

## TP Métamorphisme : marqueur de géodynamique interne

### Programme officiel :

- Analyser et exploiter une carte géologique laissée au choix permettant l'étude d'une série métamorphique.
- Exploiter la juxtaposition d'assemblages typomorphes (i.e. ressemblant à un type de roche précis) dans une série métamorphique. Déterminer un gradient métamorphique.
- Exploiter des données pétrogénétiques et structurales pour proposer une hypothèse en termes de chemin P, T = f(t) ;
- Exploiter des assemblages typomorphes et des chemins P, T = f(t) dans le cadre d'une histoire régionale.

Le métamorphisme désigne les transformations minéralogiques à l'état solide d'une roche sous l'action de changements de pression et de température en profondeur. Il n'y a donc aucune phase fondue dans ces transformations même si une phase fluide peut parfois intervenir (phase aqueuse par exemple). Les réactions de métamorphisme peuvent donc s'écrire souvent sous la forme :

minéraux(al) réactifs (+ phase fluide 1) => minéraux(al) produits (+ phase fluide 2)

La nature de la roche d'origine, le protolithe, conditionne la chimie de la roche métamorphique obtenue. Le domaine de pression et température conditionne quant à lui la nature des minéraux présent pour une chimie donnée. Le préfixe ortho désigne un protolithe magmatique, le préfixe para un protolithe sédimentaire. On peut former des familles de roches métamorphique en fonction de la nature du protolithe. Dans ce poly, nous les regroupons de la façon suivante :

- groupe des roches siliceuses et silico-alumineuses : série pélitique (issue des argiles), série quartzo-feldspathique (issue des granitoïdes), série quartzreuse (issue des grès)
- groupe ferro-magnésien : série basique-mafique (issue des basaltes et gabbros), ultrabasiq- ultramafique (issue des péridotites)
- groupe carbonaté : série carbonatée (issue des calcaires)

D'autre part, les associations minéralogiques présentes dans des roches métamorphiques caractérisent les domaines (P,T) qu'elles ont subies. L'étude de ces transformations minérales et des structures qui leur sont associées permet donc de raconter une histoire métamorphique et de reconstituer des événements géodynamiques passés.

### I- Des transformations structurales et minéralogiques visibles sur les roches

#### 1- Singularités minéralogiques et structurales de quelques roches métamorphiques

a) *Mais qui es-tu, beau caillou ?*

*Dans le texte suivant, une description de différentes roches vous est fournie. Commencez par une lecture attentive. Vous constaterez ensuite que les échantillons correspondants sont sur vos tables, dans le désordre et non étiquetés. Votre travail est d'identifier chacun des échantillons, d'y retrouver les éléments de description, et de mettre une étiquette en face. Appelez le (la) prof(e) quand vous avez fini.*

b) *Tu as de beaux minéraux, tu sais...*

*Certaines de ces roches présentent des minéraux caractéristiques du métamorphisme (dont certains semi-précieux). Notez le à chaque fois que vous en rencontrez, identifiez le minéral quand vous le pouvez. Ou alors, demandez...*

#### \* Groupe siliceux et silico-alumineux :

##### - Micaschiste

Roches très riches en micas (d'où un aspect brillant ou satiné de près ; gris bleuté de loin), avec une schistosité très marquée. On perçoit une fine foliation très nette, avec des lits minéraux plus criches

en micas, qui constituent les plans de moindre résistance. Comme pour le gneiss, on y trouve du quartz ; des feldspaths et des micas (blanc ou noir ou les deux). En général, ils dérivent de roches sédimentaires alumineuses. On peut y rencontrer : andalousite, disthène, sillimanite, staurotide, cordiérite, grenats, tous indicateurs de climats métamorphiques différents.

### - Gneiss (2 échantillons)

Le gneiss est une roche orientée mais cohérente de grain millimétrique ou centimétrique. Pas de schistosité qui permettrait un débit en plaquettes. Il contient des cristaux visibles à l'œil nu : quartz, feldspaths, et en général micas. Roche avec foliation bien visible : les minéraux sont disposés en lits de 1 à 5 millimètres d'épaisseur. Suivant la nature des micas et des autres minéraux qu'il renferme, l'analyse du gneiss sera précisée : on distingue des gneiss homogènes (à micas blancs, à micas noirs, à deux micas, à amphibole, à pyroxène, etc.) et des gneiss hétérogènes (gneiss oillé avec de très gros feldspaths; gneiss rubané si la disposition en lits est très apparente). , à feldspaths. Quartz commun mais non obligatoire. Le type gneissique se réalise donc dans tous les climats du métamorphisme où les feldspaths sont stables. Ils peuvent provenir de roches magmatiques comme les granites (= orthogneiss), ou de roches sédimentaires (= paragneiss)

### - Migmatite (un gros échantillon est aussi présent dans la salle)



Roches qui se présentent comme un gneiss dont la foliation est localement perturbée, plus ou moins effacée par endroits, avec des lits polycristallins d'aspect grenu, identiques à un granite. Il s'agit de roches métamorphiques ayant subi une fusion partielle, et donc la phase fondue est restée mêlée à la roche d'origine (gneiss). Les migmatites sortent du domaine du métamorphisme au sens strict, mais elle en constituent le prolongement si l'enfouissement de l'échantillon s'accroît : ce sont des gneiss qui ont franchi le solidus.

