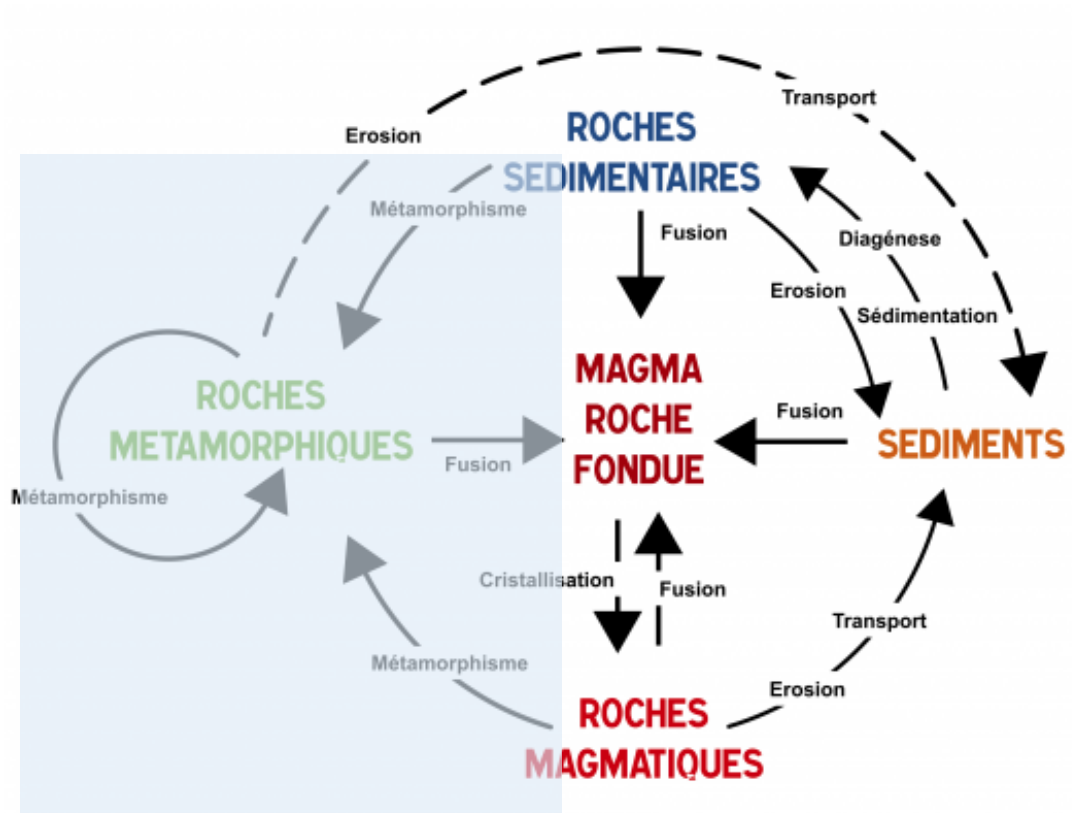
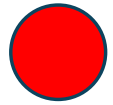




# Roches metamorphiques

Cours Géologie Ba2  
Numéro 3b

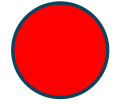




Formation des roches métamorphiques

Éléments de classification

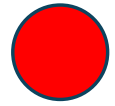
Chemin de pression et température



# Roches métamorphiques

- Roches formées à l'intérieur de la terre
- Les roches métamorphiques proviennent du changement de la minéralogie et structure des roches précoces (magmatique, sédiments ou roches métamorphiques) à cause de **5 facteurs principaux**:
  - (a) changement de la température (T)
  - (b) changement de la pression (p)
  - (c) déformation des roches
  - (d) composition des fluides qui circulent dans les roches
  - (e) Changement de la composition chimique de la roche

# Métamorphisme et quelques termes utiles

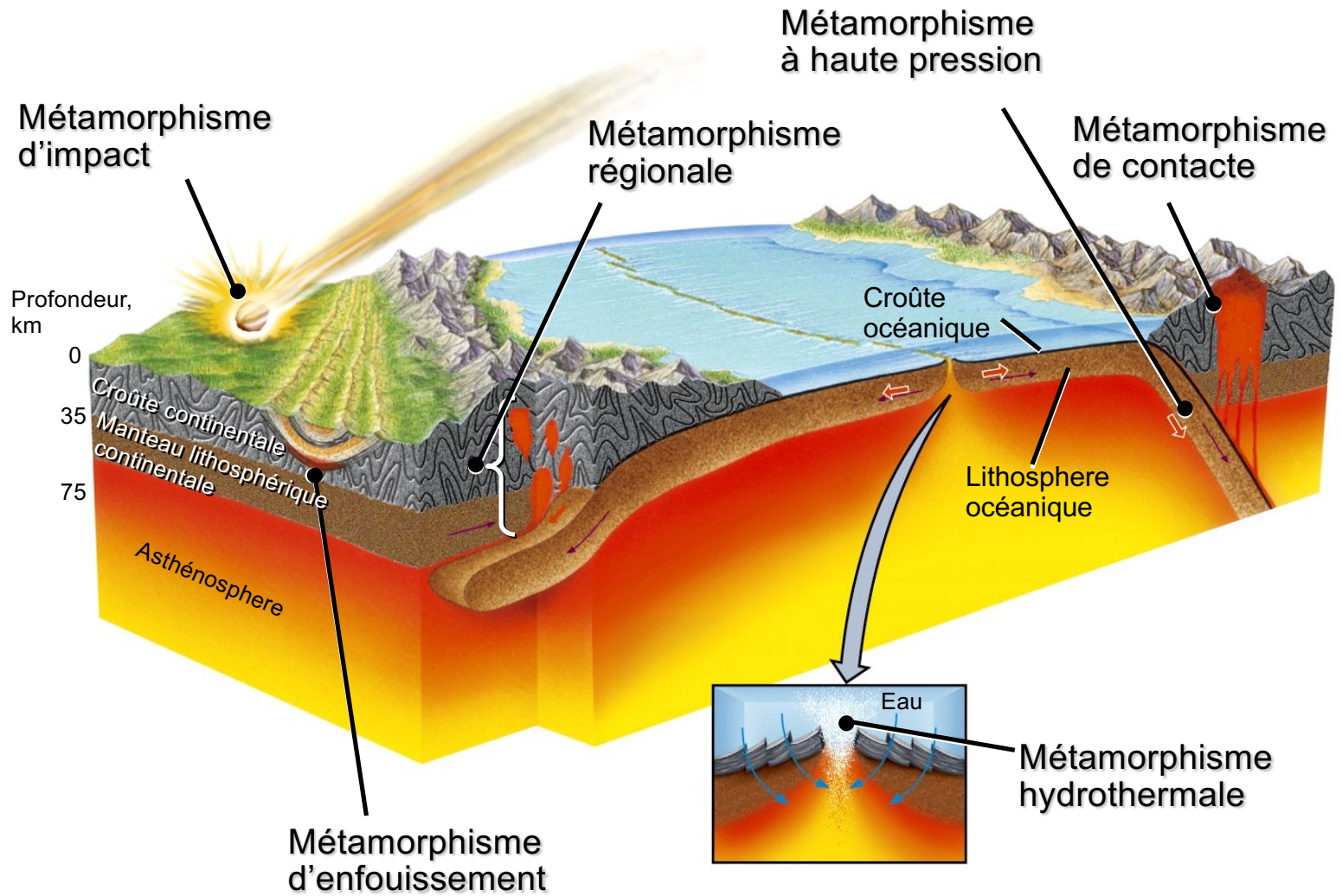
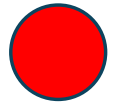


- Changement de la texture et de la minéralogie à cause du changement de pression, température, taux de contrainte, et compositions des fluides ( $X_{\text{fluide}}$ )
- Les changements métamorphiques se produisent **PRINCIPALEMENT à l'état solide**, bien que les FLUIDES et les liquides magmatique accélèrent les changements (accélèrent la cinétique des réactions).
- Les contraintes mécaniques déforment ou cassent les roches, et aident à la recristallisation des minéraux

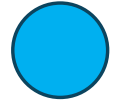
## *Exemples des roches métamorphiques*

<i>Sédiment</i>		<i>Roche métamorphique</i>
<i>gres</i>	->	<i>gneiss</i>
<i>calcaire</i>	->	<i>marbre</i>
<i>argillite</i>	->	<i>métapelite</i>
<i>Roche magmatique</i>		<i>Roche métamorphique</i>
<i>peridotite</i>	->	<i>serpentinite</i>

# Types de métamorphisme



# Température (et flux de chaleur)



- flux de chaleur:  $q$   
énergie (flux par seconde par  $m^2$ ):  $q = k * (dT/dz)$ ,  
avec  $k$ : conductivité de la chaleur (propriété du matériel)  
 $dT/dz$ : gradient thermique à l'intérieur de la terre

- > gradient géothermique proche à la surface:  $dT/dz$ :  $33^\circ\text{C} / \text{km}$
- > flux de chaleur moyen:  $\sim 91 \text{ mW}/\text{m}^2$
- > océans:  $\sim 105 \text{ mW}/\text{m}^2$
- > continents:  $\sim 71 \text{ mW}/\text{m}^2$

- sources de chaleur:

