

GÉOLOGIE : LE MINIMUM VITAL

Première partie : La Terre, ses composants, son évolution

V - Les processus géologiques de surface

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

V – LES PROCESSUS GÉOLOGIQUES DE SURFACE

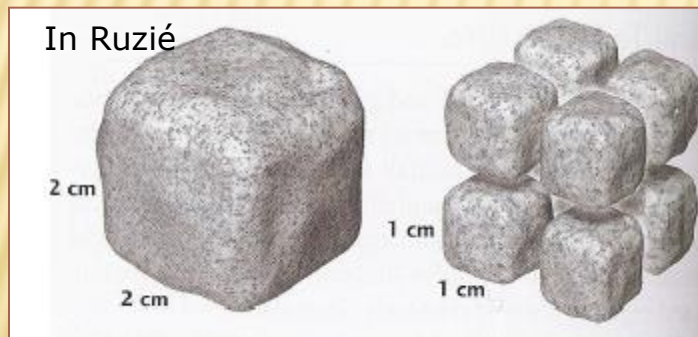
Altération – érosion - transport
sédimentation
stratigraphie
paléontologie

V – L'ALTÉRATION

- ✘ Dès qu'une roche est amenée à la surface de la Terre, elle s'altère, l'altération est le premier des processus qui conduisent à la formation des roches sédimentaires.
- ✘ L'altération résulte de l'action des agents climatiques (eau, neige, glace...) sur les roches ou sur tout autre objet présent à la surface de la Terre.
- ✘ L'altération est facilitée par la gravité.
- ✘ Elle est fonction du climat (donc de la végétation), de la nature de la roche (du minéral), de la structure géologique (strates, fractures), du relief, du temps...

V – PHYSIQUEMENT, L'ALTÉRATION EST FACILITÉE PAR...

- ✗ Les discontinuités (fractures, diaclases) à toutes les échelles,
- ✗ Le gel, la chaleur,
- ✗ Les végétaux (racines, acides),
- ✗ La force mécanique.



Plus la roche est débitée, plus efficace sera l'altération chimique.

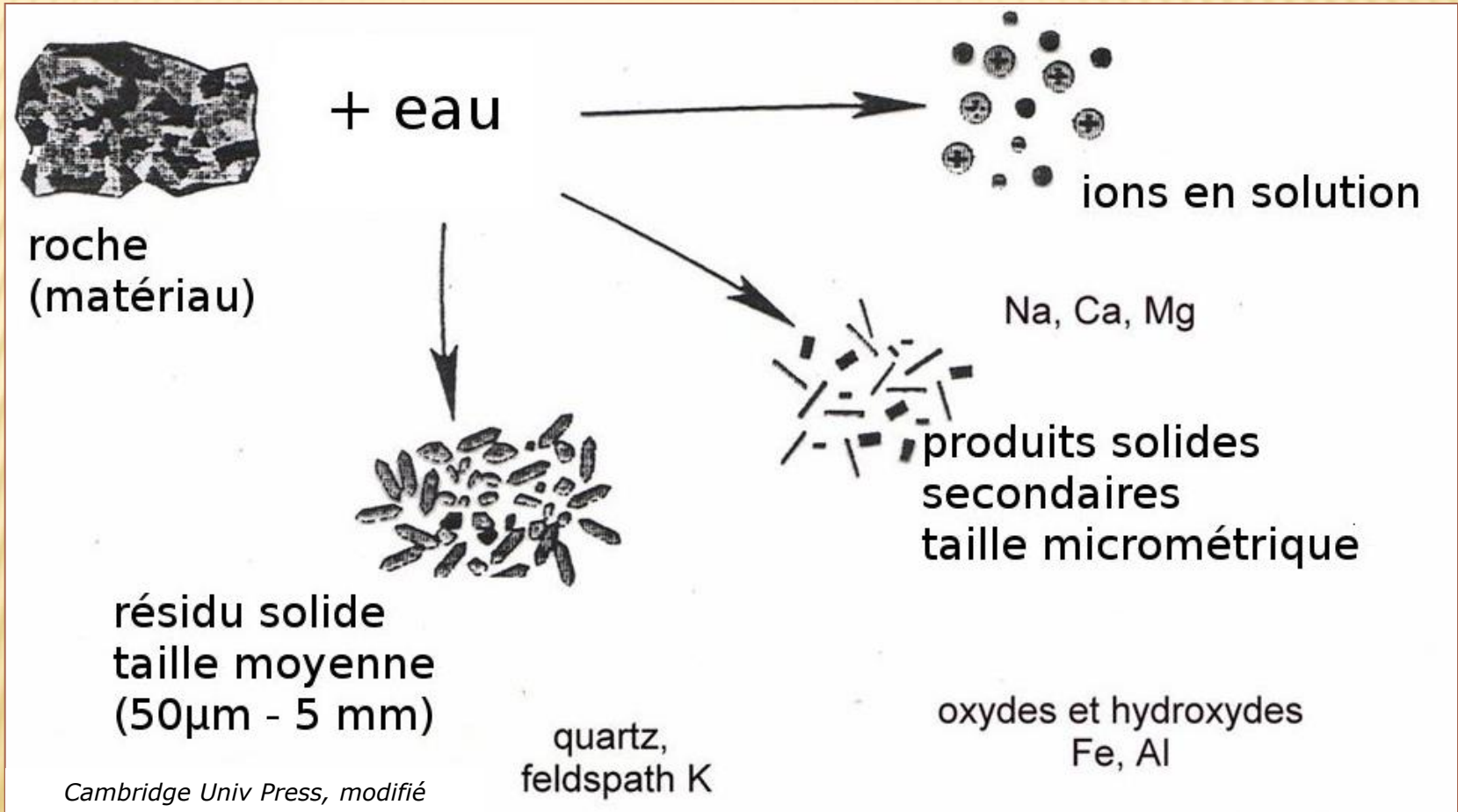


V - ALTÉRATION CHIMIQUE

- ✗ Certains ions sont plus solubles que d'autres (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+)
- ✗ Certaines liaisons dans les minéraux sont plus fragiles (clivages...) donc ...
- ✗ ... les roches qui contiennent ces minéraux sont plus altérables
- ✗ Au total ...

Roche + eau + $\text{CO}_2 \rightarrow$ (argiles) + ions en solution

V – LORSQU'ELLE S'ALTÈRE, UNE ROCHE PRODUIT...



V - ALTÉRATION CHIMIQUE ≠ SELON LES MINÉRAUX

Température de cristallisation
magmatique (Bowen) décroissante

Olivine

Feldspath Ca

Pyroxène

Feldspath Na

Amphibole

Feldspath K

Biotite

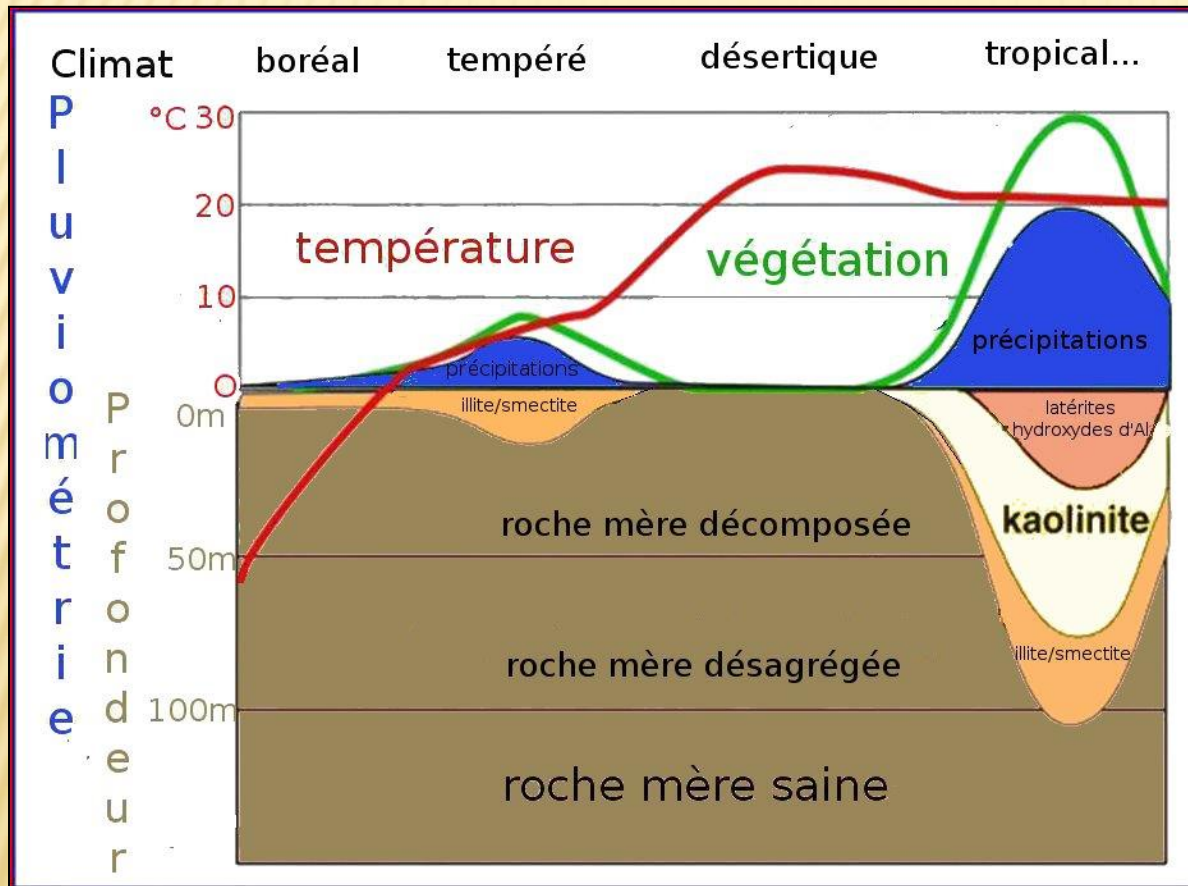
Muscovite

Quartz

De plus en plus altérable

À pH 5 et 25 °C, durée de vie d'un grain d'un millimètre cube de feldspath calcique = 100 ans, d'un pyroxène Mg = 5000 ans, d'un feldspath sodique = 100 000 ans, d'un quartz = 30 Ma...

V - ALTÉRATION ≠ SELON LE CLIMAT



Toutes choses = par ailleurs (ex : mêmes roches, granulométrie, fracturation...), importance

- du climat : température, pluviométrie, végétation, durée...
- du rapport eau/roche...

Formation du sol, support de la Vie.

