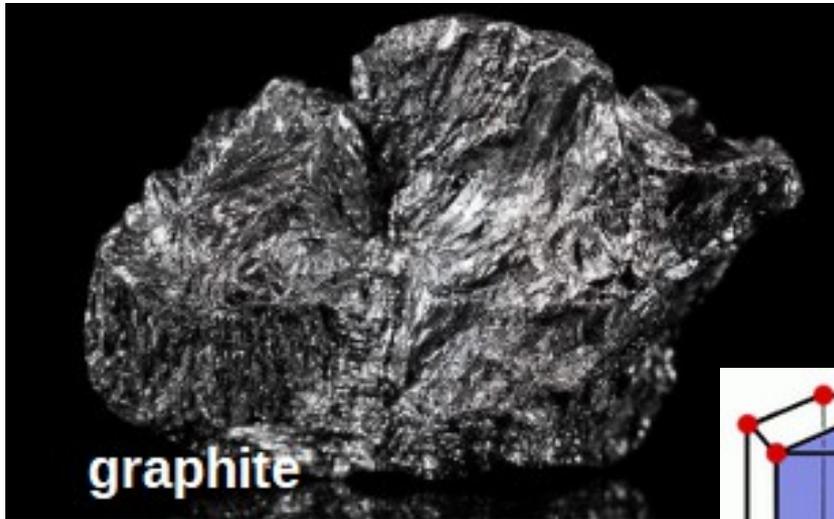


piston cylindre - Lab Magmas et Volcans

Résultats :

* domaines de stabilité d'un minéral

Ex : carbone



graphite

Compacité faible

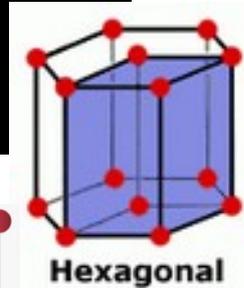
14 %

Densité faible :

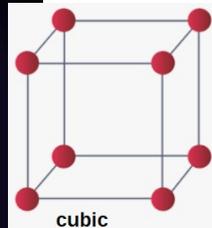
2 g/cm³

Tendre :

1,5



Diamant



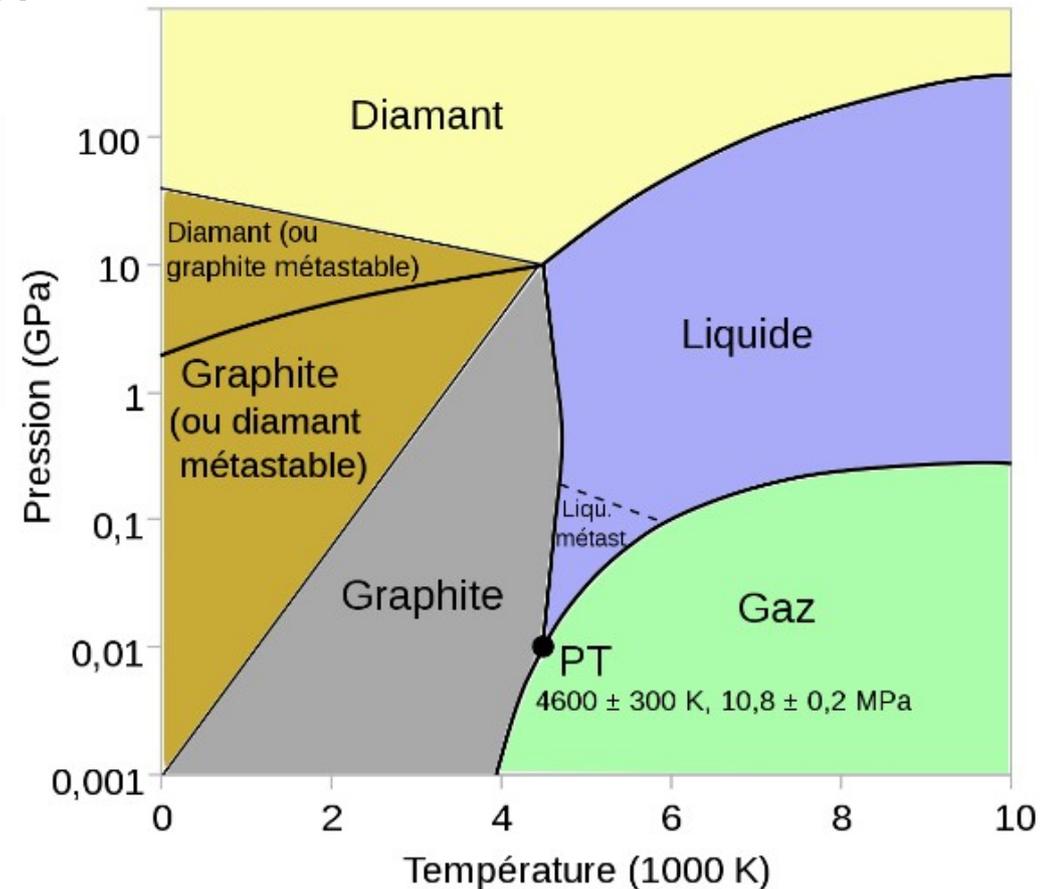
Compacité élevée :

25 %

Densité élevée :

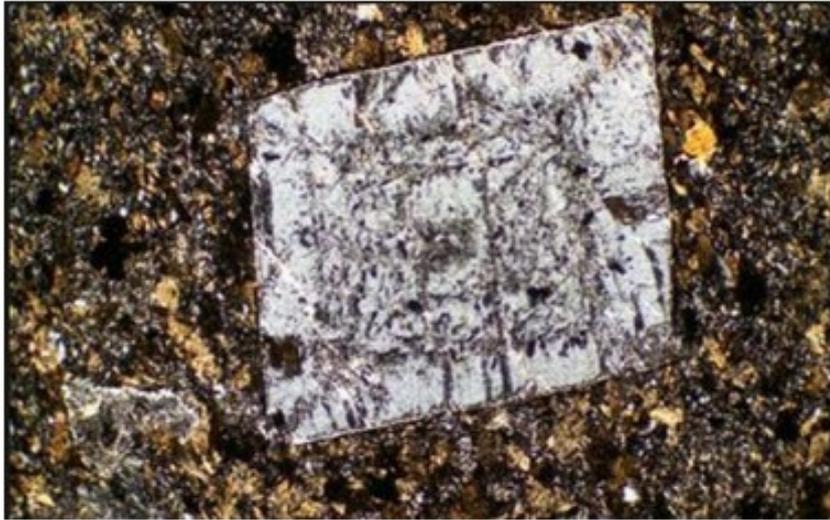
3,5 g/cm³

Dur : 10



Résultats :

* domaines de stabilité d'un minéral

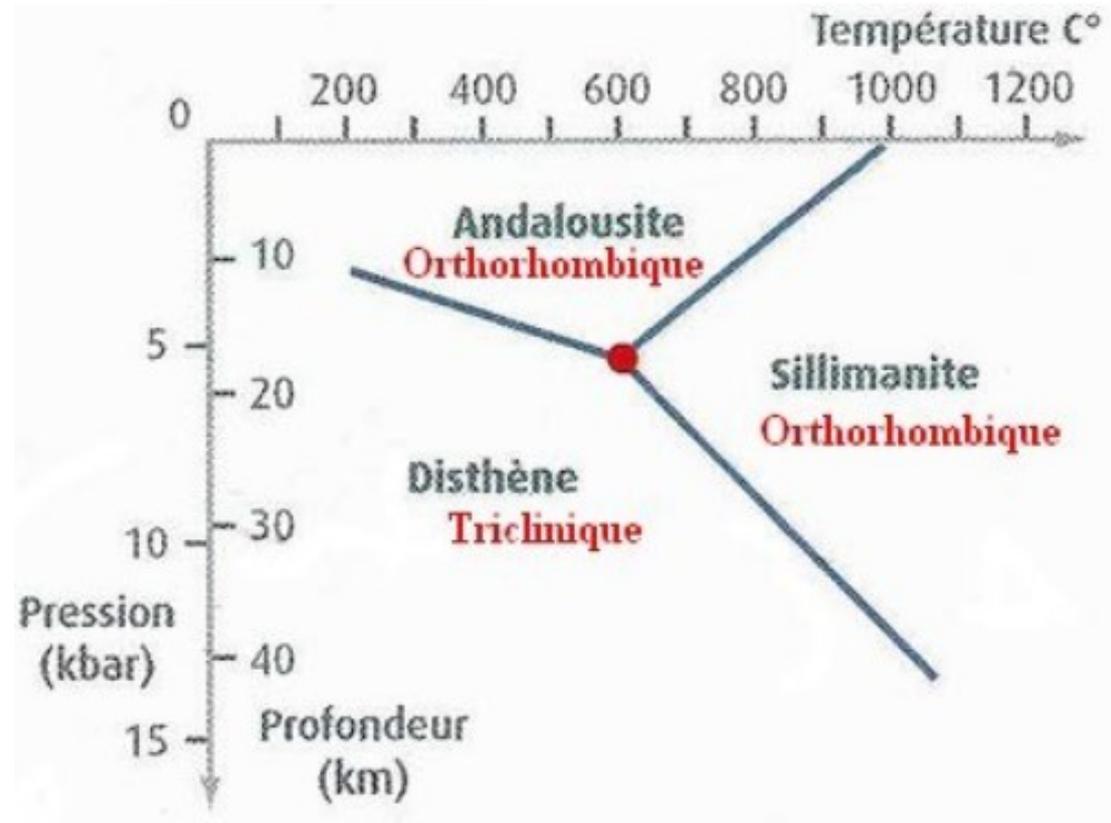
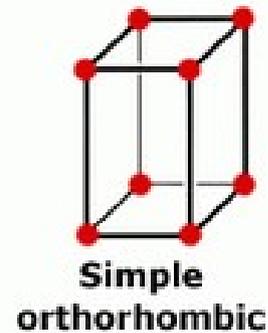