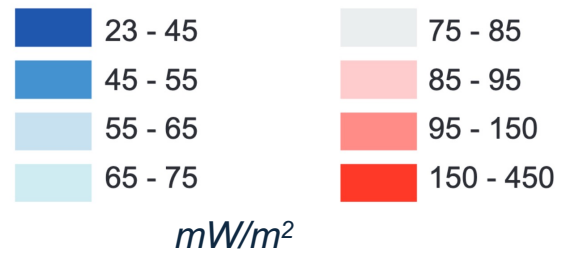
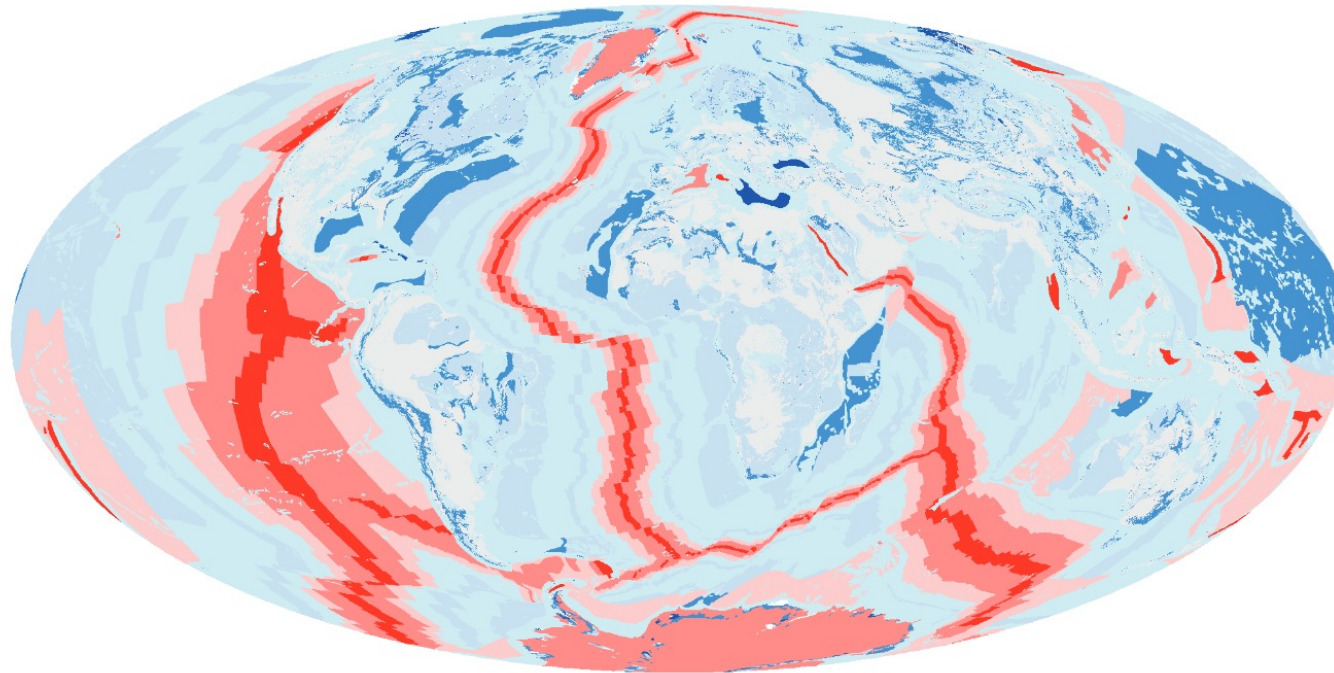
- (1) production de la chaleur par radioactivité
- (2) refroidissement de la lithosphère
- (3) flux de chaleur du manteau profond (chaleur primordiale de l'accrétion de la terre)

Distribution de la température

surface:	$0^\circ\text{C}$
noyau-manteau:	$3000^\circ\text{C}$
noyau intérieur:	$6000^\circ\text{C}$

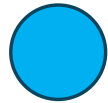


# Distribution du flux de chaleur globale

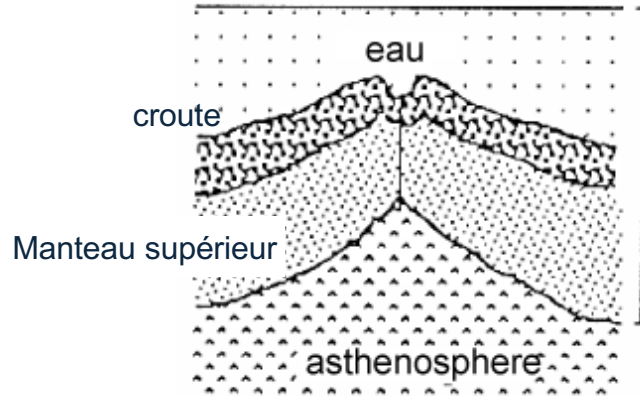


Davis and Davis 2010 Solid Earth 1, 5-24

# Flux de chaleur



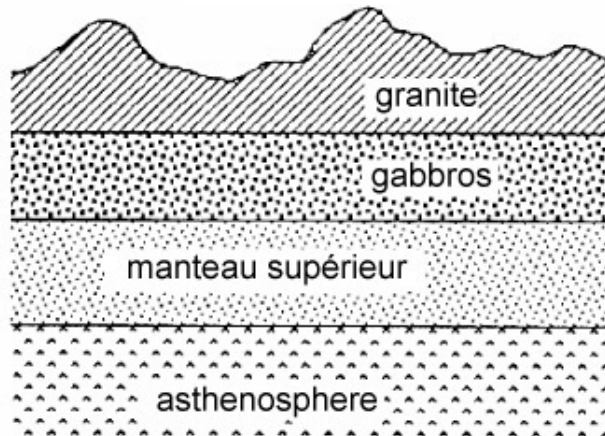
## *Dans la croute océanique*



60% du flux globale, dont:  
-> 85% refroidissement de la lithosphère  
-> 10% flux de chaleur du manteau  
-> 5% radioactivité

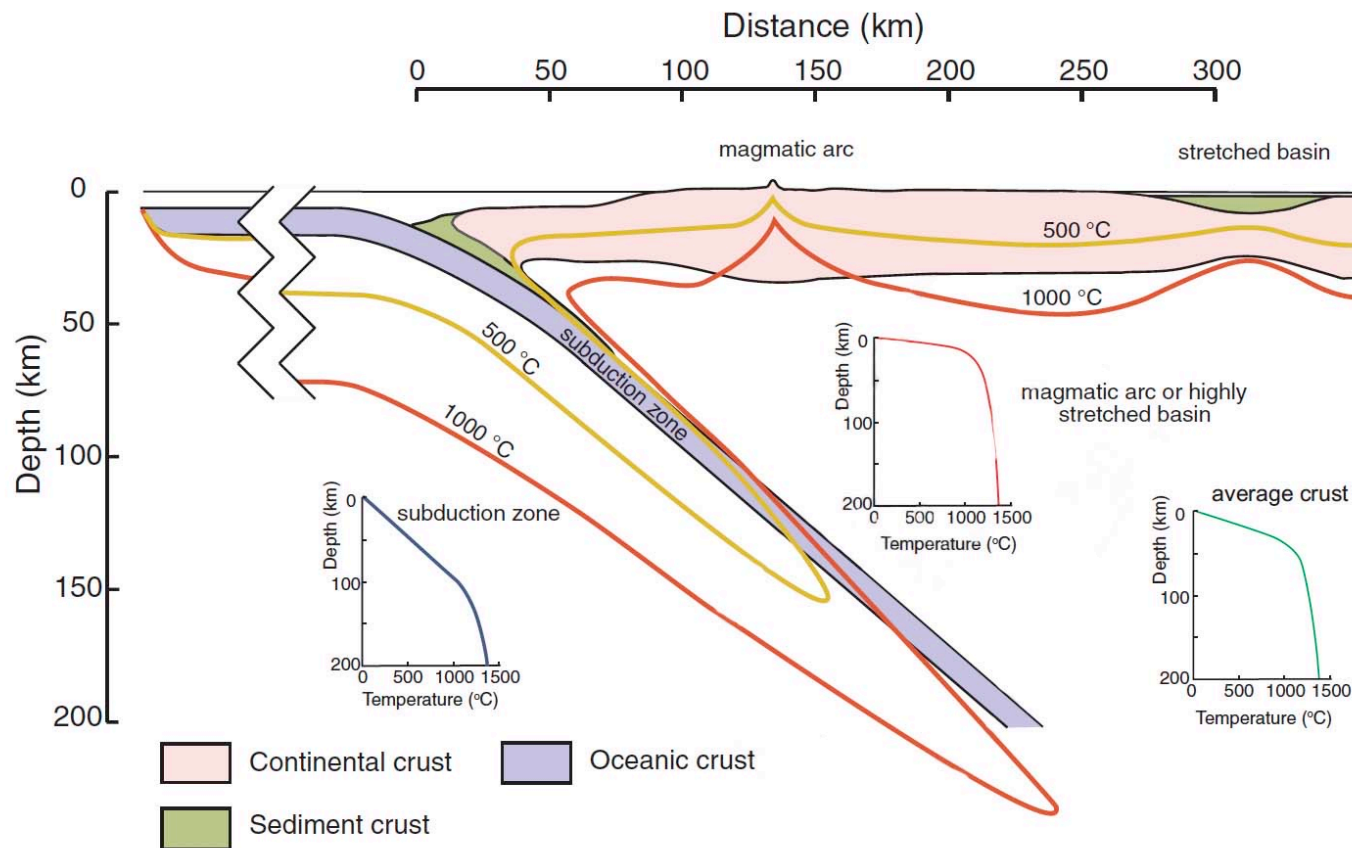
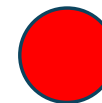
*Notez les proportions très différent entre la croute océanique et continentale :*

