



### ST-G. Le métamorphisme, marqueur de la géodynamique interne

ST-G-1. LES ASSOCIATIONS MINÉRALOGIQUES INDICATRICES DE PRESSION ET DE TEMPERATURE

## RESUME

Une roche exposée à un changement de température et/ou de pression est le siège de **transformations minéralogiques**. Ces transformations sont régies par les lois de la thermodynamique et de la cinétique chimique.

Les associations minéralogiques des roches métamorphiques sont **métastables**.

Les **faciès métamorphiques** sont des domaines de l'espace pression-température. L'association de minéraux stables dans un faciès constitue une **paragenèse** à l'équilibre. Ces associations minérales dépendent de la nature de la roche originelle (**protolithe**). Des géobaromètres et des géothermomètres sont constitués par des réactions univariantes du métamorphisme, des minéraux index et par la distribution de certains éléments chimiques dans les phases minérales.

Dans certaines conditions, le métamorphisme peut conduire à **l'anatexie crustale**. Une migmatite est une roche métamorphique qui résulte d'une anatexie crustale partielle.

La lithosphère océanique, formée à l'axe des dorsales, interagit avec l'eau de mer et acquiert un faciès schistes verts.

Carole Vilbert

ST-G-1. LES ASSOCIATIONS MINÉRALOGIQUES INDICATRICES DE PRESSION ET DE TEMPERATURE

## EXTRAIT PROGRAMME

### THEMATIQUE-SCIENCES DE LA TERRE -ST

**ST-G. Le métamorphisme, marqueur de la géodynamique interne (4h)**

**ST-G.1. les associations minéralogiques indicatrices de pression et de température**

## INTRODUCTION

### I. LES ROCHES METAMORPHIQUES : UN ASSEMBLAGE DE MINERAUX RESULTANT D'UNE TRANSFORMATION PAR ETAPES

**A. Les minéraux d'une roche peuvent se transformer à l'état solide en d'autres minéraux souvent de façon incomplète**

- 1) A la recherche d'indices
  - a. Présence d'une foliation et/ou d'une schistosité
  - b. Présence de minéraux présentant une organisation en couronne
  - c. Présence de figures d'instabilité
- 2) En bilan : un assemblage de minéraux globalement de même composition chimique (aux fluides près) que la roche initiale

**B. Des paragenèses successives : des marqueurs d'une transformations par étapes**

- 1) Identification des paragenèses
- 2) Paragenèses et cinématique
  - a. Les minéraux antécinématiques : les marqueurs des paragenèses antécinématiques
  - b. Les minéraux syncinématiques : les marqueurs des paragenèses syncinématiques
  - c. Les minéraux postcinématiques : les marqueurs des paragenèses postcinématiques
  - d. En bilan

### II. LES ROCHES METAMORPHIQUES : TEMOINS DES CONDITIONS DE PRESSION ET DE TEMPERATURES A UN TEMPS DONNE

**A. Les réactions chimiques du métamorphisme permettent d'évaluer la pression et la température**

- 1) La température et la pression, les deux facteurs principaux contrôlant le métamorphisme
  - a. Les réactions du métamorphisme sont sensibles à la pression et à la température car elles sont régies par les lois de la thermodynamique et de la cinétique chimique (Cf cours de chimie et fiche annexe)
  - b. L'origine des variations de température et leur conséquence en quelques mots
  - c. L'origine des variations de pression et leur conséquence en quelques mots
  - d. Bilan
- 2) Les réactions minéralogiques en lien avec les variations de température et de pression
  - a. Les transformations polymorphiques : apparition d'un nouveau minéral de composition identique mais de structure cristalline différente
  - b. Réactions entre plusieurs minéraux (sans intervention de fluide)
  - c. Réactions entre plusieurs minéraux (avec apport et/ou production de fluide)
- 3) Les géobaromètres et les géothermomètres\*\*\*
  - a. Les réactions thermométriques
  - b. Les réactions barométriques
    - i. Un exemple de réaction barométrique et de géobaromètre\*\*\*
    - ii. Quelques réactions barodépendantes indicatrices de P

**B. La succession des réactions minéralogiques peut être représentée graphiquement**

- 1) Notion de grille pétrogénétique
- 2) Utilisation de la grille à partir d'un exemple

**C. Bilan**

**III. LES FACIES METAMORPHIQUES : UN OUTIL POUR CARACTERISER LE METAMORPHISME**

**A. Définition**

**B. Les différents faciès métamorphiques**

**C. L'importance de l'héritage chimique**

**IV. METAMORPHISME EN CONDITIONS PARTICULIERES**

**A. DANS CERTAINES CONDITIONS, LE METAMORPHISME PEUT CONDUIRE A L'ANATEXIE CRUSTALE Cf Chap ST-G-2**

**B. DANS CERTAINES CONDITIONS, LA LITHOSPHERE OCEANIQUE ACQUIERT UN FACIES SCHISTE VERT**

- 1) Mise en évidence d'une circulation d'eau de mer au niveau de l'axe des dorsales
- 2) Description du circuit convectif de refroidissement de l'axe de la dorsale
- 3) Un tri géochimique associé à l'hydrothermalisme océanique
- 4) Évolution minéralogique associée

**CONCLUSION**

**INDEX**

**BIBLIOGRAPHIE**

## EXTRAIT PROGRAMME

<p>L'étude des roches métamorphiques complète la compréhension de la dynamique des enveloppes solides. Cette analyse combine une reconnaissance de l'organisation spatio-temporelle des roches (sur carte géologique et par datation), une reconnaissance minéralogique et une connaissance physico-chimique des réactions métamorphiques. Cette partie est essentielle pour mettre en évidence l'importance de l'analyse de données de terrain et de laboratoire pour la compréhension de phénomènes fondamentaux (échanges de matière et d'énergie à la surface du globe). Cette analyse est permise par l'utilisation de nombreux concepts mis en place au cours des autres parties et est réinvestie dans l'étude des grands ensembles géologiques français.</p>	
<b>Savoirs visés</b>	<b>Capacités exigibles</b>
<b>ST-G-1 Les associations minéralogiques indicatrices de pression et de température</b>	
<p>Une roche exposée à un changement de température et/ou de pression est le siège de transformations minéralogiques. Ces transformations sont régies par les lois de la thermodynamique et de la cinétique chimique.</p> <p>Les associations minéralogiques des roches métamorphiques sont métastables.</p> <p>Les faciès métamorphiques sont des domaines de l'espace pression-température. L'association de minéraux stables dans un faciès constitue une paragenèse à l'équilibre. Ces associations minérales dépendent de la nature de la roche originelle (protolithe).</p> <p>Des géobaromètres et des géothermomètres sont constitués par des réactions univariantes du métamorphisme, des minéraux index et par la distribution de certains éléments chimiques dans les phases minérales.</p> <p>Dans certaines conditions, le métamorphisme peut conduire à l'anatexie crustale. Une migmatite est une roche métamorphique qui résulte d'une anatexie crustale partielle.</p> <p>La lithosphère océanique, formée à l'axe des dorsales, interagit avec l'eau de mer et acquiert un faciès schistes verts.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyser et exploiter les représentations cartographiques du métamorphisme.</li> <li>- Exploiter les données des lames minces, les minéraux étant légendés.</li> <li>- Exploiter des données permettant de faire le lien entre déformation des roches et recristallisations.</li> <li>- Identifier à l'œil nu des roches métamorphiques : micaschistes, gneiss, métagabbros, amphibolites, éclogites, migmatites, marbres.</li> <li>- Situer approximativement les limites des principaux faciès métamorphiques : schistes verts, amphibolite, granulite, schiste bleu, éclogite.</li> <li>- Discuter de la pertinence du choix d'un géobaromètre ou d'un géothermomètre.</li> <li>- Exploiter des données de thermométrie et barométrie chimiques.</li> <li>- Utiliser une grille pétrogénétique fournie.</li> <li>- Interpréter et exploiter des données montrant l'association métamorphisme – anatexie crustale.</li> <li>- Exploiter des documents montrant les échanges chimiques avec l'eau de mer.</li> </ul>
<p><b>Précisions et limites :</b></p> <p>Les roches métamorphiques étudiées en TP sont : micaschistes, gneiss, migmatites, métagabbros, éclogites, marbres, amphibolites. D'autres roches peuvent être présentées (schistes, cornéennes...), mais leur reconnaissance macroscopique n'est pas exigible.</p> <p>L'hydrothermalisme océanique se limite à deux exemples permettant d'illustrer le tri géochimique : l'hydratation des minéraux de la lithosphère et les échanges de Na et Mg. Les processus d'origine des fumeurs noirs et des sulfures métalliques associés sont hors programme.</p>	
<p><b>Liens :</b></p> <p>La carte géologique (ST-A)</p> <p>La rhéologie de la lithosphère (ST-D-1)</p> <p>Le magmatisme (ST-F)</p> <p>Activités de terrain</p>	

