

Pétrologie Métamorphique

STU S3



Shop

- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



Etudier

Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



Emploi

- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE

Pétrologie métamorphique

Pavla Stipska

1. Le métamorphisme

- les agents principaux : P, T, déformation
- cristallisation pendant métamorphisme
- relation cristallisation/déformation
- des réactions minéralogiques – réactions en phases solides

2. Le métamorphisme des différents protolithes (roche d'origine)

- les métapélites : le concept des zones métamorphiques
- les roches basiques : le concept des faciès métamorphiques
- les autres types des roches métamorphiques
- métamorphisme et géodynamique

BIBLIOGRAPHIE

Les roches métamorphiques et leur signification géodynamique - 1994 - Kornprobst J., MASSON.

Atlas des roches métamorphiques et de leurs structures - 1995 - C. Guiford, W.S. Mackenzie, B.W.D. Yardley, DUNOD.

Dictionnaire de Géologie - 1980 (2001) - Foucault A., Raoult J.F., DUNOD.

- *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology* - 2001 - Winter, Prentice Hall.

- *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths* - 1995

- Frank S. Spear, Mineralogical Society of America MONOGRAPH

- *Microtextures des Roches Magmatiques et Métamorphiques*. JP Bard, MASSON.

- *Petrogenesis of Metamorphic Rocks* - 1994 - by K.Bucher and M.Frey, 6th Edition, Springer-Verlag

- *An Introduction to Metamorphic Petrology* - 1989 - Bruce Yardley, Longman Earth Science series

web pages :

<http://christian.nicollet.free.fr> – en français, excellent

<http://www.whitman.edu/geology/winter/> - en anglais, excellent

<http://www.uni-wuerzburg.de/mineralogie/links.html> - des liens différents

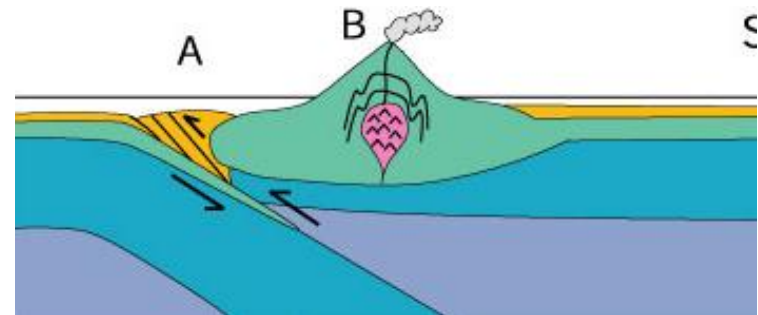
http://www.bgs.ac.uk/SCMR/scmr_products.html - nomenclature des roches métamorphiques

Imaginons qu'une roche - une argile (shale) soit enfoncée dans une zone de subduction :

1) la **déformation** => des **changements texturaux** et **structuraux**

2) **P (pression)** **T (température)** augmentent, les argiles ne sont plus stables, d'autres minéraux se forment
=>des **changements minéralogiques**

3) les **changements de la chimie de la roche** - le **métasomatisme** (par l'infiltration **des fluides**)



les **changements minéralogiques** dépendent aussi de la chimie de la roche d'origine - du **protolithe**

Figure 23-49. Hypothetical development of an orogenic belt involving development and eventual accretion of a volcanic island arc terrane. After Passchier and Trouw (1996) *Microtectonics*. Springer-Verlag.

Le métamorphisme - définition
(méta = changement, morphê = la forme)

Le processus des changements
minéralogiques,
texturaux et
chimiques

de la roche à l'état solide
comme une réaction aux changements des conditions
physiques,

surtout de la P, T,
de la déformation,
(éventuellement suite au transport de la matière)

.

Les limites de métamorphisme

- ~ 200 °C la diagenèse
- ~ le début de la fusion (650 - 1000 °C, dépendant du protolithe et de H₂O)

des changements pendant l'anatexie (=partiellement fondu) - recouvrement avec la pétro. magmatique

le degré du métamorphisme : faible, moyen, haut - est lié avec la température (BT, MT, HT), on peut ajouter : à basse, moyenne, haute pression (BP, MP, HP)

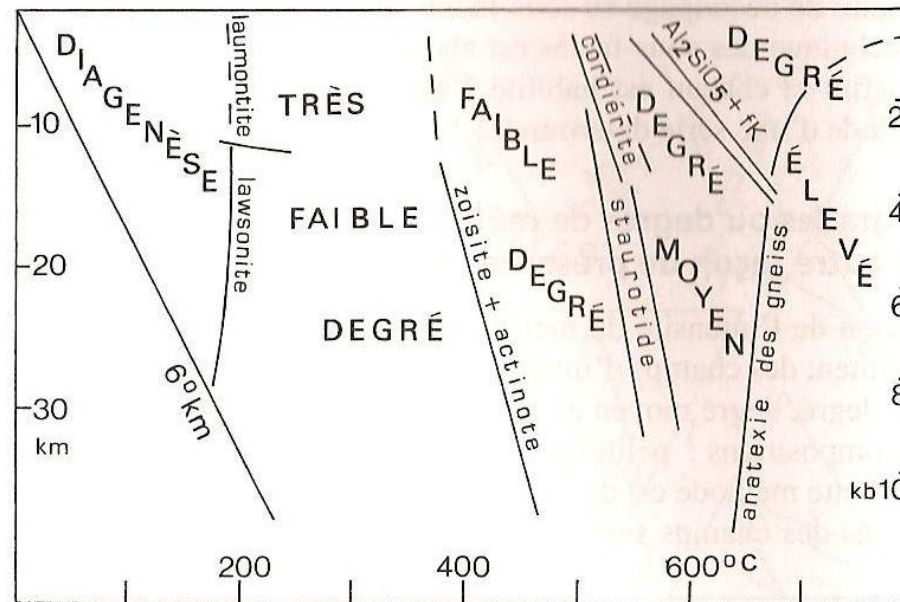


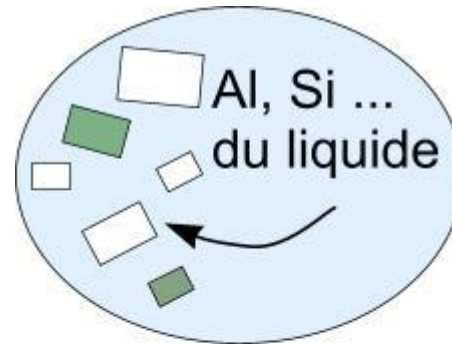
Figure 3.8 Représentation des degrés, ou grades, de métamorphisme, selon Winkler, 1970. Chacun des degrés est subdivisé en domaines plus étroits, à la manière des sous-faciès.

Kornprobst J, 1994: Les roches métamorphiques et leur signification géodynamique. MASSON

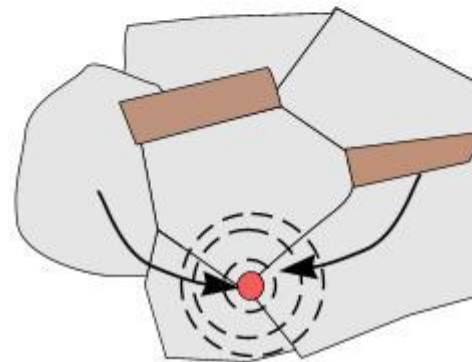
L'observation de
l'échantillon

I. la croissance des
minéraux

les formes des
minéraux :
automorphe (limité
par des faces
cristallines),
subautomorphe,
xénomorphe



la cristallisation
dans la roche
magmatique



dans la roche
métamorphique
un **nucléus**
matériel vient
d'autres minéraux

I. LA DÉFORMATION: la texture et la structure

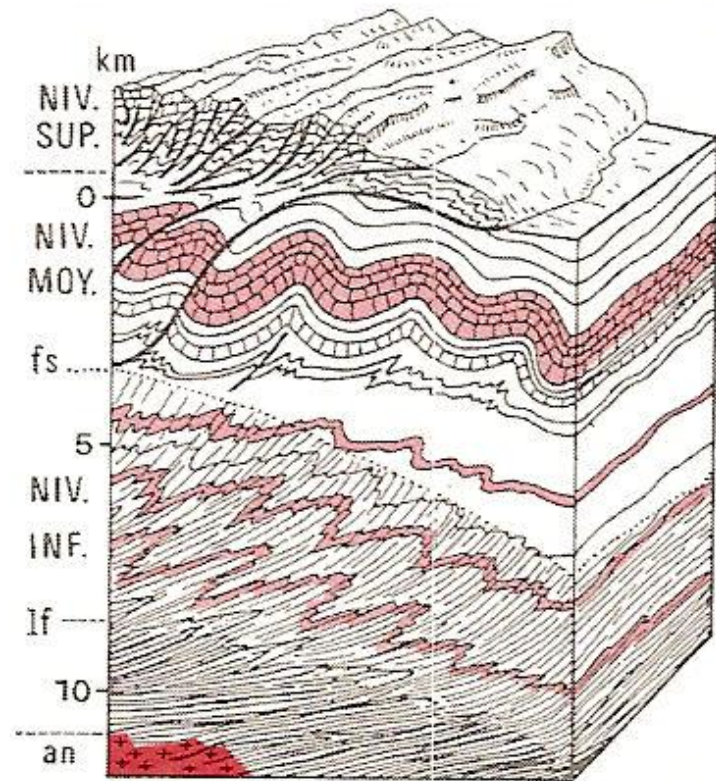
la contrainte déviatorique (x
la pression lithostatique)

fragile => des failles

ductile => des plis, la foliation

la limite fragile/ductile

dépend essentiellement de la
T et du matériel



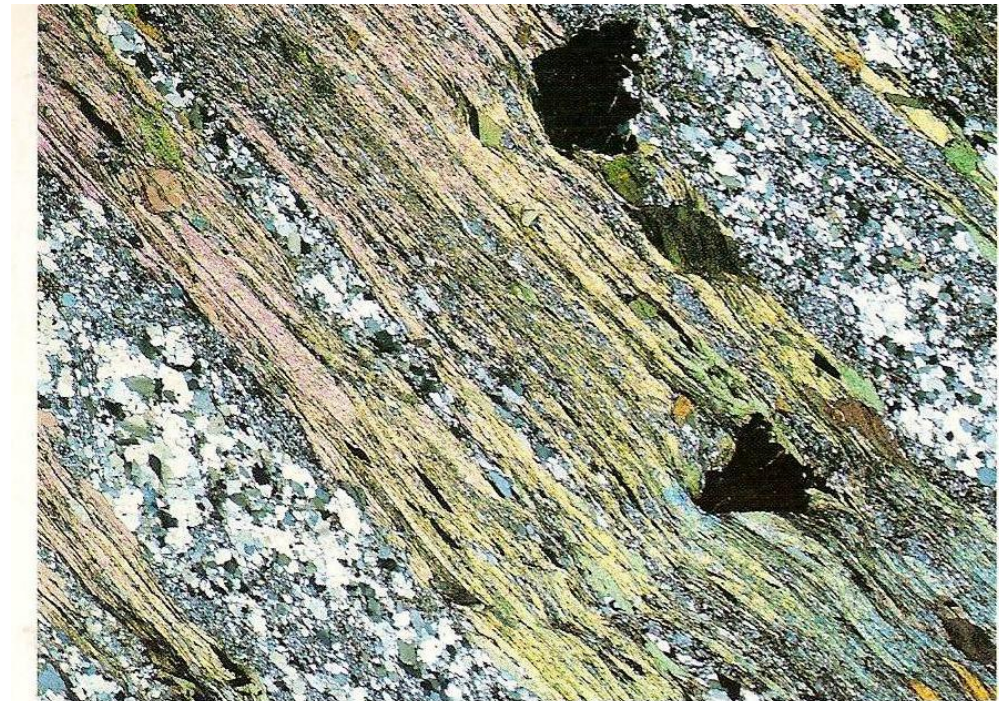
niveau structural

Distinction des trois niveaux supérieur, moyen, et inférieur – an : limite de l'anatexie – fs : front supérieur de schistosité – If : limite de la foliation (d'après M. Mattauer).

avec la contrainte déviatorique: l'orientation préférentielle (des particules, des agrégats...), formation de la foliation



le micaschiste à biotite et grenat



la **foliation** – le terme pour tous les structures planaires

la **schistosité, la gneissosité**
–d’habitude **pénétrative**

les roches à grain grossier

le **clivage** – d’habitude les plans
discontinues

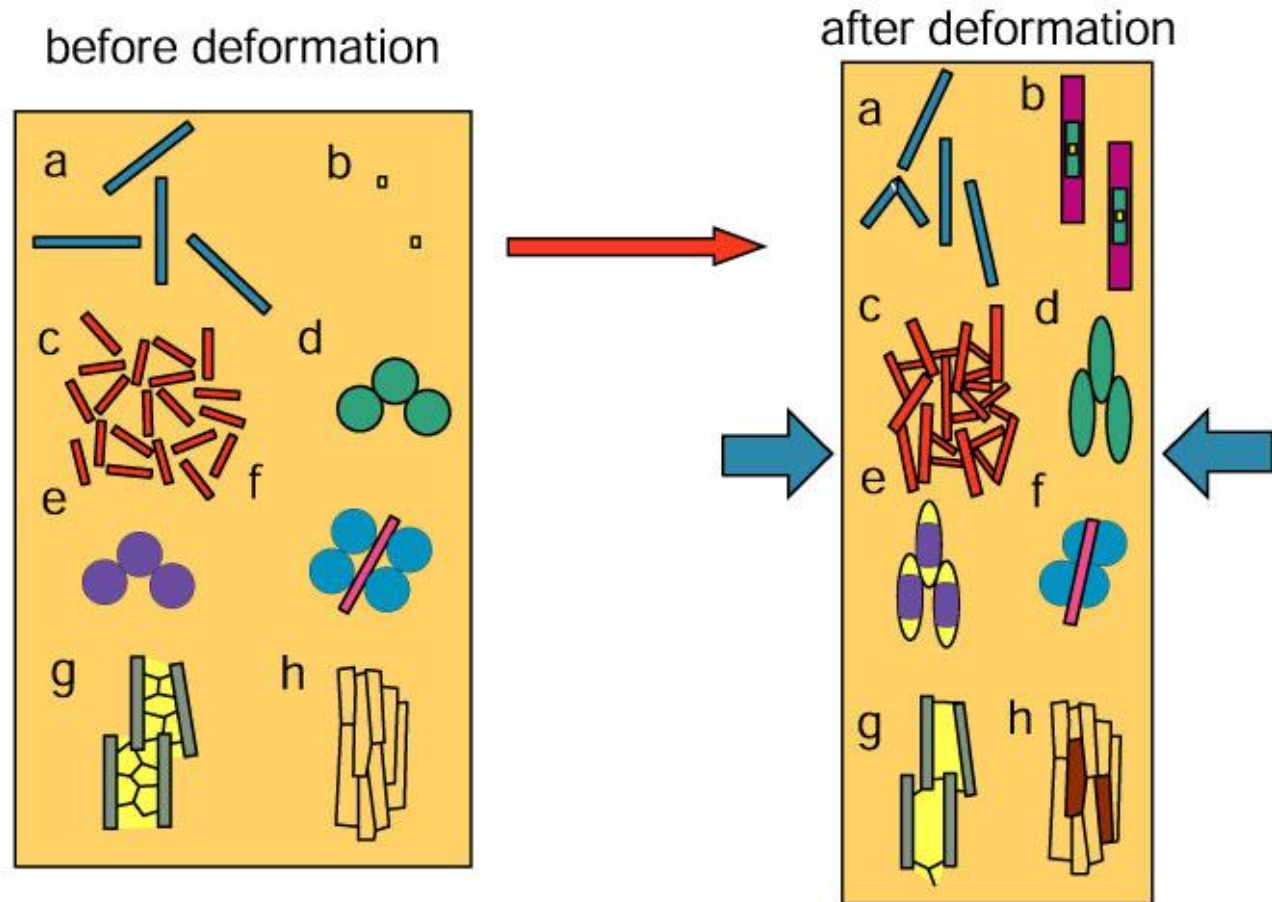
(aussi utilisé pour la
superposition des foliations)

les roches à grain fin



Mécanismes de formation de foliation métamorphique et de déformation :

