

# GÉOLOGIE : LE MINIMUM VITAL

Première partie : La Terre, ses composants, son évolution

IV – Les processus géologiques internes

# AVERTISSEMENT

- ✗ Ceci est une **introduction à la géologie** .
- ✗ On peut retrouver les sites consultés à partir des mentions sur les photos ou les figures.
- ✗ C'est le **minimum vital**... avec un plan mais pas plus, c'est-à-dire un cadre à compléter!
- ✗ Utiliser la fonction « rechercher » car certains concepts sont expliqués à plusieurs endroits ou sont appelés dans le texte.
- ✗ sur Internet n'allez pas sur n'importe quel site ; dès que le sujet est sensible (philosophique, politique, économique, religieux...), évitez wikipedia.
- ✗ Toutes les suggestions, remarques etc. sont les bienvenues; voir mon adresse sur le site de l'université de Limoges.

# SOMMAIRE

---

## Première partie. La Terre et ses composants

- I. La Terre dans le système solaire
- II. Le fonctionnement global de la Terre
- III. Notions de pétrographie : du minéral à la roche
- IV. Les processus internes
- V. Les processus externes

## Deuxième partie. La Terre anthropisée

## Troisième partie. Géologie de la France

# IV - LES PROCESSUS GÉOLOGIQUES INTERNES

Magmatisme : fusion; cristallisation

Tectonique

Métamorphisme

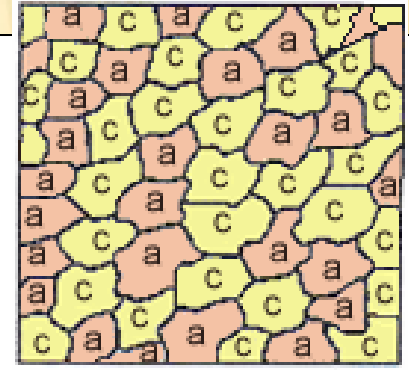
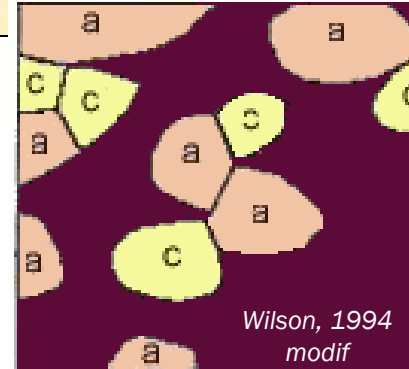
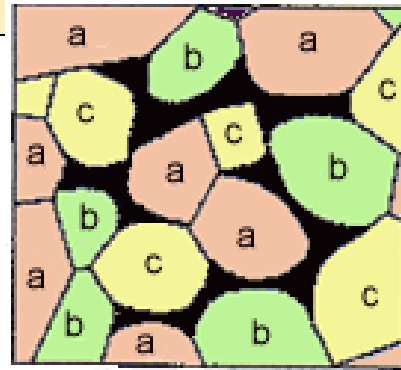
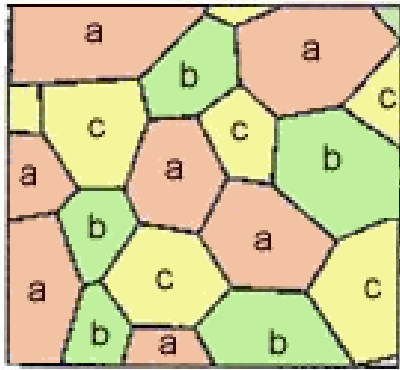
# IV – LE MAGMATISME

---

- ✗ Lorsque les conditions s'y prêtent (température etc.), certaines parties de la croûte ou du manteau qui sont au départ à l'état solide fondent (en partie).
- ✗ L'ordre de fusion est le suivant : quartz et feldspaths alcalins, puis feldspaths plagioclases riches en calcium et minéraux colorés (pyroxènes, olivine).
- ✗ Les parties fondues se solidifient à nouveau au même endroit ou après s'être déplacées.



# IV- LA FUSION PARTIELLE : MÉCANISMES



Stade 1 à gauche : roche grenue (exemple péridotite) non fondue; 3 phases (3 minéraux) différentes sont présentes (a, b, c).

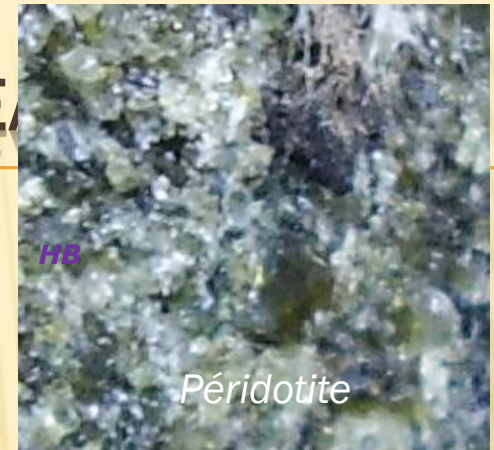
Stade 2 : lorsque la température suffisante est atteinte, la fusion partielle débute; les phases b et c étant plus affectées que la phase a, le magma est composé d'un peu de b et de c (en noir).

Stade 3 : la température augmente encore; la phase b a disparu; la phase c est fortement affectée; la phase a est bien affectée. On notera que le liquide (en violet sur la figure 3) a une composition différente de la roche puisque composé de b et un peu de a et c.

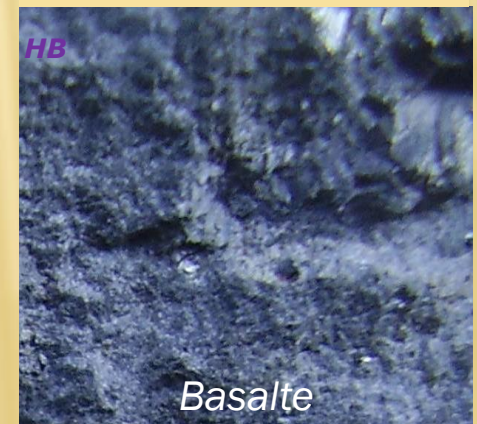
Stade 4 : le liquide moins dense est expulsé vers le haut ; les cristaux se rapprochent les uns des autres.