### \* Groupe ferro-magnésien

#### - Méta-gabbro

Les métagabbros se présentent comme des gabbros, mais avec des minéraux modifiés. Ils présentent donc une texture grenue à base de clinopyroxènes et de plagioclases plutôt calciques. Les pyroxènes ont un aspect modifié, leur couleur noire typique apparaît plutôt marron foncé en surface. Les plagioclases normalement blancs, adoptent une couleur verdâtre. Les modifications s'observent surtout en périphérie des minéraux, dans leur zone de contact.

#### - Amphibolite

L'amphibolite est une roche métamorphique composée principalement d'amphibole verte, brune ou noire et de plagioclase, où les amphiboles sont majoritaires. Elles peuvent présenter une orientation plus ou moins marquée, voire parfois une schistosité, mais pas systématiquement. D'autres minéraux peuvent éventuellement être présents, comme le quartz, le clinopyroxène, l'épidote, la biotite...

#### - Eclogite

Roches très cohérentes, denses et difficiles à casser, souvent sans orientation, à cristaux de grenat rose et pyroxène bien visible à l'œil nu. Leur couleur d'ensemble varie de vert à noir. Ce sont des

pyroxénites à grenat obligatoirement dépourvues de plagioclases. Il peut s'y ajouter un peu d'amphibole. Elle dérivent de roches magmatiques riches en fer et magnésium et pauvres en silice (basaltes, gabbros, péridotites)

**\* Groupe carbonaté**

**- Marbre ou cipolin**

Roches carbonatées (effervescence à HCl), elles résultent du métamorphisme de roches sédimentaires carbonatées (calcaire ou dolomies). Les calcaires traversent la plupart des climats métamorphiques sans grand changement du fait de leur monotonie chimique (CaCO<sub>3</sub>), mis à part :

- La transformation de la calcite en aragonite en fonction de P et T
- Des réactions qui peuvent concerner la fraction argileuse du calcaire et donner naissance à des minéraux métamorphiques silicatés
- Un fluage de matière qui dessine les veines caractéristique du marbre

On distingue :

- Le marbre au sens strict : roche métamorphique claires dérivant d'un calcaire ou d'une dolomie. Ce sont des roches claires, souvent veinés de façon irrégulière.
- Le cipolin est une variété de marbre coloré à veines ondulées de serpentine, disposées de façon parallèle/concentrique.

**2- Bilan : montre moi tes minéraux et je te dirai d'où tu viens**

- Des modifications structurales sont fréquemment liées au métamorphisme : schistosité, foliation... mais elle n'en sont qu'une manifestation associée. Ce sont les transformations minéralogiques qui définissent le métamorphisme.

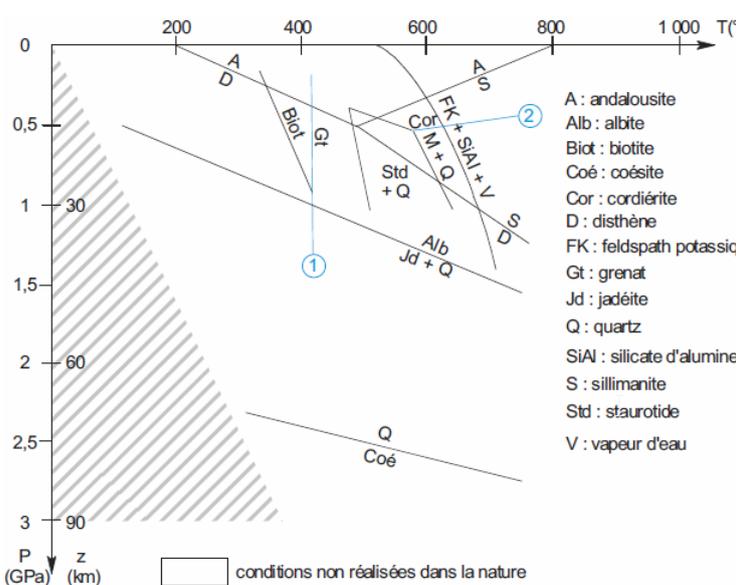
- La chimie initiale conditionne le type de minéraux et de roche métamorphique obtenue

