

Cours de Géoarchéologie

Yoann Chantreau : yoann.chantreau@culture.gouv.fr

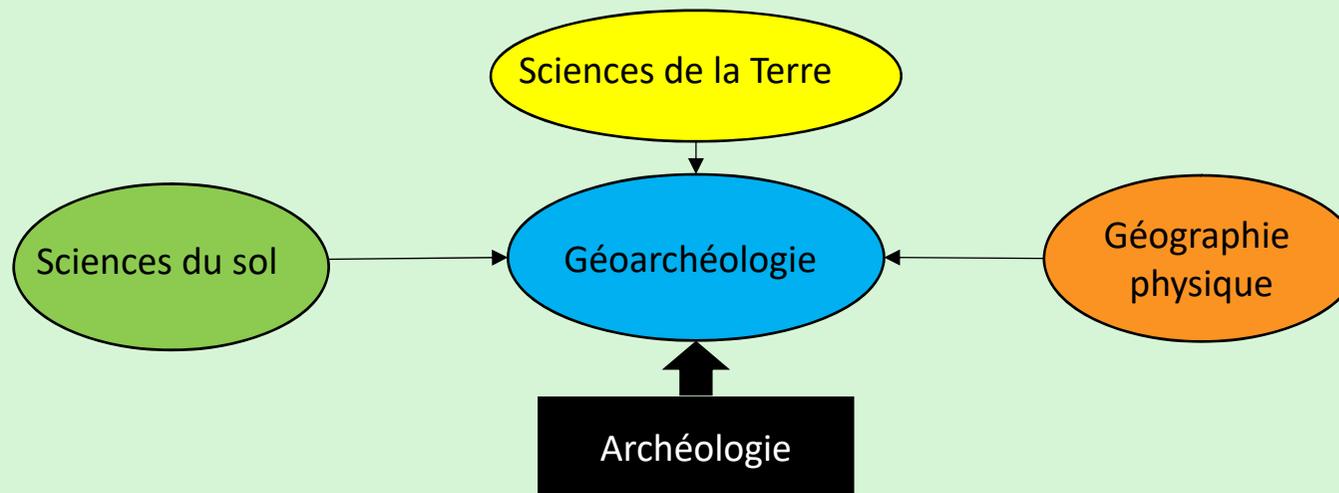
Année 2023-2024

Géoarchéologie

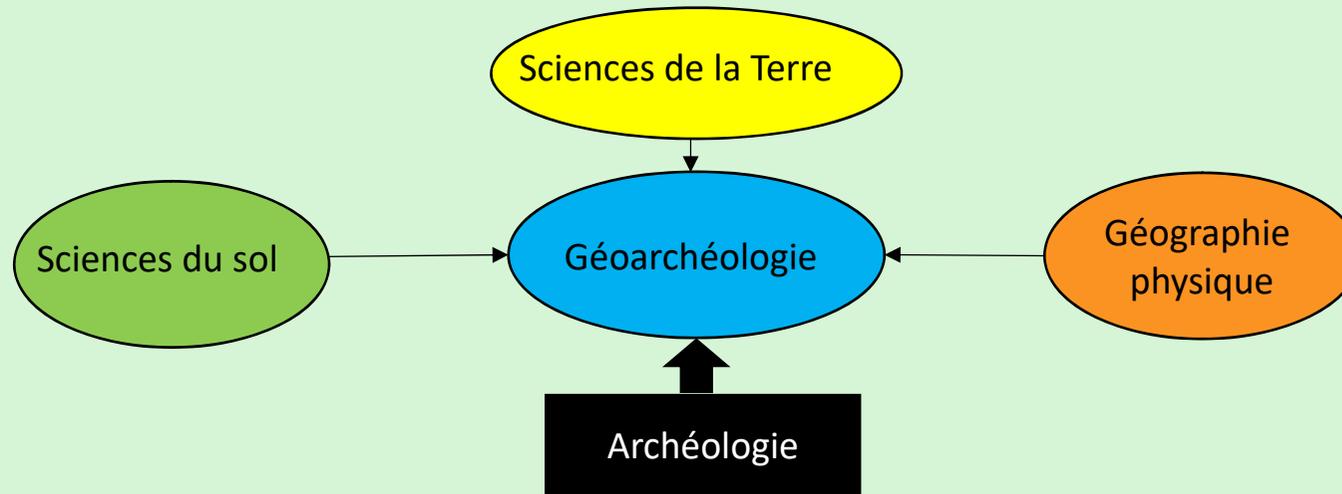
géo du grec gê : la terre

archéologie : discipline qui étudie l'Homme depuis la Préhistoire jusqu'à l'époque contemporaine à partir des vestiges matériels qui ont subsistés.

géoarchéologie : définition plus complexe....aux croisements de plusieurs sciences



Géoarchéologie : définitions



géologie : science qui a pour objet de décrire et d'expliquer la nature, la distribution, l'histoire et la genèse de roches et des terrains constituant la croûte terrestre

pédologie : science visant à étudier les sols : leur formation et leur évolution

géomorphologie : science qui s'intéresse à la répartition géographique des formes du relief, leurs causes et leurs changements.

La géoarchéologie répond par le biais de méthodes et d'analyses empruntés à la pédologie, à la géomorphologie et à la géologie à des questionnements posés en archéologie.

Qu'est ce qu'on voit sur le terrain lorsqu'on a la chance d'observer ce qui se trouve normalement en profondeur ?



exemple des falaises
de la baie de Saint-
Brieuc

← Sol

← Formations superficielles
ou sédiments

+ succession de couches
différentes

← Roche dure : substrat

Qu'est ce qu'on voit sur le terrain lorsqu'on a la chance d'observer ce qui se trouve normalement en profondeur ?

autre exemple



Sol

Roche dure : substrat

Substrat - Le Système Terre – Histoire des roches

2H

Géologie du Quaternaire – Les formations superficielles

4H

TD de Géoarchéologie

1H

Substrat - Le Système Terre – Histoire des roches

2H

Géologie du Quaternaire – Les formations superficielles

4H

TD de Géoarchéologie

1H

LE SYSTÈME TERRE – HISTOIRE DES ROCHES

Le système Terre et l'histoire des roches

Substrat = **Socle**

Substrat ou substratum

Étymologie :

du latin *sub* « sous » et de *sternere* « répandre »

Stratigraphiquement plus ancien que ce qu'il supporte

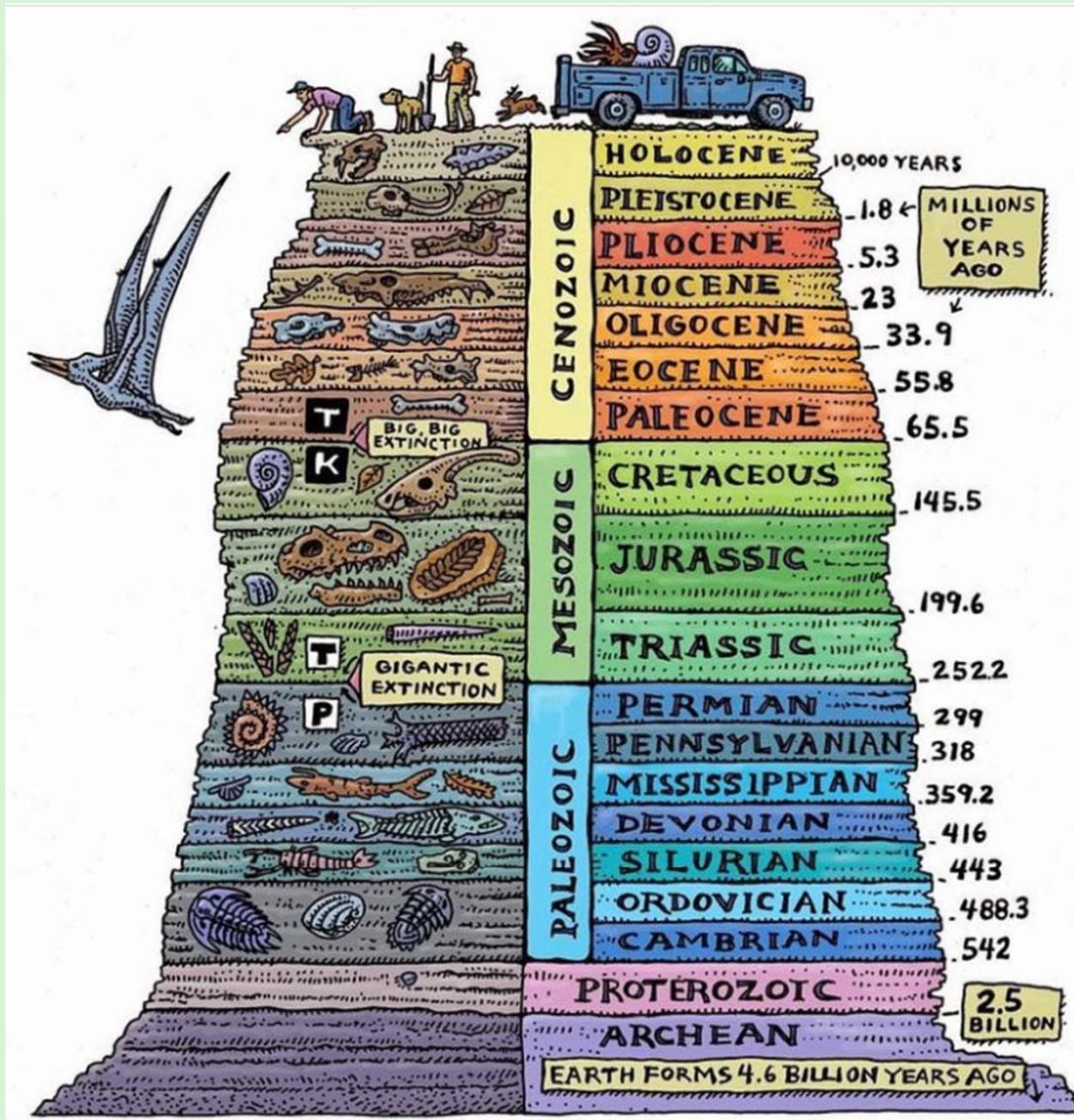
Donc, pour les géoarchéologues et archéologues : Formation géologique antérieure aux formations quaternaires ou formations superficielles

substrat ante-quaternaire = formations rocheuses des ères primaire, secondaire, tertiaire et même avant le Primaire

= de l'origine de la Terre à la transition Pliocène-Pléistocène (*voir échelle des temps géologiques*)

ÉCHELLE DES TEMPS GÉOLOGIQUES ET NOTIONS DE STRATIGRAPHIE

Echelle des temps géologiques et notion de stratigraphie



Stratigraphie (n.f.) du latin *stratum*, couverture, et *graphie*, écriture.

C'est la branche des **sciences de la Terre** qui étudie la succession des différentes couches géologiques

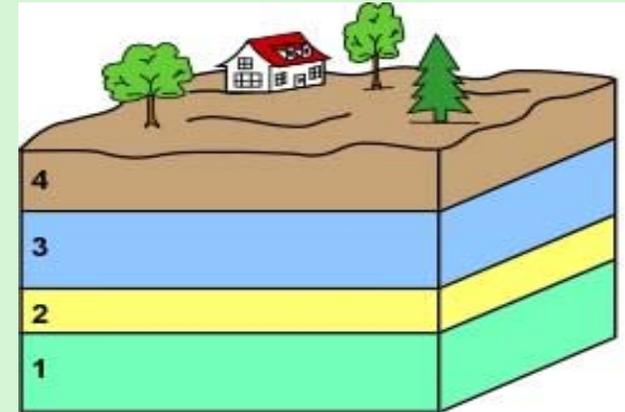
La stratigraphie permet de **dater relativement les couches**, en se basant principalement sur les fossiles qu'elles contiennent

La **chronostratigraphie** permet d'établir l'échelle des temps géologiques en organisant ces données à partir de **datations absolues**

Principes de stratigraphie

Le principe de superposition Stenon (1669) :

- une couche sédimentaire est plus jeune que celle qu'elle recouvre et plus ancienne que celle qui la recouvre



Le principe d'actualisme ou d'uniformitarisme Lyell (1830) :

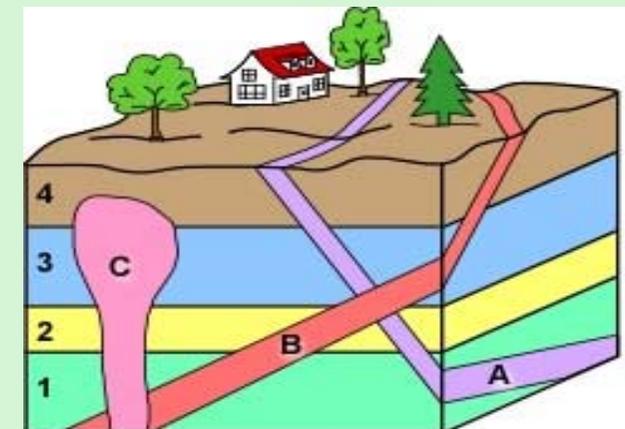
- les phénomènes géologiques peuvent être interprétés comme le résultat de processus observables actuellement à la surface du globe

(crue d'une rivière, éruption d'un volcan, coulée de boue,....)