## IV- FUSION PARTIELLE DU MANTEAU

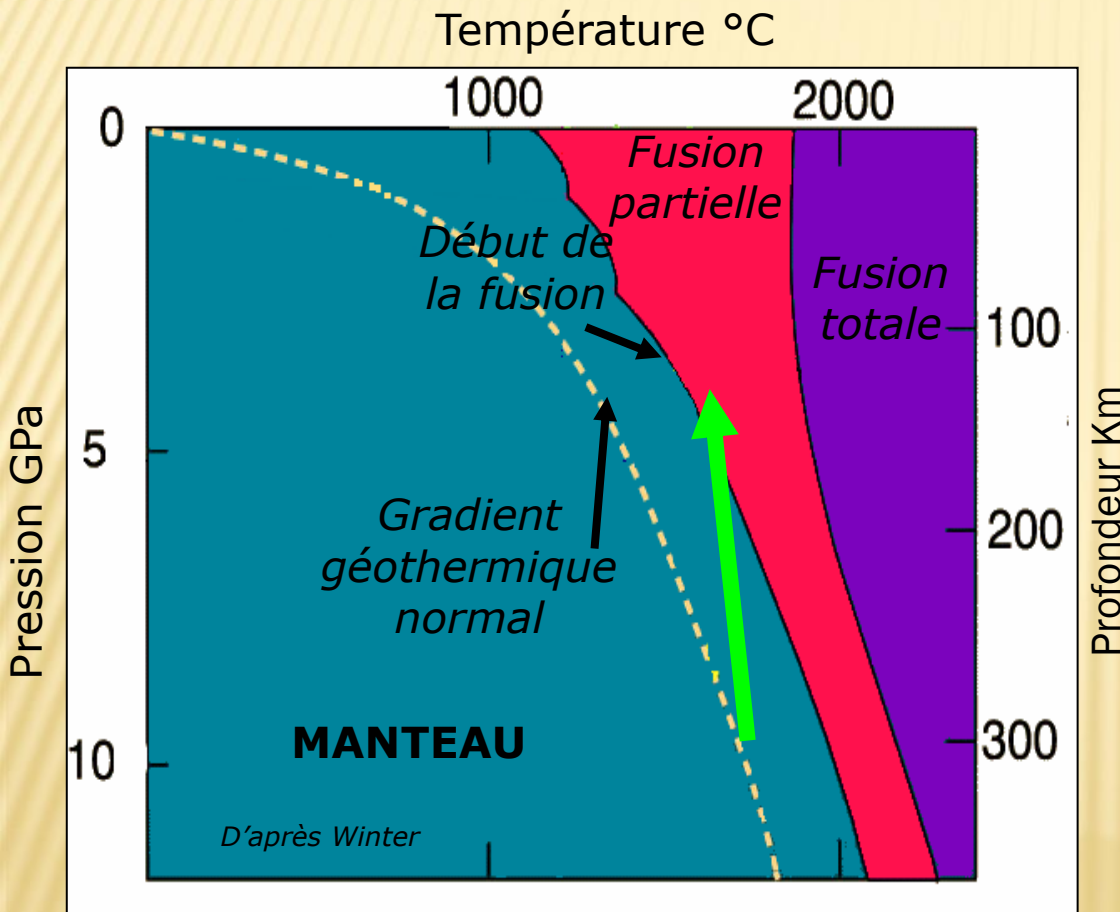
- ✖ Le manteau supérieur est composé d'olivine, de pyroxènes et de spinelles (péridotite; phases a, b et c de la figure précédente).
- ✖ On comprend que si la fusion s'arrête au stade 2 la composition du magma ne sera pas la même que si elle s'arrête seulement au stade 3.
- ✖ Les magmas formés par fusion partielle du manteau ont une composition proche des **basaltes**.



*Fusion partielle de  
la péridotite puis  
solidification en  
basalte*



# IV – LES RAISONS DE LA FUSION DU MANTEAU



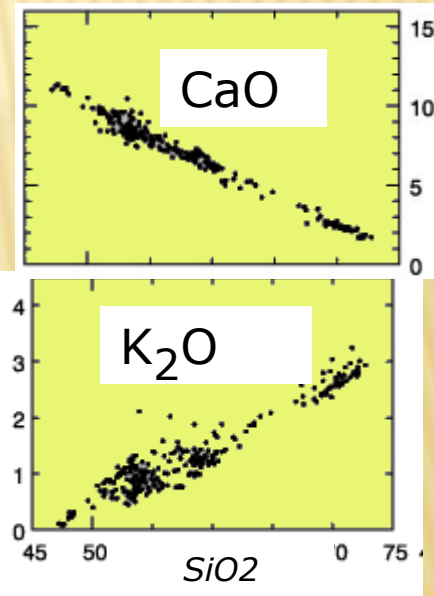
Trois causes de fusion du manteau

- lorsque la **température** augmente,
- lorsque la **pression** baisse fortement : un morceau de manteau se détache et monte (la pression diminue : flèche verte) Cf courants de convection du manteau;
- Lorsqu'il y a **injection d'eau** dans une zone de subduction par ex.



# IV – A PARTIR D'UN MÊME MAGMA, DES ROCHES VOLCANIQUES DIFFÉRENTES

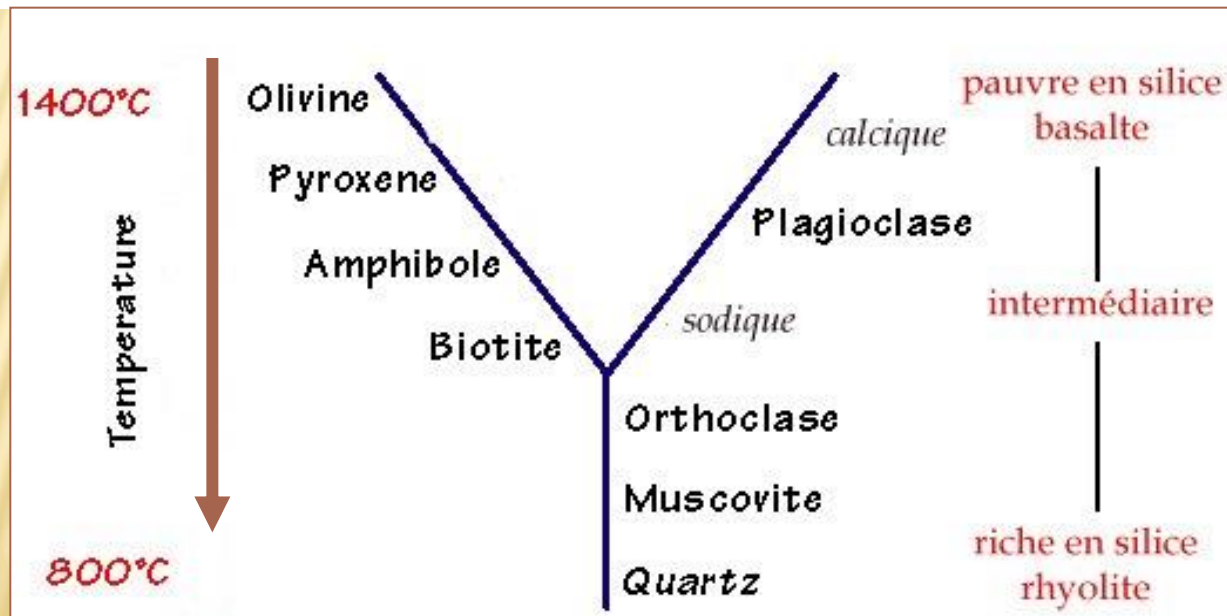
- ✗ Avec le temps, dans **une même zone volcanique** les produits sont de plus en plus riches en  $\text{SiO}_2$ ; on parle de **lignée magmatique**; exemple : la Chaîne des Puys où se côtoient basaltes, trachyandésites et trachytes.
- ✗ Cette évolution est représentée par des diagrammes (ci-contre) qui montrent les variations pour chaque élément en fonction de la silice ( $\text{SiO}_2$ ) totale contenue dans le magma.
- ✗  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  évoluent dans le même sens que  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{FeO}$ ,  $\text{MgO}$  et  $\text{CaO}$  évoluent en fonction inverse de  $\text{SiO}_2$ .
- ✗ La viscosité des laves croît avec la teneur en  $\text{SiO}_2$ .