Andalousite

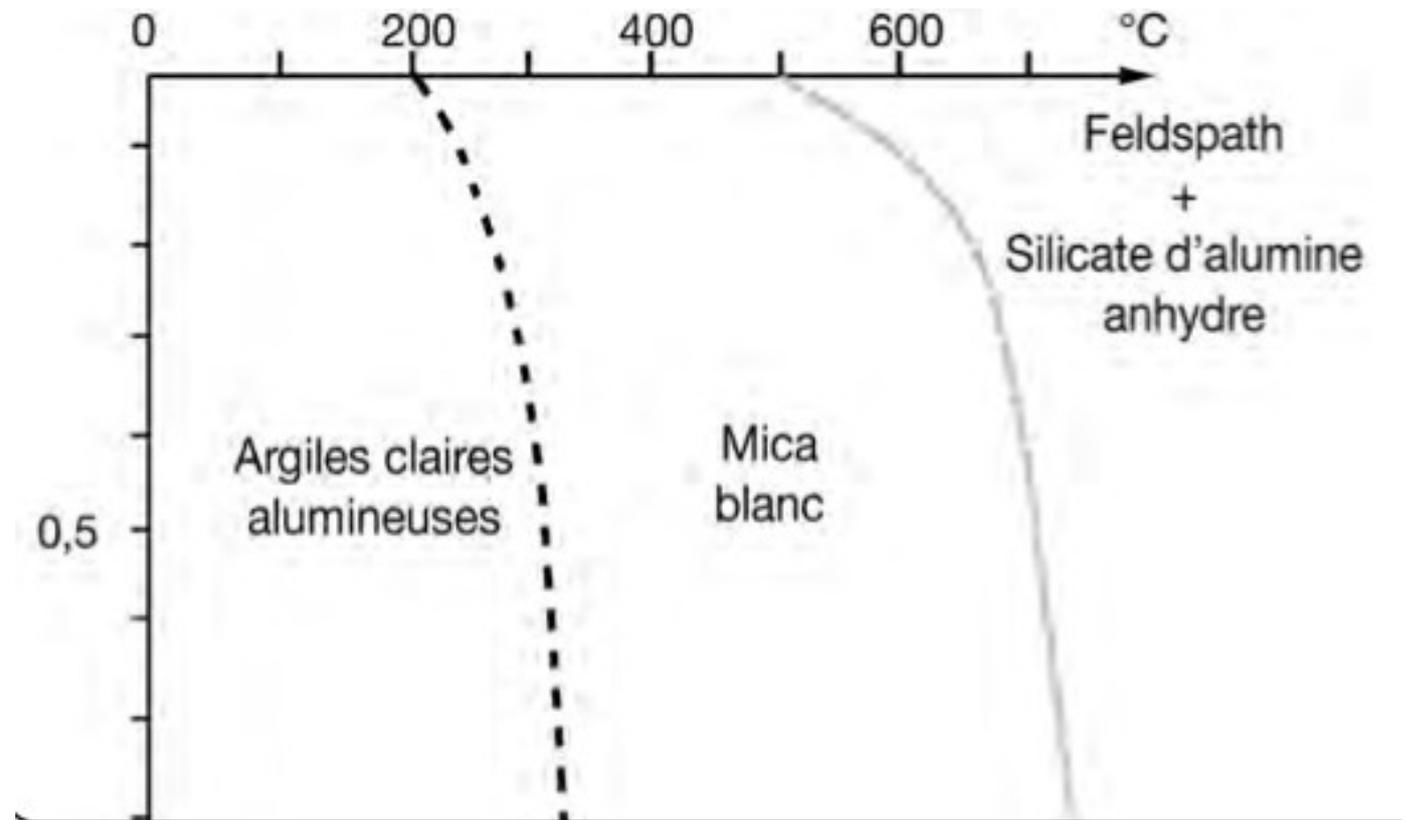


Disthène - Sillimanite

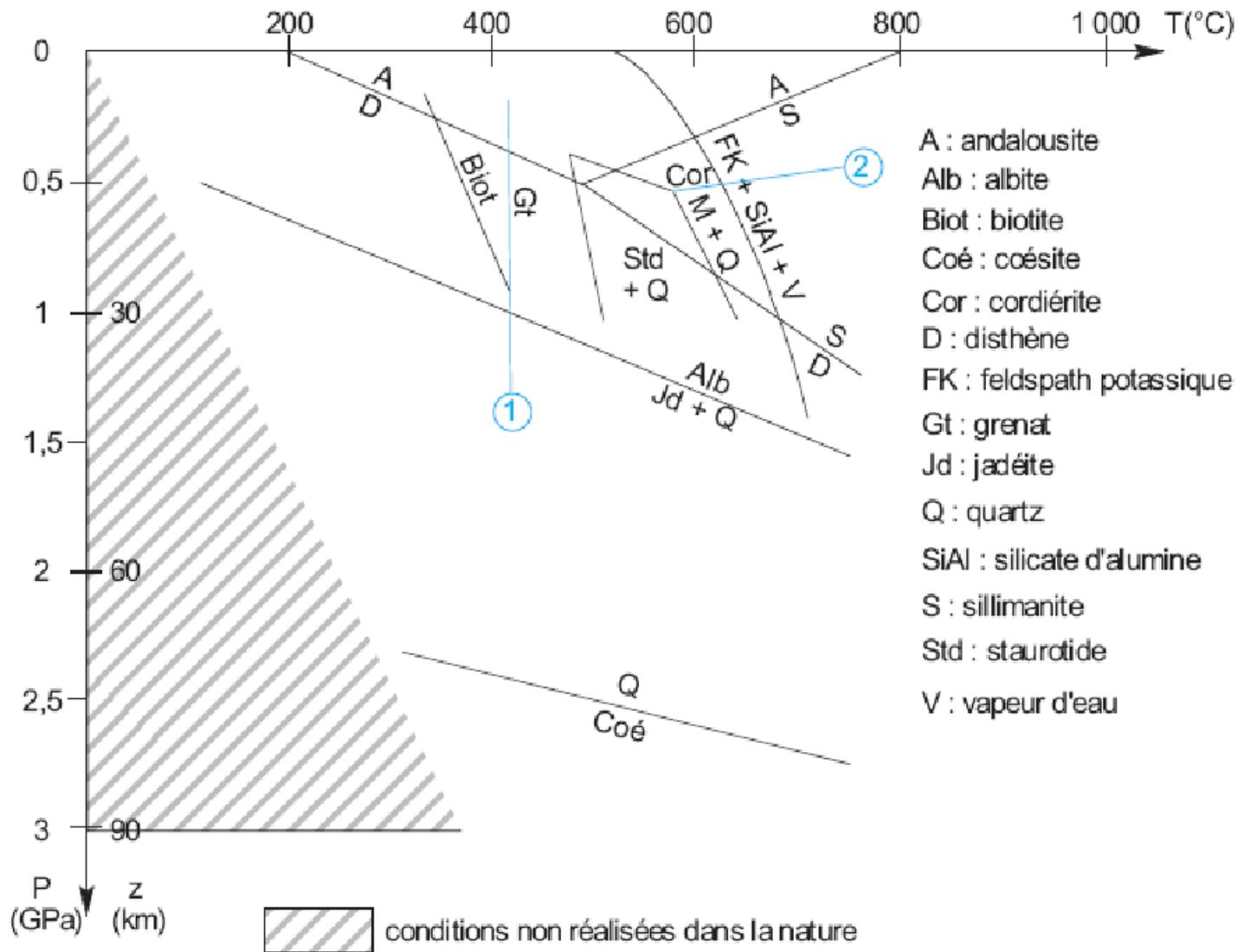
Ex : silicates d'alumine Al_2SiO_5 :



* domaine de stabilité d'une association minéralogique

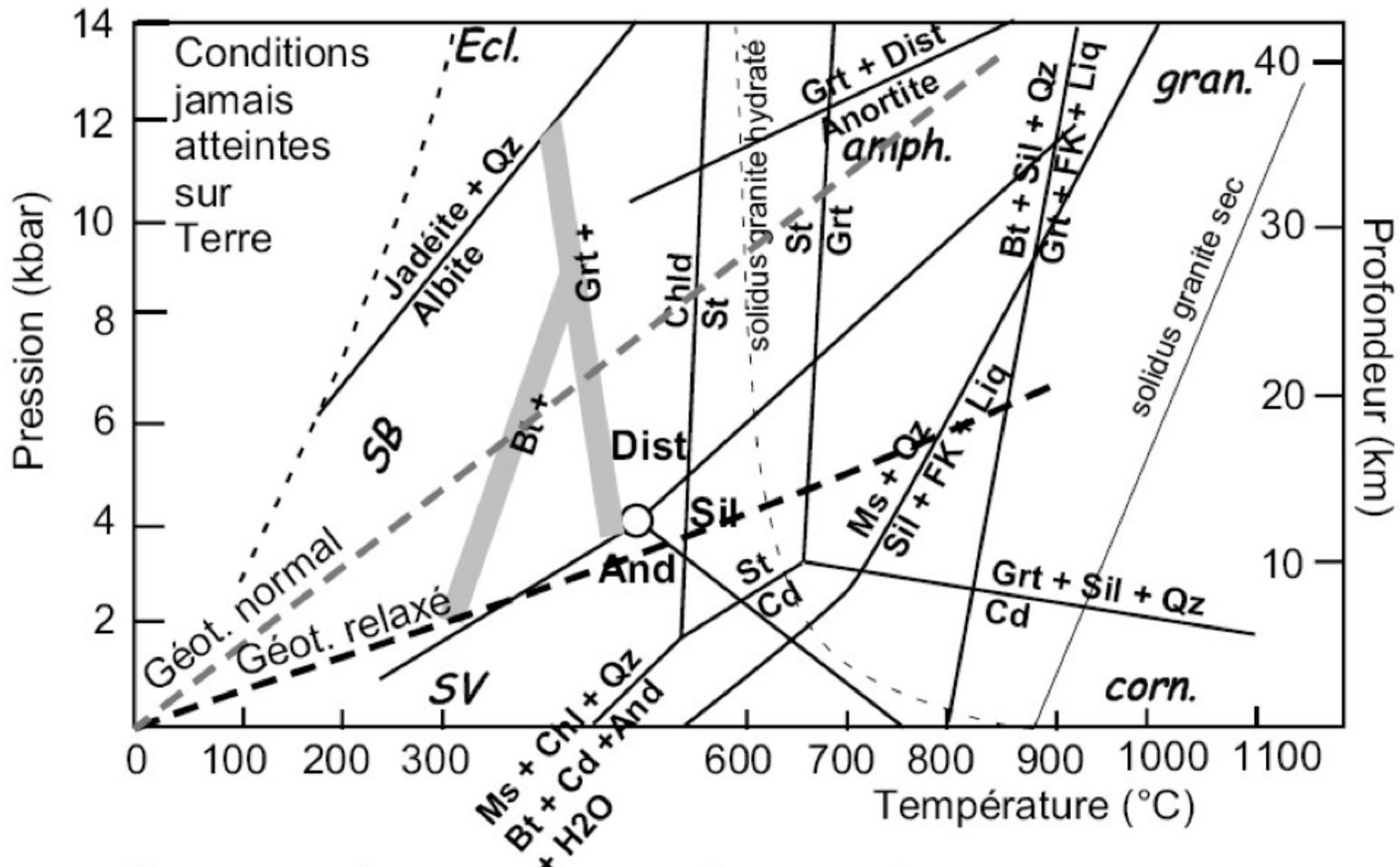


Ex de grille pour une roche de la croûte continentale



- ① Courbe d'équilibre de la réaction *biotite + sillimanite + quartz = grenat + feldspath potassique + H₂O*
- ② Courbe d'équilibre de la réaction *cordiérite = grenat + sillimanite + quartz + H₂O*