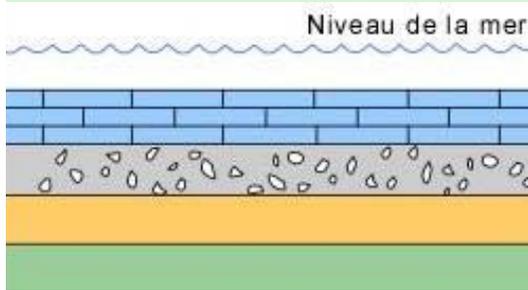


Le principe de recoupement :

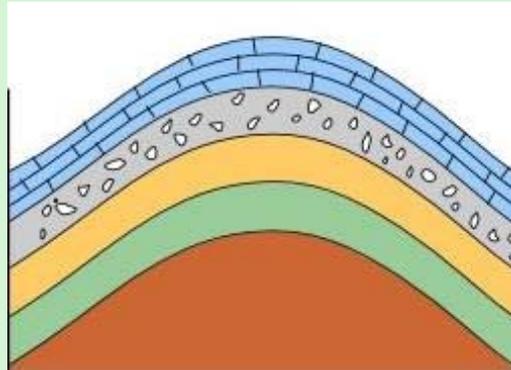
- une structure recoupée par une autre structure est plus ancienne que celle qui la recoupe



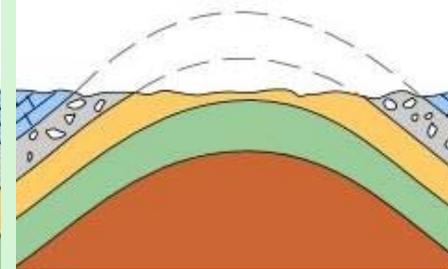
Notion d'érosion et de discordance



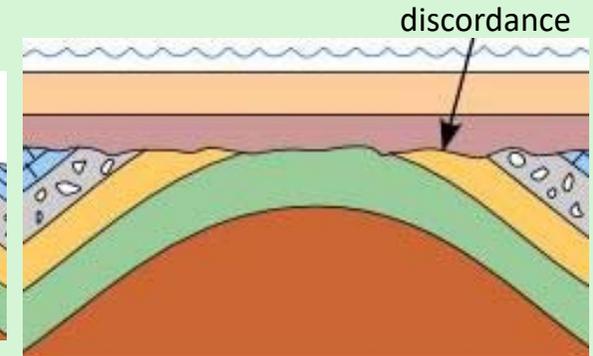
Dépôts horizontaux successifs par couches



Plissement et soulèvement



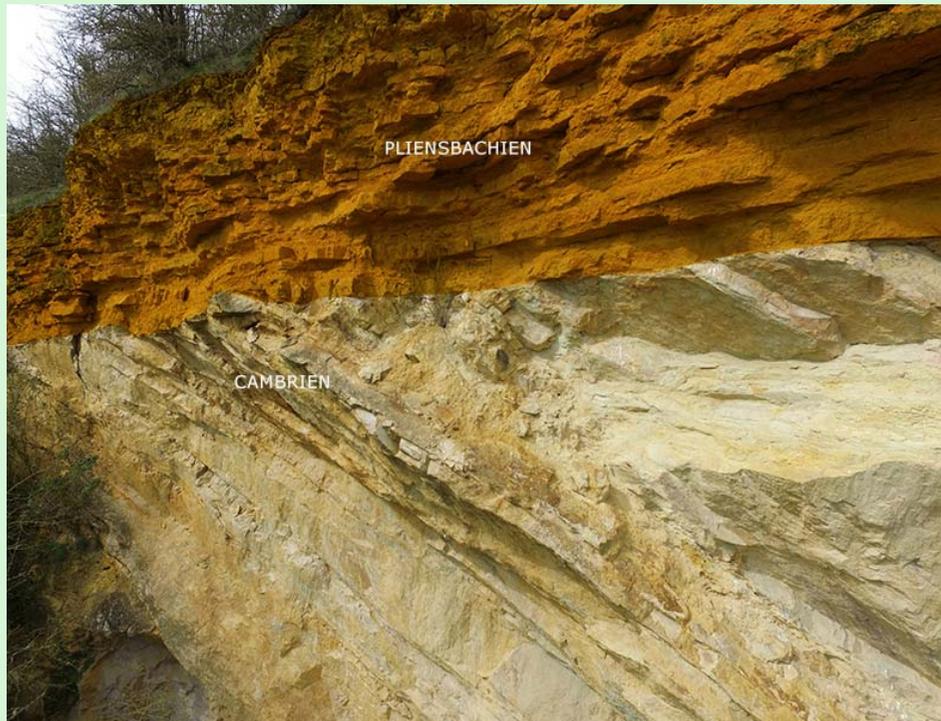
Érosion et arasement



Nouveaux dépôts horizontaux successifs par couches

185 Ma

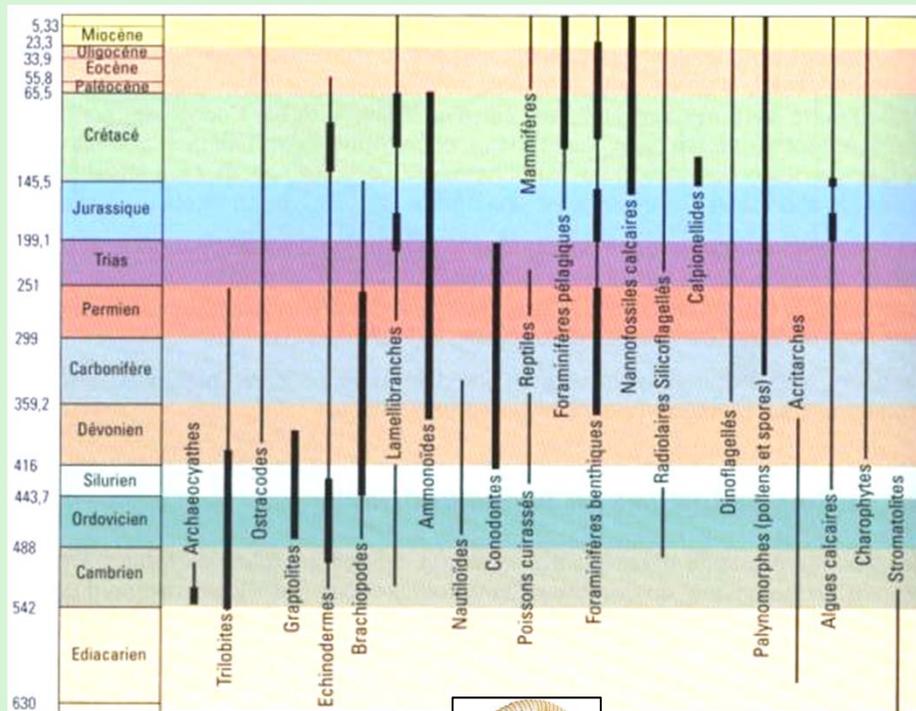
500 Ma



Contact « anormal » entre 2 couches stratigraphiques témoignant d'une phase d'érosion = **discordance**

Subdivisions des temps géologiques

C'est essentiellement l'utilisation des fossiles dans les couches sédimentaires qui a permis d'établir l'échelle des temps géologiques et sa division en grandes périodes car l'histoire de la Terre est marquée par l'apparition et la disparition d'espèces vivantes.



Il s'agit d'une chronologie relative établie en partie dès le début du XIX^e siècle

A. Brongniart (1822)

Subdivisions des temps géologiques

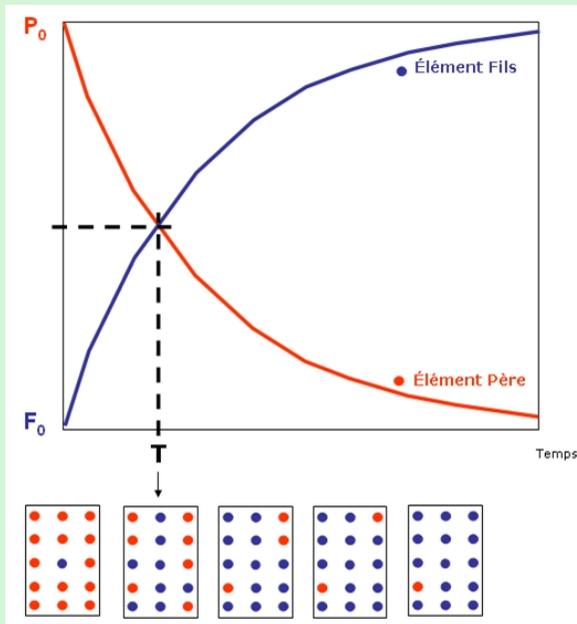
C'est la radiochronologie qui a permis d'obtenir une preuve factuelle de la durée des temps géologiques au début du XX^e siècle (de l'ordre de plusieurs Ga)

La radiochronologie est une application des découvertes de radioactivité.

= transformation d'un élément instable en un élément stable selon une période donnée

= **isotopes radioactifs** ex : $^{87}\text{Rb} - ^{87}\text{Sr}$ âge de la Terre

$^{14}\text{C} - ^{14}\text{N}$ archéologie



➔ Il s'agit d'une **chronologie absolue**

Subdivisions des temps géologiques

Un étage est défini par une séquence de référence : le stratotype,
défini à partir du contenu fossilifère des terrains sédimentaires d'une localité
de référence

A. d'Orbigny (1842) contemporain de Darwin

Stratotype du Toarcien
(Touars)



Autre exemple :
Turonien
Cénomannien

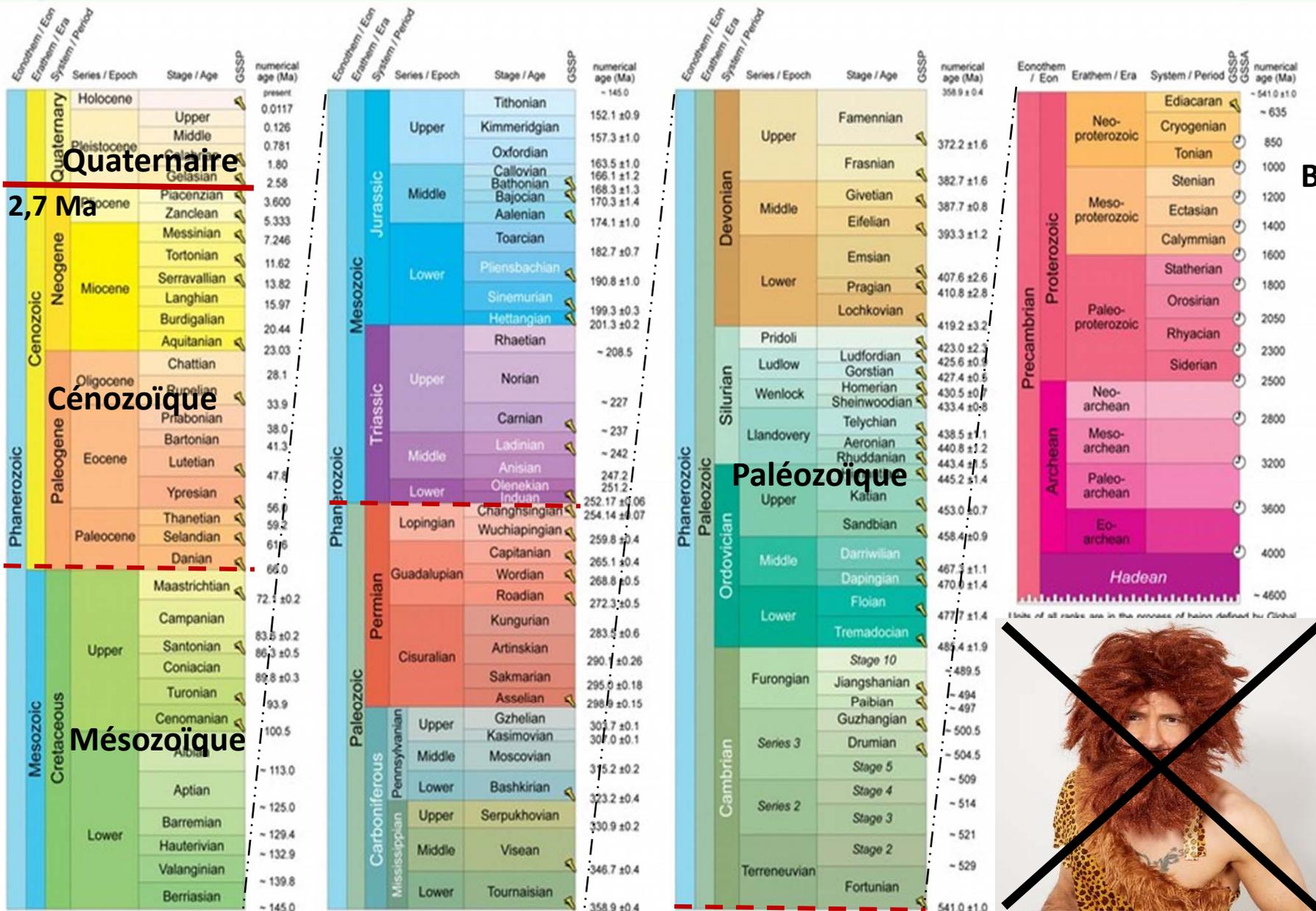
Subdivisions des temps géologiques

Première échelle stratigraphique composée de 27 étages A. d'Orbigny (1842)



*Représentation
 artistique de Levi
 Walter Yaggy
 (1848-1912)*

Echelle des temps géologiques



Briovérien

Début de l'histoire de la Terre 4,6 Ga

SUBSTRAT



LA TERRE, DYNAMIQUE ET STRUCTURE

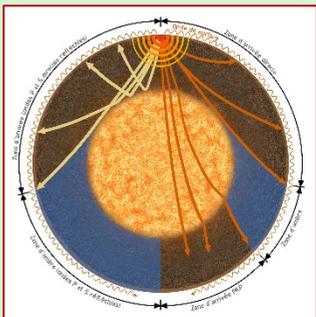
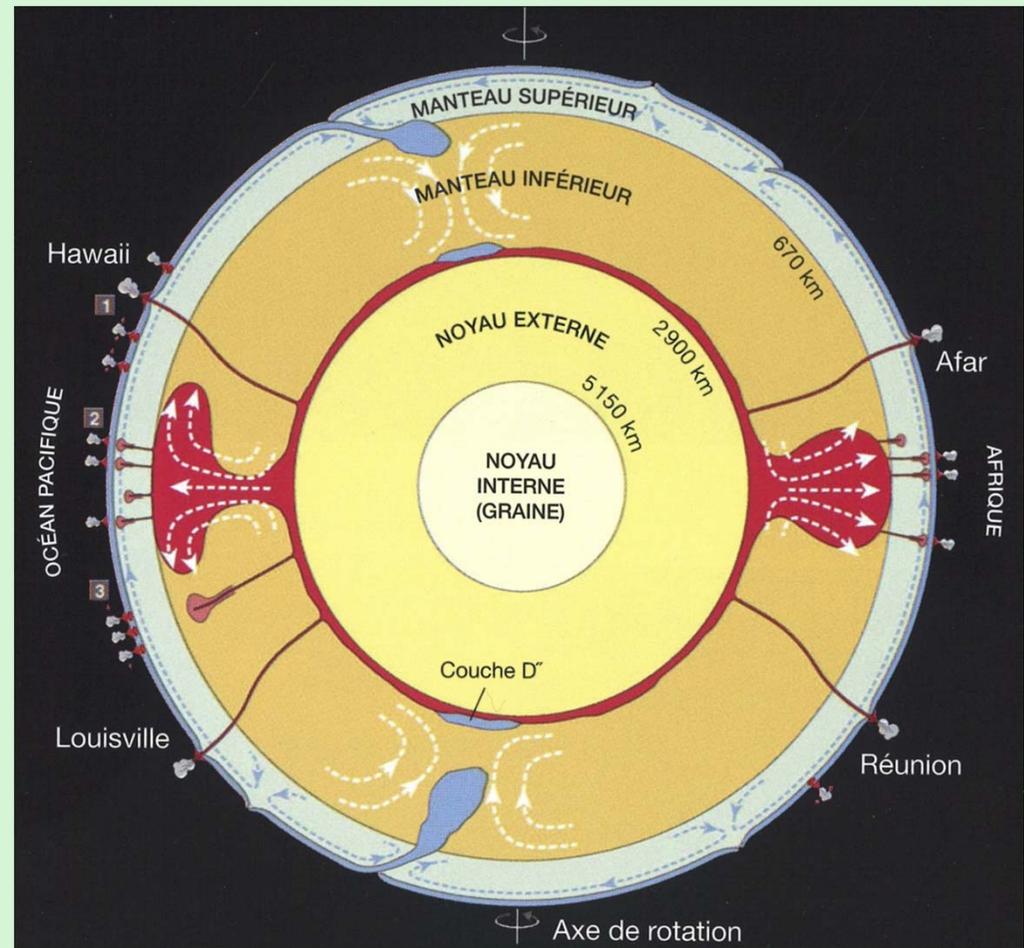
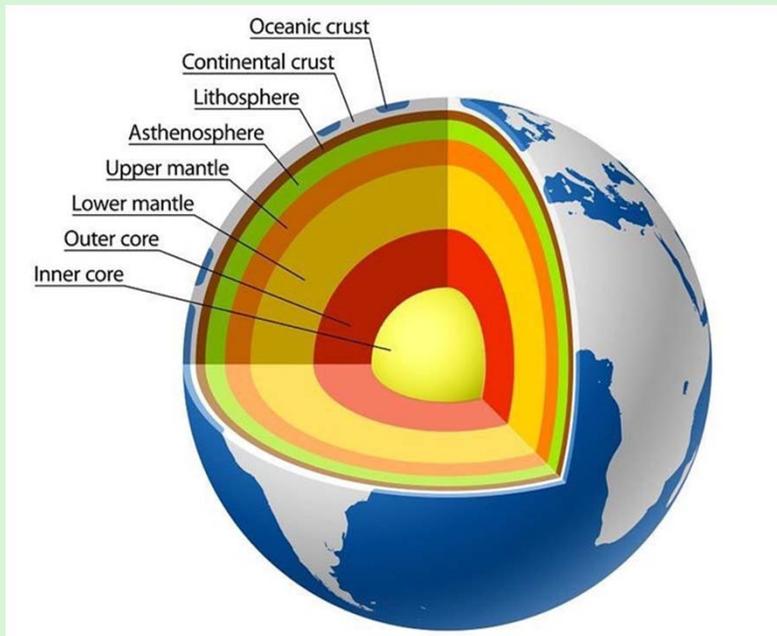
La Terre, dynamique et structure :