*Diagrammes  
dits de Harker  
pour calcium et  
potassium*

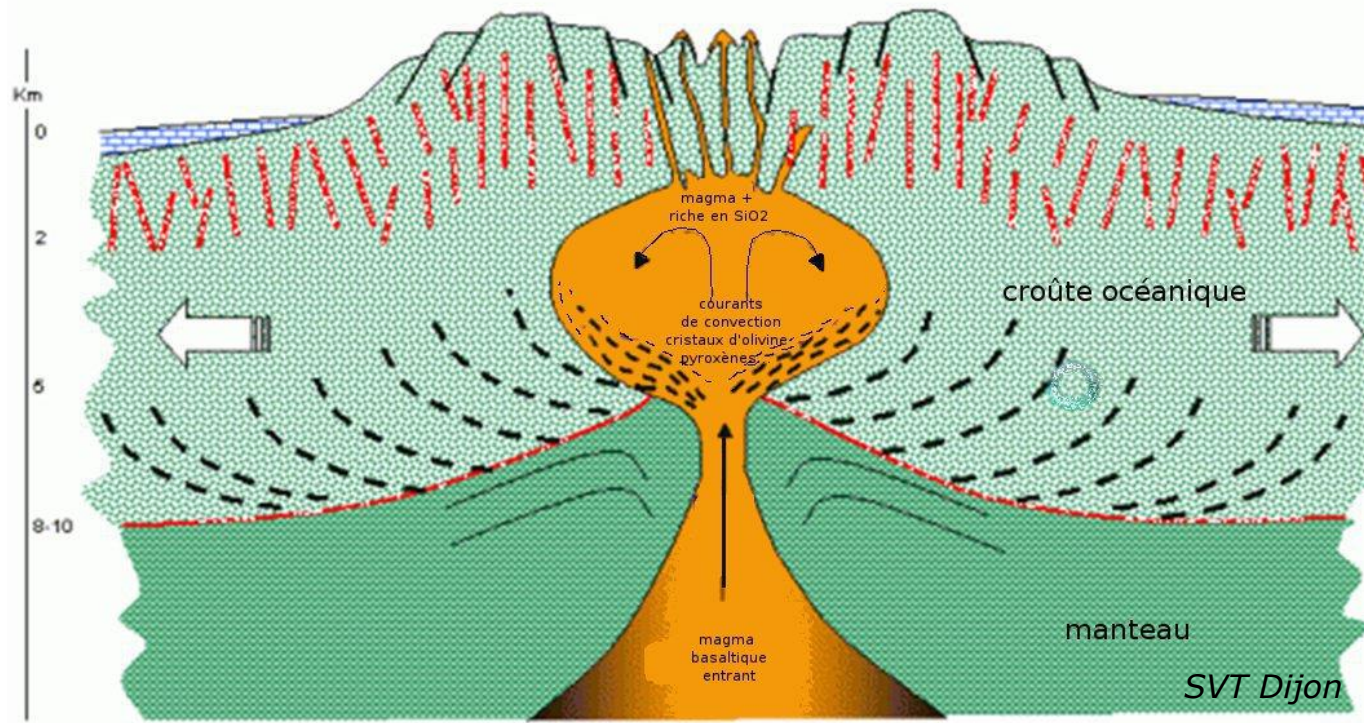
# IV - LA CRISTALLISATION FRACTIONNÉE

- ✗ Lorsque la température d'un magma s'abaisse, les cristaux apparaissent dans un ordre défini en fonction des conditions; c'est la série dite de Bowen (ci-dessous).
- ✗ Donc à chaque « stade » le magma est appauvri des éléments qui entrent dans la composition des cristaux.



# IV - CRISTALLISATION FRACTIONNÉE ET RÉSERVOIR MAGMATIQUE

La cristallisation fractionnée est la différenciation magmatique vue du côté de la minéralogie...



Ces phénomènes se produisent à différentes profondeurs au sein de la croûte terrestre.

Un magma entre dans un réservoir magmatique, y séjourne, refroidit et commence à cristalliser. Les premiers minéraux sont pauvres en  $\text{SiO}_2$  ; en conséquence le magma qui reste évolue et devient de + en + riche en  $\text{SiO}_2$



# LA FORMATION DES GRANITES

- ✗ En majorité, les granites sont situés au sein de la croûte continentale; ils proviennent de la fusion partielle de sa base.
- ✗ Leur composition minéralogique est bien définie : quartz, feldspaths, mica(s); chimiquement les granites sont plus riches en  $\text{SiO}_2$  (70%) et en alcalins que le niveau fondu.
- ✗ Sur le terrain les granites sont en continuité (autochtones) ou non (intrusifs) avec des roches très métamorphiques (gneiss ou migmatites).
- ✗ Après leur formation de nombreux magmas granitiques traversent la croûte continentale; leurs intrusions sont bloquées vers -20 – 10 km sous la surface.
- ✗ Les granites n'affleurent aujourd'hui que par suite de l'érosion des terrains situés au dessus.

# IV - GÉOLOGIE STRUCTURALE : CONTRAINTES ET DÉFORMATIONS

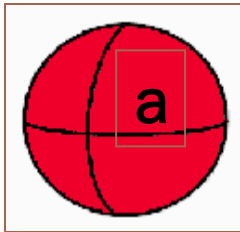
- ✗ La tectonique des plaques nous apprend que les mouvements de la croûte sont source de contraintes
- ✗ Ces contraintes entraînent en quelques secondes ou quelques Ma des modifications de toutes sortes (failles, plis...) et à toutes les échelles (du massif montagneux au minéral)
- ✗ Le comportement des objets géologiques dépend de leurs caractéristiques et des conditions.



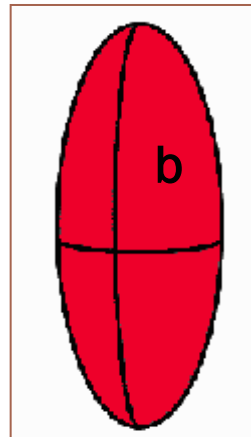


# IV – GÉOLOGIE STRUCTURALE : CONTRAINTES ORIENTÉES

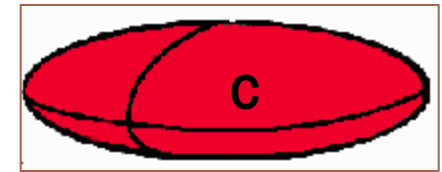
- ✗ Pour qu'un objet (une roche) casse ou se déforme, les contraintes doivent être orientées.



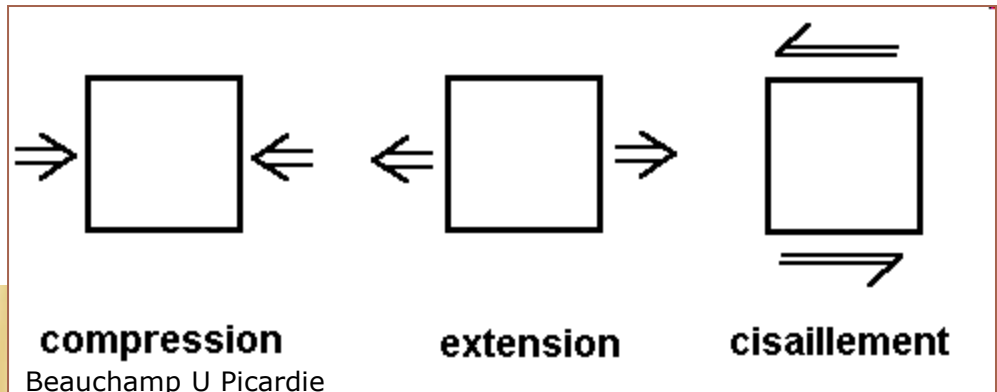
*En a, il n'y a pas de contraintes ou les contraintes sont = dans toutes les directions, pas de déformation*