Ex de grille pour une roche de la croûte continentale



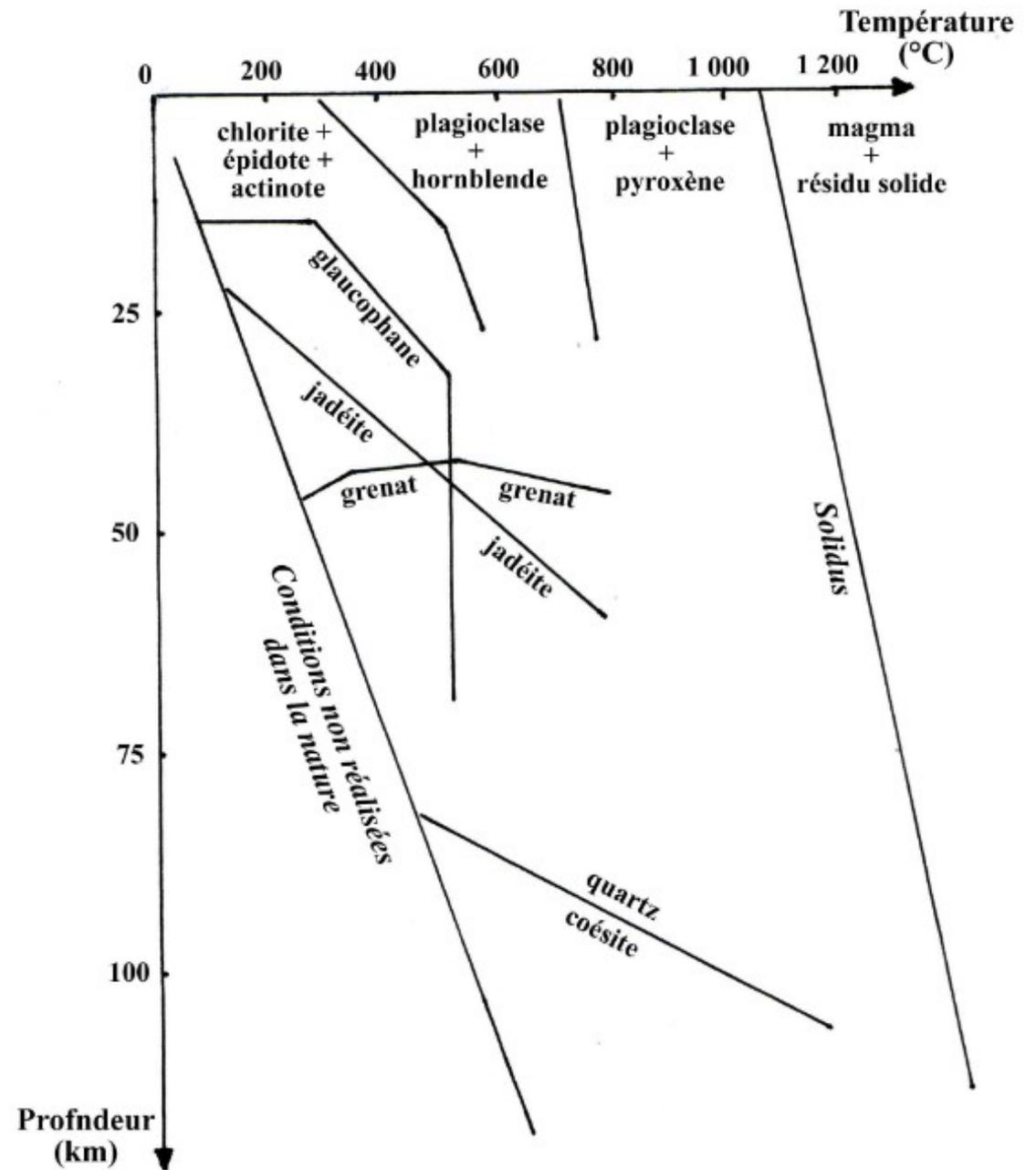
Grille pétrogénétique pour les métapelites et granites (chimie CKNASH)

Figure 3 : Grille pétrogénétique pour les roches pélitiques et les granites.

Ms : muscovite, And : Andalousite, Disth. : Disthène, Sil. : Sillimanite, Cd. : Cordiérite, St. : Staurotide, FK : Feldspath potassique

Résultats

Ex de grille pour une roche de la croûte océan



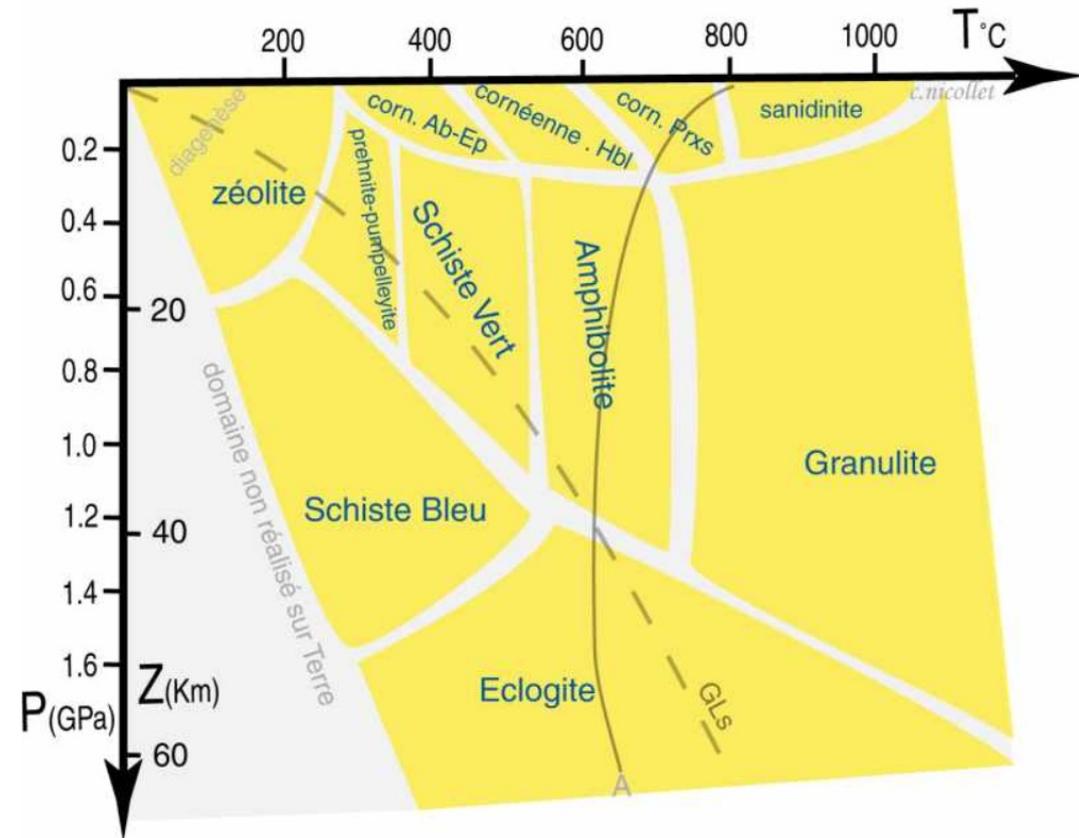
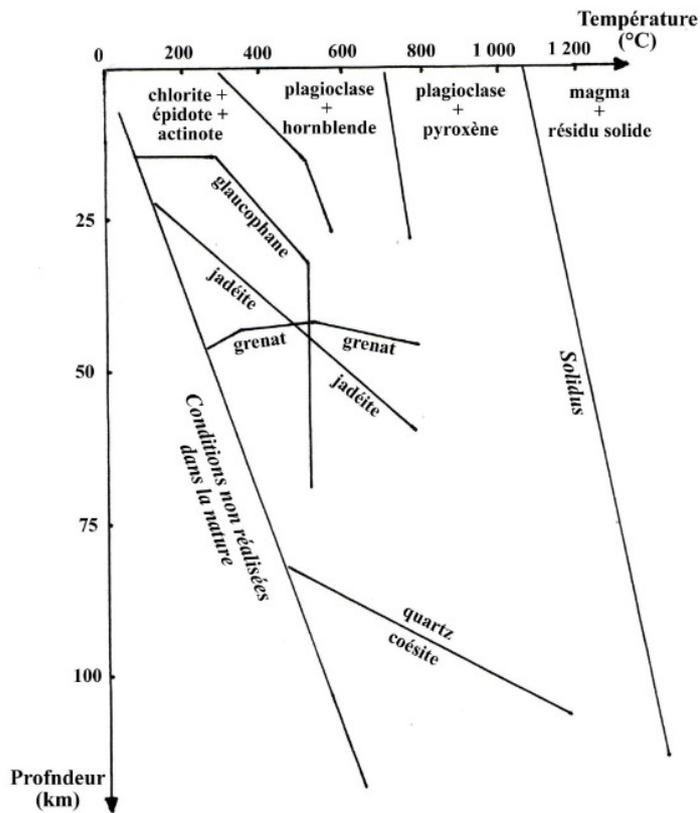
3-paragenèse et faciès d'une roche métamorphique 15

Grille pétrogénétique => paragenèse

Paragenèse : ensemble des minéraux stables dans domaine PT

Faciès : domaine de P et T dans lequel peut se former une roche métamorphique

Ex : paragenèse (jadéite + grenat) → faciès éclogite



3-paragenèse et faciès d'une roche métamorphique 16

RQ : savoir situer approx. S.V;S.B, E,A,G

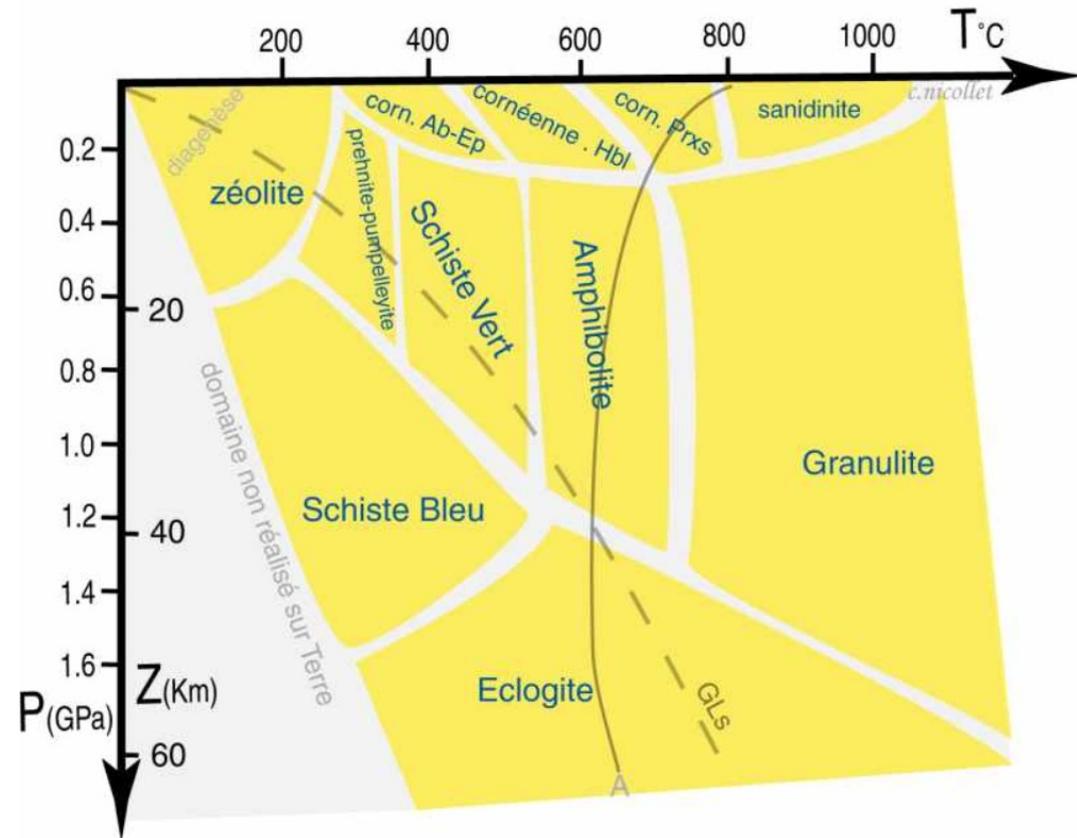
RQ : Les faciès sont nommés à partir des roches métamorphiques de la **croûte océanique**