L'intérieur de la Terre est un peu comme un fruit

Noyau métallique

Enveloppe solide mais plastique → Asthénosphère = **Manteau où se forme le magma**

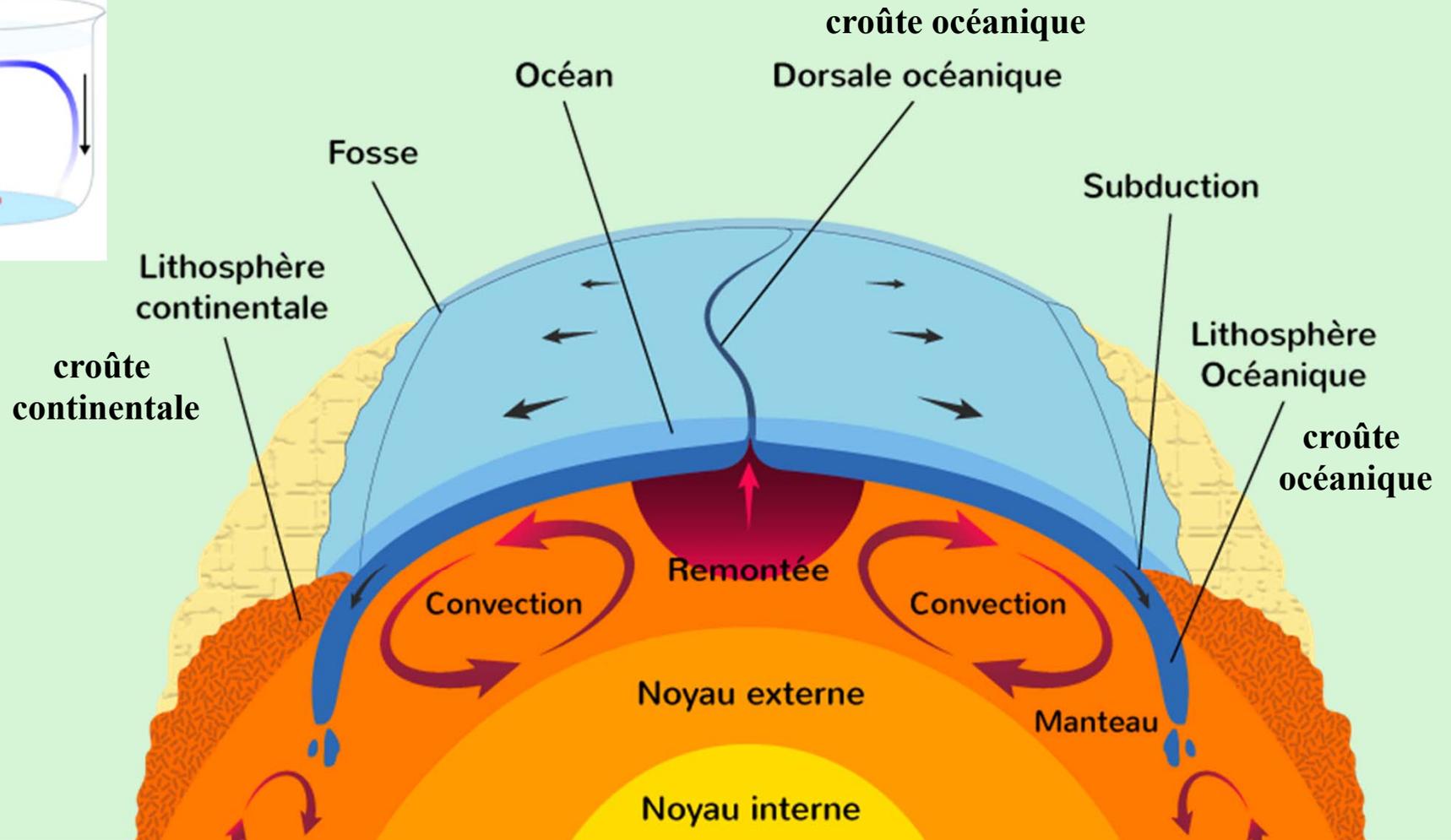
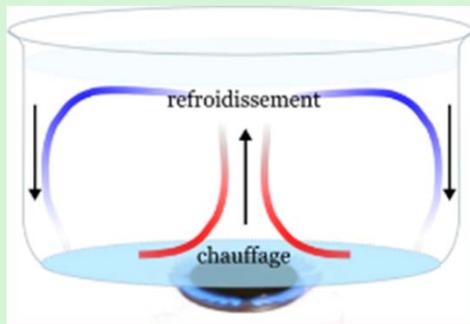
Enveloppe solide → **Lithosphère : croûtes océanique et continentale craquelées : plaques lithosphériques**



Connue grâce aux ondes sismiques !

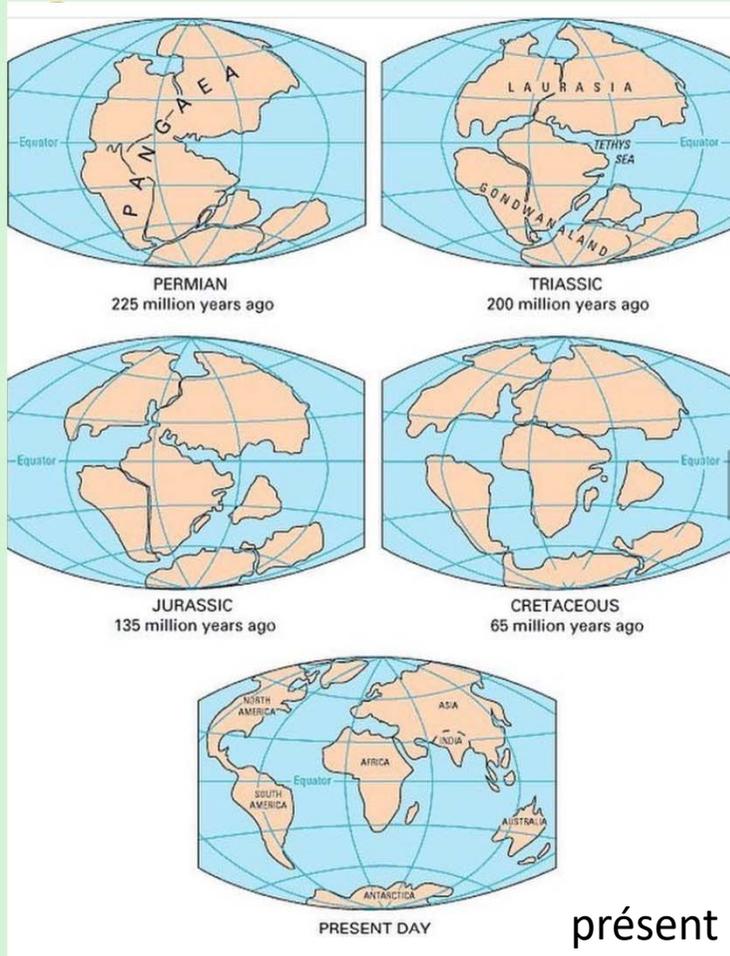
La Terre, dynamique et structure :

Les courants de convection dans le manteau vont permettre le déplacements des plaques lithosphériques, leur création et leur disparition



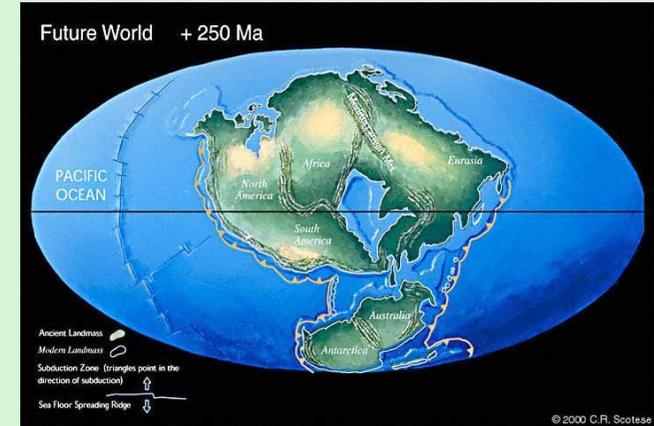
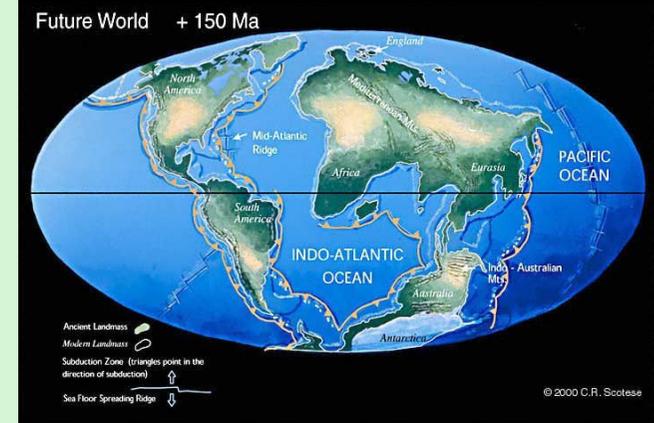
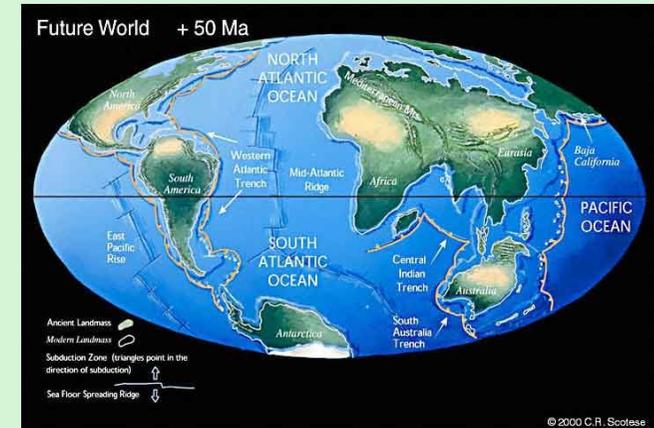
La Terre, dynamique et structure :

passé



présent

Le déplacement des plaques lithosphériques va entraîner la dérive des continents ou **tectonique des plaques**



futur

La Terre, dynamique et structure :

Plaques lithosphériques : croûtes océanique et continentale, en mouvement

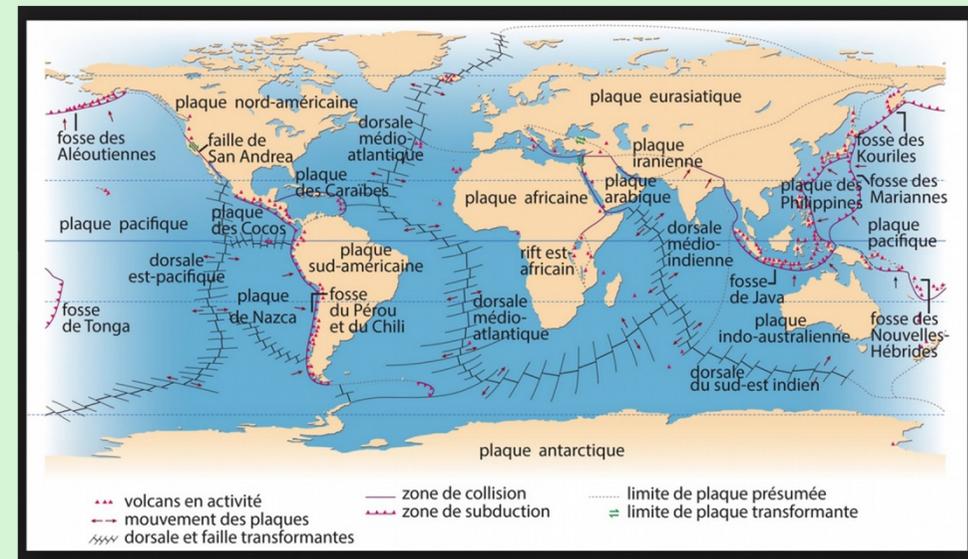
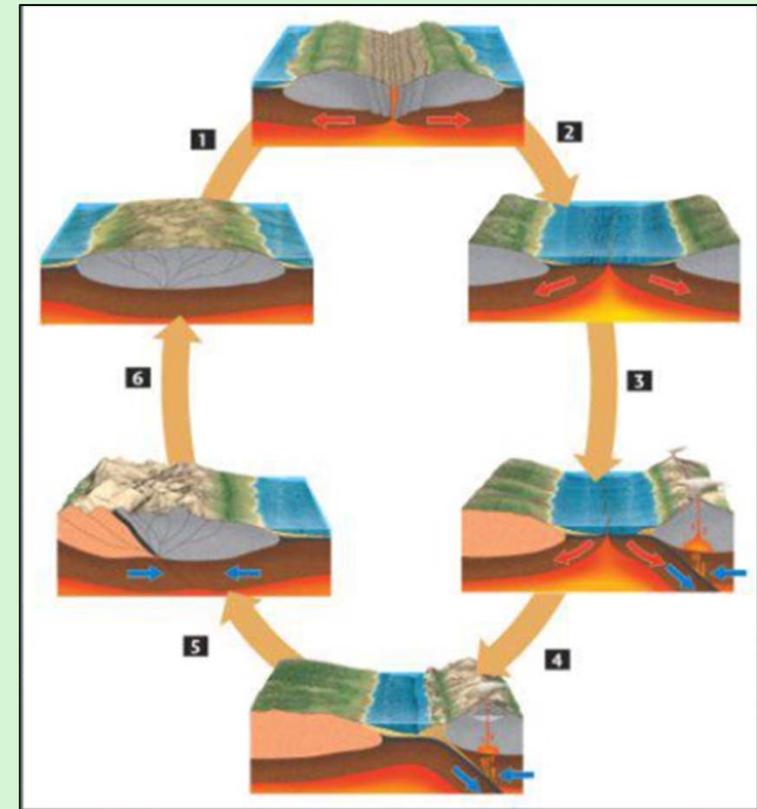
= Tectonique des plaques (au moins 12)
 Déplacements de l'ordre de qq cm / an

Contact entre les plaques : zones d'écartement ou de convergence

- dorsales océaniques
- zones de subduction
- zones de collision



Faille de St Andreas – Limite tectonique entre plaques Pacifique et Nord-Américaine



