

# 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

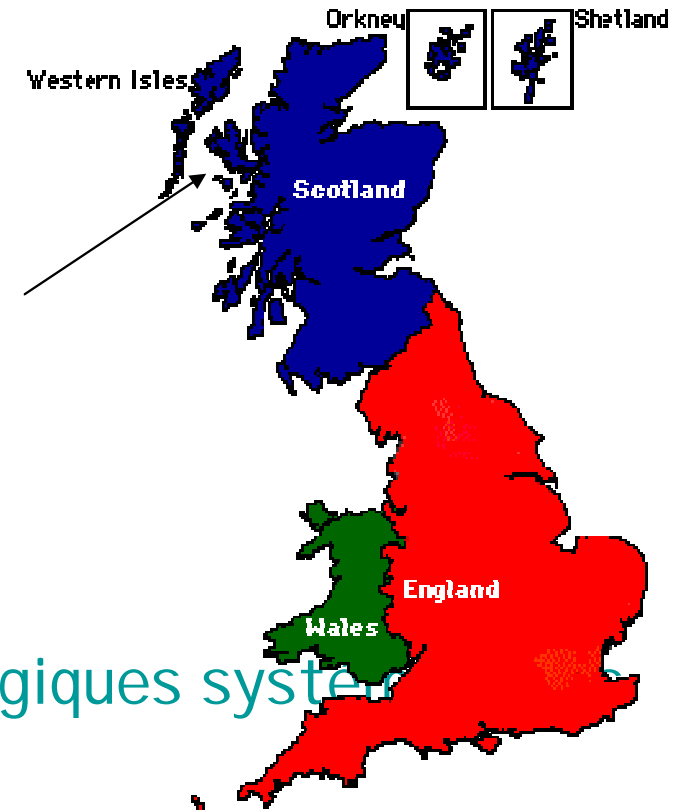
- les agents principaux : P, T, déformation
- cristallisation pendant métamorphisme
- relation cristallisation/déformation
- des réactions minéralogiques – réactions en phases solides

## 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

# 1. MÉTAMORPHISME RÉGIONAL OROGÉNIQUE DES MONTAGNES ÉCOSSAISES

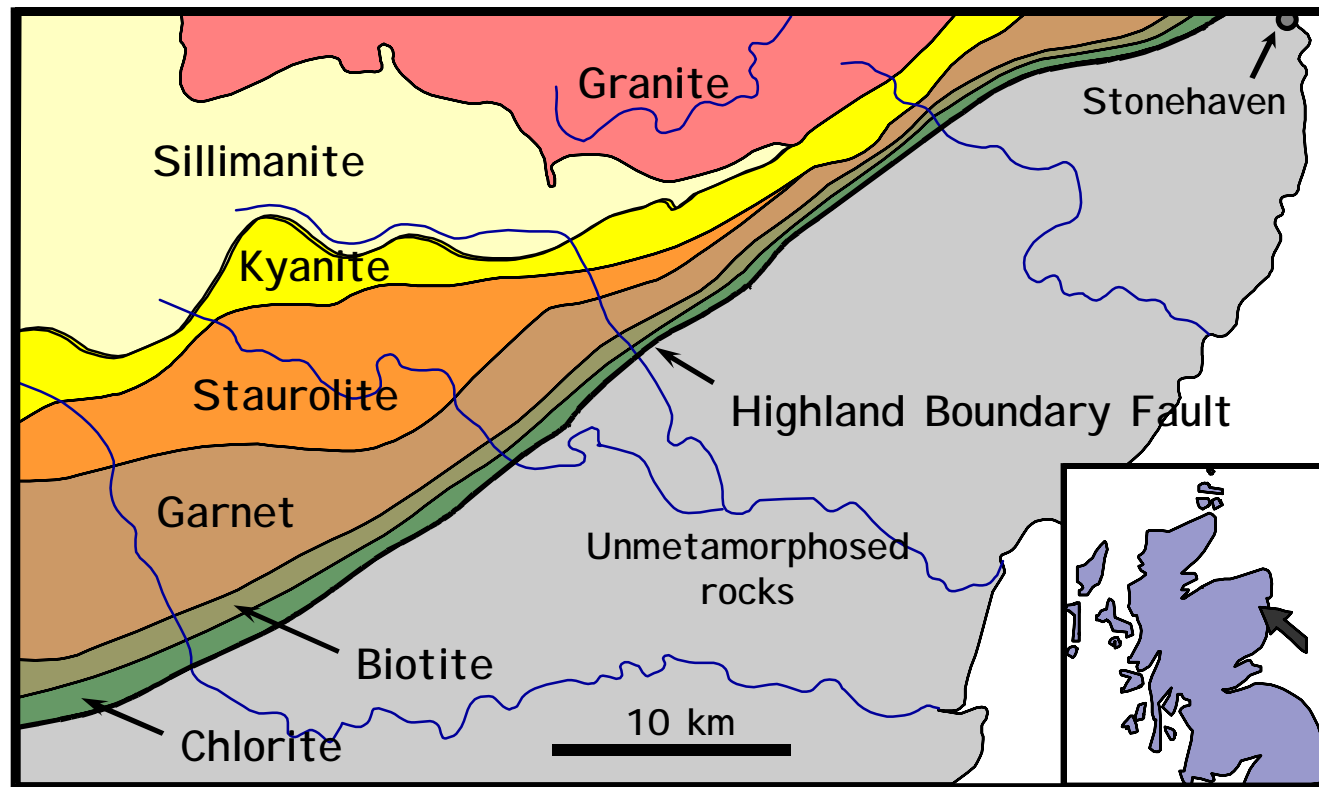
- George Barrow (1893, 1912)
- Les montagnes de l'Ecosse, sud-ouest,
- l'orogénèse calédonienne ~ 500 Ma



Barrow a noté les changements minéralogiques systématiques des roches métapélitiques

pélites = roches sédimentaires alumineuses : argiles  
préfix méta = métamorphisé

- des **zones métamorphiques**, chacune basée sur
- l'apparition d'un nouveau minéral : **minéral index**
  - associé avec l'augmentation de la taille des grains

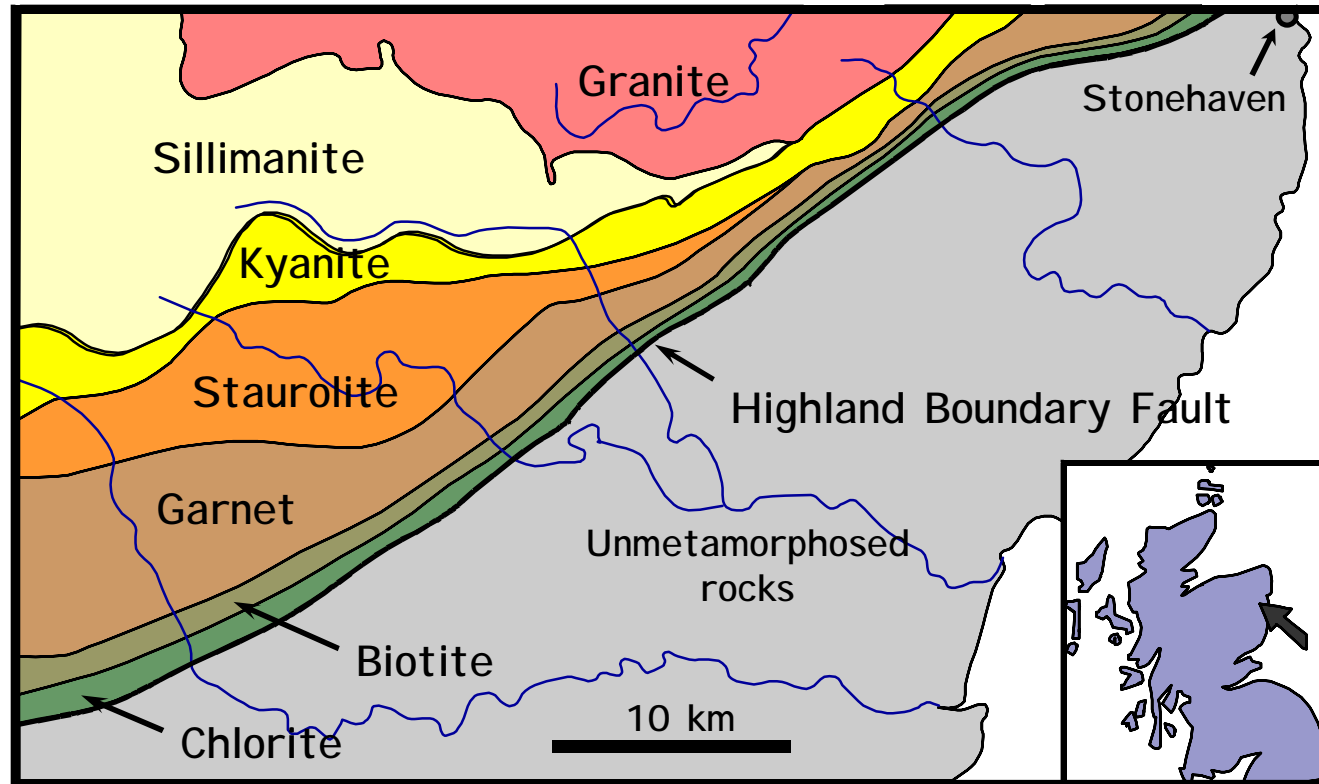


Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall. Based on Tilley 1925

il a interprété la zonalité comme  
l'augmentation de degré du métamorphisme

Tilley a inventé le terme

**l'isograde** = ligne sur la carte (sur le terrain) qui sépare les zones (une ligne du degré métamorphique constant)



Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall. Based on Tilley 1925

on va suivre :

**l'assemblage minéral** (=l'ensemble des minéraux)

typique dans chacune zone,

et le nom historiquement associé à ce type des roches

les **minéraux** des argiles se transforment à **la muscovite**

Les **roches** pélitiques deviennent **des ardoises** (angl. slate)

Muscovite -mica blanc



la roche  
sédimentaire  
d'apparence mat  
commence avoir  
des éclats  
lumineuses à  
cause des  
reflets sur les  
clivages des  
muscovites

## Zone à chlorite.

contiennent la chlorite, la muscovite, le quartz et l'albite

Les roches pélitiques deviennent

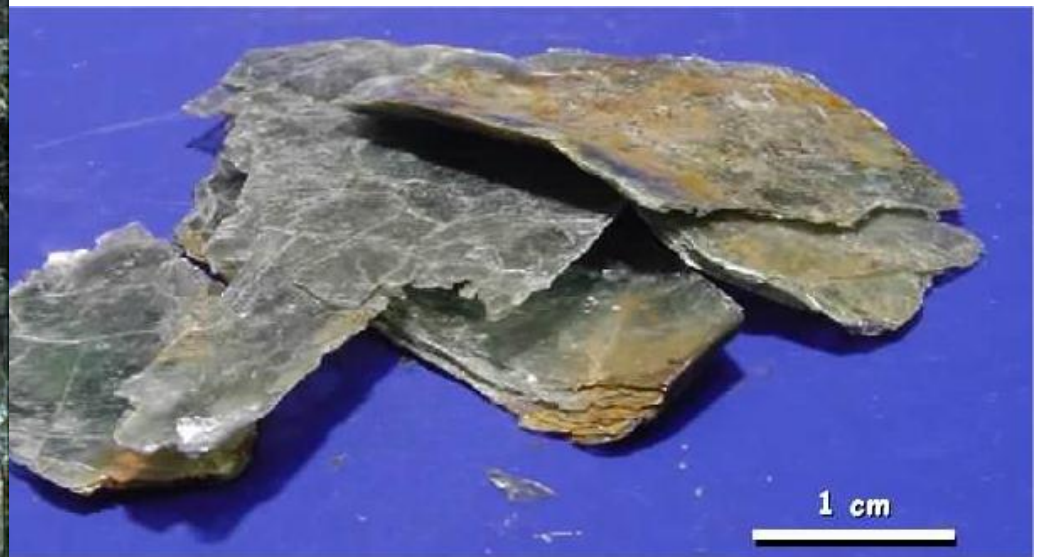
⇒ des **phyllades** (angl. phyllites),

⇒ en fr. aussi **séricito-, chlorito-schistes**

**phyllade :**



**Chlorite (est verdâtre)**





## Zone à biotite.

la biotite, la chlorite, la muscovite, le quartz, et l'albite

les roches s'appellent les **phyllades** et les **schistes**

le micaschiste à biotite :

Biotite- mica noir



Zone à grenat.

Les schistes

avec le grenat (l'almandin),

habituellement avec la biotite, la chlorite, la muscovite, le quartz, et l'albite ou l'oligoclase



le micaschist à grenat

Almandin  $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Pyrope  $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Grossulaire  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Spessartine  $\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

Andradite  $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$

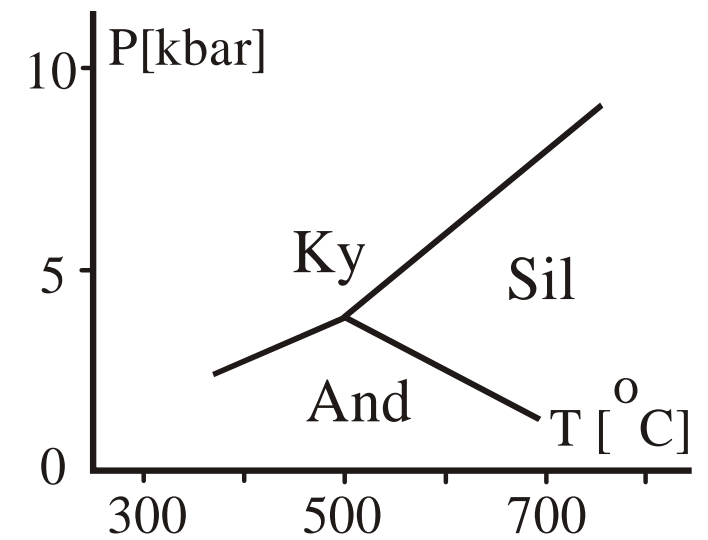
**Zone à staurotide** (staurolite)  $(\text{Fe,Mg})_2\text{Al}_9(\text{Si,Al})_4\text{O}_{20}(\text{O,OH})_4$ .  
les **schistes** avec la staurotide,  
la biotite, la muscovite, le quartz, le grenat, et le plagioclase. De la chlorite peut persister.