Croûte océanique

Roche schiste vert
appartient au faciès
schiste vert

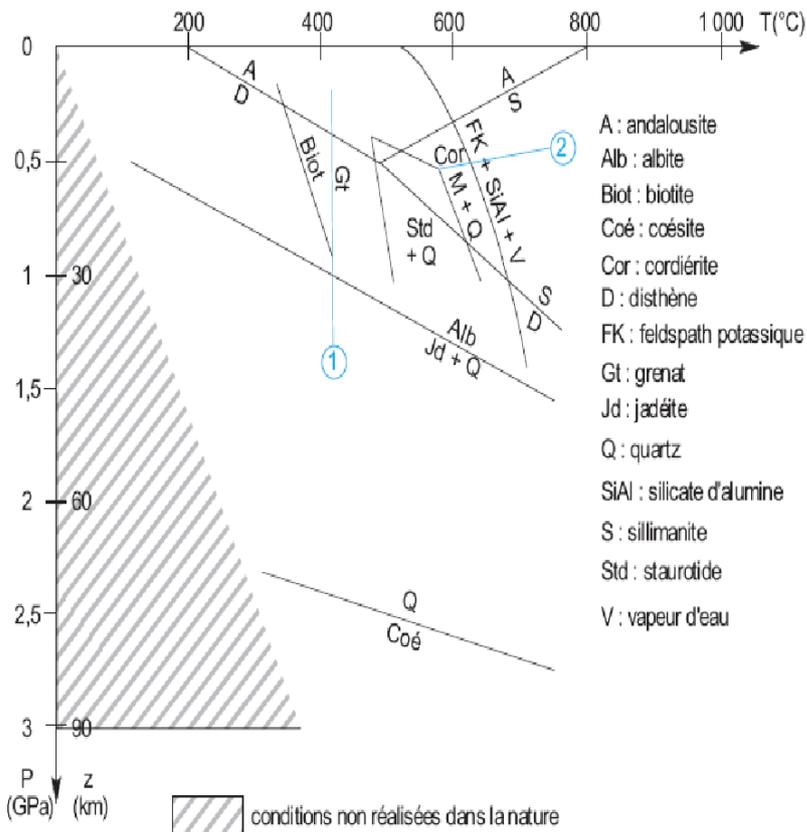
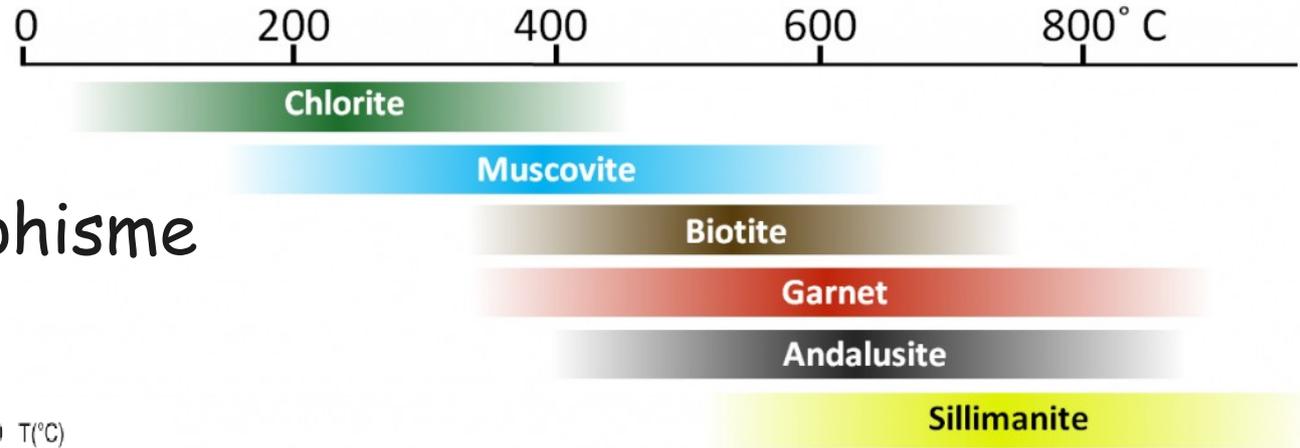
Croûte continentale

Roche micaschiste peut
appartenir à divers faciès
Sch bleu, éclogite,
amphibolite, granulite



3-paragenèse et faciès d'une roche métamorphique 17

minéral index :
minéral caractérisant
un degrés de métamorphisme



① Courbe d'équilibre de la réaction *biotite + sillimanite + quartz = grenat + feldspath potassique + H₂O*

② Courbe d'équilibre de la réaction *cordiérite = grenat + sillimanite + quartz + H₂O*

géothermomètre / geobaromètre

-minéral index :

ex andalousite, sillimanite, coésite

-réaction univariante :

- ex 1 et 2

-distribution de certains éléments chimiques dans des phases minérales

ex Fe & Mg dans (biotite-grenat)eq

B-les facteurs du métamorphisme

=> Paramètres thermodynamiques et cinétiques

1-La température

- Origine de l'énergie thermique terrestre :

Radioactivité + refroidissement séculaire+...

-T varie en fonction de

- la profondeur : gradient géothermique moyen : $30^{\circ}\text{C}/\text{Km}$
 - + élevée dans les zones tectoniques ($50^{\circ}\text{C}/\text{Km}$)
 - + faible dans les anciens boucliers ($<10^{\circ}\text{C}/\text{Km}$)
- distance chambre magmatique

Pression lithostatique : P exercée / poids des roches
isotrope

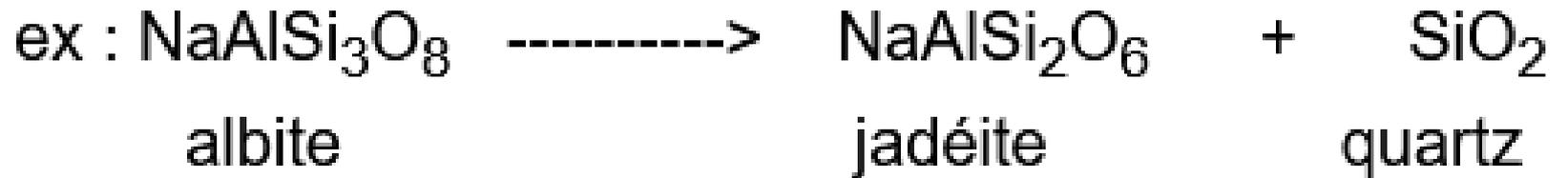
Contraintes tectoniques : P exercée / forces tectoniques
anisotrope → déformations

Pression des fluides : P exercées / fluides dans les pores
isotrope ; H_2O , CO_2
abaisse la température de fusion partielle

3-la composition du protolithe

20

En général, transformation isochimique (→ système fermé)



Si protolithe est

Sédimentaire → R. paramétamorphique

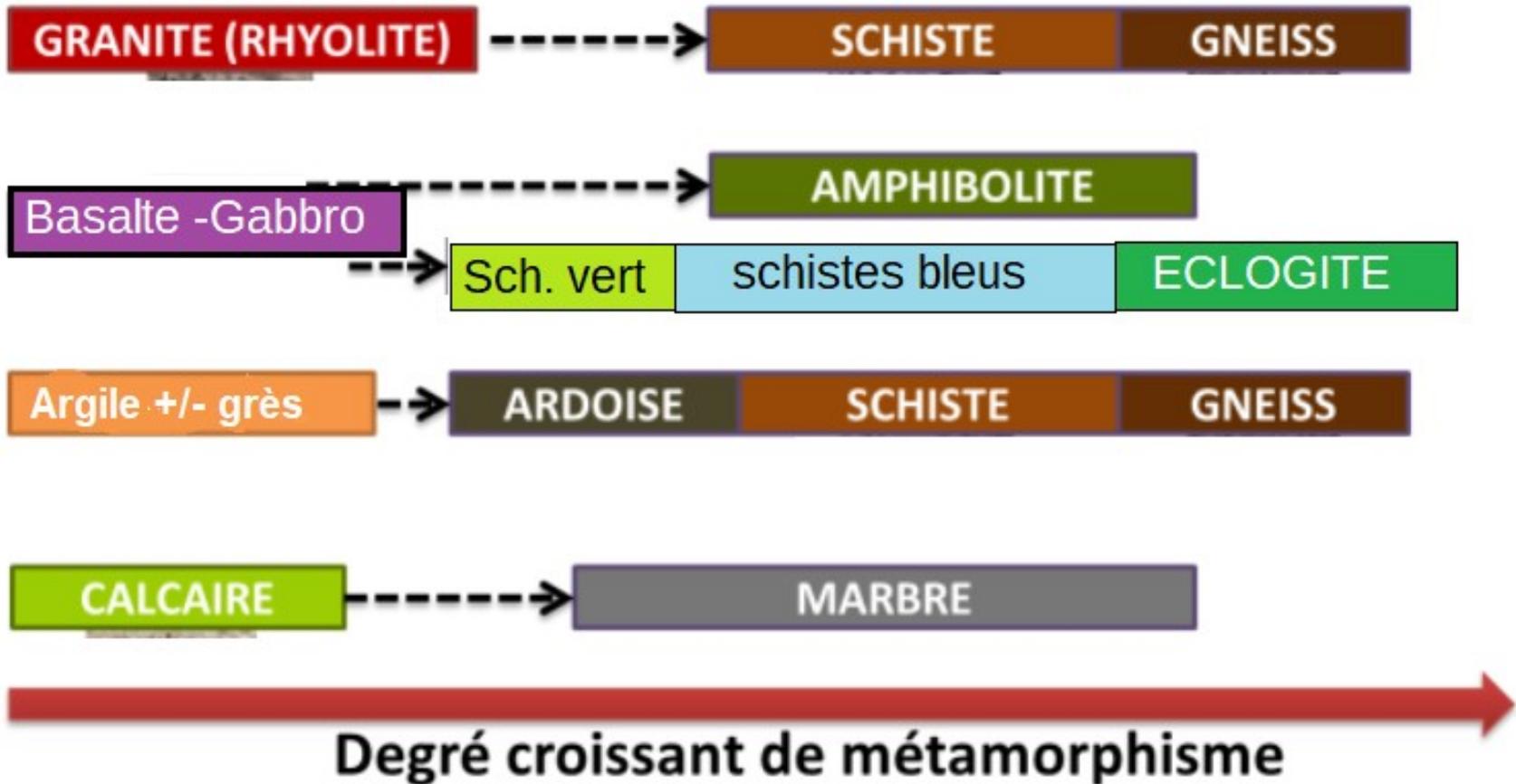
Ex argile → paragneiss

Magmatique → R. orthométamorphique

Ex granite → orthogneiss

Métamorphique → R. polymétamorphique

3-la composition du protolithe



Parfois des réactions impliquent des **fluides** qui peuvent entraîner des ions (\rightarrow système ouvert)

4-La présence de fluides

Origine :

Externe : ex circulation hydrothermale (P et T faibles)

Interne : déshydratation/décarbonatation des roches (P élevée)

ex Muscovite + quartz → orthose + andalousite + H₂O

ex : Albite + Glaucophane -----> Grenat + Jadéite + Eau



ex : Dolomite + Quartz + Eau -----> Talc + Calcite + Diox. de Carbone



4-La présence de fluides

Effet :

- ↗ pression
- ↘ température de fusion partielle
- modification de la chimie des roches
- accélère les flux de matières et les réactions chimiques

Réactions lentes (Ma)