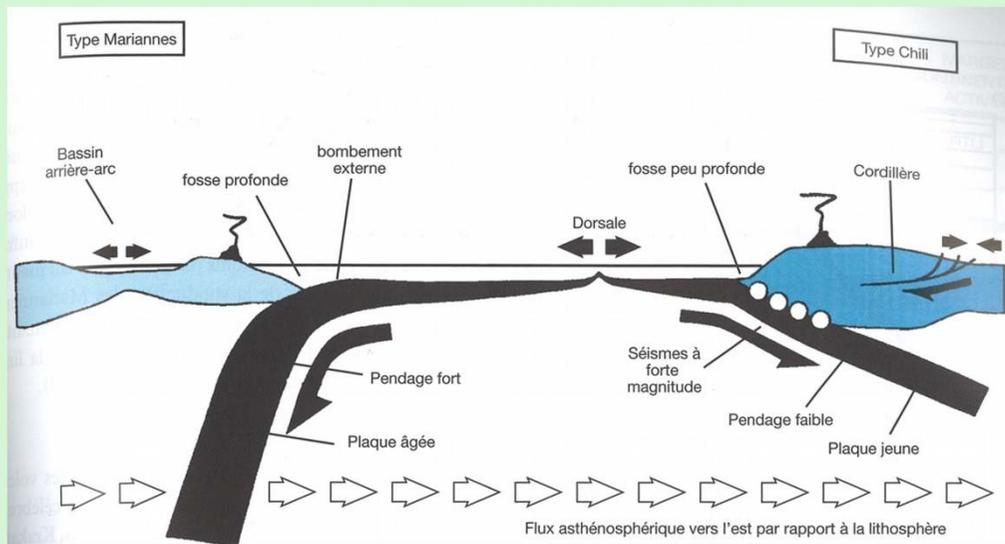
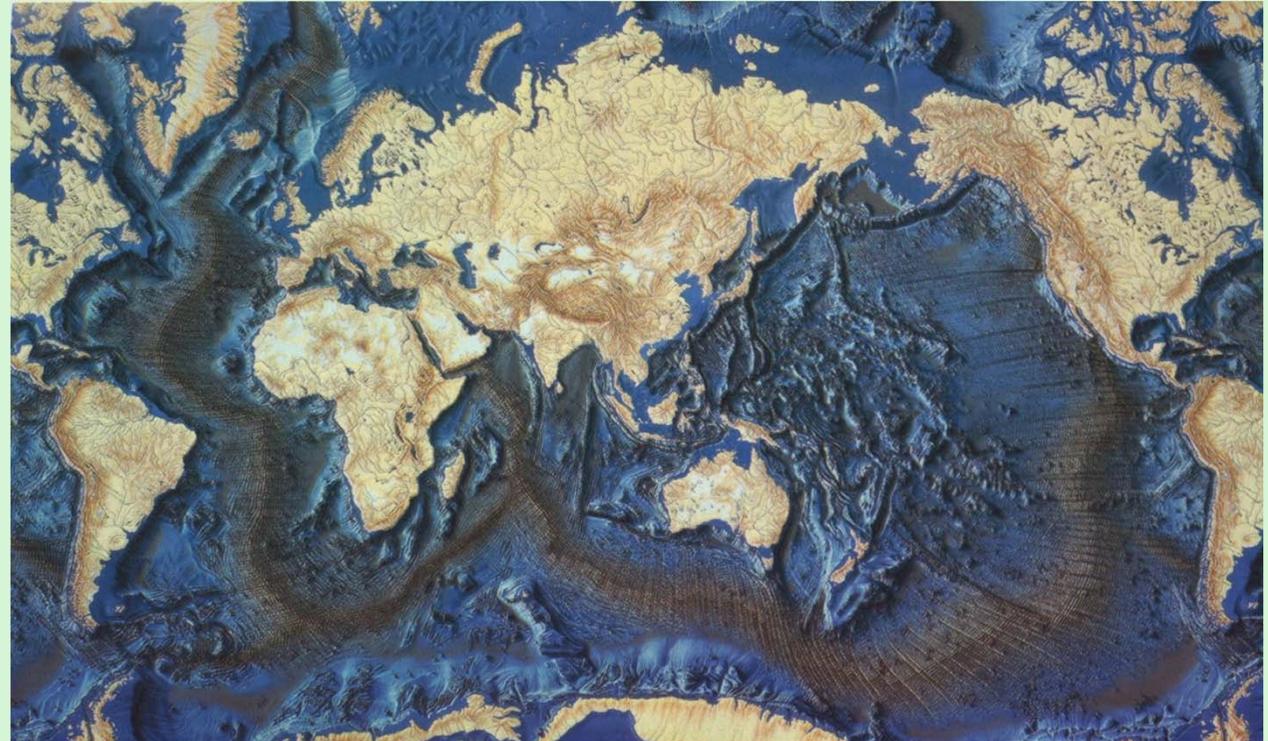
La Terre, dynamique et structure :

Plaques lithosphériques : croûtes océanique et continentale, en mouvement

= Tectonique des plaques (au moins 12)
 Déplacements de l'ordre de qq cm / an

Contact entre les plaques : zones d'écartement ou de convergence

- **dorsales océaniques** : immenses chaînes de montagne sous la mer
- zones de subduction
- zones de collision



La Terre, dynamique et structure :

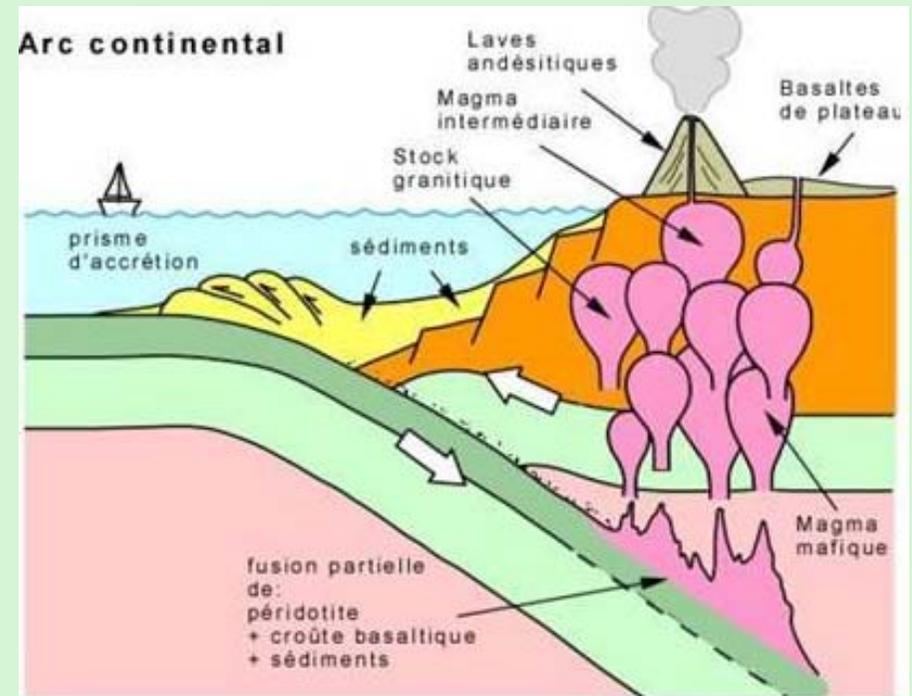
Plaques lithosphériques : croûtes océanique et continentale, en mouvement

= Tectonique des plaques (au moins 12)
Déplacements de l'ordre de qq cm / an

Contact entre les plaques : zones d'écartement ou de convergence
→ dorsales océaniques

→ **zones de subduction** : une plaque océanique passe sous une plaque océanique (arcs insulaires comme Japon) ou continentale (cordillère des Andes)

→ zones de collision



La Terre, dynamique et structure :

Plaques lithosphériques : croûtes océanique et continentale, en mouvement

= Tectonique des plaques (au moins 12)

Déplacements de l'ordre de qq cm / an

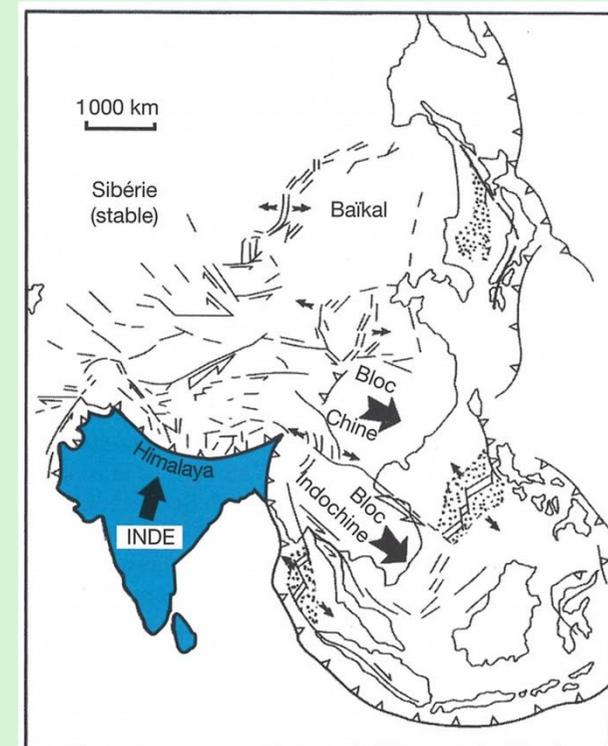
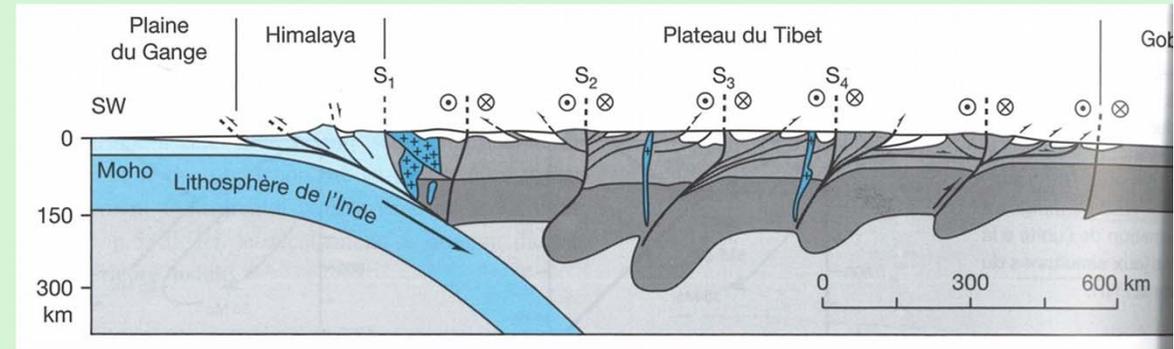
Zones d'écartement + zones de convergence

→ dorsales océaniques

→ zones de subduction

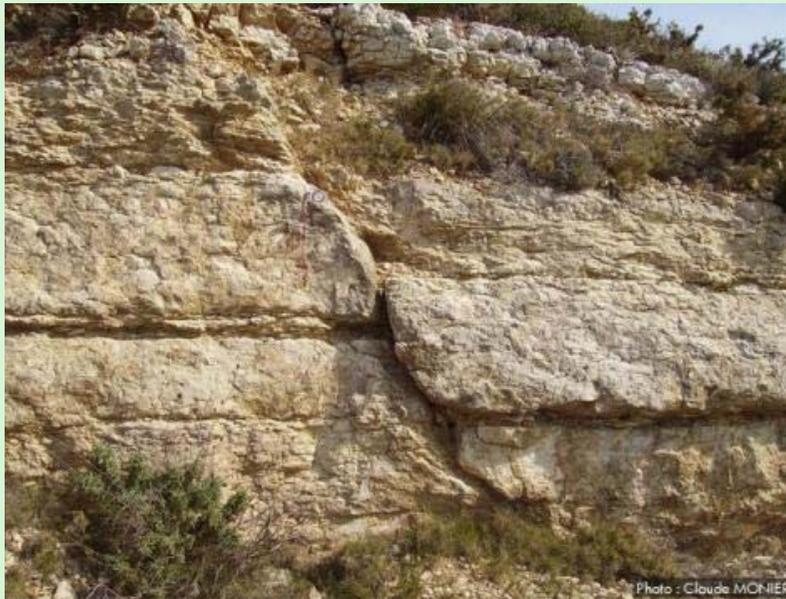
→ **zones de collision** : affrontement entre 2 plaques continentales

ex : Alpes, Himalaya

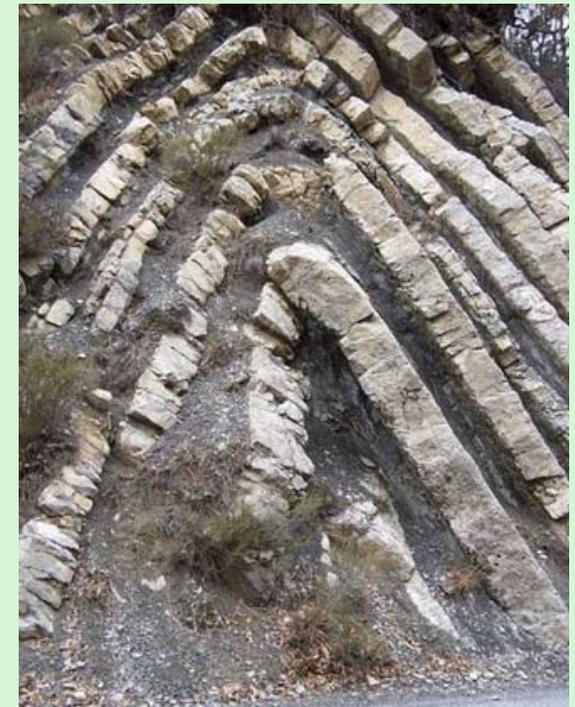


La Terre, dynamique et structure :

Les mouvements gigantesques de la tectonique des plaques vont occasionner des contraintes énormes déformant les couches géologiques, par exemple trouve :



← Les déformations cassantes
Ce sont les failles



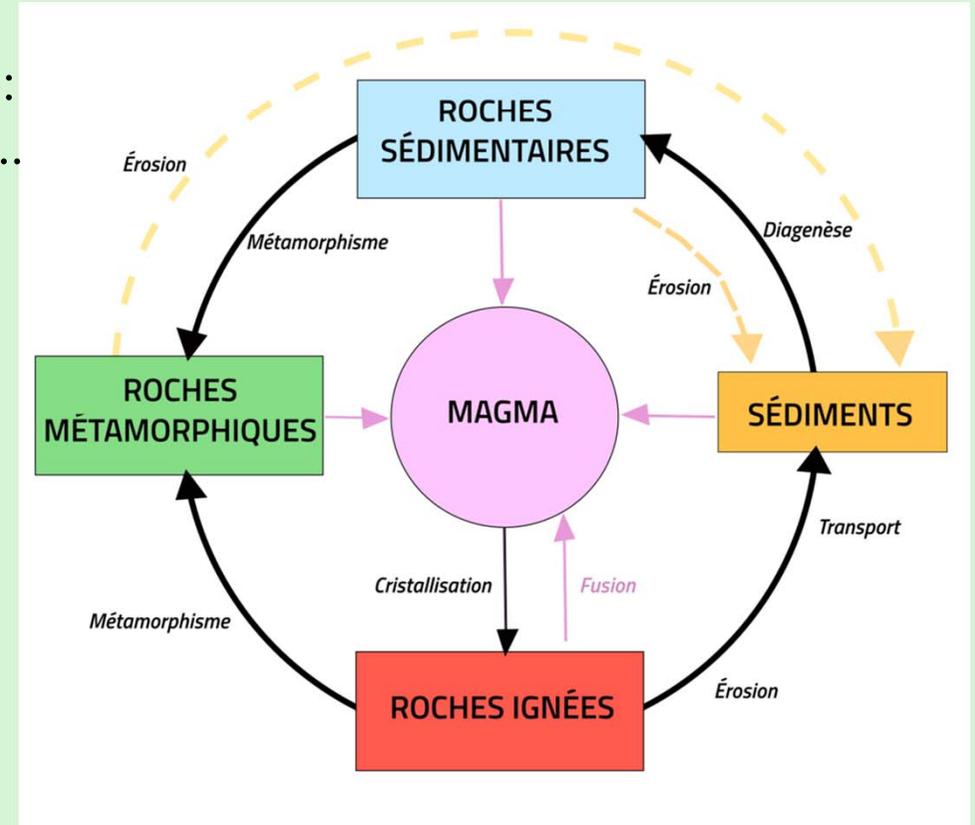
Les déformations souples :
Ce sont les plis