**Zone à disthène** (kyanite,  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ).

Schistes avec le disthène,

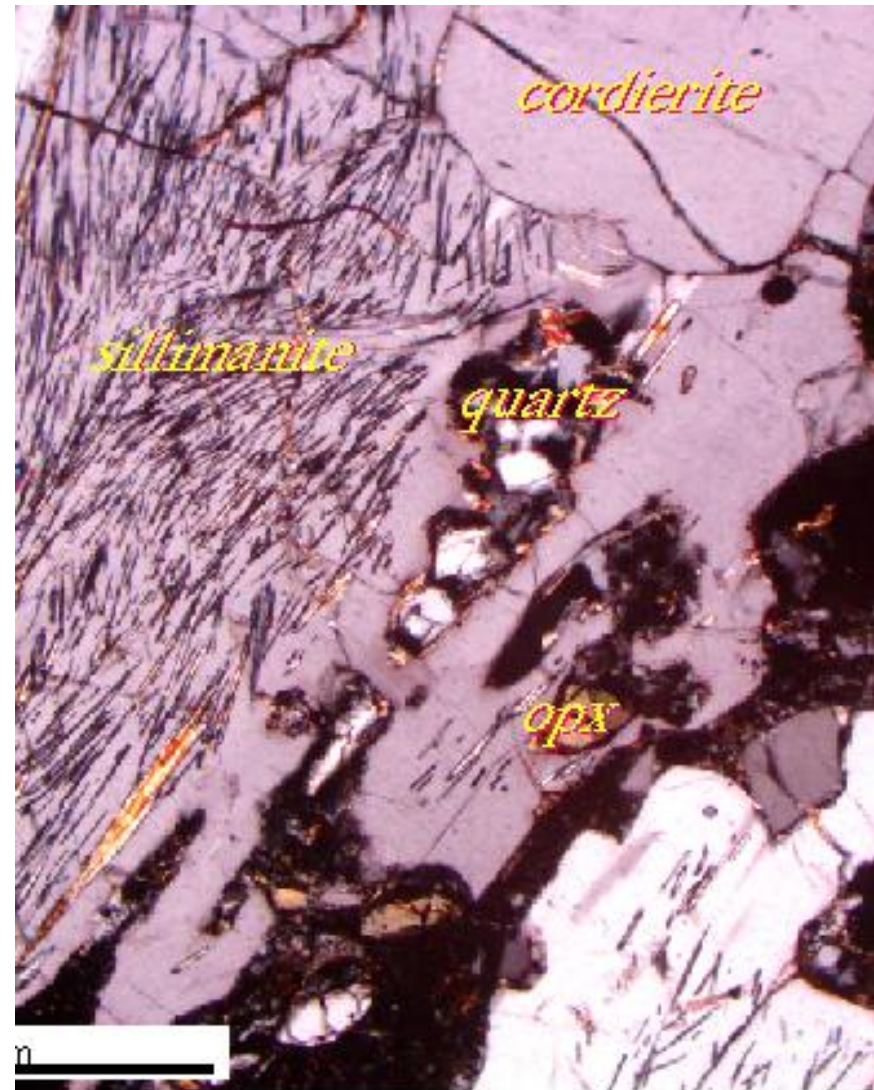
la biotite, la muscovite, le quartz, le plagioclase, et habituellement le grenat et la staurotide



le micaschist à disthène

## Zone à sillimanite. Schistes et gneiss

avec la sillimanite (en  
forme des fibres),  
la biotite, la muscovite, le quartz, le  
plagioclase, le grenat.  
Du disthène et de la staurotide  
peuvent être présent.



la sillimanite fibrolitique  
sous le microscope

Puisque des isogrades classiques sont **basés sur l'apparition d'un minéral**, un minéral index peut encore être stable dans des zones de degré supérieur

- Cette succession des zones est maintenant identifiées dans d'autres ceintures orogéniques, et bien établie dans la littérature :

« **les zones de Barrow, Barroviennes** »

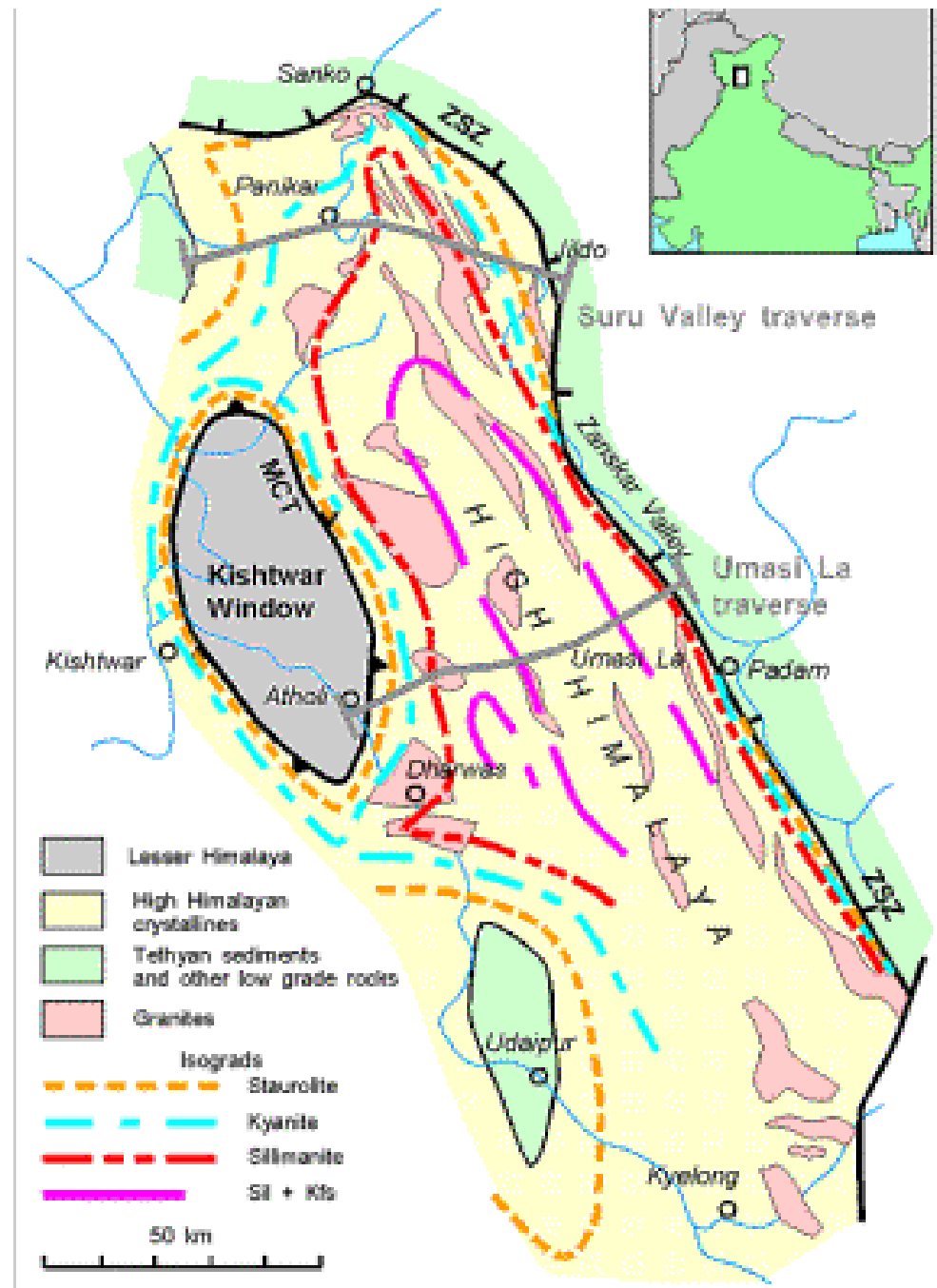
les conditions PT du

« **type Barrovian, du métam. Barrovian** »

« **les isogrades Barroviennes** »

dans la littérature aussi comme métamorphisme **Dalradian**  
(selon la région)

exemple: le métamorphisme Barrovian le long tout le Himalaya, le long le MCT (Main Central Thrust)



aujourd'hui on carte aussi des isogrades de **disparition d'un minéral** :

l'isograde « **muscovite -** »(minus), « **+ feldspath-K** »

la muscovite commence fondre à ~700°C et produit le feldspath-K (l'orthose) + la sillimanite + liquide granitique

on l'appelle aussi **la deuxième isograde de sillimanite**

les micaschistes deviennent **les gneiss** = roches riches en feldspath sans la muscovite



=> le processus de la fusion partielle = **l'anatexie**)

**les leucosomes** : partie claire : les jus cristallisés

**les restites** : les m. fémiques (biotite, grenat...) ne fond pas

**les gneiss migmatitiques, les migmatites** (les gneiss qui ont subi la fusion partielle)



le degré du métamorphisme encore plus haut :

l'isograde de **disparition de la biotite**  
**produit l'orthopyroxène**

⇒ le feldspath-K, les pyroxènes,

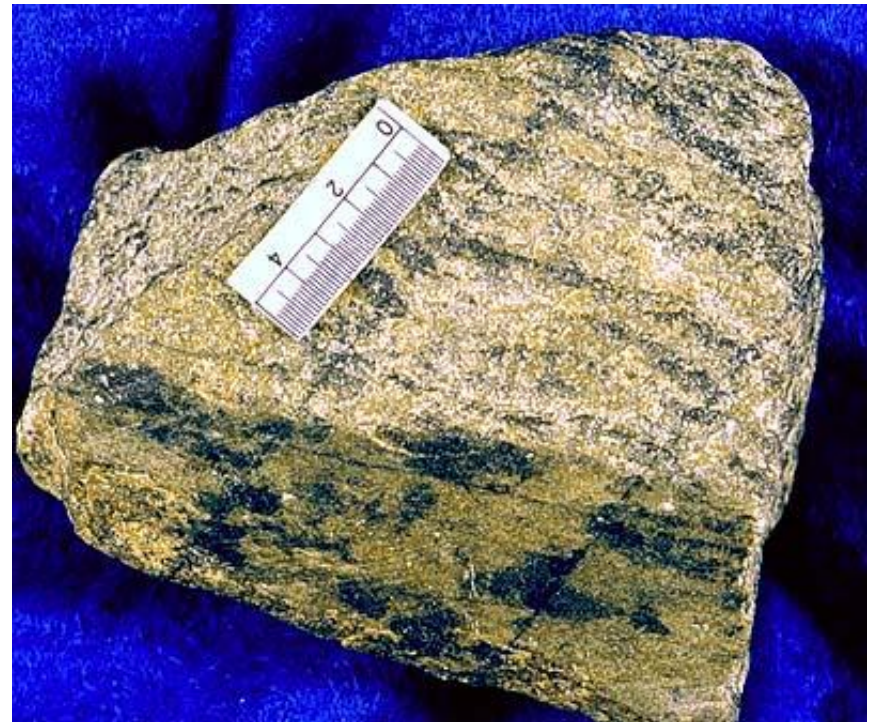
⇒ aussi le spinel, la sillimanite, le corindon ( $Al_2O_3$ ) + quartz, .....

⇒ **les gneiss granulitiques, les granulites felsiques**

(felsique = les minéraux: quartz, feldspaths)

les roches avec minéralogie  
largement sans l' $H_2O$

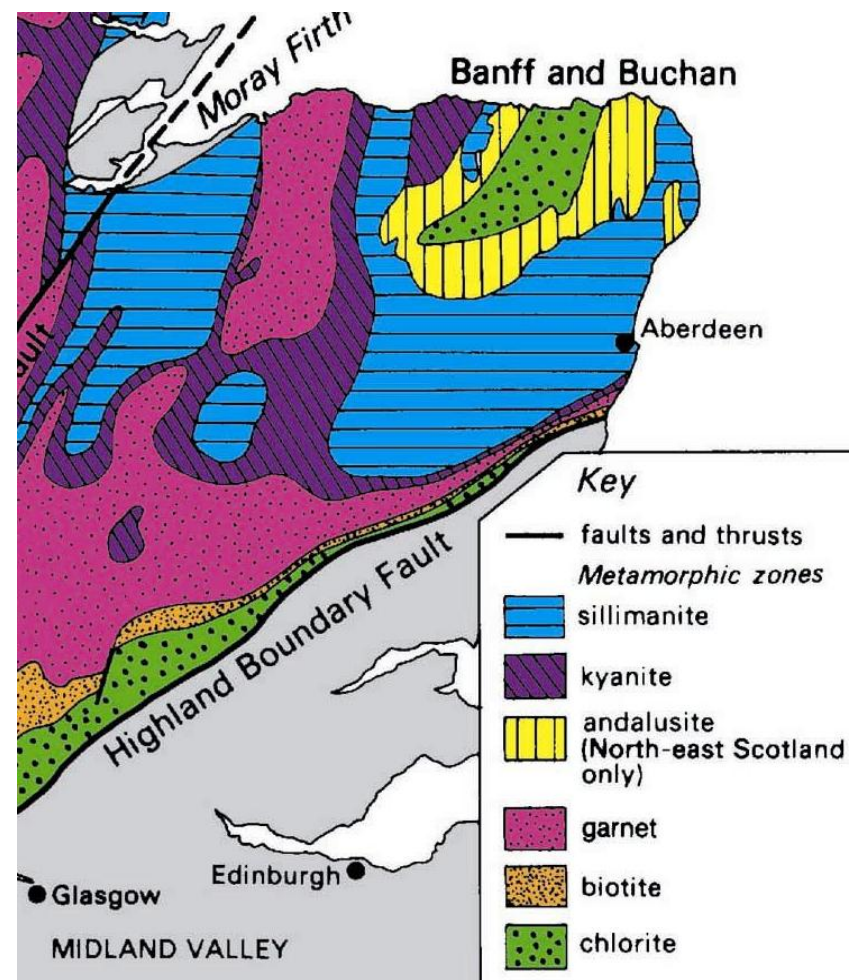
(les charnockites :  
à orthopyroxène)



## 2. Une variation existe en Ecosse dans la région de Buchan

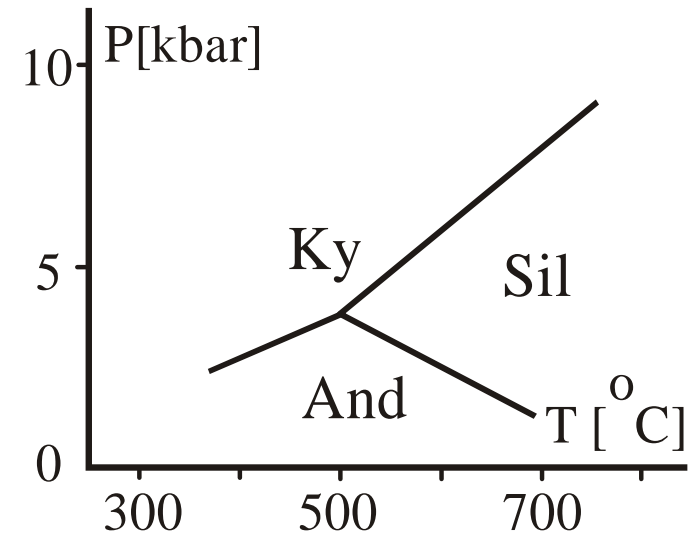
- Les compositions pétrologiques sont semblables, mais l'ordre des isogrades est :

- chlorite
- biotite
- cordiérite
- andalousite
- sillimanite



Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.