V – ALTÉRATION : LE SOL

Caner et Tertre



Les horizons d'un sol

- ✘ Le sol, est le résultat de l'altération **biogéochimique**, est fonction de l'altération et de la nature de la roche - mère;
- ✘ est divisé en **horizons** (et non en couches);
- ✘ contient une part inorganique, une part organique, une part mixte (complexe argilo - humique);
- ✘ renferme une phase liquide et une phase gazeuse;
- ✘ Importance de la structure pour définir les propriétés d'un sol → **un échantillon de sol n'est pas un sol.**

V- DE NOMBREUX TYPES DE SOL



Le type de sol est fonction de

- la nature minéralogique et chimique de la roche-mère
- du climat
- du relief
- du temps
- des êtres vivants végétaux ou animaux.

Les sols seront donc plus ou moins profonds, colorés, riches en humus, en eau etc.

Voir ci-contre!

V – APRÈS L'ALTÉRATION, L'ÉROSION

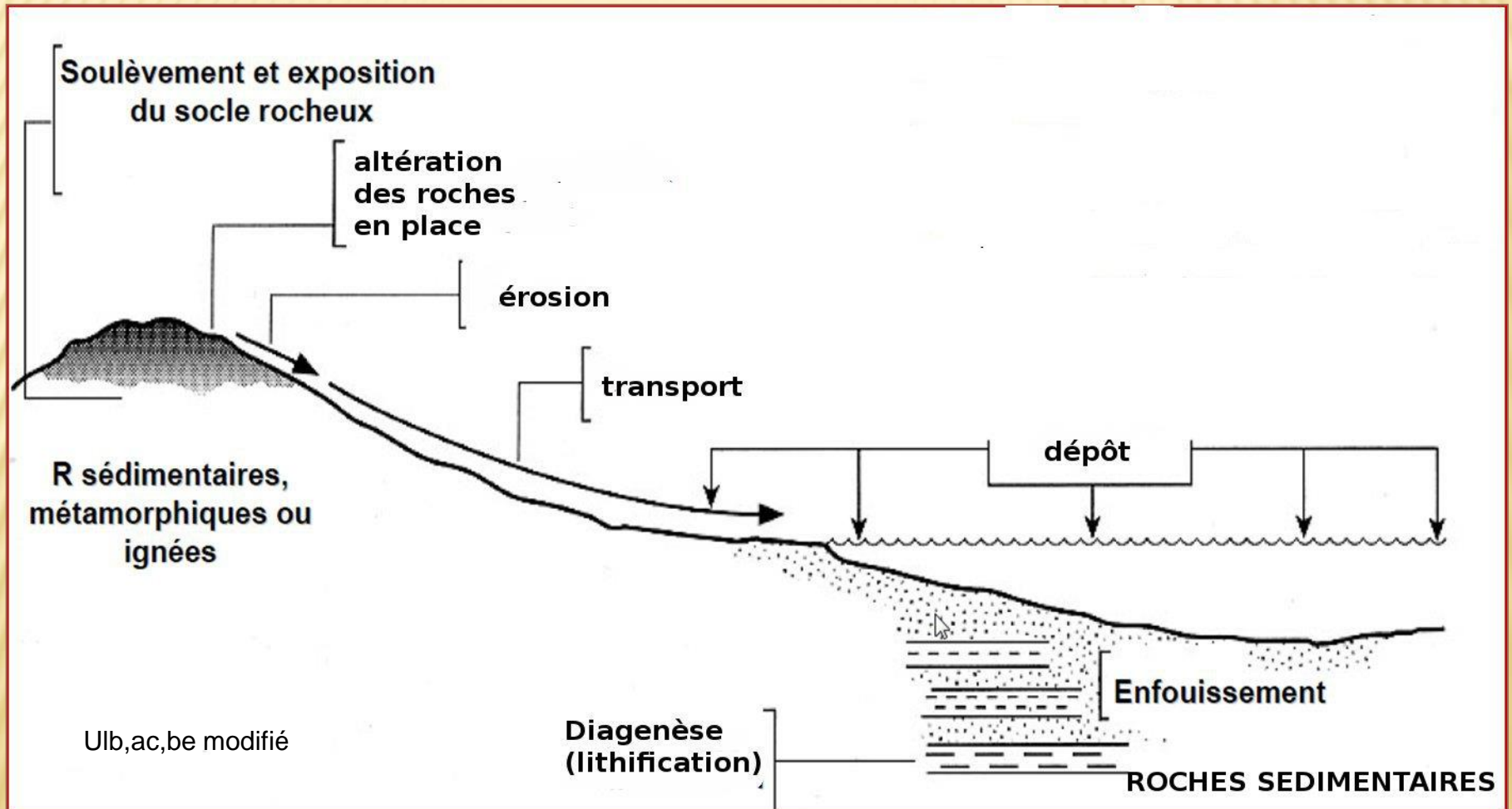
- ✘ On vient de voir que **l'altération dépend du climat** ; elle est maximale en climat régulier, humide et chaud;
- ✘ en retour **l'altération influe sur le climat** (consommation de CO₂).
- ✘ **L'érosion** est maximale sur les zones déjà altérées, lors d'événements exceptionnels et lorsque ses principaux agents sont favorisés (pluies brutales, glace...);
- ✘ L'alternance en un même lieu des processus chimiques et physiques accroît l'efficacité de l'érosion.

V – APRÈS L'ALTÉRATION ET L'ÉROSION, LA SÉDIMENTATION

- ✘ Quel est le devenir des particules et des ions libérés par l'altération ?
- ✘ Les milieux de sédimentation sont continentaux ou marins
- ✘ Importance des agents d'érosion (eau, glace, vent, gravité...)

*Sédimentation continentale, majoritairement détritique;
Sédimentation marine, détritique et (bio)chimique*

V - APRÈS L'ALTÉRATION ET L'ÉROSION, LA SÉDIMENTATION



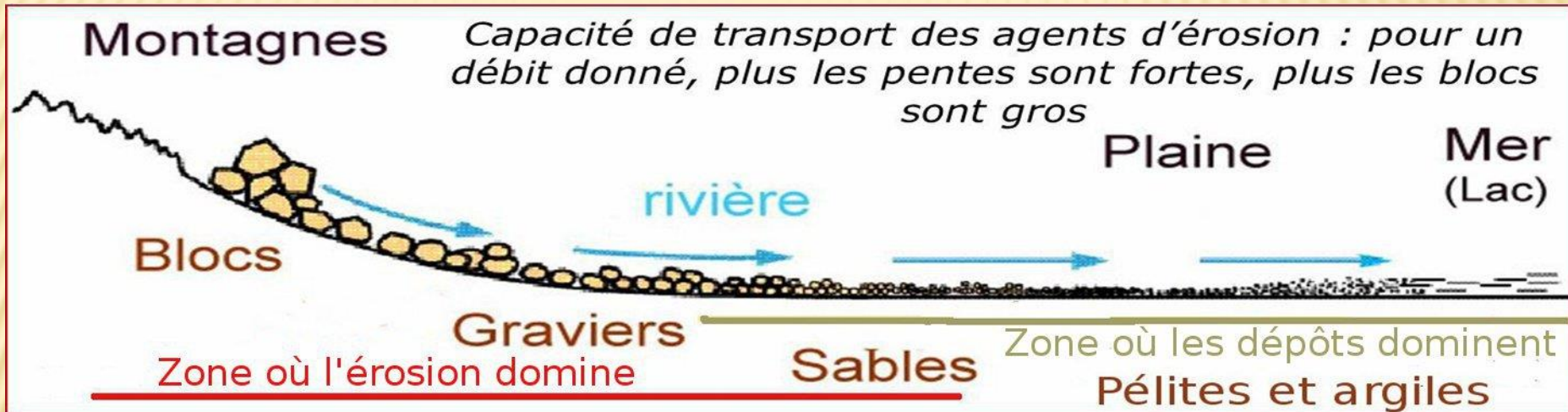
V – SÉDIMENTATION CONTINENTALE : AU PIED DES GLACIERS



- ✘ En montagne, zones glaciaires : le substrat est poli et à l'aval s'accumulent des **moraines**
- ✘ Matériaux peu calibrés et jamais arrondis ; en aval, sur le fond et le côté des glaciers.