## *Dans les continents:*



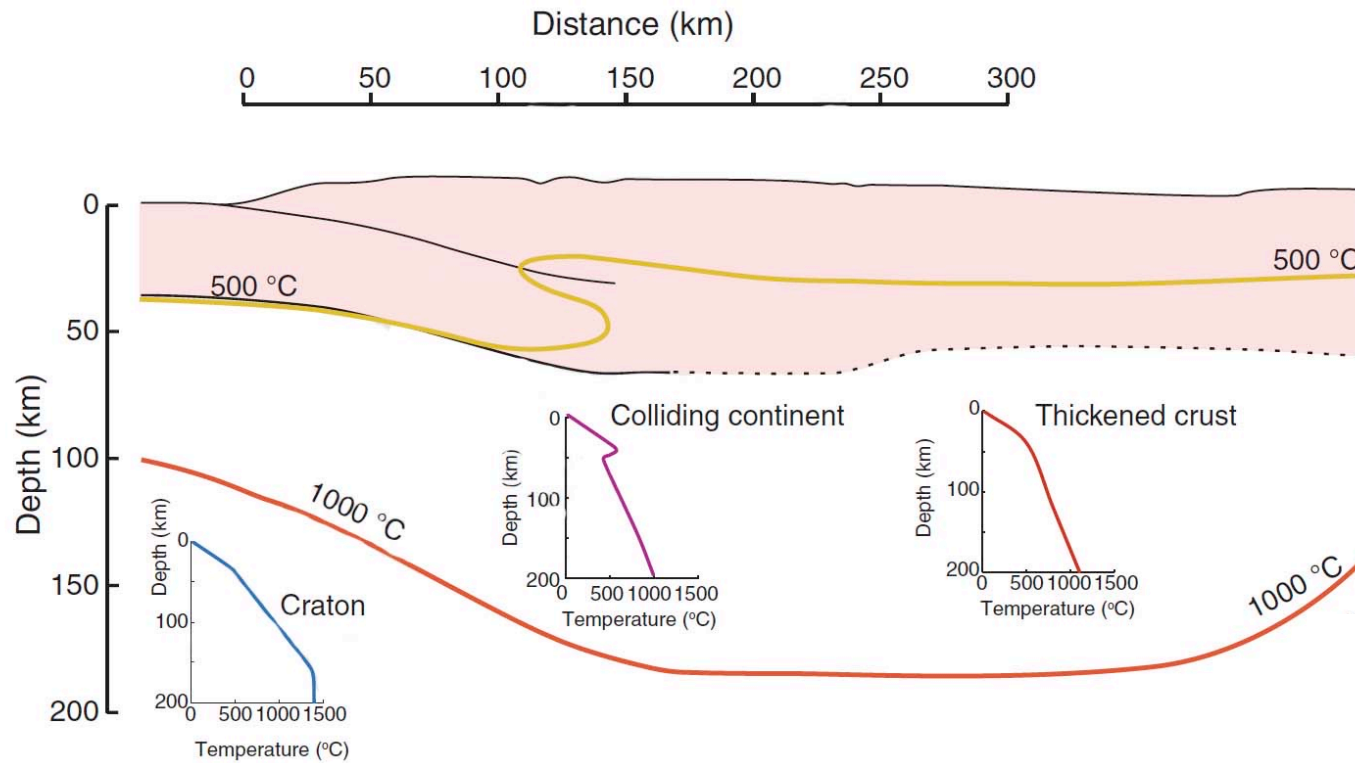
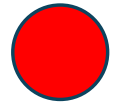
40% du flux globale, dont:  
-> 20% refroidissement de la lithosphère  
-> 25% flux de chaleur du manteau  
-> 55% radioactivité

# Distribution de la température: zone de subduction



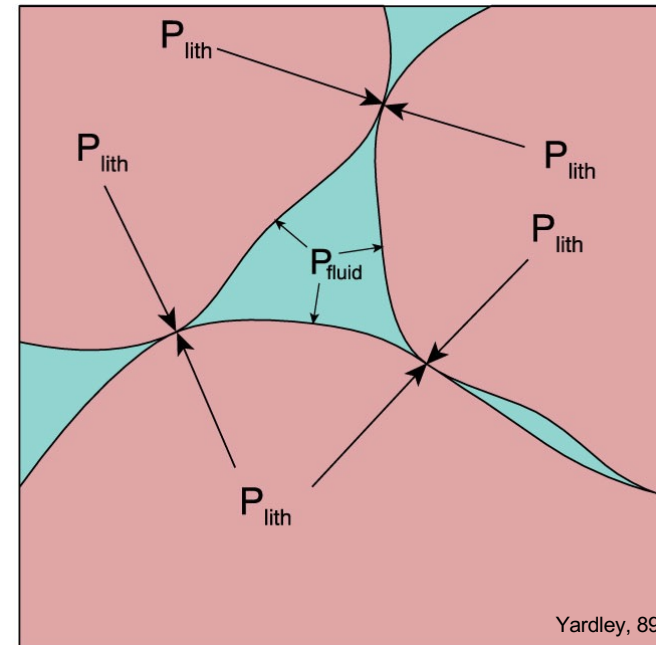
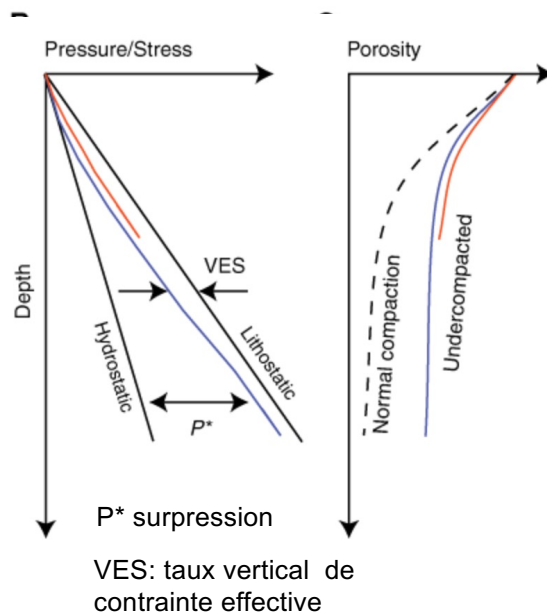
Yardley and Warren 2020

# Distribution de la température: zone de collision



# Pression: augmente avec la profondeur

- Pression lithostatique  $P_{lith}$
- Pression hydrostatique  $P_{fluide}$
- contrainte effective (“pression orientée”)



pression c'est un scalaire, taux de déformation est un tenseur  
 Surpression des fluides provoque réactions chimiques  
 entre les minéraux (dissolution – re-précipitation)

~30 à 40m des roches induisent 1 MPa de contrainte (fonction de densité de la roche)

# Texture des roches métamorphiques

## Orientation des minéraux dans les roches

-> sans orientation (fels)

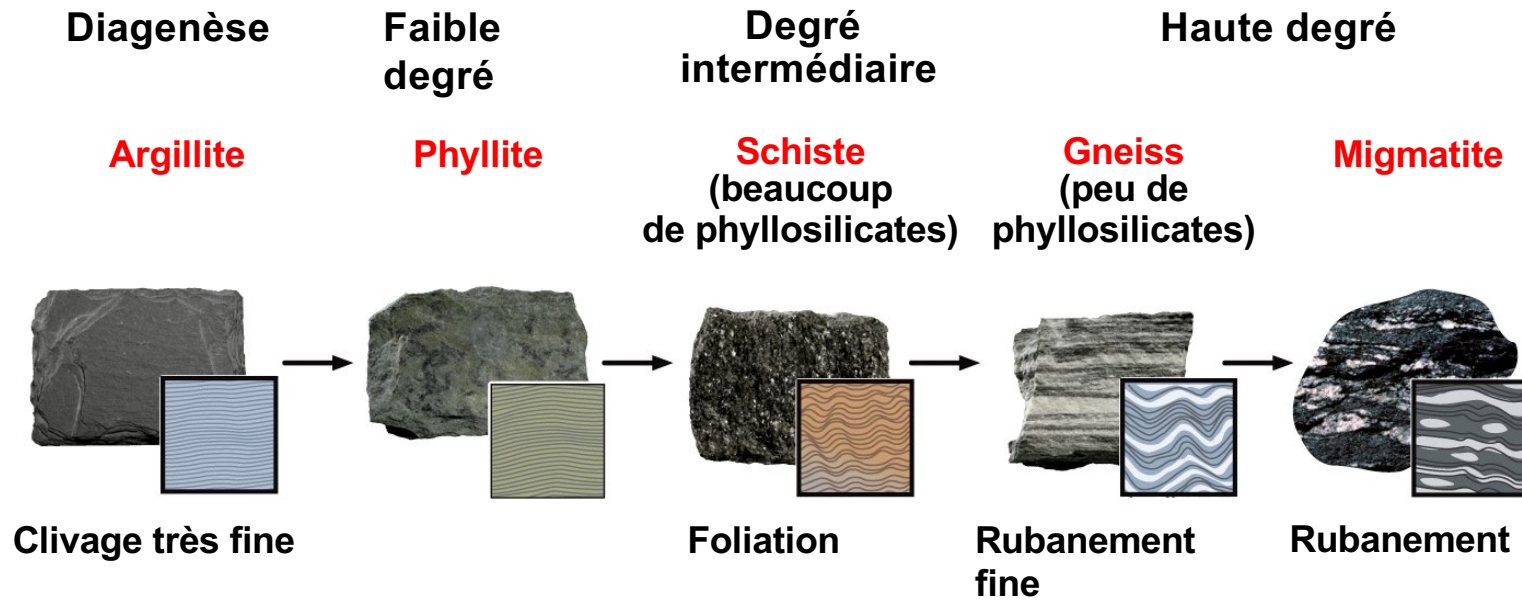
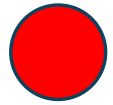
-> texture linéaire: une seule direction est prononcée (Gneiss), minéraux prismatique sont  $\pm$  alignée (hbl, pyx)

-> texture planaire: schistosité formé par des phyllosilicates (mica, chlorite, talc, graphite) orientation  $\pm$  parallèle

-> distinction: **phyllite**, **schiste**, **gneiss**, en fonction de la taille des minéraux