# Andalousite ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ )



gneiss à l'andalousite :



Cordi rite  
(MgFe)<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>(AlSi<sub>9</sub>O<sub>18</sub>)



gneiss   cordi rite :



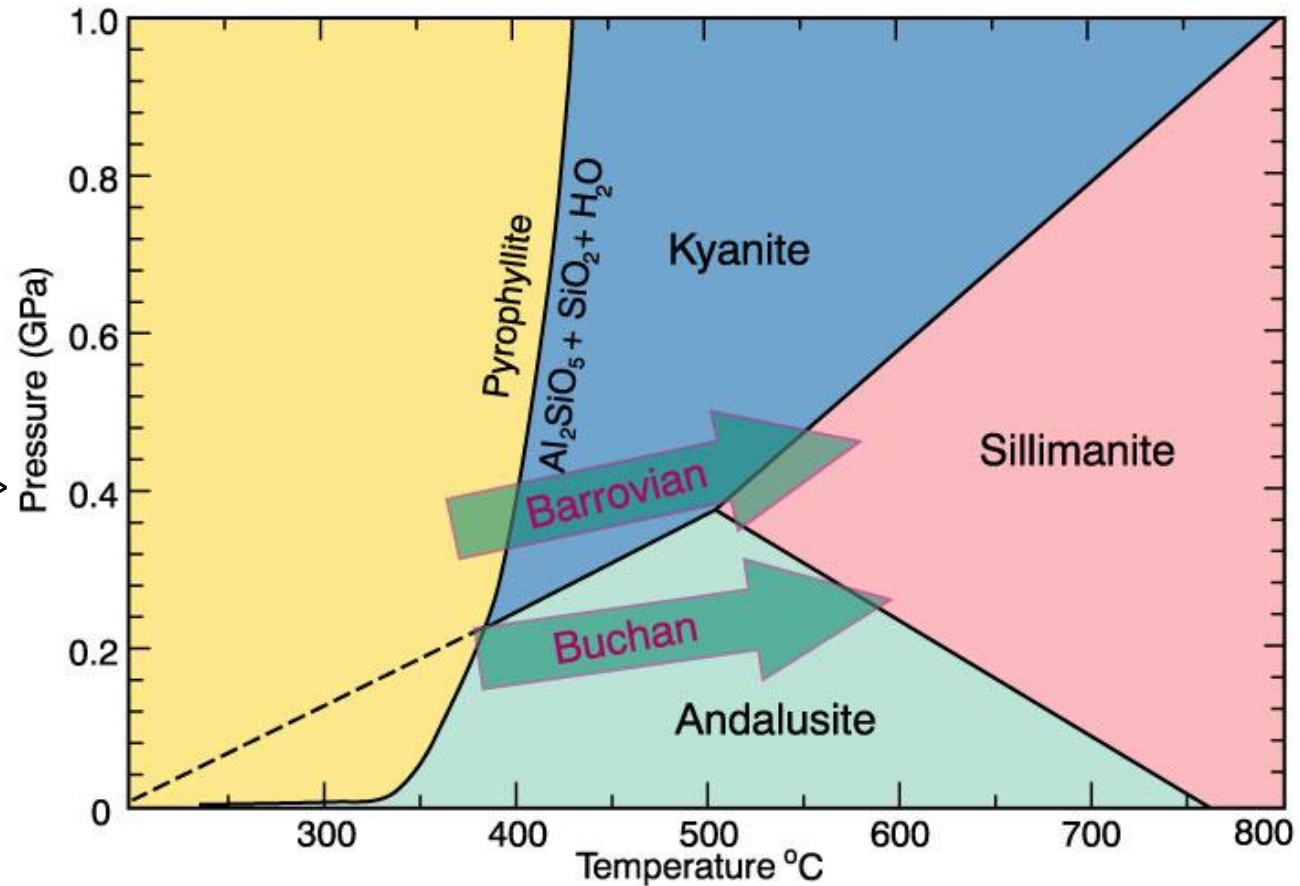
<http://christian.nicollet.free.fr>

•Le champ de stabilité de l'andalousite est aux pressions moins de 4 kbar (~10 km),

Barrovian :  
**disthène** =>  
sillimanite

Buchan  
**andalousite** =>  
sillimanite

différence  
en P  
du gradient  
géothermique



d'autres régions classiques :

au Japon: région d'**Abukuma** BP (basse pression)

l'Himalaya -au dessous du Main Central Thrust  
MP (moyenne pression)

**Figure 21-9.** Le diagramme de PT pour le système  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  montrant les champs de stabilité pour les trois polymorphes andalousite, disthène, et sillimanite. En outre montrée est l'hydratation d' $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  au pyrophyllite, qui limite l'occurrence d'un polymorphe  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  aux degrés inférieures en présence de la silice et de l'eau en excès. Le diagramme a été calculé en utilisant le programme TWQ (Berman, 1988, 1990, 1991). . Winter (2001) An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology. Prentice Hall.

### 3. Métamorphisme de contact : autour des plutons magmatiques

**Cornéennes** : les roches les plus proches d'un pluton (au contact)

- structure isotropique à grain fin
- d'habitude les minéraux anhydres
- des reliques de textures et structures sédimentaires sont communes.

**Phyllade, schiste tacheté ou noduleux**

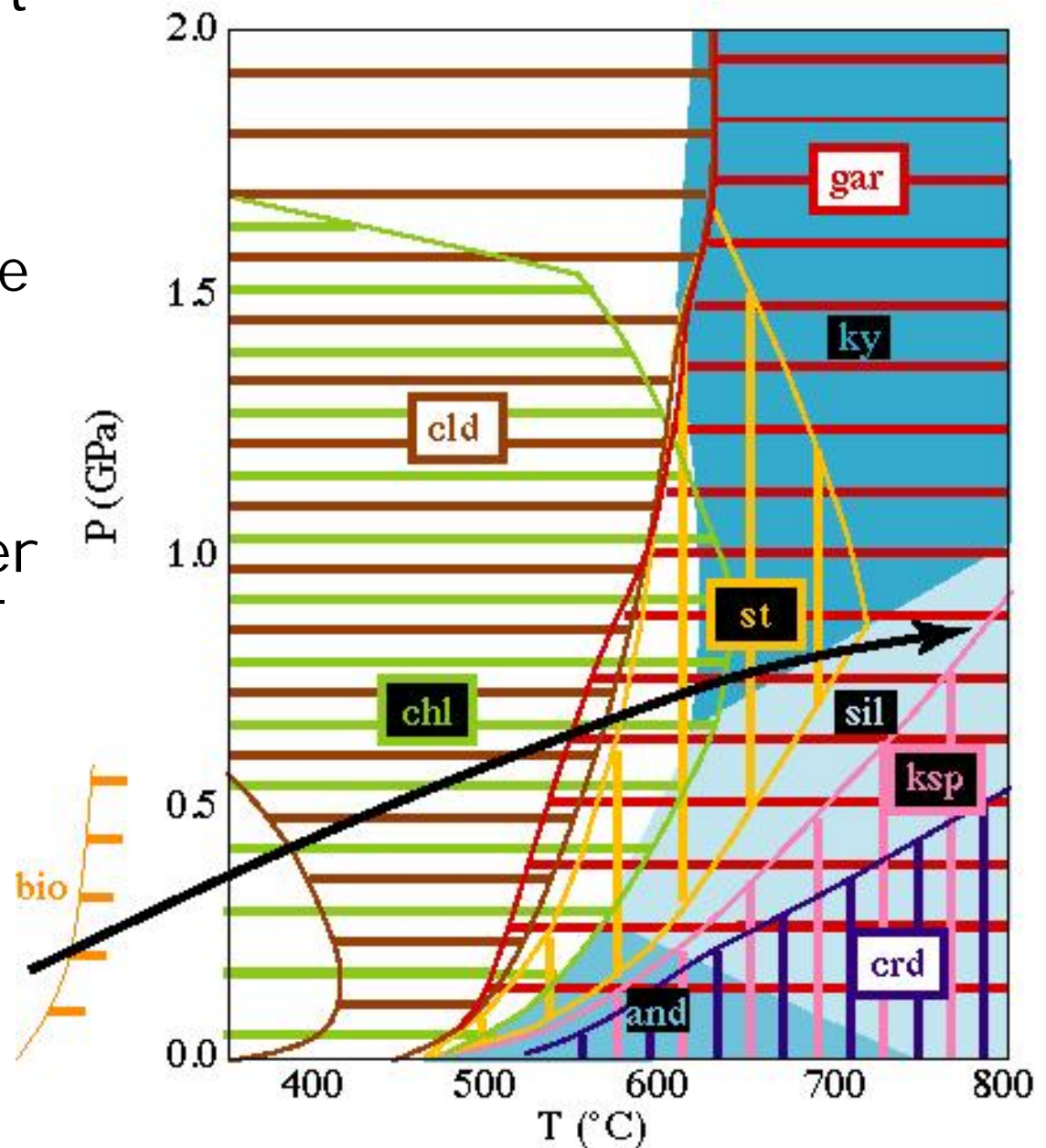
- plus loin du contact
- matrice fine + porphyroblastes en forme de nodules, de taches
- d'habitude les porphyroblastes c'est l'andalousite, cordiérite
- si nous sommes capables de reconnaître les porphyroblastes :  
-> schiste à cordièrite.....

aujourd'hui on connaît  
la stabilité des  
minéraux

on les reporte dans le  
diagramme P-T

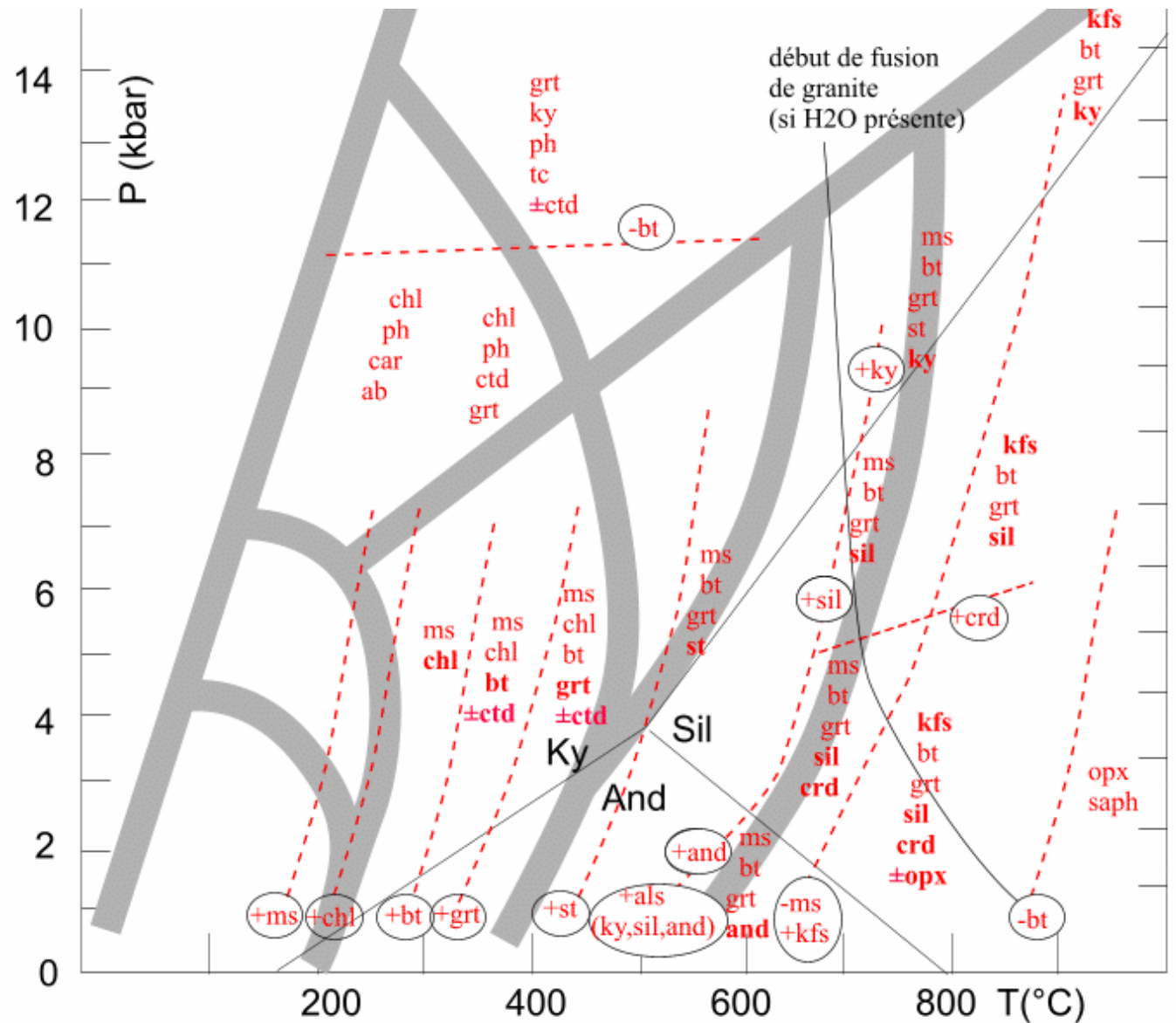
⇒ on peut déterminer  
les conditions de P-T  
à partir de  
l'assemblage de la  
roche

=> interprétations  
géodynamiques





aujourd'hui on peut appeler comme « les isogrades » aussi les réactions sur le diagramme P-T qui mènent à l'apparition du minéral index pas seulement les lignes sur la carte ou sur le terrain comme définit au début du siècle