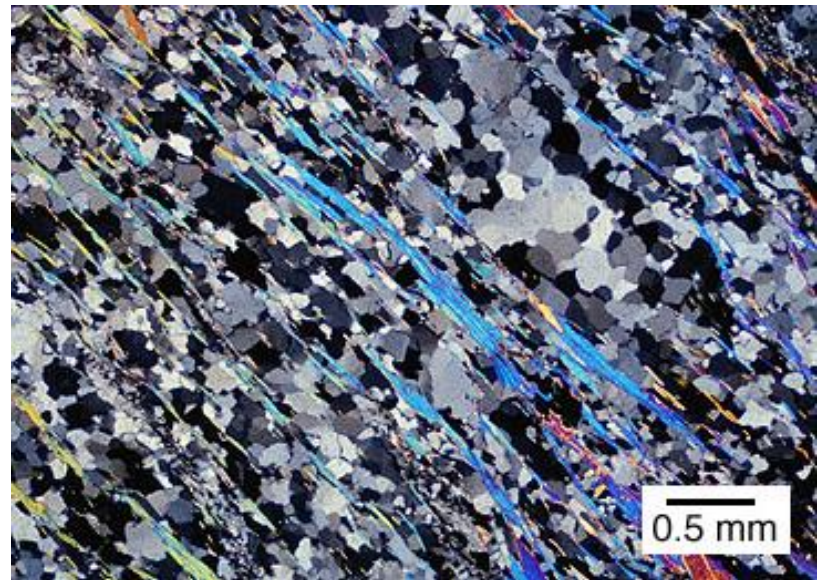
- A - **rotation**
passive
- B - **croissance**
orientée
- D - **déformation**
interne des
particules
- E - **dissolution**
orientée
- G - croissance
limitée
- H - mimétisme





le schiste

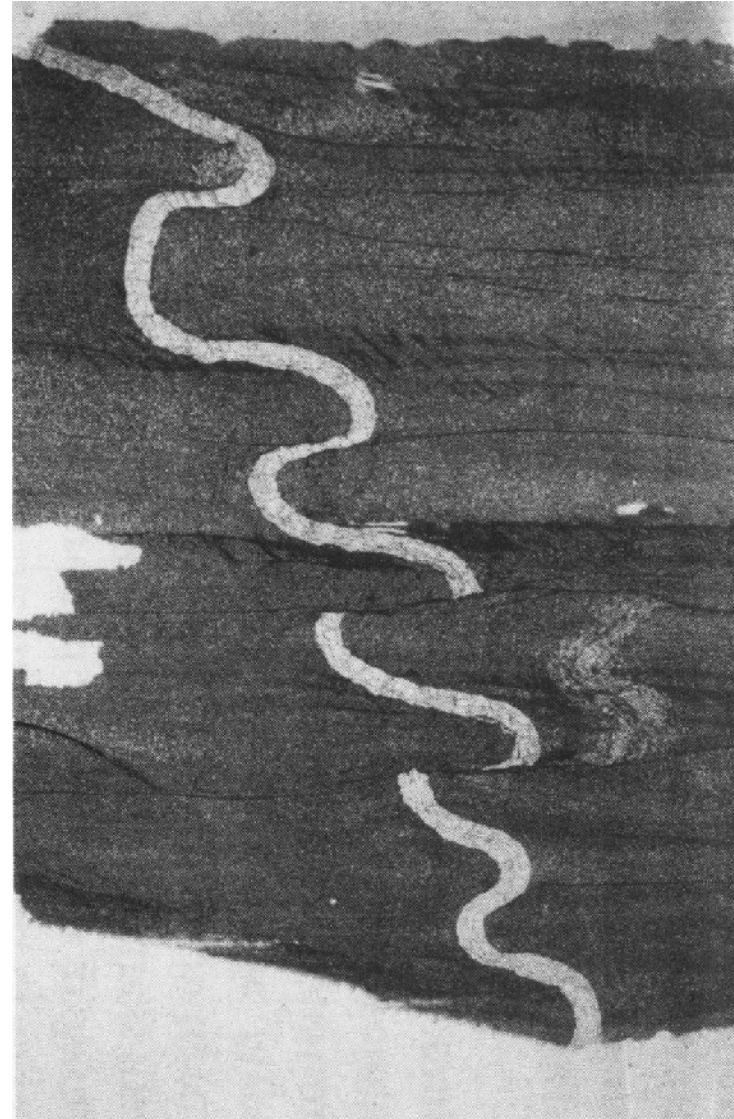
la foliation- par la
croissance orientée



La foliation par la dissolution/précipitation

⇒ la présence des fluides
(H₂O, CO₂) sur les limites des
grains

⇒ efficace sous BT < 500 °C,
souvent le quartz, la calcite



**veine plissée recoupée par
des plans de dissolution-formation
du clivage**

La foliation – par **déformation interne des minéraux**
(dans le granite déformé => l'orthogneiss)



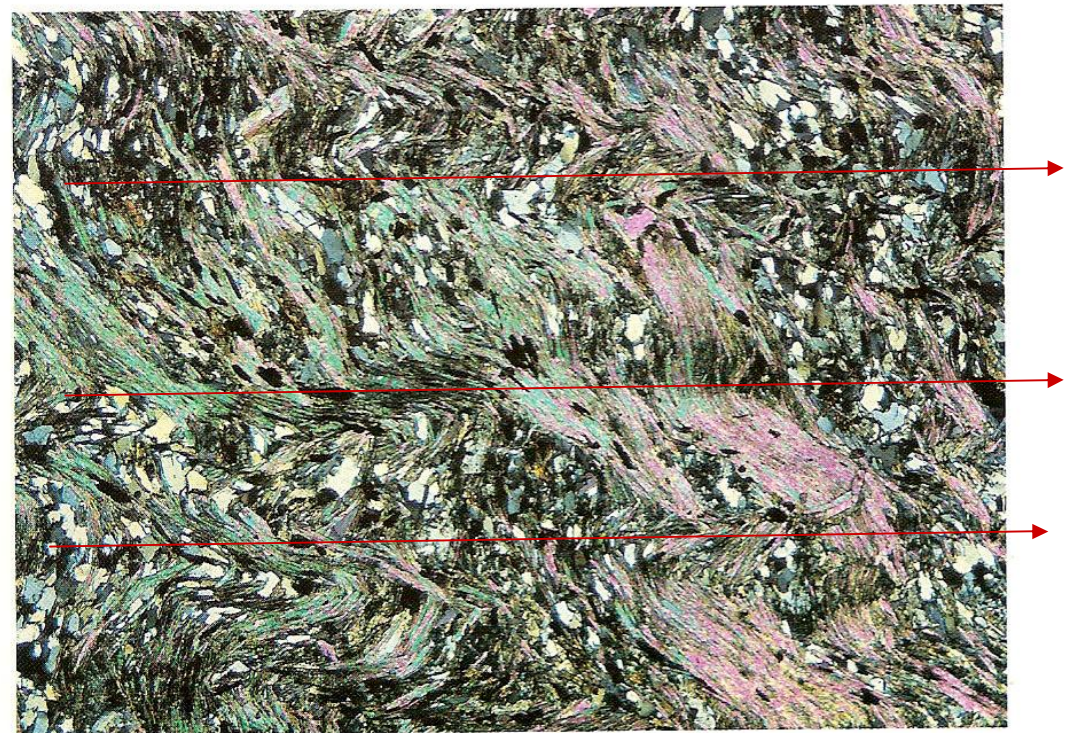
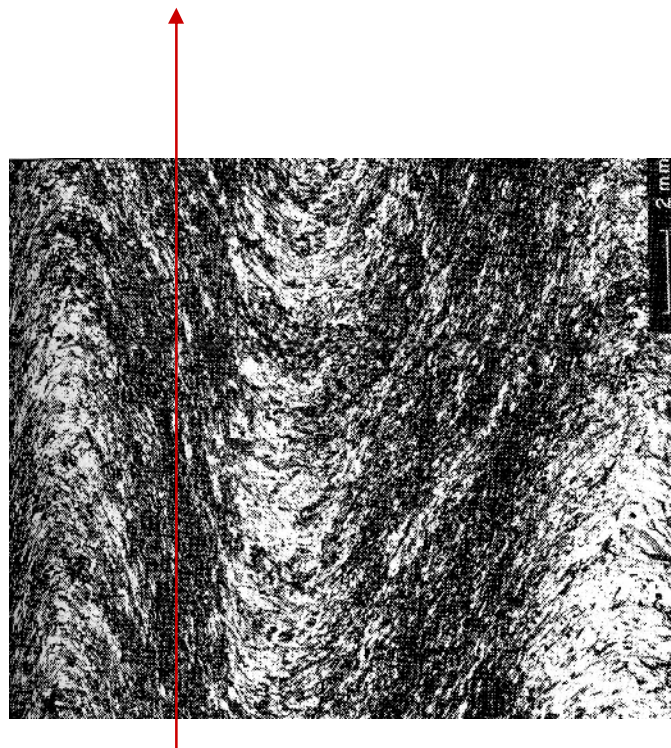
Yardley, B.W.D. et al., 1990. Atlas of metamorphic minerals and their textures. John Wiley & Sons, New York

la foliation par la rotation à l'état solide

la matrice est facilement déformable même si les minéraux sont rigides

par ex. pendant une superposition de foliation S1, les micas se réorientent dans une nouvelle foliation S2

=> la crénulation



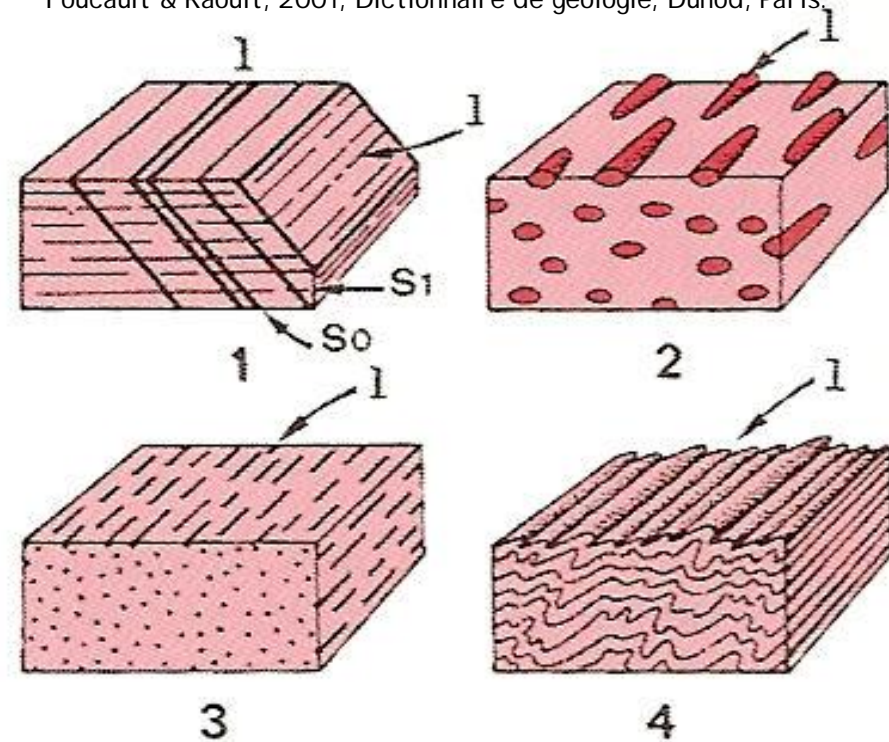
Yardley, B.W.D. et al., 1990. Atlas of metamorphic minerals and their textures. John Wiley & Sons, New York

Orientation préférentielle linéaire -les linéations nous les observons sur le plan de la foliation

Foucault & Raoult, 2001, Dictionnaire de géologie, Dunod, Paris.

Linéation

1. **d'intersection** entre une stratification S_0 et une schistosité S_1 (ou entre deux schistosités S_1 et S_2)
2. **d'étirement** des agrégats des minéraux
3. **minérale** -des minéraux linéaires (existe aussi des minéraux planaires)
4. **de crénulation**



linéation

Linéation (l) – 1 : d'intersection entre une stratification S_0 et une schistosité S_1 – 2 : d'étirement de petits galets, ronds à l'origine – 3 : minérale – 4 : de crénulation.

