

GÉOLOGIE : LE MINIMUM VITAL

Première partie : La Terre, ses composants, son évolution

III - Notions de pétrographie

Hubert Bril, Université de Limoges

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

III - NOTIONS DE PÉTROGRAPHIE...

...du minéral à la roche

III – NOTIONS DE GÉOCHIMIE

- ✖ Dans la croûte terrestre, les éléments les plus représentés sont dits majeurs > 1% ; ce sont (dans l'ordre d'importance) Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K.
- ✖ Les éléments mineurs entre 0.1 et 1% (Ti, Mn, P)
- ✖ Les éléments en traces (métaux par exemple) < 0.1% soit 1000 ppm ou mg/Kg
- ✖ Les proportions de ces éléments sont différentes selon les roches (basalte, granite...).

III - LES MINÉRAUX

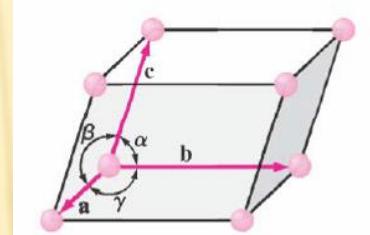
Les roches, les sols et les sédiments sont constitués de minéraux (très abondants) et de phases amorphes moins abondantes mais concentrées dans les niveaux géologiques proches de la surface de la Terre (sols).

Les minéraux sont des cristaux naturels homogènes chimiquement et organisés.

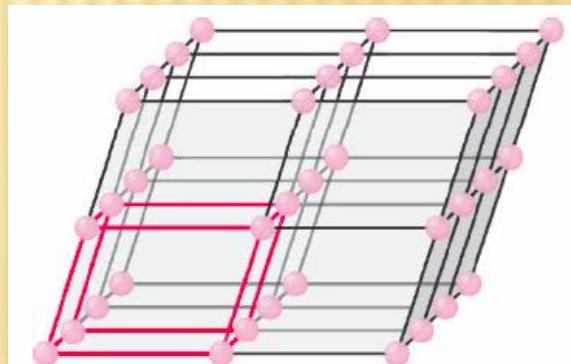
NB : les chimistes emploient souvent le mot « minéral » pour « élément chimique » ne pas confondre.

III – LES MINÉRAUX, LA MAILLE

- L'unité de base est la **maille**; les atomes sont disposés régulièrement sur des axes. La maille est définie par des paramètres : distance entre atomes (a , b , c en nm); angle des axes entre eux (α , β , γ en degrés).
- La maille se répète dans les trois dimensions de l'espace.



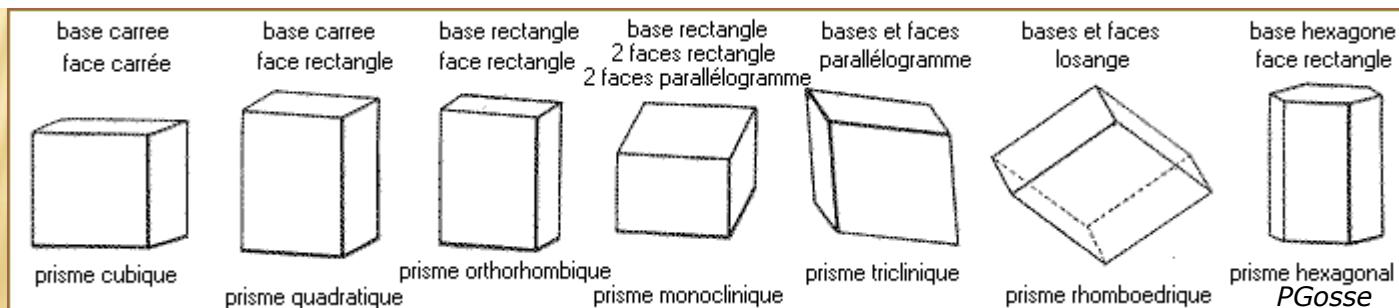
*Un exemple de maille ;
distance entre atomes :
quelques angströms*



*Répétition de la maille
élémentaire en rouge*

III – LES MINÉRAUX; Systèmes cristallins

- La composition chimique des minéraux est déterminée par la nature des atomes présents : maille élémentaire et substitutions.
- Il existe **sept systèmes cristallins** (cubique, quadratique, orthorhombique, rhomboédrique, hexagonal, monoclinique, triclinique).
- À l'intérieur d'un minéral le remplacement entre deux atomes est possible si leur rayon ionique ne diffère pas de plus de 15 %



III – LES MINÉRAUX

- ✖ **Il existe plus de 4 000 minéraux**
- ✖ **Leurs propriétés** physiques, chimiques découlent des structures, des types de liaisons et des éléments présents (Si, O, etc.);
- ✖ **Ces propriétés sont constantes**
- ✖ Ces propriétés permettent la détermination : ce sont dureté, clivages, forme, macles, densité, propriétés optiques etc.
- ✖ Groupes de minéraux, = groupes de propriétés ou de composition (ex carbonates, sulfures...)