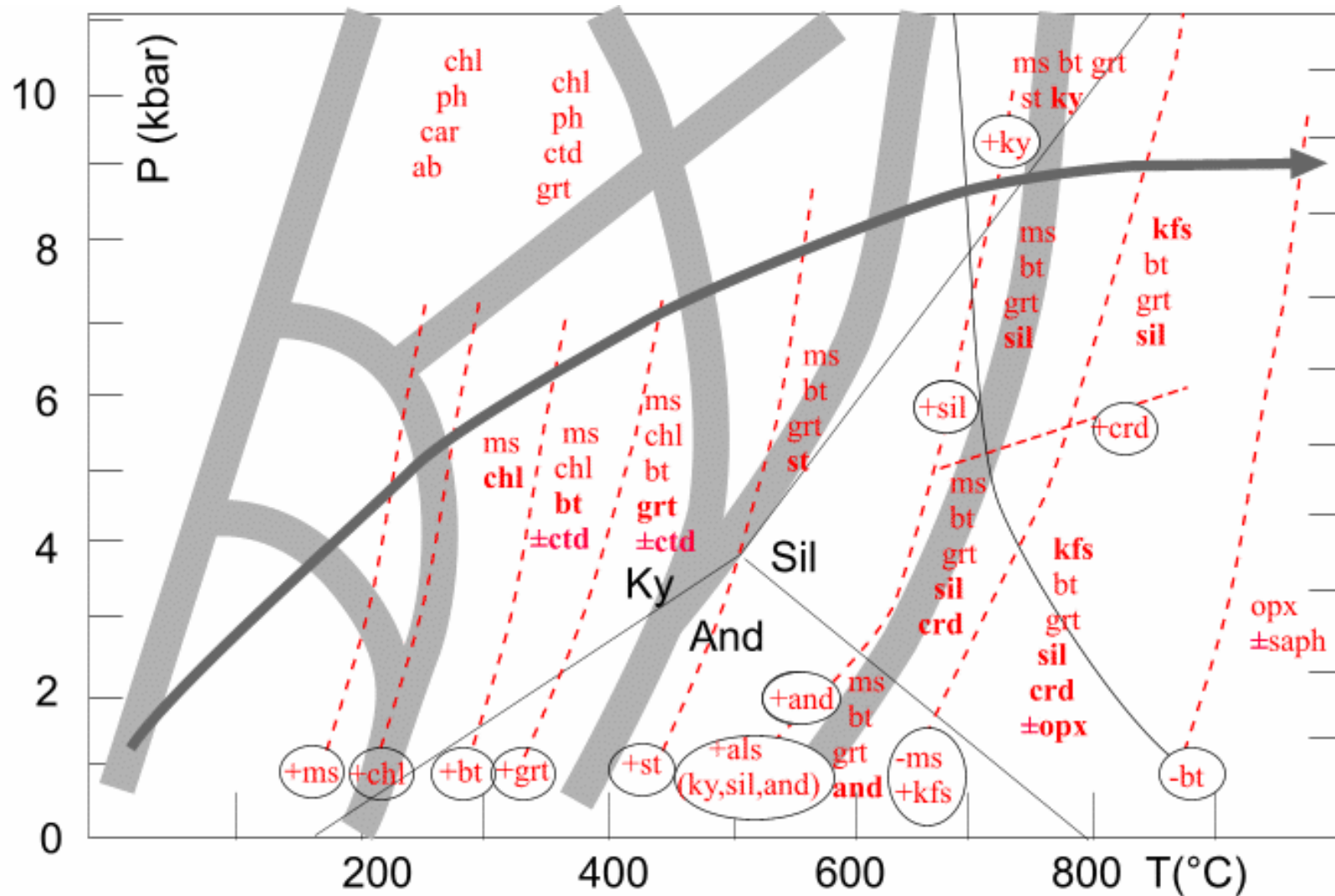
**minéraux des métapelites**

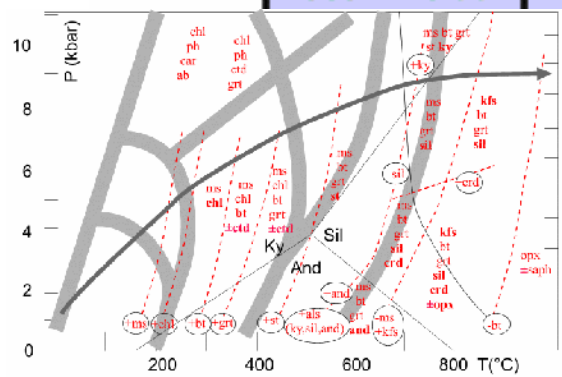
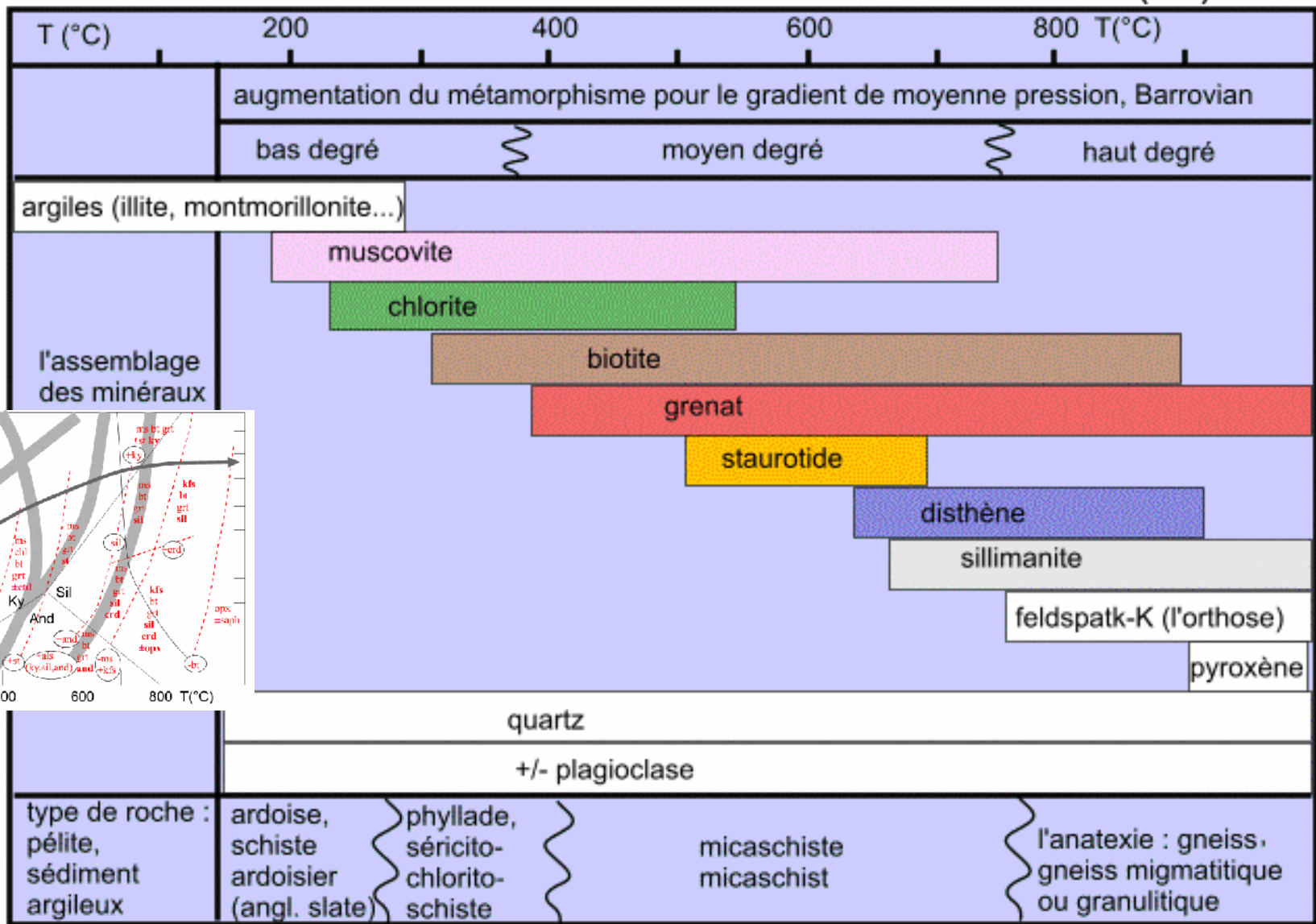
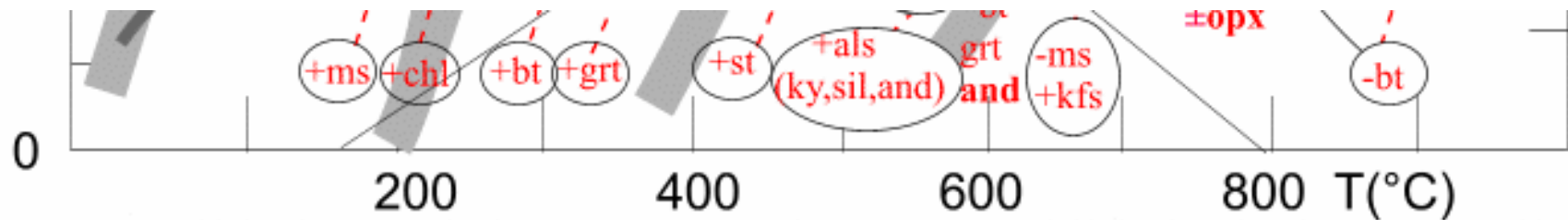
ms-muscovite  
 ph-phengite (ms riche en Si, Fe, Mg)  
 chl-chlorite  
 bt-biotite  
 ctd-chloritoïde m.

grt-grenat  
 st-staurotide m.  
 als-Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>  
 ky- disthène m.  
 sil-sillimanite  
 and-andalousite

crd-cordiérite  
 kfs-feldsp. potassique m.  
 saph-saphirine  
 tc-talc  
 +qtz-quartz, dans tous les assemblages  
 ± plg-plagioclase, peut être présent

la succession des assemblages d'un échantillon enfoncé dans une région du gradient de MP/MT (moyenne pression/moyenne température); métamorphisme Barrovian





type de roche :	ardoise, schiste ardoisier (angl. slate)	phyllade, séricito-chlorito-schiste (angl. phyllite)	micaschiste micaschist	l'anatexie : gneiss, gneiss migmatitique ou granulitique
-----------------	--	--	------------------------	--

- Pour récapituler :
- Un **isograde** représente l'apparition d'un **minéral index** métamorphique particulier sur le terrain tant qu'on va **dans la direction d'augmentation** du degré métamorphique
- Quand on passe à travers un isograde, tel que l'isograde de biotite, on entre dans **la zone** de biotite
- Les zones ont ainsi le même nom que l'isograde qui forme la frontière du côté de bas degré de cette zone
- Puisque des isogrades classiques sont **basés sur l'apparition d'un minéral**, un minéral index peut encore être stable dans des zones de degré supérieur
- Aujourd'hui nous cartons aussi les isogrades de disparition d'un minéral

## 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

les minéraux courants dans les roches basiques :

**chlorite** - verte

**épidote** (ou zoisite) - verte-jaunâtre

les amphiboles :

- **actinolite** - verte

- hornblende- noire

- **glaucophane**-bleue sombre (Na-riche)

les pyroxènes - noirs, verts :

- orthopyroxène

- clinopyroxène

  - diopside (Ca-rich) - noire

  - **omphacite** (Ca-Na) - noire-verte

  - **jadéite** (Na) - noire-verte

**grenat** - rouge

plagioclase (albite, oligoclase-andésine)- blanc laiteux

quartz - blanc

d'autres en quantités mineurs : disthène, lawsonite....)

# Les faciès métamorphiques et les roches basiques métamorphosées

P. **Eskola** (1915, 1920, 1939) a étudié les roches qui étaient chimiquement équivalentes, mais avaient des assemblages différentes.

différences : en teneur en **H<sub>2</sub>O** et en **volume**

Interprétations:

1. le même protolith – basalte.
2. les différences reflètent des **conditions physiques (PT) différentes.**

par exemple l'assemblage grenat-pyroxène est formé à une P et une T plus importante que l'assemblage chlorite-épidote-actinote

# Les faciès métamorphiques

## assemblages des minéraux selon la teneur en H<sub>2</sub>O et la densité (Eskola, 1939)

<p style="color: green; font-size: 2em;">pression</p> <p style="color: green; font-size: 2em;">====&gt;</p>		glaucophane chlorite épidote		grenat omphacite
				ortho & clino pyroxène, plg
	chlorite épidote albite	actinolite épidote oligoclase	hornblende plagioclase	orthopyroxène andesine
	formation des zéolites			sanidine
	<p style="color: green; font-size: 2em;">température =====&gt;</p>			

**Fig. 25-1** Les faciès métamorphiques proposés par Eskola et leurs rapports relatifs de température-pression. D après Eskola (1939) *Die Entstehung der Gesteine*. Julius Springer. Berlin.



Eskola (1920, 1939) a proposé les faciès = des **assemblages** de minéraux qui se développent **dans les roches basiques** sous différentes conditions de PT

<p>pression</p> <p>====&gt;</p>		schistes à glaucophane (schistes bleus)		éclogites
				granulites
	schistes verts	amphibolites à épidote	amphibolites	cornéennes à pyroxène
	formation des zéolites			sanidinites

température =====>

**Fig. 25-1** Les faciès métamorphiques proposés par Eskola et leurs rapports relatifs de température-pression. D'après Eskola (1939) *Die Entstehung der Gesteine*. Julius Springer. Berlin.

Base duale pour le concept de faciès

**Descriptive: La relation entre  $X_{\text{roche}}$  & minéralogie**

Si nous trouvons sur le terrain un assemblage indiqué,  
alors un certain faciès peut être assigné à ce domaine

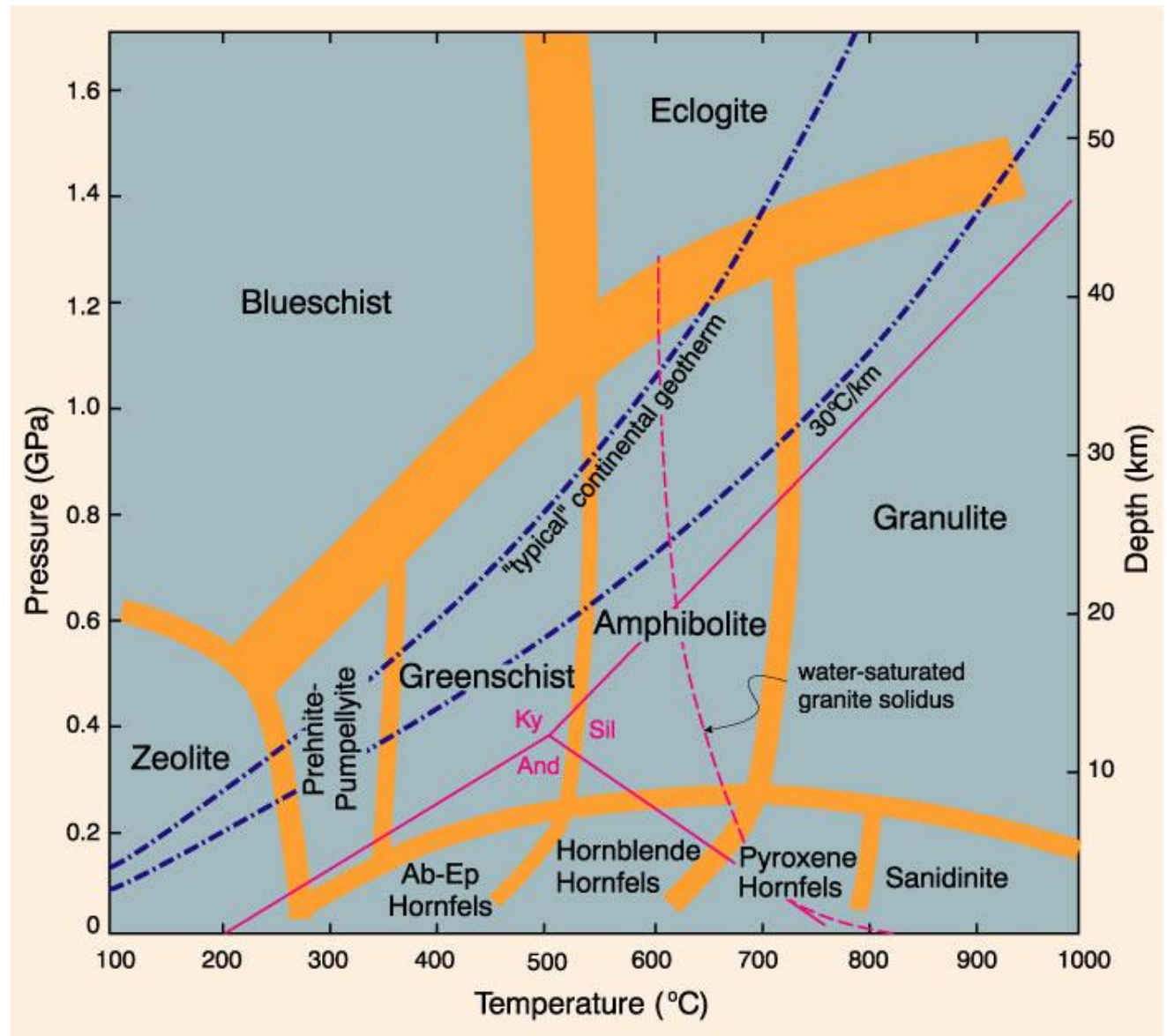
=> les domaines autour du monde peuvent être comparés

**Interprétative : la gamme de la T et de la P  
représentée par chaque faciès**

Eskola se rendait compte des implications de P-T et a  
correctement déduit les T et les P relatives des faciès  
qu'il a proposés

grâce à des avancées dans des techniques expérimentales et dans la thermodynamique nous pouvons assigner des limites relativement précises de la PT à différents faciès

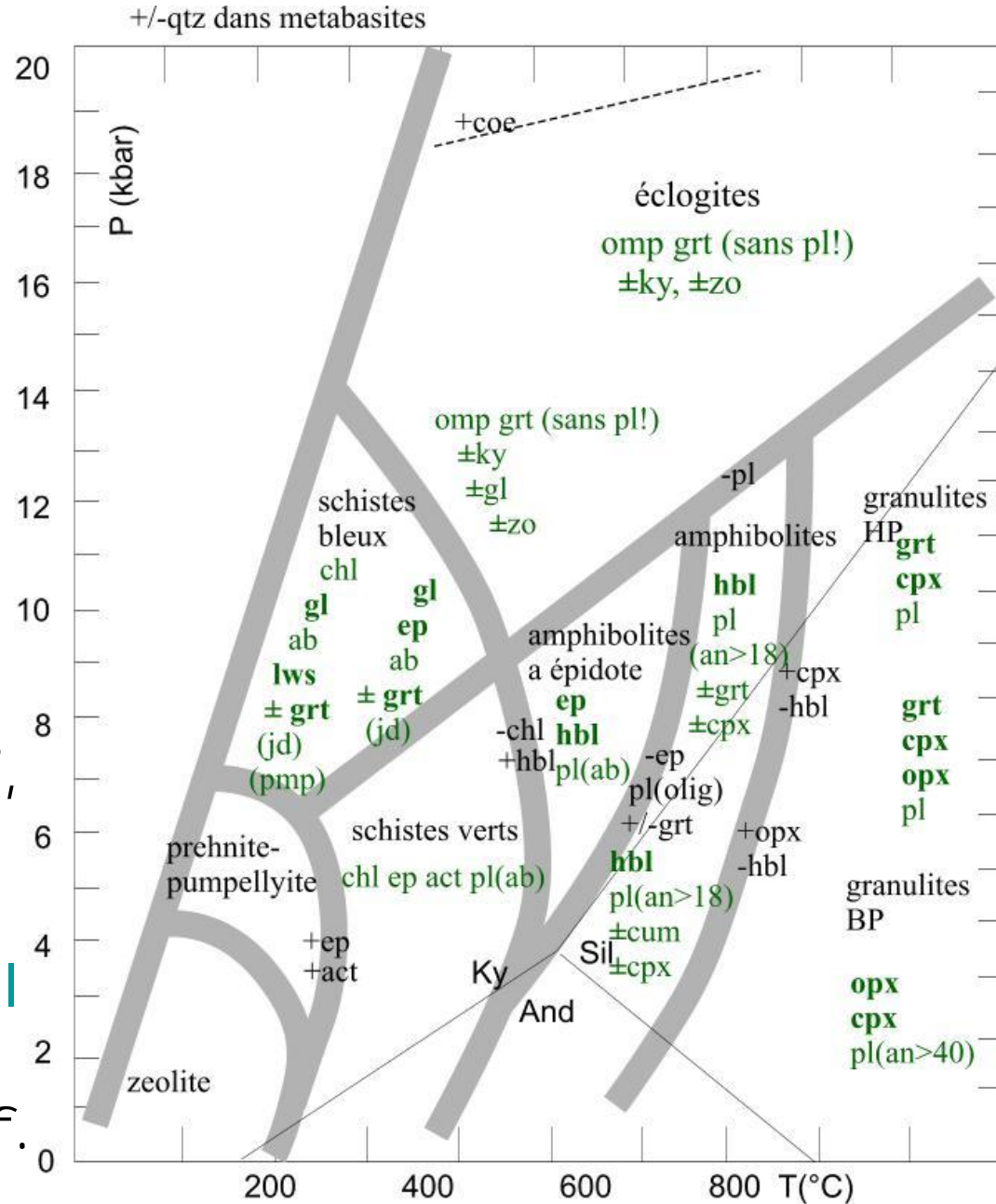
**Fig. 25-2.** Diagramme pression-température montrant les limites généralement acceptées des faciès utilisés en ce texte. Les frontières sont approximatives et graduelles. La geotherme continentale "typique" ou moyenne est de Brown and Mussett (1993). Winter (2001) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.