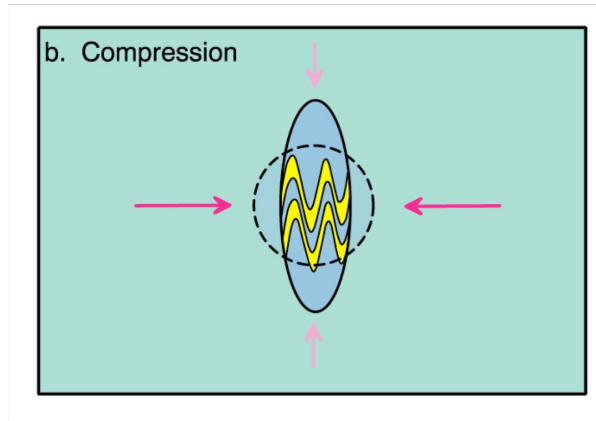
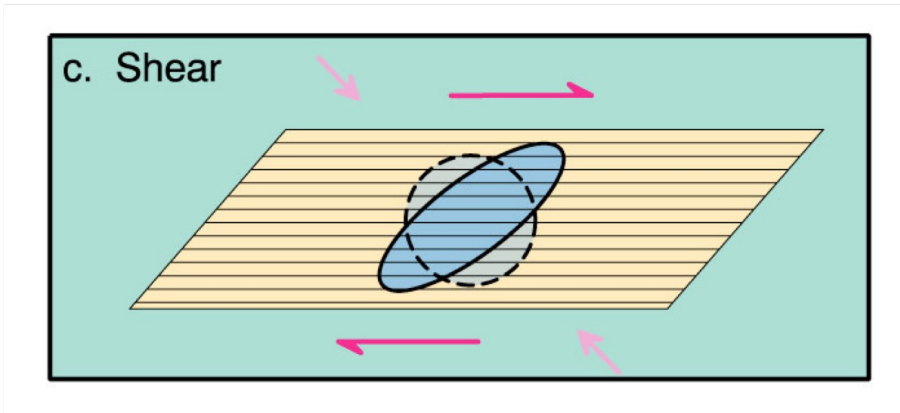
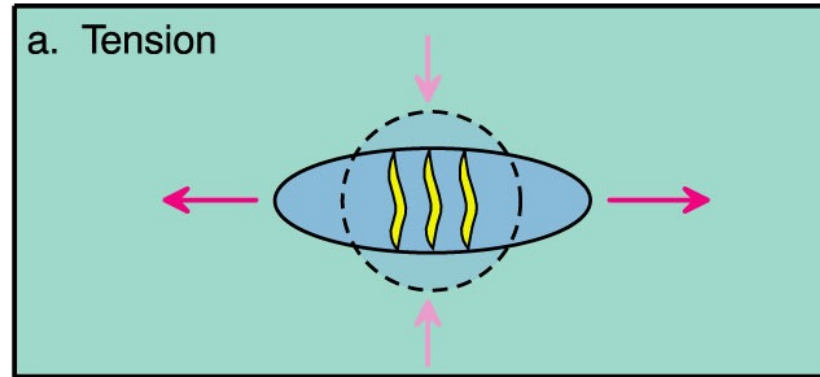
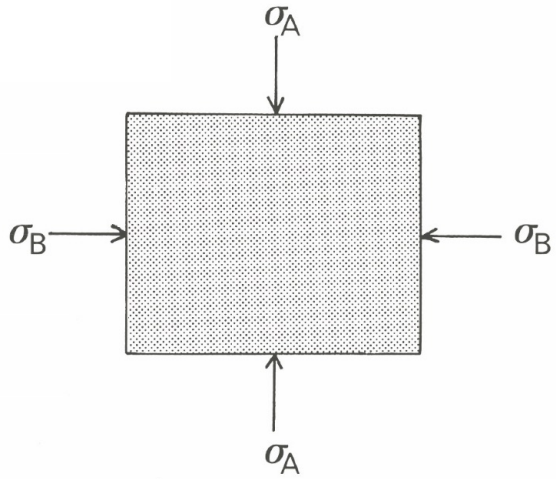
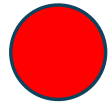


# Classification texturale des roches métamorphiques



Changement des textures en fonction de pression et de la température

# L'effet du taux de contrainte

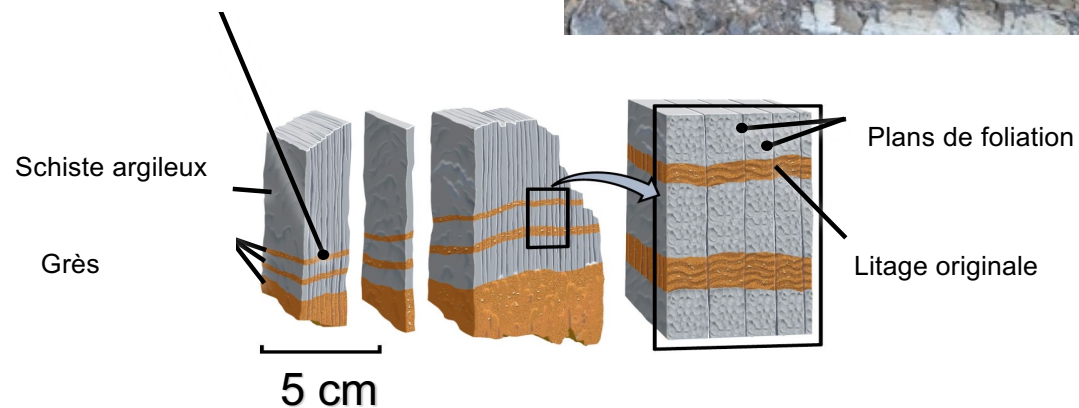


- fragile -> fractures, failles...
- ductile -> changement de forme plissement.....

L'effet du taux de contrainte sur les roches:

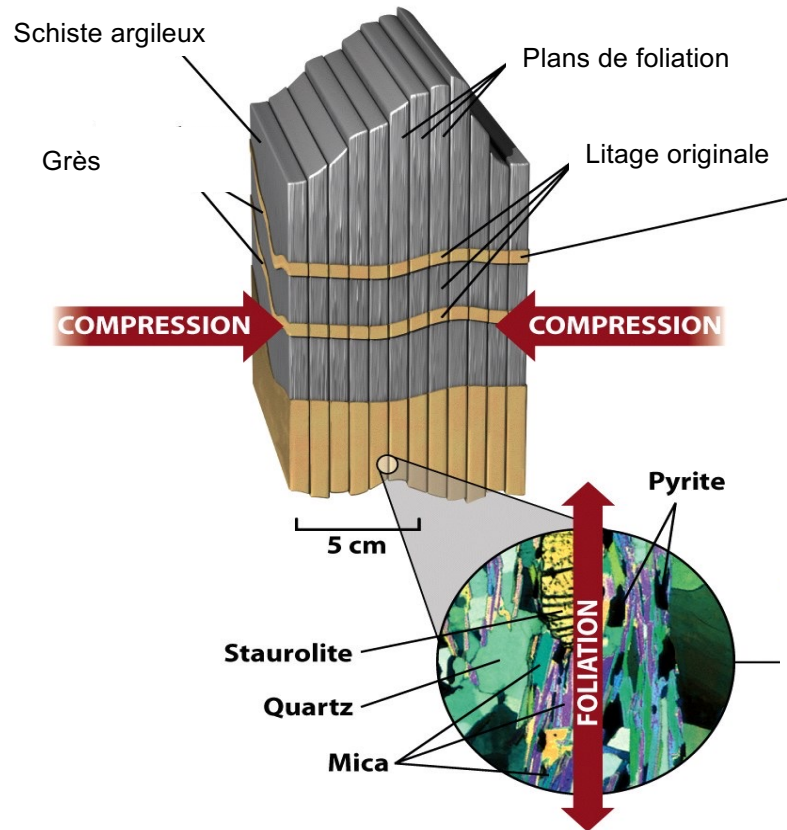
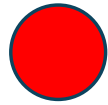


Litage original est représenté par les grès et schiste argileux



Understanding Earth, 2010,  
Grotzinger and Jordan, 6<sup>th</sup> edition

# L'effet du taux de contrainte sur les roches:

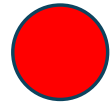


Roches métamorphiques montrent une **foliation**, liée au forces compressives

Sous un microscope:  
La foliation est représentée par des minéraux anisotropes orientés(micas).

Les minéraux continuent à croître, perpendiculaire aux forces compressives

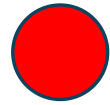
# Classification chimique des roches métamorphiques



- Eskola 1915, Turner 1948: Concept de base: classification des roches à la base de leur composition chimique

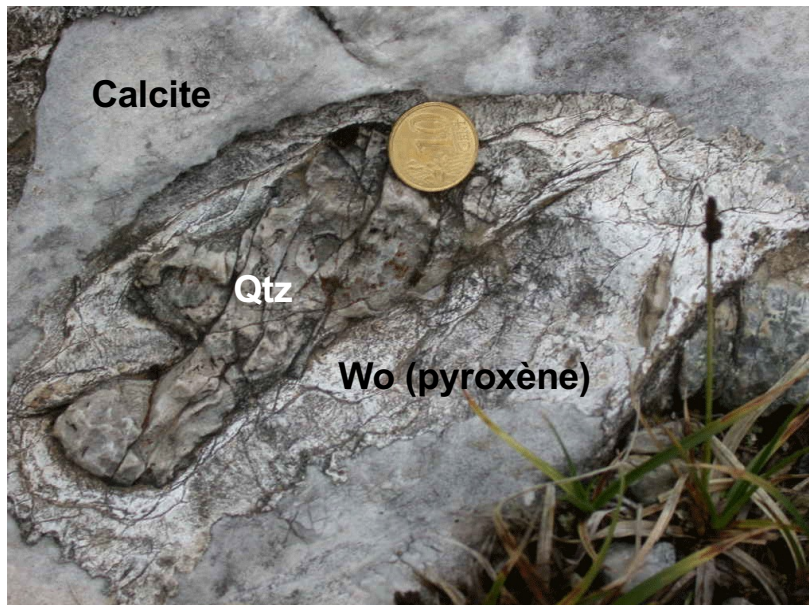
Groupe des roches métamorphiques	Types des roches
• Roches méta-ultrabasiques	péridotites (=roches du manteau) métamorphiques
• Roches méta-basiques	basaltes métamorphiques gabbros (métagabbros) tephra basaltique
• Méta-carbonates	dolomies métamorphiques calcaires métamorphiques marnes
• Méta-pelites (shales)	sédiments riches en Al, Argillites ou pelites (-> métapelites)
• Méta-granitoïdes	Granites/rhyolites métamorphiques roches volcaniques différenciés Grès métamorphiques Arkoses métamorphiques