- Des minéraux néoformés nous renseignent sur des conditions (P,T) d'après leur domaine de stabilité : trois exemple

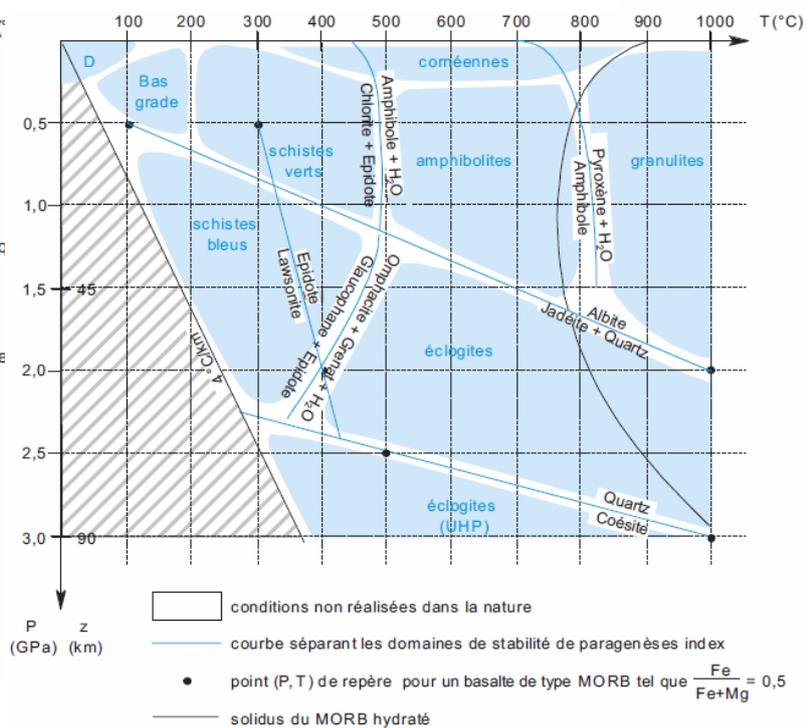
Un constituant : silicates d'alumine, qz/coésite

Plusieurs constituants : albite => jadéite + qz

On peut aussi utiliser des associations de plusieurs minéraux ,= paragenèse, pour préciser le domaine (P,T), et définir ainsi des faciès métamorphiques : schiste verts, schistes bleus, amphibolite, écloérites..... Ces données sont représentées dans les deux graphiques joints :



- ① Courbe d'équilibre de la réaction *biotite + silicate d'alumine + quartz = grenat + feldspath potassique + H<sub>2</sub>O*
- ② Courbe d'équilibre de la réaction *cordiérite = grenat + sillimanite + quartz + H<sub>2</sub>O*



- conditions non réalisées dans la nature
- courbe séparant les domaines de stabilité de paragenèses index
- point (P, T) de repère pour un basalte de type MORB tel que  $\frac{Fe}{Fe+Mg} = 0,5$
- solidus du MORB hydraté

## II- Approche cartographique du métamorphisme, notion de série et de gradient métamorphique.

Sur la carte de St Giron (Pyrénées), des roches métamorphiques ont été cartographiées et décrites. Les auteurs ont dessiné sur la carte des isogrades (au sens cartographique), c'est à dire les lignes qui séparent des domaines ou un minéral de métamorphisme est soit présent, soit absent.

a) Recherchez des roches métamorphiques et des isogrades sur la carte : que constatez-vous quant à leur disposition ?

b) A quel groupe chimique de roches métamorphiques avons-nous à faire ?

c) En vous focalisant sur la zone indiquée, et en vous aidant du diagramme des domaines d'équilibre et de stabilité, évaluez la pression et la température qui régnait à l'emplacement de ces isogrades. Annotez le graphe si nécessaire

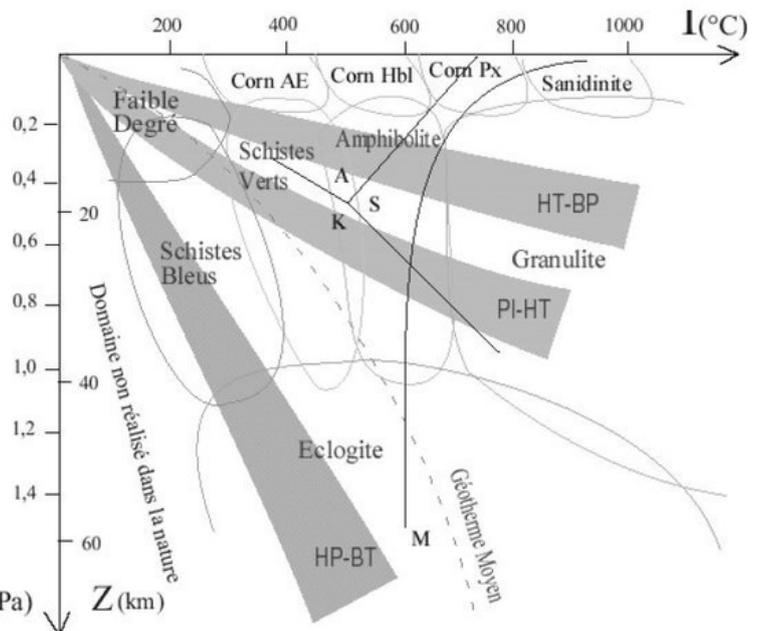
d) Comment semblent évoluer paléo-pression et paléo-température sur l'axe nord-sud ? And+ désigne la perte ou le gain d'andalousite quand on se déplace vers le sud ?