← Ces déformations s'observent très bien en montagne



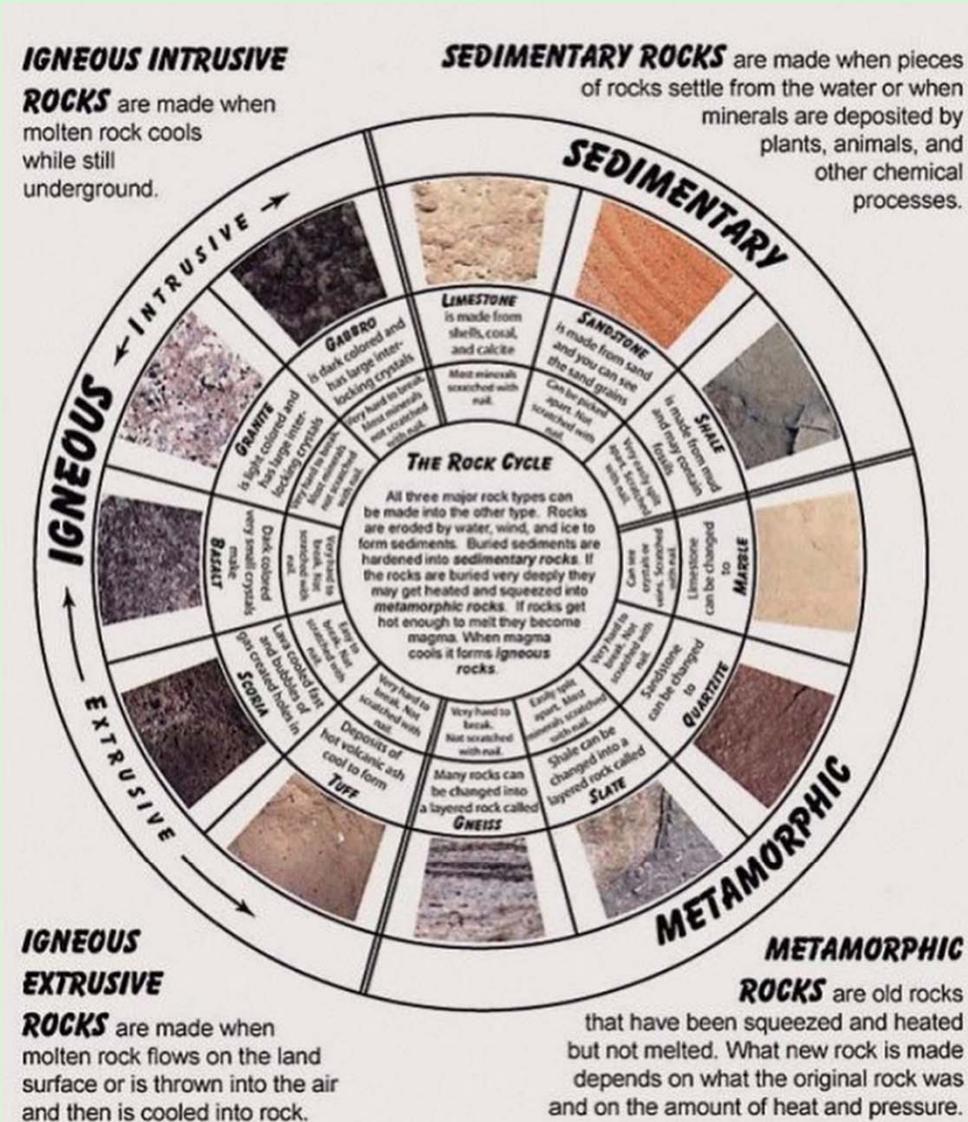
LE CYCLE GEOLOGIQUE ET LES DIFFERENTS TYPES DE ROCHES

Les roches sont très variées à la surface de la Terre : calcaire, marbre, granite, gneiss, schiste, grès,.....

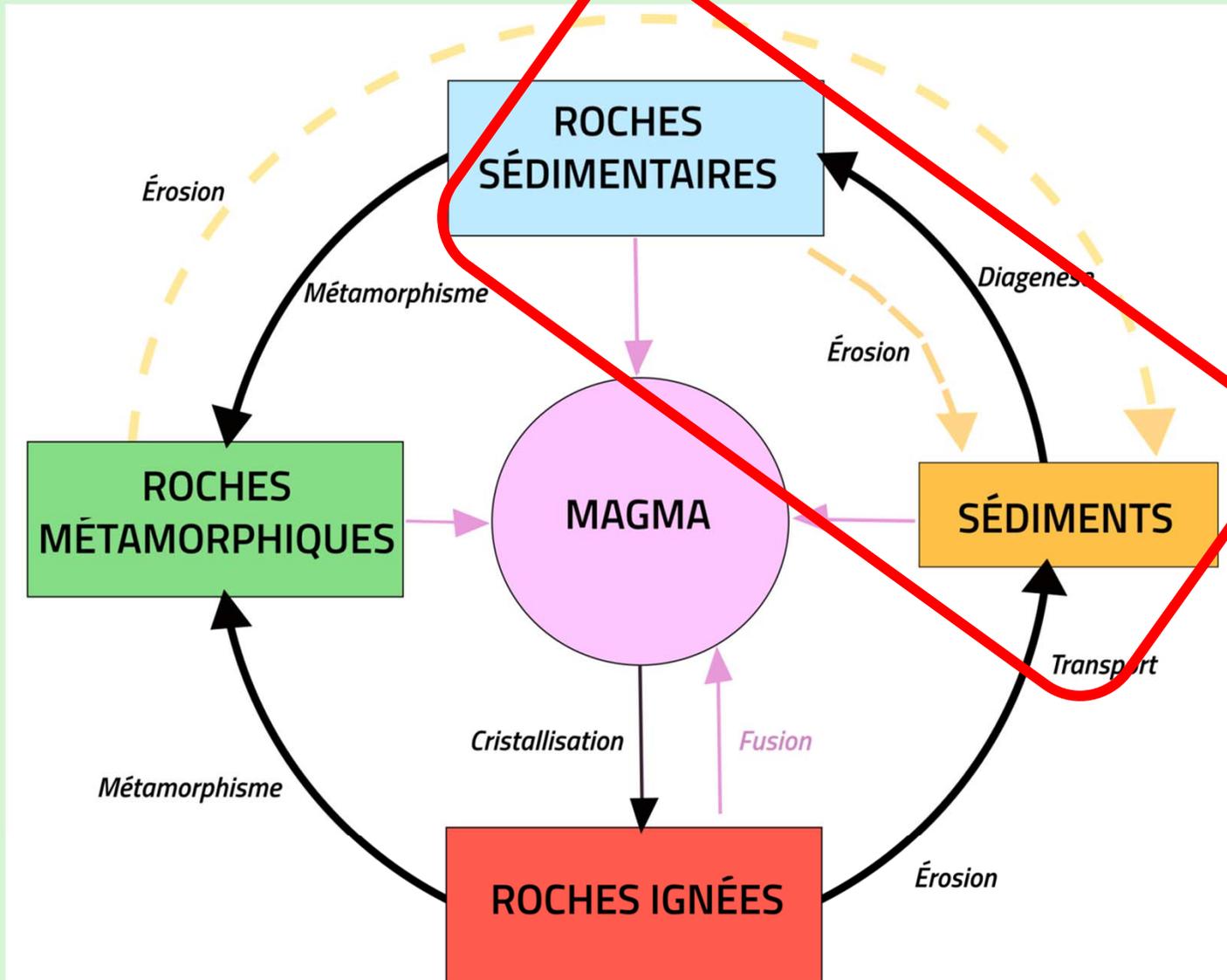


Elles sont périodiquement recyclées du fait de la tectonique des plaques car elles sont soit enfouies (variations de pression et température) ou soit exposées à l'air libre (variations climatiques)

Le cycle des roches fait donc intervenir des facteurs internes et externes



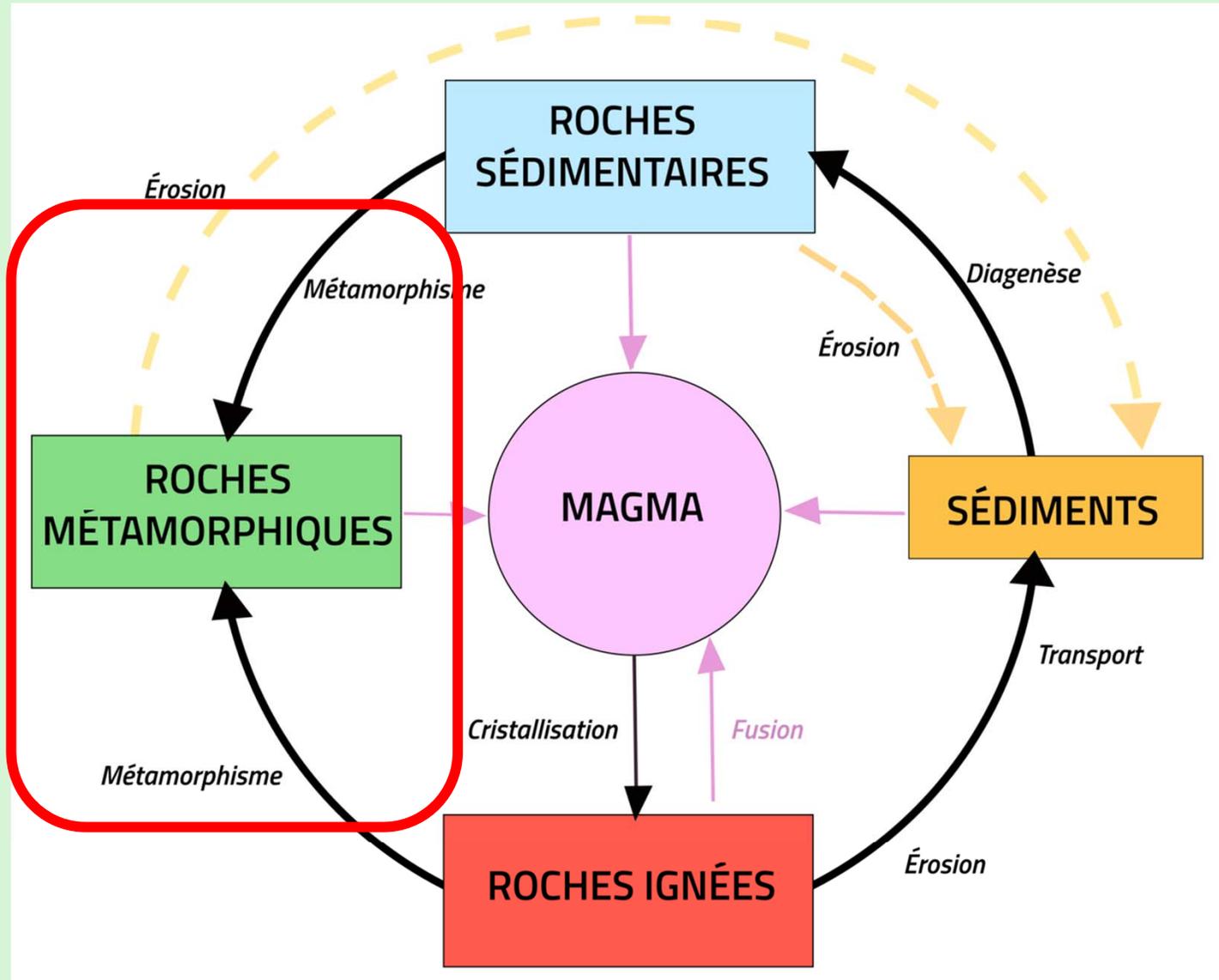
Il existe 3 principaux types de roches :



Les roches sédimentaires

facteurs externes : atmosphère, biosphère, hydrosphère

Il existe 3 principaux types de roches :



Les roches métamorphiques

facteurs internes : tectonique des plaques / convection mantellique

LES ROCHES MAGMATIQUES

Les roches magmatiques (ou ignées)

Roches résultant d'une fusion : formation d'un magma entre 700 et 1500 °C puis de sa cristallisation.

Forment l'essentiel de la croûte terrestre (continentale et océanique).

Grâce aux énergies internes de la Terre :
mouvements lithosphériques (= tectonique des plaques) / mouvements de convection

Comment ?

Rapidement → Le magma atteint la surface de la Terre : **volcanisme**

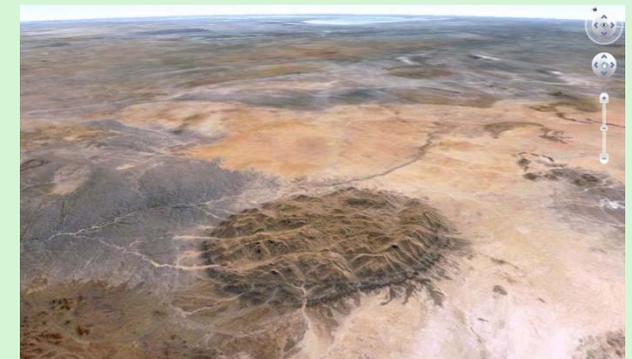
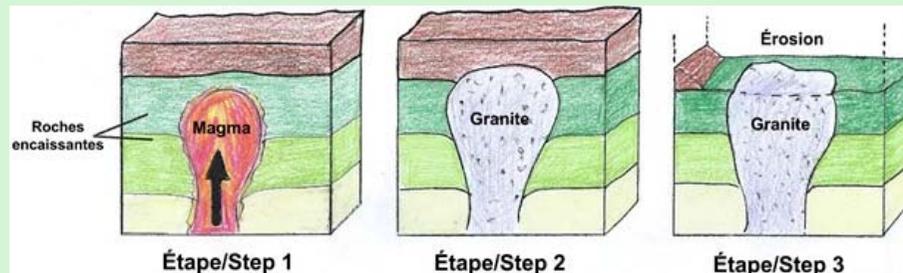
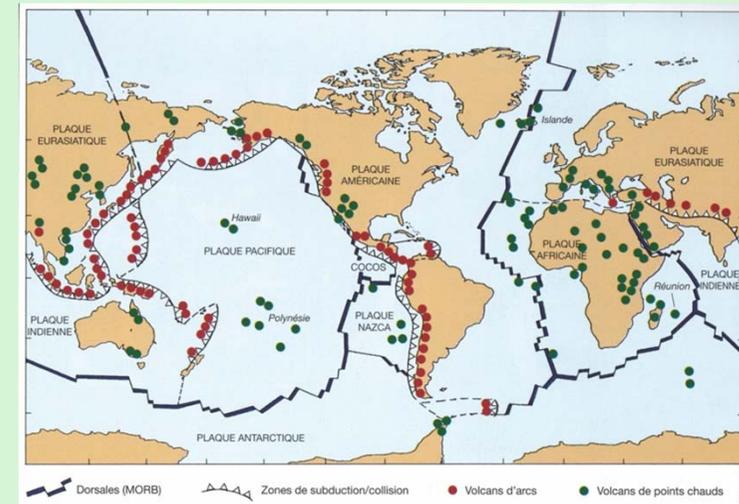
- dorsales : ouverture des océans
- volcans

= **Roches volcaniques**

Lentement → Le magma refroidit en profondeur

Ces roches arrivent au contact avec la surface (l'atmosphère) par le biais de l'érosion.