# Métamorphisme sur le terrain:

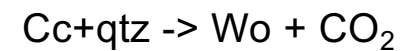


## Cartographie :

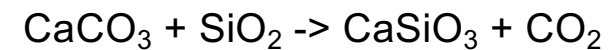
Rosenbusch	1872:	Métamorphisme de contact
Barrow	1893:	Métamorphisme régional changement des minéraux dans les roches: pélite (roche argilleuse)

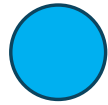


Minéraux participant à la réaction



Exprimé comme une réaction chimique balancée



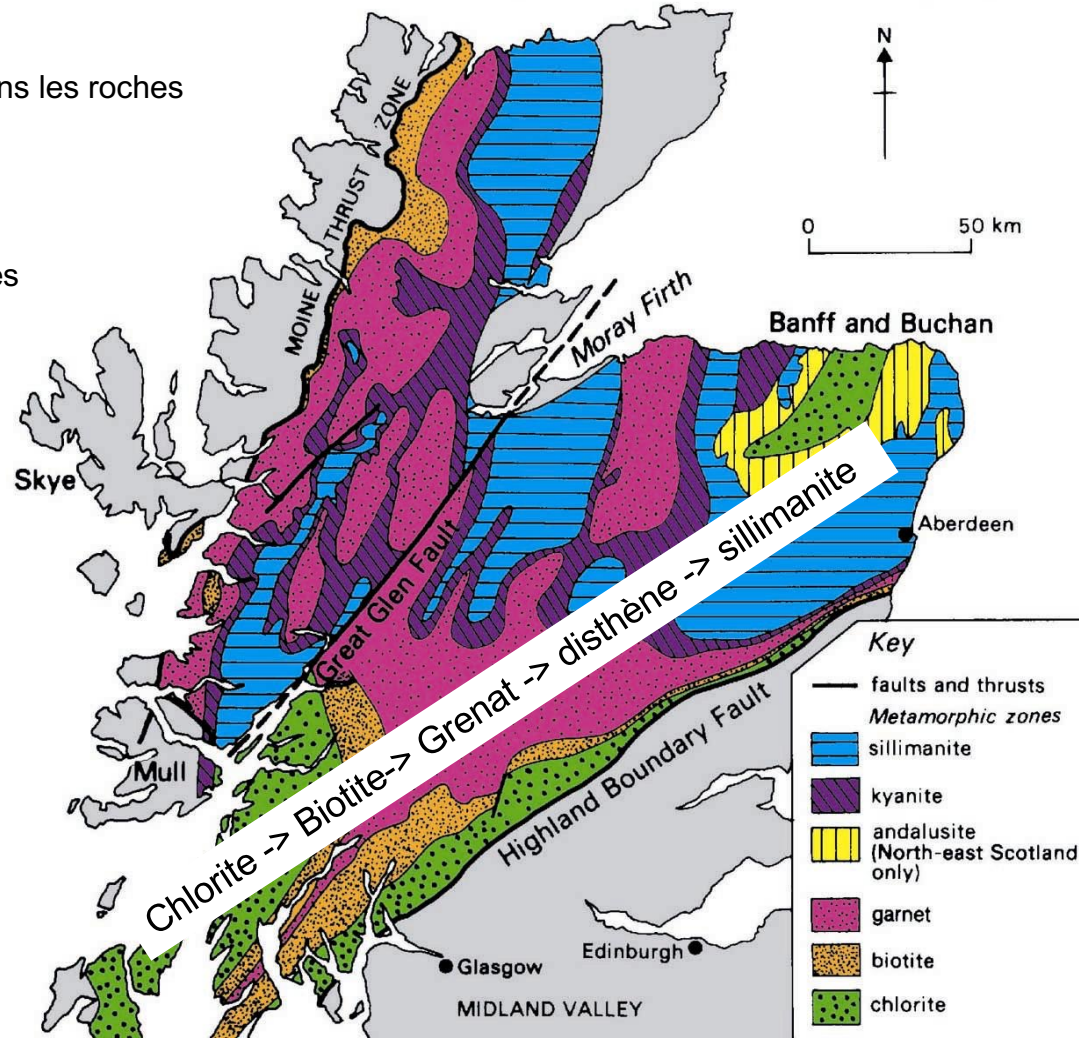


# Ecosse:

Distribution des minéraux dans les roches métapélitiques

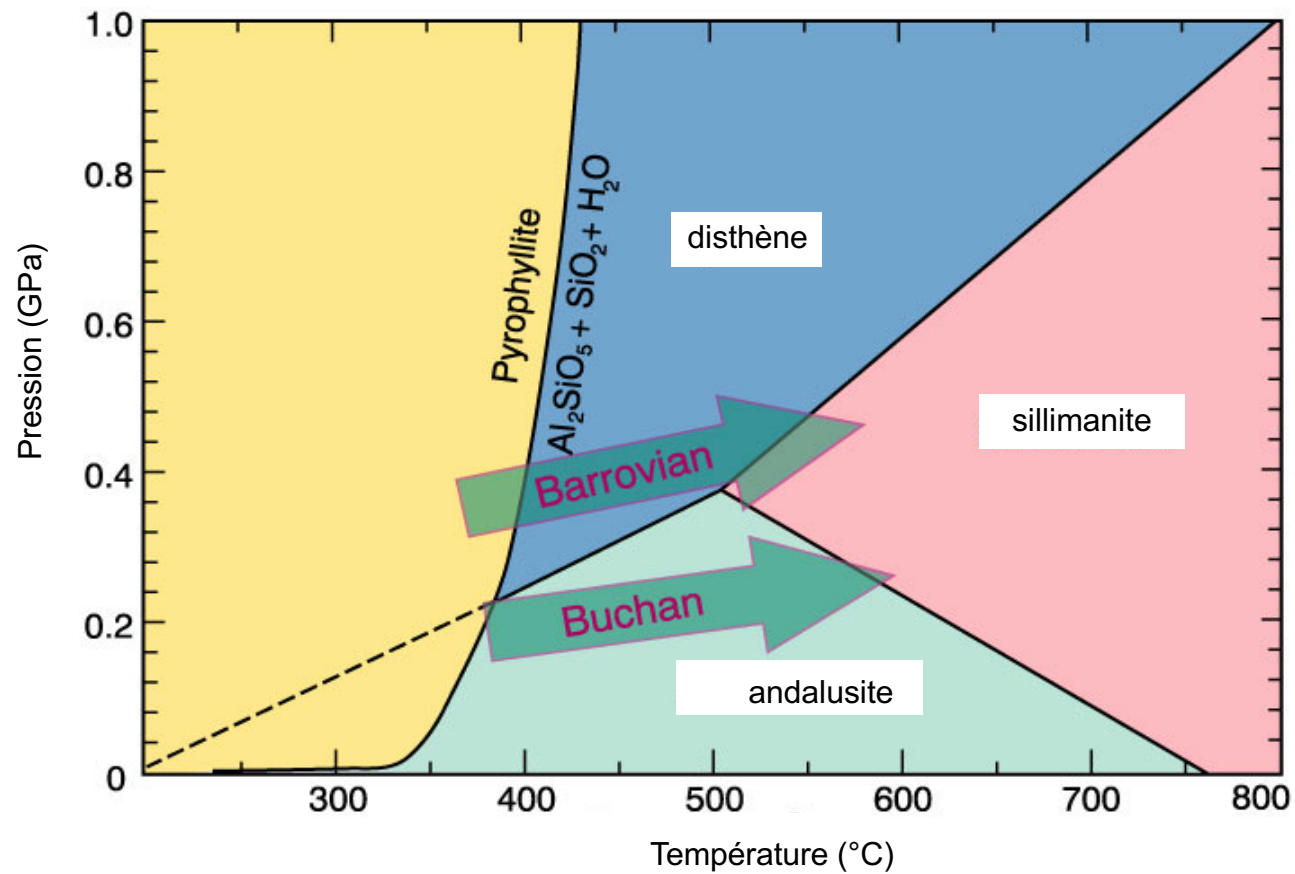
Exemple :

Sédiments fait par des argilles  
-> métapélite, formation des nouveaux minéraux à partir des argillites



# Le diagramme pression-température

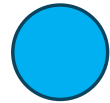
- deux types des serie métamorphiques différentes
- Un chemin à basse pression, un chemin à plus haute pression



Trois minéraux  
avec la même chimie  
( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ )

Andalusite  
Disthène  
Sillimanite

-> Stabilité  
différent par  
rapport à p et T



# Métamorphisme sur le terrain:

## Cartographie :

Rosenbusch	1872:	Métamorphisme de contact
Barrow	1893:	Métamorphisme régional changement des minéraux dans les roches: pélite (roche argilleux)

Chlorite -> Biotite-> Grenat -> disthène -> sillimanite

**Exemple des Alpes:** métamorphisme prograde dans les calcaires du Tessin (Trommsdorff 1966)

**Degré du métamorphisme:** liée à l'espace et aux conditions pression et température

**Métamorphisme progressif:** changement des minéraux de la roche: liée à l'évolution temporelle avec augmentation de pression et température

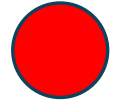
**Métamorphisme rétrograde:** liée à l'évolution temporelle, pression et/ou température diminuent

## Métamorphisme retrograde



Gneiss oeuillé, facies amphibolite

Veine: facies schistes verts (localement, dépend de la disposition des fluides)