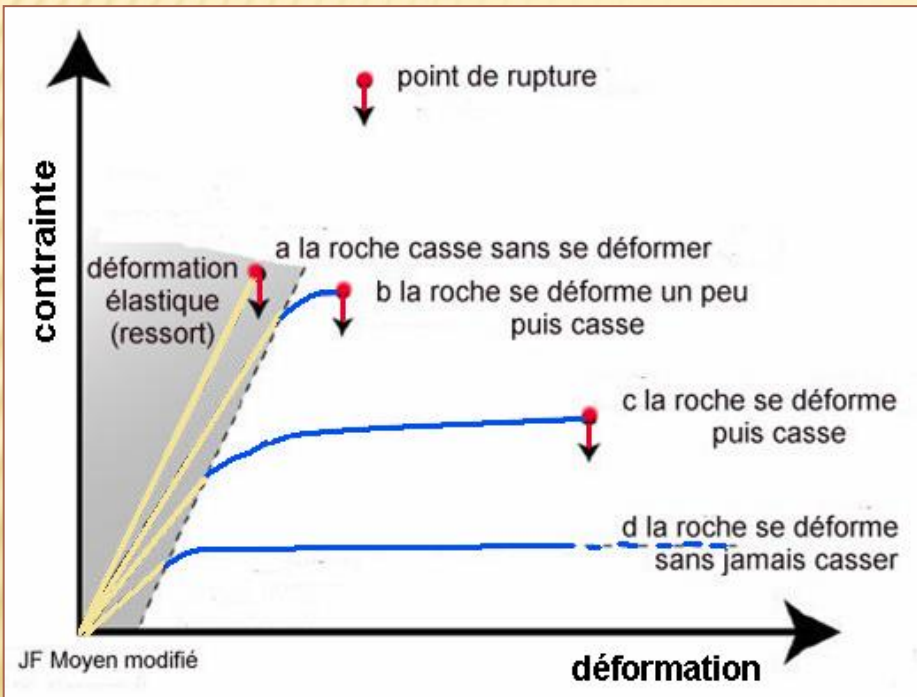
*En b les contraintes horizontales sont = ; la verticale est + faible. En c la verticale est + forte, les horizontales sont inégales → aplatissement*



- ✗ La géométrie qui en résulte est fonction des forces appliquées : compression etc...



# IV – GÉOLOGIE STRUCTURALE : CASSER OU PLIER ?



*En jaune, domaine élastique, en bleu domaine plastique (ou ductile) en rouge domaine cassant*

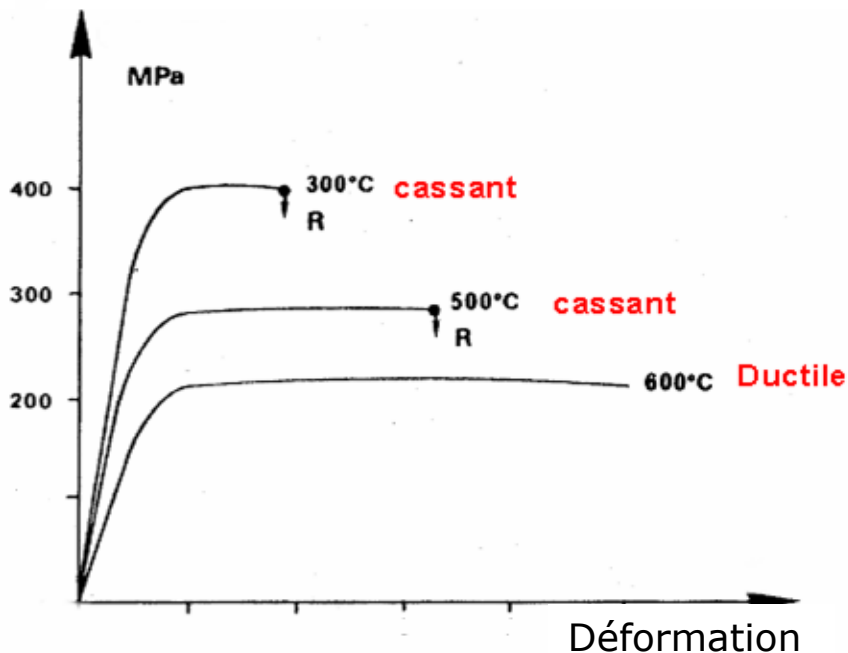
- Dans la zone en gris si l'on applique puis relâche la contrainte, la roche revient à l'état initial (ressort) : domaine élastique
- Pour les 3 courbes a, b, c, la roche se déforme puis casse mais sous des contraintes de plus en plus faibles
- En d la roche se déforme même avec une contrainte très faible.
- Certaines roches cassent + facilement que d'autres dans les mêmes conditions : elles sont dites **compétentes**.

# IV – GÉOLOGIE STRUCTURALE : LES RÔLES DE P, T ET V ET DE LA NATURE DES ROCHES

- ✗ Pour une même contrainte, la nature de la roche, la pression lithostatique, la température et la vitesse de déformation privilégient la déformation / rupture.

Dans les mêmes conditions, la transition ductile – cassant est différente selon la nature des roches ex : argile – calcaire.

*Dans la figure ci-contre, une augmentation de la température fait dériver la réponse du matériau vers le domaine ductile; la tendance pour les autres paramètres est identique*



# IV - GÉOLOGIE STRUCTURALE : LES TYPES DE DÉFORMATION EN FONCTION DE LA PROFONDEUR

## Niveau structural

### Supérieur

Failles inverses et charriage

Failles et plis

### Moyen

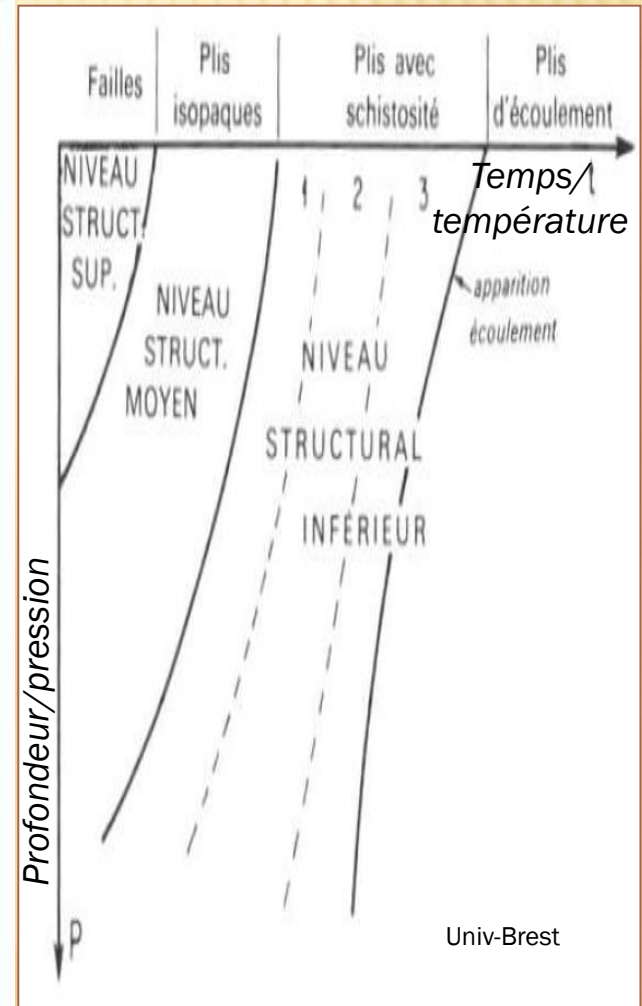
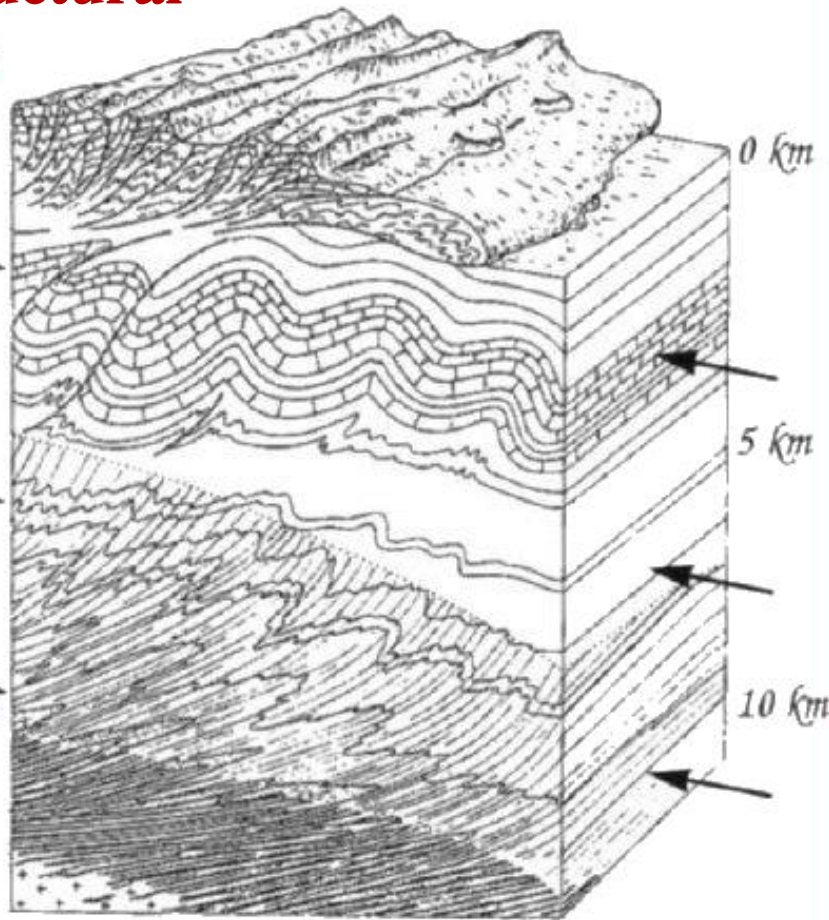
Schistosité