e) Si on admet que ces roches métamorphiques sont presque contemporaines et qu'elles se sont formées dans le même épisode métamorphique, comment expliquer cette gradation nord-sud ?

### Bilan provisoire :

Les isogrades dessinés sur une carte, correspondent au passage de courbes d'équilibre entre deux domaines de stabilité. Les isogrades au sens cartographique correspondent donc à des isogrades au sens thermodynamique.

D'autre part, un ensemble de roches formées dans un même épisode métamorphique forment une série métamorphique comme c'est le cas ici. En fonction des minéraux présents ou absents, on peut inscrire sur un diagramme (P,T) les différents domaines correspondant à ces roches, grâce aux isogrades en particulier qui permettent de donner des points plus précis (on est pile sur la courbe d'équilibre).

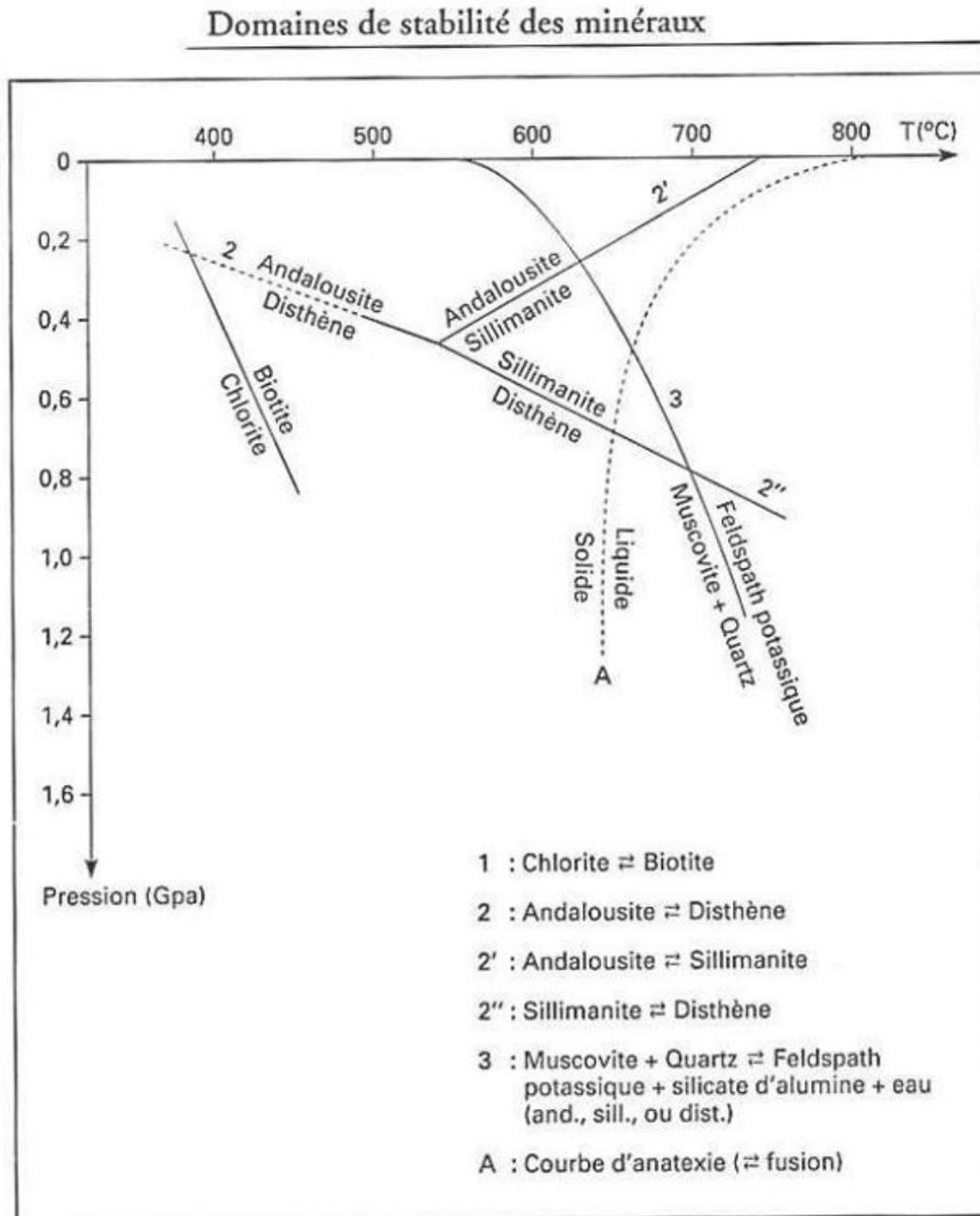


L'ensemble des domaines correspondant à ces roches forment un ensemble de points qui peut être approché par une courbe de tendance. La pente de cette courbe de tendance s'appelle le gradient métamorphique. Le gradient est caractéristique d'un contexte géodynamique. On distingue :

- Le gradient Franciscain (dit « HP-BT ») : caractéristique des subductions (enfouissement d'une lithosphère froide)
- Le gradient Dalradien (dit « MP-MT »), caractéristique des collisions (enfouissement de racines crustales de montagne)
- Le gradient Abukuma (dit « HT-BP »), caractéristique du métamorphisme à proximité d'une forte source de chaleur : plutons, rifts

f) Tracez le gradient métamorphique de la série de St Giron sur le graphe

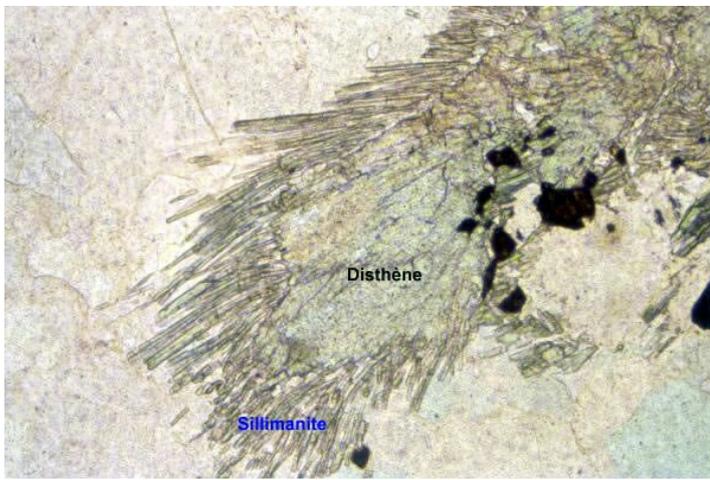
g) A quel type de contexte correspond-elle ? Discutez votre réponse d'après la disposition des terrains sur la carte.



### III- Des possibilités de datation relative des événements métamorphiques

Une même roche peut subir différents événements métamorphiques au cours de son existence. Ces événements passés peuvent laisser des traces sous formes de minéraux reliques, ou de structures associées au métamorphisme (schistosité...). Les relations géométriques entre ces traces permettent de reconstituer une chronologie relative.

Sur les quelques exemples suivants, identifiez les différentes phases subies et ordonnez les dans le temps