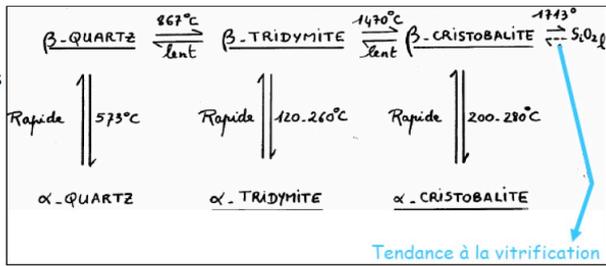


Figure 1 : transformation du Quartz et des argiles en fonction de la température

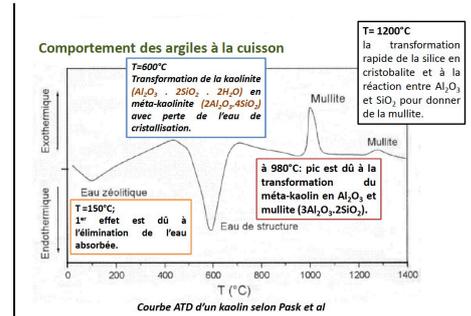
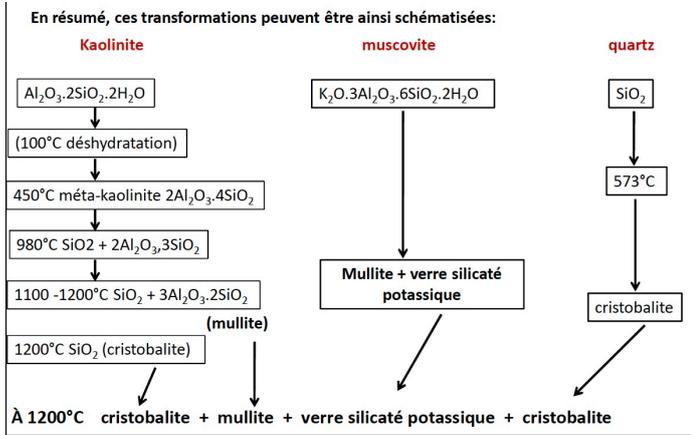
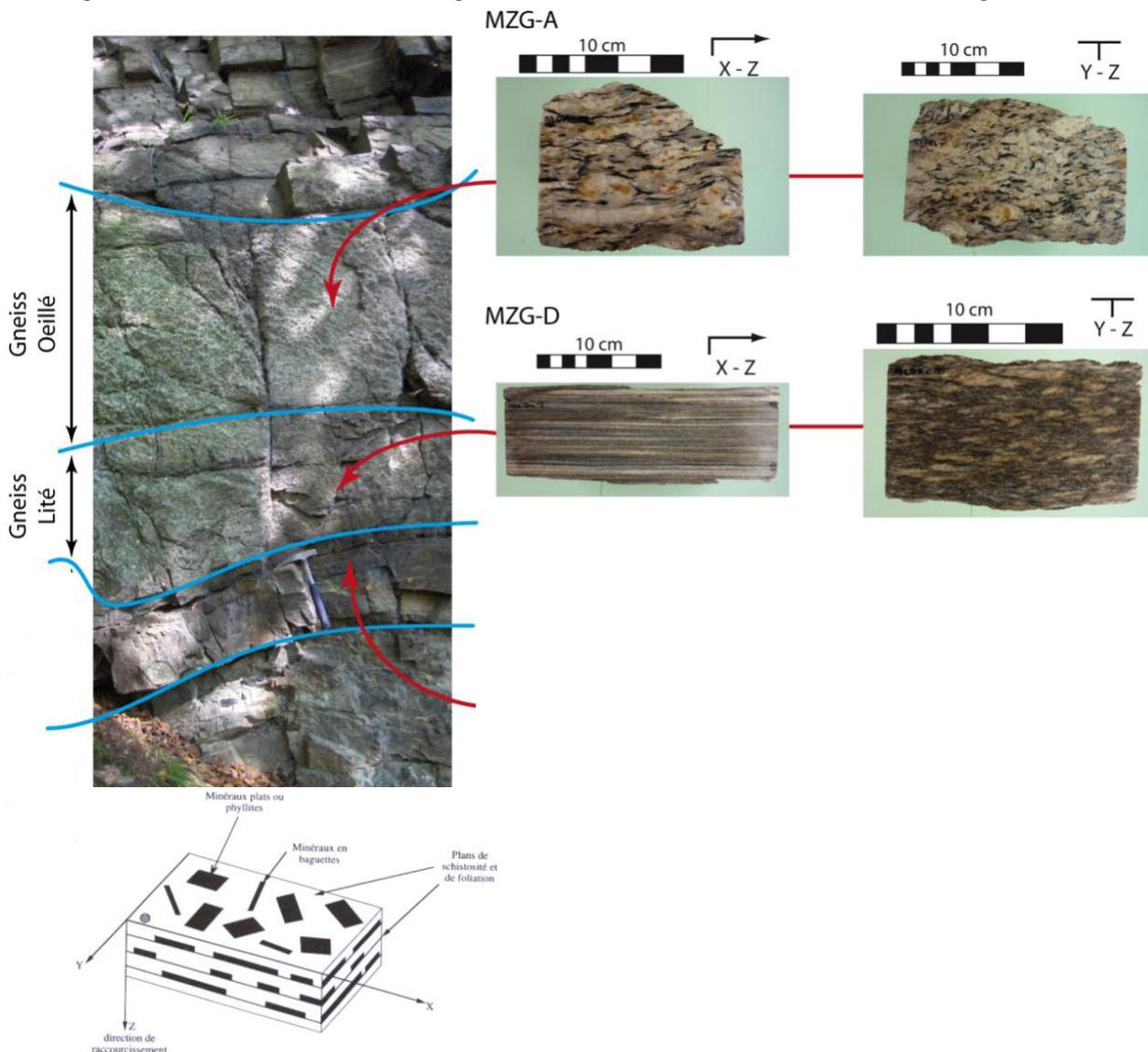
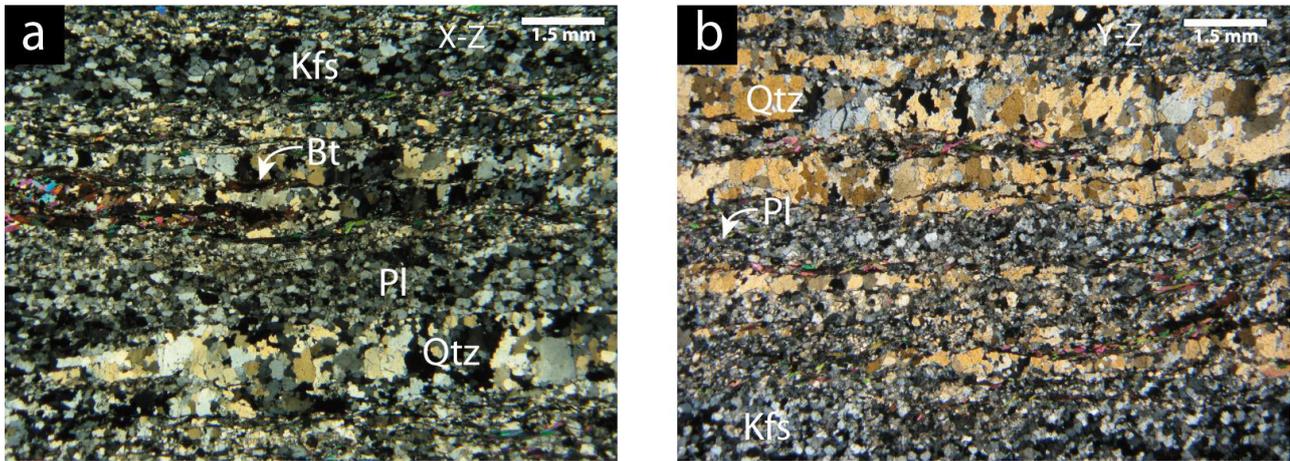


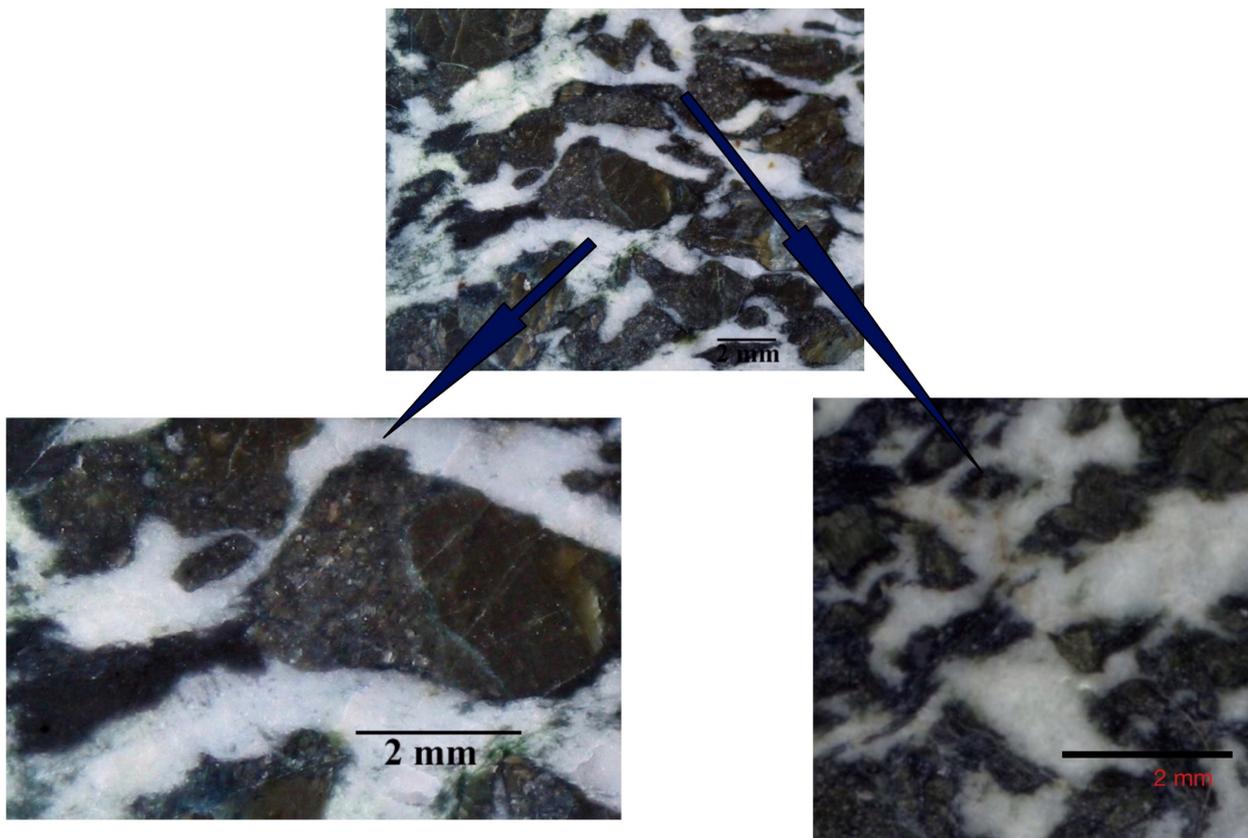
Figure 2 : Photographies de l'affleurement et des échantillons. On observe une transition quasi-continue entre un gneiss oeilé (MZG-A) et un gneiss lité (MZG-D). La roche initiale est un granite à deux micas.