La linéation minérale



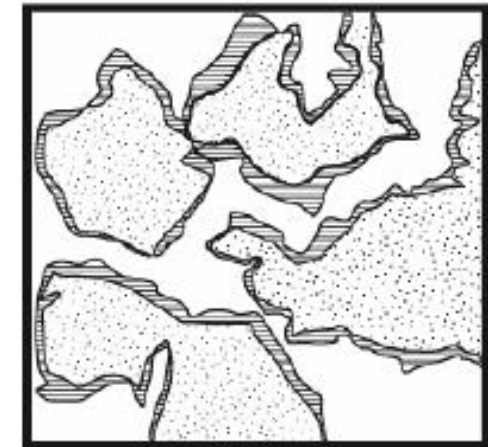
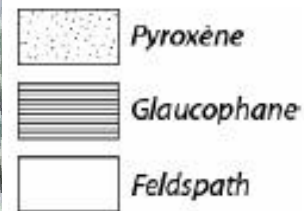
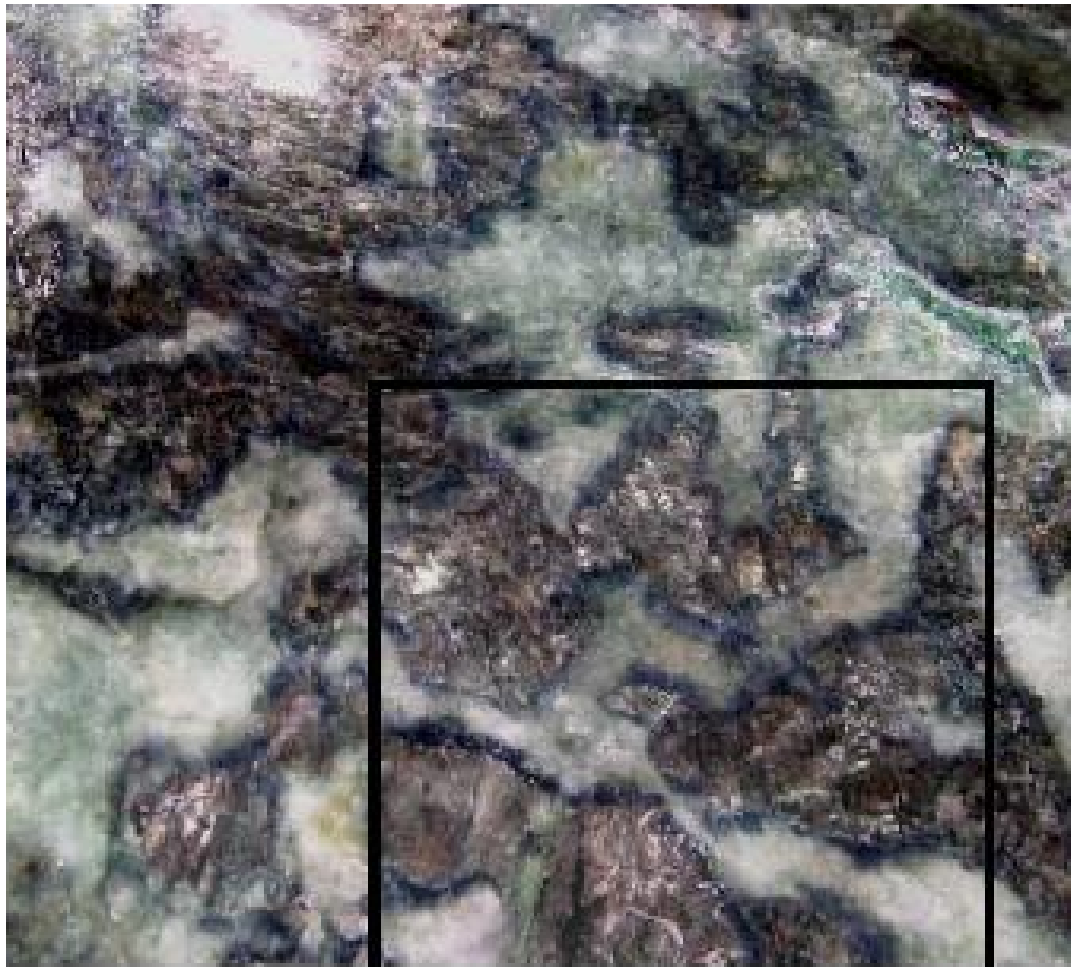
Jordie Carreiras, de l'Université de Barcelone, propose que les pegmatites se mettent en place tout au long de la déformation. En effet, malgré une texture grenue pegmatitique, quelques indices démontrent le caractère syncinématique de ces roches magmatiques. On remarque que les baguettes de tourmaline ont une orientation préférentielle qui est parallèle à la linéation minérale dans les métapélites :

Les tourmalines sont orientées et parfois tronçonnées dans la direction de la linéation minérale des métapélites

distinguez :

la contrainte déviatorique x la pression lithostatique

sans la contrainte déviatorique : pas d'orientation préférentielle des minéraux !!!, mais leurs croissance possible (changement de la P,T sans déformation)

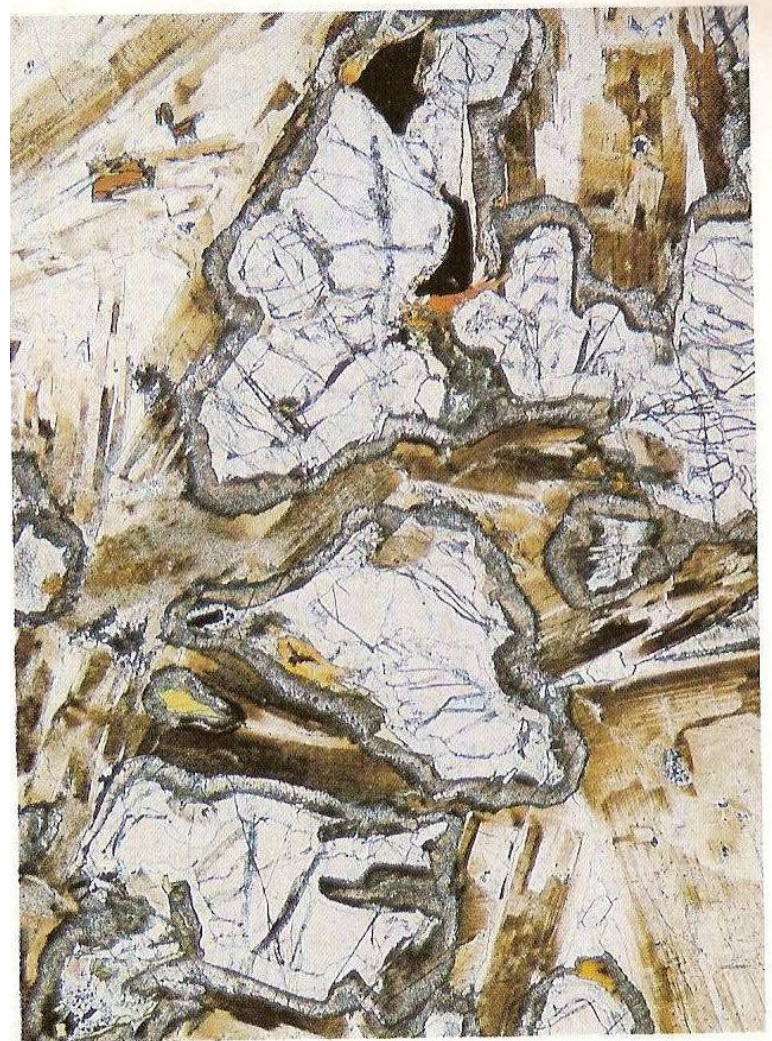


pyroxène + plagioclase
= glaucophane

la chaleur des intrusions de contact, les textures coronitiques : les textures ne sont pas orientées :



la cornéenne à andalousite (au milieu) et cordiérite

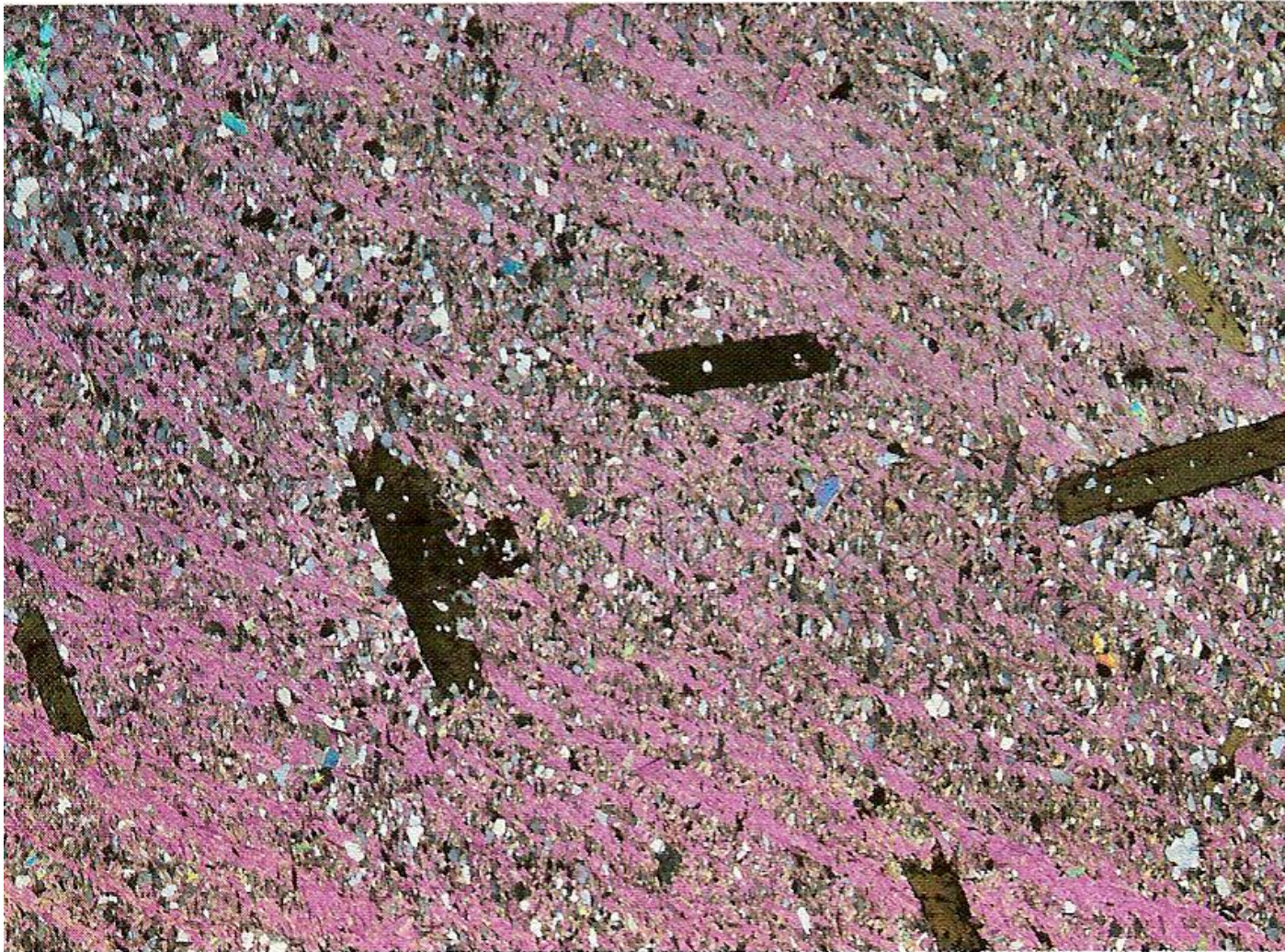


la dolérite, olivine et plagioclase ne sont plus en équilibre

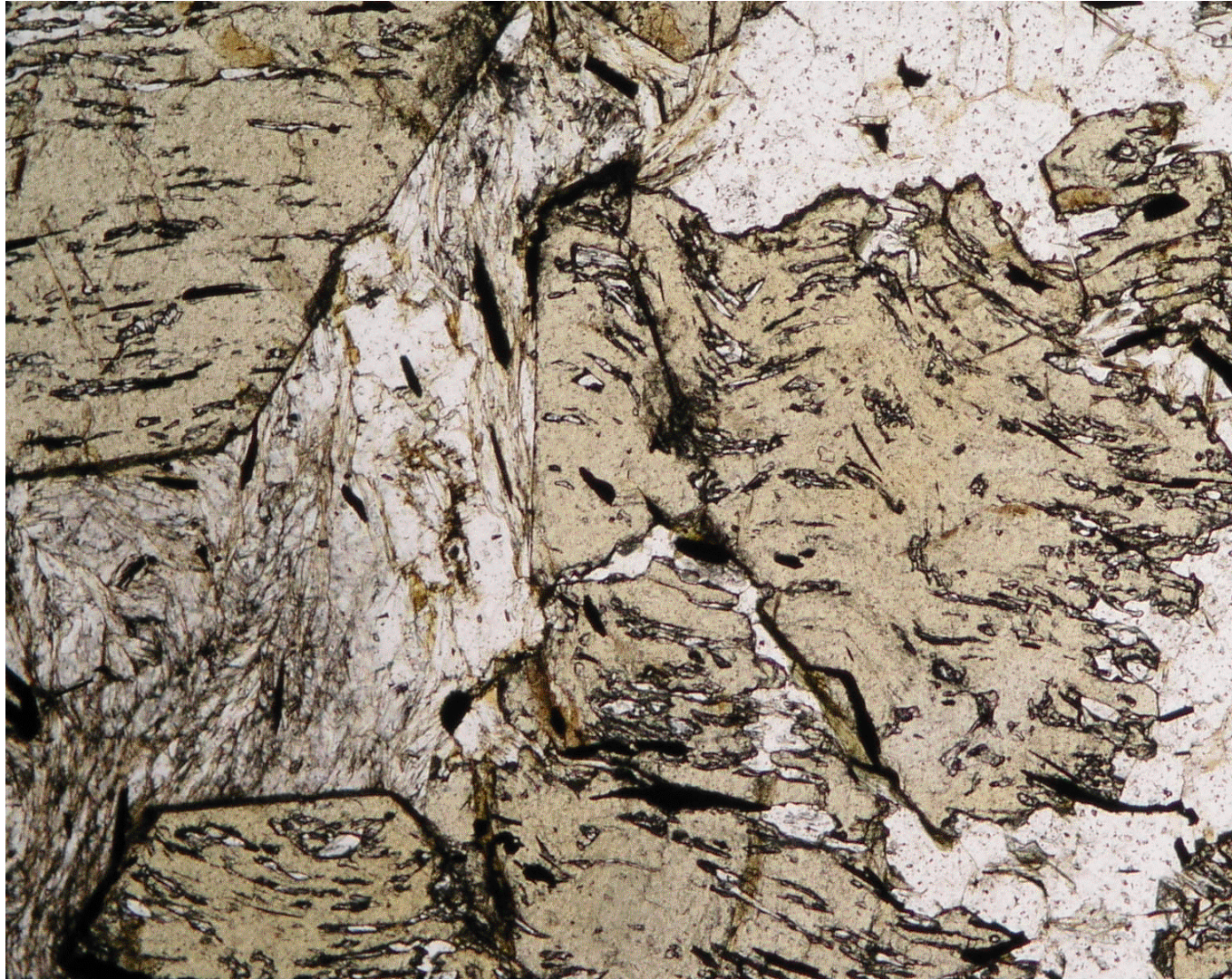
L'INTERACTION DE LA CROISSANCE DES GRAINS ET DE LA DÉFORMATION

Les textures préservent l'information sur le contexte géologique du métamorphisme