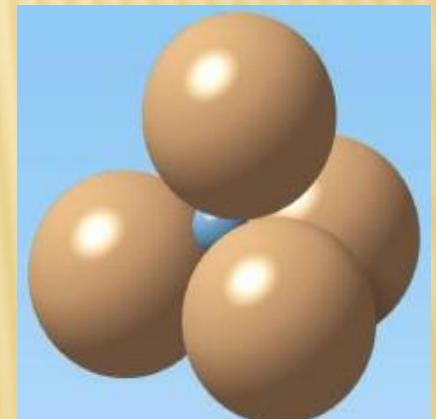
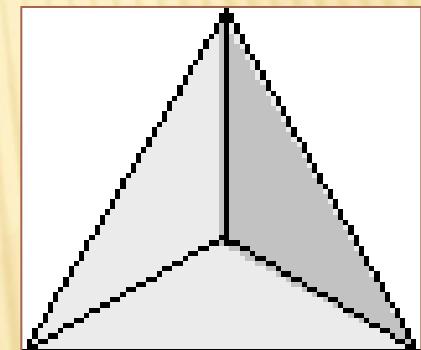
III – LES FAMILLES DE MINÉRAUX

Par ordre décroissant d'abondance, les minéraux appartiennent aux familles suivantes

- ✖ **Silicates** : 90% de la croûte terrestre ; ex : quartz, feldspaths, pyroxènes...
- ✖ **Carbonates** en majorité dans les roches sédimentaires : calcite.
- ✖ **Oxydes** dans les niveaux superficiels et dans le manteau supérieur.
- ✖ **Sulfures**, la plupart des métaux sont sous cette forme; milieux réduits : pyrite (FeS_2) galène (PbS)...

III – CLASSIFICATION DES SILICATES

- ✖ L'unité de base est le tétraèdre $(\text{SiO}_4)^{4-}$; avec O à chacun des sommets
- ✖ Les tétraèdres sont reliés entre eux et dessinent des motifs (O communs) : chaînes, cercles, plans...
- ✖ Les charges vacantes sont comblées par des cations exemple : olivine Mg_2SiO_4
- ✖ Ces cations sont généralement des cations majeurs : Fe, Mg, Ca, Na, K.



Taille réelle des atomes
<http://geophysics.ou.edu>

III – CLASSIFICATION DES SILICATES

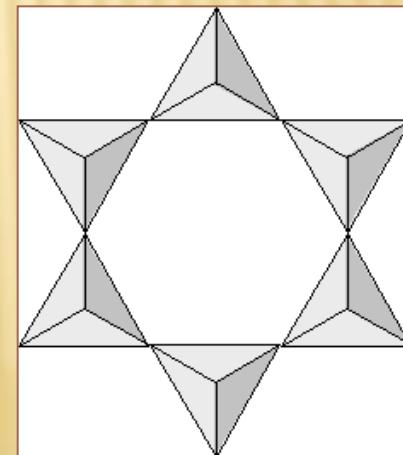
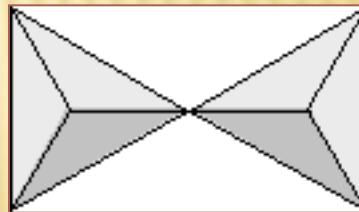
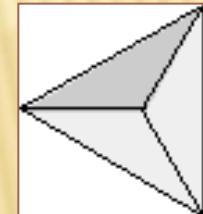
- Nésosilicates : tétraèdres isolés; olivines, grenat, zircon (andalousite, sillimanite, disthène).



- Sorosilicates : deux par deux; épidote.

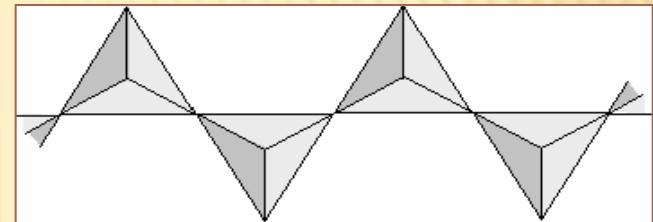


- Cyclosilicates : en anneaux par 3, 4 ou 6; tourmaline, beryl, codiérite.

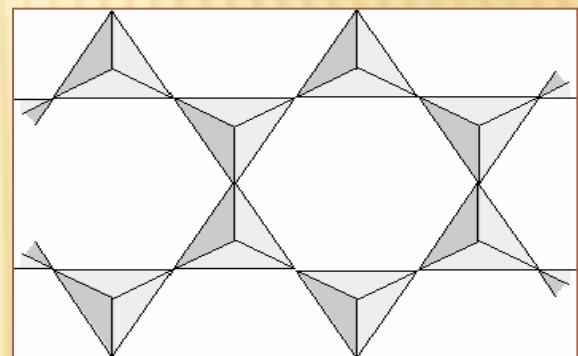


III - CLASSIFICATION DES SILICATES

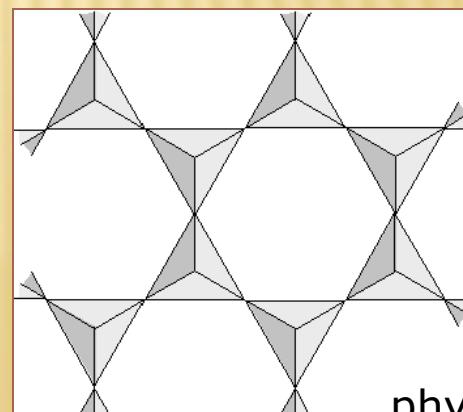
- Inosilicates : en chaînes simples pyroxènes ou doubles amphiboles.
- Phyllosilicates : en couches, dans un plan micas, argile.
- Tectosilicates : empilement des tétraèdres dans les trois dimensions, feldspath, quartz.



inosilicate



Inosilicate chaînes doubles



phyllosilicate₁₃

III – LES MINÉRAUX SONT DES TÉMOINS DU CONTEXTE DE LEUR FORMATION

On ne rencontre pas n'importe quel minéral n'importe où :

Silicates : magmatisme ou métamorphisme (+ autres contextes).

Carbonates : composante biochimique.

Oxydes : zones oxydantes, froides (surface de la Terre) ou chaudes (manteau...).

Sulfures : zones réduites profondes ou en surface.

Hydroxydes : action de l'eau minéraux hydroxylés (processus superficiels).

Argiles (silicates d'Al) : produits de l'altération.