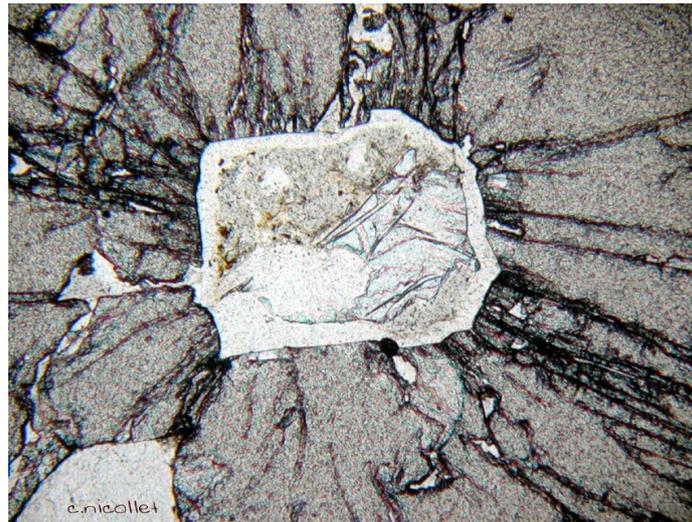


Gneiss des monts du lyonnais



Grenat au centre dans un micaschiste

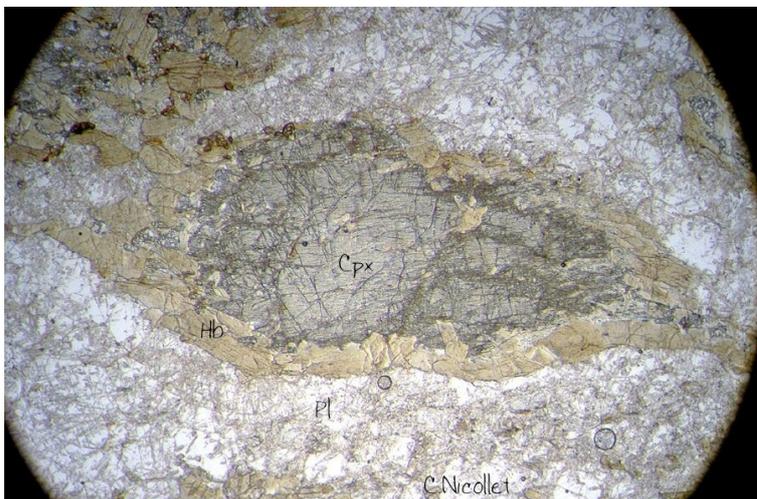
Quartz et coesite au coeur d'un grenat, dans un métagrès de Dora Maira (Alpes italiennes)



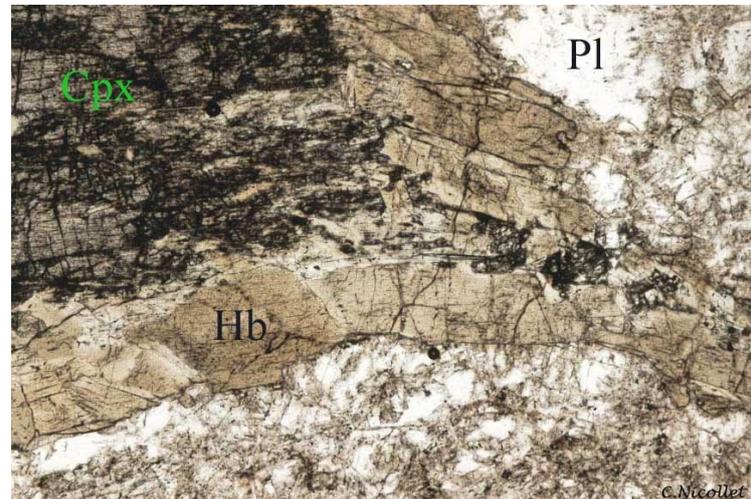
#### IV- La reconstitution de trajets (P,T,t)

Cet exercice est réalisé à partir de roches métamorphiques récoltées dans les Alpes au sein d'ensembles ophiolitiques de la zone piémontaise (zone interne des Alpes, proche de la frontière franco-italienne) : Chenaillet, Queyras, Mont Viso (Italie). Sur chacune