# Minéraux et paragenèses

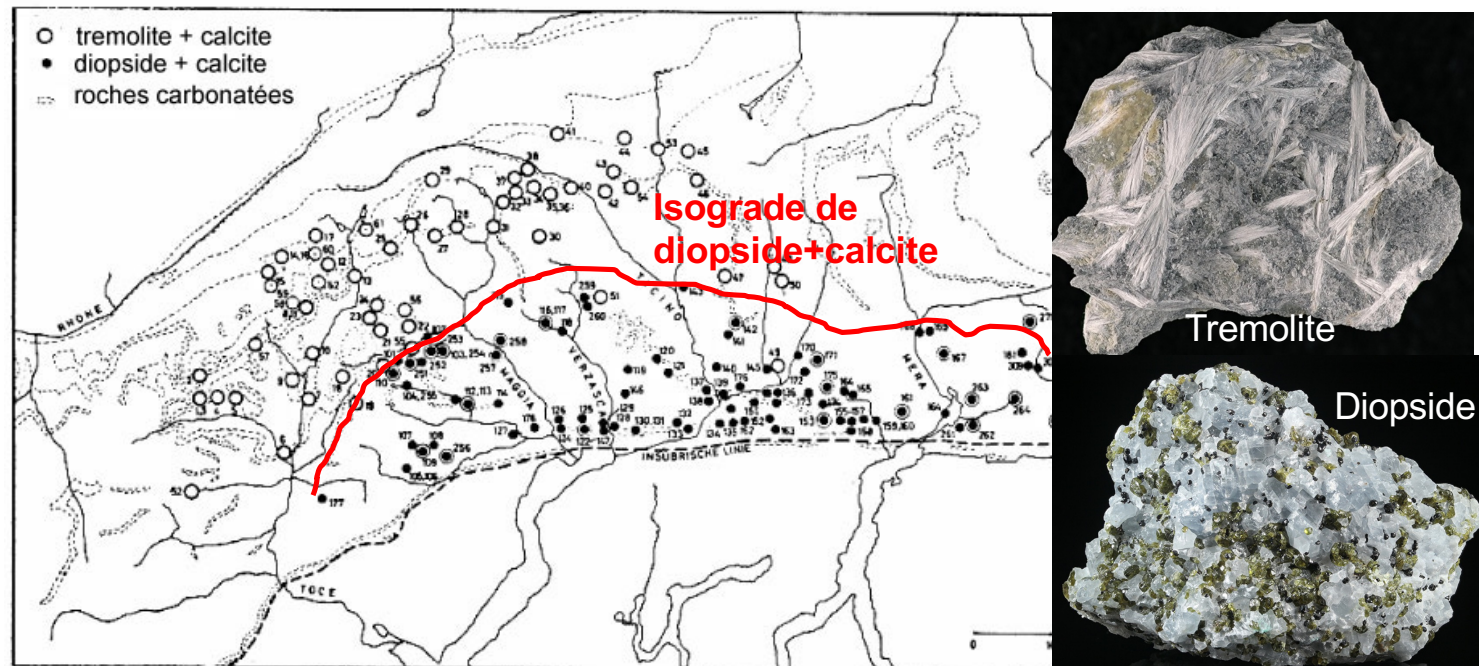
- > **Paragenèse**: minéraux qui sont formé au même moment, en équilibre
- > **Isograde**: limite/zone, caractérisé par la première apparition d'un minéral ou d'une paragenèse

# Minéraux et paragenèses

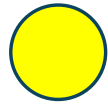
-> **Paragenèse:** minéraux qui sont formé au même moment, en équilibre

-> **Isograde:** limite/zone, caractérisé par la première apparition d'un minéral ou d'une paragenèse

Distribution régionale des minéraux ou des assemblages dans un type des roches  
(exemple: carbonates dans les Alpes Centrales)

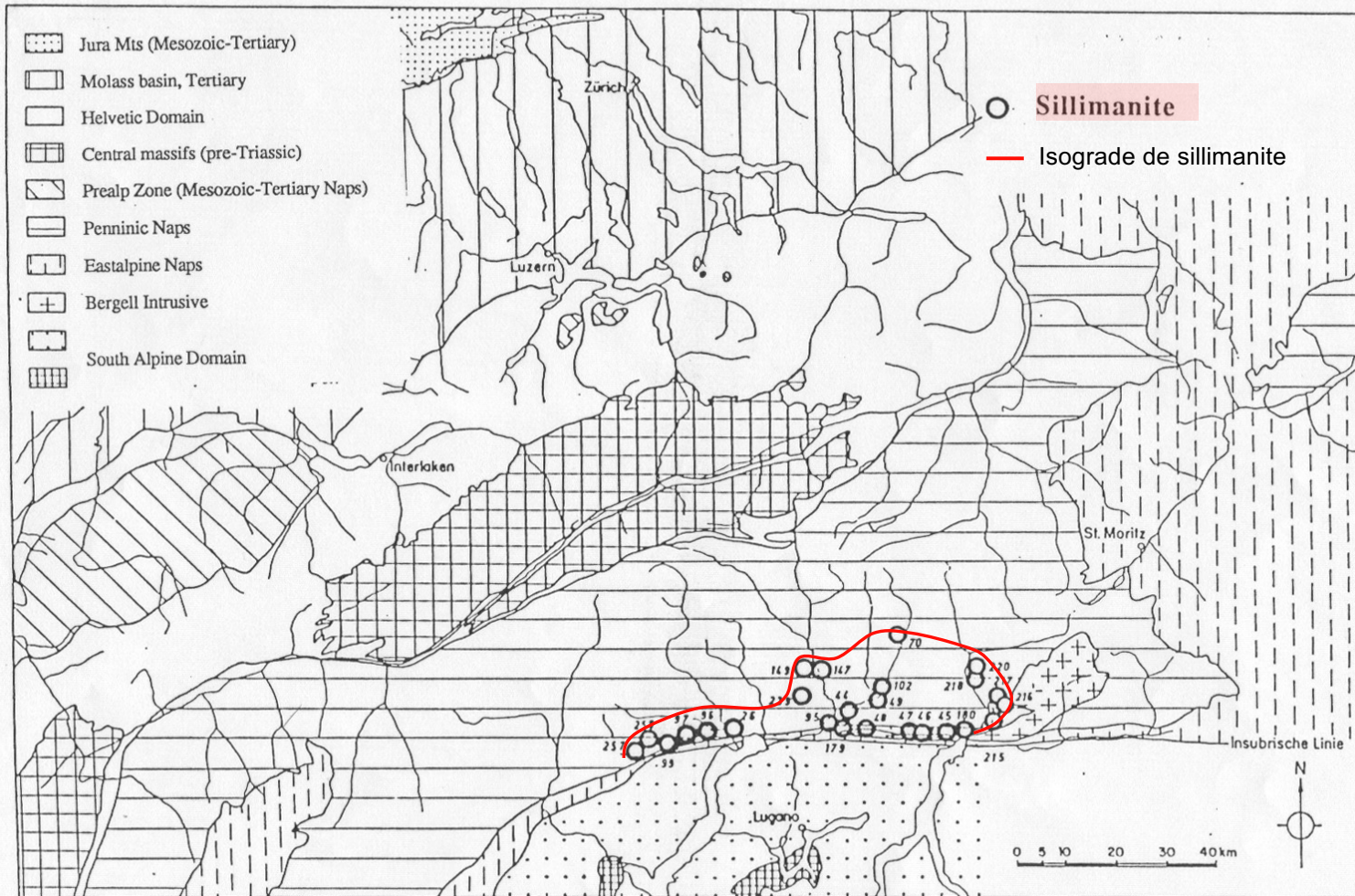


Trommsdorff 1966



Example isograd:

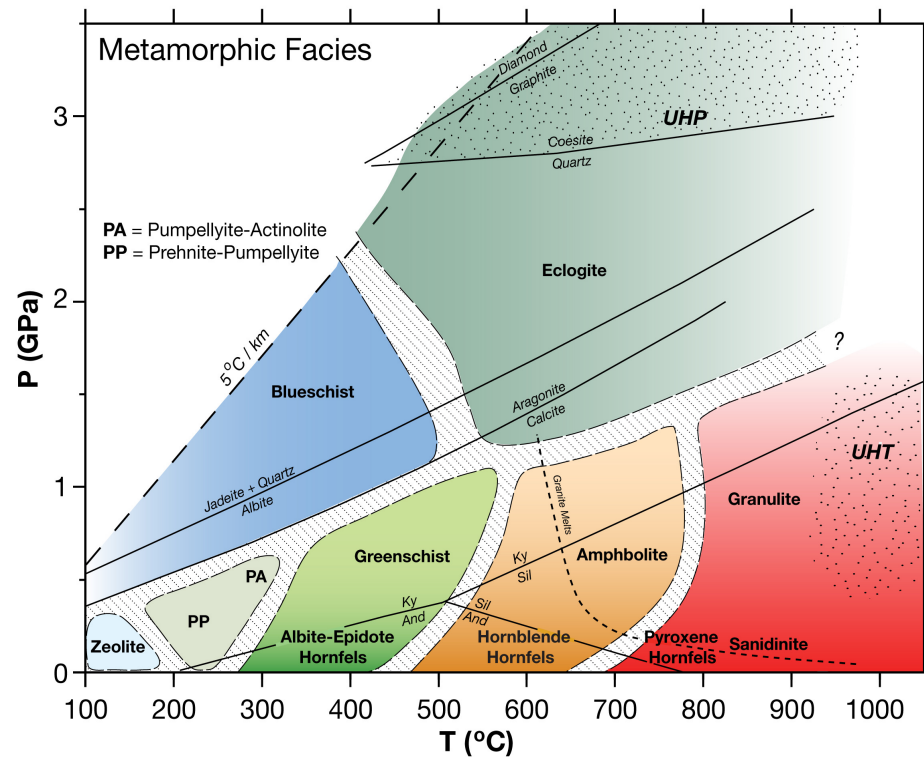
-> sillimanite ( $Al_2SiO_5$ ): distribution dans les Alpes centrales