III – QUATRE GRANDES FAMILLES DE ROCHES

- Roches **métamorphiques** sont en feuillets; se forment à fortes pression et température ; exemple **gneiss, schistes, ardoises...**
- Roches **plutoniques** ont des cristaux occupant tout l'espace; se forment par cristallisation d'un magma en profondeur; exemple **granites, diorites, gabbros...**
- Roches **volcaniques** ont une partie non cristallisée; se forment par solidification d'un magma à la surface de la Terre; exemple **basaltes, trachytes, rhyolites...**
- Roches **sédimentaires** comportent des traces de vie; elles se forment à pression et température ambiantes; exemple **grès, calcaires, argiles, évaporites...**

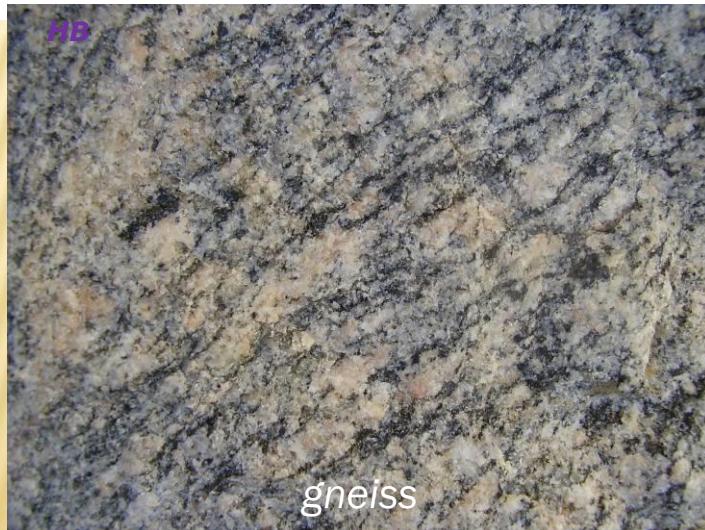
III – LES ROCHES MÉTAMORPHIQUES

Les roches métamorphiques se forment pour la plupart dans un environnement de collision, c'est à dire **au sein de chaînes de montagnes**.

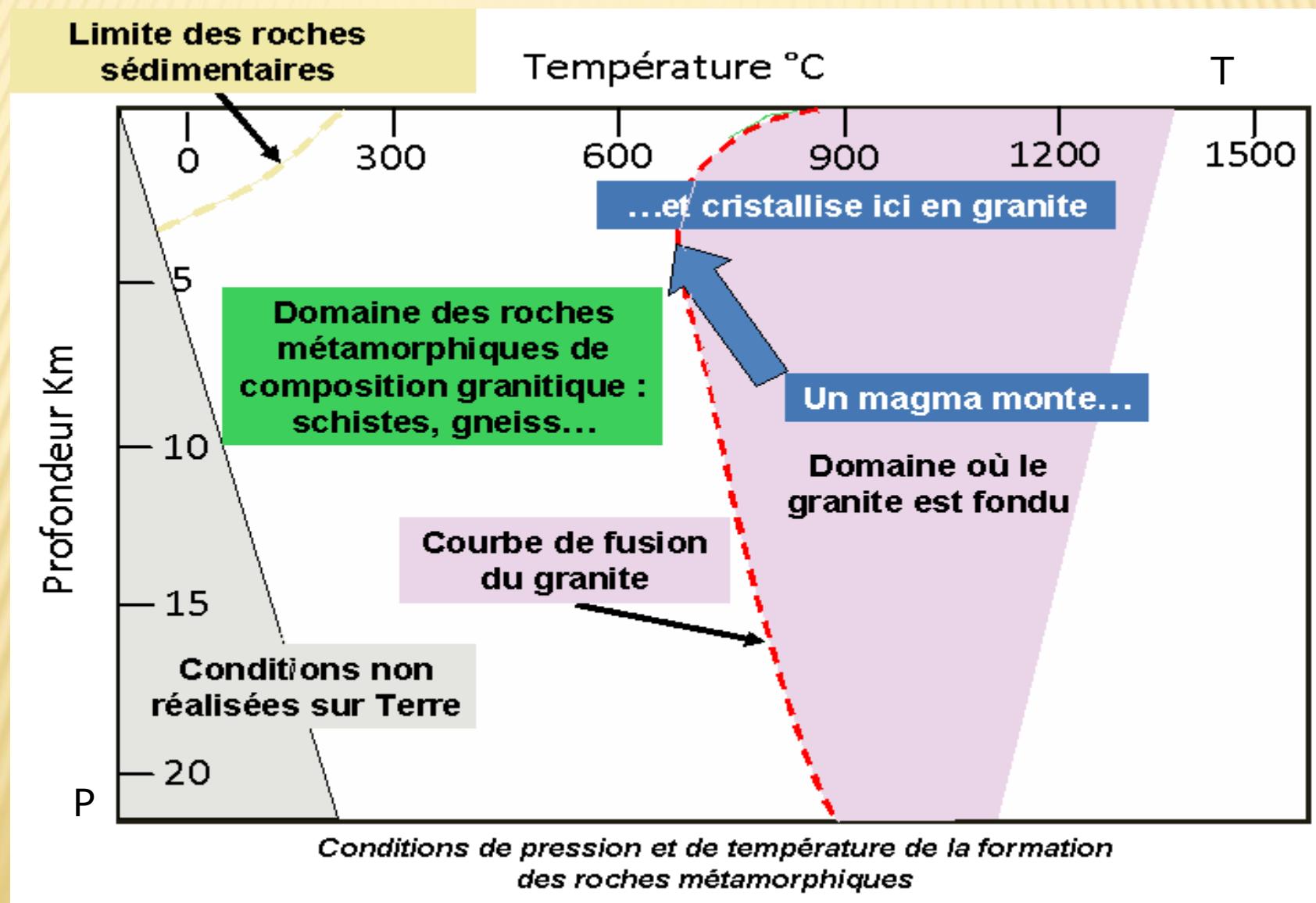
Il existe de nombreux types de roches métamorphiques en fonction de la roche d'origine (sédimentaire, volcanique ...) et du degré de métamorphisme (conditions de pression, température : P, T, basses, moyennes ou fortes; ex BP-BT, MP – MT etc.). Les roches métamorphiques se transforment à l'état solide mais recristallisent sous **contraintes orientées** (feuilletés).