d'entre elles, il est possible de reconstituer différents domaines (P,T) par lesquels elles sont passées, et d'ordonner cette succession dans le temps. Faire une telle reconstitution permet de tracer ce qu'on appelle un chemin pression-température-temps.

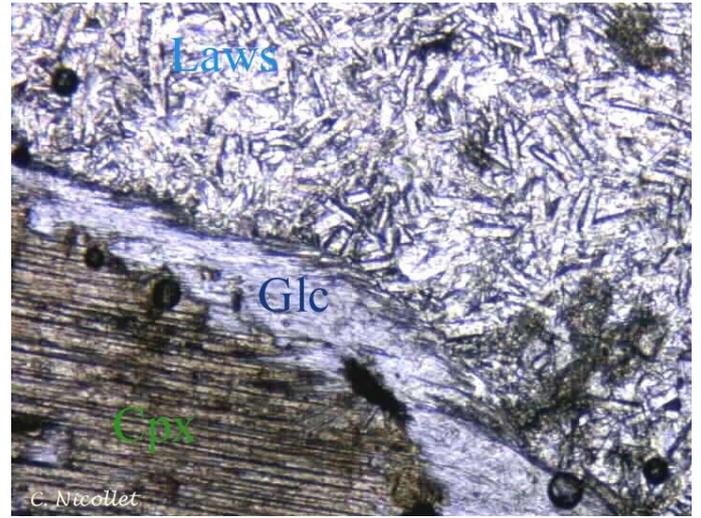
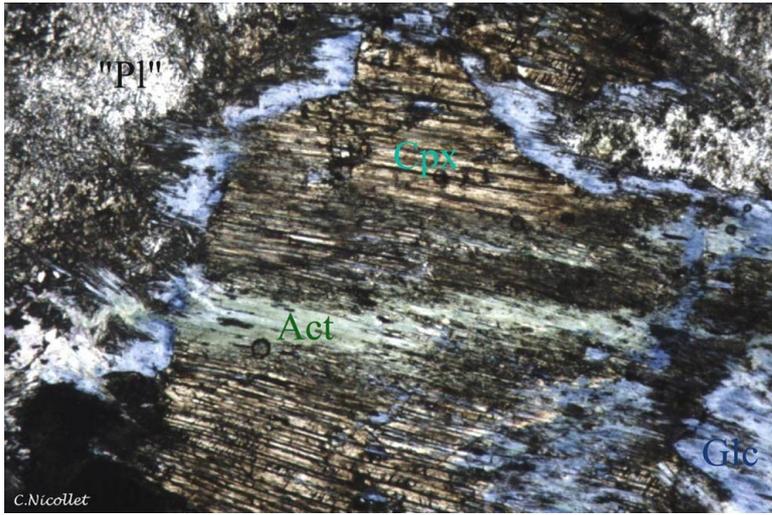
a) Sur chacune des photographies suivantes, en utilisant le graphe des domaines de stabilité du groupe ferro-magnésien, retrouvez des indices qui permettent de tracer un chemin PTt et retracer ces chemins sur le graphe joint (crayon de bois of course...)