### Inférieur

Métamorphisme

Foliation

Fusion



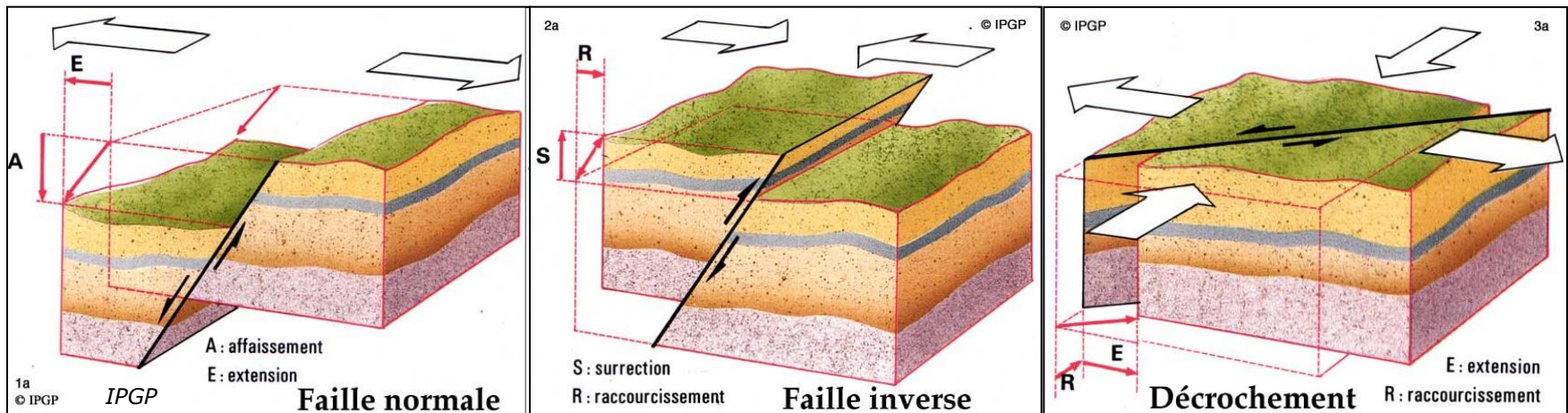
Univ-Brest

M. Mattauer, Montpellier



# IV – GÉOLOGIE STRUCTURALE : LES FAILLES

- ✗ Sont toujours en domaine cassant... et avec un déplacement



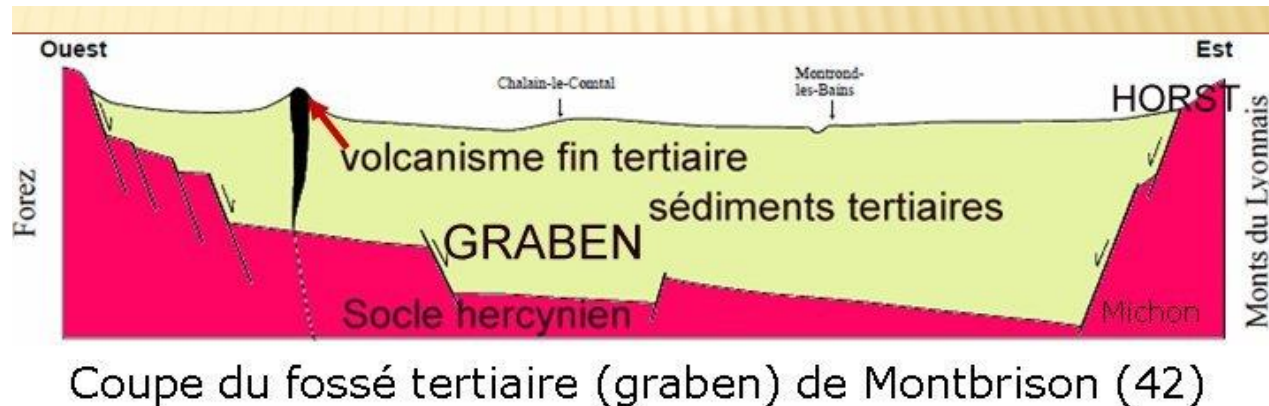
- ✗ Le **rejet** de la faille correspond à son importance; à l'échelle régionale les failles sont similaires ex rifts.
- ✗ Faille **normale** en extension, faille **inverse** en compression, **décrochement** en glissement horizontal.
- ✗ Ces différents objets se mesurent par rapport à l'horizontale



# IV - GÉOLOGIE STRUCTURALE : LES RIFTS

- ✗ En distension à l'échelle régionale en contexte continental ou océanique; succession de failles normales encadrant une zone déprimée = graben; une zone surélevée = horst. Association de horsts et grabens.
- ✗ Souvent prélude à du volcanisme.

Ces failles, groupées ou non, sont des drains pour les circulations de fluides ou d'eau : sources thermales.