=> minéraux **métastables** en dehors de leurs champs de stabilité

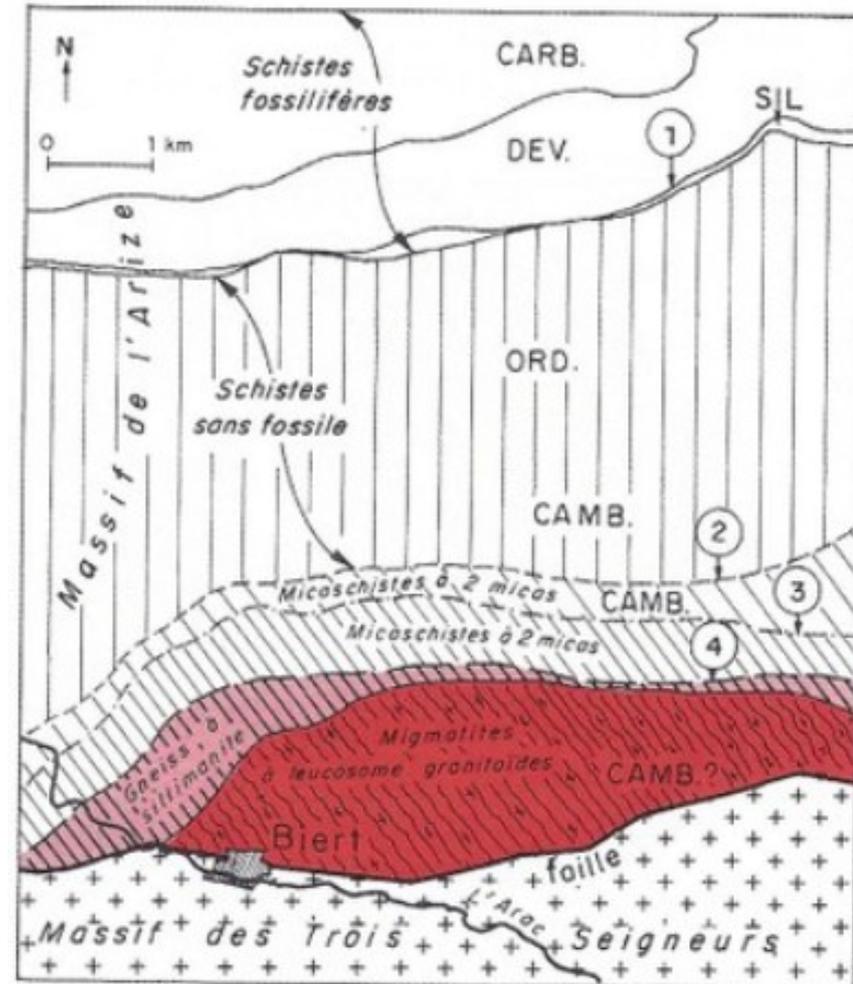
C-Les séries métamorphiques permettent de reconstituer le gradient métamorphique

Série (séquence) métamorphique :
ensemble des roches métamorphiques d'une même région ayant subi une même histoire tectonique et métamorphique

Région : Ariège (Pyrénées)

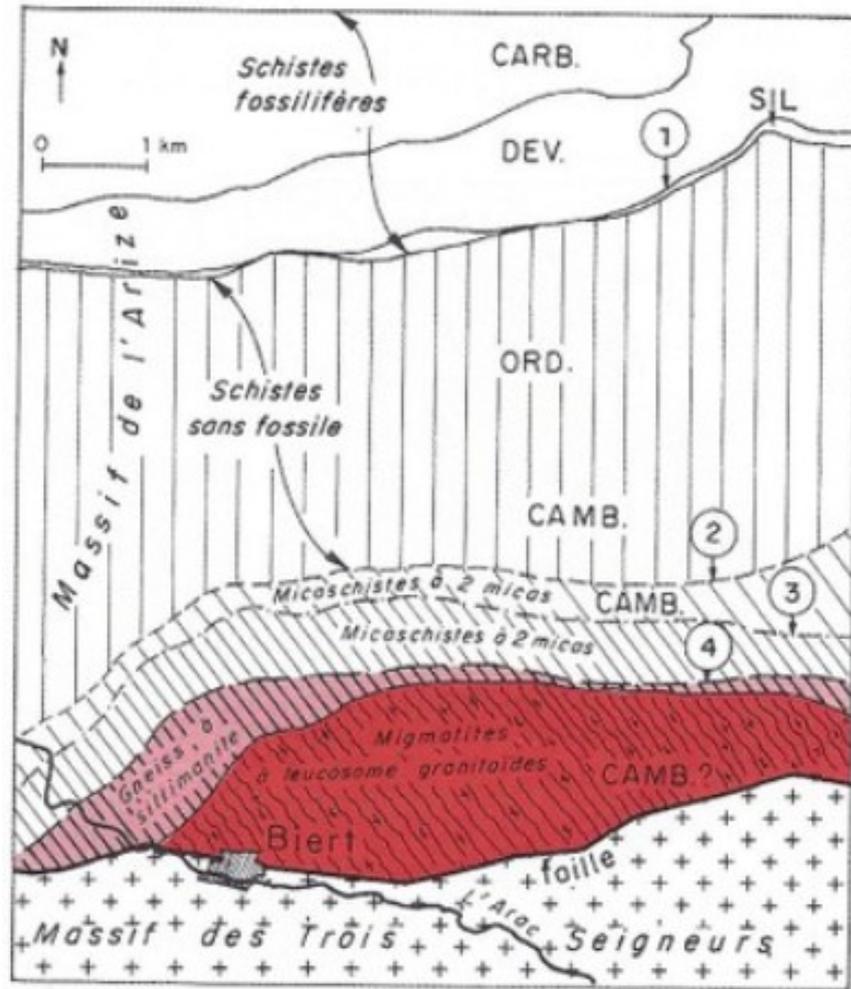
Episode tectonique : collision
(cycle alpin)

Isograde : ligne reliant les lieux où apparaît / disparaît un minéral
= ligne d'égale intensité du M.

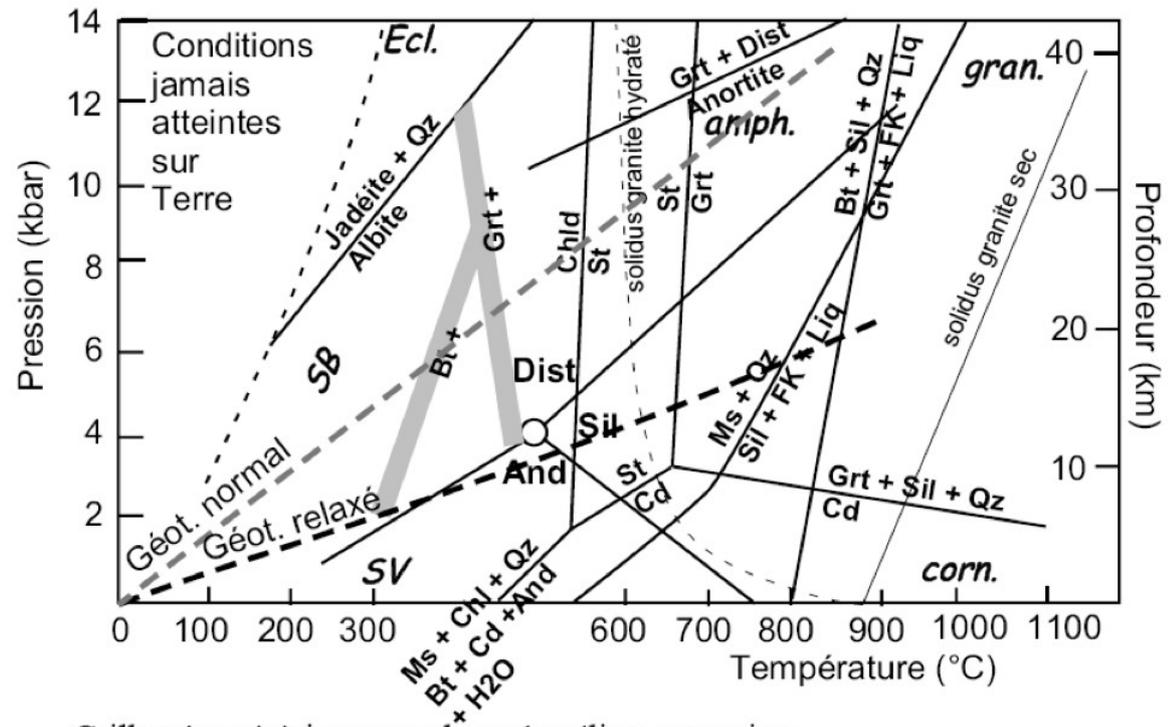


Carte de St-Giron (Pyrénées)

C-Les séries métamorphiques permettent de reconstituer un gradient métamorphique



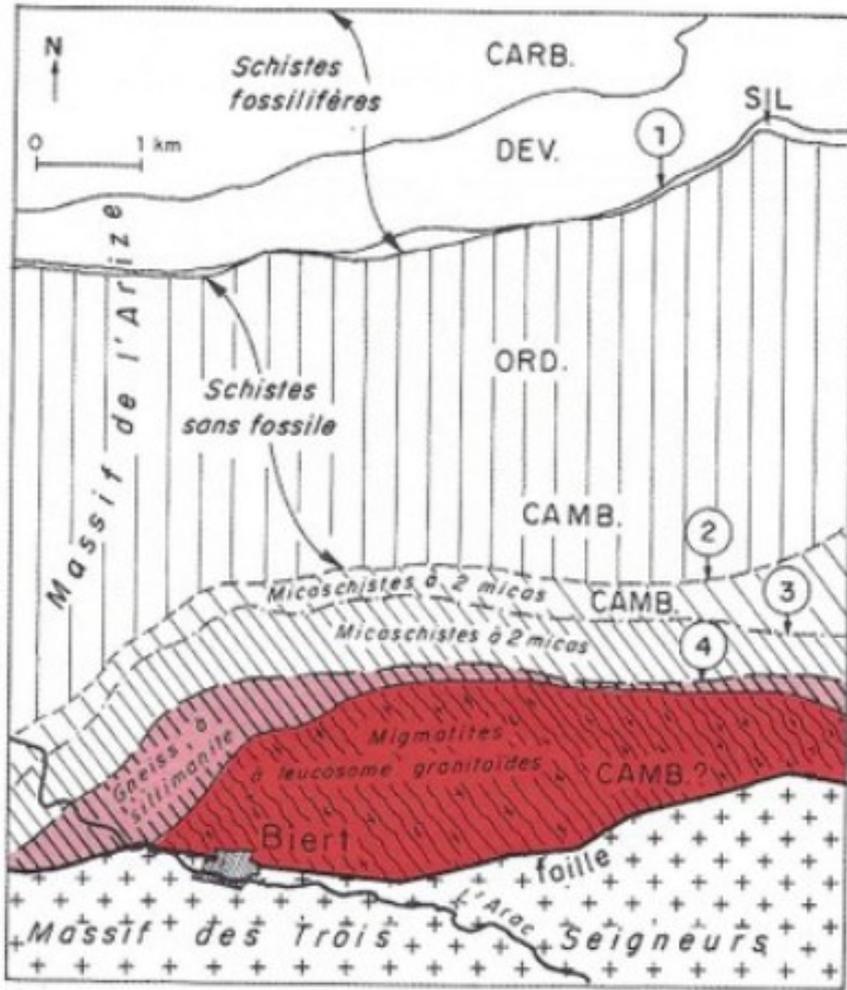
Carte de St-Giron (Pyrénées)