La **succession de la cristallisation** - la **corrélation avec la déformation**

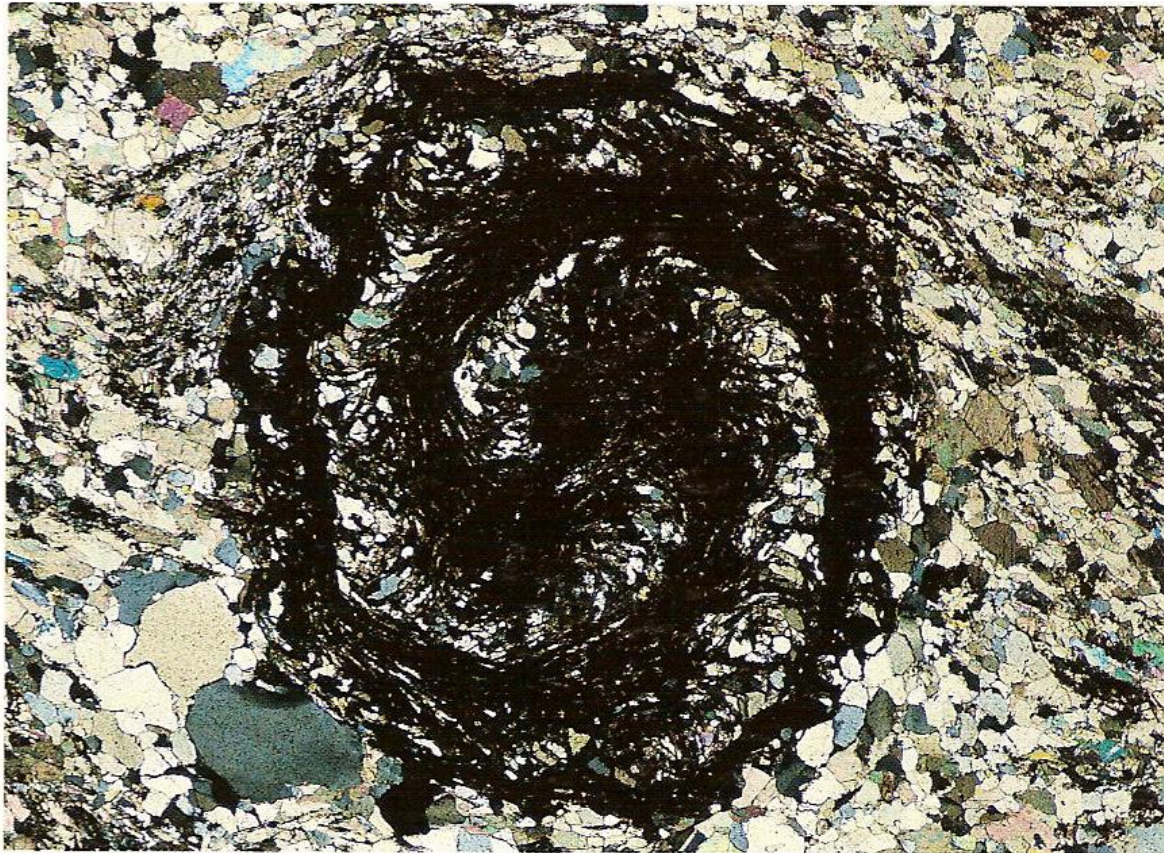


la biotite post-téctonique grandit à travers une foliation marquée par la muscovite et le quartz



la staurotide se surimpose à une crénulation préservée sous forme d'inclusions, la foliation dans la matrice est complètement transposée. la staurotide est anté-tectonique par rapport à S2

Silesian domain, Bohemian massif, M. Kosulicova



le grenat syn-tectonique

Yardley, B.W.D. et al., 1990. Atlas of metamorphic minerals and their textures. John Wiley & Sons, New York

Rotation des porphyroblasts - pendant leurs croissance

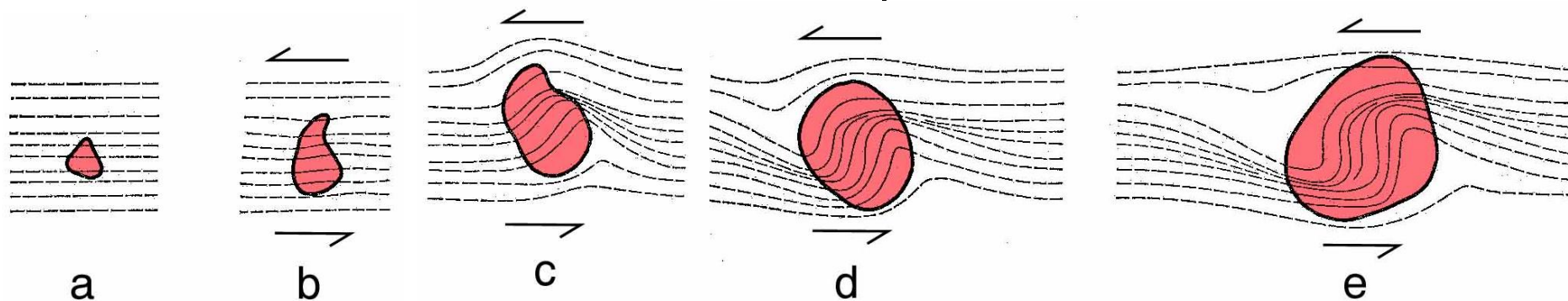
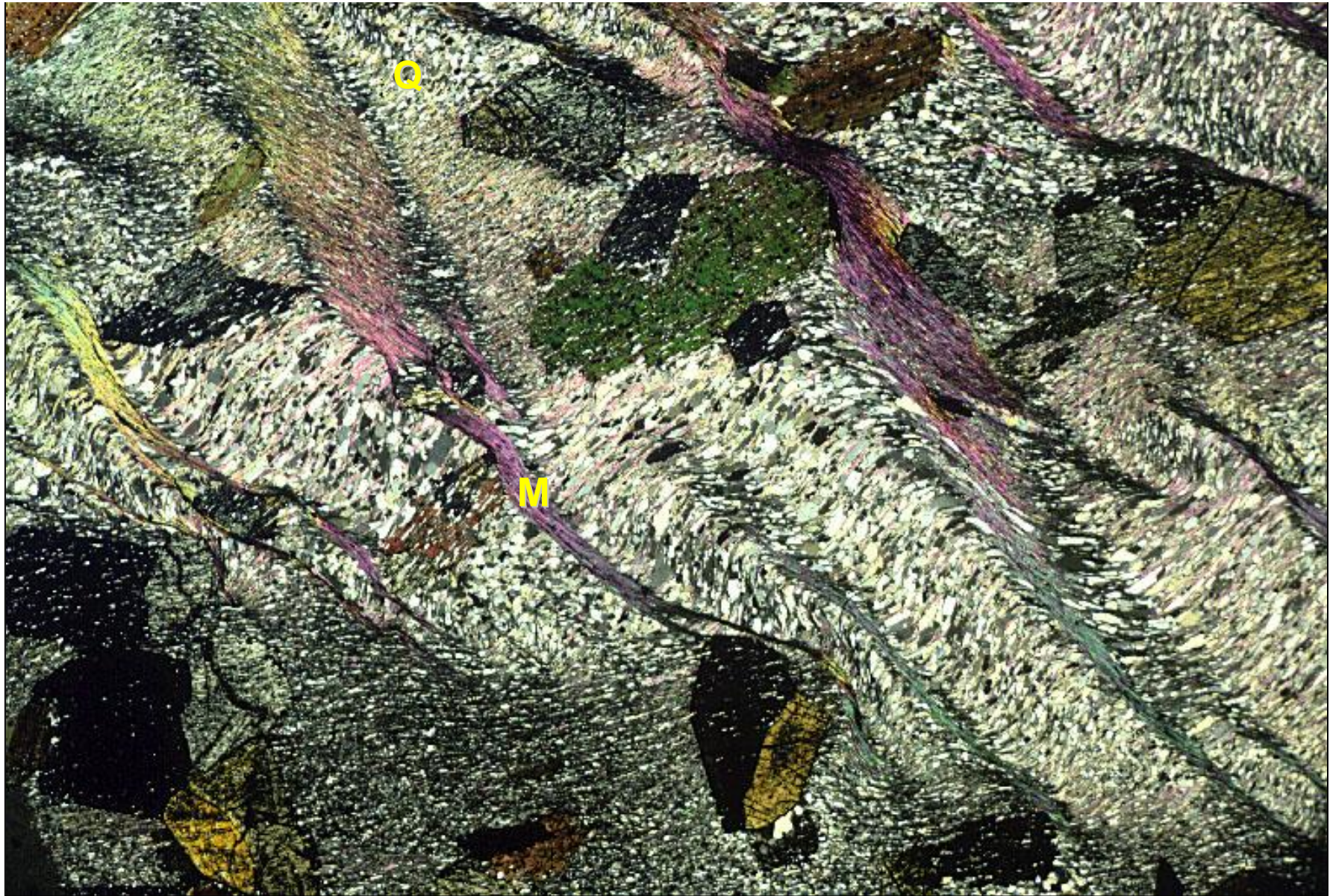


Figure 23-38. Traditional interpretation of spiral S_1 train in which a porphyroblast is rotated by shear as it grows. From Spry (1969) *Metamorphic Textures*. Pergamon. Oxford.

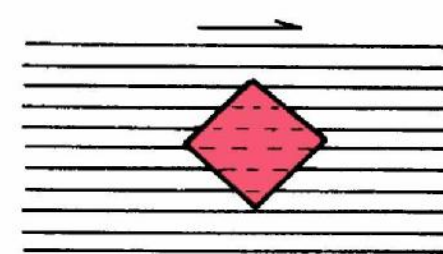
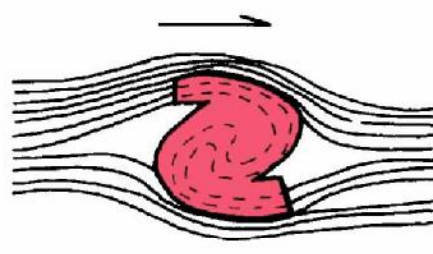
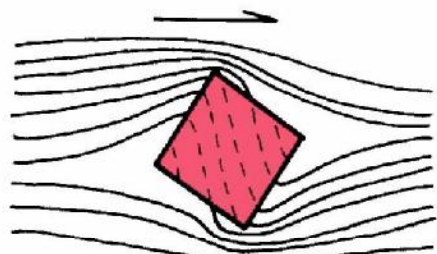


porphyroblastes sont pré-tectiniques par rapport avec la
crénulation S2

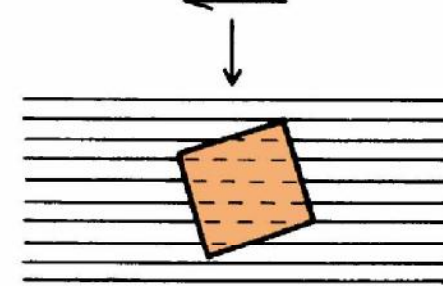
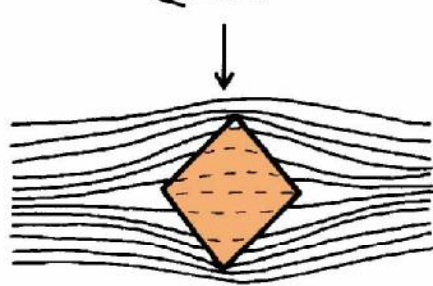
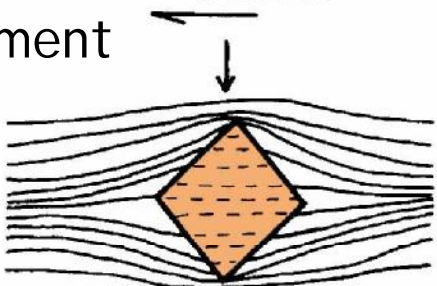
Ron Vernon teaching materials