III - LES ROCHES MÉTAMORPHIQUES...

- ✖ ont un débit en feuillets dans la plupart des cas.
- ✖ proviennent de la transformation en profondeur de **roches préexistantes** (ou protolites).
- ✖ sont dites **ortho** si elles dérivent de roches ignées (volcaniques ou plutoniques) ; **para** si elles proviennent de roches sédimentaires.

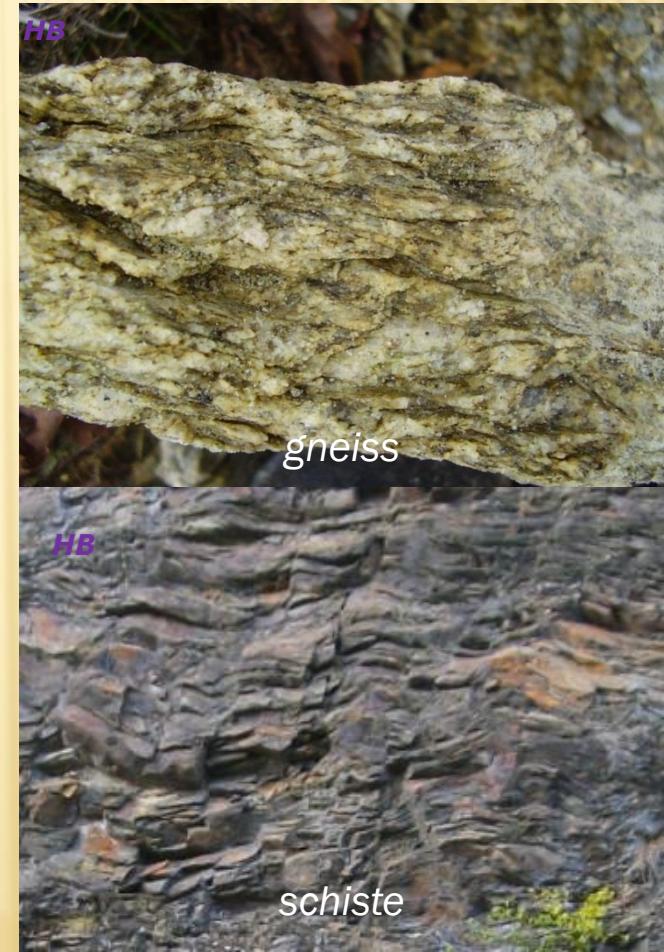


III – CONDITIONS P ET T DU MÉTAMORPHISME



III – QUELQUES ROCHES MÉTAMORPHIQUES

- ✖ **Gneiss** contiennent quartz, feldspaths micas en proportions variables ; protolite = granite (orthogneiss) ou argile (paragneiss) ; conditions MT-MP à HP-HT.
- ✖ **Micaschistes**, roche feuilletée, aspect brillant contenant des cristaux (mm à cm) de quartz et mica(s); présence fréquente de silicates d'Al; protolite = argile ; conditions MT-MP.
- ✖ **Schistes**, roche à cristaux fins ; micas (dominants) et quartz couleur foncée ; protolite argile, marne; conditions BP-BT à MP-MT.



III – QUELQUES ROCHES MÉTAMORPHIQUES

- ✖ **Quartzites** : à dominante de quartz; protolite : grès; débit plus grossier que les schistes ; toutes conditions de métamorphisme.
- ✖ **Amphibolites** : amphiboles et feldspaths plagioclases ; couleur plutôt verte; protolite = basalte ou gabbro, marnes; conditions MP-MT.
- ✖ **Marbres** : calcite en grands cristaux ; toutes couleurs; protolite = calcaire; toutes conditions de métamorphisme.



III – RECONSTITUER LES CONDITIONS DU MÉTAMORPHISME



Métamorphisme croissant dans le sens de la flèche : chlorite, puis biotite puis cordiérite

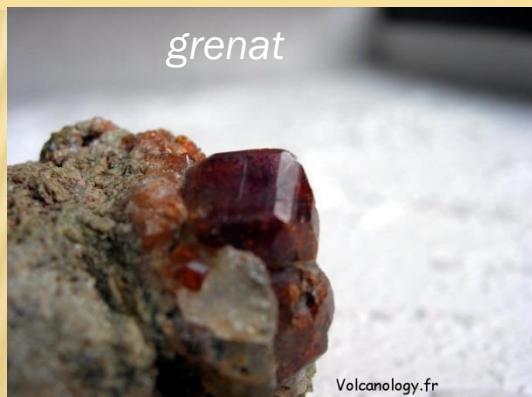
- On suit sur le terrain les assemblages de minéraux : certains assemblages ne sont stables que dans une certaine gamme P, T exemple Moyenne P – Moyenne T.
- Sur la carte, on reporte ensuite les **isogrades**, c'est à dire les limites à partir desquelles apparaissent ou disparaissent les minéraux ou assemblages de minéraux.