Métagabbro du Chenaillet

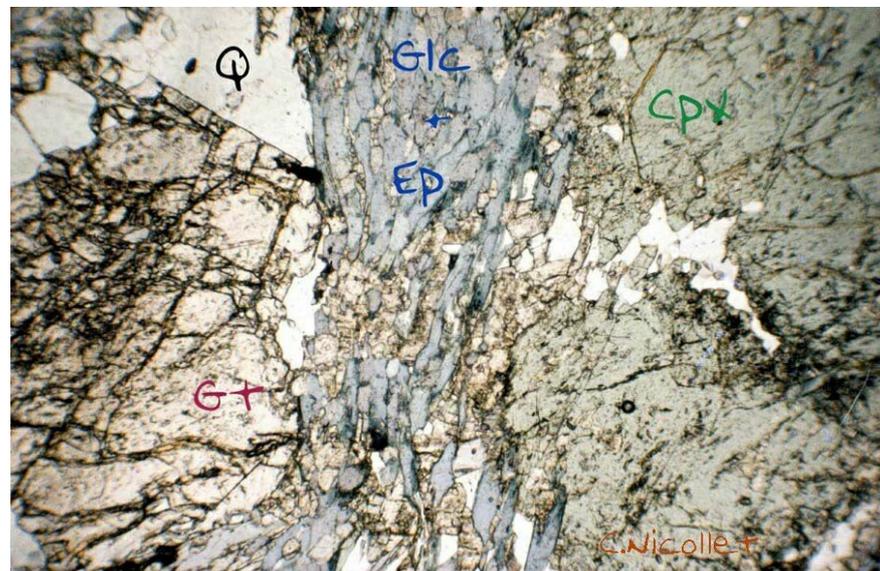


(détail)