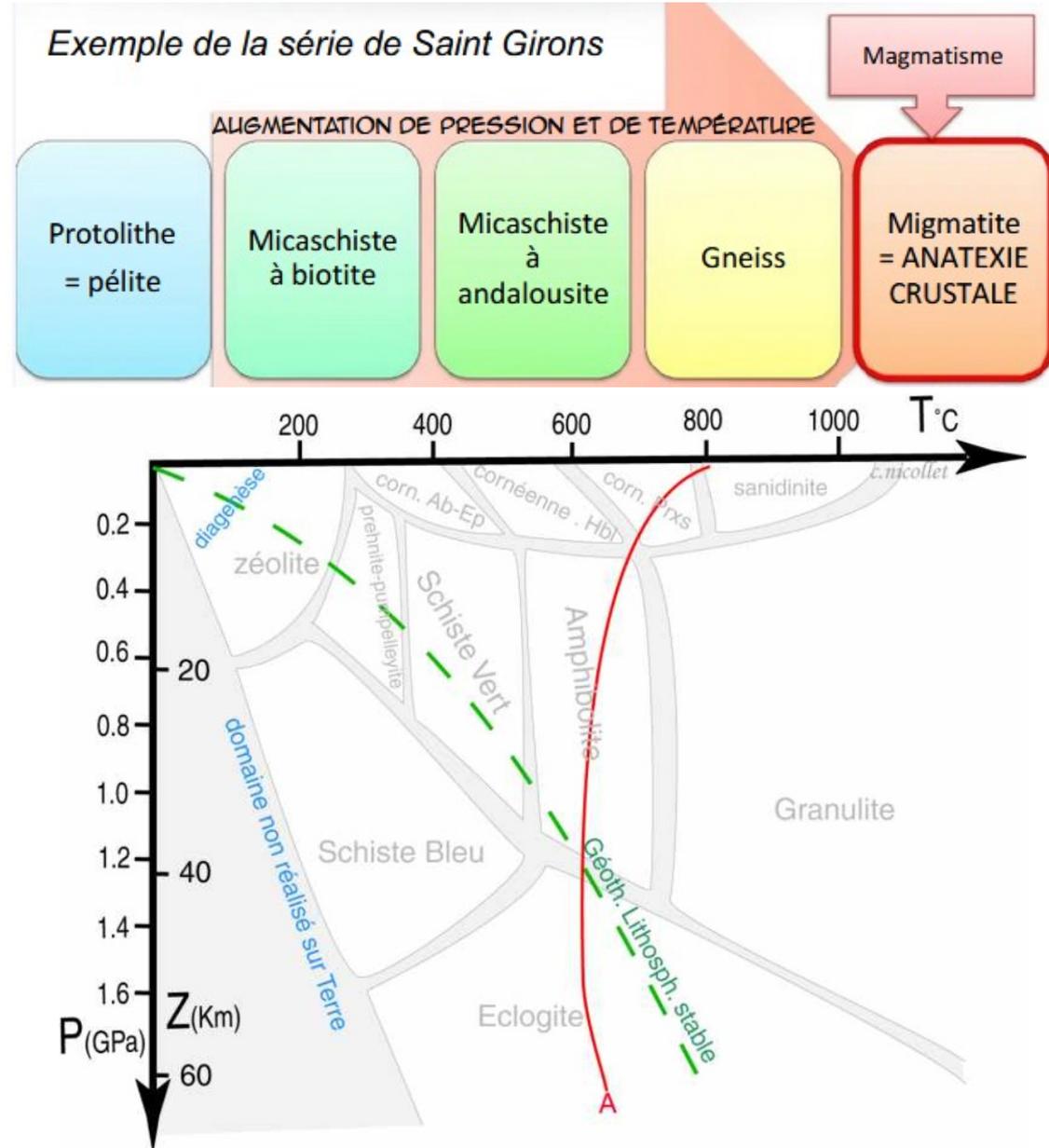
Grille pétrogénétique pour les métapelites et granites (chimie CKNASH)

Figure 3 : Grille pétrogénétique pour les roches pélitiques et les granites.
 Ms : muscovite, And : Andalousite, Disth. : Disthène, Sil. : Sillimanite, Cd. : Cordiérite, St. : Staurotide, FK : Feldspath potassique

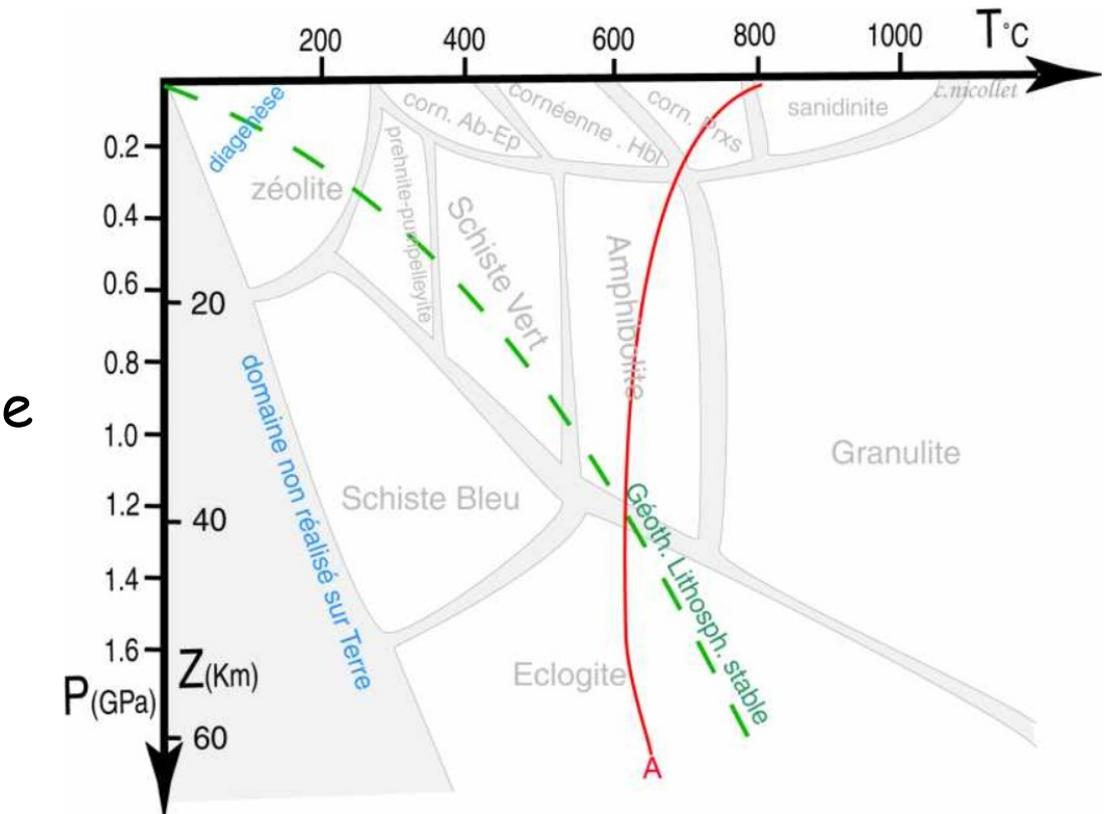
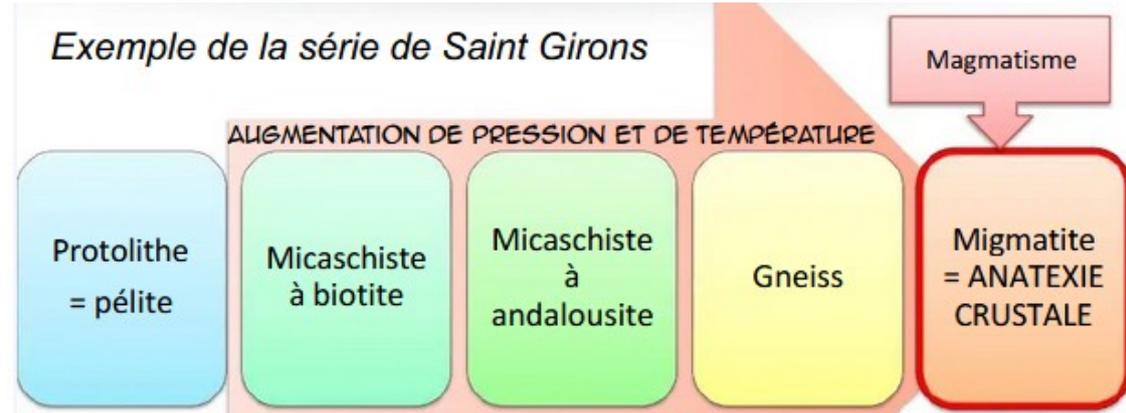
C-Les séries métamorphiques permettent de reconstituer un gradient métamorphique



Carte de St-Giron (Pyrénées)



C-Les séries métamorphiques permettent de reconstituer le gradient métamorphique



Gradient métamorphique :
 Evolution des conditions de P et T dans la région lors de l'épisode de métamorphisme

=> indicateurs du contexte géodynamique

D- le gradient métamorphique est un indicateur du 30 contexte géodynamique

1-cas du métamorphisme régional

Région= 100- 1000 Km

Gradients

HP-BT : $10^{\circ}\text{C}/\text{Km}$

=> subduction

MP-MT : $20\text{-}30^{\circ}\text{C}/\text{Km}$

=> collision

BP/HT : $50\text{-}80^{\circ}\text{C}/\text{Km}$

=> fin de collision

(amincissement litho)



D- le gradient métamorphique est un indicateur du 31 contexte géodynamique

1-cas du métamorphisme régional

Région= 100- 1000 Km

Gradients

HP-BT : $10^{\circ}\text{C}/\text{Km}$

=> subduction

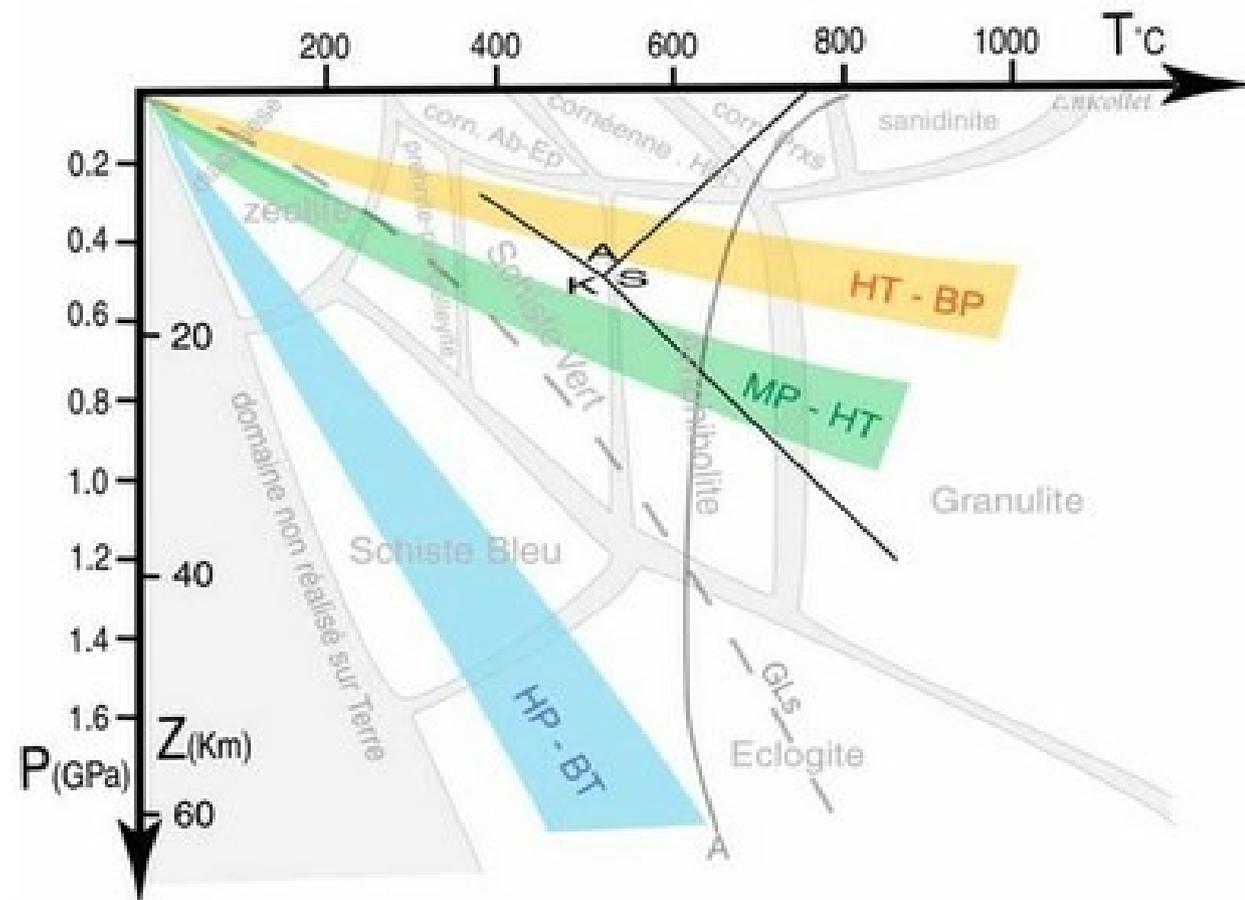
MP-MT : $20-30^{\circ}\text{C}/\text{Km}$