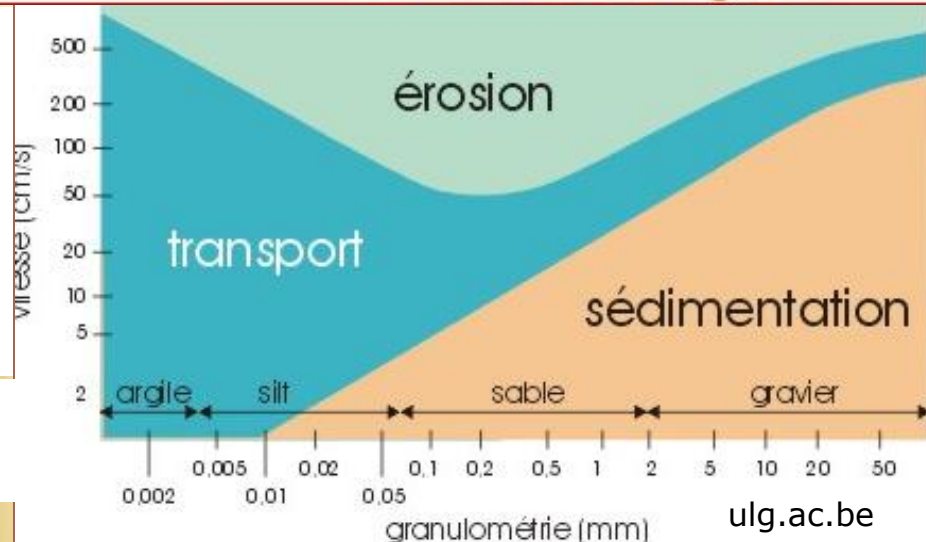


V - SÉDIMENTATION CONTINENTALE FLUVIATILE

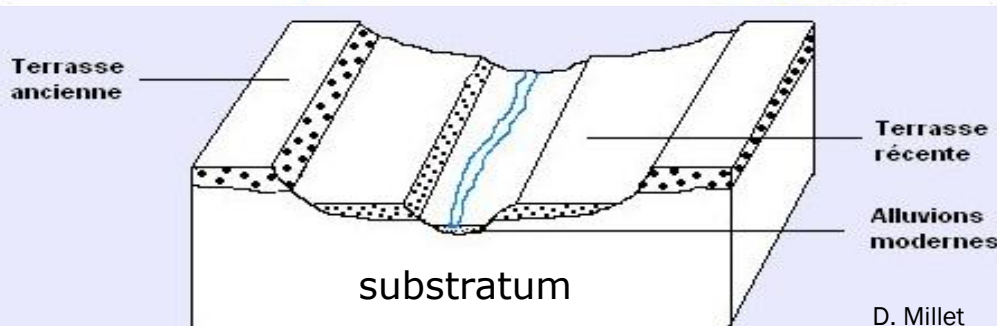
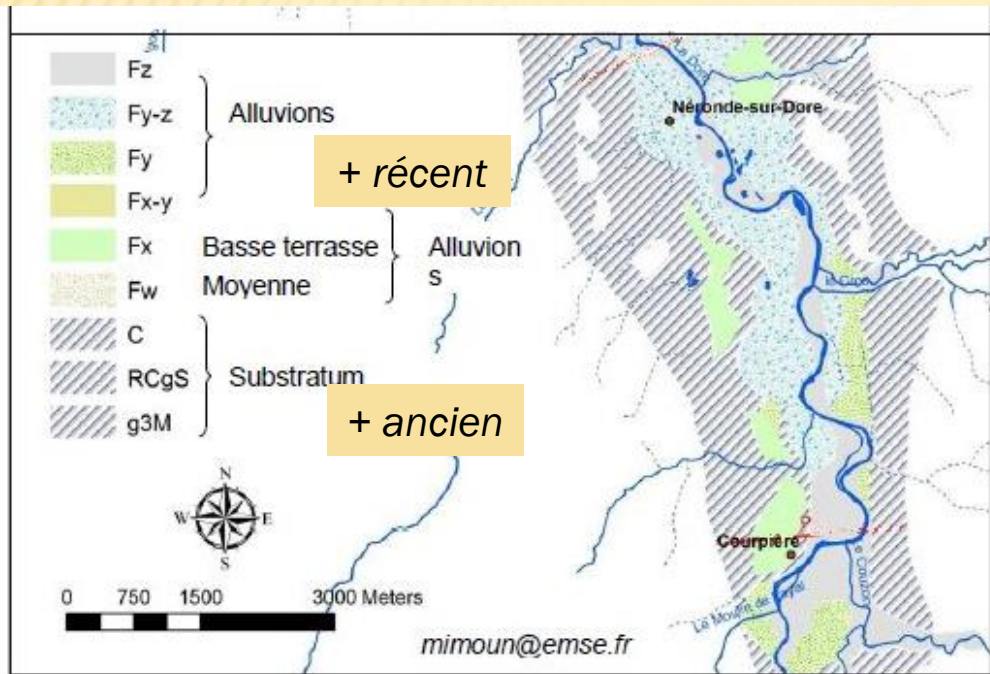


Erosion, transport et dépôt des sédiments par un cours d'eau se font en fonction de la **vitesse du courant** liée pour partie au débit et aux précipitations et de la **taille des grains**. Très grandes quantités de matériaux : plusieurs tonnes /km²/an.

Ci-contre les liens entre la vitesse du courant et le devenir des particules



V - SÉDIMENTATION CONTINENTALE : PLAINES ALLUVIALES



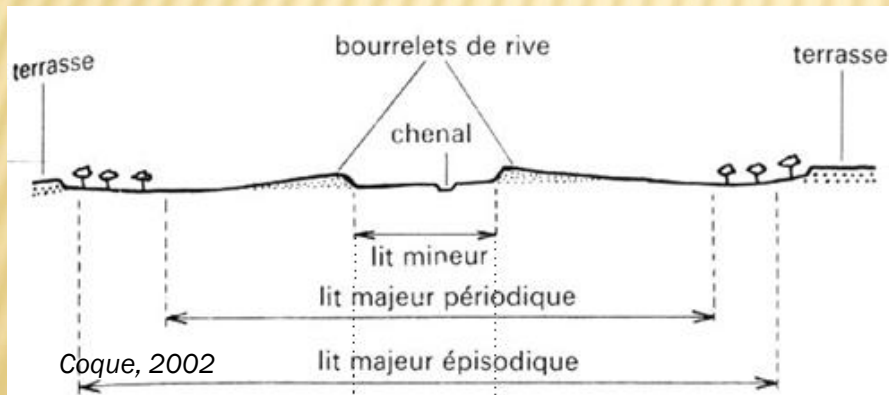
Dans la pratique, le niveau de la mer (= niveau de base) ayant beaucoup varié au Quaternaire, les terrasses alluviales sont fréquentes, les méandres se déplacent, les variations de faciès sont nombreuses.

Ci contre un exemple cartographique de la variabilité au cours du temps des dépôts alluviaux dans la vallée tertiaire de l'Allier près de Clermont-Ferrand.

V - SÉDIMENTATION CONTINENTALE : PLAINES ALLUVIALES

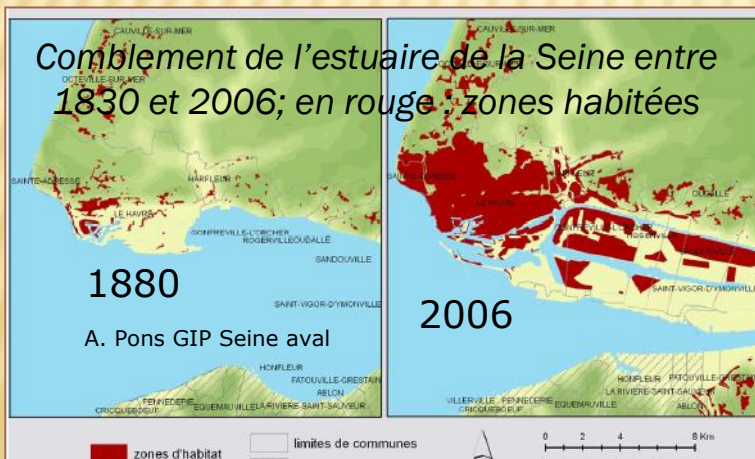


- ✘ Zones très planes, récentes remplies d'alluvions ; sables limons, argiles... sur plusieurs niveaux (terrasses).
- ✘ Présence de longue date de rivières divagantes (méandres, tresses, bras morts) → dépôts irréguliers, stratigraphie complexe.
- ✘ Les alluvions constituent le lit majeur des rivières essentiel pour les ressources en eau; importance des crues.

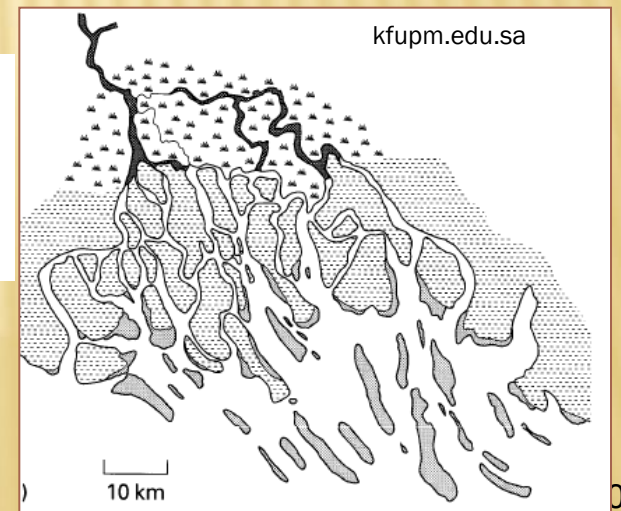


V - SÉDIMENTATION CONTINENTALE : ESTUAIRES ET DELTAS

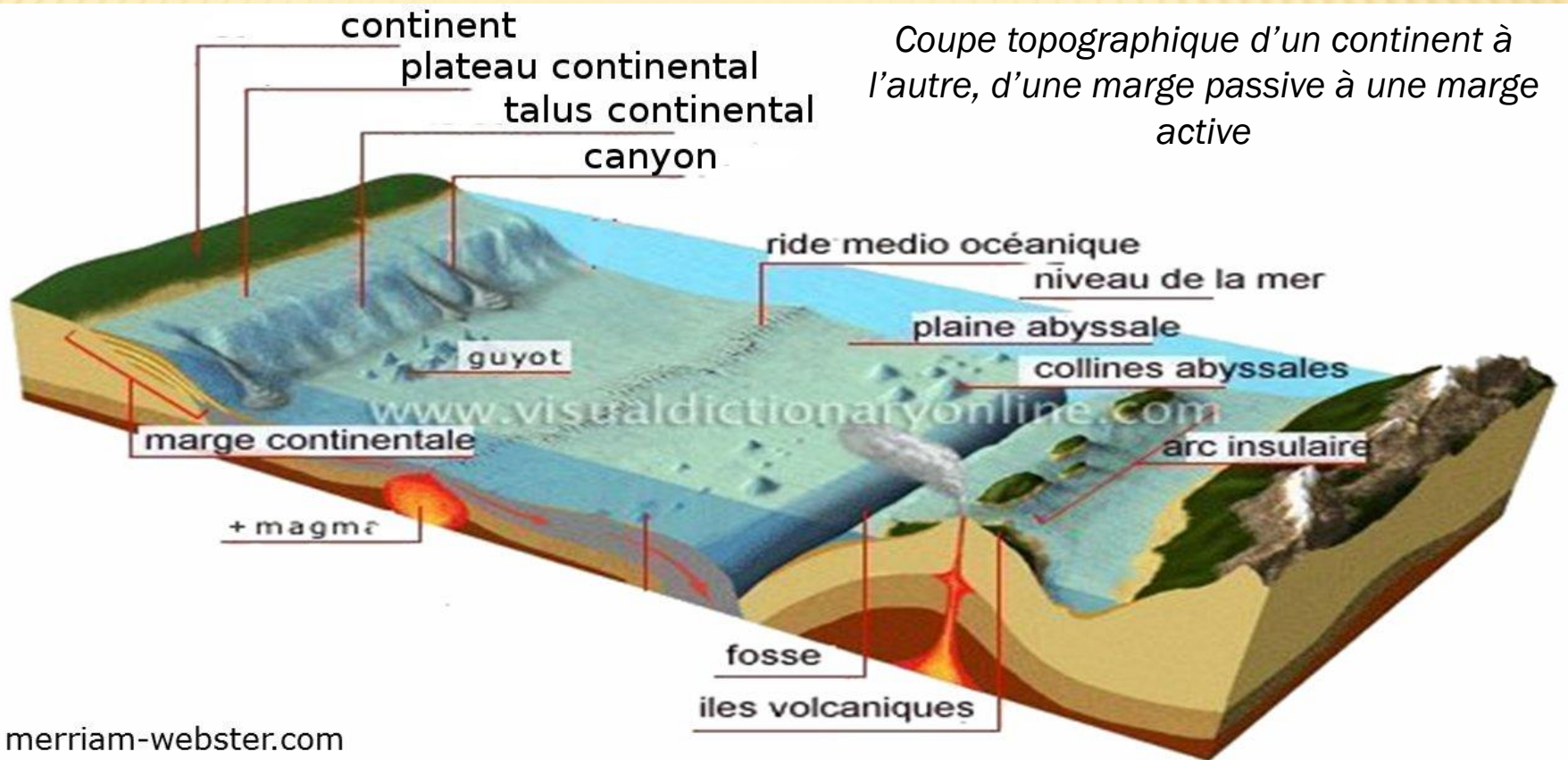
- ✘ Ce sont des zones intermédiaires, où se confrontent le milieu continental et le milieu marin.
- ✘ La vitesse du courant diminuant, les matériaux ont tendance à se déposer; bouchon vaseux au niveau des estuaires (Garonne, Loire, Elbe...); l'érosion en amont tend à les combler.
- ✘ Dans les deltas (Rhône, Nil...), la capacité de transport des fleuves est plus importante; la charge en matière organique est importante : fertilité.