Relation métamorphisme - déformation

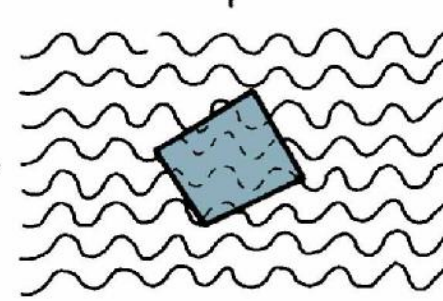
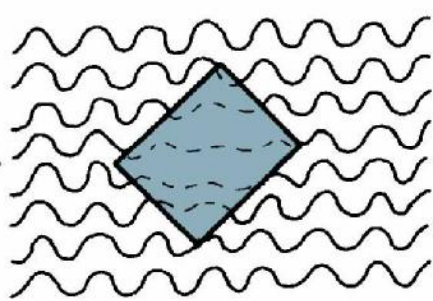
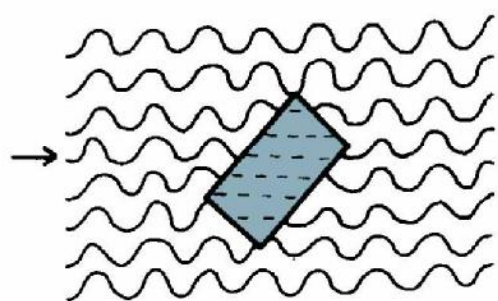
cisaillement
simple



aplatissement



crénulation



pre -

syn -

post - tectonic

d'après Zwart

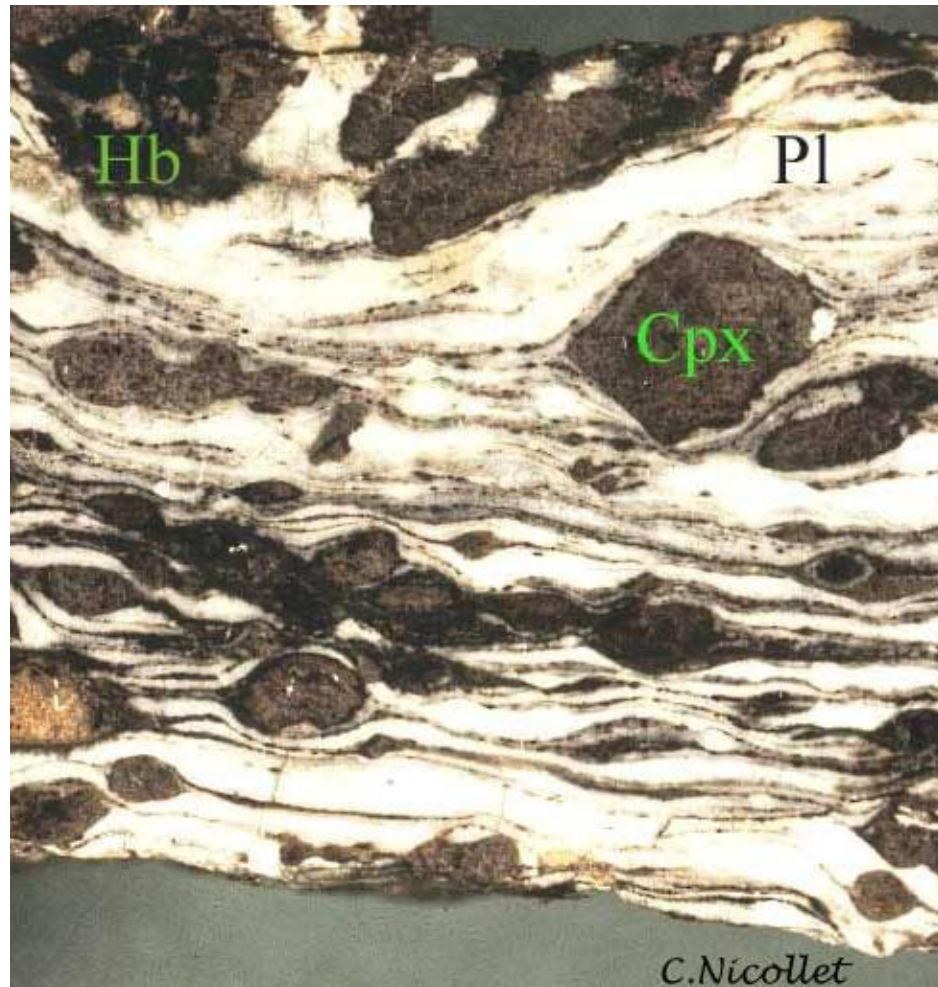
Figure 23-37. S_1 characteristics of clearly pre-, syn-, and post-kinematic crystals as proposed by Zwart (1962). **a.** Progressively flattened S_1 from core to rim. **b.** Progressively more intense folding of S_1 from core to rim. **c.** Spiraled S_1 due to rotation of the matrix or the porphyroblast during growth. After Zwart (1962) *Geol. Rundschau*, 52, 38-65.

le porphyroblaste (-ique)- cristal de grande taille dans une matrice de plus petits grains,
peut être symmétamorphique, syntectonique ou posttectonique



les porphyroblaste de l'andalousite et de la cordiérite dans un schiste

le **porphyroclaste** - (un claste) - grand fragment d'un cristal antérieur à la déformation ou au métamorphisme = **une relique** (par exemple magmatique) (ancien porphyroblaste)



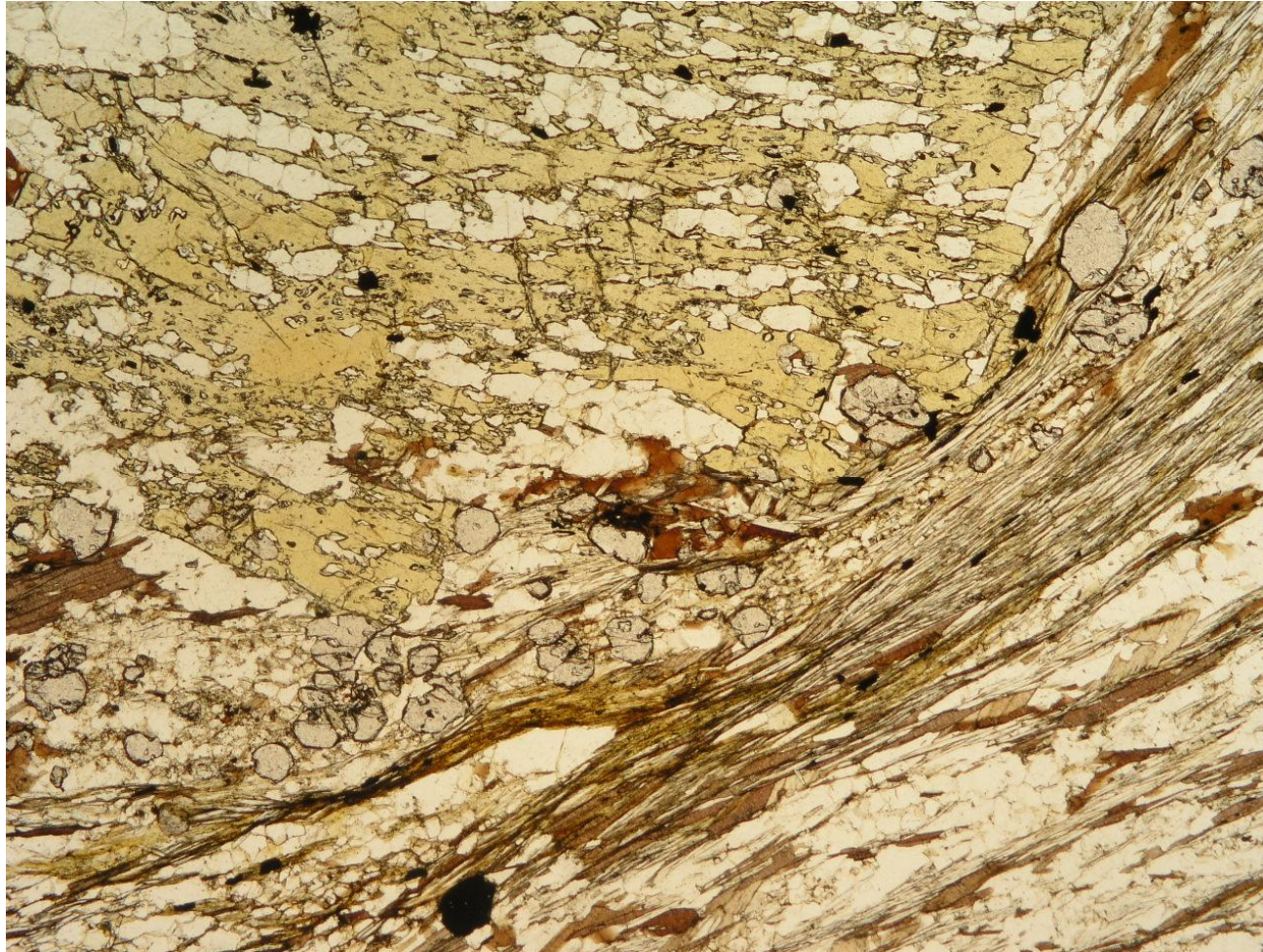
des porphyroclastes
du clinopyroxène
magmatique dans un
gabbro déformé



des **porphyroclastes** des feldspaths magmatiques dans un granite déformé : le orthogneiss, le gneiss oillé



le porphyroclaste du feldspath-K dans un orthogneiss



un poéciloblast de la
staurotite (jaune)
avec nombreuses
inclusions du quartz,
dans un micaschiste,
Silesian zone, Bohemian
Massif

le poeciloblaste (-ique, poecilitique) - un grand cristal contenant de nombreux petits inclusions d'un autre minéral

la matrice - les grains de petite taille qui entourent les grands cristaux

textures:

1. granoblastique : (grains du quartz + feldspath)
2. granoblastique orientée et blastomylonitique
3. lépidoblastique (micas), granolépidoblastique (micas+qtz+fsp)
4. grano-nématoblastique (minéraux aciculaires comme amphiboles)
5. porphyroblastique
6. porphyroclastique

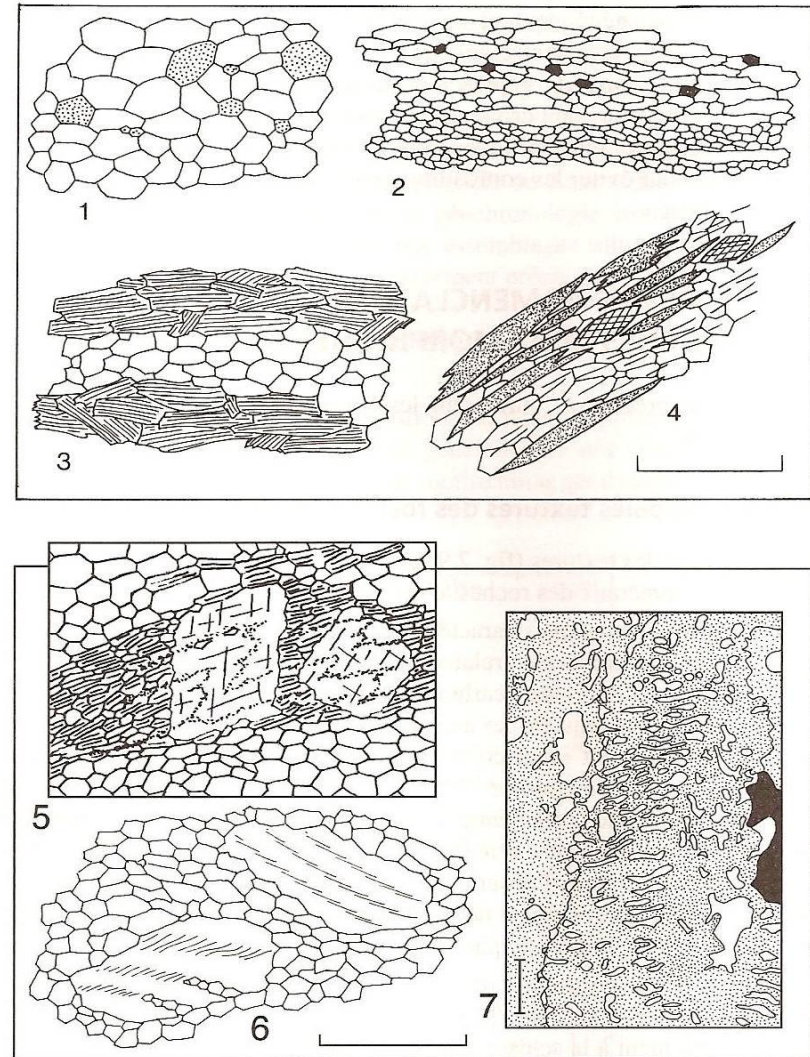


Figure 2.9 Principales textures des roches métamorphiques.

1 - Texture granoblastique : cornéenne, granofels ou marbre. 2 - Texture granoblastique orientée et blastomylonitique (gneiss, leptynite). 3 - Texture granolépidoblastique (gneiss, micaschiste). 4 - Texture granonématoblastique (amphibolite). 5 - Texture porphyroblastique. 6 - Texture porphyroclastique. 7 - Texture symplectitique (in Joanny, 1991) : intercroissances réactionnelles de clinopyroxène et de plagioclase dans une éclo-gite. Échelles 1 à 6 : 1 mm à 1 cm; 7 : 0,1 mm.

II. Des changements minéralogiques – réaction au changement de la pression et température

exemple : pendant l'enfouissement, un sédiment pélitique se transforme en micaschiste, les minéraux des argiles se transforment en muscovite, grenat, biotite...

les réactions minéralogiques = les réactions chimiques
les minéraux = les phases

=> comme une réaction aux changements de PT
=> l'énergie de Gibbs est minimisée au cours de la réaction

exemples des changements des phases :
polymorphes :
quartz

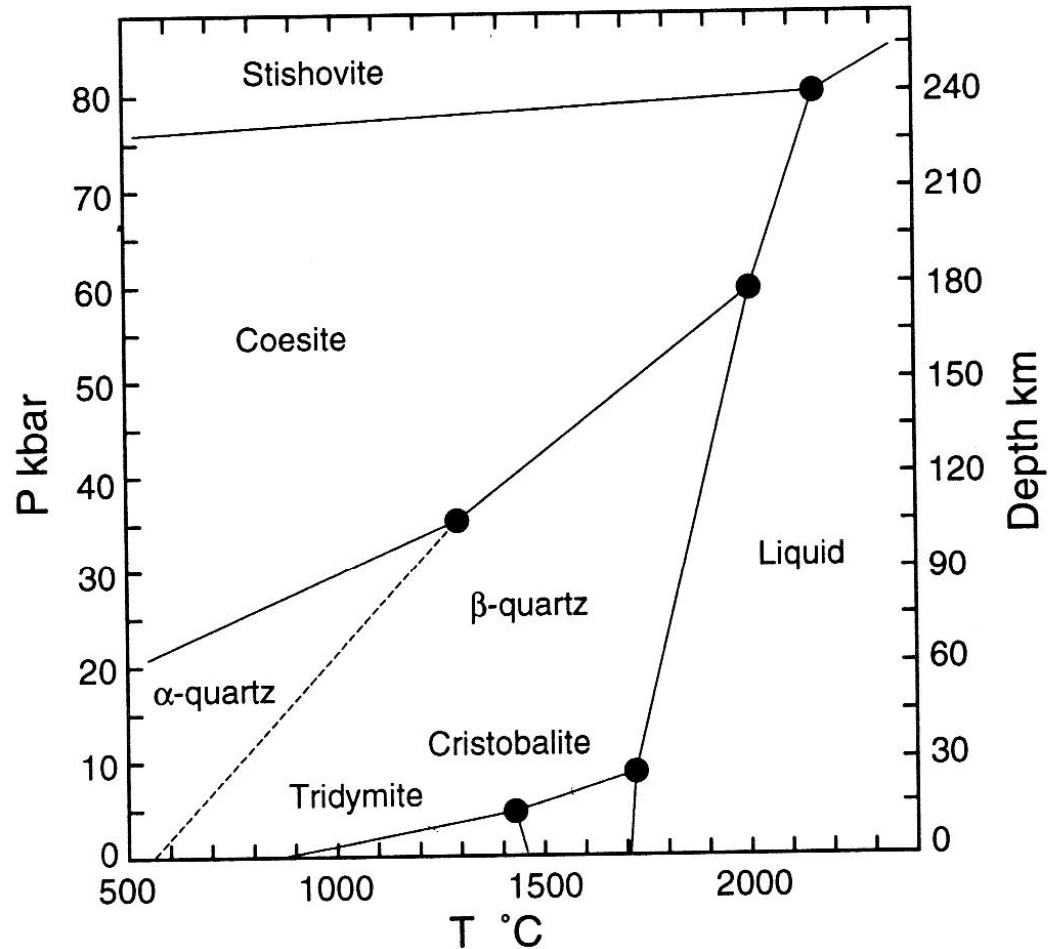


Figure 4-2. Phase diagram for the SiO₂ system showing the P-T stability fields for the silica polymorphs. From Zoltai and Stout (1984).