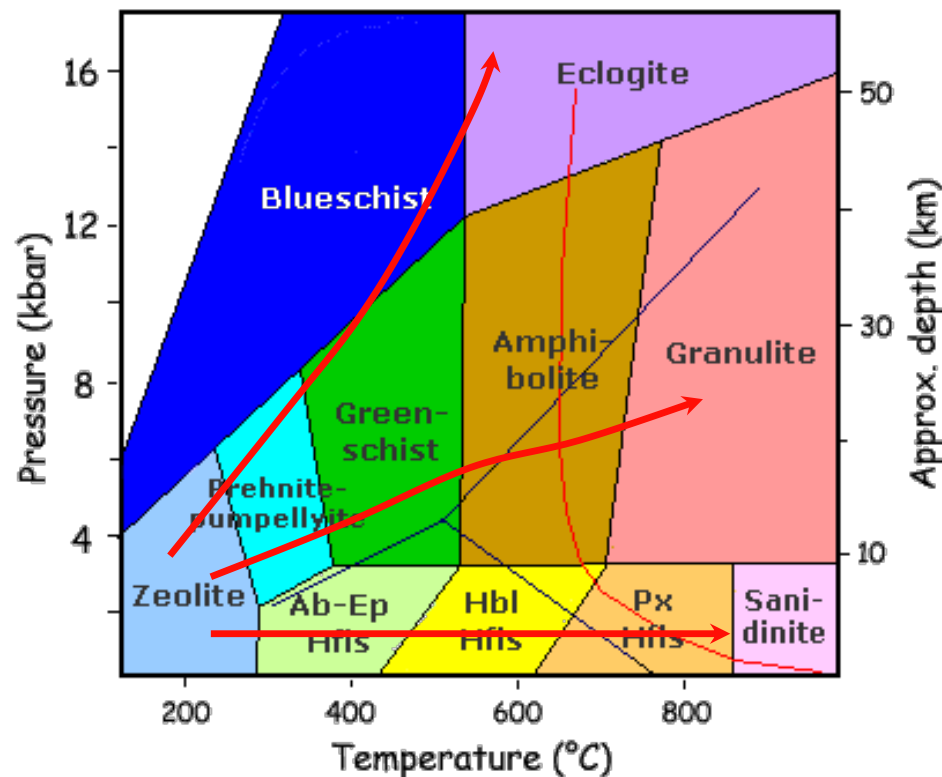
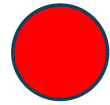
Niggli and Niggli 1965

# Facies métamorphique

- > Concept proposé par Eskola 1915
- > La région pression température (p-T) est découpée en 'facies métamorphiques'
- > regrouper des roches soumises à des intervalles p-T (indépendant de leur chimie)
- > nom des facies: correspondent aux noms des **roches basaltiques métamorphisées**



# Facies métamorphique: évolution du chemin p-T



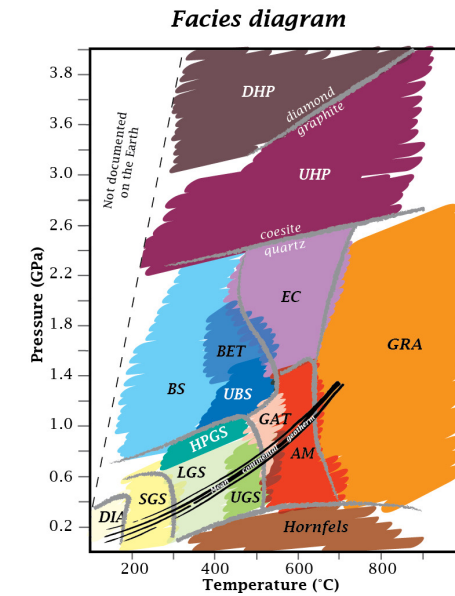
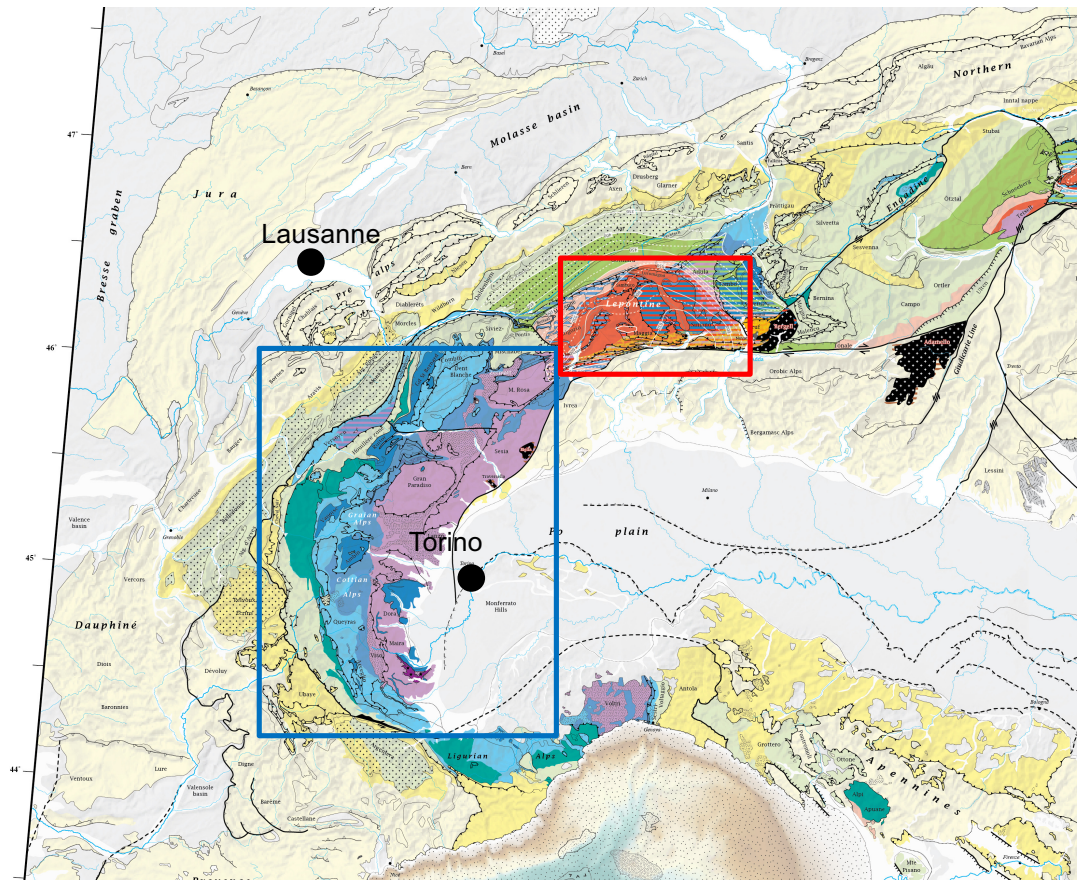
Chemin des roches dans les zones de subduction (HP-BT)

Chemin des roches dans les zones de collision (MP-HT)

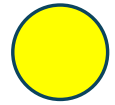
Chemin des roches dans les aureoles de contact autour d'une intrusion (roches) (BP-HT)

# Le métamorphisme dans les Alpes occidentales

- > Alpes de l'ouest: chemin de métamorphisme d'une zone de subduction
- > Alpes Centrales: chemin de métamorphisme d'une collision



# Transformation des roches: chemin p-T 'collision'



Basalte



Facies Schiste vert

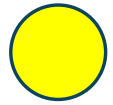


Facies Amphibolite



Facies Granulite

# Transformation des roches: chemin p-T 'subduction'



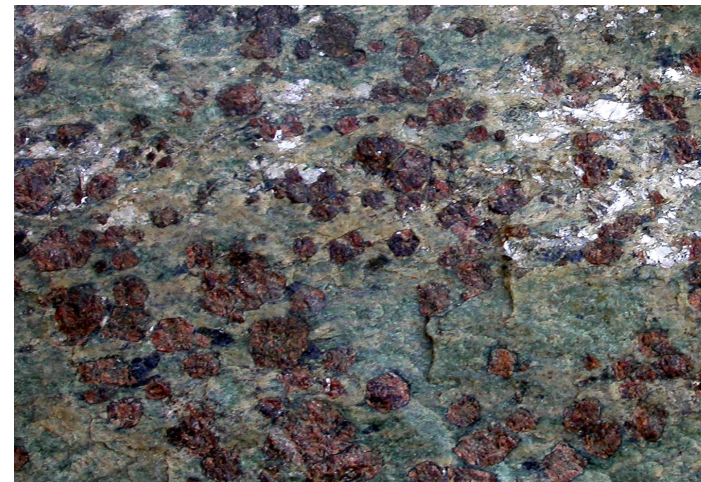
Basalte



Facies schiste bleu (avec Glaucophane .....