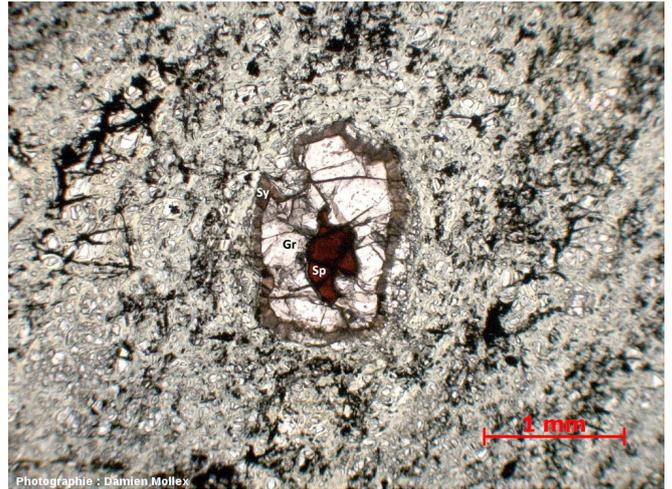
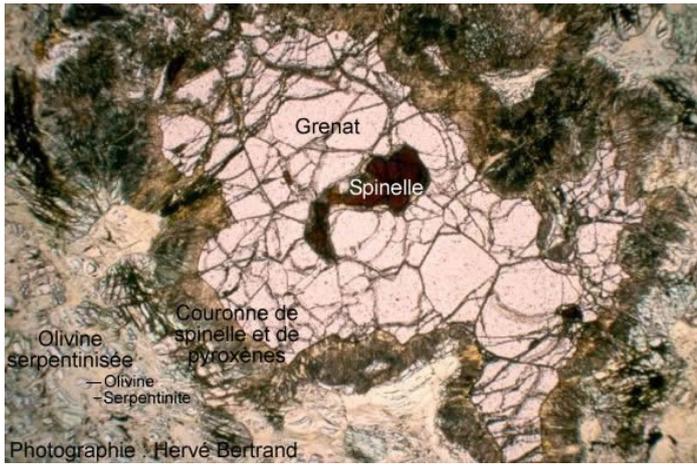


**Figure 3** : Photographies en LPA du gneiss lité. (a) Les limites de lits sont nettes et rectiligne. Les quartz sont très gros par rapport aux autres phases. (b) Les lits sont un peu plus épais que selon l'autre section, mais tout de même bien allongés.

**Figure 4** : Métagabbro issu de la transformation du gabbro océanique ne comportant que plagioclase et pyroxène (du Queyras – Alpes)



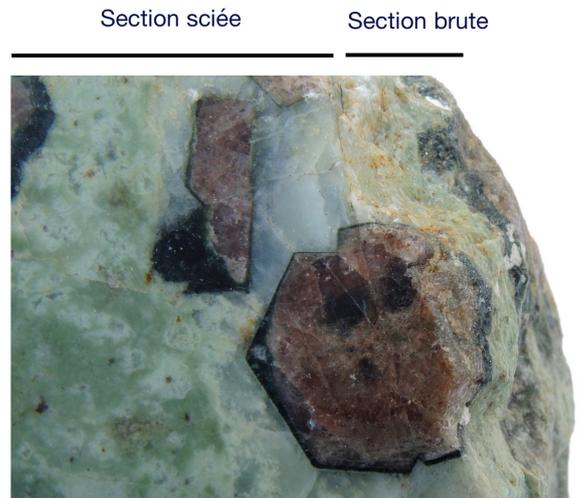
**Figure 5 :** Des minéraux à couronnes emboîtées dans des péridotites des Monts du Lyonnais



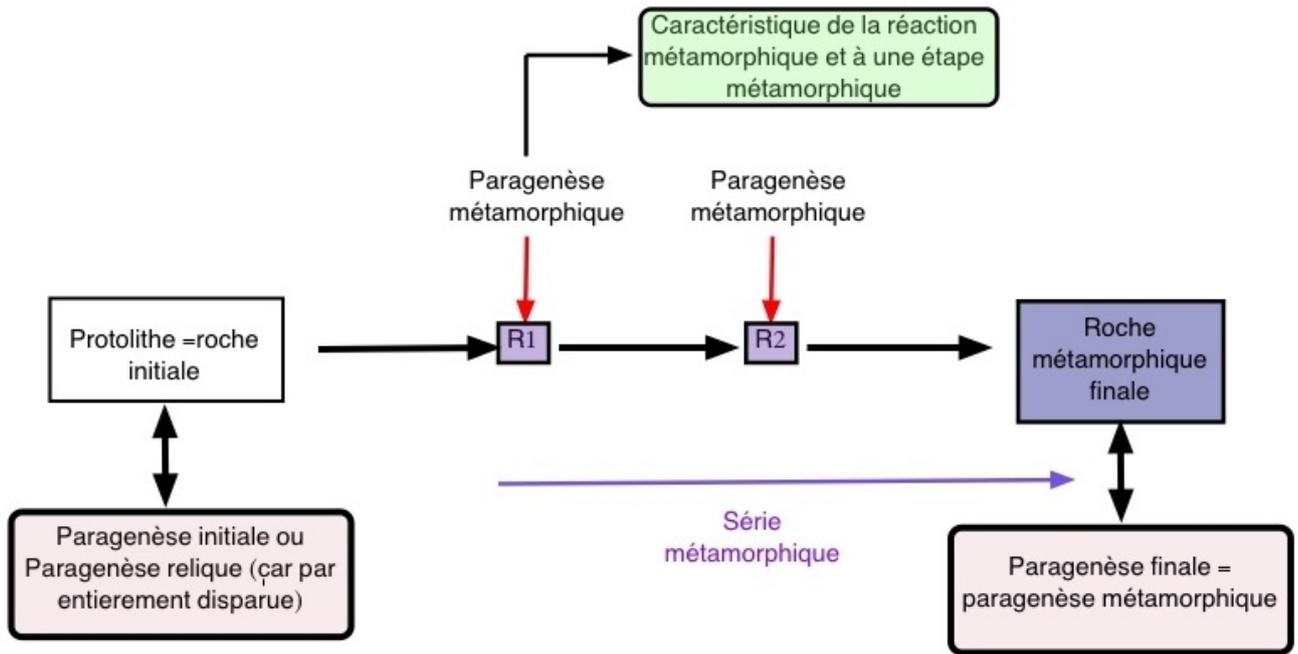
**Figure 6 :** Métabasite à grenat et omphacite



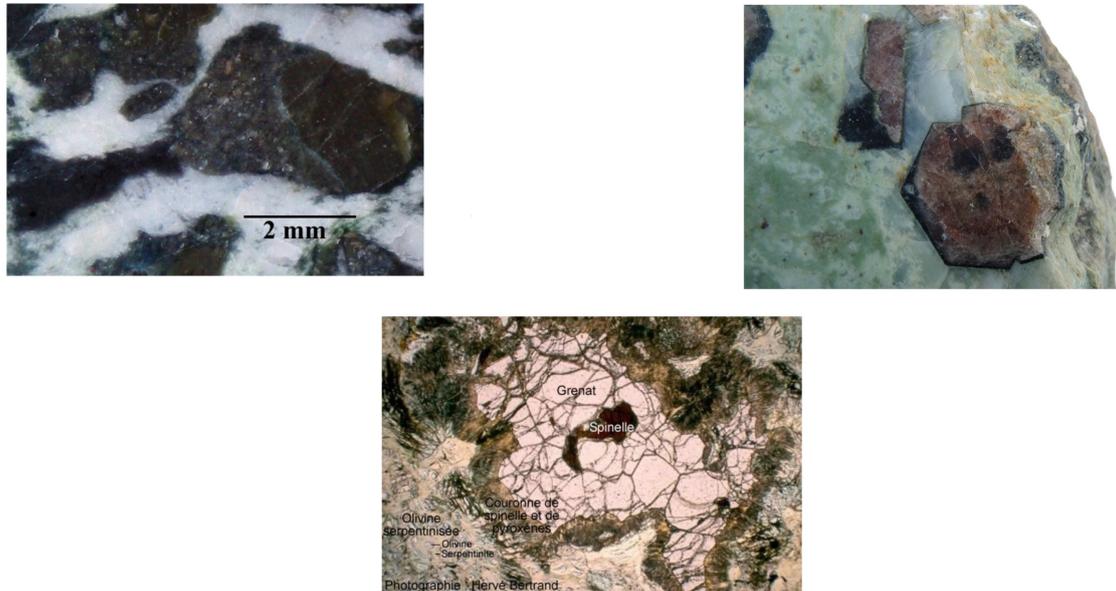
Éclogite principalement formée d'omphacite et de grenat.  
Échantillon de P. Thomas - Photo de D. Mollex



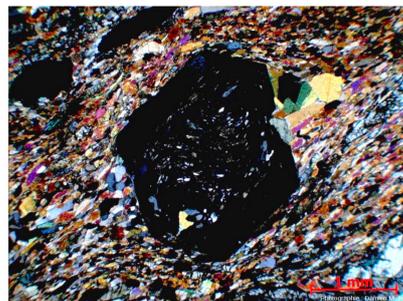
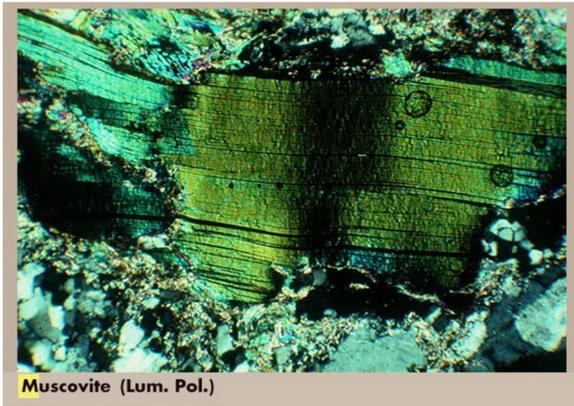
**Figure 7 :** Les roches métamorphiques des indicateurs d'une étape métamorphique



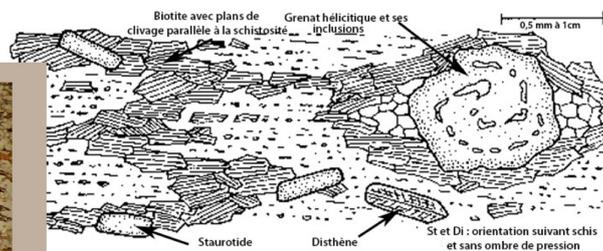
**Figure 8 :** à la recherche des paragenèses



**Figure 9 :** Des exemples de minéraux antécinématiques



**Figure 10 :** Des exemples de minéraux syncinématiques. Pour la microphotographie du grenat (LPNA à gauche, LPA à droite) : Les ombres de pression sont ici composées de micas blancs et de glaucophanes. Les inclusions hélicitiques sont constituées de quartz et de glaucophane.