**metabasites**

- chl-chlorite
- ep-épidote, zo-zoisite
- pl-plagioclase (ab-albite, oligoclase) m.
- amp-amphibole
- act-actinolite (amphibole verte)
- hbl- hornblende (amp noire)
- gl-glaucophane (amp riche en Na, bleue) m.
- grt-grenat m.
- cpx-clinopyroxene (Ca,Fe,Mg) m.
- opx-orthopyroxene (Fe, Mg) m.
- omp-omphacite (Na riche cpx)
- lws-lawsonite
- (cum-cummingtonite(Fe,Mg amp))

le faciès : l'assemblage dans un **métabasalte** développé sous certaines conditions PT, aujourd'hui : faciès = la **gamme de PT en général** (une métapélite métamorphosé dans le f. des schistes verts)



# 1) les faciès de moyenne pression (MP) : schistes verts

si un basalte est enfoncé dans une collision continentale (le gradient Barrovien)

en passant du faciès à prehnite-pumpellyite au f. des schistes verts :

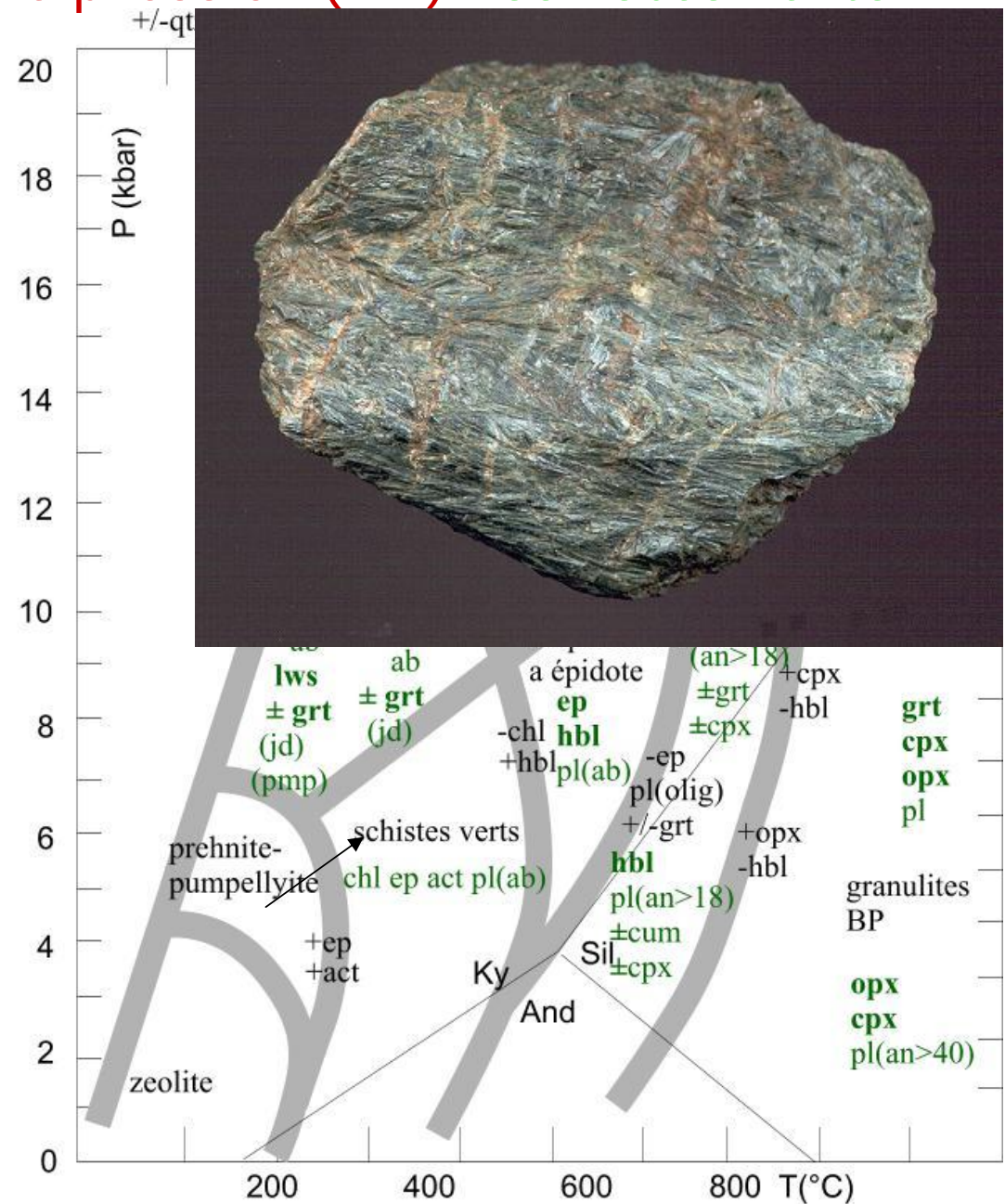
apparaissent l'actinote et l'épidote.

la chlorite et l'albite étaient déjà présentes.

par hasard la plupart des minéraux sont verts => on appelle la roche

le schiste vert

(même s'il n'a pas de schistosité !)



# 1) les faciès de MP : schistes verts=> amphibolites à épidote

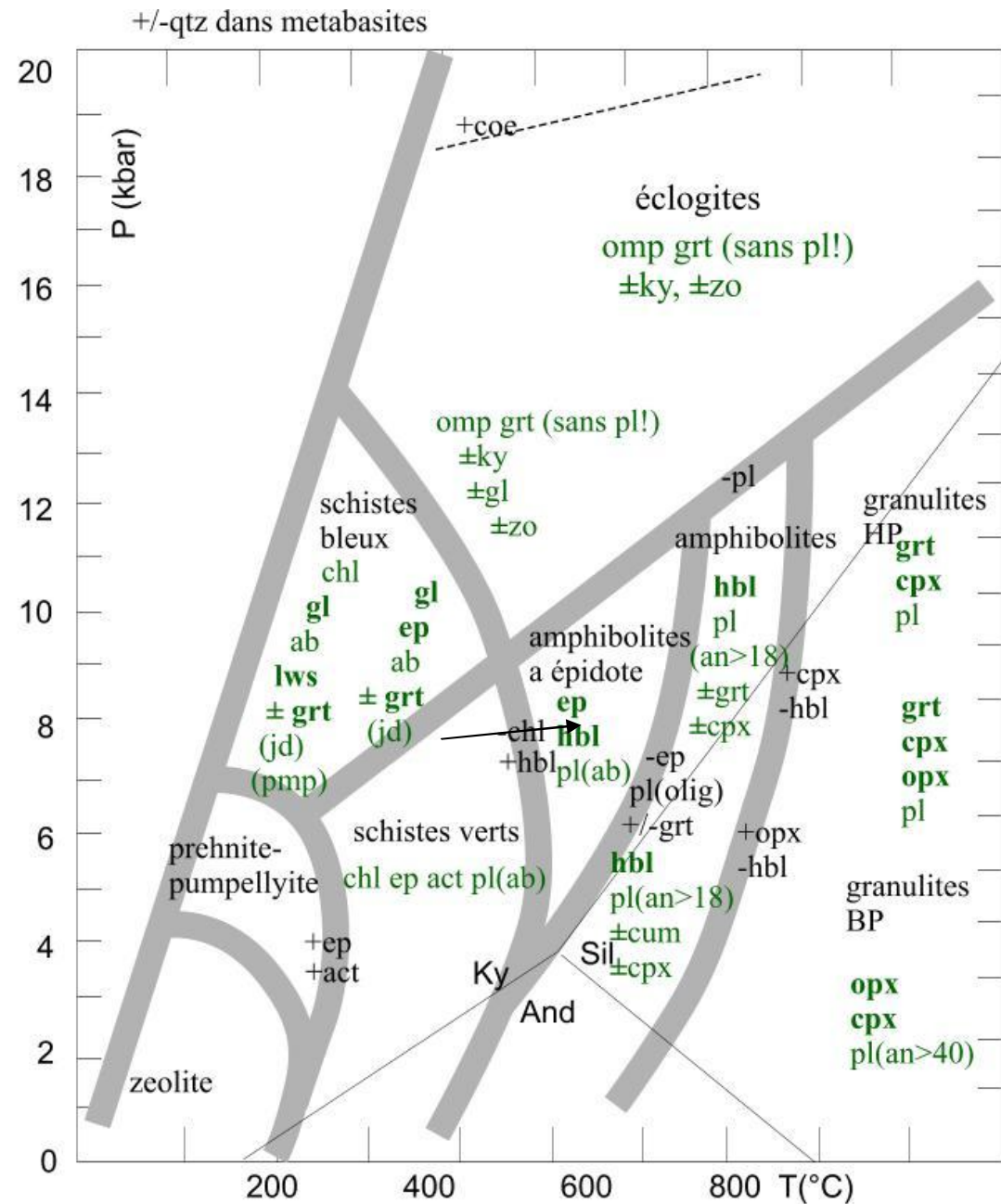
La transition comprend deux transformations majeures :

**Actinolite (verte) => hornblende (noire)**

**la chlorite disparaît,**

la roche est noire (l'hornblende) et verte (l'épidote)

**=> l'amphibolite à épidote**



## 2) les faciès de MP : amphibolites à épidote => amphibolites

La transition comprend deux transformations majeures :

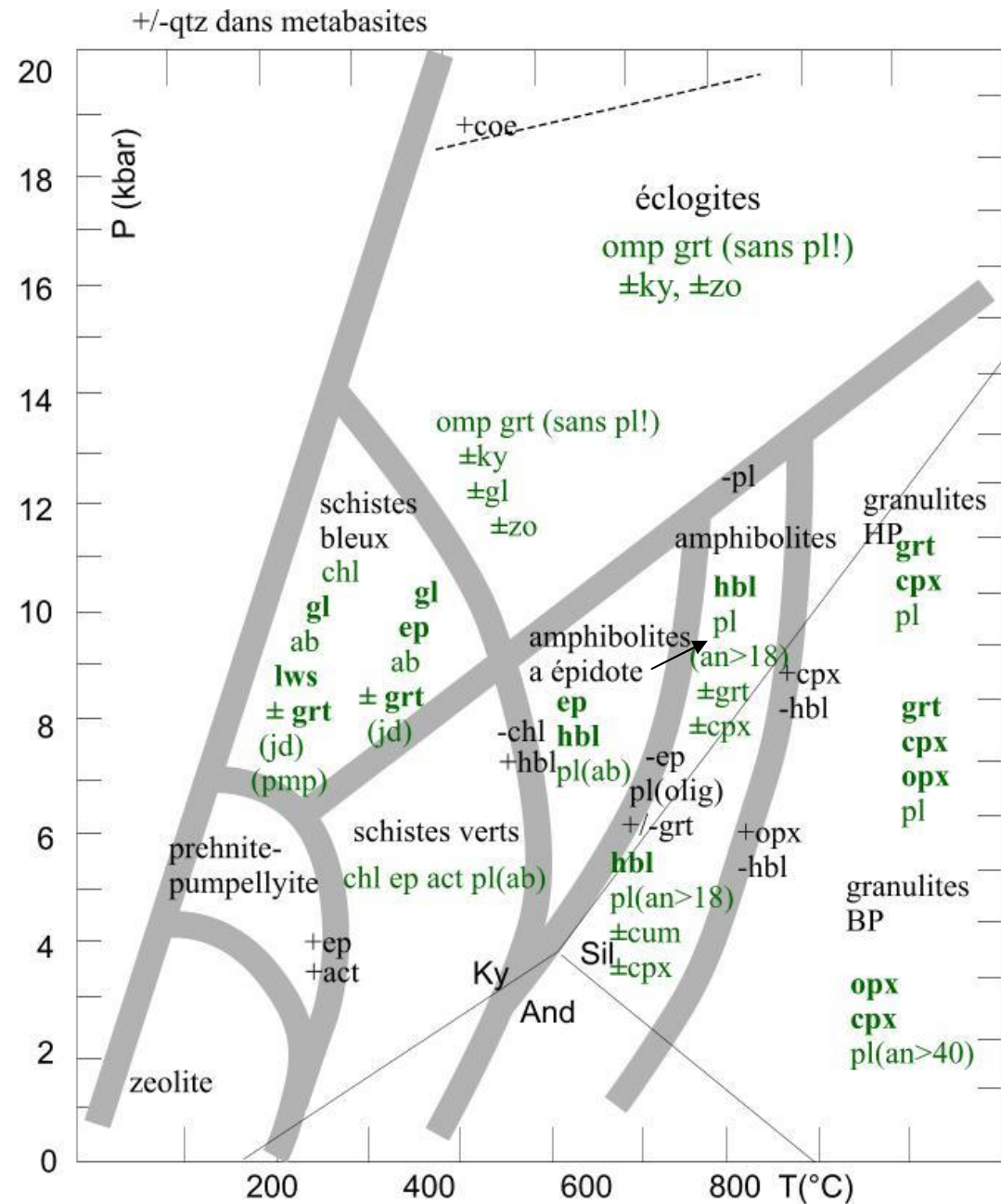
**Albite => oligoclase**  
(l'augmentation de Ca avec la température)

**l'épidote disparaît**

la roche peut avoir le grenat à HP et le clinopyroxène :

**la roche est noire :**

**=> l'amphibolite**



**les amphibolites** -les roches noires avec jusqu'au 30% du plagioclase blanc

Comme les diorites, mais textuellement différents (d'habitude avec la foliation)

Typiquement l'assemblage à deux-phases : **Hbl-Plg**

+ **le grenat** - dans les roches riches en Al-Fe et Ca- pauvres pour  $> \sim 8$ kbar

+ **le clinopyroxène** dans les roches Al-Ca-riches





## 1) les faciès de MP : amphibolites => granulites

la hornblende disparaît,

plagioclase (oligoclase->  
andesine)

les assemblages sont  
anhydres :

à haute pression (HP)