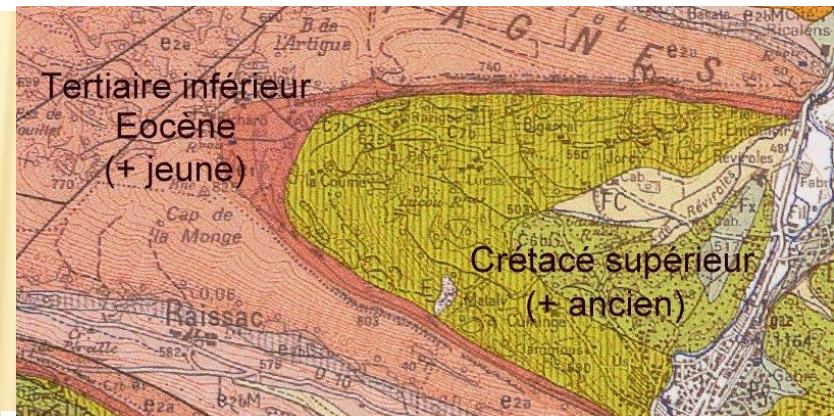
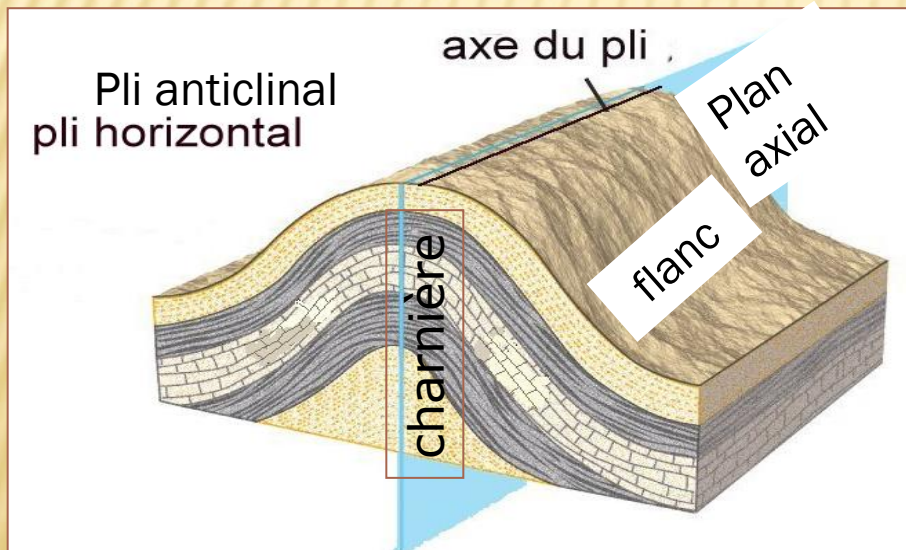


Le même graben  
vu du ciel

source : géoportail

# IV – GÉOLOGIE STRUCTURALE , ANATOMIE D'UN PLI

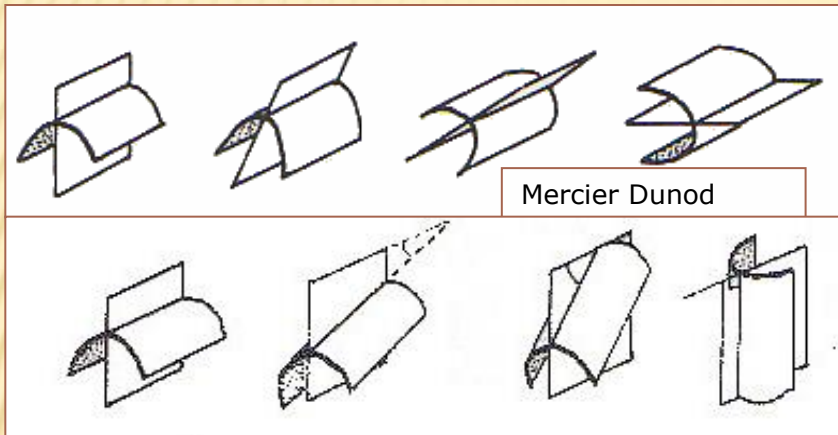
- ✗ Les plis sont le résultat de contraintes en compression (en domaine ductile)
- ✗ On distingue les anticlinaux (fermés vers le haut) ou les synclinaux (ouverts vers le haut)
- ✗ Un pli est défini par son plan axial, sa charnière ses flancs et sa forme générale (p. suivante).



*Dans un anticlinal ce sont les couches les + anciennes qui occupent le cœur; dans un synclinal ce sont les couches les + récentes.*  
*Anticlinal de Lavelanet source : Infoterre*

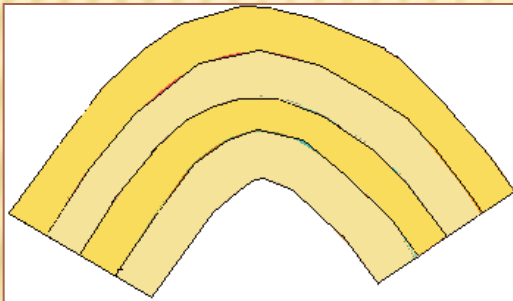


# IV – GÉOLOGIE STRUCTURALE : SORTES DE PLIS

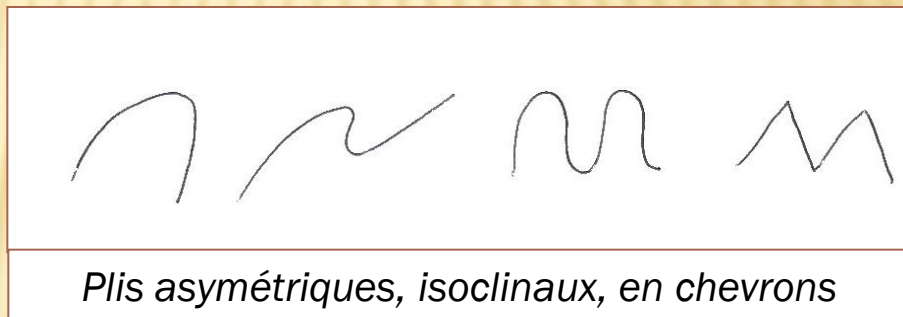


Classement des plis par position du plan axial: pli droit (symétrique), déjeté, déversé, couché;

Classement par plongement de l'axe de horizontal à vertical.