**Figure 11** : Schéma théorique de formation des inclusions hélicitiques dans les grenats syncinématiques

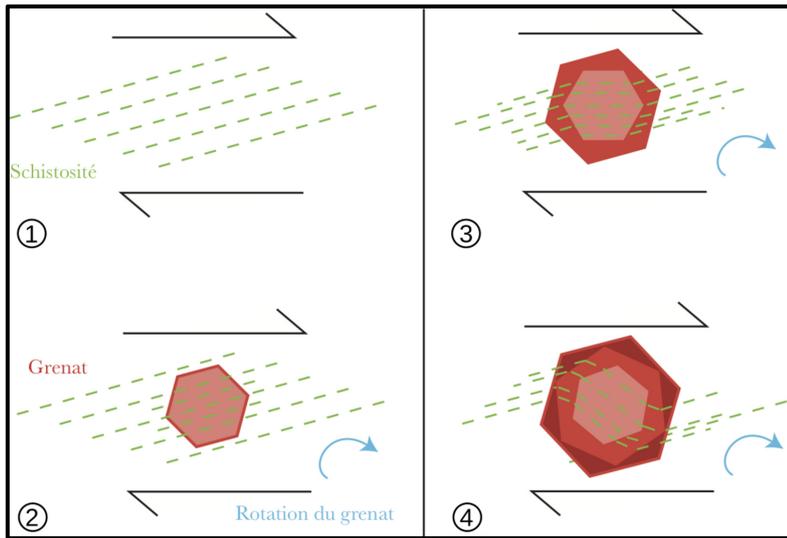
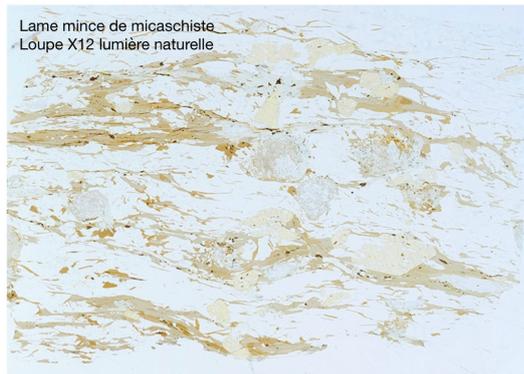


Schéma et légendes de A. Aubray  
 La forme des inclusions permet de mettre en évidence une rotation du grenat lors de sa cristallisation. L'un des modèles de formation de ces inclusions est le suivant : lorsque le grenat croît, il "fossilise" la foliation. S'il croît dans un champ de déformation comme un cisaillement simple, au fur et à mesure de sa croissance le grenat tourne, ce qui est aussi le cas des inclusions dans le grenat. Ce processus se produit de manière continue au long de la croissance et de la déformation comme montré sur le schéma.

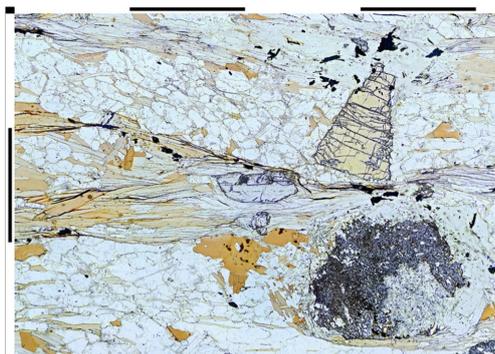
**Figure 12** : Micaschiste à staurotides – Origine Mont du Lévezou – Rouergue – Sud du Massif Central  
 Photos de F . Labaune



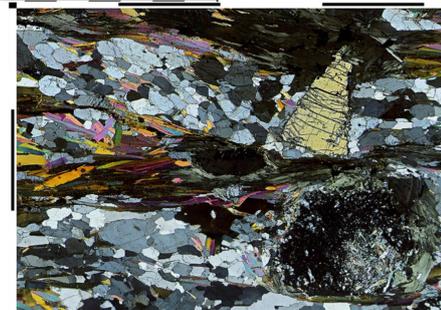
Lame mince de micaschiste  
 Loupe X12 lumière naturelle



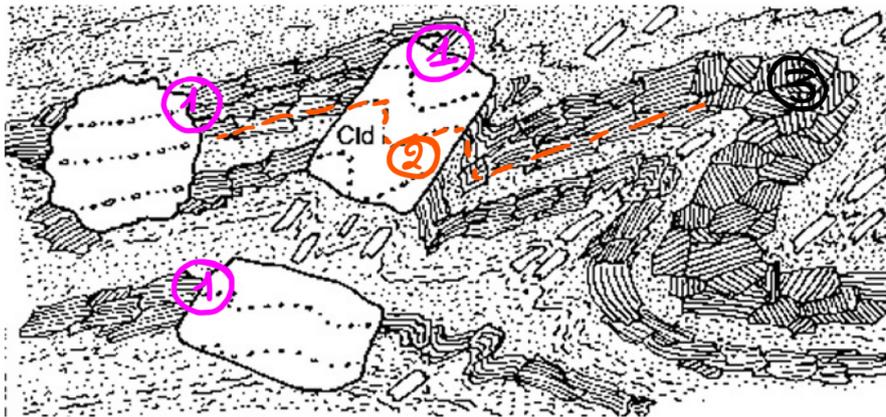
Micaschiste en LPNA  
 Chaque trait blanc et noir correspond à 2 mm



Micaschiste en LPA  
 Chaque trait blanc et noir correspond à 2 mm



**Figure 13 :** Les différentes relations au sein d'une paragenèse postcinématique



Indice 1 : recoupement  
Les nouveaux minéraux recoupent les structures antérieures

Indice 2 : les inclusions minérales dans la chlorite prolonge la schistosité externe

Indice 3 : la biotite a recristallisé de façon post dynamique dans la charnière (les plans de clivage ne sont pas parallèles au plan axial du micropli)



Paragenèse postcinématique

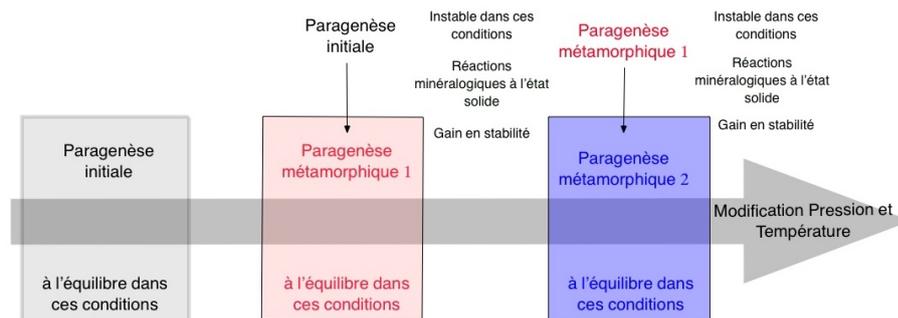
**Figure 14 :** Récapitulatif des relations chronologiques déformation - recristallisation

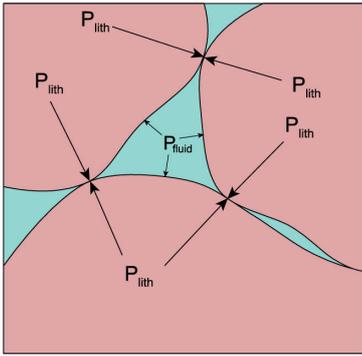
ANTÉ-déformation	SYN-déformation	POST-déformation
<p>glaucophanes anté-S2, actinotes syn-S2</p> <p><b>schiste bleu</b></p>	<p><b>grenat hélicitique</b></p>	<p><b>micaschiste à chloritoïde</b> schistosité micro-plissée incorporée lors de la croissance des porphyroblastes de chloritoïde</p>
<p><b>gneiss œillé</b> porphyroclastes de fedspaths, fluage du quartz (o.p. = ombre de pression)</p>	<p><b>schiste à disthène et staurotide</b> Micas, staurotides et disthène, non déformés forment la foliation</p>	<p><b>schiste à andalousite</b></p>

**Tableau des relations entre croissance minérale et déformation**

La croissance cristalline métamorphique intervient durant les diverses phases de la déformation. Les minéraux enregistrent ou scellent les déformations. Ils sont d'excellents marqueurs de l'évolution structurale des unités enfouies puis exhumées. gl : glaucophane, act : actinote, ph : phengite, gt : grenat, cld : chloritoïde, bio : biotite, qz : quartz, fk : feldspath potassique, st : staurotide, ky : disthène, m : muscovite, and : andalousite.

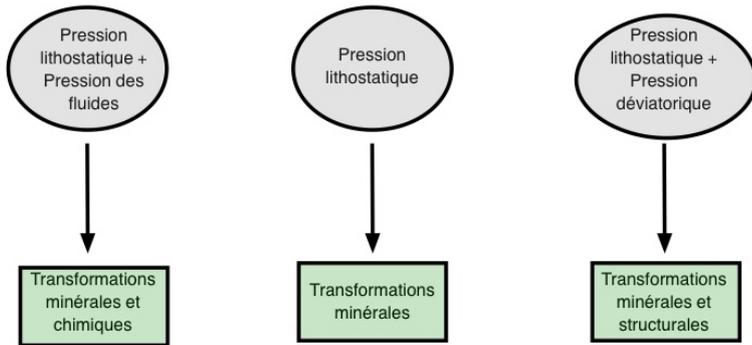
**Figure 15 :** Évolution de l'état de stabilité en fonction des conditions de P et de T°C





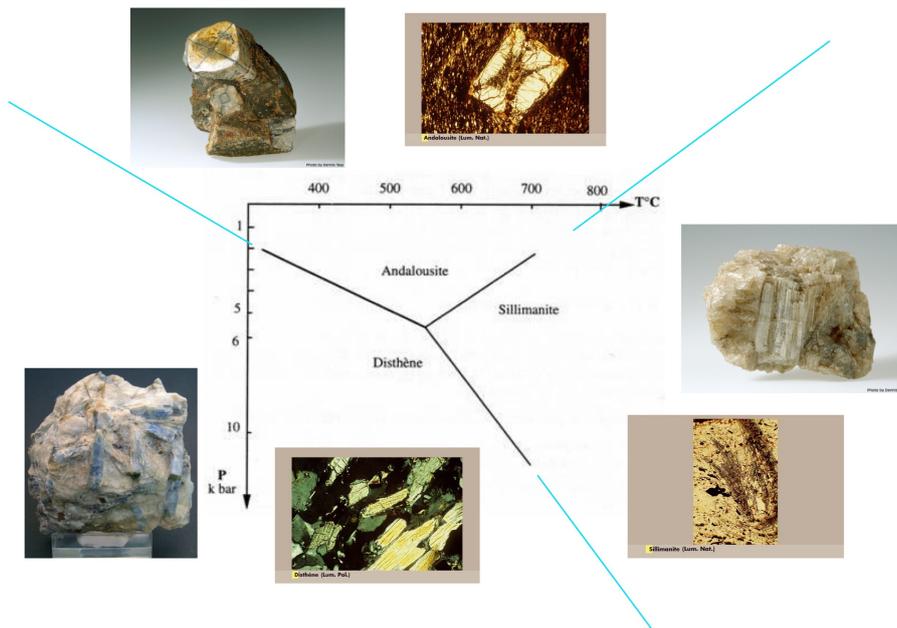
**Figure 16** : Localisation des fluides et application des  $P_L$  et  $P_F$

Pression des fluides  $P_f$ : Pression exercée au sein des pores des roches par les fluides ( $H_2O$  et de  $CO_2$ ), présents dans les interstices et libérés lors de réactions chimiques de déshydratation ou de décarboxylation. La  $P_f$  favorise la circulation de fluides et les échanges de matière.