III – MINÉRAUX DE MÉTAMORPHISME

Tous ces minéraux sont des indicateurs des pressions et températures atteintes lors du métamorphisme mais leur présence dépend aussi de la chimie de la roche

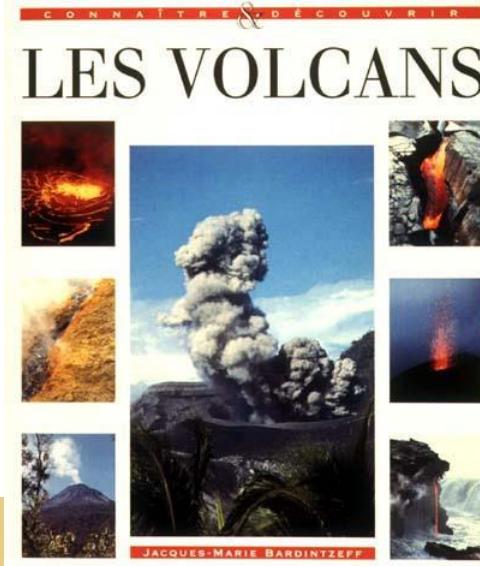


Les trois principaux silicates d'alumine : sillimanite = Haute température (HT); andalousite : Basse pression (BP) BT; disthène : HP BT



III – ROCHES MAGMATIQUES VOLCANIQUES

- Les roches volcaniques se forment à la surface de la Terre par refroidissement de magmas issus, directement ou non, de la fusion partielle du manteau entre 10 et 100 Km de profondeur.
- Ce magma peut ensuite évoluer dans des réservoirs situés plus près de la surface.
- Les éruptions volcaniques sont dues à la montée de magmas depuis les zones fondues du manteau ou à la vidange totale ou partielle de ces réservoirs.



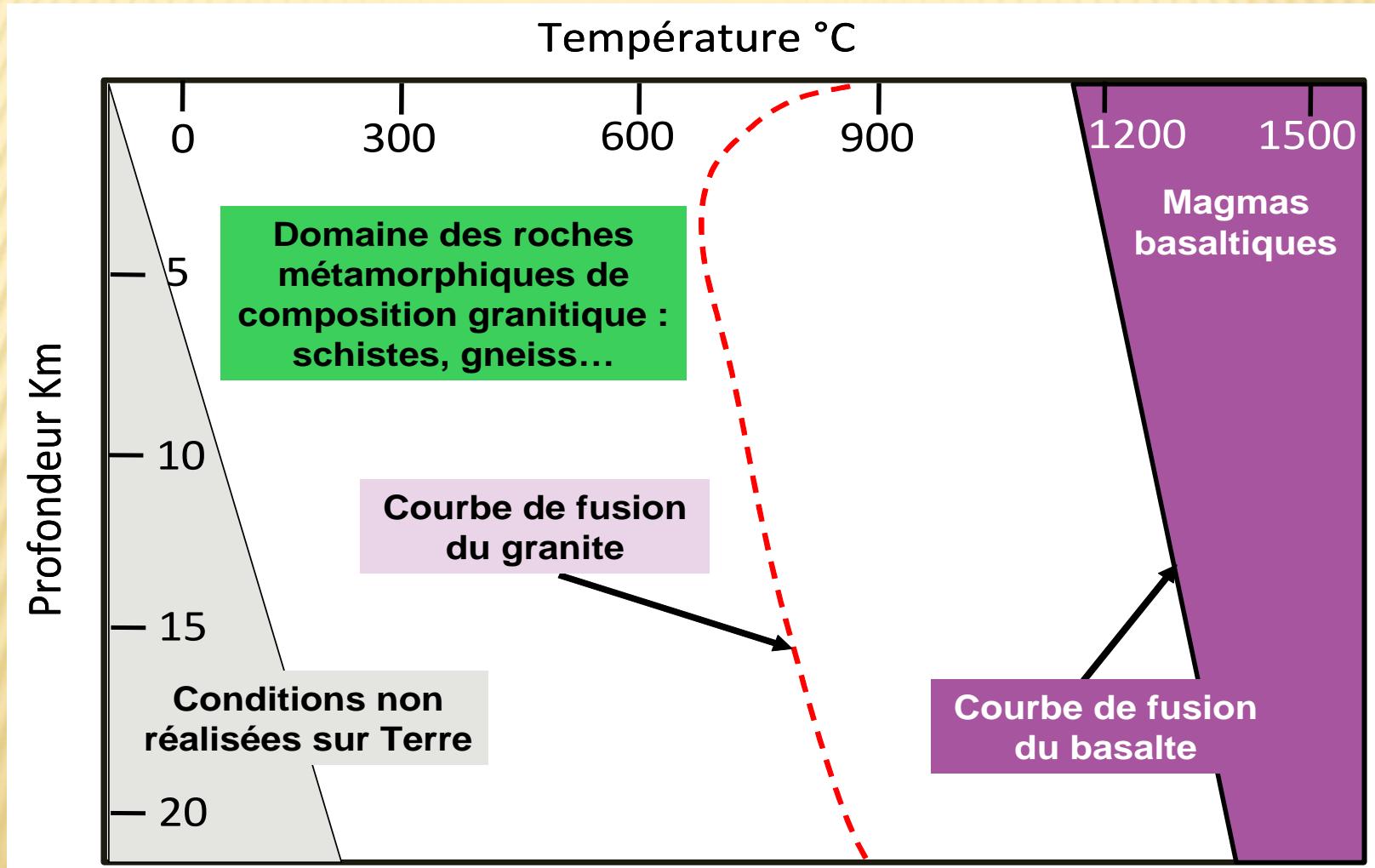
La couverture du livre de J.-M. Bardintzeff illustre la diversité des appareils et des éruptions volcaniques

III- LES ROCHES MAGMATIQUES VOLCANIQUES

- ✖ Elles sont très variées en couleur (y compris pour une même composition), texture etc.
- ✖ Elles sont toujours constituées d'une partie non cristallisée (pâte, matrice) et de cristaux dits « phénocristaux ».
- ✖ Elles peuvent être très hétérogènes (brèches volcaniques).