*Delta du Gange;
sédiments de + en
+ fins vers le bas
du dessin*



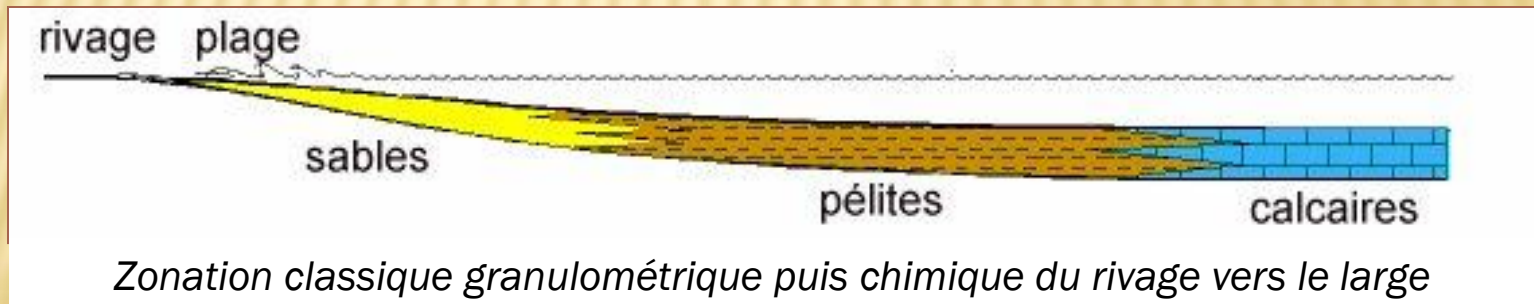
V - SÉDIMENTATION OCÉANIQUE : TOPOGRAPHIE DES FONDS OCÉANIQUES



La sédimentation a lieu dans tous ces contextes mais sa vitesse (épaisseur des dépôts par unité de temps) et sa nature (pétrographie) varient.

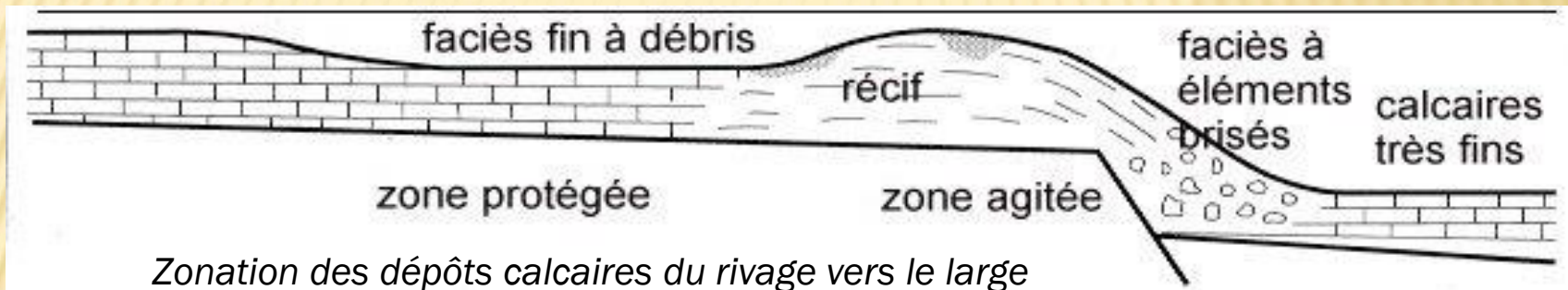
V - SÉDIMENTATION OCÉANIQUE : LE PLATEAU CONTINENTAL

- ✗ Plate forme qui borde le rivage, de quelques mètres à plusieurs centaines de Km vers le large; profondeur < 200 m.
- ✗ C'est la + importante des zones de sédimentation,
- ✗ On observe une zonation des sédiments du rivage vers le large; la nature des sédiments est une indication sur la distance au rivage et la nature du milieu (agité, calme).
- ✗ Si le niveau marin monte cet ensemble se déplace vers le continent (vers la gauche) ; s'il baisse, vers la droite.



V - SÉDIMENTATION OCÉANIQUE : PLATEAU CONTINENTAL

- Sédimentation calcaire en climat chaud; faciès différents selon l'agitation du milieu et dans un contexte d'altération chimique.

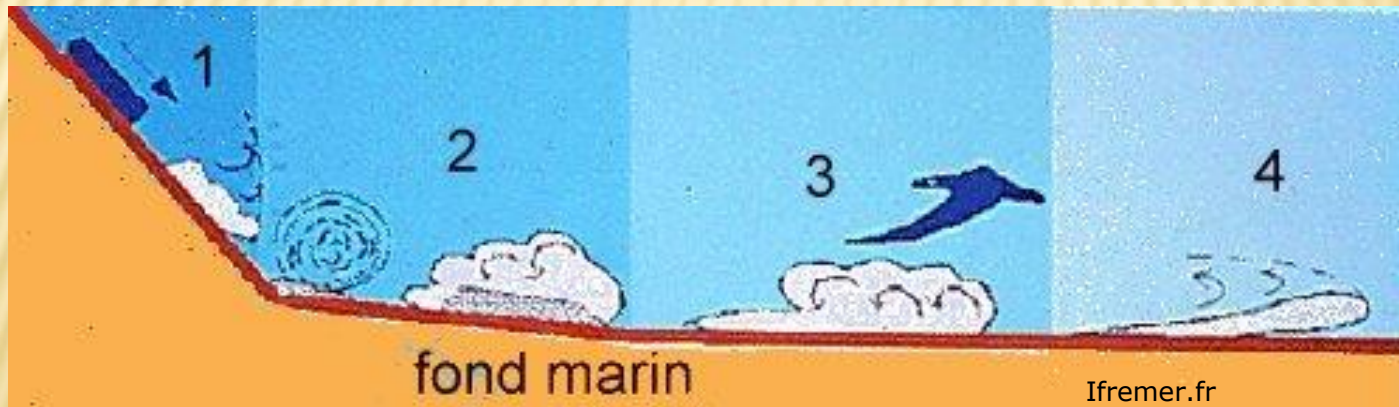


- Sédimentation d'évaporites (sel) dans des lagunes protégées.
- Sédimentation sableuses et détritiques : plages; la grosseur des grains (sable, graviers, galets) dépend du relief de l'arrière-pays immédiat.



V - SÉDIMENTATION OCÉANIQUE : TALUS CONTINENTAL

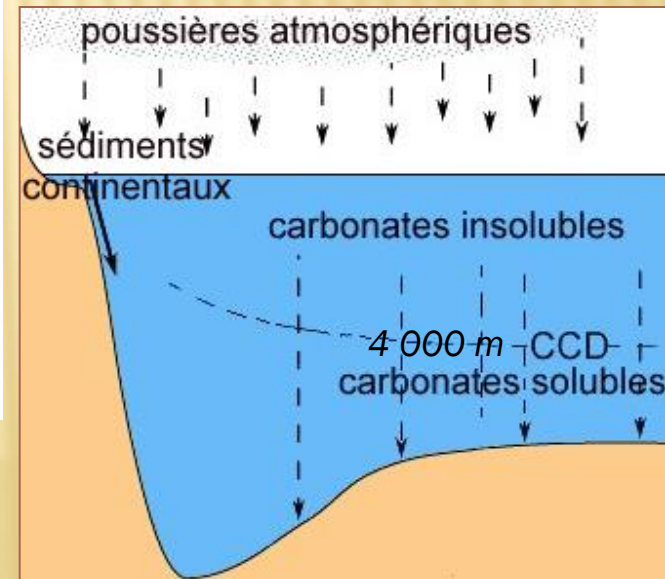
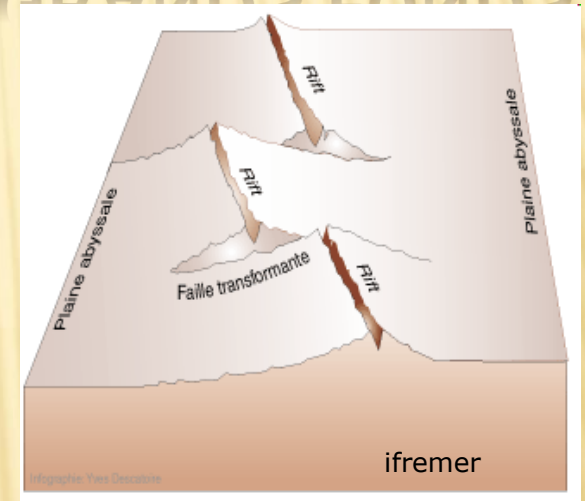
- ✗ Du plateau continental à 2500 m de profondeur, la pente devient très forte, c'est le talus continental qui
- ✗ est entaillé de canyons; les sédiments y sont instables; lieu de courants gravitaires rapides formant des cônes sédimentaires de grande extension, turbidites ou flyschs.



1. Une masse de sédiments instables se détache, devient une coulée boueuse, 2. l'épaisseur de la coulée canalisée par un canyon sous-marin augmente par incorporation d'eau; les sédiments les + grossiers se déposent; 3. les matériaux de la coulée se déposent puis (4) s'étalent.

V - SÉDIMENTATION OCÉANIQUE : GRANDS FONDS

- ✘ Plaines abyssales étendues entre 2500 et 4000 m perturbées par les dorsales, chaînes volcaniques sous marines allongées, hautes de 2000 m environ;
- ✘ 60% de la surface des océans,
- ✘ Sédimentation calcaire impossible à partir d'une certaine profondeur où les eaux froides sont sous saturées en CaCO_3 ; CCD.
- ✘ Dans les grands fonds la sédimentation (argile + silice + matière organique) est lente (cm/1000 an).