=> collision

BP/HT : $50-80^{\circ}\text{C}/\text{Km}$

=> fin de collision

(amincissement litho)



2-cas du métamorphisme de contact

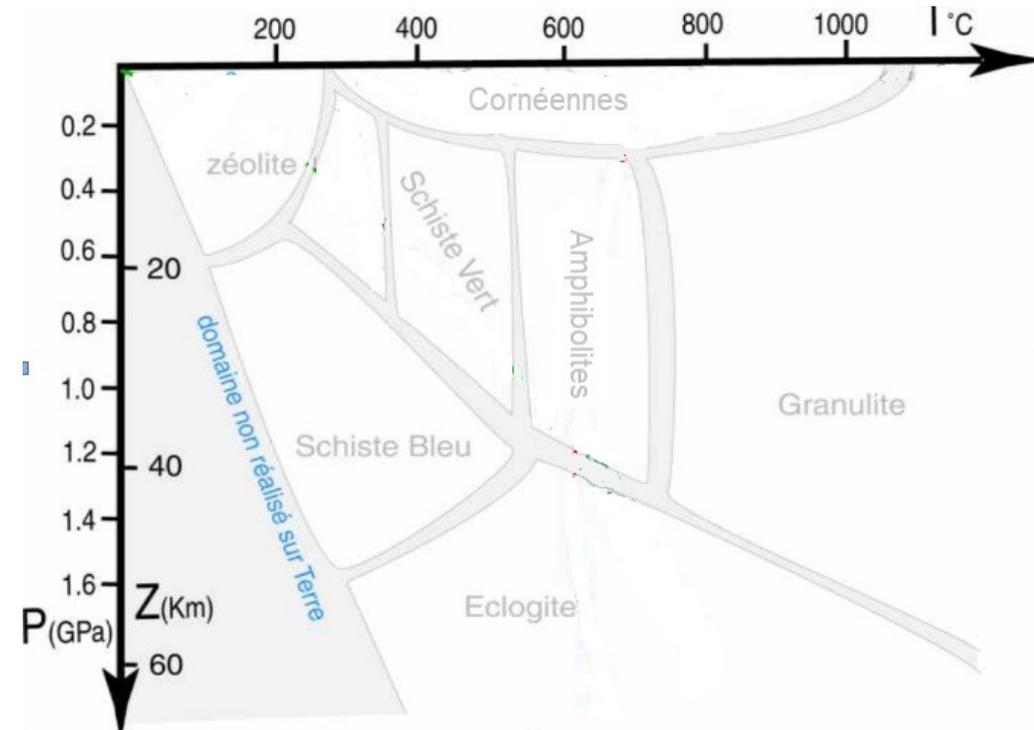
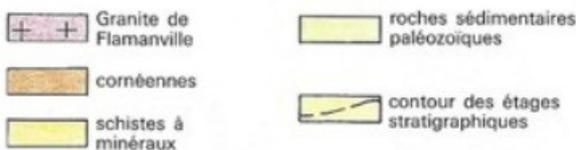
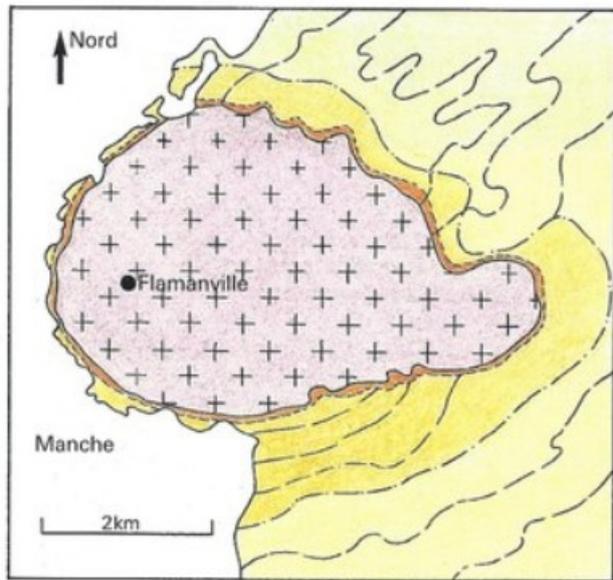
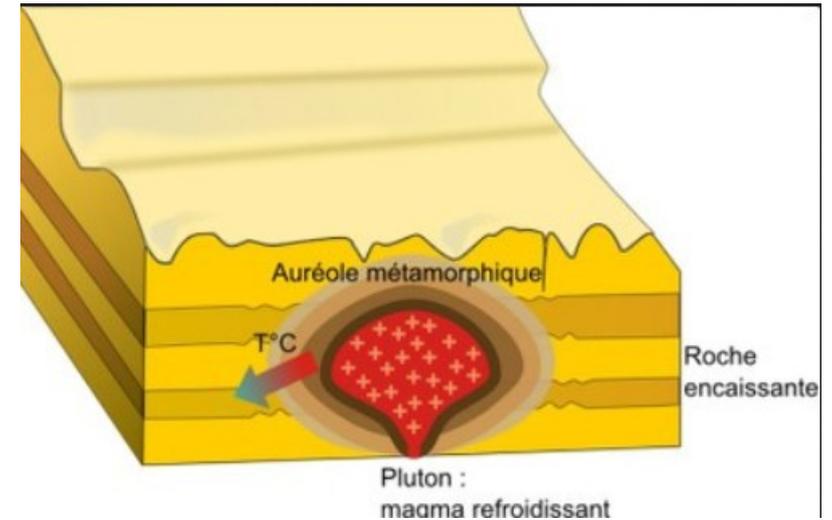
32

Distance : cm-km d'un pluton

Métamorphisme BP-HT

Intensité ↗ en se rapprochant
du pluton

Faciès : cornéenne



E-La datation des différentes parageneses permet 33 de reconstituer un chemin $P, T = f(t)$

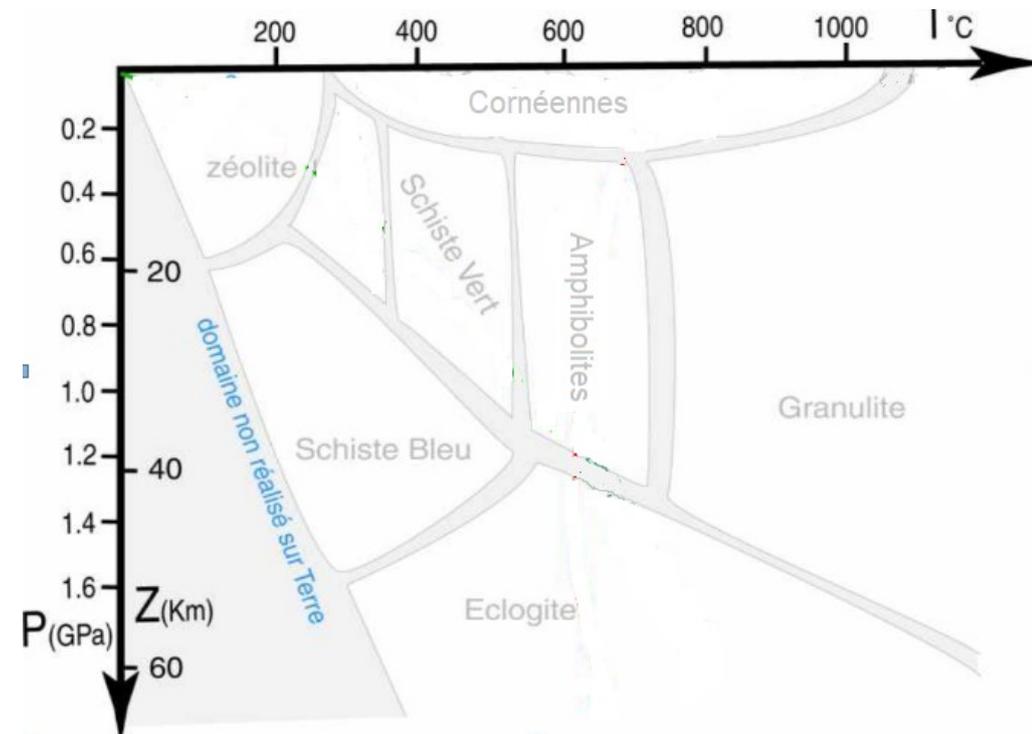
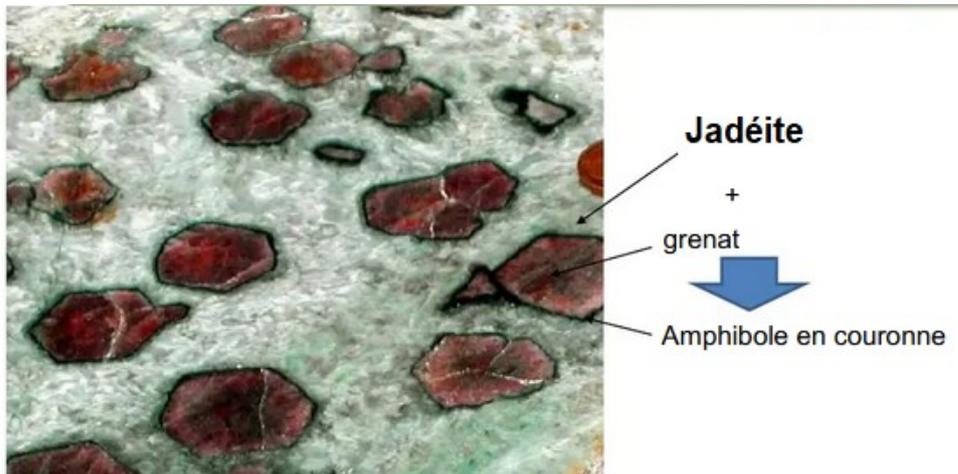
- Identification des paragenèses d' **UNE** roche
- Datation relative (principe d'inclusion) / absolue