= **Roches plutoniques**



Les roches magmatiques (ou ignées)

Roches volcaniques (extrusives)

Refroidissement rapide du magma (lave) arrivant au contact de l'atmosphère (ou de l'eau dans le cas des pillow-lavas)

Mises en place à l'**état liquide ou visqueux**



Coulée de lave - Islande



Photographie : Kathleen Leroux

Laves en coussins d'Eibar (Pays basque espagnol)

Les roches magmatiques (ou ignées)

Roches volcaniques (extrusives)

Exemples de roches volcaniques

Cristallisation rapide (petits cristaux difficiles à identifier à l'œil nu)

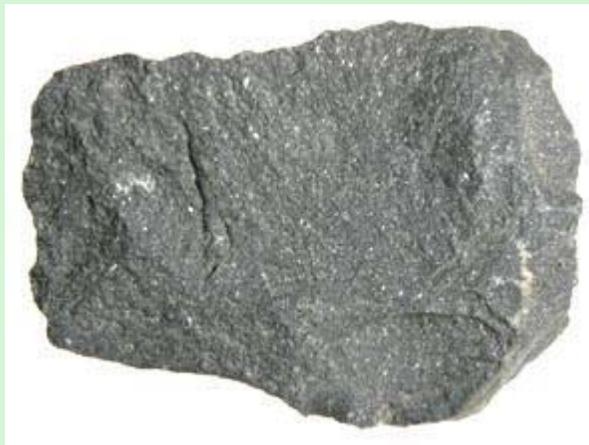
- **basalte** : croûte océanique
- rhyolite, dacite, andésite.... selon la composition du magma
- obsidienne : verre volcanique (roche hyaline), refroidissement très rapide
- ponces... : volcanisme explosif (ex Montagne Pelée)



« Orgues basaltiques »



obsidienne



basalte



rhyolite

Les roches magmatiques (ou ignées)

Roches plutoniques et de semi-profondeur (intrusives)

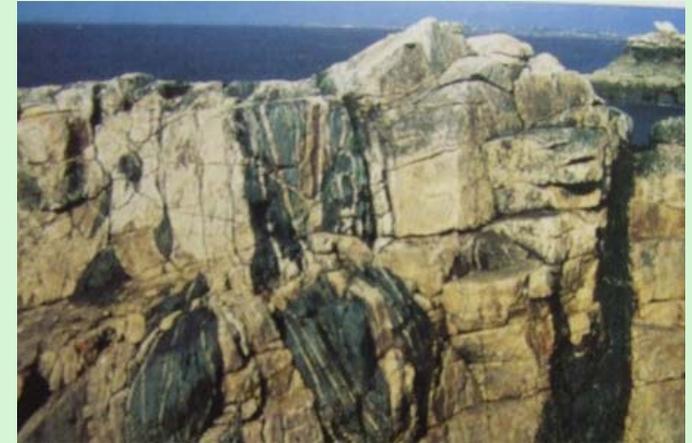
Formées par cristallisation lente d'un magma à une certaine profondeur.

Elles sont en général homogènes et de grands volumes.

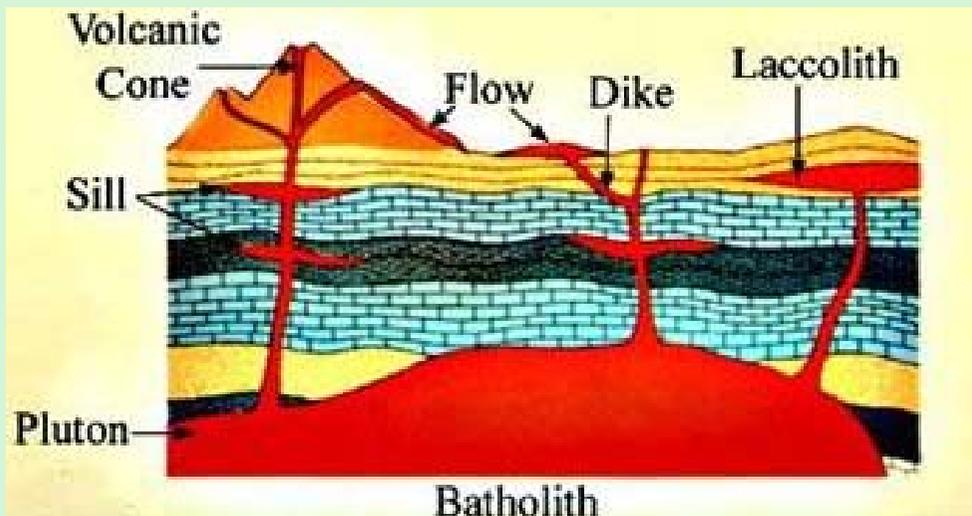
Magma du manteau remonte vers la surface, **mais ne l'atteint pas** : le refroidissement du magma est lent → les cristaux ont plus de temps pour se développer.

Ils se forment au sein de la chambre magmatique ou à l'intérieur de failles ou fractures (filons, dykes, sills) *principe de recoupement*

Ces roches sont donc **grenues** ou **microgrenues**.



Filon de dolérite

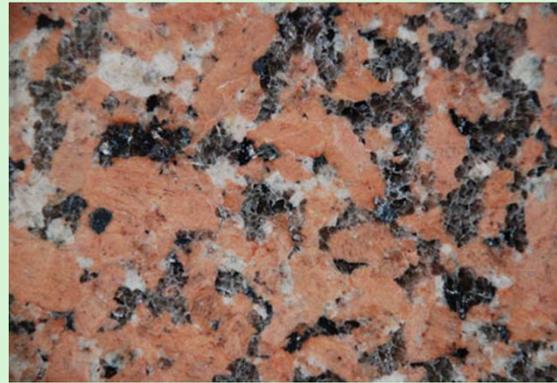


Les roches magmatiques (ou ignées)

Roches plutoniques et de semi-profondeur (intrusives)

Exemples de roches plutoniques

- gabbro : croûte océanique
- **granite**, diorite, péridotite...
- roches filoniennes : **dolérite**



granite



diorite



gabbro



dolérite



leucogranite



syénite



LES ROCHES SEDIMENTAIRES

Les roches sédimentaires

Les roches dures, une fois arrivées au contact de l'atmosphère, devenues alors affleurantes, sont soumises aux agents extérieurs, bioclimatiques → facteurs externes.

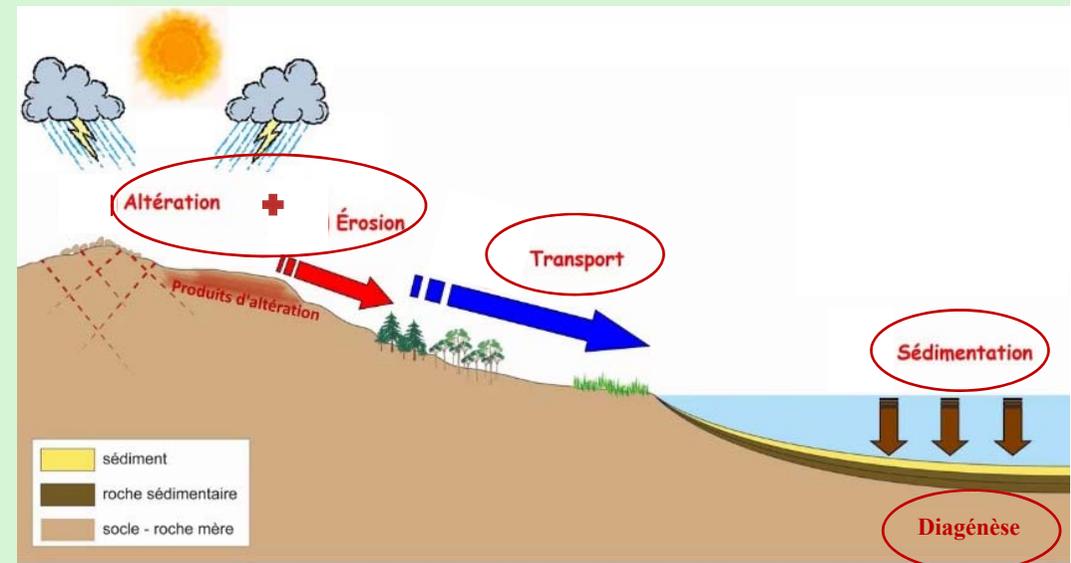
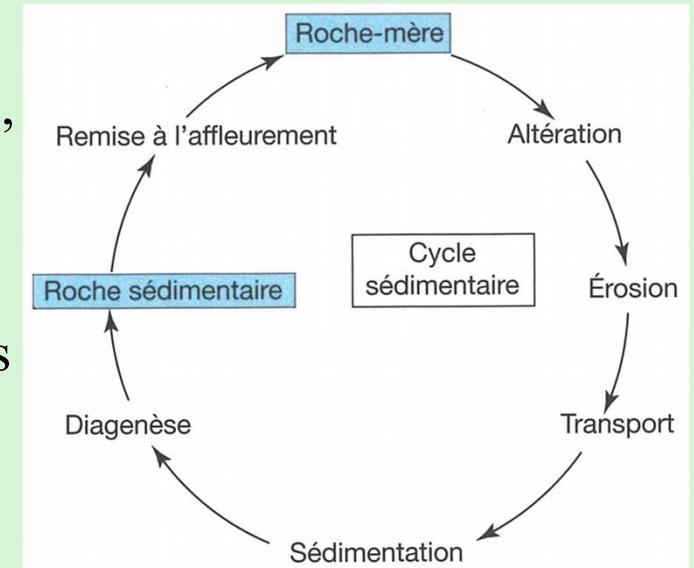
Roches sédimentaires volumétriquement peu importantes par rapport aux autres familles de roches (5%), mais recouvrent plus de 75% de la surface de la Terre

Il s'agit d'un ensemble d'éléments parfois très différents formant d'abord un sédiment puis une roche

Ces roches sont donc très variées car leur genèse dépend de nombreux facteurs :

- nature initiale de la roche-mère
- type d'altération
- mode de transport
- environnement de dépôt du sédiment
- modalités de diagenèse (transformation du sédiment en une roche)

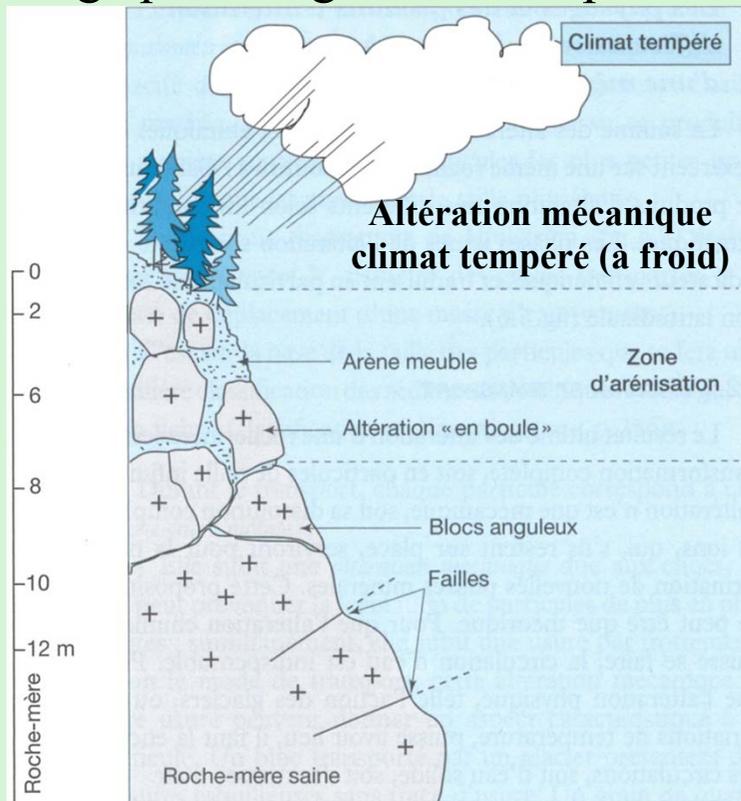
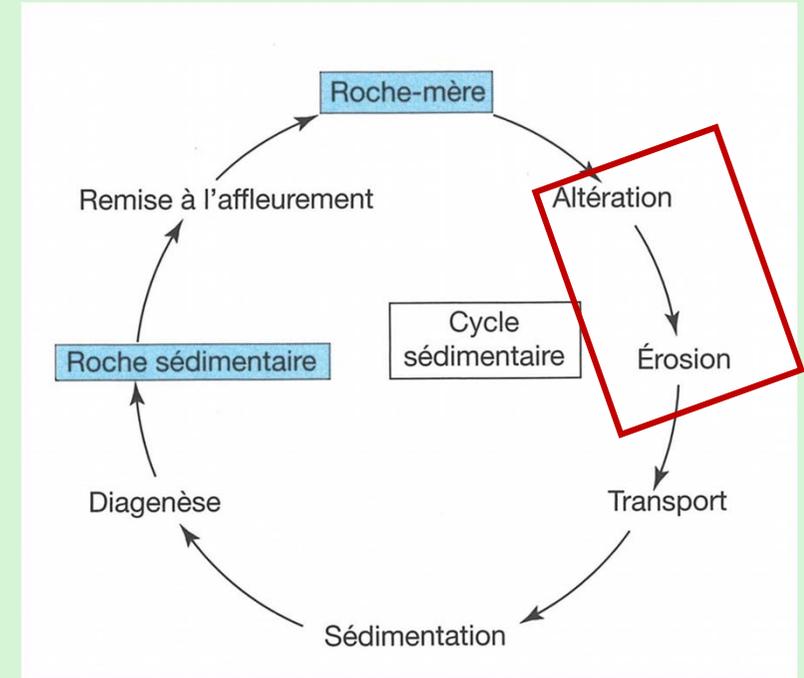
4 étapes majeures dans la formation des roches sédimentaires



Les roches sédimentaires

Cycle sédimentaire : en 4 étapes majeures

- **altération** : ameublissement des roches au contact de l'atmosphère et/ou fracturation et désagrégation : formation de débris de différentes tailles (blocs, grains, poussière, etc....) et de matière en suspension mobiles
- **érosion** : prélèvement de matières (débris) et prise en charge par un agent de transport



Érosion mécanique gélifraction – basalte islandais



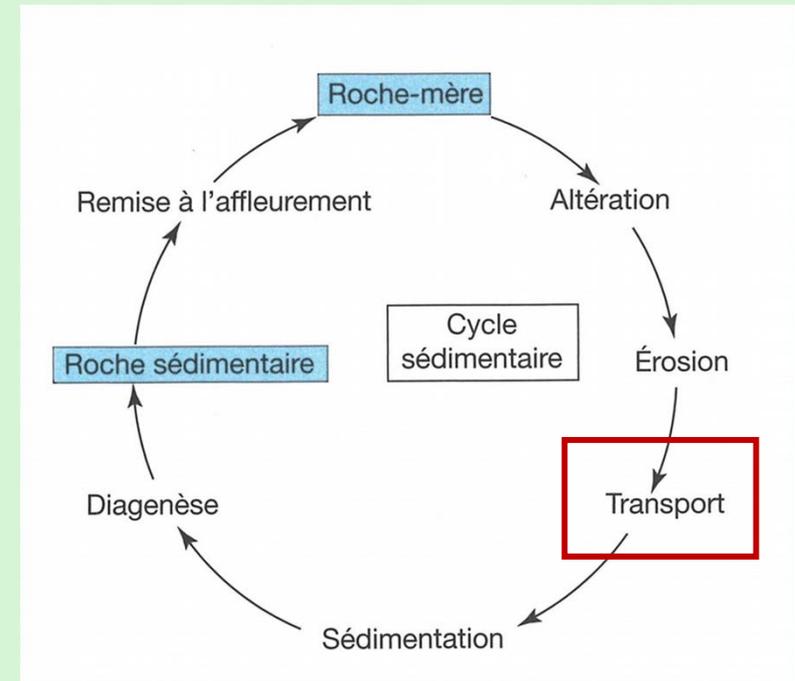
Désagrégation granulaire – arène granitique



Les roches sédimentaires

Cycle sédimentaire : en 4 étapes majeures

- altération et érosion des roches au contact de l'atmosphère
- **transport** : débris et matière en suspension sont transportés par les eaux courantes, le vent, la gravité...