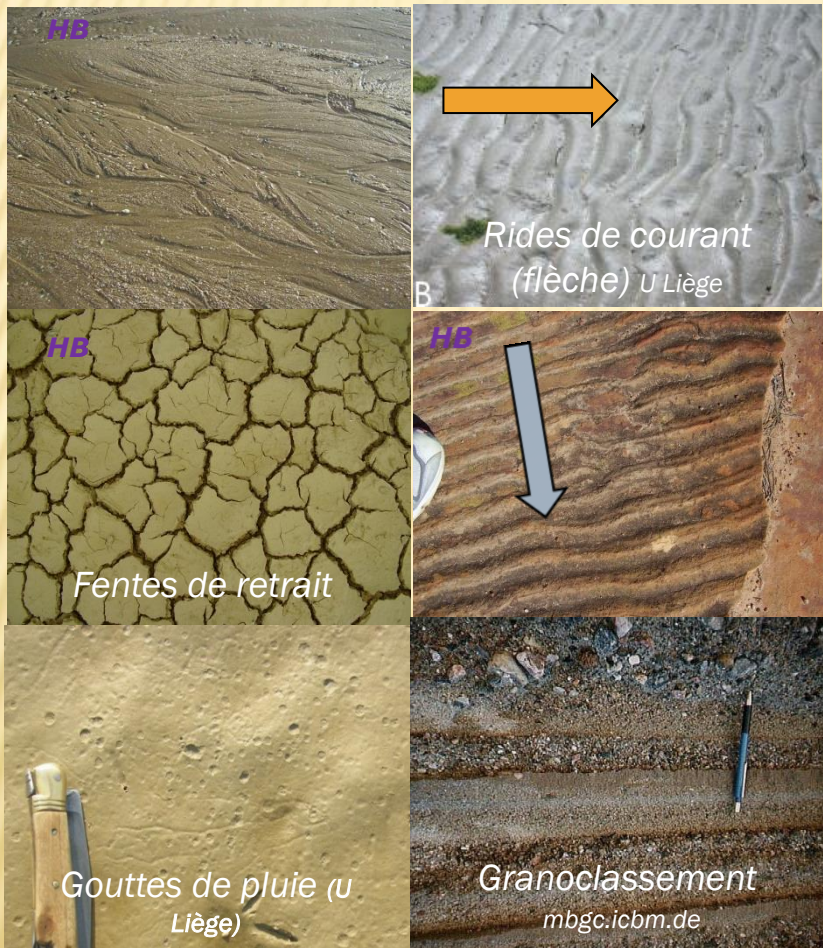
V - SÉDIMENTATION OCÉANIQUE : FOSSES PROFONDES

- ✗ Fosses très allongées dissymétriques en bordure des continents et des zones de subduction (marges actives); jusqu'à 11 000 m de profondeur, sur les marges actives.
- ✗ Lieux où la sédimentation est forte : apports importants de puis le continent : prismes d'accrétion.
- ✗ Subsidence et diagenèse rapides;
- ✗ Flux de chaleur faibles.

Prisme d'accrétion simulé



V – SÉDIMENTOLOGIE – RECONSTITUER LE CONTEXTE VIA LES FIGURES DE SÉDIMENTATION



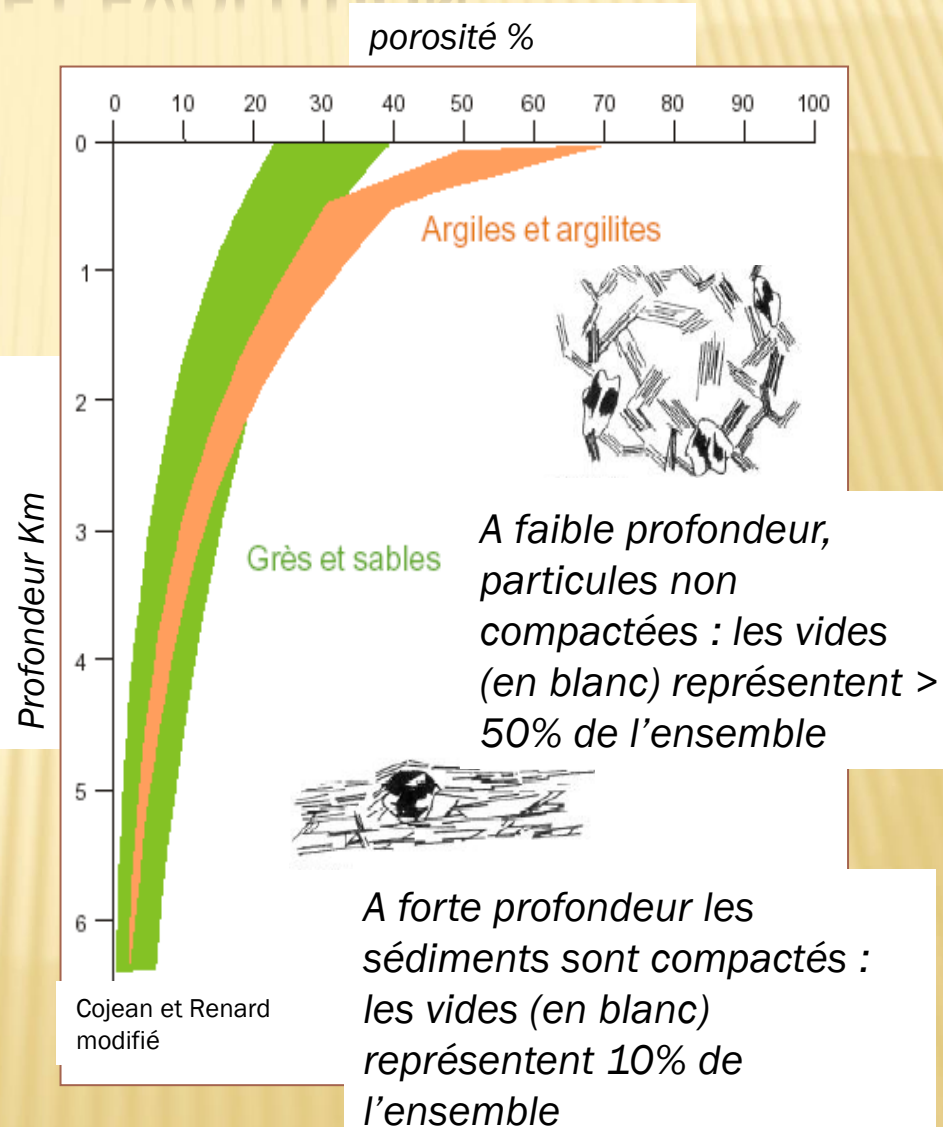
Les figures de sédimentation que l'on rencontre à toutes les échelles, donnent des indications **sur les conditions ambiantes** lors du dépôt sédimentaire : force du courant, présence de houle, de vagues etc.

Elles donnent aussi des idées sur le **sens du dépôt** (critères de polarité, importants pour reconstituer l'histoire d'une chaîne de montagnes).

Quelques figures de sédimentation; les flèches indiquent le sens du courant

V – DES SÉDIMENTS AUX ROCHES : LA DIAGENÈSE – COMPACTION ET ÉVOLUTION

- **La compaction** provient du tassement qui se produit lorsqu'un sédiment est recouvert par d'autres. Il s'ensuit une diminution du volume (fonction de la granulométrie) et une expulsion de l'eau interstitielle
- **Puis dégradation** de la matière organique, dénitrification, réduction;
- **Dissolution** suivie du remplissage des vides.



V - LA DIAGENÈSE – CIMENTATION REEMPLACEMENT...

- **Cimentation** en fonction de la nature du milieu et de la saturation des eaux
- **Remplacement** exemple dolomitisation, silicification
- **Recristallisation** (argiles de + en + cristallisées).

Lors de la diagenèse,

- Vase → argile → schiste ; sable → grès (à ciments variés) ;
- Kérogène → pétrole → gaz



DE LA SÉDIMENTATION À LA STRATIGRAPHIE

- ✘ Les sédiments possèdent tous leurs caractéristiques propres (faciès);
- ✘ Une fois déposés, les sédiments sont recouverts par d'autres la pression augmente, l'oxygénation diminue (c'est la diagenèse);
- ✘ Les sédiments enregistrent ensuite l'histoire géologique de la région (c'est la stratigraphie).

V – LES PRINCIPES DE LA STRATIGRAPHIE

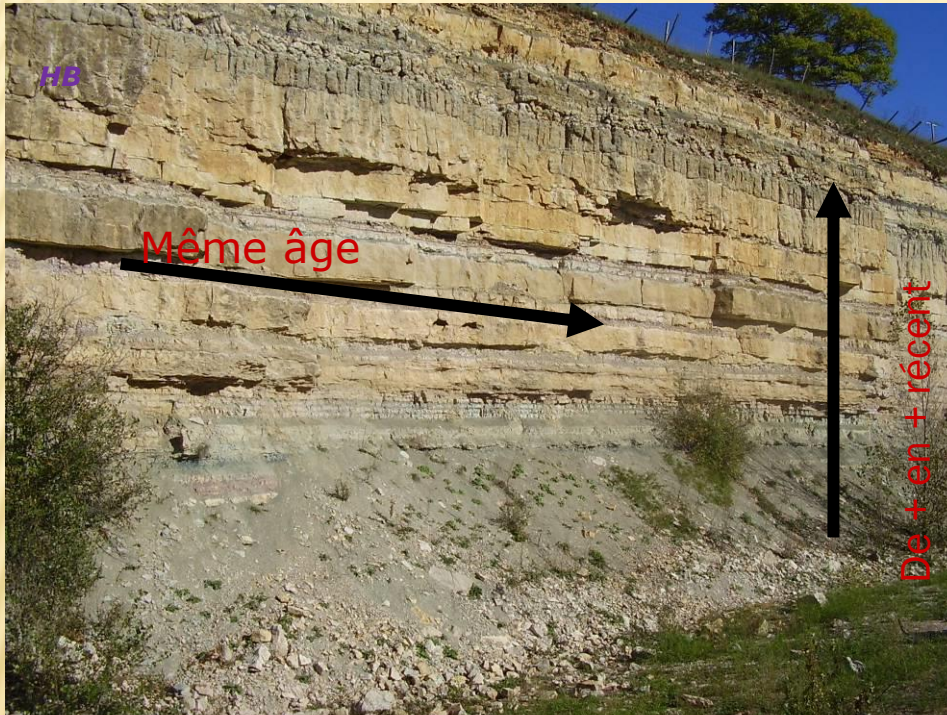
Les relations géométriques entre les formations géologiques permettent leur datation relative (plus jeune, plus vieux...). Les principes sur lesquels se fonde la stratigraphie sont :

1. Superposition : une formation géologique est plus jeune que celle qu'elle recouvre



Ce conglomérat recouvre en discordance des couches plus anciennes

V – LES PRINCIPES DE LA STRATIGRAPHIE



Coupe du Lias (200 Ma), près de Rodez ; le faciès renseigne sur le milieu de dépôt mais pas sur l'âge

- 2. Horizontalité** : les couches sédimentaires se déposent horizontalement
- 3. Continuité** : une couche a le même âge sur toute son étendue
- 4. Recoupement** : une formation – ou une structure – qui en coupe une autre est plus jeune

V – LES PRINCIPES DE STRATIGRAPHIE

5. **Inclusion** : une formation incluse dans une autre est plus ancienne (ex. galets dans un conglomérat)
6. **Fossiles** : les fossiles inclus dans une formation sédimentaire déterminée ont le même âge et permettent de la dater.