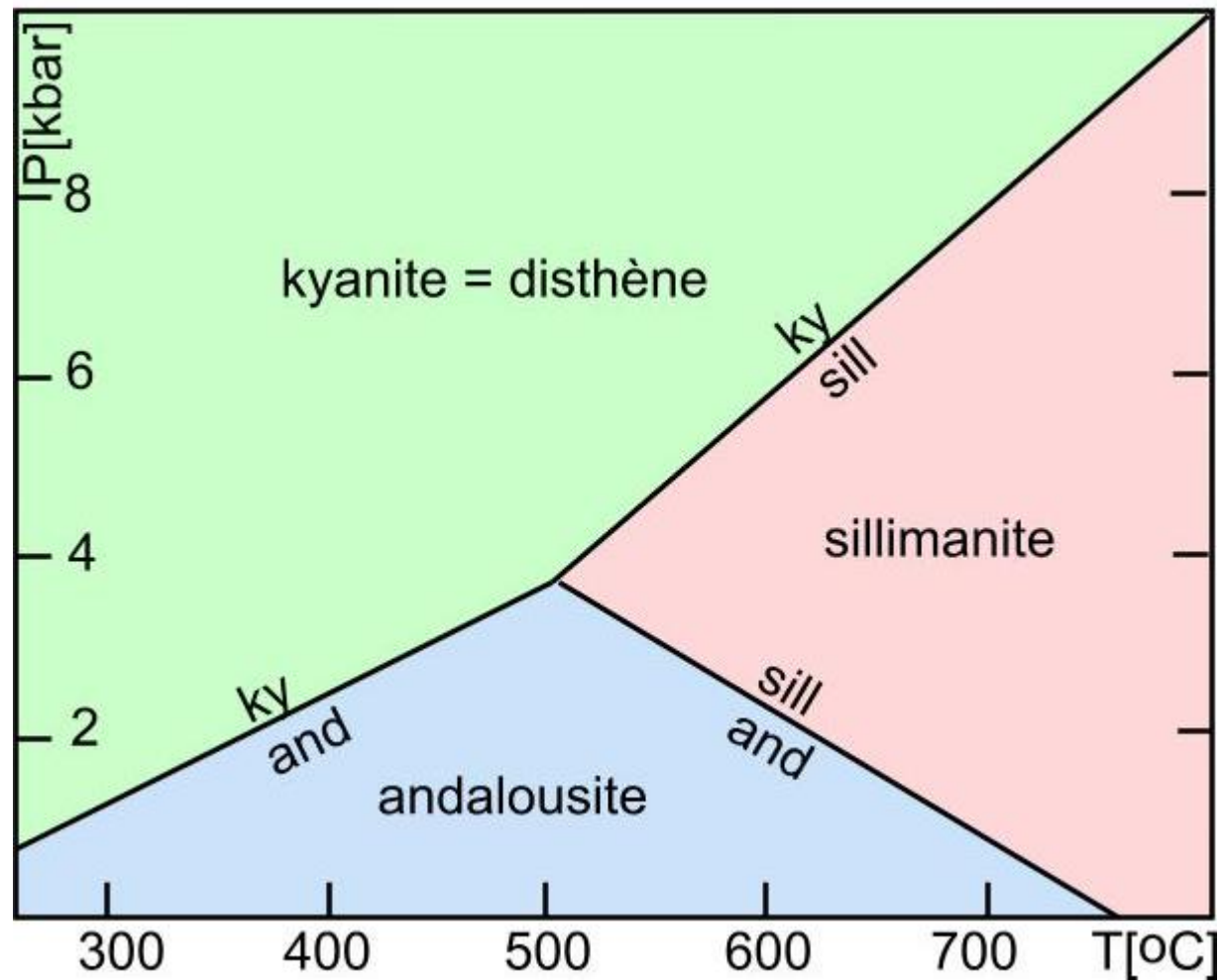
Al_2SiO_5

kyanite=disthène

le point triple

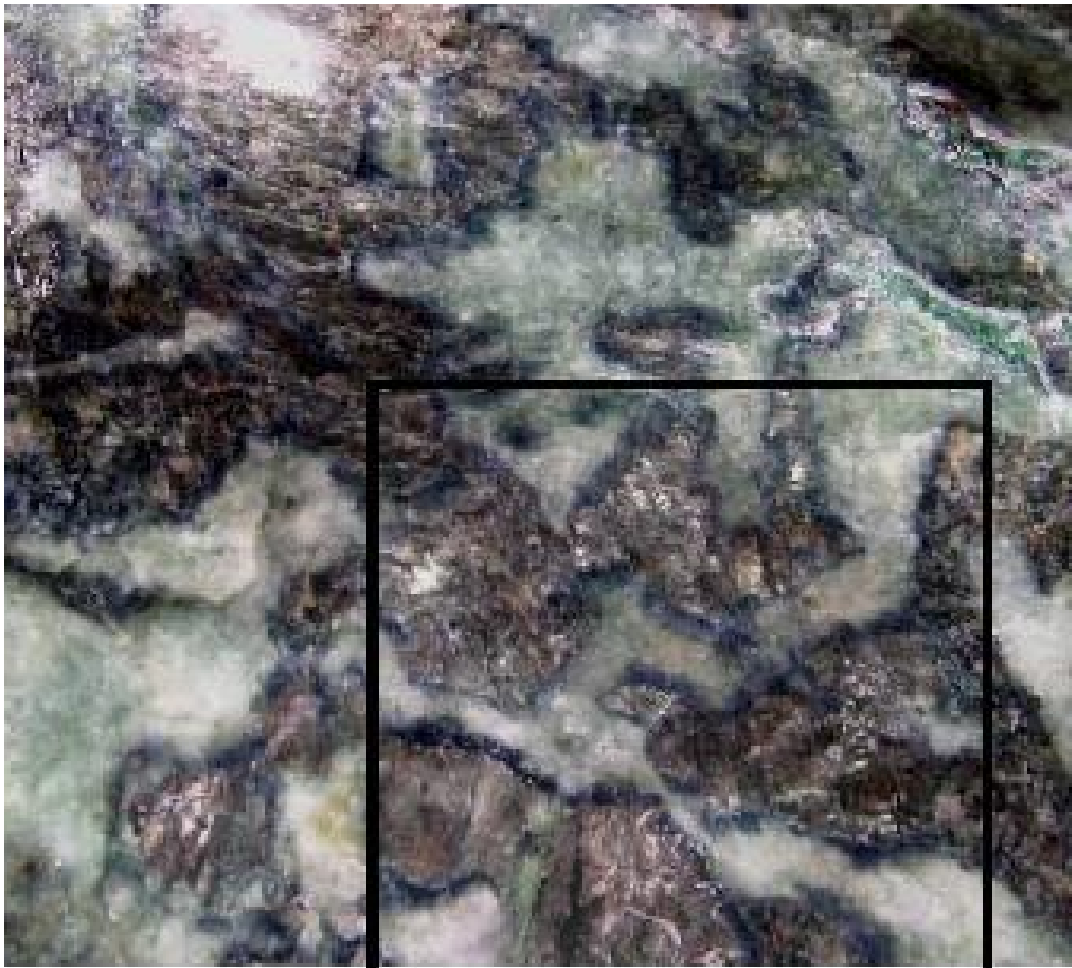
~4kbar, 500 °C




très utile
pour la
détermination du
degré du
métamorphisme

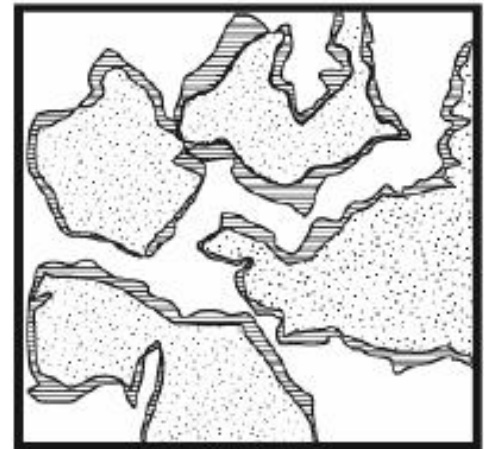


un autre exemple des polymorphes : calcite/aragonite

des transformations chimiquement plus complexes :