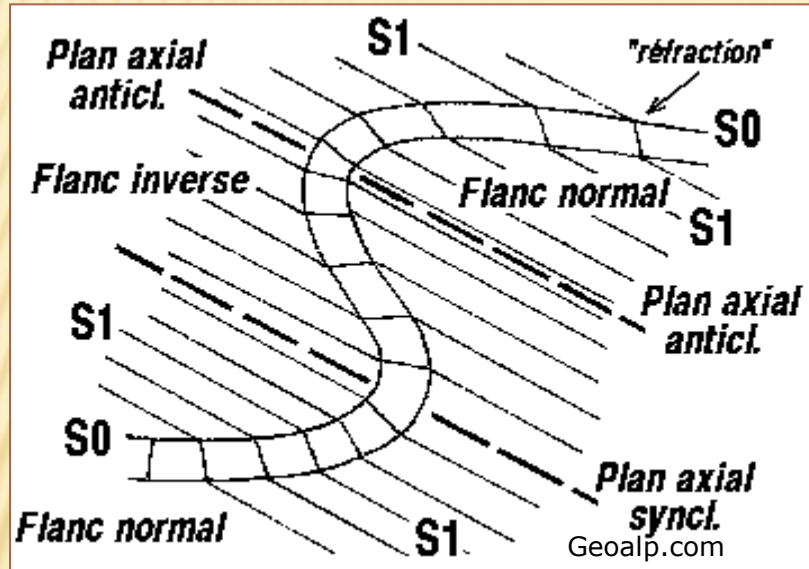


*Pli isopaque : toutes les couches gardent la même épaisseur*



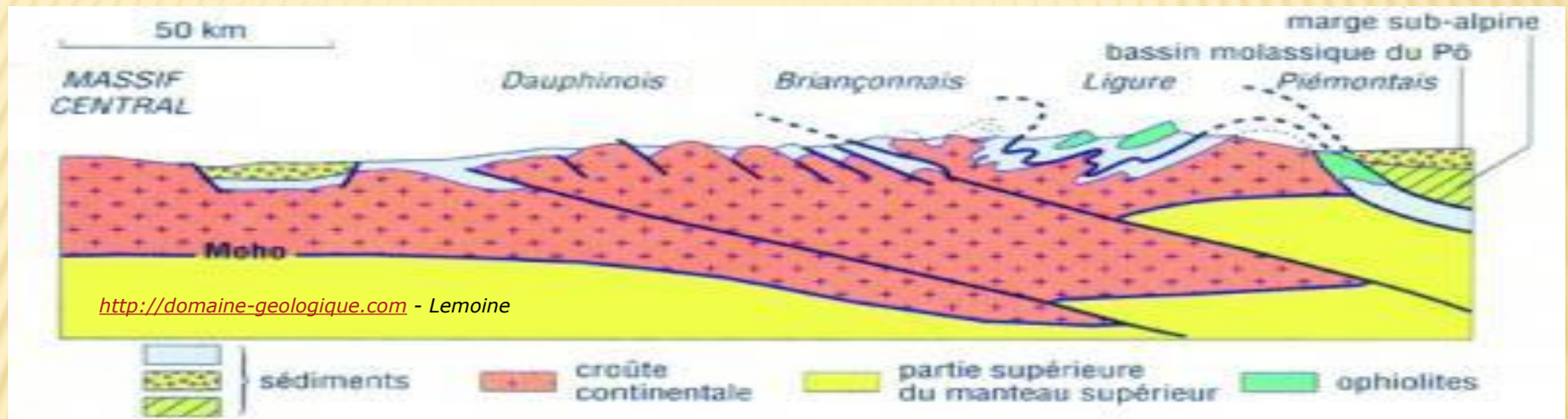
*Plis asymétriques, isoclinaux, en chevrons*

# IV – GÉOLOGIE STRUCTURALE : LES PLIS, LA SCHISTOSITÉ



- ✗ Déformation dite « souple » ou « ductile »
- ✗ Les minéraux recristallisent sous contrainte → acquisition d'une schistosité ou d'une foliation.
- ✗ Notée S1 (par opposition aux strates notées S0), elle envahit toute la roche à l'échelle régionale ...
- ✗ S1 tend à être parallèle aux axes des plis.

# IV – GÉOLOGIE STRUCTURALE - CHARRIAGES, NAPPES ET CHEVAUCHEMENTS



Lors de processus de convergence (compression), des terrains (appelés allochtones) **sont décollés de leur base** et viennent recouvrir des terrains autochtones parfois plus jeunes.

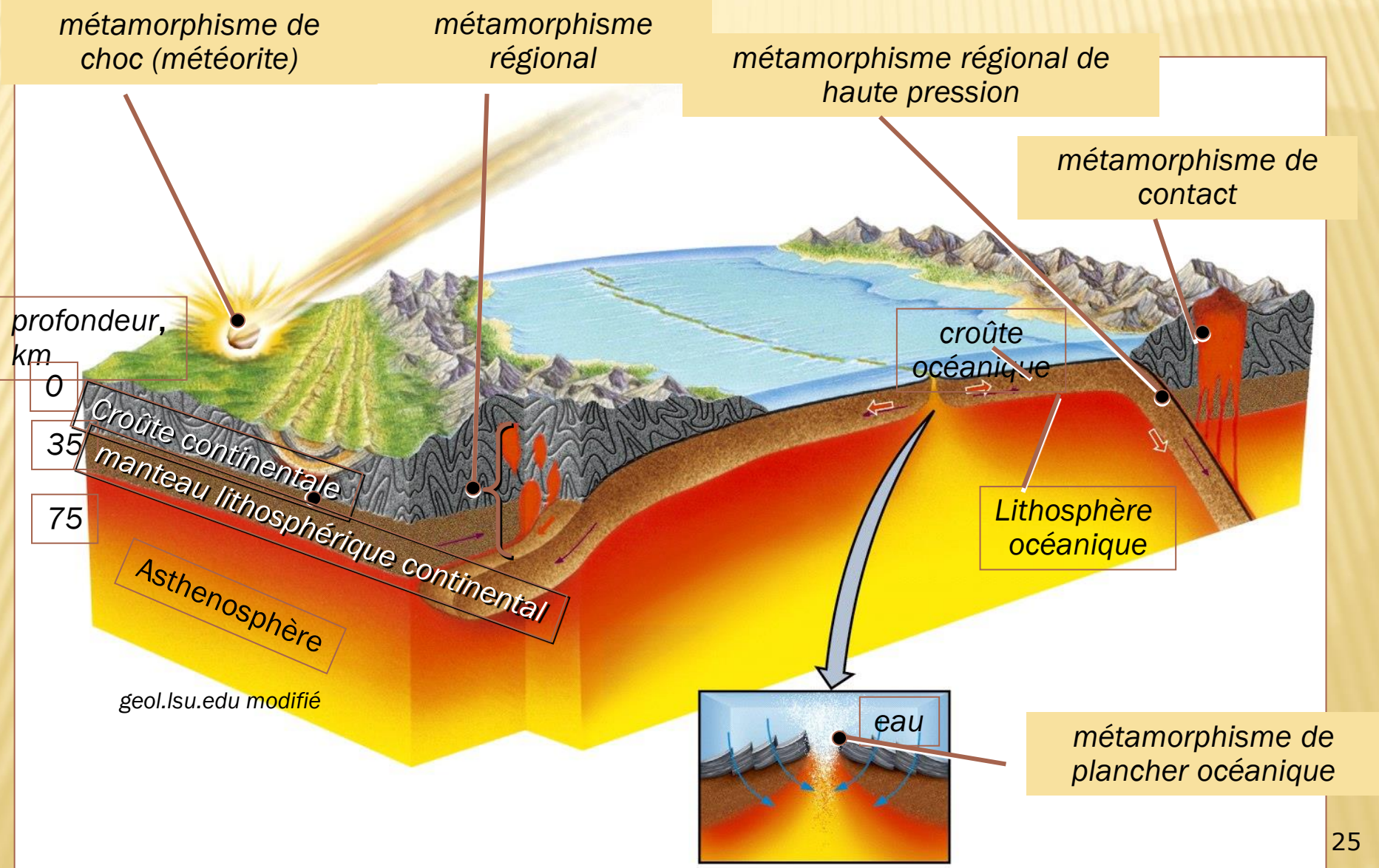
Cet empilement contribue à un épaississement de la croûte continentale qui est une caractéristique des chaînes de montagnes en cours de surrection. Ce phénomène peut se produire en domaine sédimentaire (le long d'un talus continental) ou en domaine profond par exagération d'un pli couché.