III – LES ROCHES MAGMATIQUES VOLCANIQUES : CONDITIONS DE FORMATION



Conditions de pression et de température de la formation des magmas basaltiques

III - ROCHES MAGMATIQUES VOLCANIQUES

- ✖ **Basaltes** : couleur noire, pauvres en silice; contiennent olivine (vert) et/ou pyroxène (noir); matrice très abondante noire ou gris foncé.

- ✖ **(Trachy)andésites** : plus clairs à plagioclases (blancs) pyroxènes (noir), amphiboles (noires) dans une matrice grise, plus ou moins soutenue.

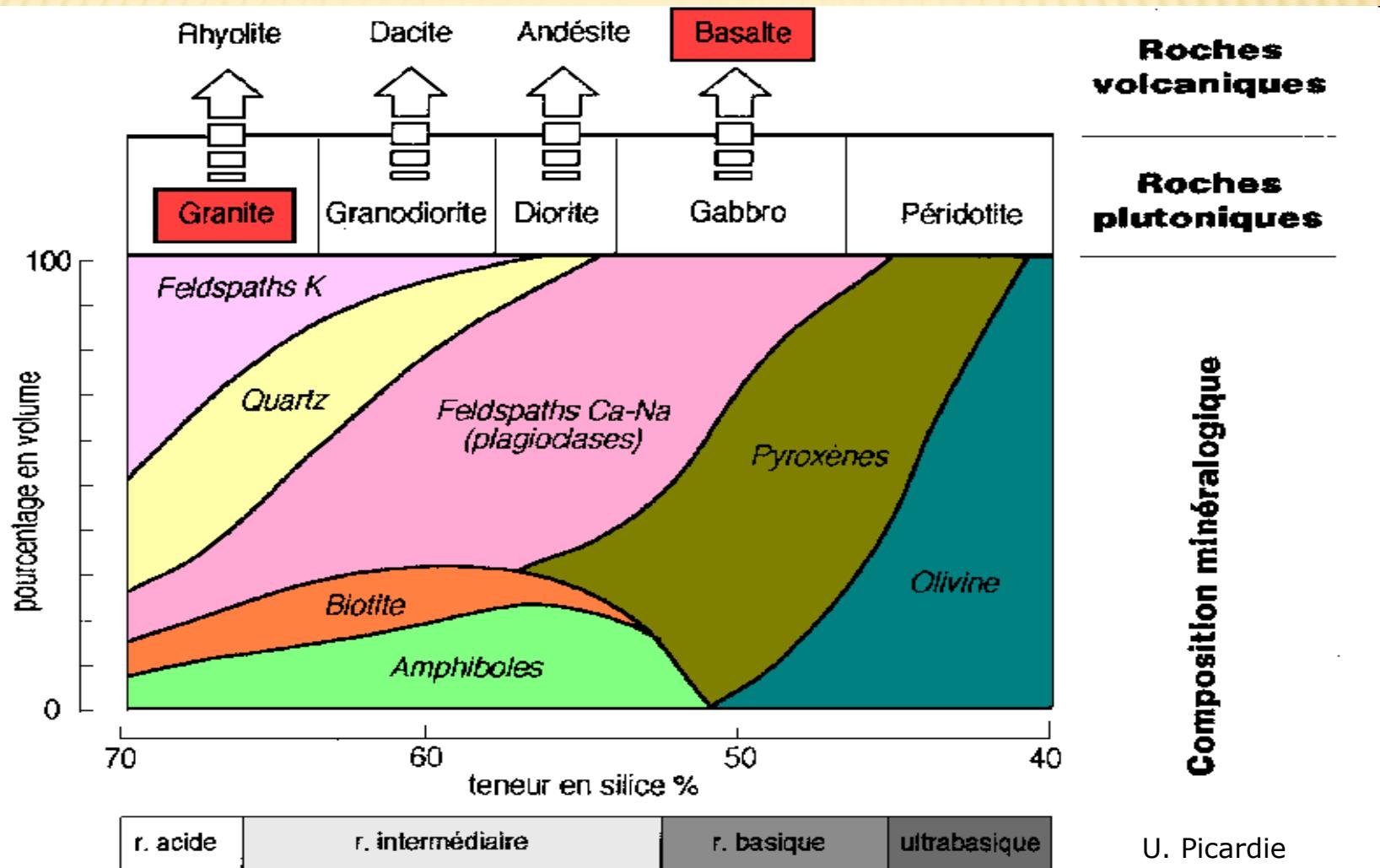


III - ROCHES MAGMATIQUES VOLCANIQUES

- ✖ **Trachytes** : cristaux abondants à sanidine (plagioclases), biotite et/ou amphibole ; matrice gris clair à blanc.
- ✖ **Phonolites** : matrice abondante couleur gris clair minéraux alcalins (sanidine, albite, feldspathoïdes) et pyroxènes; matrice.
- ✖ **Rhyolites** : cristaux abondants à quartz et feldspaths; quelques biotites matrice gris clair à blanc ou rose.



III - CLASSIFICATION : ROCHES MAGMATIQUES VOLCANIQUES ET PLUTONIQUES



III – ROCHES MAGMATIQUES PLUTONIQUES

- ✖ Les roches plutoniques se sont formées entre 5 et 20 kilomètres de profondeur par **cristallisation d'un magma qui n'a pas pu sortir de terre** à la différence des magmas volcaniques.
- ✖ Elles peuvent être des racines de volcans (cas des zones de subduction mais pas seulement) ou se mettre en place sous forme de corps (en général des « plutons » de granites) recouvrant les roches métamorphiques à la fin des orogenèses.