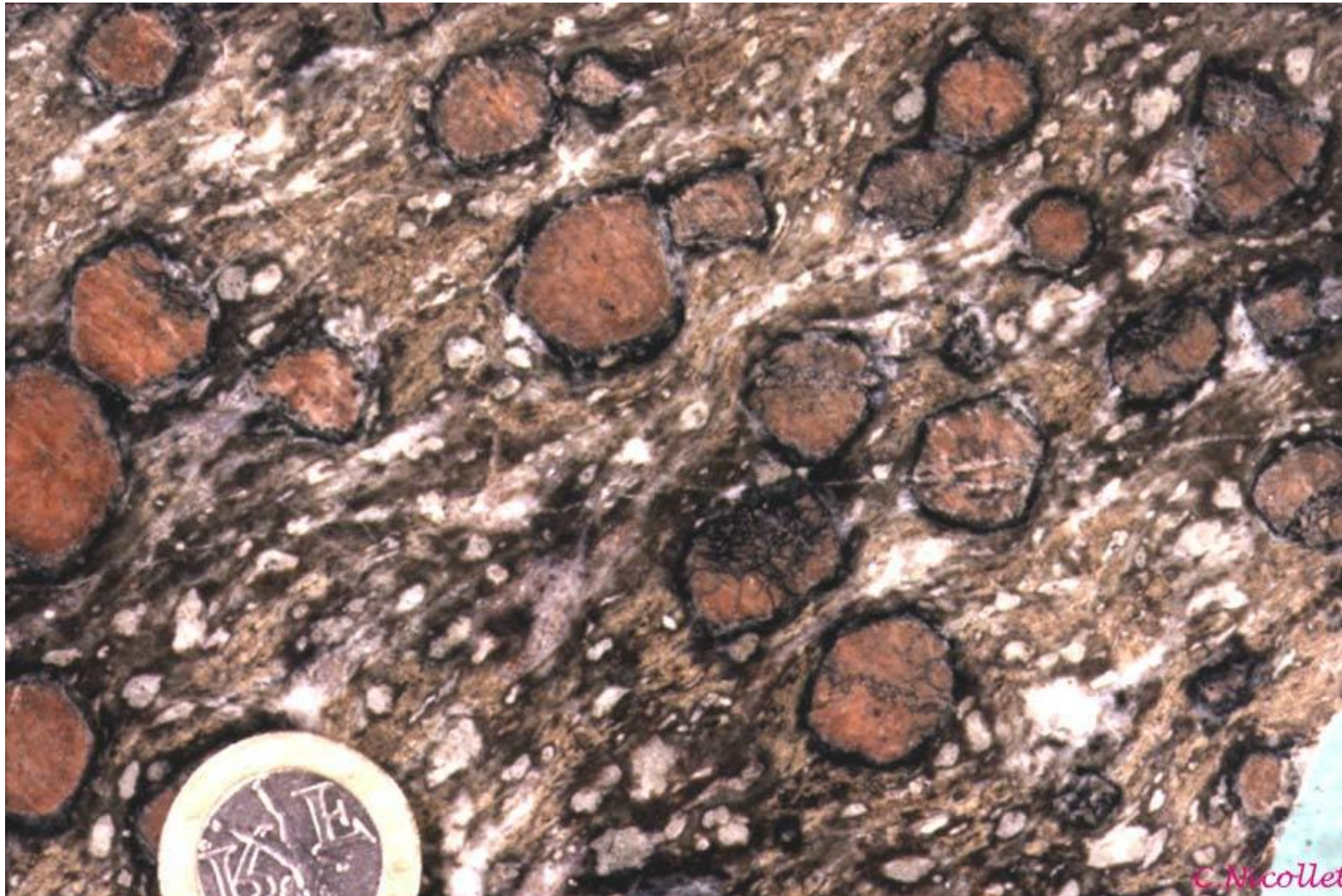


-  *Pyroxène*
-  *Glaucophane*
-  *Feldspath*

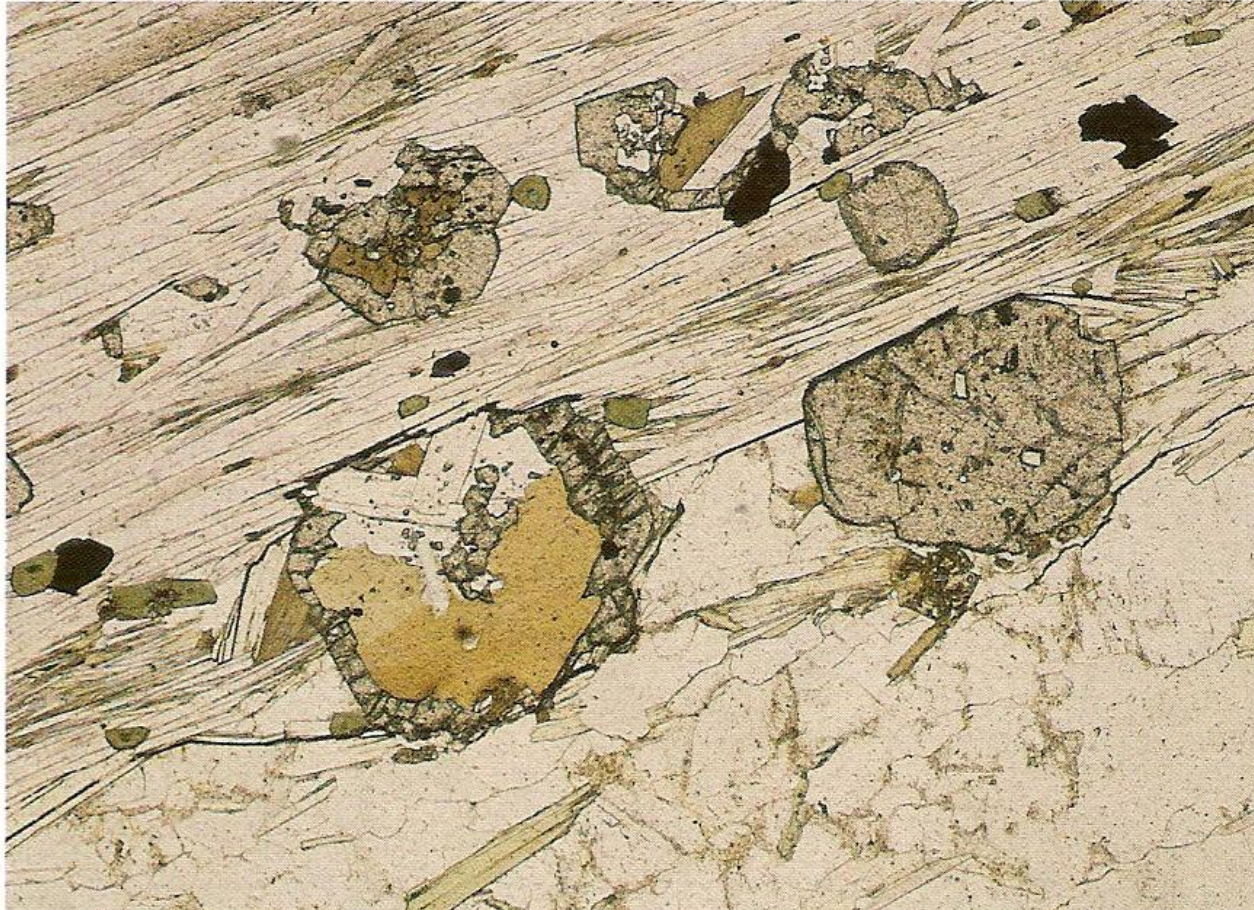


pyroxène + plagioclase
= glaucophane

la couronne réactionnelle: grenat = amphibole et plagioclase

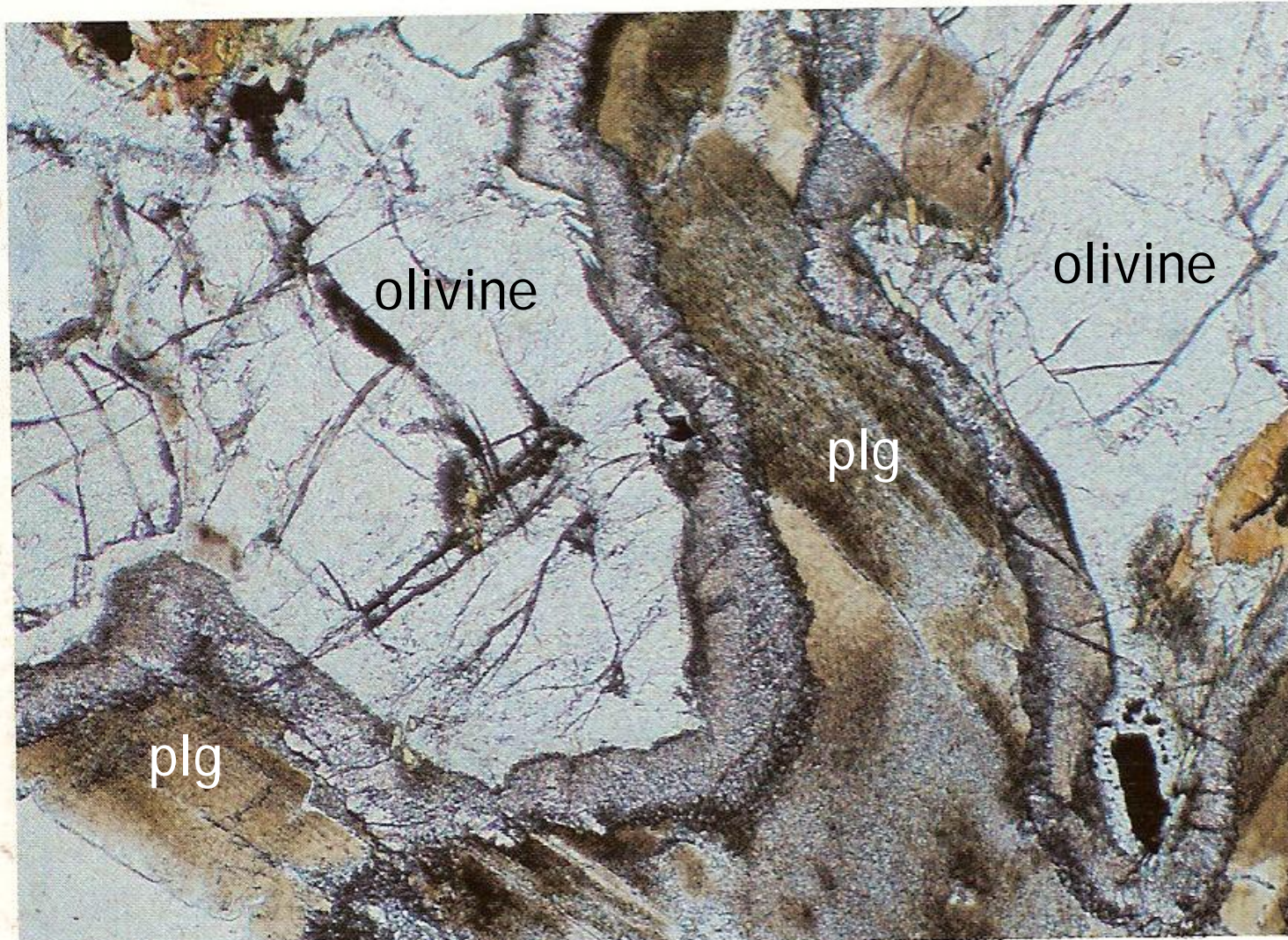


Dans cette ancienne éclogite, le grenat (rouge, Gt) et le clinopyroxène (brun, Cpx) ne sont plus en équilibre, comme en témoigne la couronne noire autour du grenat. L'[observation au microscope](#) montre que cette bordure est constituée de hornblende et de plagioclase...



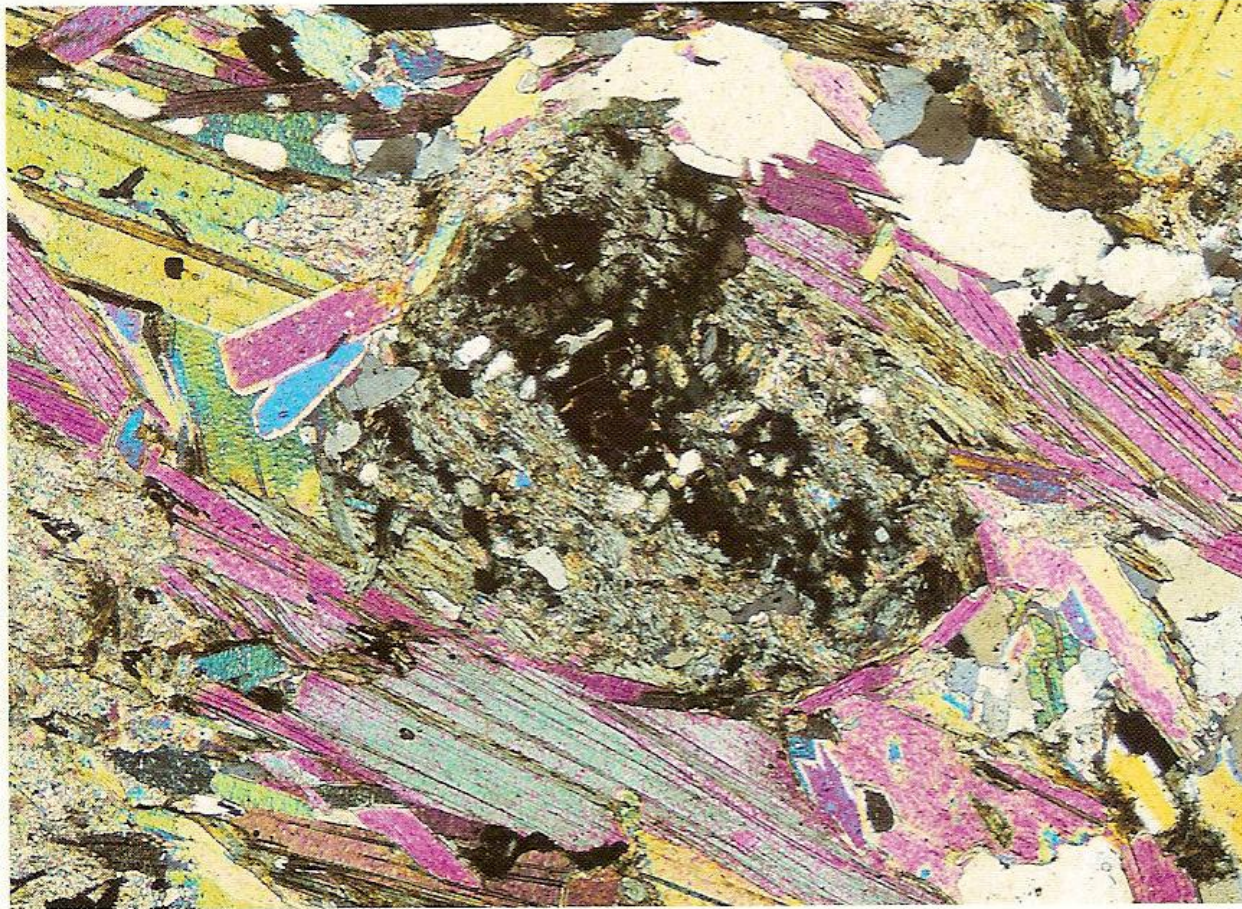
le grenat consomme la biotite

la texture coronitique



la couronne réactionnelle dans une dolérite

l'olivine et le plagioclase réagissent en clinopyroxène +
plagioclase + grenat



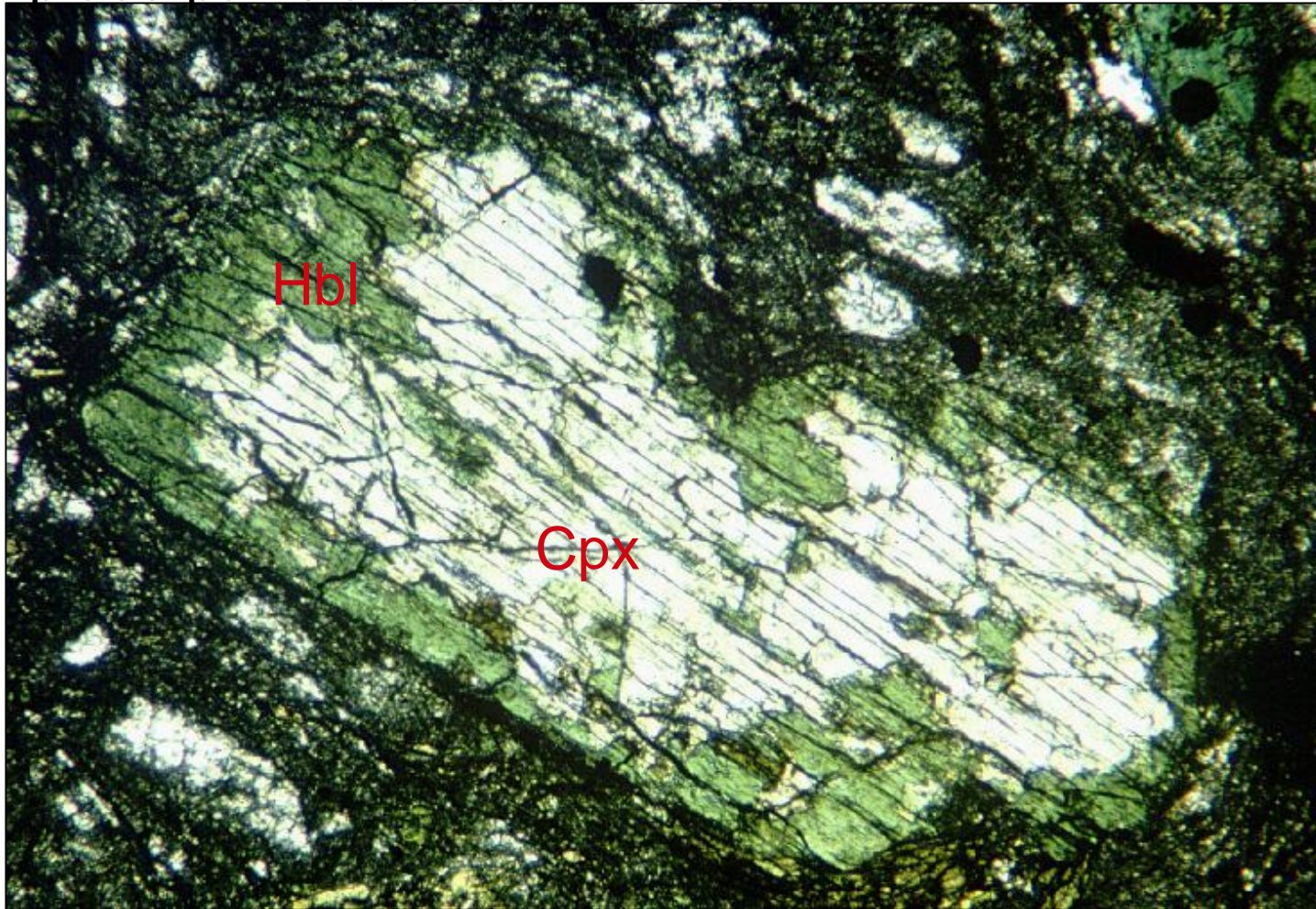
le grenat est consommé par la chlorite et le chloritoïde