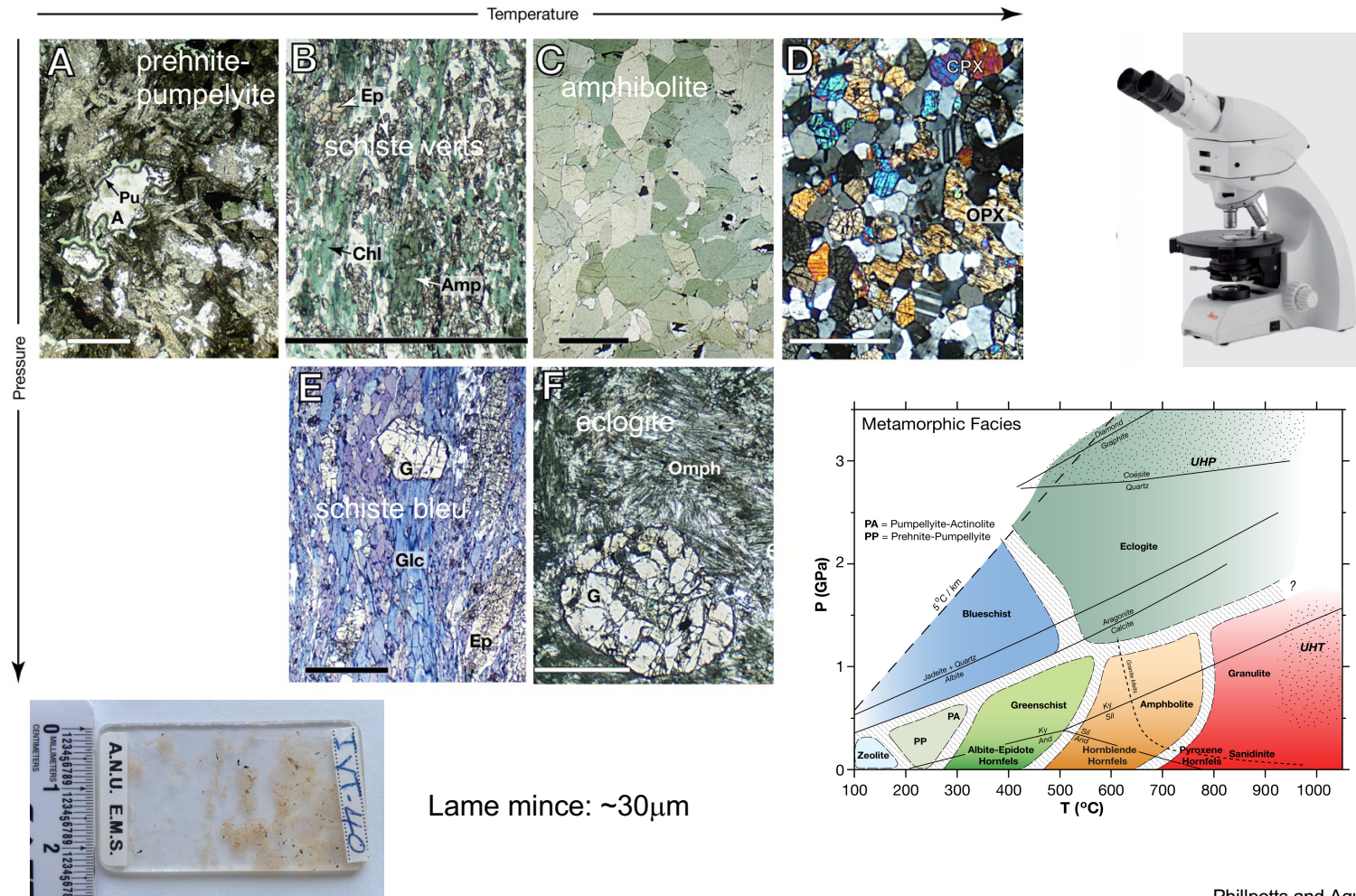
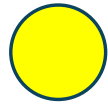


et lawsonite)



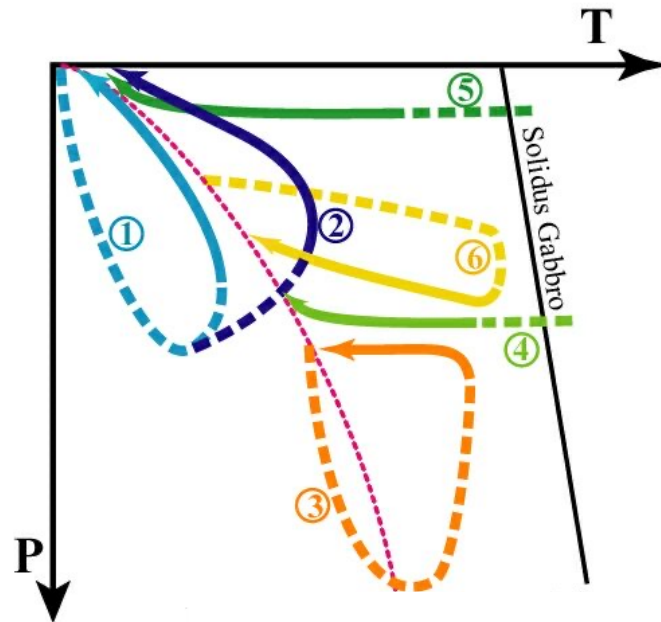
Eclogite facies

# Métamorphisme d'une roche basique (basalt, gabbro)



Phillipotts and Ague 2010

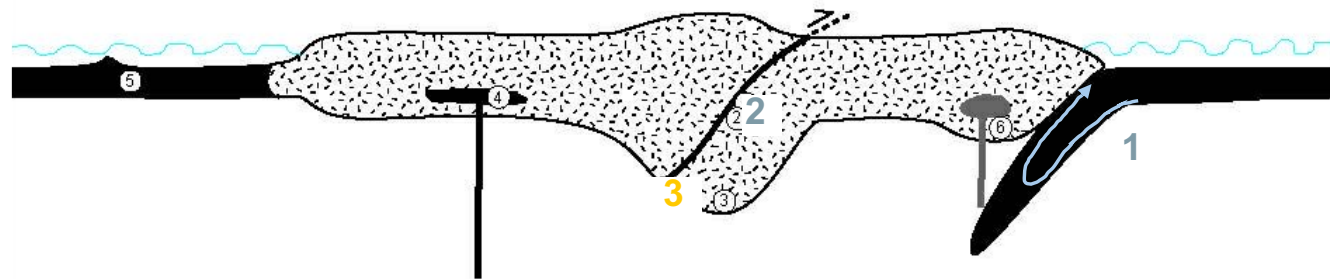
## Le trajet p-T-t d'une roche



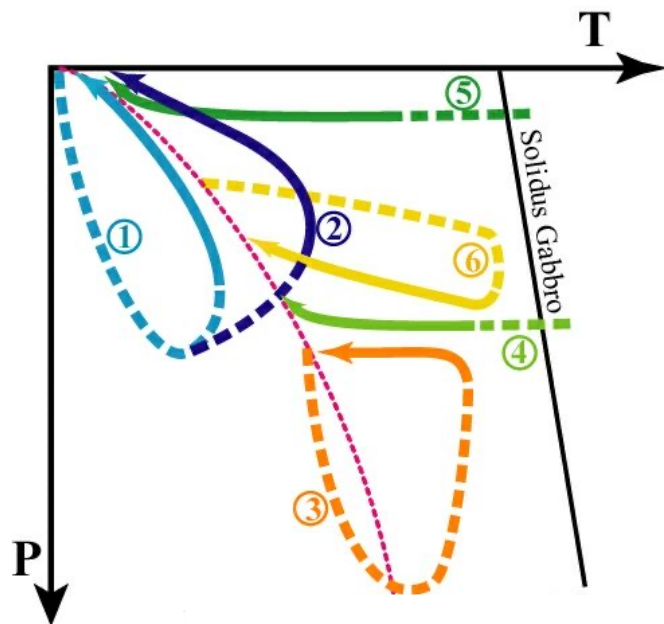
**1** : roches au sommet de la croûte continentale chevauchée lors d'une collision continent - continent et remontant à des vitesses variables ( $v_1 > v_2$ ).

**2** : roches au sommet de la croûte continentale chevauchée lors d'une collision continent - continent et remontant à des vitesses variables ( $v_1 > v_2$ ).

**3** : Roche à la base de cette même croûte



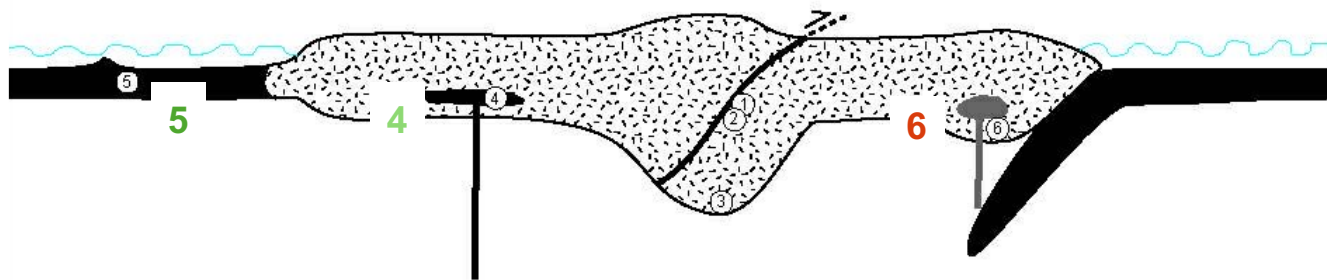
## Le trajet p-T-t d'une roche

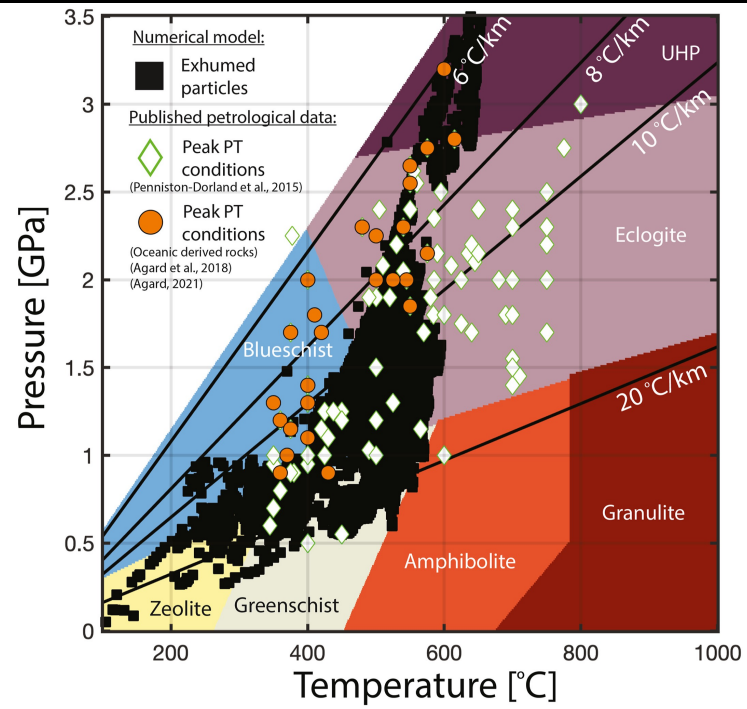


**4** : roche magmatique (basique) mise en place et refroidissant à la base d'une croûte continentale en extension ou sous un arc insulaire.

**5** : gabbro mis en place et refroidissant dans la croûte océanique

**6** : épaississement accompagné d'intrusions magmatiques.





Vaughan Hammon et al., 2022.  
Gcubed 23 (8)