Chemin prograde $\rightarrow \nearrow P, T =$ enfouissement

Chemin rétrograde $\rightarrow \searrow P, T =$ exhumation

Pic de métamorphisme

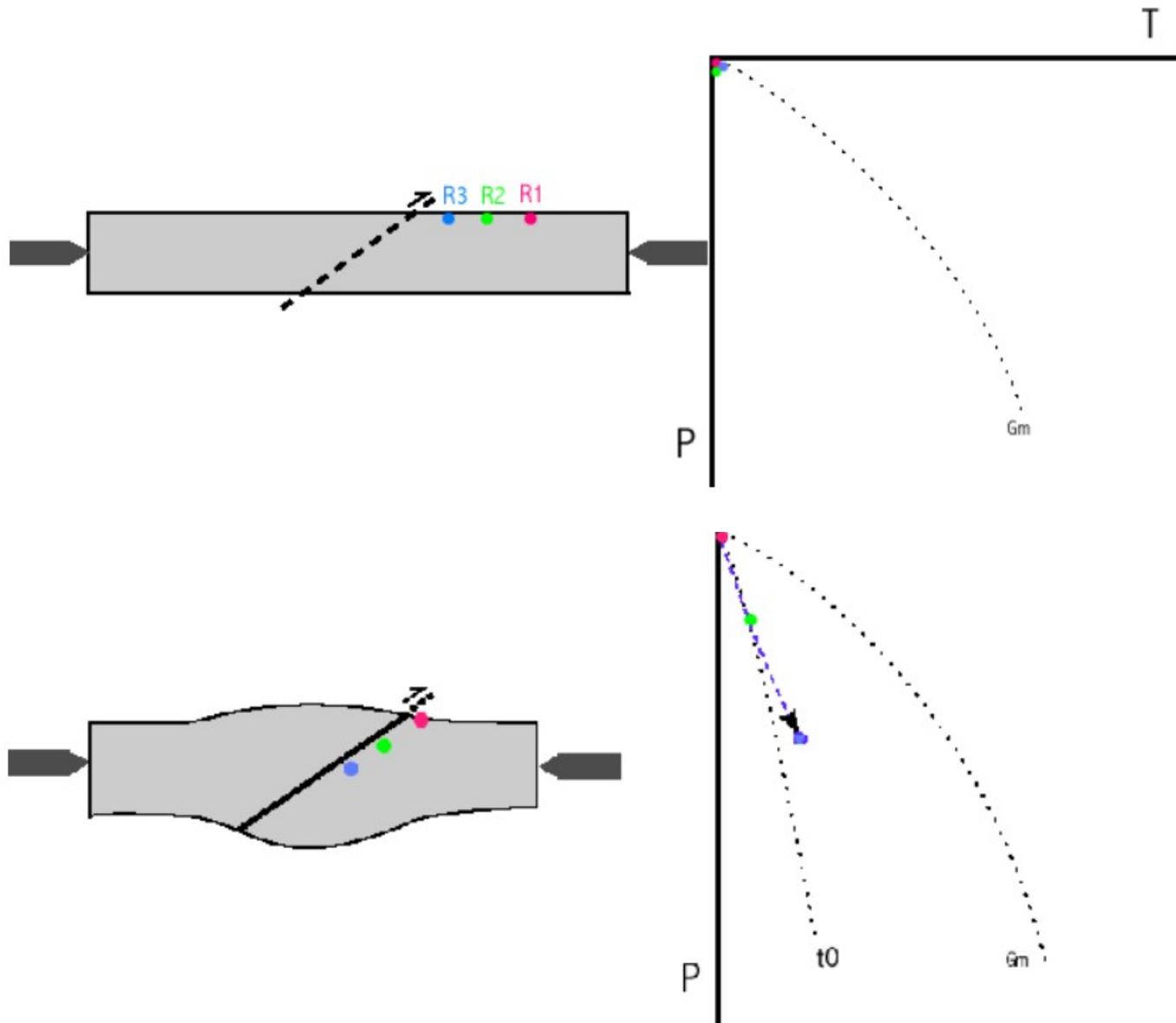
Ex : Eclogite du mont Viso (Alpes)



Ex : Chemins dans un contexte de collision

34

Enfouissement : Granite \rightarrow f.éclogite \rightarrow fusion partielle



Enfouissement

= roches (froides + faible conductivité thermique) s'enfoncent.

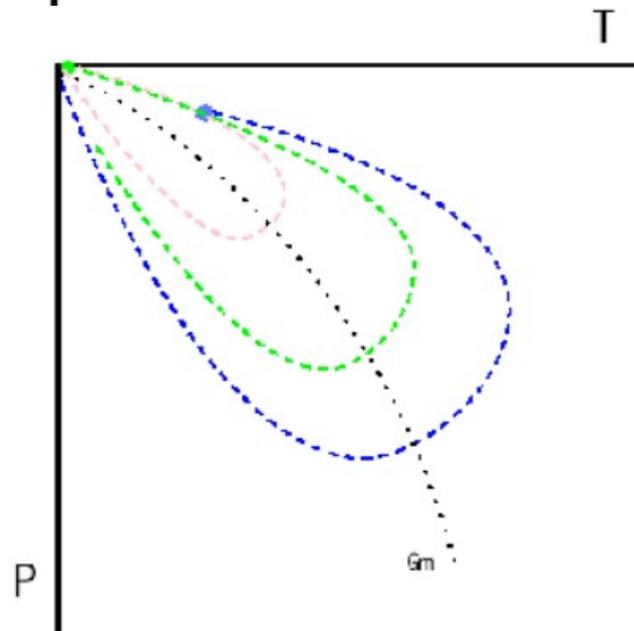
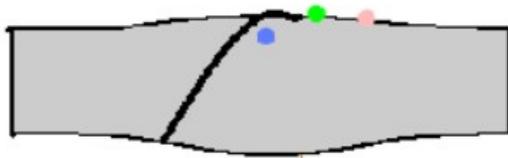
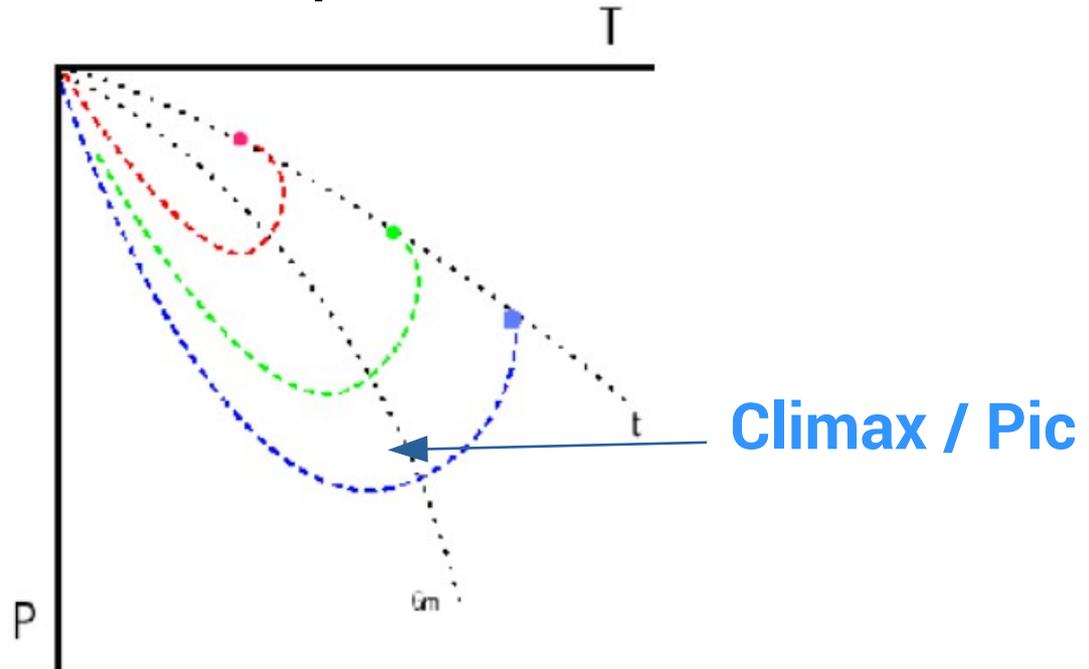
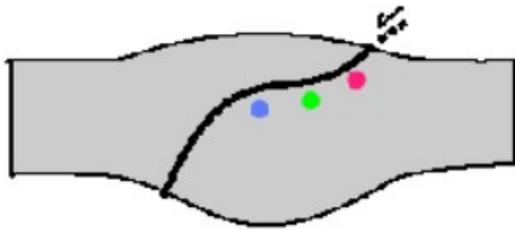
=> P \nearrow plus vite que T

=> gradient $t_0 <$ Geoth. moy

Chemins dans un contexte de collision

35

Exhumation = \rightarrow granulite \rightarrow amphibolite \rightarrow schiste vert



Exhumation

= roches se réchauffent et remontent

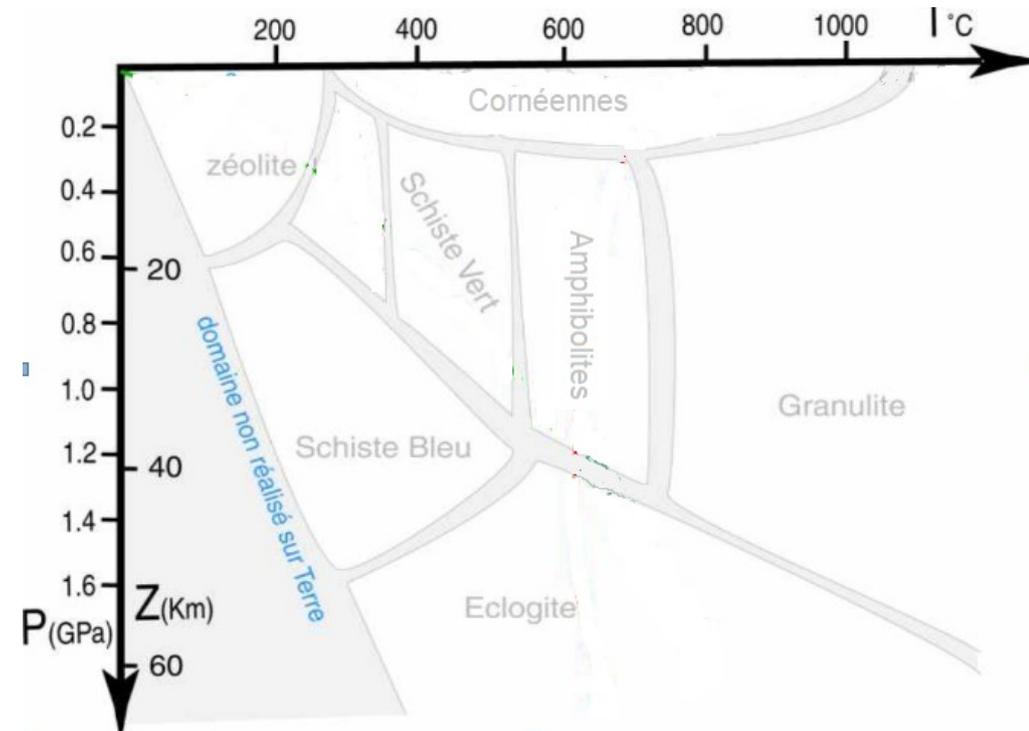
=> gradient $t >$ Geoth. moy

Ex Chemin dans un contexte de métamorphisme hydrothermal au niveau des dorsale

=> métamorphisme non isochimique

=> refroidissement + léger enfouissement

Gabbro → schiste vert



Ex Chemin dans un contexte de subduction
enfouissement : schiste vert → sch. Bleu → éclogite