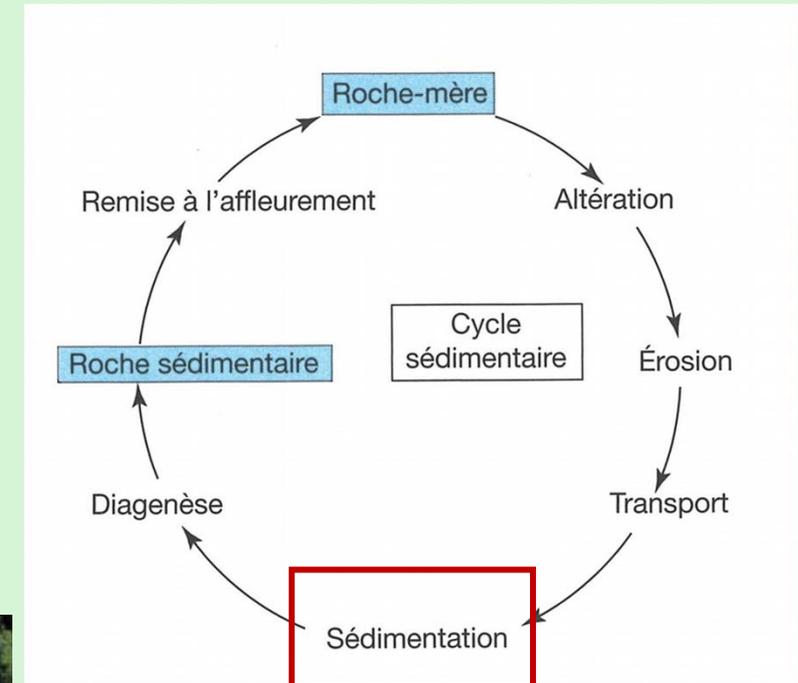


Les roches sédimentaires

Cycle sédimentaire : en 4 étapes majeures

- altération et érosion
- transport
- **dépôt (sédimentation)** : ces débris et matières en suspension vont se déposer dans milieux favorables continentaux ou marins, en formant un sédiment qui est encore meuble.

Le dépôt a lieu quand l'agent de transport n'est plus assez efficace : courant trop faible, chute de la vitesse du vent,...



Tangue du Mont-Saint Michel

Les roches sédimentaires

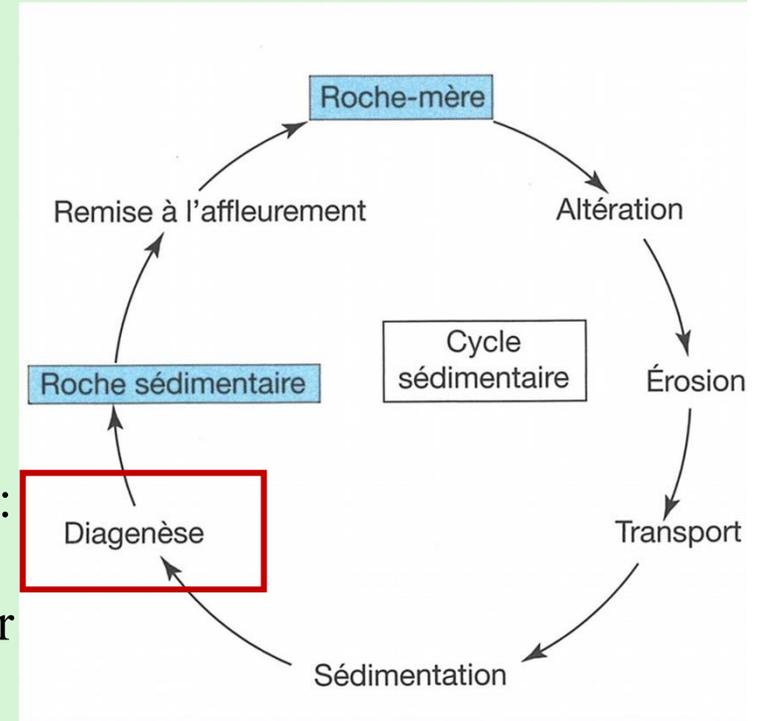
Cycle sédimentaire : en 4 étapes majeures

- altération et érosion
- transport
- dépôt

=> *du sédiment à la roche sédimentaire*

Le sédiment est peu à peu enfoui par du sédiment plus « frais » : *principe de superposition*

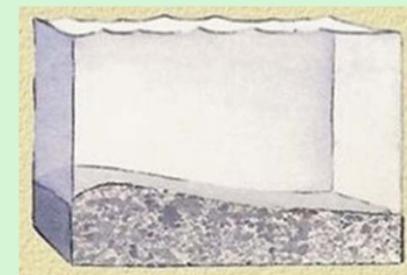
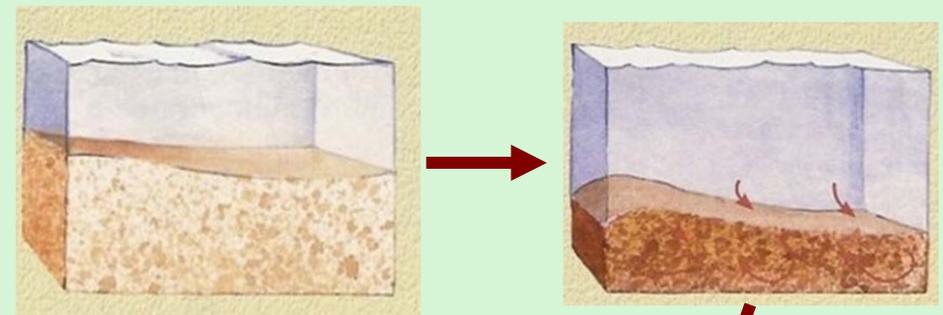
Il est peu à peu transformée en une roche cohérente nouvelle par **diagenèse**



Définition de la diagenèse : phénomène physico-chimique par lequel les sédiments frais sont transformés en roches cohérentes (roches dures), notamment sous l'effet de la pression des fonds océaniques et de l'enfouissement progressif

Plusieurs mécanismes :

- *compaction : boue marine compactée en argiles puis en schistes*
- *cimentation : cas des grès*
- *recristallisation : cas des calcaires parfois accompagnée de changements minéralogiques et chimiques : cas des meulière, silex, gîte de plomb, fer...*



Les roches sédimentaires

Caractéristique principale :
le plus souvent stratifiées, en lits superposés

Classification simplifiée des roches sédimentaires

→ **roches détritiques** :

Elles sont les plus abondantes et correspondent à des assemblages de débris variés issus de roches préexistantes.



Exemples de roches détritiques, classées selon leur granulométrie

- **conglomérats**, brèches et poudingues = anciens dépôts de cailloux, blocs, galets
- **grès**, grauwackes, quartzites = anciens dépôts de sables
- argilites, pélites, **schistes argileux** ou « **shales** » = anciennes boues



Les roches sédimentaires

Caractéristique principale : le plus souvent stratifiées, en lits superposés

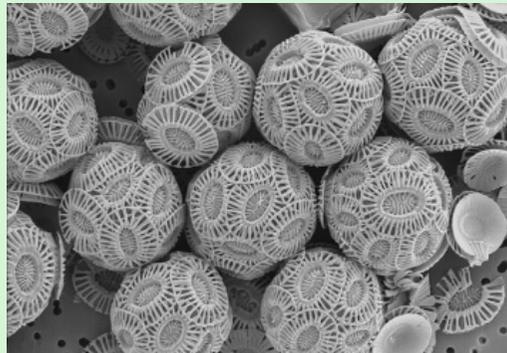
Classification simplifiée des roches sédimentaires

- roches détritiques
- **roches physico-chimiques ou biogènes** : roches siliceuses, calcaires...

Elles ne sont pas nécessairement formées à partir de roches préexistantes et sont d'origine biologique et/ou chimique.

Exemples :

- précipitation de sels dissous, ou construites par des organismes microscopiques
→ **calcaires, craie**



Les roches sédimentaires

Caractéristique principale : le plus souvent stratifiées, en lits superposés

Classification simplifiée des roches sédimentaires

- roches détritiques
- **roches physico-chimiques ou biogènes** :



Exemples :

- précipitation de sels dissous, ou construites par des organismes microscopique → calcaires, craie, souvent accompagnés de roches siliceuses (**silex, meulières, ...**) ou ferriques, en rognons, en bancs, en nodules,...



Nodules polymétalliques à 4000 et 5000 mètres de profondeur au fond des océans

Les roches sédimentaires

Caractéristique principale : le plus souvent stratifiées, en lits superposés

Classification simplifiée des roches sédimentaires

- roches détritiques
- **roches physico-chimiques ou biogènes :**

Exemples :

- précipitation de sels dissous, ou construites par des organismes microscopique → calcaires, craie, souvent accompagnés de roches siliceuses (**silex, meulières, ...**) ou ferriques, en rognons, en bancs, en nodules,...
- accumulation de matières organiques → roches carbonées (**charbon, houille, lignite, pétrole, tourbes...**)

Bracelets en lignite



Tourbière et tourbes



Les roches sédimentaires

Caractéristique principale : le plus souvent stratifiées, en lits superposés

Classification simplifiée des roches sédimentaires

- roches détritiques
- roches physico-chimiques ou biogènes
- « **roches résiduelles** »

Résidus solides de l'altération souvent meubles, restés sur place ou remaniés (**argiles à silex, altérites,...**) au Tertiaire (mésozoïque) (climat chaud et humide) : très fréquent en Bretagne : *la maladie tertiaire*

= **substrat** mais parfois inclus dans les formations superficielles → *cours sur les sols*



kaolin

LES ROCHES METAMORPHIQUES

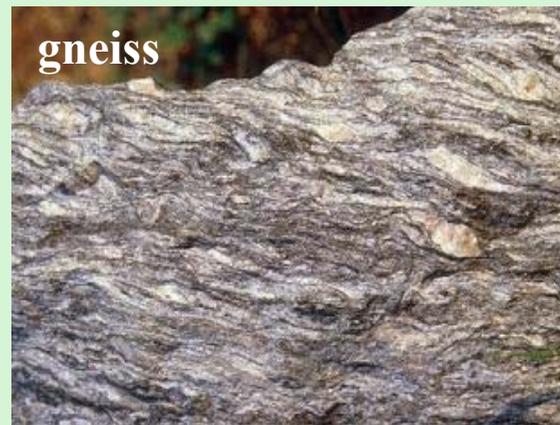
Les roches métamorphiques

Métamorphisme = transformation d'une roche (roche mère ou « **protolithe** ») à l'état solide du fait d'une élévation de pression et/ou de température, au sein de l'écorce terrestre.

Pression (P) et Température (T°C) bien supérieures à celles régnant en surface de la Terre (contraintes et enfouissement due à la tectoniques des plaques)

Accompagnée d'une cristallisation de nouveaux minéraux (néoformés).

Groupe de roches très variées



micaschistes



amphibolites



marbre

Les roches métamorphiques

Métamorphisme = transformation d'une roche (roche mère ou « **protolithe** ») à l'état solide du fait d'une élévation de pression et/ou de température, au sein de l'écorce terrestre.

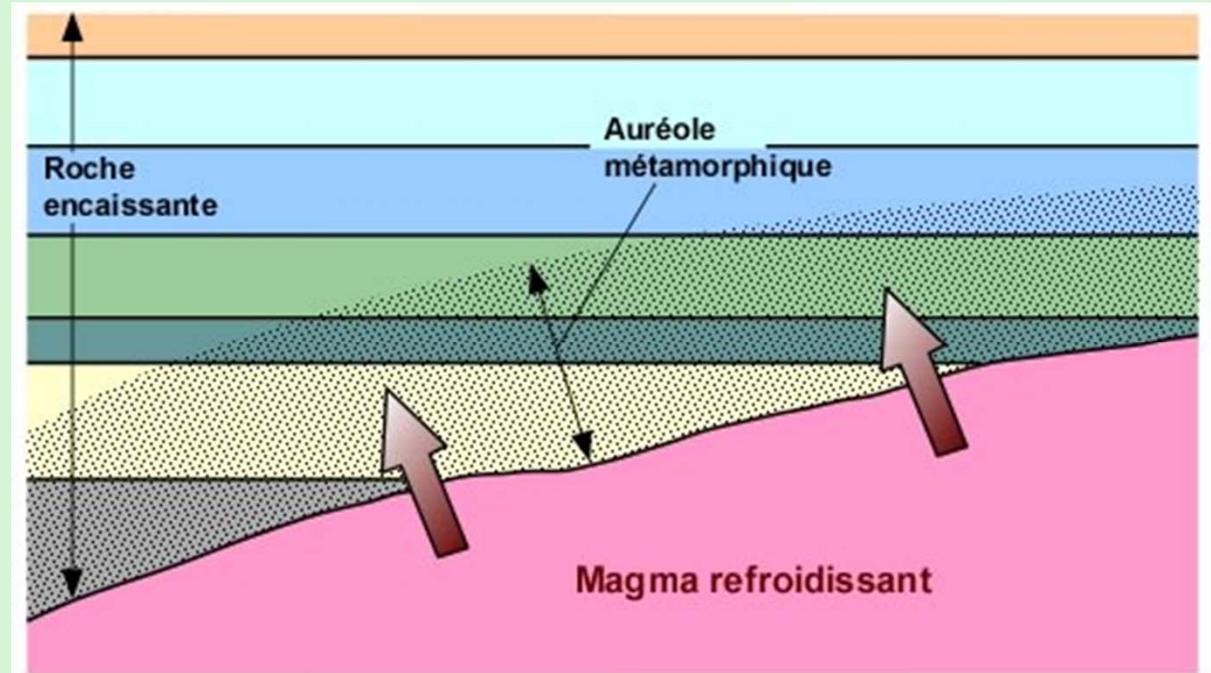
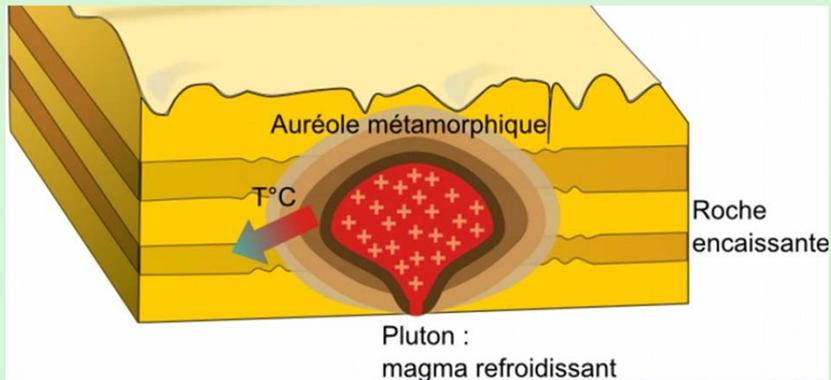
P et T°C supérieures à celles régnant en surface de la Terre

Accompagnée d'une cristallisation de nouveaux minéraux (néoformés).