Conglomérat : ces galets ont été enlevés à des formations géologiques plus anciennes

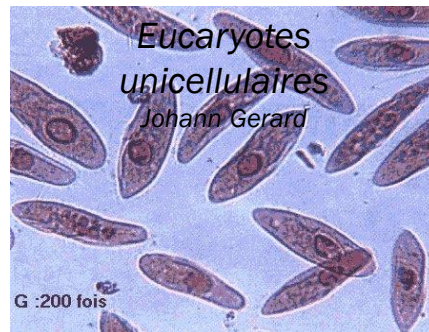
De proche en proche on établit des **corrélations** entre les formations géologiques pour arriver à une cartographie géologique.

V – PALÉONTOLOGIE – LES FOSSILES

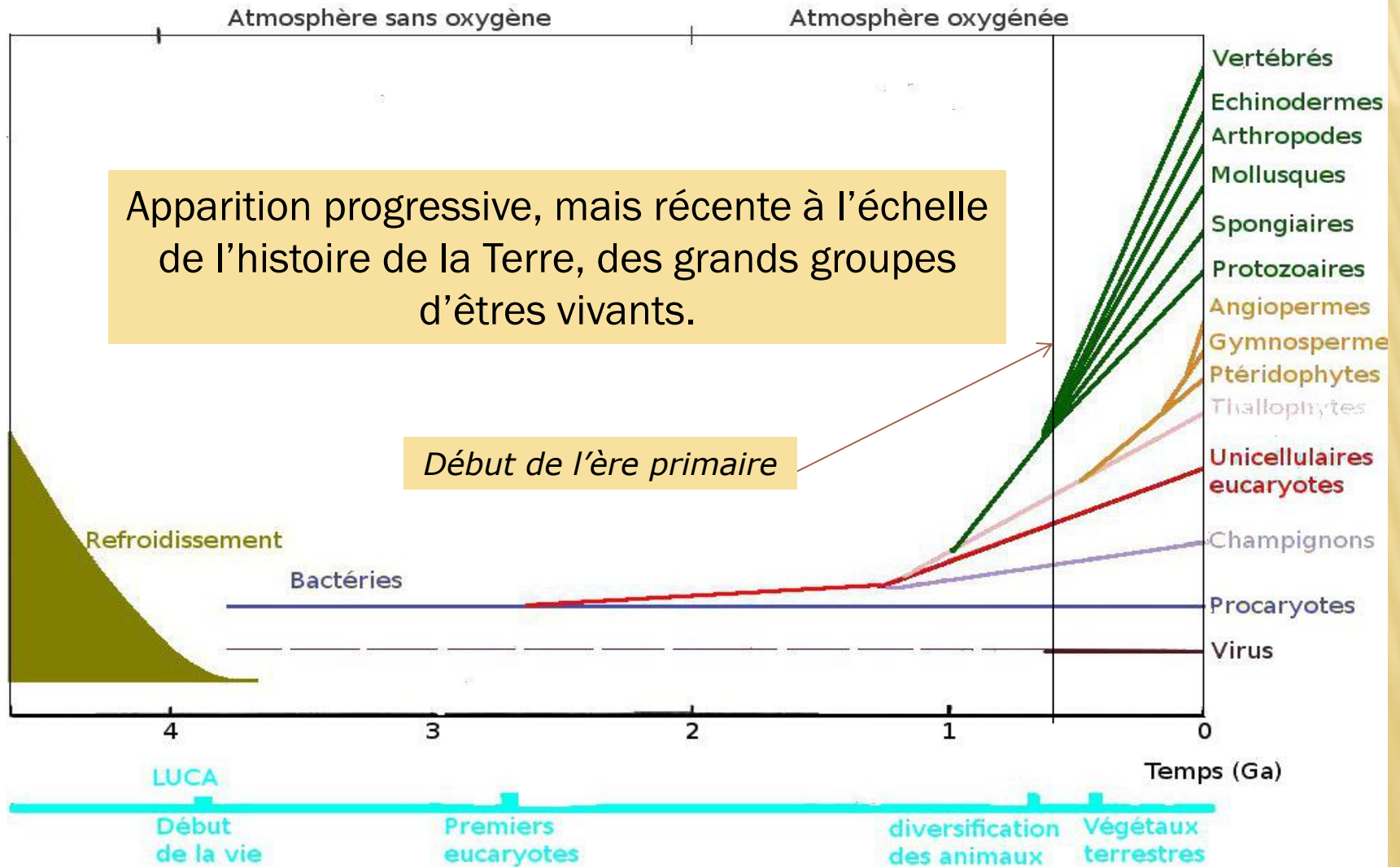
- ✘ Les fossiles sont les **restes conservés** d'organismes vivants (coquilles, traces...)
- ✘ Les fossiles sont inclus (uniquement) dans les terrains sédimentaires. En utilisant les données de l'évolution et le principe de superposition, ils nous permettent de **reconstituer l'histoire de la vie** dans une région puis, en corrélant de proche sur toute la Terre.
- ✘ Les fossiles permettent aussi de **reconstituer les environnements** anciens.

V – PALÉONTOLOGIE, L'ORIGINE DE LA VIE

- ✘ Les 1ères molécules organiques ont une origine non biologique! Sous l'action de la chaleur et des rayonnements UV, des molécules organiques (acides aminés puis protéines) sont synthétisées à partir d'éléments minéraux (H_2O , CH_4 , NH_3).
- ✘ Ces produits nouveaux sont mis à l'abri dans les océans (rôle des argiles); formation de polymères puis reproduction.
- ✘ Les premières cellules vivantes sont des procaryotes vers 3.7 Ga; premières bactéries vers 3 Ga.
- ✘ Eucaryotes vers 1.5 Ga.

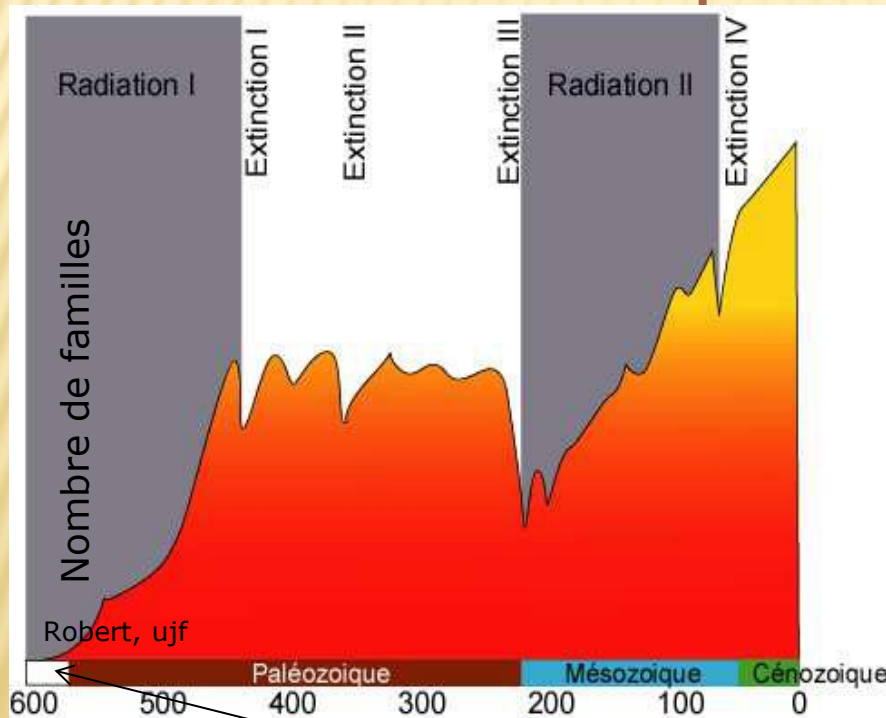
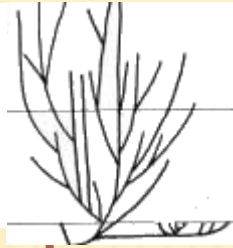


V - L'ÉVOLUTION



V – PALÉONTOLOGIE : LES CRISES BIOLOGIQUES

*Un exemple de « radiation » :
développement d'un grand
nombre d'espèces à partir d'une
souche unique*



Début de l'ère primaire

- Le nombre de familles d'êtres vivants a cru de façon exponentielle au début de l'ère primaire (= radiation).
- Plusieurs crises biologiques (extinctions) d'inégale importance ont eu lieu depuis; leurs causes sont terrestres (volcanisme) ou extraterrestres (météorite); la plus importante eut lieu à la fin de l'ère primaire.
- Les crises biologiques ont été suivies par une accélération du développement (radiations) d'inégale importance.

Développement des familles d'êtres vivants depuis le début de l'ère primaire

V – PALÉONTOLOGIE - FOSSILES STRATIGRAPHIQUES, FOSSILES DE MILIEU

L'étude des fossiles permet

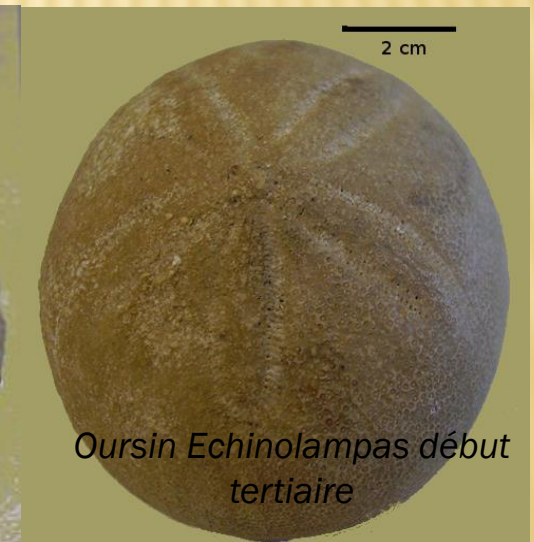
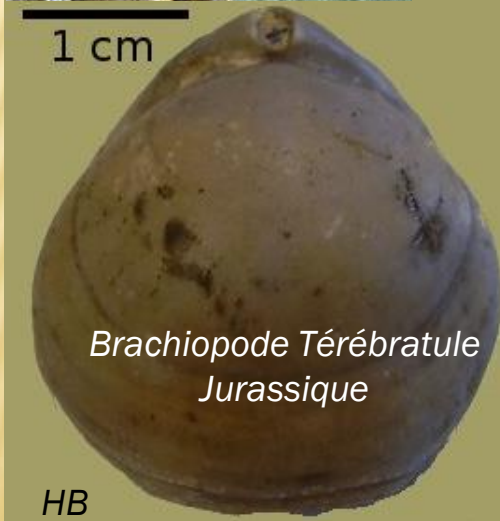
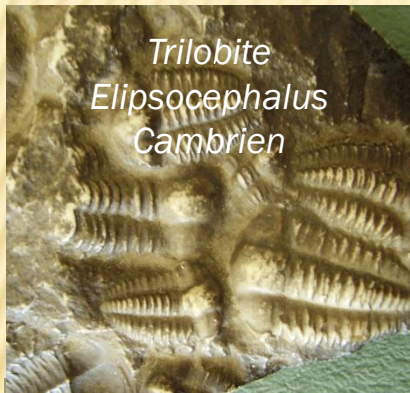
- ✘ **La datation** : certaines familles d'organismes évoluent plus vite que d'autres, leur présence dans une formation sédimentaire permet donc de la dater avec une grande précision ex les ammonites à l'ère secondaire.
- ✘ **La reconstitution des milieux** : tous les organismes ont une niche écologique et un mode de vie précis (eaux marines ou douces, climat + ou – chaud etc.; nageurs ou pas) La présence de leurs restes indique un milieu (ex bord de mer).