**Figure 17** : Conséquence des variations de Pression sur les transformations

**Figure 18** : domaine de stabilité des silicates d'alumines



Les silicates d'alumine de formule chimique  $Al_2SiO_5$  existent sous trois formes minéralogiques différentes, ce sont des **minéraux polymorphes**\*\*\* :

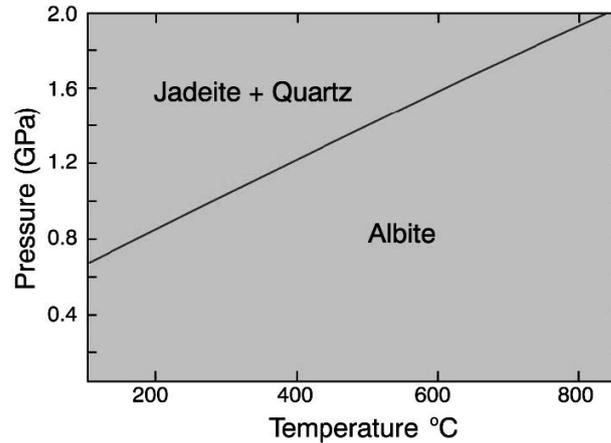
- **l'andalousite** cristallise dans le système orthorhombique, elle se présente en petits prismes à section carrée, couleur rose-marron, de densité  $d = 3,15$  ;
- **la sillimanite** cristallise dans le système orthorhombique, elle se présente sous forme de fibres blanches très fines, de densité  $d = 3,25$  ;
- **le disthène** cristallise dans le système triclinique, il se présente en prismes bleus aplatis, de densité  $d = 3,6$ .

## Réactions entre plusieurs minéraux (sans intervention de fluide)



isochimique

**Figure 19** : domaine de stabilité

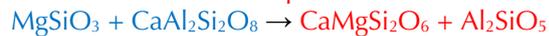


Étudiez les réactions suivantes et précisez si elles sont isochimiques ou pas, sachant qu'elles correspondent à l'équilibre  $\text{Minéral A} + \text{Minéral B} \rightarrow \text{Minéral C}$  OU  $\text{Minéral A} + \text{Minéral B} \rightarrow \text{Minéral C} + \text{Minéral D}$

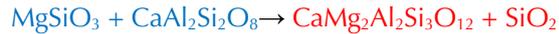
Réaction 1 : Forstérite + Quartz  $\rightarrow$  Enstatite



Réaction 2 : Enstatite + Anorthite  $\rightarrow$  Diopside + silicate d'alumine

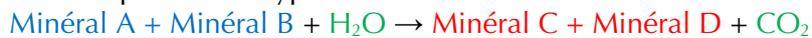


Réaction 3 : Enstatite + Anorthite  $\rightarrow$  Grenat + Quartz

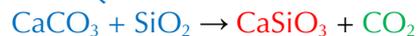


## Réactions entre plusieurs minéraux (avec apport et/ou production de fluide)

Ces réactions répondent aux équilibres de type :



Par exemple :



## Les réactions thermométriques

(1) Biotite + Sillimanite + Quartz = Grenat + Feldspath potassique + eau

(2) biotite Fe + Sil + Qtz = Grenat Fe (almandin) + Fk + eau

(3) biotite Mg + Sil + Qtz = Grenat Mg (pyrope) + Fk + eau

## Les réactions barométriques

- muscovite :  $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH})_2$

- phengite :  $\text{KAl}_{(2-x)}\text{Si}_{(3+x)}\text{Al}_{(1-x)}(\text{Mg, Fe})_x\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \quad 0 < x < 1$



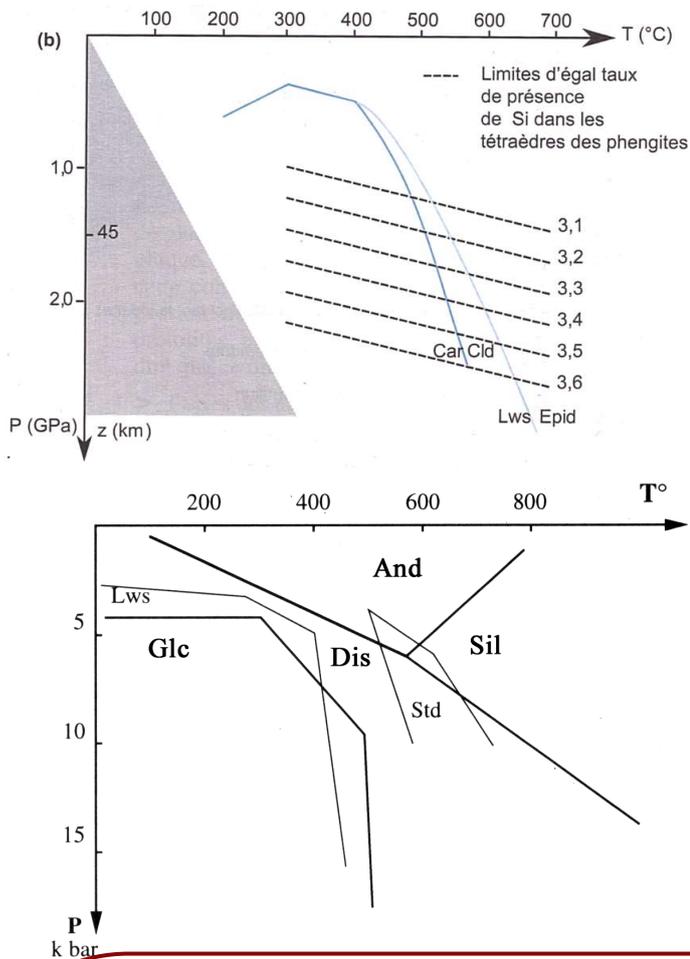


Figure 20 : La phengite, un minéral baromètre

Analyse à la **microsonde** de la teneur en Si : La lame mince est métallisée au carbone puis un faisceau incident très fin d'électrons entre en contact avec l'échantillon. Les électrons de la matière sont alors excités et émettent un rayonnement X primaire. Ce rayonnement est ensuite analysé par des spectromètres qui explorent chacun, une gamme de longueurs d'ondes précises et permettent de quantifier la teneur en Si.

Figure 21 : Domaines de stabilité de quelques barogéothermomètres

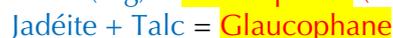
Lws : lawsonite, Std : staurotide

### Quelques réactions barodépendantes, indicatrices de P

Sous forte pression, à basses températures et en milieu anhydre, l'albite entre dans des réactions de recombinaison ou de dissociations caractéristiques.

- **Basses températures :**

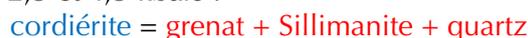
- Au cours du **métamorphisme prograde**, lorsque la pression augmente et dépasse 4 kbars, tandis que la **température reste inférieure à 400°C** environ, deux minéraux bleus, jadéite (clinopyroxène) ou glaucophane (amphibole), apparaissent aux dépens de l'albite :



- À pressions élevées, si la température augmente au-delà de 400°C, la jadéite et le glaucophane sont déstabilisés. Ces deux minéraux, jadéite et glaucophane caractérisent le domaine hautes pressions-basses températures, ils sont souvent accompagnés par la lawsonite, ils apparaissent au cours de la subduction, ils sont déstabilisés ensuite par une collision.

- **Hautes températures :**

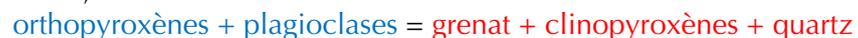
- Au-delà de 500° C, entre 2,5 et 4,5 kbars :



- Au-delà de 650° C, entre 5 et 8 kbars :

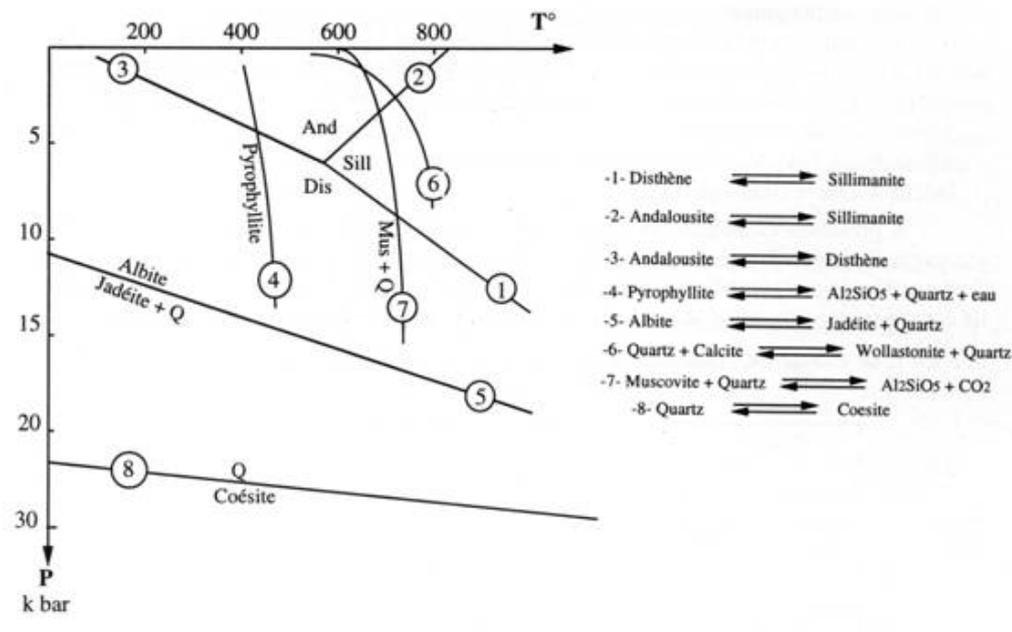


- Au-delà de 700° C, entre 8 et 11 kbars :