2 types de métamorphisme :

- **de contact** : anciens sédiments modifiés au contact de massifs magmatiques intrusifs :
auréole métamorphique.

Ex = **cornéennes et schistes tachetés,...**



Les roches métamorphiques

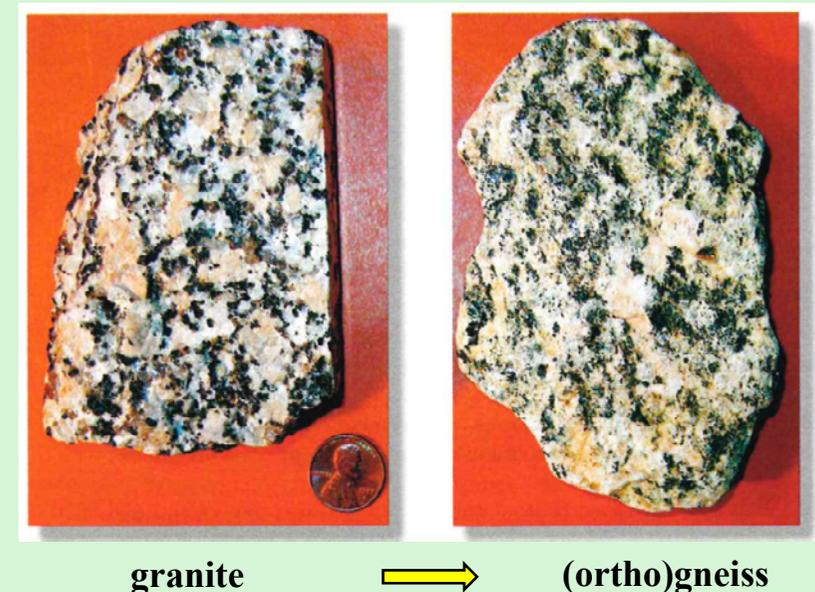
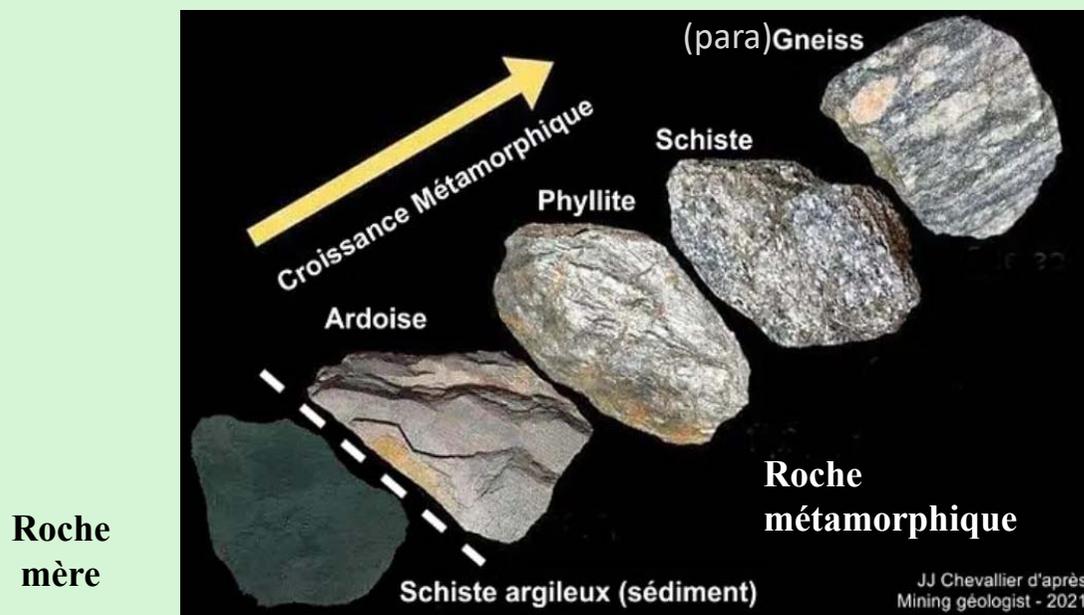
2 types de métamorphisme :

- *de contact*

- *régional* : ces roches dites « **crystallophylliennes** » représentent d'anciennes séries sédimentaires ou d'anciennes roches magmatiques, ayant recristallisé en profondeur.

Une fois plissées, elles peuvent constituer à elles seules d'immenses **chaînes de montagnes** (ex : Massif armoricain, chaîne hercynienne).

Déplacements horizontaux des plaques lithosphériques les unes par rapport aux autres → engendre des déformations importantes, notamment au niveau des frontières de plaques (failles, plis, schistosité,...)

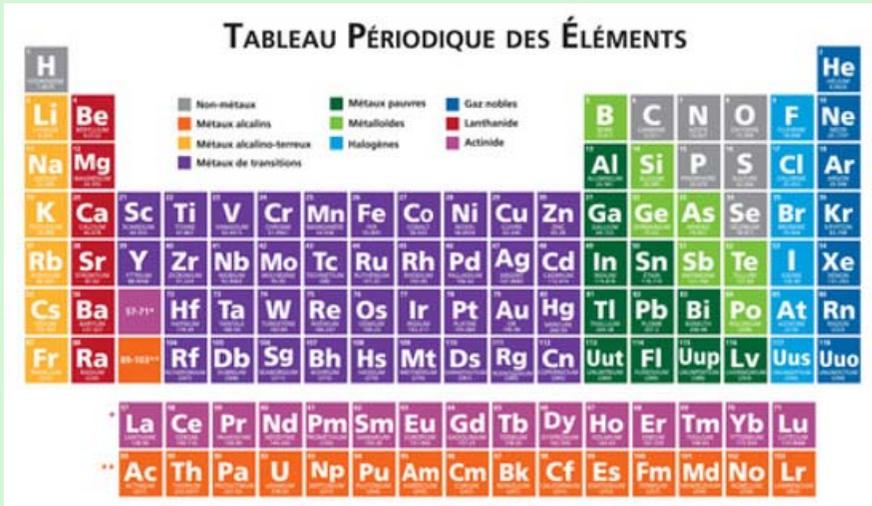


COMMENT RECONNAITRE LES ROCHES ?

Comment reconnaître les roches?

Différence entre une roche et un minéral, pour les roches magmatiques et métamorphiques

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS



Legend:
 Non-métaux (grey), Métaux pauvres (green), Gaz nobles (blue),
 Métaux alcalins (orange), Métalloïdes (light green), Lanthanide (red),
 Métaux alcalino-terreux (yellow), Halogènes (cyan), Actinide (purple),
 Métaux de transition (dark blue)

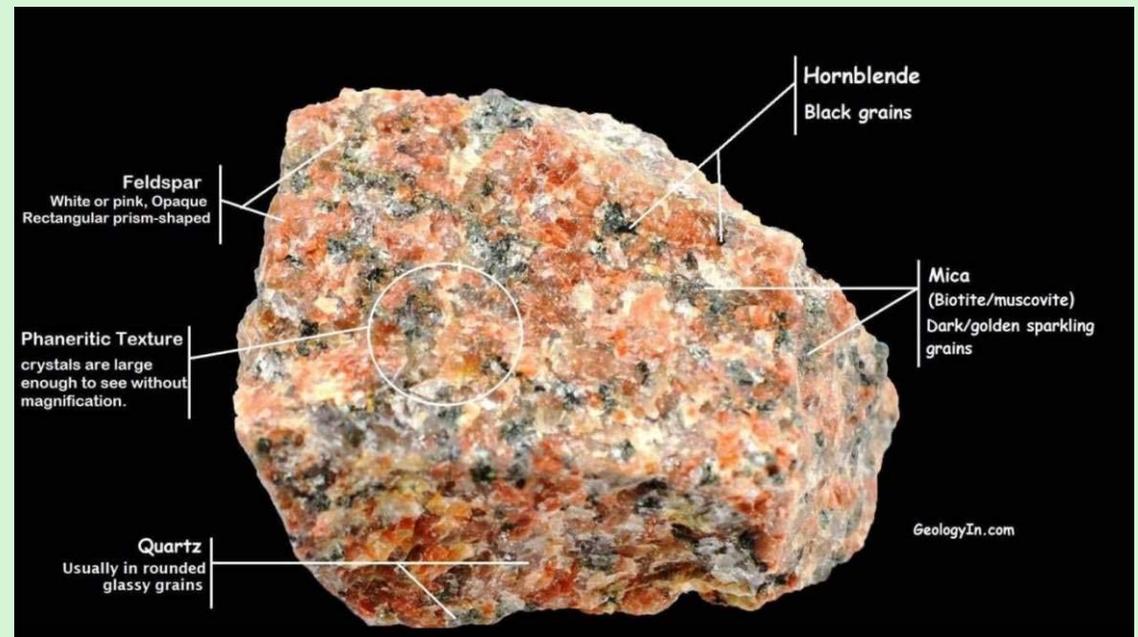
Minéral : ensemble d'éléments chimiques de manière cohérente sous forme de cristaux



Éléments chimiques

Roche : matériau constitué d'un ensemble de minéraux présentant une certaine homogénéité

Ex : **granite** Q Quartz : silice SiO_2
 F Feldspaths
 M Micas



Comment reconnaître les roches?

La structure de la roche : orientation des minéraux ou des particules (grains)

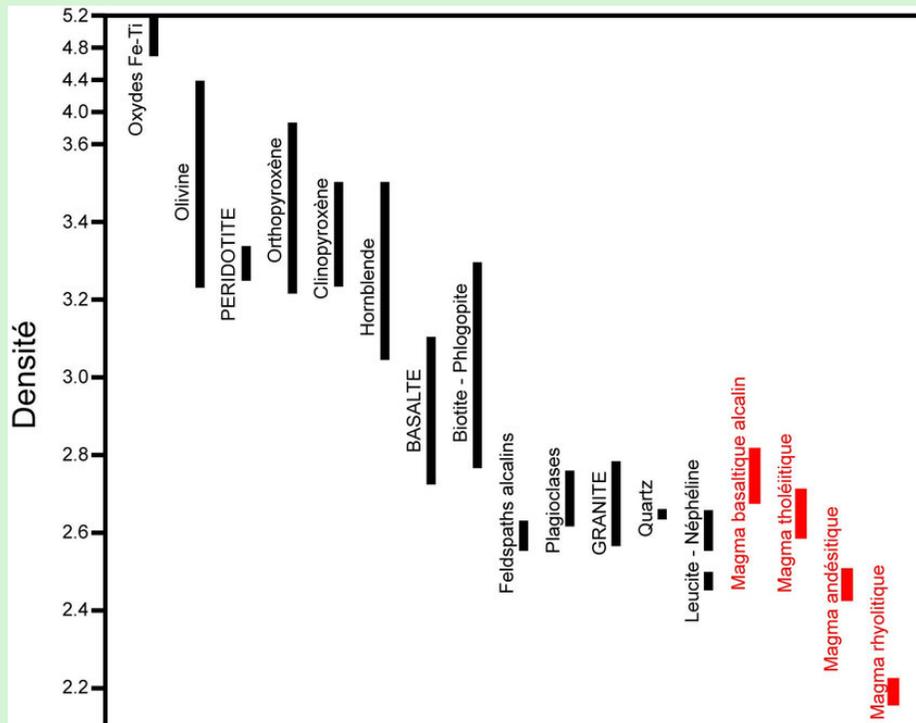
- Roche sans structure orienté : **roches magmatiques**
+ **identification des minéraux (taille, couleur,...)**
- Roche avec structure orientée : **roches métamorphiques**
(sauf métamorphisme de contact)
+ **identifications des minéraux (taille, couleur,...)**
- Roches stratifiées = disposées en couches horizontales ou parfois obliques : **roches sédimentaires**
+ **identifications des grains (taille, couleur, aspect de surface : arrondis, anguleux, etc...) notamment pour les roches sédimentaires détritiques**



Comment reconnaître les roches?

D'autres critères

- La dureté : échelle de Mohs
- La densité
- L'effervescence à l'acide chlorhydrique



DURETÉ		
Rayés par l'ongle	1	Talc
Rayés par une pièce en cuivre de un cent	2	Gypse
	3	Calcite
Rayés par la lame d'acier d'un canif	4	Fluorite
	5	Apatite
Rayent le verre	6	K-feldspath
	7	Quartz
	8	Topaze
	9	Corindon
	10	Diamant



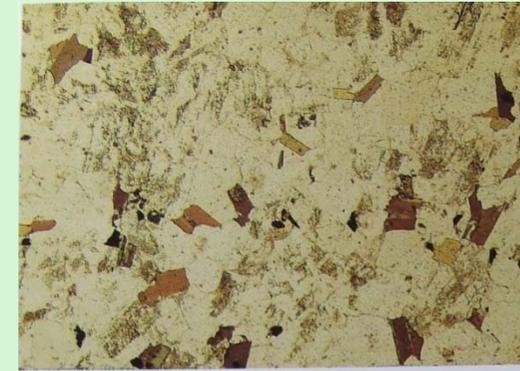
Le calcaire fait effervescence à l'HCl pas le silex composé de silice

Comment reconnaître les roches?

Méthodes d'analyses en laboratoire



Lames minces



Temps de mesure → Time 3.6 sec
 Reconnaissance de la nuance → SS-304 0.3 ← Indice de confiance sur la reconnaissance de nuance
 Composition exacte de l'échantillon avec incertitudes de mesure

Ele	%	±2σ
Sn	0.203	0.027
Cr	17.67	0.24
Mn	1.88	0.20
Fe	68.92	0.43
Co	0.394	0.229
Ni	9.50	0.30
Cu	0.556	0.097
Mo	0.470	0.072

Logiciel NITON intégré à l'analyseur.
 Visualisation en temps réel des résultats

Analyses chimiques