Ammonites et Belemnites étaient des animaux pélagiques; leur aire de dispersion, très grande, permet des corrélations à longue distance.

V - PALÉONTOLOGIE - QUELQUES FOSSILES COURANTS

Tous les fossiles de cette page (classés du plus ancien au plus jeune) sont benthiques, c'est-à-dire qu'ils vivaient près du fond mais dans un environnement peu profond (estran ou un peu plus au large).



V- PALÉONTOLOGIE : QUELQUES FOSSILES COURANTS

Cérîte Mi Tertiaire



De tailles très variées, ancêtres de nos escargots actuels, les Gastéropodes sont des fossiles essentiels du Tertiaire et du Quaternaire.

Voluta Début Tertiaire



Conus Mi Tertiaire



Les Gastéropodes présentent le double avantage d'une évolution rapide (ce sont donc de bons fossiles stratigraphiques) et d'avoir colonisé en s'adaptant, des milieux très variés, des mers tropicales de l'Ere tertiaire aux lacs glaciaires du Quaternaire. Leur présence est précieuse aussi sur le plan des reconstitutions écologiques

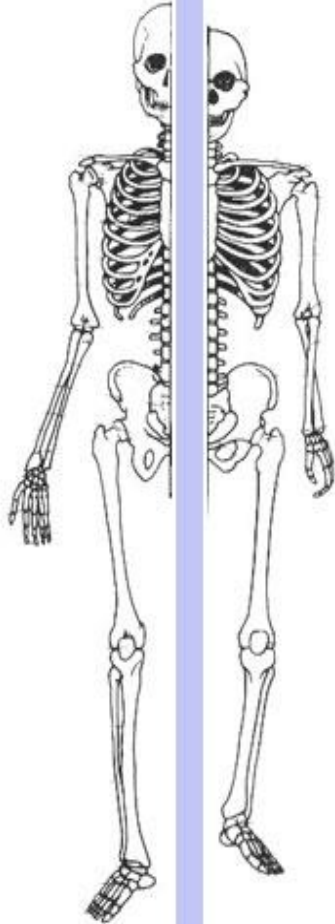
Taille : 4 - 5 cm

Turitelle Début Tertiaire

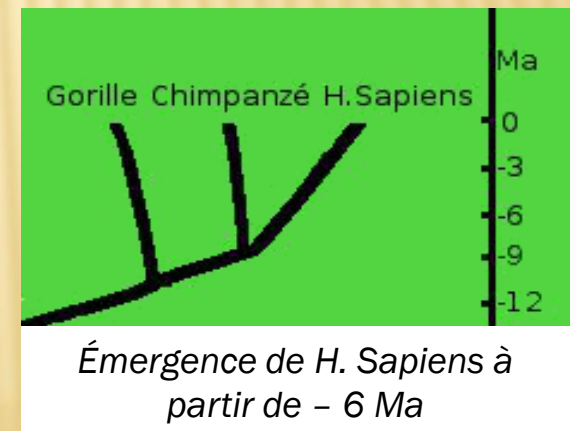


Tertiaire

V – PALÉONTOLOGIE : LA LIGNÉE HUMAINE

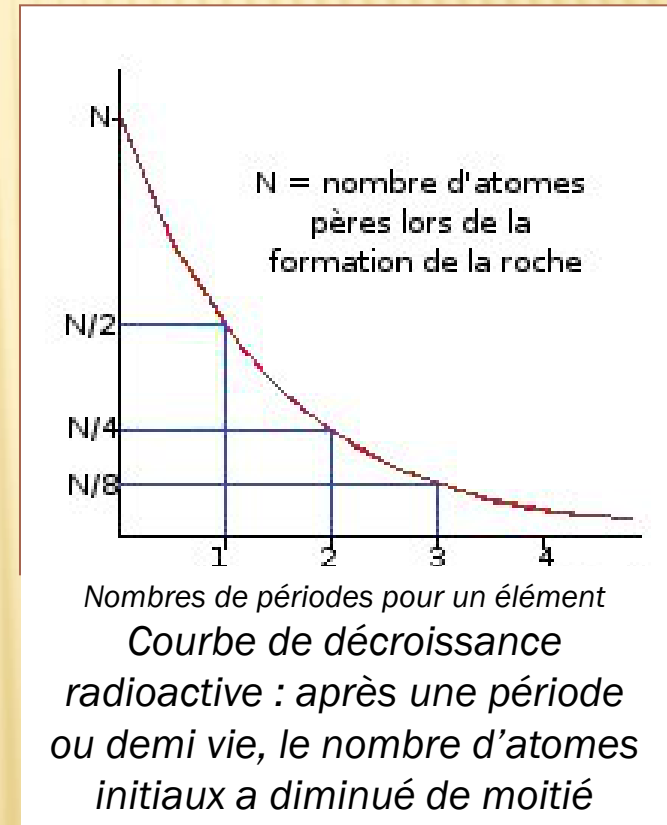
<p>Homo sapiens</p> <p>Une taille moyenne de 1.75 voir 1.80 mètre en Europe</p> <p>Une corpulence générale élancée Articulations plus fines</p> <p>Cage thoracique bombée</p> <p>Un avant bras plus long que le bras</p> <p>Un bassin avec l'aile iliaque large et haute.</p> <p>Un pubis court</p> <p>Une rotule gracile</p> <p>Des jambes et des cuisses de longueur équivalentes.</p> <p>Un pied gracile</p>		<p>Homo neandertalensis</p> <p>Une taille moyenne de 1.60 m. Une masse musculaire évaluée à 80 kg.</p> <p>Un aspect plus "trappu" Articulations massives</p> <p>Cage thoracique plus évasée en forme</p> <p>Un avant bras de taille identique au bras</p> <p>Une aile iliaque plus basse Un pubis très long et gracile</p> <p>Une rotule large</p> <p>Des jambes plus courtes que les cuisses</p> <p>Un pied large</p> <p>igor-brevnjovski.net</p>
--	--	---

L'homme est issu d'une longue lignée; il appartient au groupe des eucaryotes apparus vers 1.5 Ga, des vertébrés (500 ma), des mammifères (200 Ma), des primates (60 Ma) et des hominidés (15 Ma).

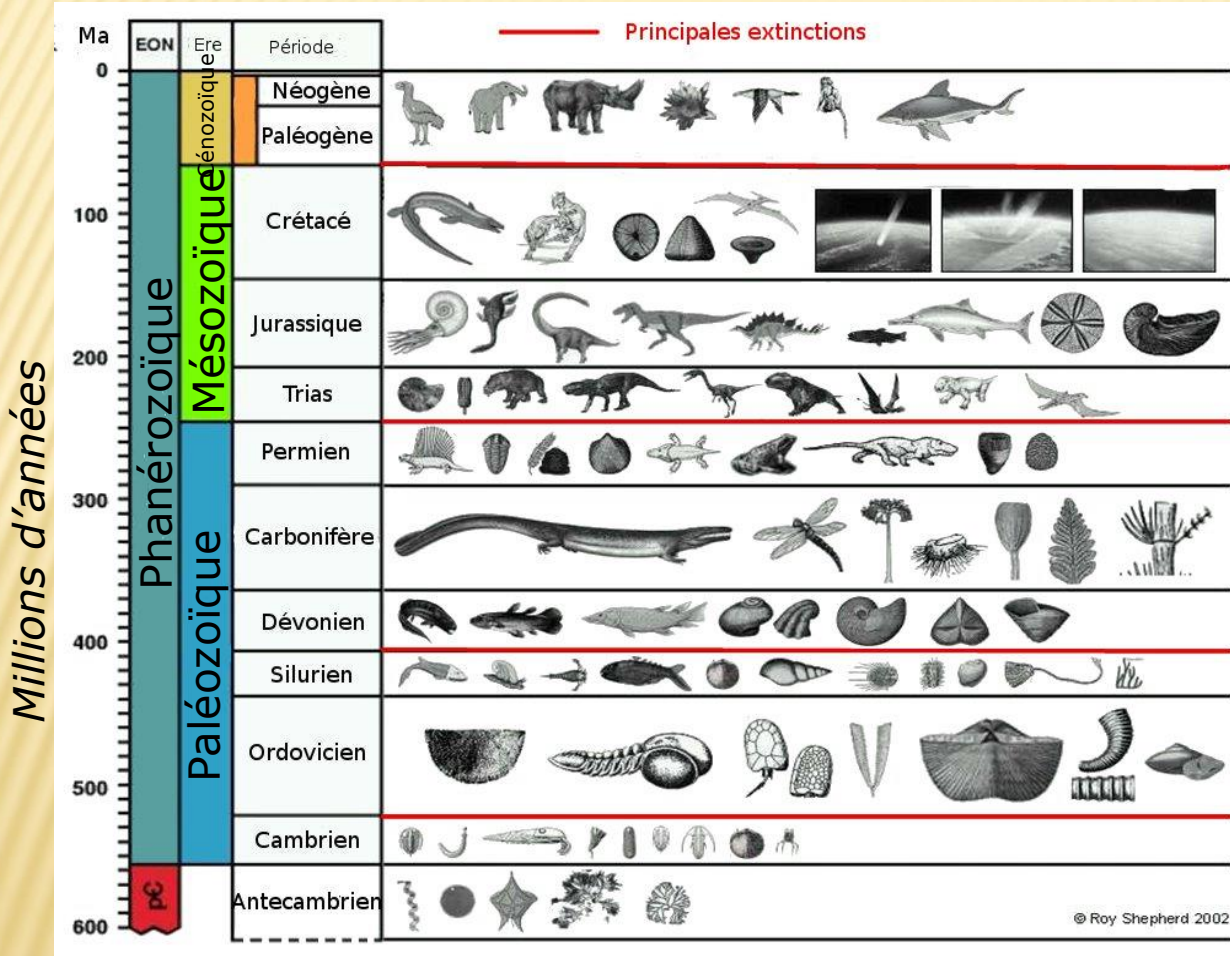


RECONSTITUER L'HISTOIRE DE LA TERRE

- ✗ Les datations basées sur la radioactivité nous ont donné des repères dans l'histoire de la Terre.
- ✗ Certains isotopes instables sont emprisonnés dans les roches au moment de leur formation.
- ✗ Connaissant le temps nécessaire pour que la moitié des isotopes pères donnent un nombre égal d'isotopes fils (période), on peut déduire l'âge de la roche si l'on connaît le rapport isotopes pères/ isotopes fils et la période.
- ✗ La méthode la plus connue est le carbone 14 mais elle ne concerne que les roches très récentes.