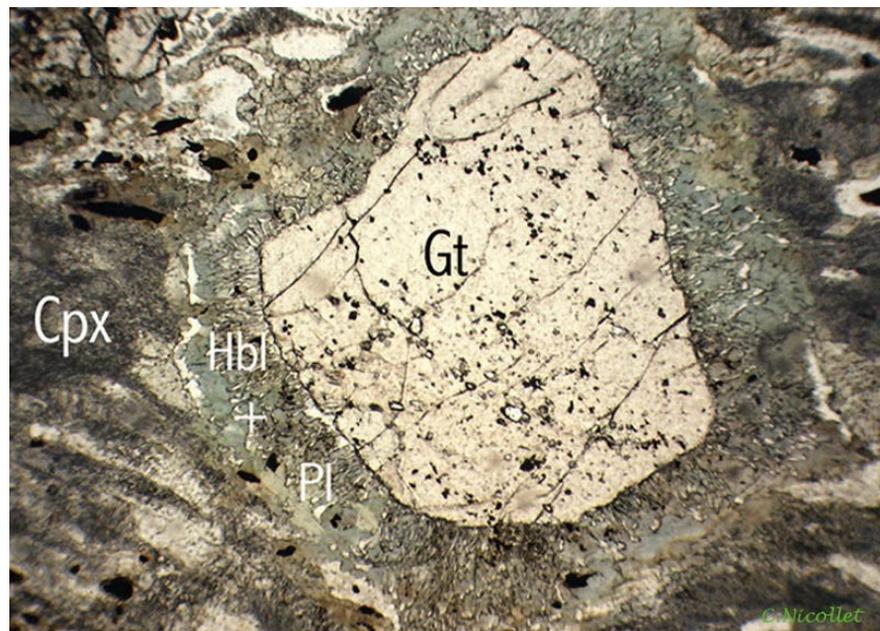


Métagabbro du Queyras

Eclogite 1 du Mt Viso

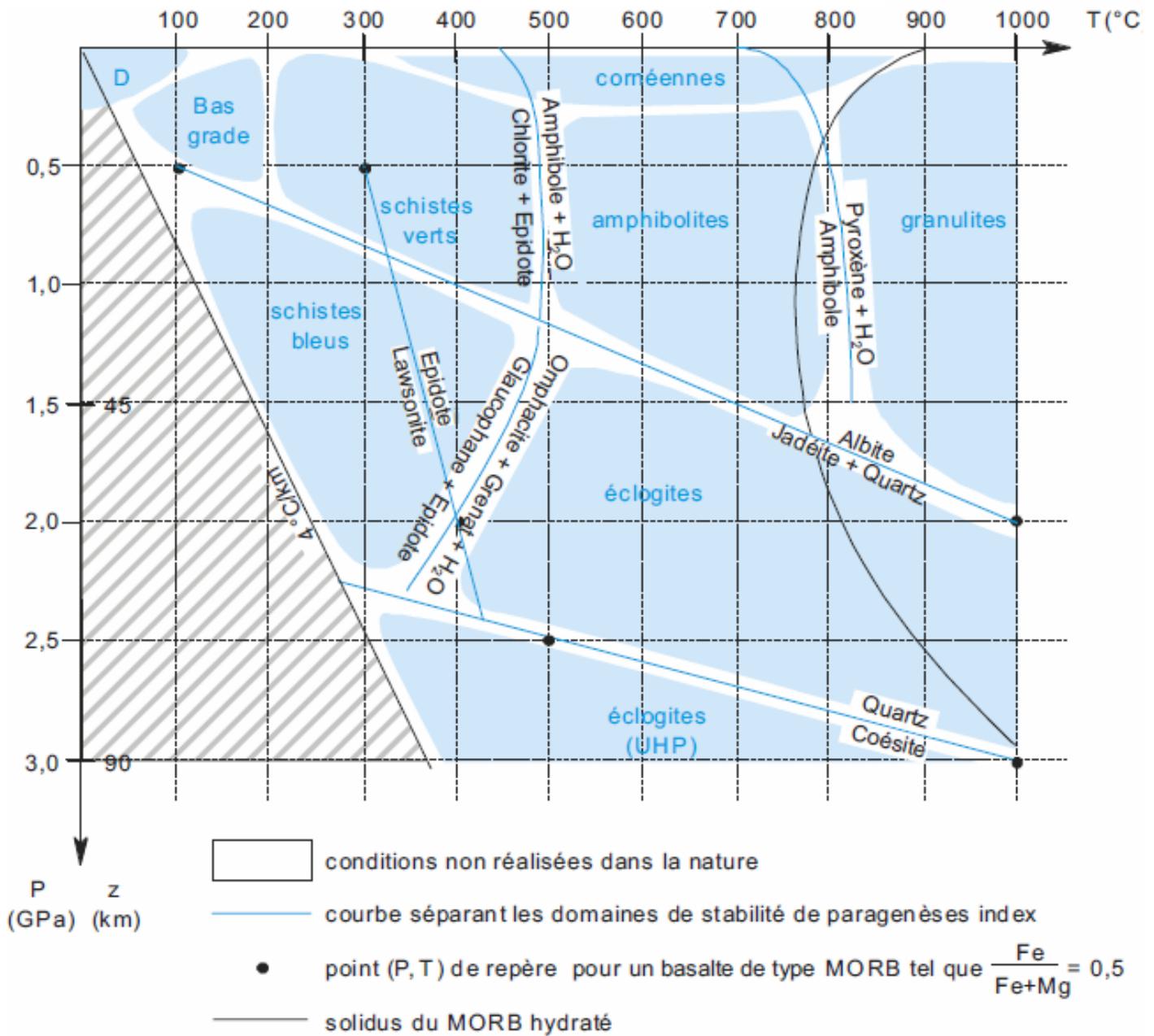


Eclogite 2



On peut repérer le maximum métamorphique sur chacun des chemin PTt (en pratique : le maximum thermique). En traçant une courbe qui relie tous ces maximums métamorphiques de chacun des chemins PTt, on reconstitue le gradient métamorphique subi par ces ophiolites

b) Tracez le gradient métamorphique correspondant aux roches du Queyras et du Viso. De quel type de gradient s'agit-il ? Qu'en concluez-vous ?



#### IV- Exploitation de données de géothermobarométrie

Voir exercice joint

#### V- La cartographie des faciès : un outil pour comprendre une évolution géodynamique

En analysant la carte métamorphique des Alpes, démontrer que les roches de cette région ont subi une subduction et une collision.