# IV - MÉTAMORPHISME

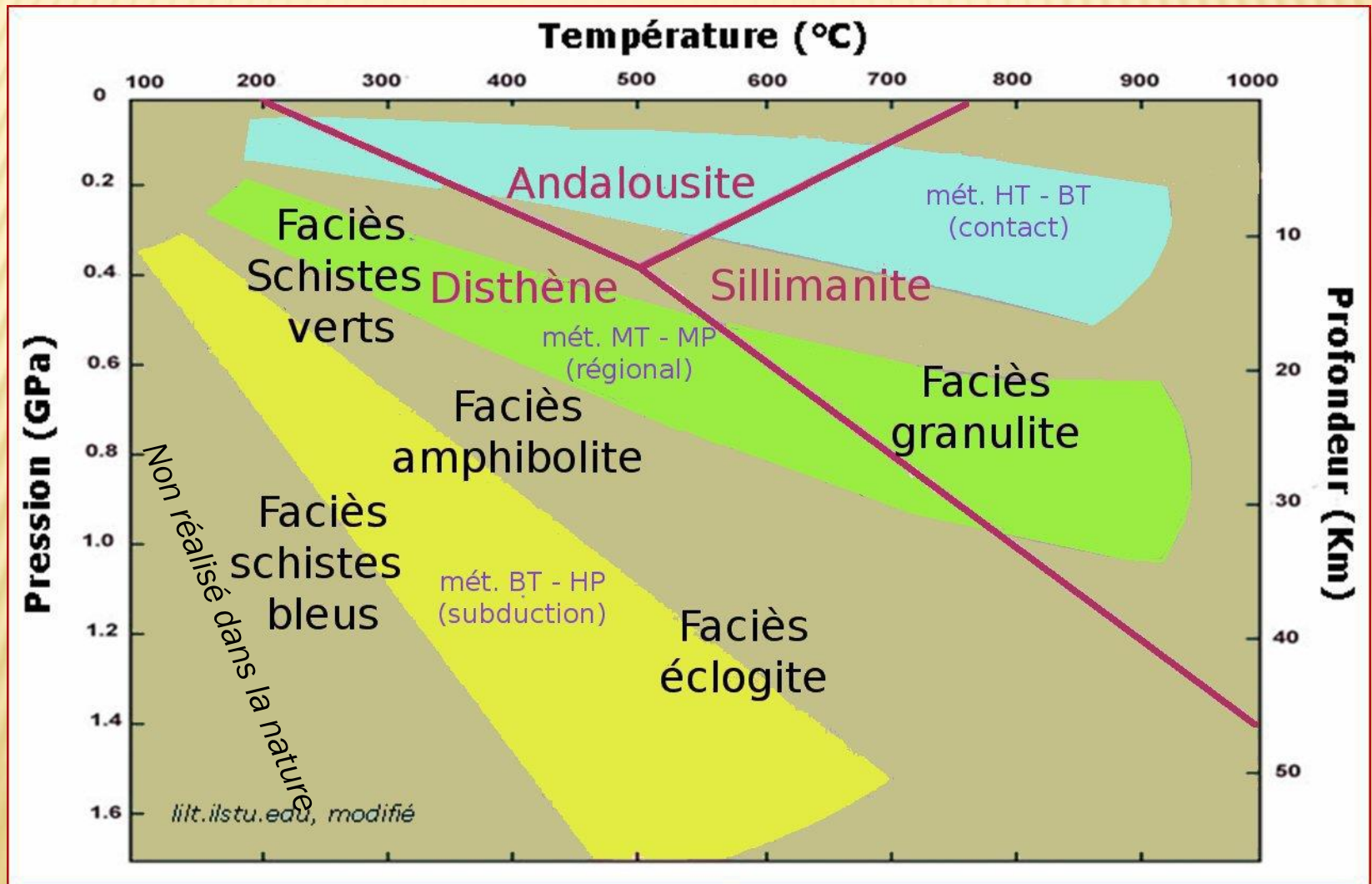
- ✗ Le métamorphisme se produit à la suite d'un accroissement de T et P au cours duquel **une roche initiale** appelée protolite **se transforme à l'état solide**;
- ✗ Une formation géologique est emmenée en profondeur (collision ou subduction);
- ✗ Des minéraux adaptés aux nouvelles conditions apparaissent;
- ✗ Cette transformation est opérée à chimisme global constant,
- ✗ Elle est essentiellement prograde (dans un seul sens), augmentation des pressions et températures.

# IV – LES CONTEXTES GÉOLOGIQUES DU MÉTAMORPHISME :

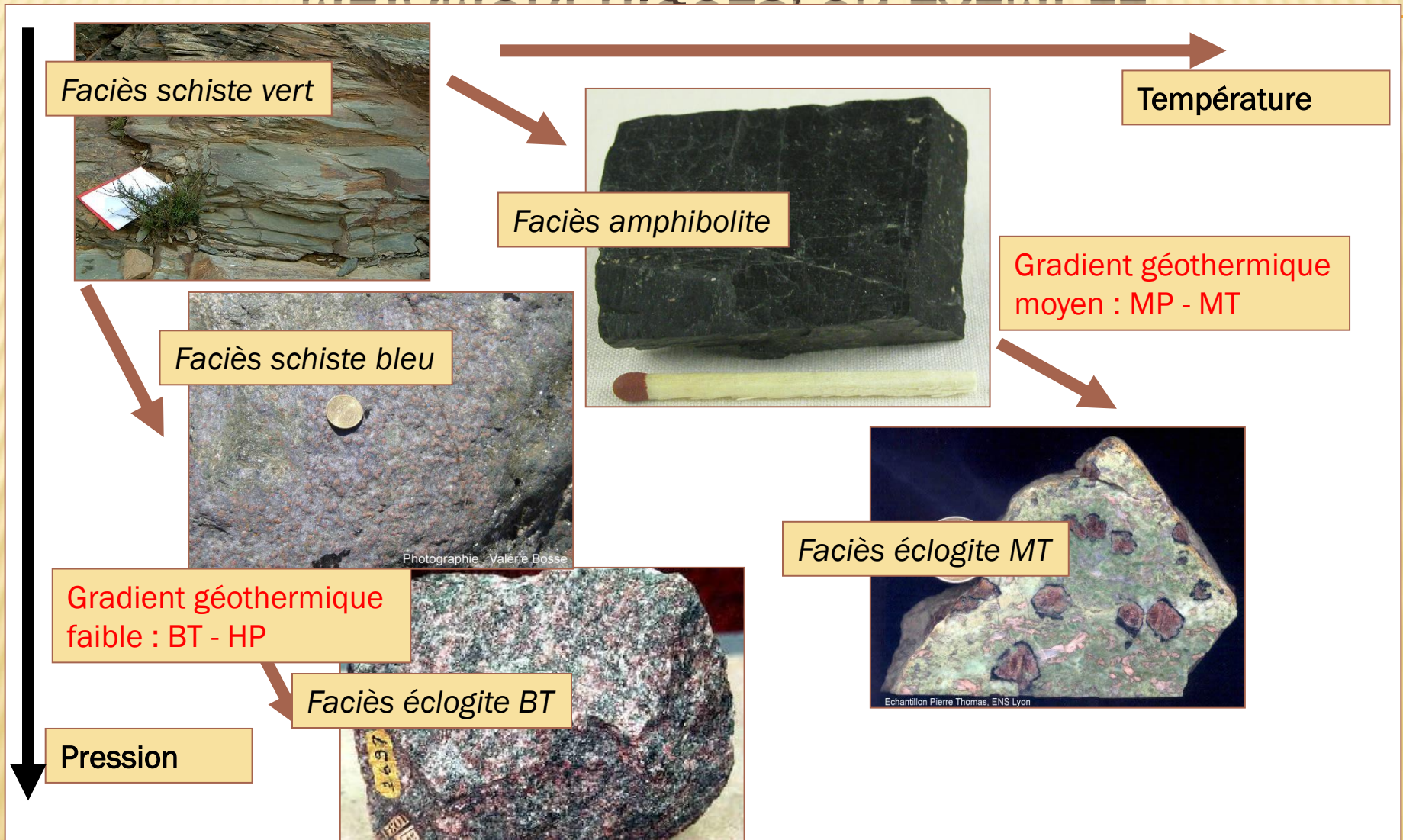




# IV - GRADIENTS DE MÉTAMORPHISME



# IV – MÉTAMORPHISME : FACIÈS, GRADIENTS, SÉRIES MÉTAMORPHIQUES; UN EXEMPLE



La série métamorphique est différente pour chaque protolite; ici une roche de composition basaltique