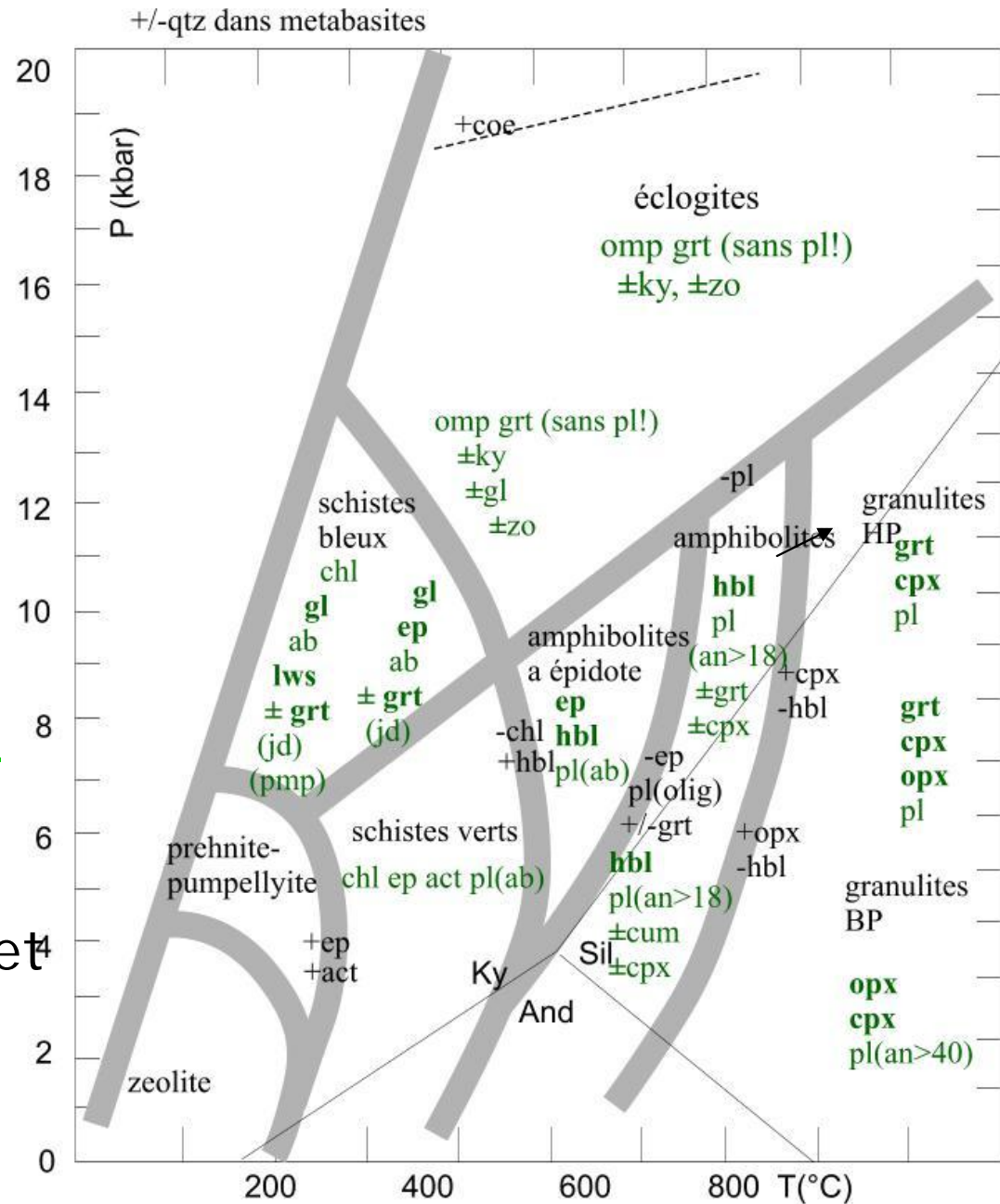
granulites à grenat-  
clinopyroxène-plagioclase

à basse pression (BP)

granulites à orthopyroxène-  
clinopyroxène-plagioclase

si H<sub>2</sub>O présente : la fusion et  
les jus tonalitiques =>

amphibolite migmatitique



## 2) les faciès de HP : schistes verts => schistes bleus

la glaucophane apparaisse

=>couleurs bleu-noir

=> le schiste bleu

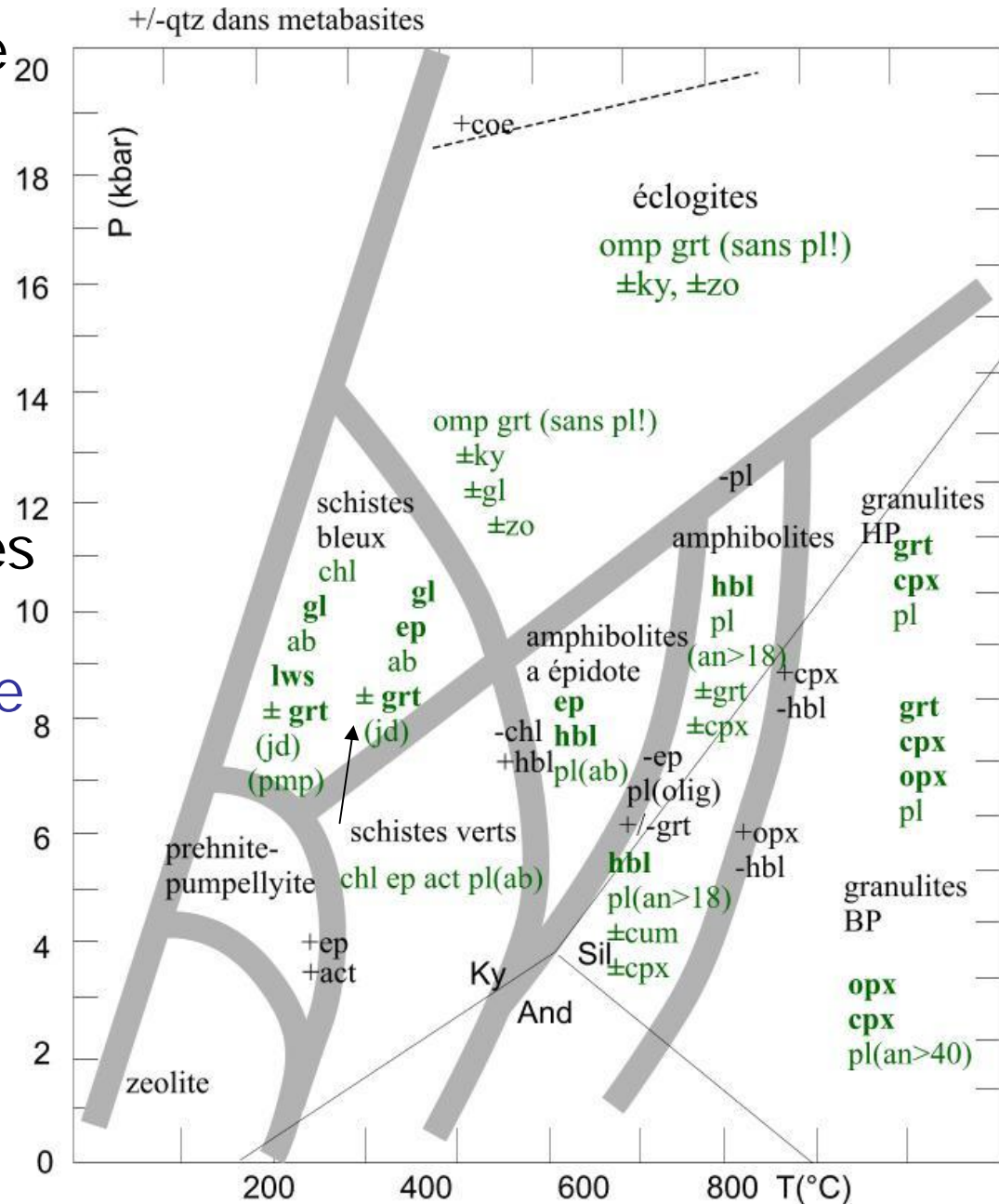
(même s'il n'a pas de schistosité !)

les minéraux du faciès des schistes verts peuvent persister : chlorite, albite

sous-faciès inférieur (BT):  
à lawsonite

supérieur (HT): à épidote

à P élevée: + cpx omphacite, + grenat



le faciès des **schistes bleus** :

- **glaucophane** = amphibole sodique, la couleur bleue sombre
- ± épidote, ± lawsonite, ± grenat, ± omphacite, ± albite



le schiste bleu : d'habitude bleu-noir, rarement bleu clair

## 2) les faciès de HP : schistes bleus => **éclogites**

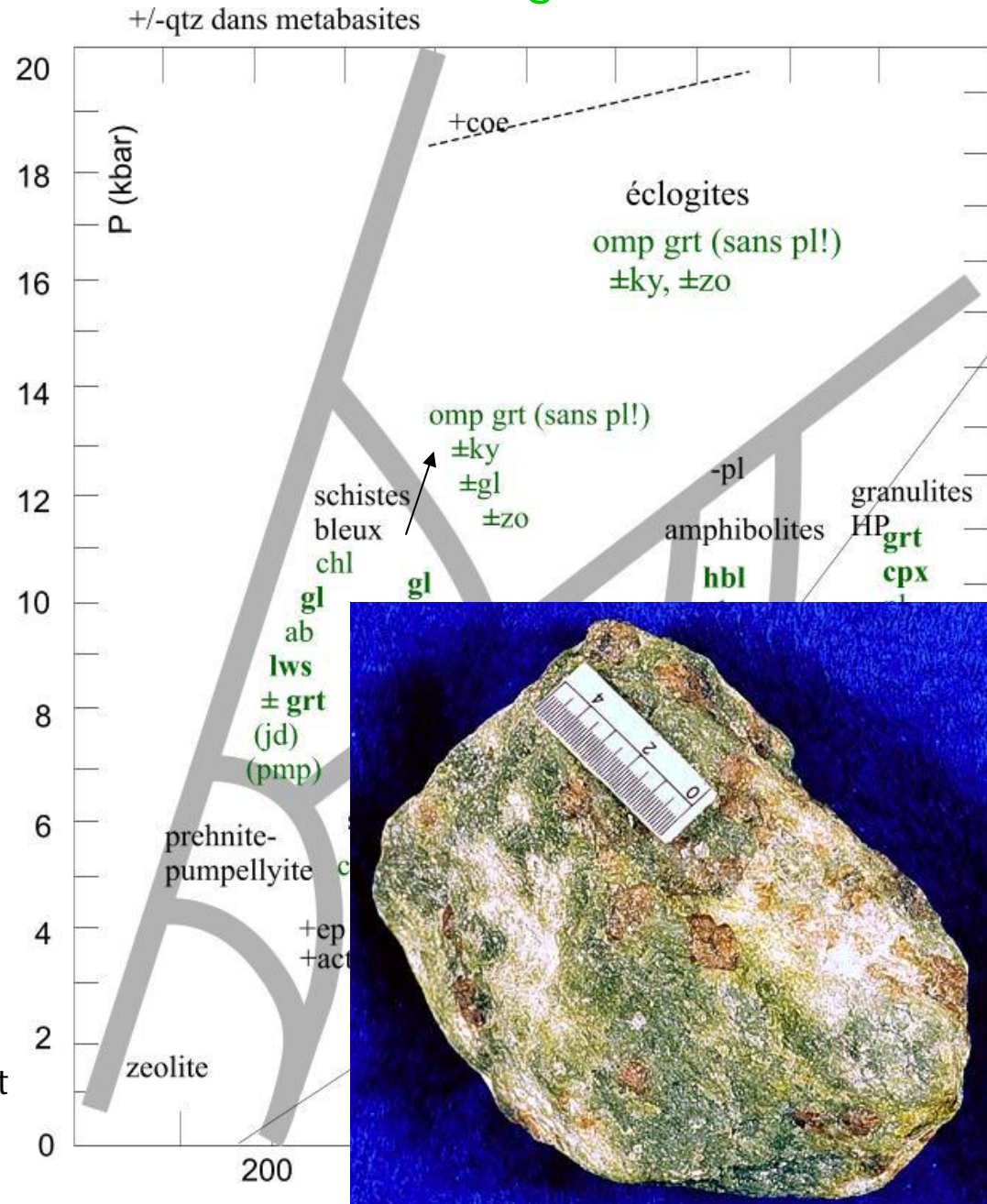
les roches **perdent le plagioclase**, les **amphiboles disparaissent**

apparaissent le clinopyroxène sodique : **omphacite** (vert-noir),  
apparaissent le **grenat**

les roches sont lourdes,  
composées essentiellement  
d'omphacite et du grenat

⇒ **les éclogites**

un peu de zoisite (blanche), muscovite,  
disthène, glaucophane peuvent être présents



## 2) les faciès de haute pression (HP)- les **éclogites**

clinopyroxène sodique – omphacite (Ca-Na) (noir-vert)

où jadeite (Na)

grenat (almandin-pyrope-grossulaire)



sans plagioclase !

s'il y a un minéral

blanc laiteux

c'est la zoisite

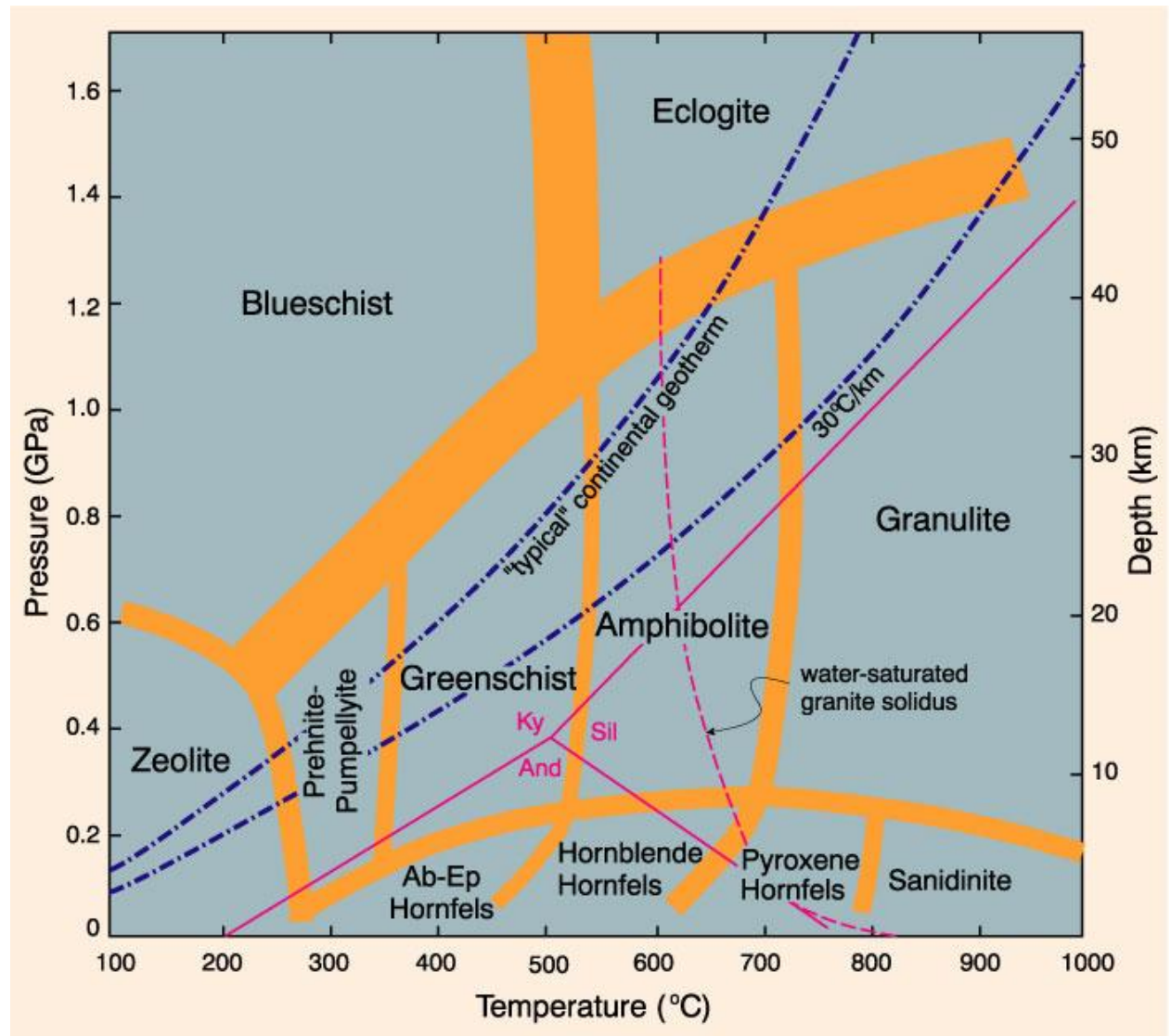
On a proposé  
plusieurs faciès  
additionnels:

f. des zéolites,  
f. à prehnite-  
pumpellyite,

pour la basse  
pression aussi  
des cornéennes à  
albite-épidote,

des cornéennes à  
hornblende,

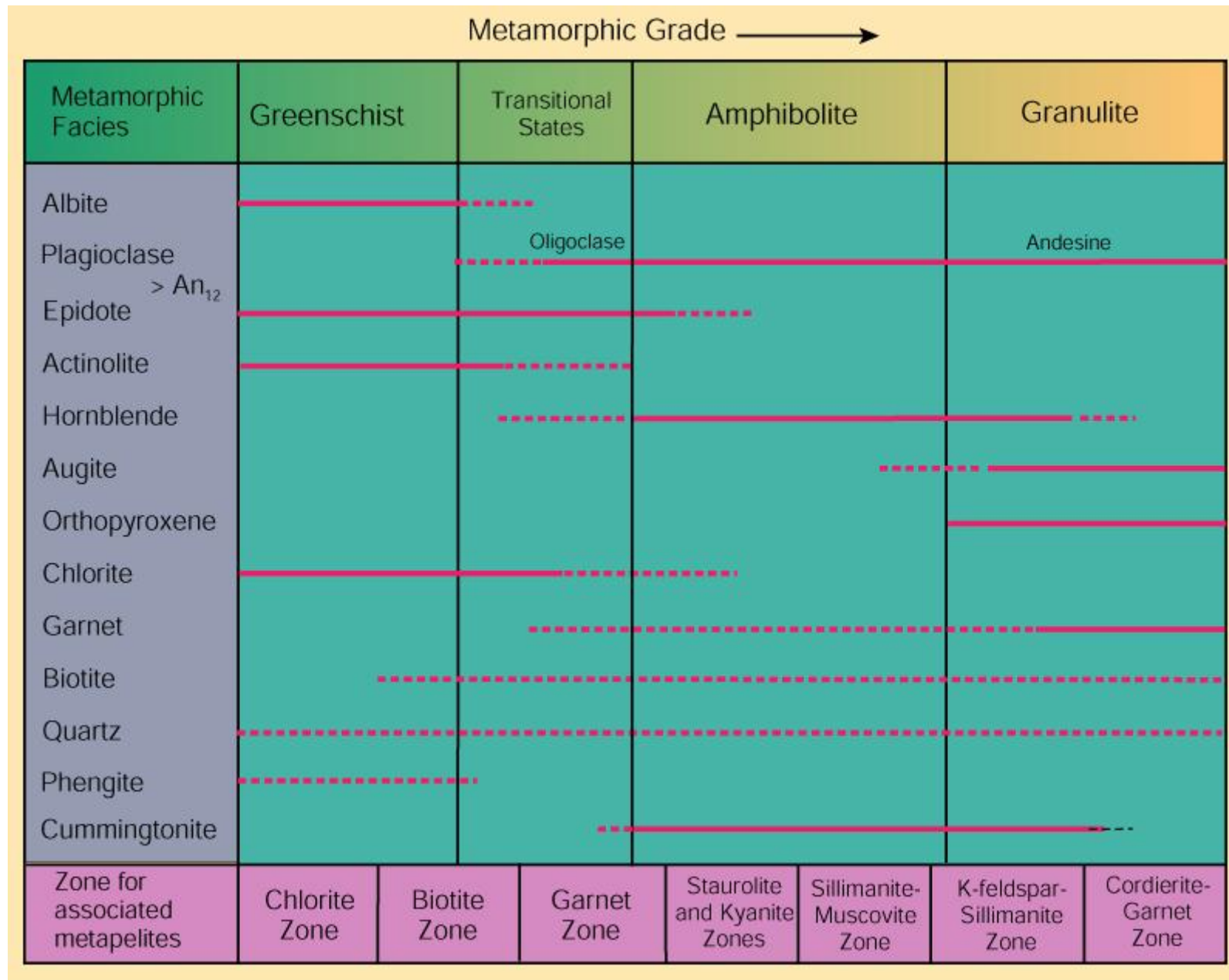
des cornéennes à  
sanidine...



# Les faciès métamorphiques

- Table 25-1. Les assemblages des minéraux qui caractérisent chaque faciès (pour les roches mafiques). Modifié d'après Spear (1993).

Faciès	Les assemblages minéralogiques dans les roches mafiques
zéolites	zéolites : spécialement laumontite, wairakite, analcime
prehnite-pumpelyite	prehnite + pumpelyite (+ chlorite + albite)
schistes verts	chlorite + albite + épidote (ou zoisite) + quartz + actinolite
amphibolite	hornblende + plagioclase (oligoclase-andesine) ± grenat
granulite BP	orthopyroxène + clinopyroxène + plagioclase ± hornblende
granulite HP	clinopyroxène + grenat + plagioclase ± hornblende
schistes bleus	glaucophane + lawsonite ou épidote (+albite ± chlorite)
éclogite	grenat riche en pyrope + cpx omphacitique (± disthène)
les faciès de contact	les assemblages des faciès de contact ne diffèrent pas des faciès du métamorphisme régional de moyenne P/T



**Fig. 25-9.** Changements typiques de minéraux qui interviennent dans les roches metabasic pendant le métamorphisme progressif de la série de faciès du moyenne P/T. Les positions approximatives des zones péliteiques du métamorphisme Barrovian sont incluses pour la comparaison. Winter (2001) An Introduction to Igneous and



- Aujourd'hui nous combinons les concepts des isogrades, des zones, et des faciès.
  - Exemples :
    - « la zone de chlorite du faciès des schistes verts »
    - « la zone de staurolite du faciès des amphibolites »
  - Les cartes métamorphiques intègrent typiquement
    - les isogrades qui définissent des zones
    - les isogrades qui définissent des limites des faciès.
  - La détermination d'un faciès ou d'une zone est faite le plus sûrement quand plusieurs roches de composition et de minéralogie variables sont disponibles.

## 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

La nomenclature - est relativement libre « la classification » n'existe pas, beaucoup de termes spéciaux historiques

1) nature du protolithe = roche d'origine

les groupes des r. sédim. et r. ignées classées aux 6 séquences chimiquement distinctes

1. pélitique (argileuse) - haut Al, K, Si
2. quartzo-feldspathique - haut Si, Na, K, Al
3. mafique - haut Fe, Mg, Ca
4. carbonatée- haut Ca, Mg, CO<sub>2</sub>
5. quartzitique - presque pur SiO<sub>2</sub>.
6. ultramafique - très haut Mg, Fe, Ni, Cr

la composition chimique largement influence la minéralogie d'une roche métamorphique => on peut déduire souvent la roche maternelle

1. **pélique** (argileuse) -> **métapélite**  
(phyllade => micaschiste=> paragneiss => paragneiss migmatitique ou granulitique)
2. **quartzo-feldspathique** : r. magmatiques acides => **orthogneiss**  
les arkoses => **paragneiss** (protolith : sédim. détritique, 60% quartz, 25% feldspaths, le ciment d'argiles)
3. **mafique** (r. magmatiques basiques: gabbro, basalte) -> **métabasites** (les noms des roches = les noms des faciès)  
tuffs mafiques => gneiss à amphibole
4. **carbonatée**-> **marbre** (seulement la calcite) ou **cipolin** (calcite + impureté => ± amphibole, ± pyroxène, ± grenat....)
5. **quartzitique** -> **quartzite**
6. **ultramafique** (péridotites) -> **serpentine**

- à partir des minéraux présent (et leurs quantités) on peut deviner le protolith
- beaucoup de
- **mica blanc** (K, Al) -> **métabélite** (phyllade, micaschiste)
- **feldspath** (+ micas) (Ca, K, Na) -> **gneiss** (à biotite, amphibole, migmatitique,.....)
- **amphibole, pyroxène** (Ca, Fe, Mg) -> **métabasite** (+ nom du faciès)
- **calcite** (CaCO<sub>3</sub>) -> **marble**
- (calcite ± amphibole, ± cpx, ± grt ->+ Fe, Mg, Si -> cipolin)
- **quartz** -> **quartzite**
- **olivine, pyroxène, serpentine** (Mg,Fe) -> **ultramafiques** (serpentine)

## 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

# La classification de métamorphisme

## 1. Basée sur le cadre géologique (la plus commune)

### – Métamorphisme local

- de contact (autour des plutons)
- hydrothermal
- de zone de failles (cataclastique, mylonitization)
- d'impact ou de choc

### – Métamorphisme régional (général)

- Métamorphisme orogénique
- Métamorphisme de fonds océaniques
- Métamorphisme d'enfouissement (dans des bassins sédimentaires)

## classification du métamorphisme :

### 2. Basée sur les agents principaux :

Métamorphisme :

- **dynamique** (agent principal P ou contrainte déviatorique)
- **thermique** (agent principal T)
- **dynamo-thermique** (P, T)
- **hydrothermal** (circulation des fluides)

cette classification n'est pas trop utilisée aujourd'hui,  
car souvent tous les agents présentes



## Les séries des faciès

Miyashiro (1961)

a remarqué que dans une coupe à travers un terrain assez étendu, les roches sont présentes en **successions systématiques des faciès** qui représentent différents **gradients métamorphiques de terrain**.

Il a prolongé le concept des faciès à des successions progressives plus larges : **les séries des faciès**

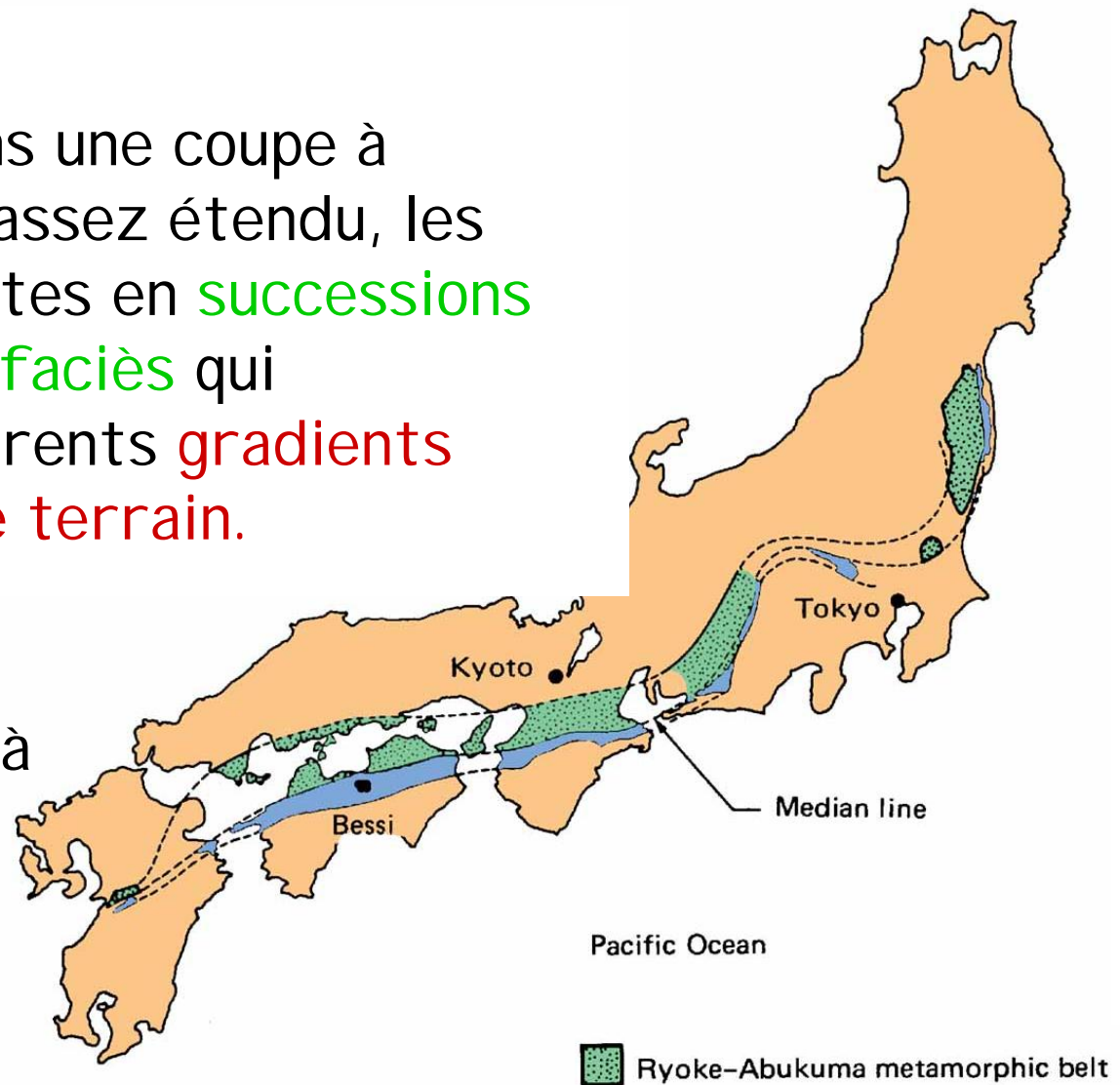


Figure 21-12. The Sanbagawa and Ryoke metamorphic belts of Japan. From Turner (1981) *Metamorphic Petrology: Mineralogical, Field, and Tectonic Aspects*. McGraw-Hill and Miyashiro (1994) *Metamorphic Petrology*. Oxford University Press. Winter (2001) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall.

0 100 200  
Scale, km

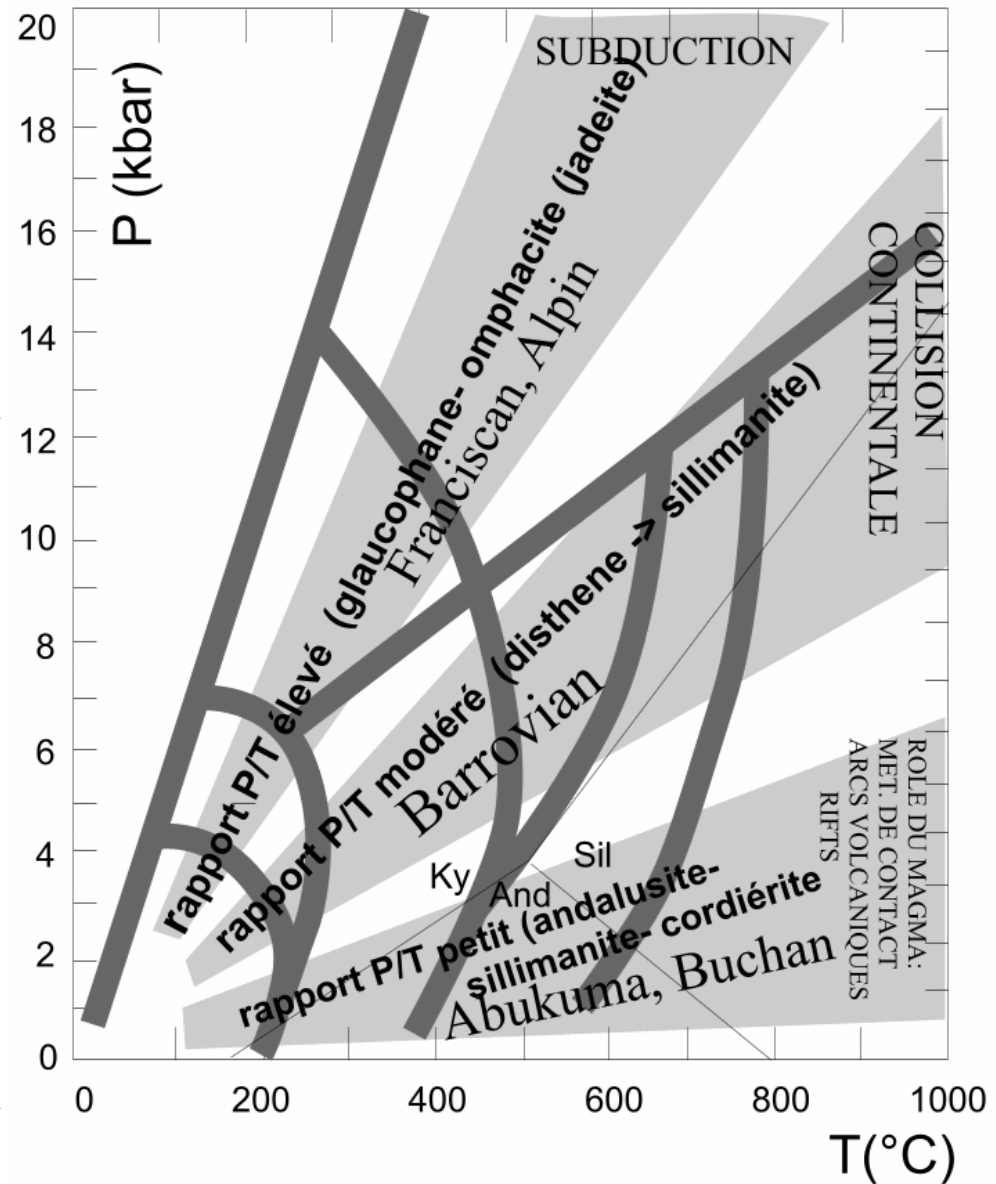
aujourd'hui on utilise 3 séries : HP/T, MP/T, BP/T