Les roches plutoniques sont entièrement cristallisées; ici des cristaux de plusieurs millimètres dans un granite rose

III – ROCHES MAGMATIQUES PLUTONIQUES

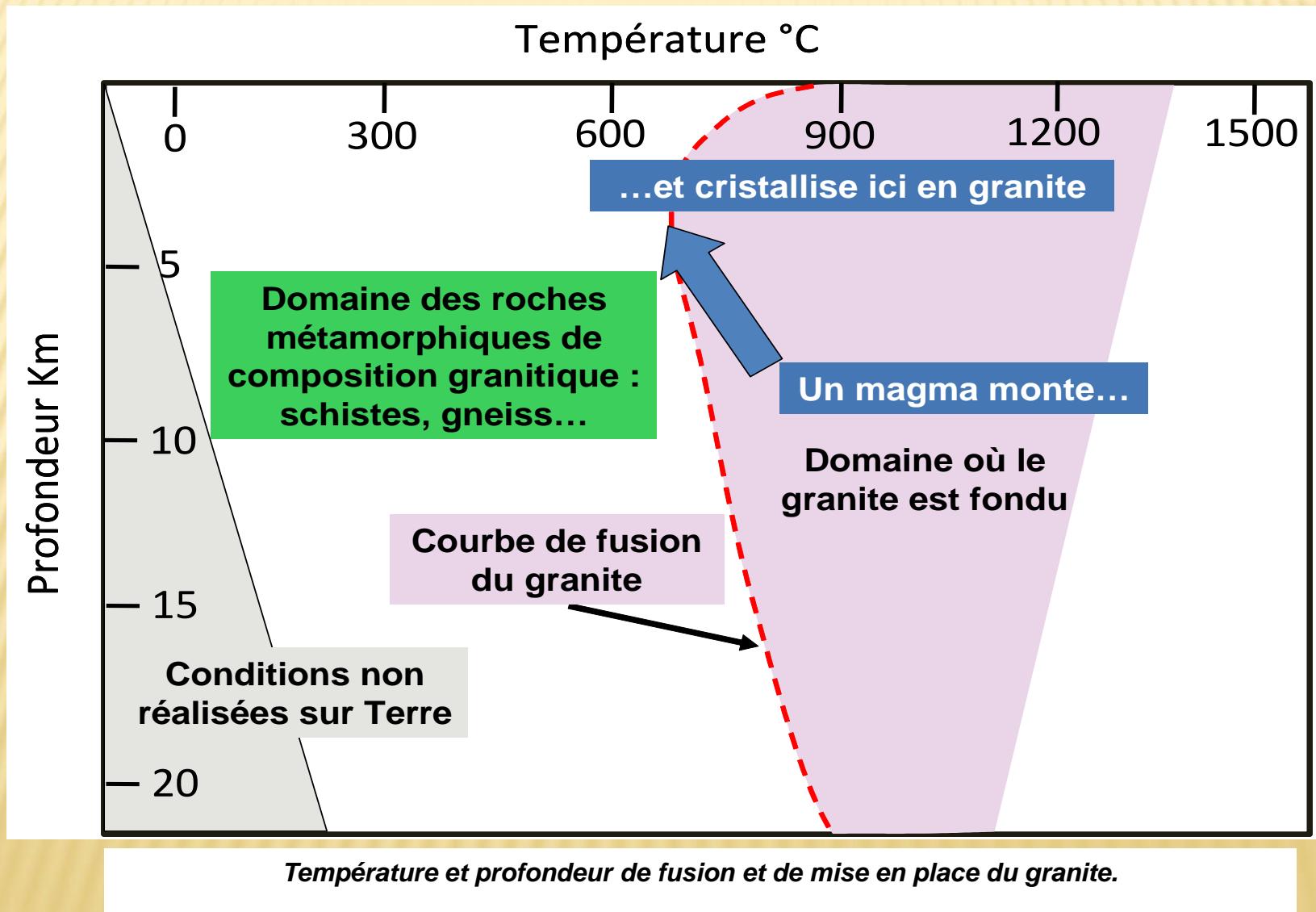


Boules de granite (Creuse)

III – ROCHES MAGMATIQUES PLUTONIQUES

- ✖ Elles sont variées en couleur et en aspect;
- ✖ Les plus fréquentes sont les granites;
- ✖ Elles sont une structure non orientée (= équante);
- ✖ Elles sont entièrement cristallisées, mais les cristaux peuvent avoir des tailles assez différentes (mm à cm ou plus);
- ✖ Il existe des faciès de transition avec les roches volcaniques (roches à cristaux plus petits).

III – LES ROCHES MAGMATIQUES PLUTONIQUES : CONDITIONS DE FORMATION



III – LES ROCHES MAGMATIQUES PLUTONIQUES

- ✖ **Granites** : quartz (gris), feldspaths alcalins (K et Na), mica(s). Roche de couleur claire grise, rouge ou jaune.
- ✖ **Diorite** : feldspath (blanc) plagioclase, amphibole (vert), rarement quartz. Roche plus foncée que le granite.
- ✖ **Migmatite** : roche qui possède à la fois des caractères métamorphiques (foliation) et plutoniques (provient de la fusion partielle du gneiss). Aspect général désordonné.

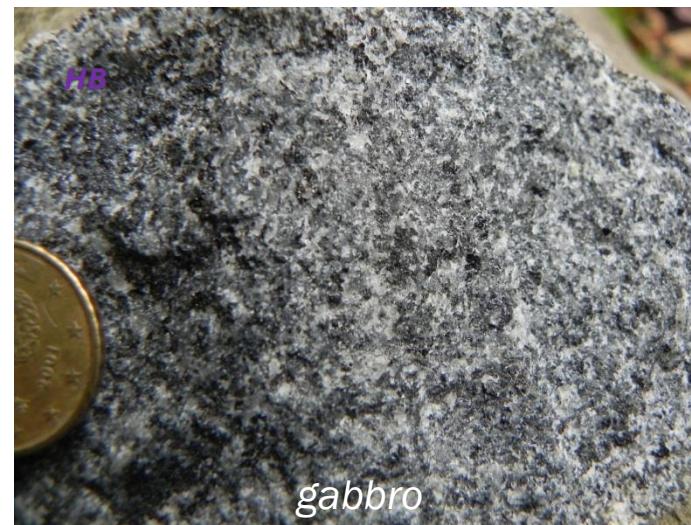


III – LES ROCHES MAGMATIQUES PLUTONIQUES

- **Gabbro** : roche assez sombre comprenant feldspath plagioclase, pyroxène, olivine. Roche abondante dans la croûte océanique.
- **Péridotite** : couleur vert foncé; roche à pyroxène, olivine, spinelles. Roche du manteau.