⇒ la pseudomorphose

= la forme du minéral d'origine est préservée, mais remplacé par d'autres minéraux

la pseudomorphose

=la forme du minéral d'origine est préservée, mais remplacé par d'autres minéraux



Clinopyroxène → hornblende (l'amphibole)

l'association minérale - tous les minéraux dans la roche, ne sont pas nécessairement en équilibre chimique (ex. pl + ol + opx + grt + cpx)

la paragenèse - l'association stable dans certaines conditions de PT (en équilibre) (ol + pl étaient un paragenèse stable avant le développement de la couronne réactionnelle)

l'assemblage

(mais en pratique tous ces termes sont souvent utilisés pour les minéraux en équilibre)

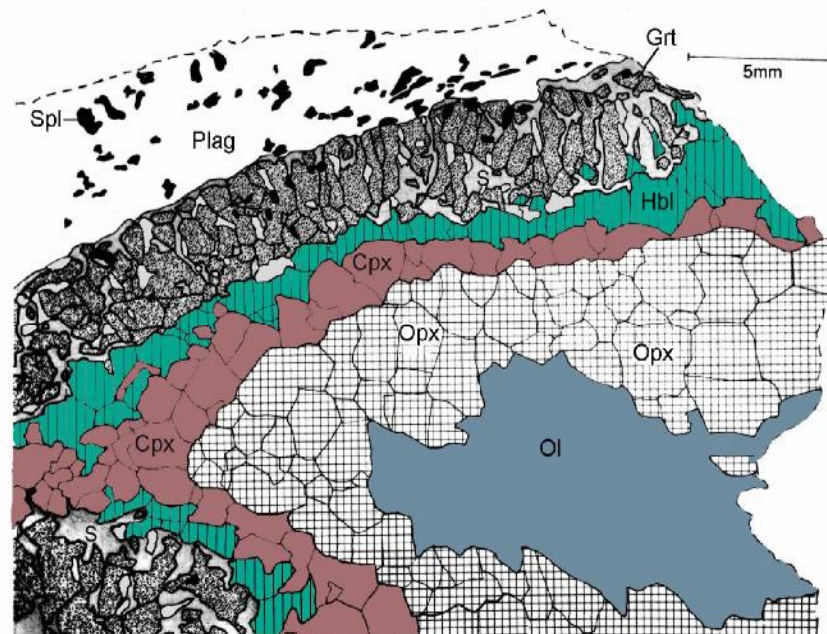
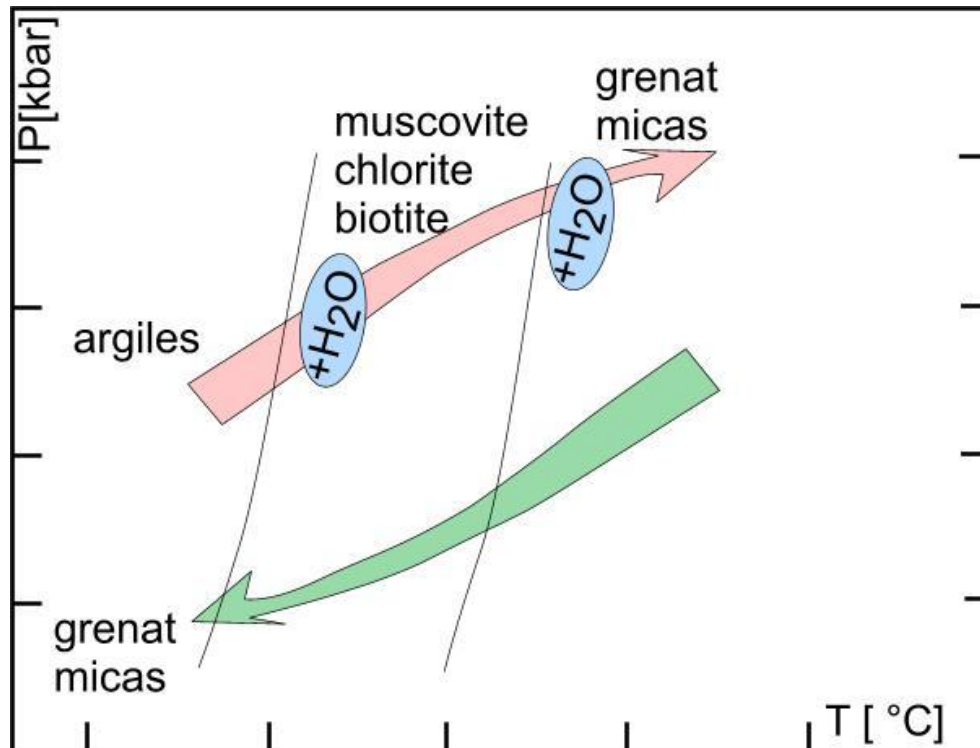


Figure 23-54. Portion of a multiple coronite developed as concentric rims due to reaction at what was initially the contact between an olivine megacryst and surrounding plagioclase in anorthosites of the upper Jotun Nappe, W. Norway. From Griffen (1971) *J. Petrol.*, 12, 219-243.

les réactions progrades/rétrogrades

les réactions progrades - avec l'augmentation de la T

- 1) libèrent H₂O, déshydratation
- 2) la vitesse des réactions augmente avec T



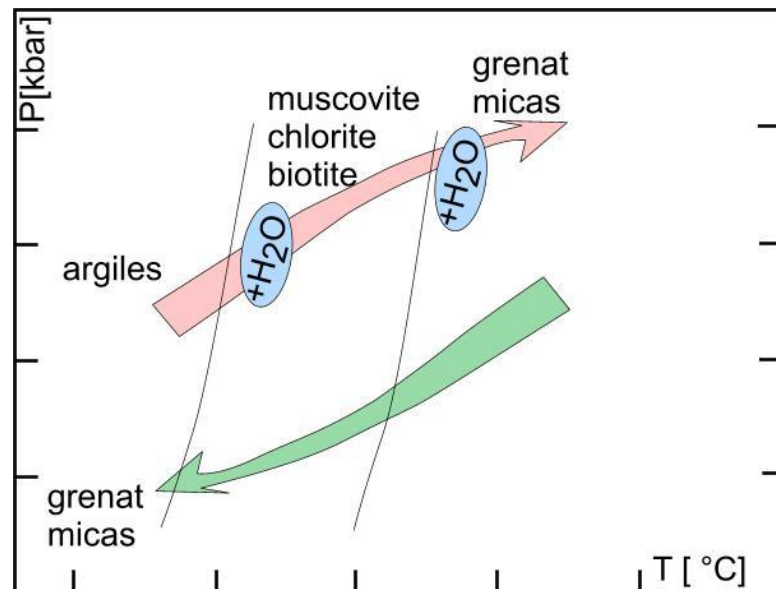
les réactions rétrogrades avec la diminution de la T devraient se réaliser à l'envers, de façon à ce que l'énergie Gibbs soit au minimum

- 1) consomment H₂O, qui n'est pas nécessairement disponible
 - 2) la vitesse des réactions diminue avec T
- => la préservation des assemblages pendant le processus de l'exhumation

le chemin PTt - pression- température- temps

le processus de **l'exhumation** –
le mouvement des roches vers
la surface

par ex. : **l'érosion**, la
formation **des nappes**, le
plissement



le mét. prograde
la T augmente (pendant
l'enfoncement, autour
d'un pluton)

les conditions maximales
(d'habitude l'assemblage
de T_{max} et non de P_{max}
est préservé)

le mét. rétrograde
la T diminue
(pendant l'exhumation)

**le chemin P T t –
pression-température-
temps**

Métastabilité : la survivance des minéraux (ou des assemblages des minéraux) dehors leurs champ de stabilité

exemples :

le granite est stable à ~650 °C

sur la surface de la Terre les feldspaths devraient se transformer en kaolinite

diamant-graphite

la cinétique des réactions :

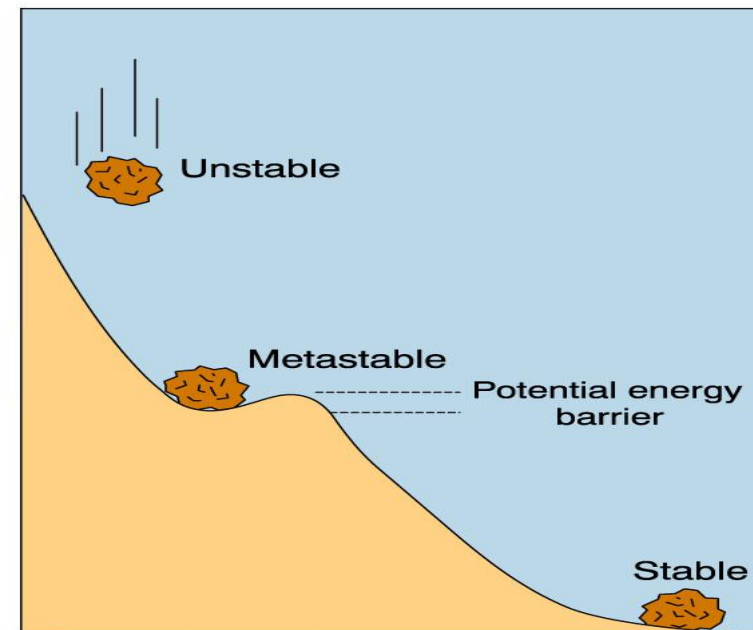
le temps

l'énergie d'activation

la vitesse des réactions

le transfert de la matière

présence/absence des fluides (H₂O)



III. Les changements de la chimie de la roche le métasomatisme

la majorité des roches mét. a subi le mét. isochimique,
seulement H₂O varie

le métasomatisme - la chimie de roche varie
l'importance de la présence des fluides qui
apportent/emportent les cations

autour des plutons, des dorsales océaniques
(=> les gisements)

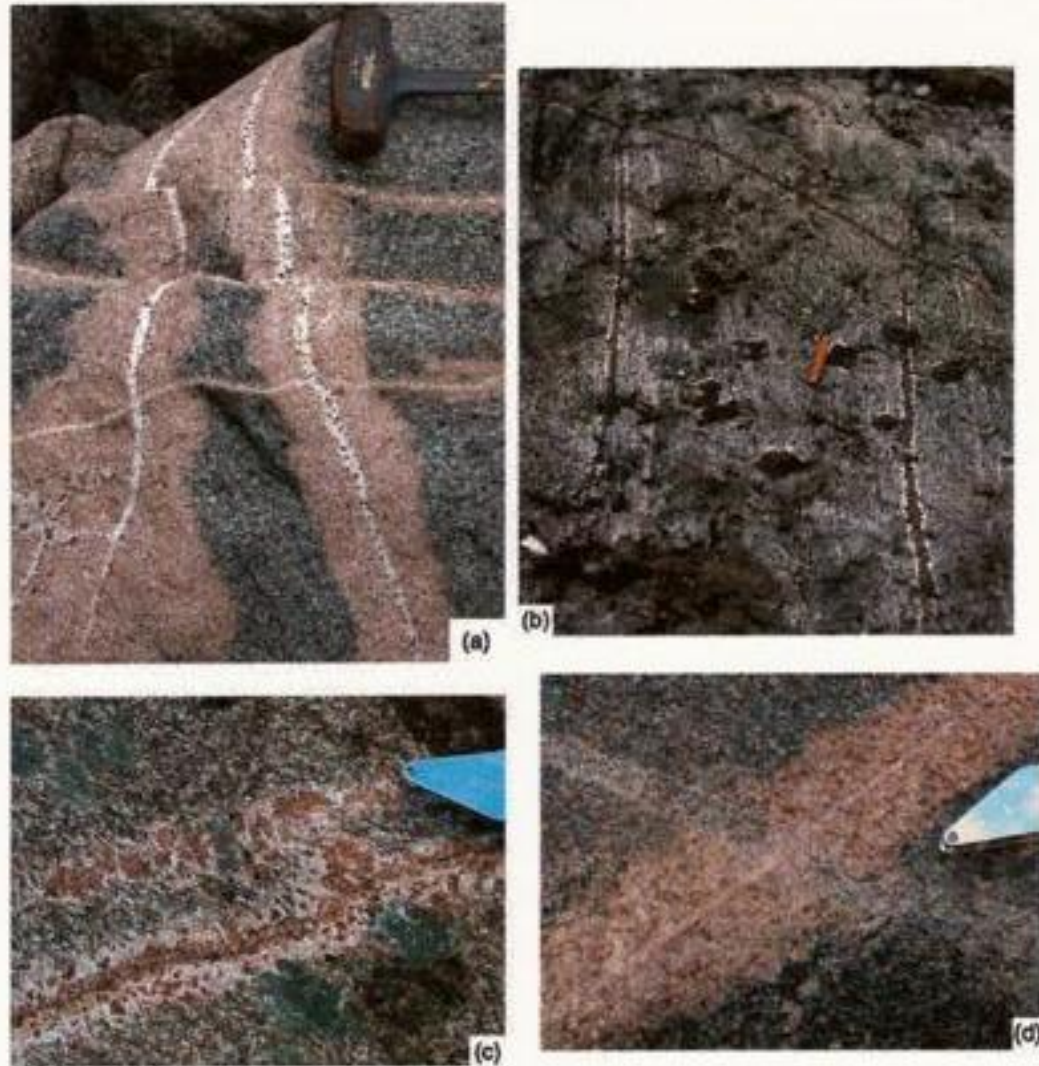


Fig. 2. (a) Anorthositic veins mantled by garnet reaction zones in gabbroic gneiss, Pembroke Valley (fig. 2c from Schröter *et al.*, 2004). (b) Rectilinear network defined by garnet-bearing leucosomes, dioritic gneiss, Pembroke Valley. Large isolated peritectic garnet grains, enclosed by small amounts of leucosome, also occur in the middle of the view. (c) Peritectic garnet forming trains and in leucosome, dioritic gneiss, Pembroke Valley. (d) Lithological control on width of garnet reaction zone. A anorthositic vein and garnet reaction zone cut gabbroic gneiss and a thin felsic layer that is comparatively amphibole-poor. The garnet reaction zone is far less extensive in the felsic layer because of the lower proportion of hydrous minerals.

Clarke *et al.*, 2005, Roles of fluid and/or advection in forming high-P mafic migmatites, Fiordland, New Zealand, *J. metamorphic Geol.*, 23, 557-567.

Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