V – STRATIGRAPHIE : DÉCOUPAGES EN ÉTAGES UNIVERSELS



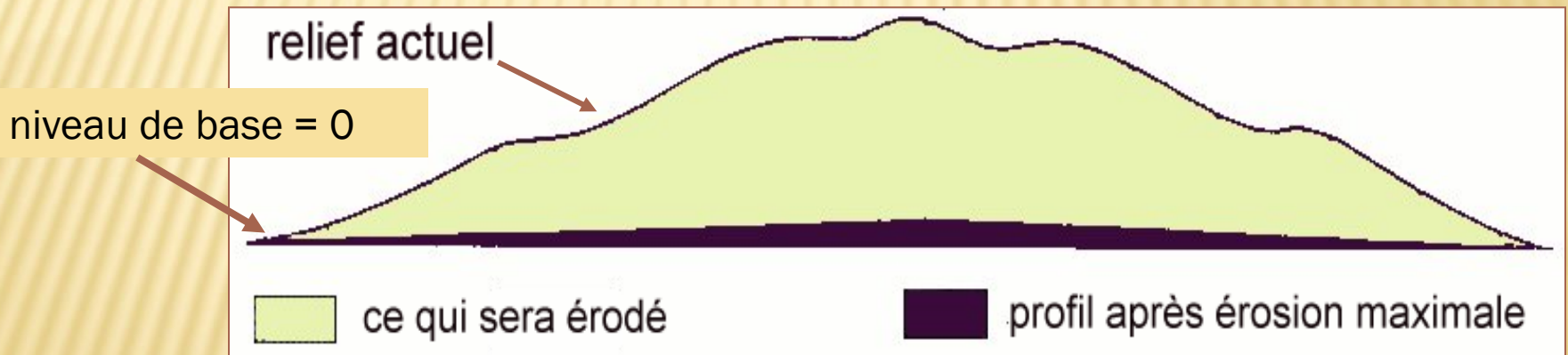
A partir d'un contenu biologique représentatif d'une époque, on a construit une échelle stratigraphique :

- valable pour des zones très étendues
- encadrée par des datations « absolues »
- Définie d'après une coupe de référence : par exemple, Jurassique, de 200 à 145 Ma; coupe de référence = Jura.

Le tableau ci-contre montre les principales espèces qui ont servi à définir les ères, primaire, secondaire et tertiaire (Paléozoïque etc.).

V – EROSION, SÉDIMENTATION ET RELIEFS : NOTIONS DE GÉOMORPHOLOGIE

- ✗ La tectonique des plaques crée des contextes : zones en relief (collision), zones déprimées (subduction);
- ✗ Disposition géologique d'**ensemble** : plates-formes de socle, systèmes plissés récents, bassins sédimentaires, volcanisme
- ✗ Plus le relief est élevé, plus le niveau de base est proche, plus importante sera l'érosion.



Ce schéma permet de visualiser l'érosion future d'une zone émergée à partir d'un niveau de base (niveau marin) donné. Mais attention, le niveau de base varie au cours des temps géologiques.

V – NOTIONS DE GÉOMORPHOLOGIE : LES CAUSES GÉOLOGIQUES DES FORMES DU RELIEF

Les causes géologiques sont des causes internes (intrinsèques) par opposition aux causes externes que sont les agents d'érosion

- ✗ **Pétrographie** à toutes les échelles : roches dures ou tendres
- ✗ **Disposition** des formations géologiques (strates, joints, contacts...); voir ci-dessous
- ✗ **Tectonique** (diaclasses, fractures, pendages, plis, charriages...)



Dans les Pyrénées, à des altitudes comparables, avec les mêmes agents d'érosion, les reliefs sont très différents

V – NOTIONS DE GÉOMORPHOLOGIE : LES CAUSES EXTERNNES DES FORMES DU RELIEF

- ✗ **Agents d'érosion** (eau, glace, gravité, vent ...) présents ou passés.
- ✗ **Climats** actuels ou passés, à dominante altération (processus chimiques) ou érosion (processus physiques).
- ✗ **Le temps** (la durée).

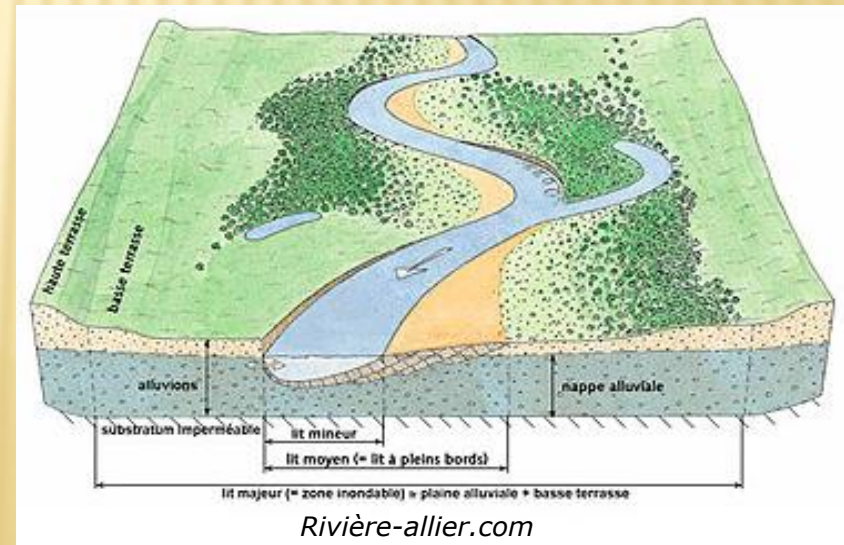


*Deux vallées glaciaires :
(Ossau dans les Pyrénées, Lagnon dans le Cantal à droite)*

V – GÉOMORPHOLOGIE; LES PLAINES

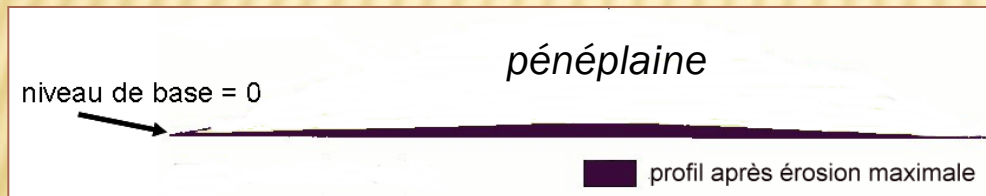
Les **plaines alluviales**, très étendues, se forment par remblaiement à partir des matériaux (sables, graviers, galets) arrachés aux reliefs situés à l'amont. Elles sont le lieu de cultures intensives.

Elles correspondent au **lit majeur** des grandes rivières. Lorsque les alluvions sont suffisamment épaisses, elles constituent des aquifères intéressants. Présence fréquente de terrasses.



V – NOTIONS DE GÉOMORPHOLOGIE ; PÉNÉPLAINES

- ✘ La pénéplanation affecte des terrains anciens (ex socle du Massif central ou bouclier canadien) qui sont d'anciennes régions montagneuses.
- ✘ Les pénéplaines sont l'aboutissement de l'érosion lorsque l'ensemble d'une région est à l'altitude du niveau de base; les différences de pétrographie et de structure sont gommées; toutes les formations géologiques sont au même niveau.
- ✘ Les pénéplaines sont par la suite rajeunies (ou pas).



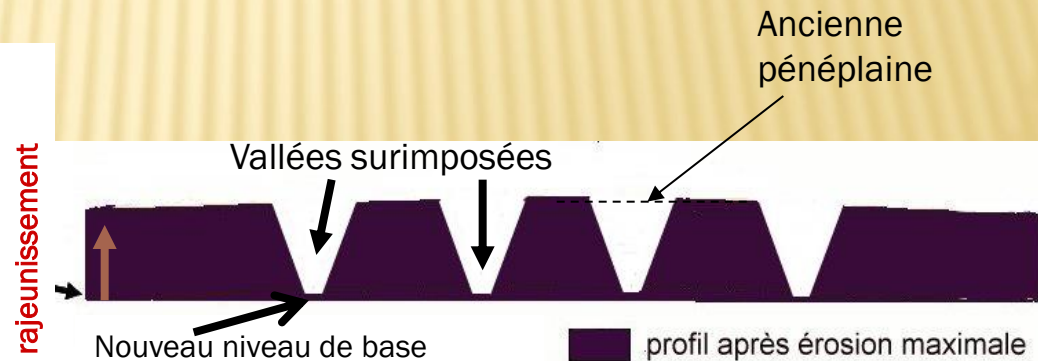
V – GÉOMORPHOLOGIE : RAJEUNISSEMENT, SURIMPOSITION



Thèse Rolley

Lors du rajeunissement dû à la surrection des Alpes, la rivière (l'Ain) qui méandrait dans une plaine s'est enfoncée sur place en gardant le tracé de ses méandres : surimposition.

Lors d'un rajeunissement (ex : rehausse rapide de la pénéplaine du Massif central lors de la surrection des Alpes et des Pyrénées au Tertiaire), les rivières s'enfoncent pour rejoindre leur nouveau niveau de base.



V – GÉOMORPHOLOGIE : MONTAGNES

- ✘ L'érosion physique est prédominante (blocs, graviers).
- ✘ À la vitesse de surrection des montagnes répond une vitesse de creusement aussi rapide des glaciers et des rivières.
- ✘ Les formes sont acérées, mais elles sont assez différentes selon la nature des roches (en couches ou massives).
- ✘ Certaines formes sont indépendantes de la géologie (cluses, synclinaux perchés...).



*Deux aspects du relief de montagne
en terrain cristallin (haut) et
sédimentaire (bas)*