péridotite



gabbro

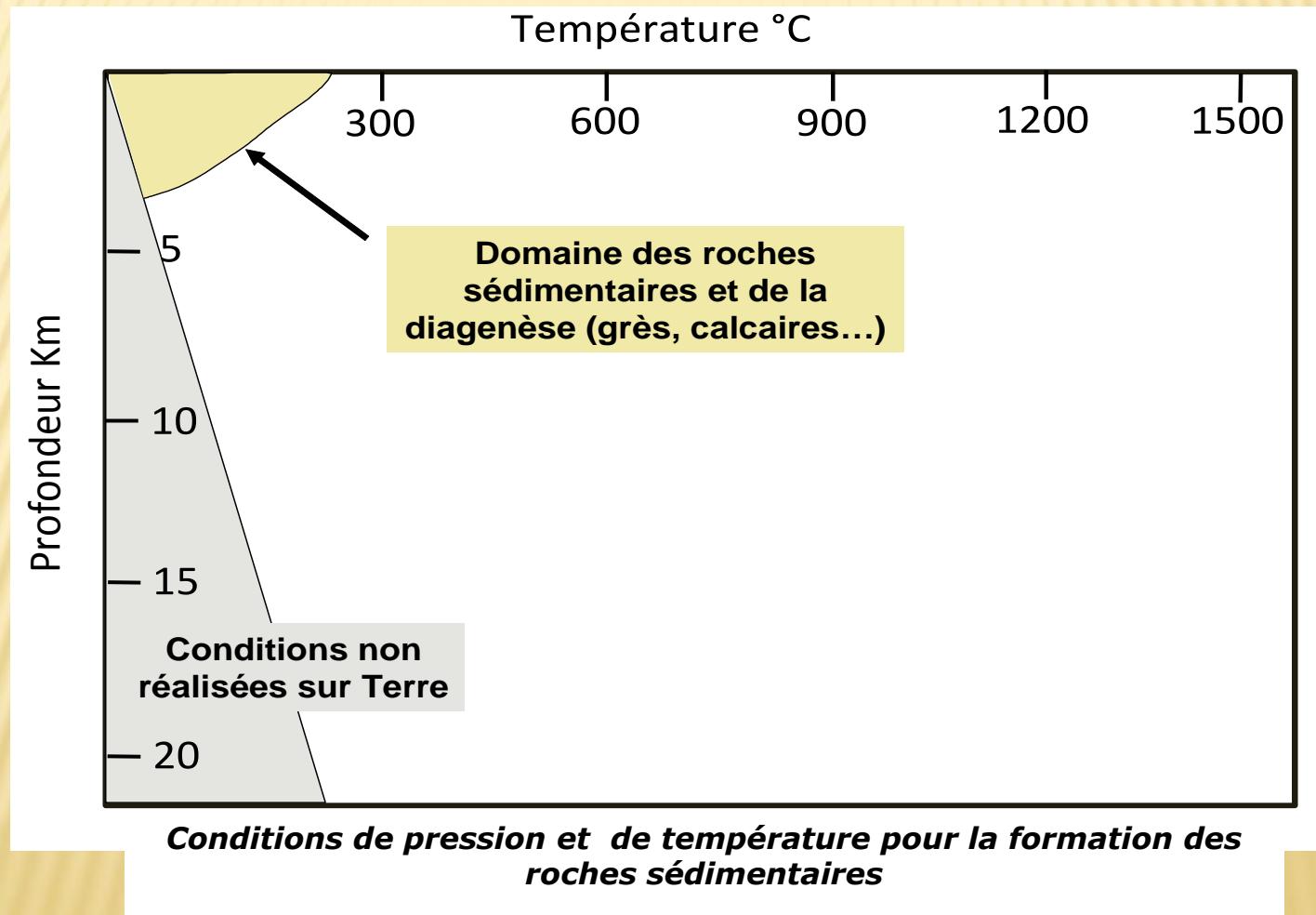
III – LES ROCHES SÉDIMENTAIRES

- D'origine détritique, chimique ou biologique, les roches sédimentaires se sont formées **à la surface de la Terre ou dans les lacs, mers et océans;**
- elles sont disposées en couches d'épaisseur variable (strates),
- et contiennent fréquemment des traces de vie (fossiles).

III – LES ROCHES SÉDIMENTAIRES



III – LES ROCHES SÉDIMENTAIRES : CONDITIONS DE FORMATION



III – ROCHES SÉDIMENTAIRES DÉTRITIQUES

- **Roches détritiques** en fonction de la granulométrie : conglomérats (cm et +), grès (mm), pélites ou silts (100 µm), argiles.
- **Roches d'origine biologique** : charbon, pétrole.



III – ROCHES SÉDIMENTAIRES D'ORIGINE (BIO)CHIMIQUE

- **Roches d'origine biochimique** (équilibre du CO₂): calcaire, dolomies; faciès différents selon les conditions du dépôt : présence de débris d'êtres vivants, de morceaux de roches, ou au contraire, roches très homogènes (boues).
- **Roches d'origine chimique** : évaporites qui se sont déposées dans des marais salants naturels en fonction inverse de leur solubilité (gypse, sels de Na puis sels de K).