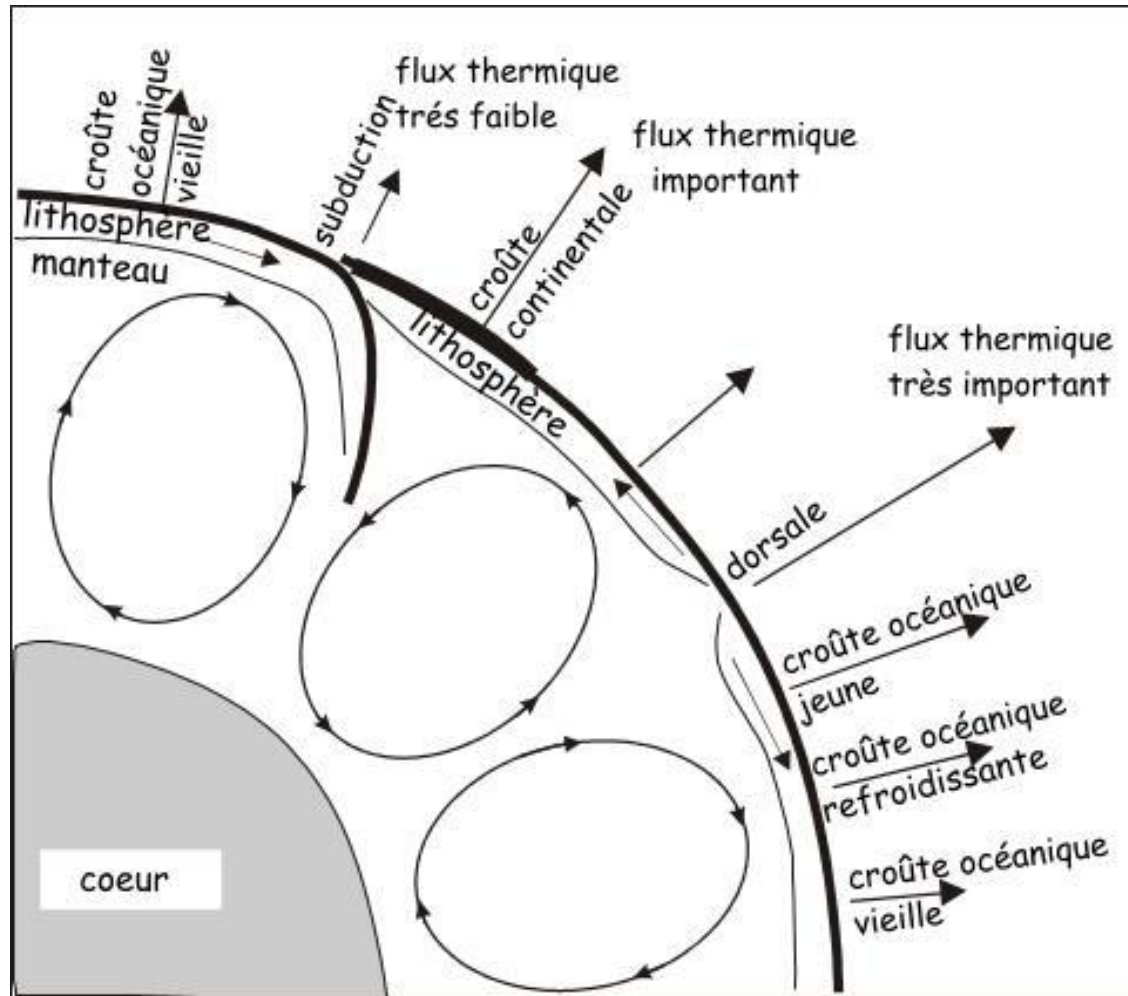
**HP:** schistes bleus,  
éclogites

**MP:** schistes verts,  
amphibolites, (éclogites),  
granulites

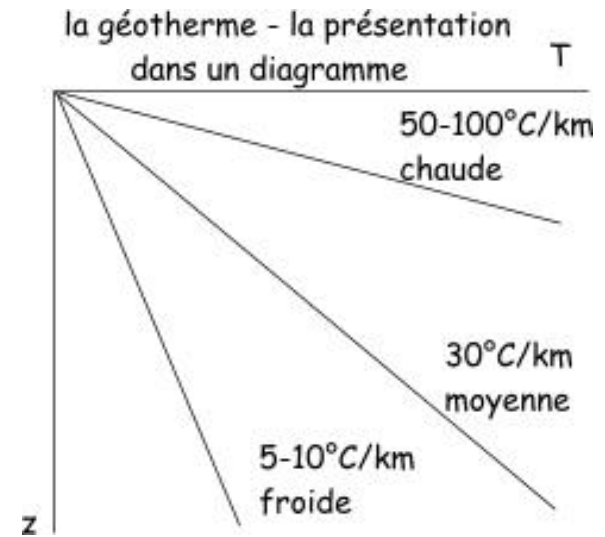
micaschistes à grenat,  
à staurotide, à disthène,  
à sillimanite

**LP:** les cornéennes,  
micaschistes à  
cordiérite, à andalousite,  
à sillimanite



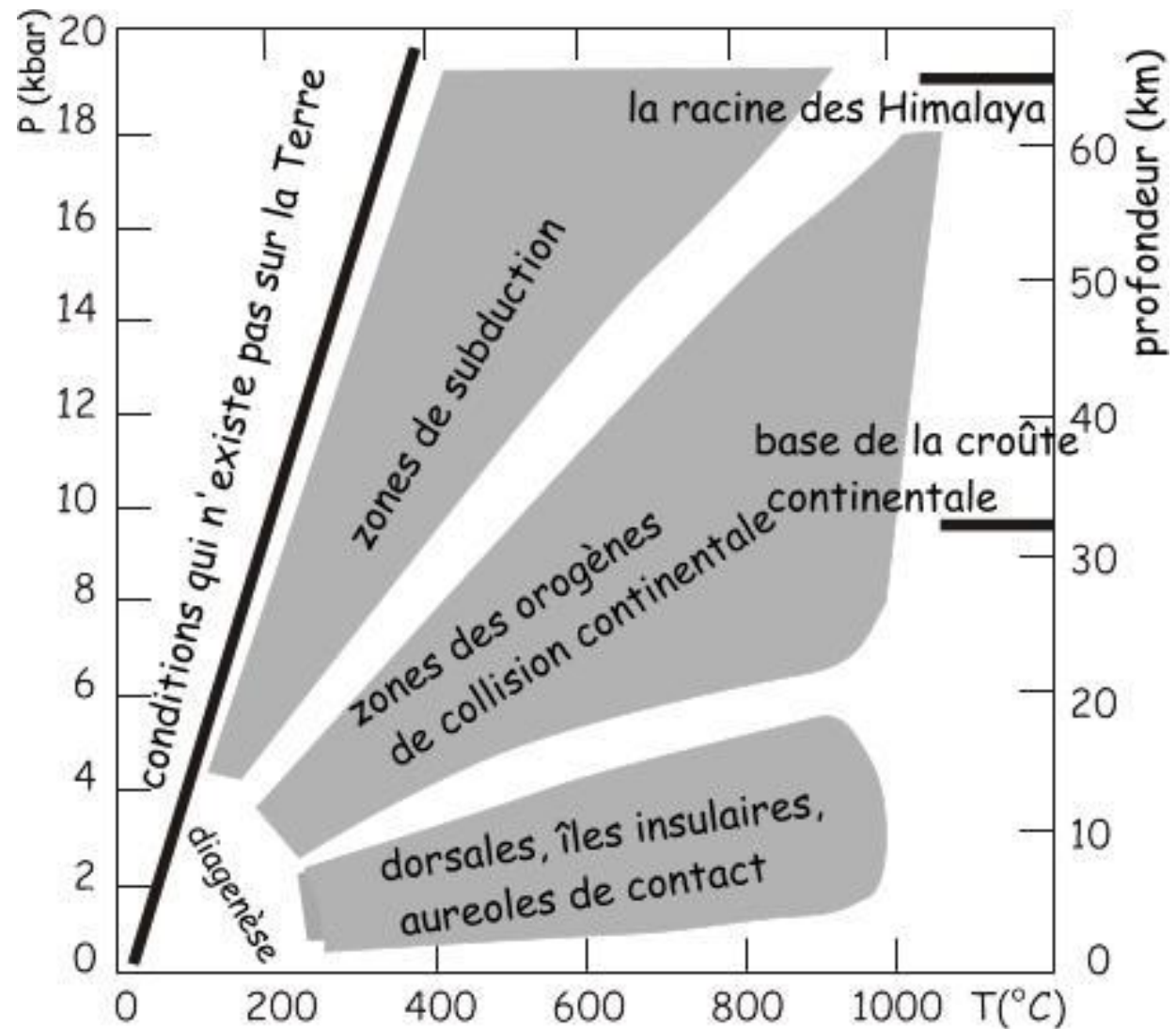


$dT/dz$  [ $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ] =  
gradient géothermique



Le flux géothermique qui résulte du transport conductif de la chaleur est modifié par les processus géodynamiques. Le flux thermique varie à la surface du facteur 4.

aujourd'hui nous savons que les gradients géothermiques de terrain enregistrés par les roches sont liés avec leur contexte géodynamique :



## Un gabbro de la Croûte Océanique

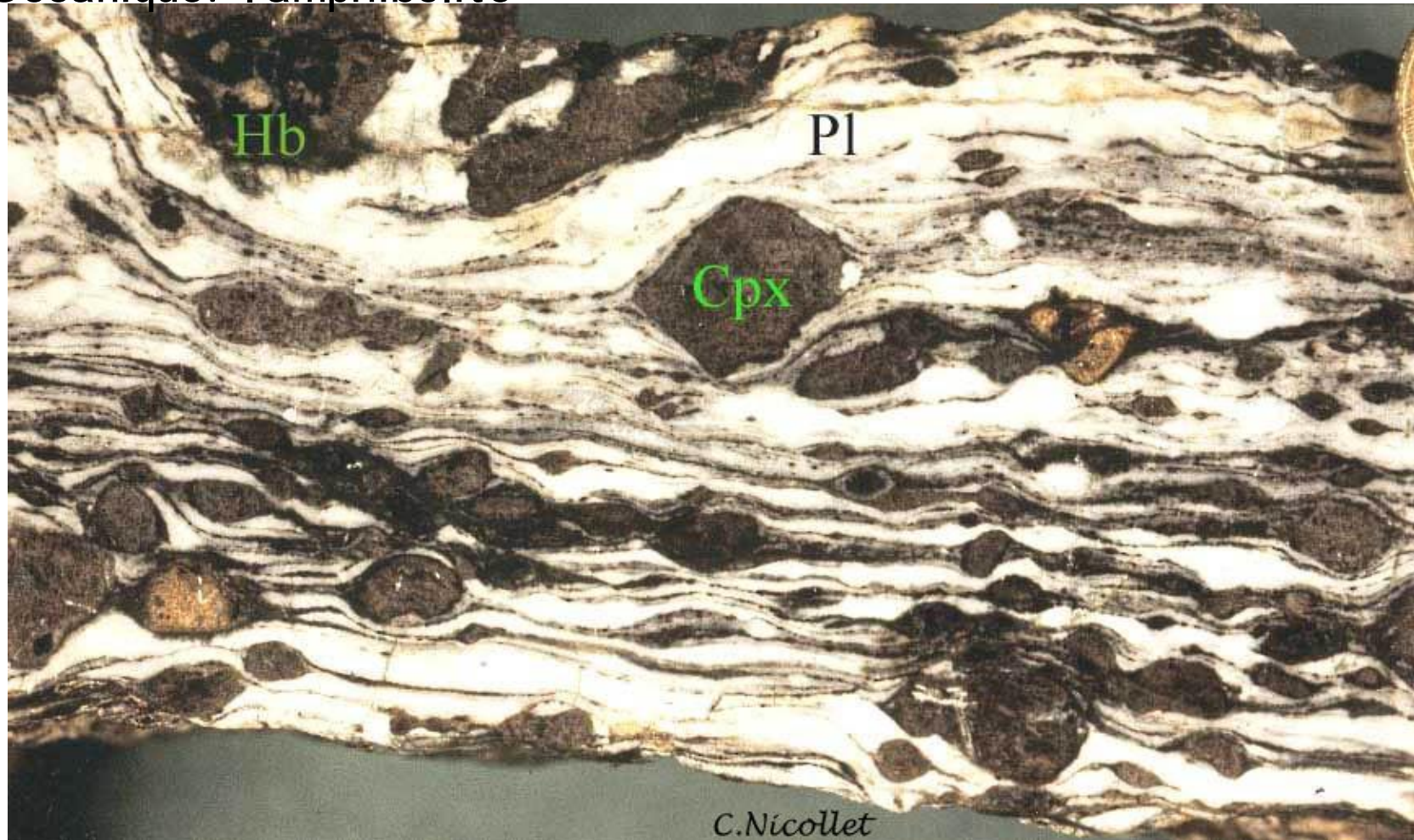


Le magma basique émis à la ride océanique, en refroidissant lentement, cristallise sous la forme d'un gabbro (point 1 du [Trajet](#)). Celui-ci est essentiellement bi-minéral : le pyroxène est sombre et le plagioclase est blanc. On remarque la forme rectangulaire de ces derniers, bien visible ...

<http://christian.nicollet.free.fr>

## Un Métagabbro dans la Croûte Océanique: l'amphibolite

<http://christian.nicollet.free.fr>



Ce métagabbro s'est déformé en s'éloignant de la Ride Océanique, lors du refroidissement de la Croûte Océanique (point 2 sur le [Trajet](#)). Il montre la trace d'une structure planaire (=foliation qui est perpendiculaire au plan de la photo). Les pyroxènes (Cpx) magmatiques bruns, plus ou moins aplatis en amande dans ce plan. Ils ne sont plus en équilibre avec le plagioclase (Pl) dont ils sont séparés par un minéral noir, la hornblende (Hb), bien visible au microscope.

## Un Métagabbro dans le faciès Schistes Verts



Le métagabbro est en boudin dans un métabasalte. Les 2 roches sont équilibrées dans les conditions du faciès Schistes Verts, lorsque le refroidissement de la Croûte Océanique se poursuit (point 3 sur le [Trajet](#)). La couleur verte domine dans le métabasalte.



Les pyroxènes magmatiques bruns du métagabbro sont remplacés par une amphibole vert pâle, l'**actinote**.



## Les Métagabbros Coronitiques du Queyras : le schiste bleu



Dans la vallée du Guil, dans le Queyras, les Métagabbros Coronitiques montrent une évolution métamorphique exceptionnelle. Le clinopyroxène magmatique (Cpx : brun) est parfois préservé au cœur d'une couronne de Glaucophane (Glc : bleu marine), amphibole bleue, le séparant du Plagioclase, ou plutôt ce qu'il en reste !

## Evolution Rétrograde d'une Eclogite



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...

# 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