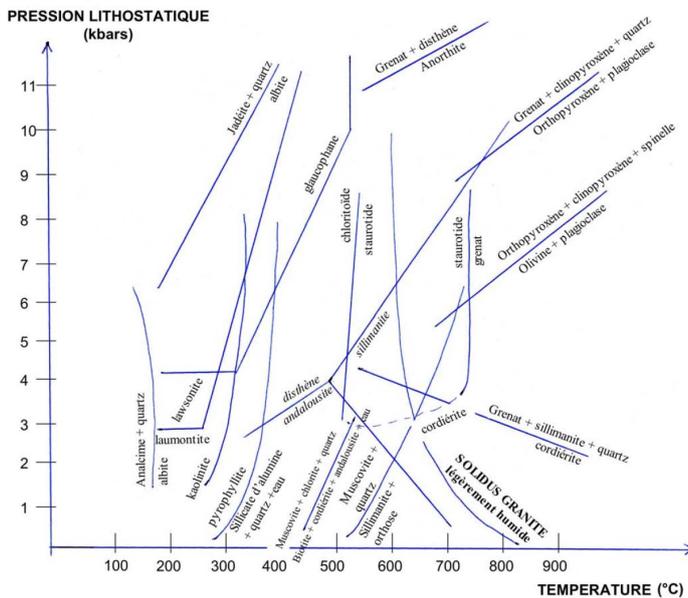


Autre exemple : (polymorphique)



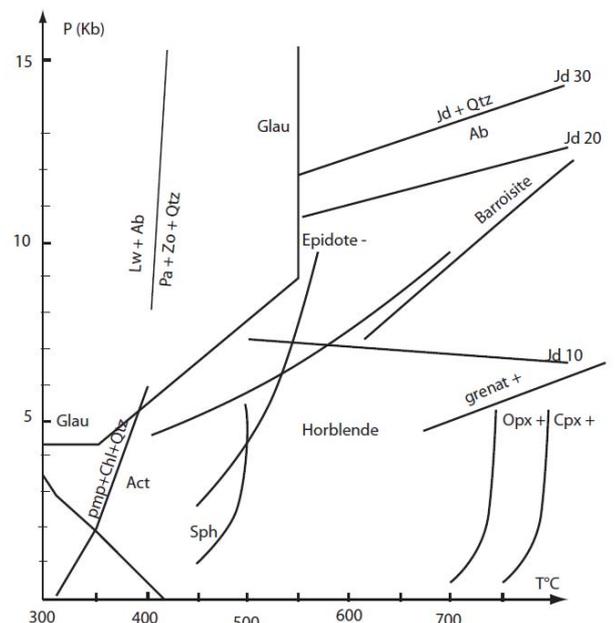


**Figure 22 :** Grille pétrogénétique. Tous ces équilibres dépendent à la fois de la P et de la T°C. Les équilibres 4, 6 et 7 sont plus sensibles à la T°C alors que les 5 et 8 le sont plus à la pression.



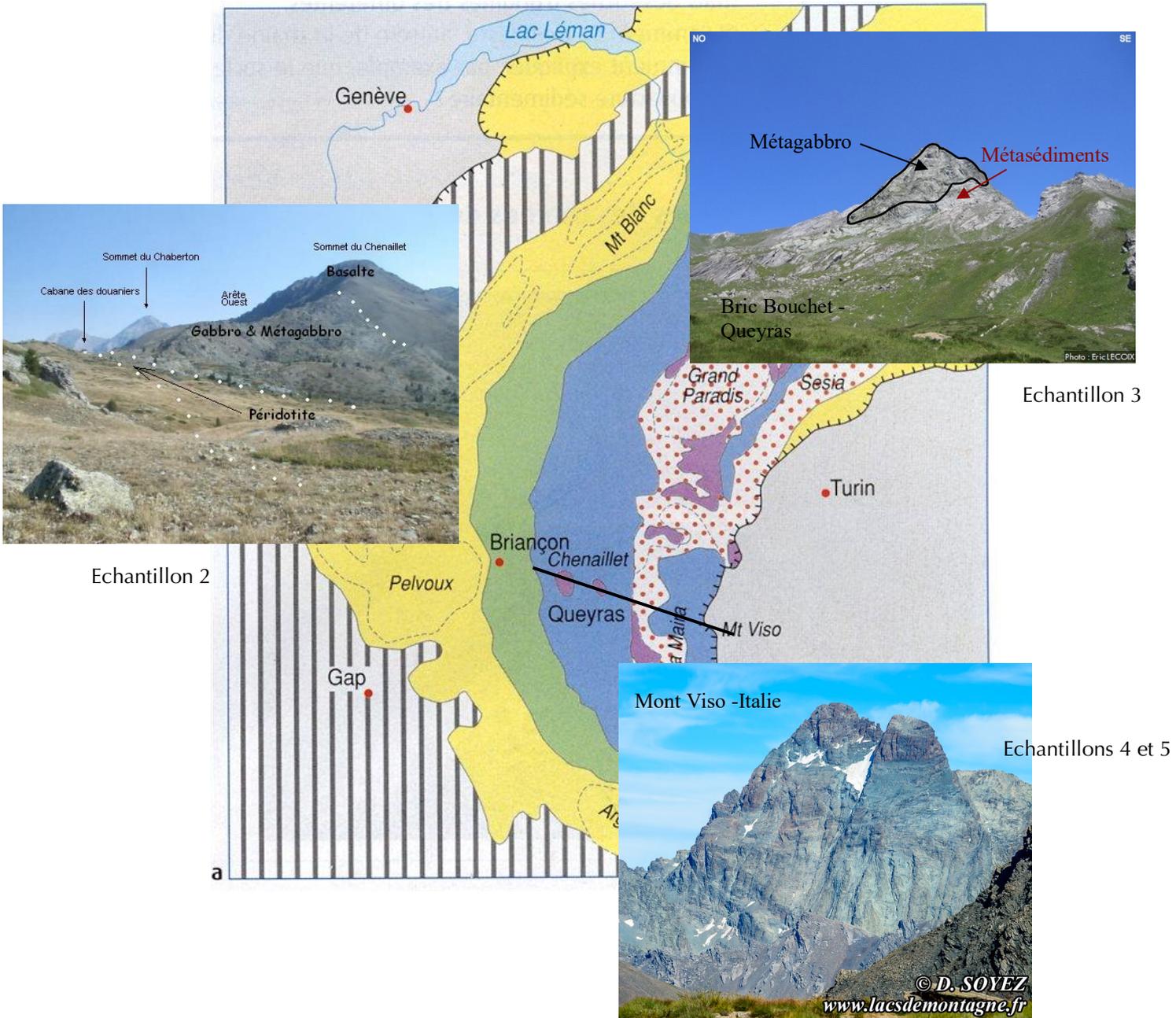
**Figure 23 :** Grille pétrogénétique des roches pélitiques

**Figure 24 :** Grille pétrogénétique des roches basiques

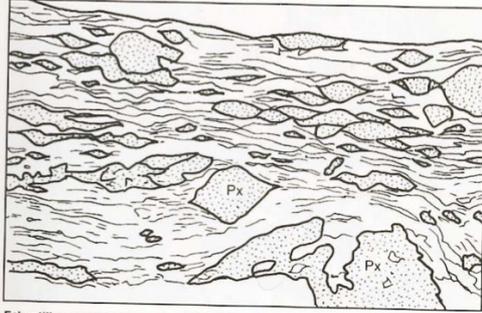


## 1) Utilisation de la grille à partir d'un exemple

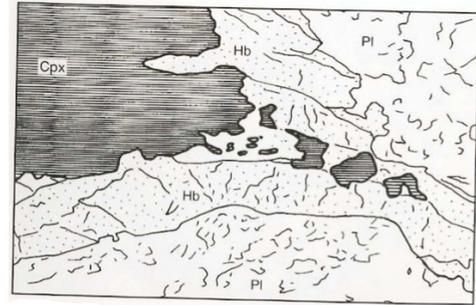
Figure 25 : Série d'échantillons prélevés selon un axe globalement transversal à l'axe alpin



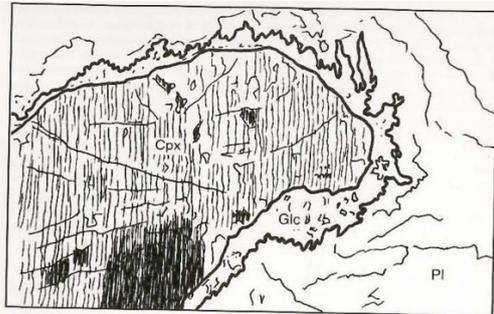
*Echantillon 2*



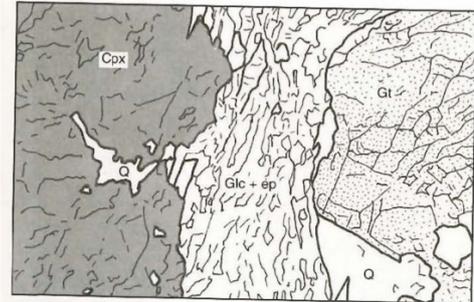
Echantillon macroscopique



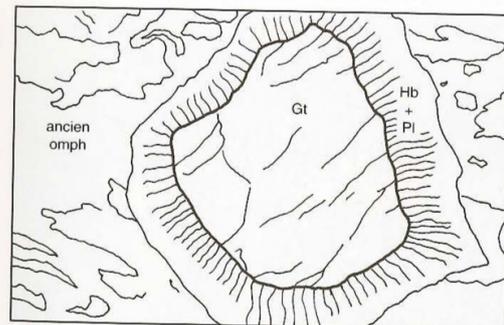
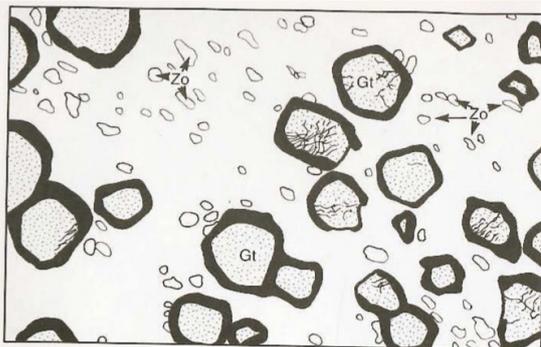
*Echantillon 3*



*Echantillon 4*



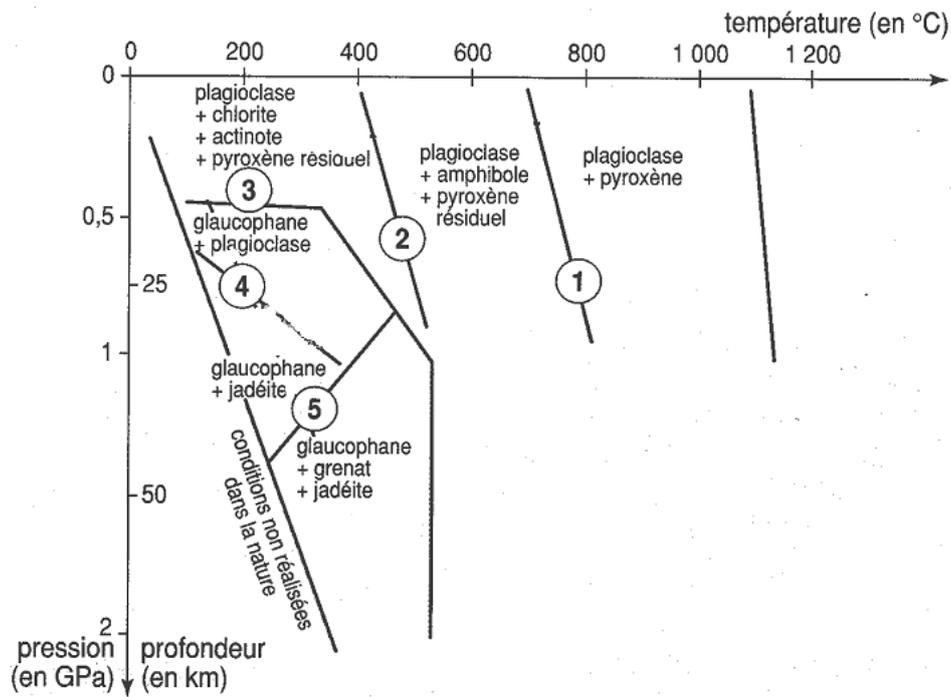
*Echantillon 5 : macro et lame*



**Tableau :** Composition minéralogique des roches métamorphiques

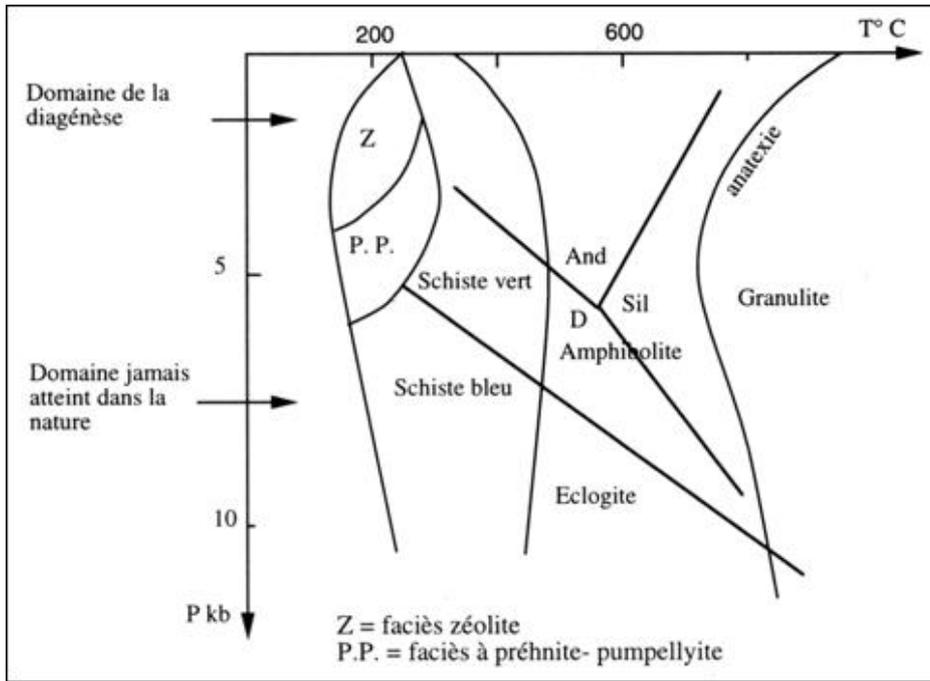
	Échantillon 2 : Chenaillet	Échantillon 3 : Queyras	Échantillon 4 : Sur la route du Mont Viso	Échantillon 5 : Sur la route du Mont Viso
Clinopyroxène	X	X		
Plagioclase	X			X
Hornblende	X		X	X
Glaucophane		X		
Lawsaunite ou jadéite		X	X	X
Grenat			X	X
Quartz			X	X

Grille pétrogénétique :



**Quelques réactions du métamorphisme**

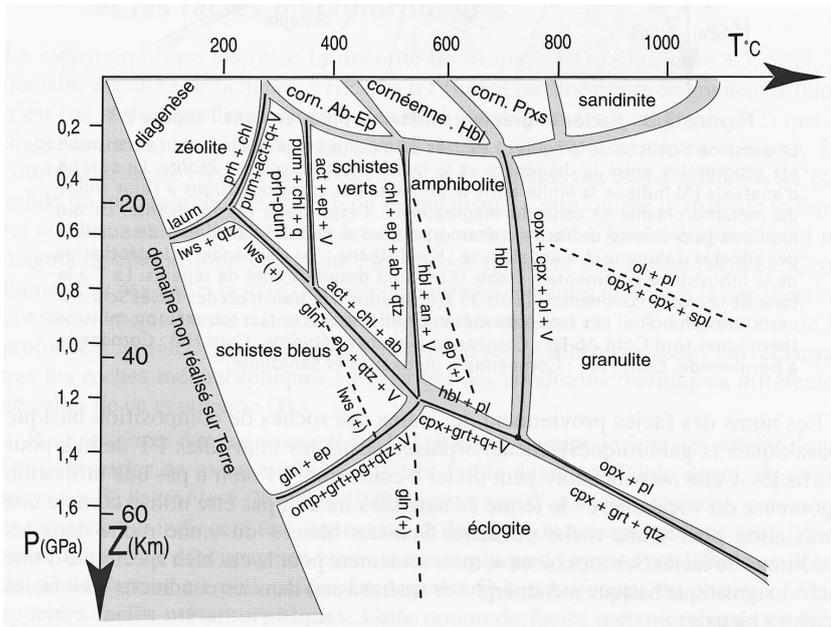
1. Plagioclase + Pyroxène + eau → Amphibole Hornblende verte
2. Plagioclase + Hornblende + eau → Chlorite + Actinote
3. Albite + Chlorite + Actinote → Amphibole Glaucophane + eau
4. Albite → Pyroxène Jadéite + Quartz
5. Albite + Glaucophane → Grenat Pyrope + Pyroxène Jadéite + eau



**Figure 26** : les faciès métamorphiques - Répartition des faciès métamorphiques dans le diagramme P,T (1974, ERNST)

### Définitions des différents faciès métamorphiques

- Faciès à Zéolites** : certaines zéolites se forment en surface, elles ne sont pas des minéraux du métamorphisme tandis que d'autres, comme la laumontite, se forment à partir de 300° C. Les zéolites marquent la transition entre diagénèse et métamorphisme.
- Faciès à préhnite-pumpellyite** : ces minéraux caractérisent le début du métamorphisme, petit domaine compris entre des températures de 150 à 300° C et des pressions de 2 à 5 kbars. Leur disparition quand la température augmente marque la limite avec le faciès schistes verts. La déstabilisation de la laumontite au profit de la lawsonite par augmentation de pression marque le passage au faciès schistes bleus.
- Faciès des schistes bleus** : défini par la présence d'une amphibole bleue le glaucophane, souvent accompagnée par la lawsonite, et un pyroxène bleu-vert, la jadéite. Ces minéraux indiquent de très fortes pressions mais des températures faibles, ne dépassant guère 400° à 500° C. Ce faciès caractérise un enfouissement à grande profondeur sans élévation de la température (subduction).
- Faciès des schistes verts** : caractérisé par des amphiboles vertes (actinote, trémolite), épidote verte, chlorite et des plagioclases sodiques (albite, oligoclase). Il correspond à des températures comprises entre 200 et 450° C et pressions basses ou moyennes, inférieures à 8 kbars.
- Faciès des amphibolites** : caractérisé par l'apparition de l'amphibole hornblende, il contient le point triple andalousite--sillimanite-disthène. L'intervalle des pressions est légèrement supérieur à celui des schistes verts pour des températures plus élevées, de 400 à 700° C.
- Faciès des granulites** : il affecte le résidu solide après la fusion anatectique. Il apparaît à température élevée (700-750°) pour des pressions variables. Il est caractérisé par l'absence d'eau, l'absence de minéraux hydratés (micas, amphiboles) et la présence de minéraux anhydres (sillimanite, disthène, grenat...). C'est l'association pyroxènes-plagioclases qui définit le faciès granulite. Au cours du métamorphisme ce faciès constitue un intermédiaire entre gabbro et éclogite. Lorsque la pression augmente, les plagioclases sodiques disparaissent tandis qu'un pyroxène sodique, l'omphacite apparaît.
- Faciès des éclogites** : apparaît à grandes profondeurs, à pressions et températures élevées. Ce sont des conditions qui permettent aux gabbros et basaltes d'être sous la forme éclogite, c'est-à-dire une roche formée de grenat et du clinopyroxène omphacite.
- Faciès des cornéennes** : c'est le faciès particulier des auréoles du métamorphisme qui se développe au contact des intrusions chaudes.

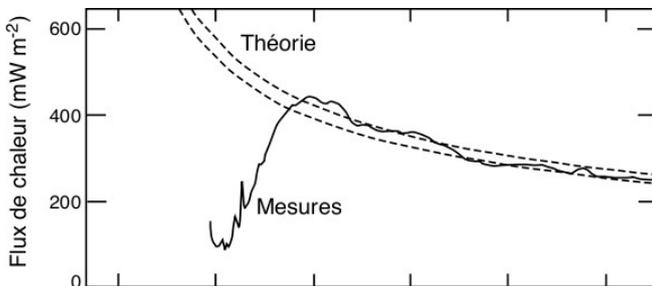


**Figure 27** : Faciès métamorphiques et réactions minéralogiques

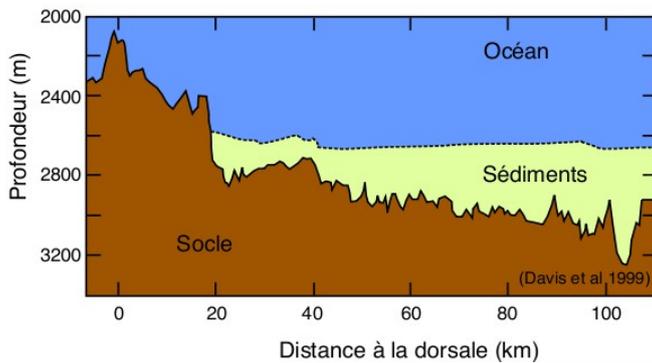
Schistes verts → Amphibolites

Albite (-) Actinote (-)

Hornblende (+) Oligoclase (An) (+)



**Figure 28** : Comparaison du profil de flux de chaleur théorique (calculé en supposant que toute la chaleur est évacuée par conduction) et du profil de flux de chaleur effectivement mesuré.



**Figure 29**

Décrivez et recueillez les informations

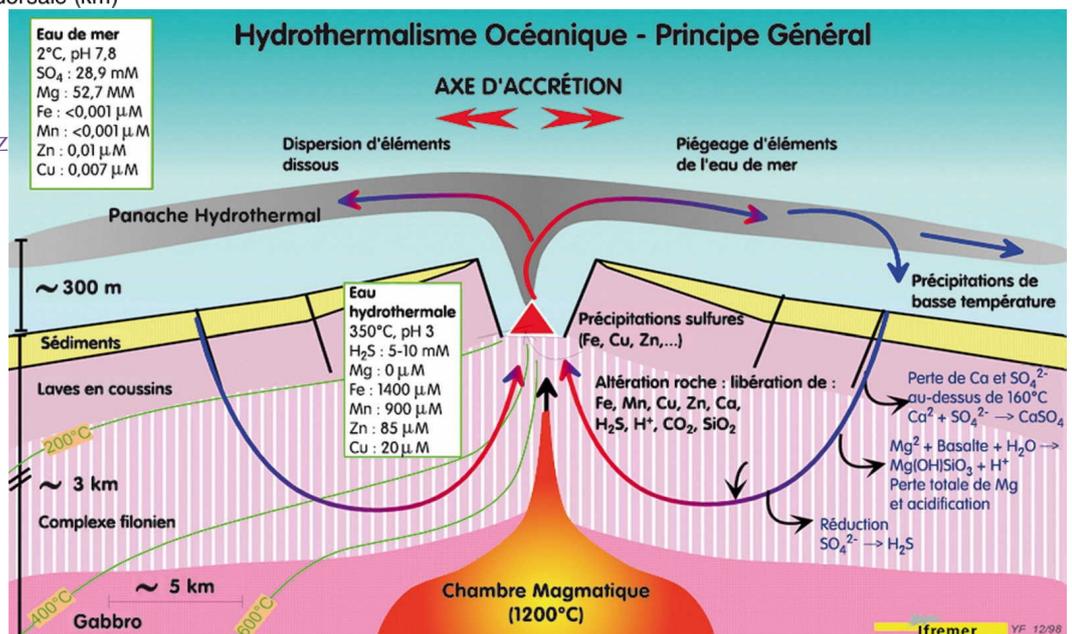


Figure 30 : - Circulation convective d'eau de mer et recristallisation de la croûte océanique (d'après Honnorez, 2003).

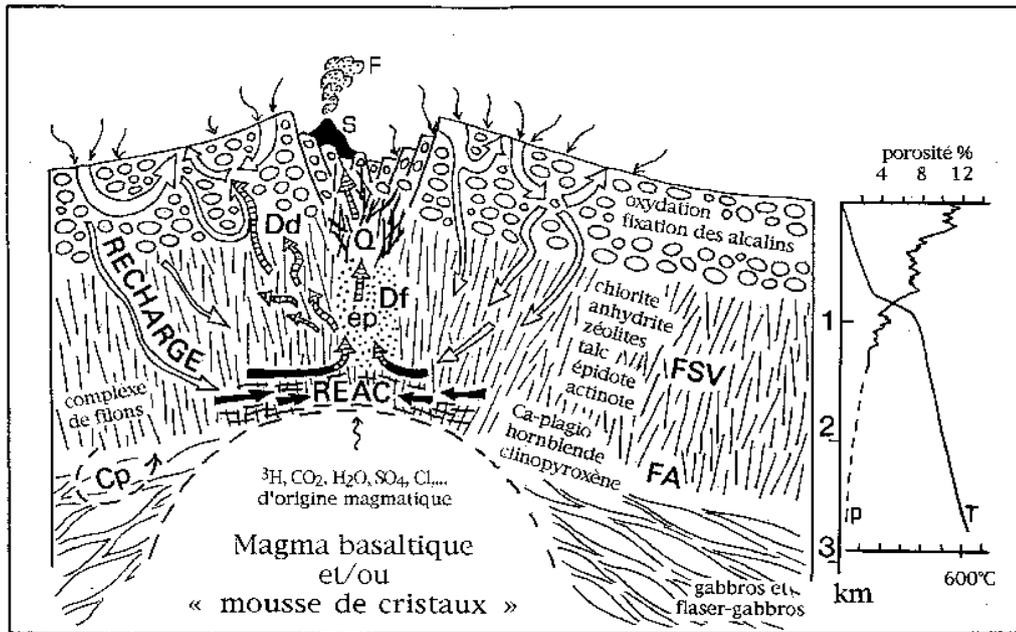
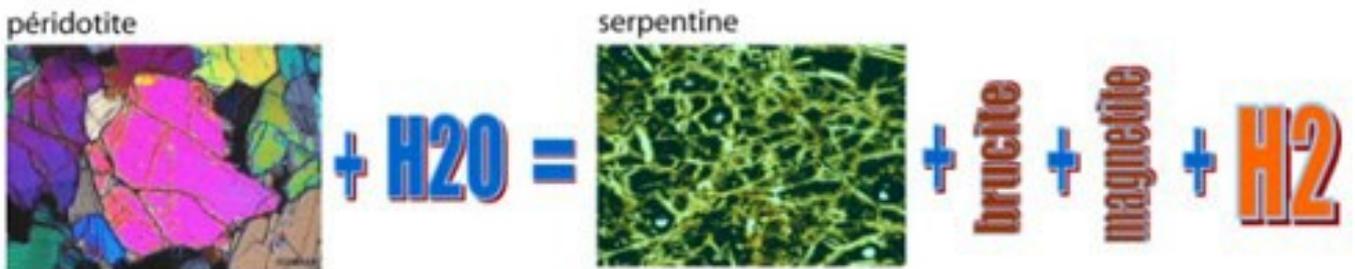


Figure 31 :



## INDEX

faciès métamorphique\*\*\*, 29

géobaromètre\*\*\*, 22

géothermomètres\*\*\*, 22

Grille pétrogénétique\*\*\*, 24

métastabilité, 18

métastables, 19

*minéraux antécinématiques\*\*\*, 14*

**minéraux polymorphes\*\*\*, 20**

*minéraux postcinématiques\*\*\*, 14*

*minéraux syncinématiques\*\*\*, 14*

**P**

paragenèse\*\*\*, 12  
 protolithe\*\*\*, 12

**S**

série métamorphique\*\*, 12  
 serpentinitisation, 34

## BIBLIOGRAPHIE

Déformation des Roches et transformation de leurs minéraux - éd. Ellipses – 2000 – P. Nougier.  
 Métamorphisme et géodynamisme – Dunod – C. Nicollet  
 Etude pétrographique et microstructurale quantitative de structures de déformations liées au fluage de la croûte felsique dans un prisme d'accrétion continental (SnieznikDome – rep. Tchèque / Pologne) – 2010 - Benoît Pétri – (photo gneiss)  
<http://eduterre.ens-lyon.fr> – Nathalie Pajon-Perrault – dernière mise à jour Janv 2018

## ANNEXE

Minéral	Composition chimique
Quartz	$\text{SiO}_2$
Orthose	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
Albite	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Anorthite	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Calcite	$\text{CaCO}_3$
Chlorite	$(\text{FeMgAl})_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
Muscovite	$\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH},\text{F})_2$
Biotite	$\text{K}(\text{FeMg})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH},\text{F})_2$
Amphibole	$(\text{Na,Ca,FeMg})_2(\text{FeMgAl})_5(\text{SiAl})_8\text{O}_{22}(\text{OH},\text{F})_2$
Orthopyroxène	$(\text{FeMg})_2\text{Si}_2\text{O}_6$
Clinopyroxène	$(\text{Na})\text{Ca}(\text{FeMg})\text{Si}_2\text{O}_6$
Olivine	$(\text{FeMg})_2\text{SiO}_4$

Minéral	Composition chimique
Grenat	$(\text{Ca,Fe,Mg})_3(\text{FeAl})_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$
Andalousite	$\text{Al}_2\text{SiO}_5$
Disthène	$\text{Al}_2\text{SiO}_5$
Sillimanite	$\text{Al}_2\text{SiO}_5$
Chloritoïde	$(\text{Fe,Mg})_2\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_4$
Cordièreite	$(\text{Fe,Mg})_2\text{Al}_3(\text{Al,Si}_5)\text{O}_{18}$
Glaucophane	$\text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Actinote	$\text{Ca}_2(\text{FeMg})_5\text{Si}_6\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Trémolite	$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
Hypersthène	$(\text{Fe,Mg})\text{SiO}_3$
Diopside	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
Epidote	$\text{Ca}_2(\text{Al,Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$

## POUR S'ENTRAINER :

Après avoir étudié les relations physiques entre les minéraux identifiés sur la lame (*Photo de V. Gardien*), proposez une interprétation en terme de variation des conditions de P et T°C

