

THEME 1 : La Terre, la vie et l'organisation du vivant

Partie 1B : A la recherche du passé géologique de notre planète

I. Les domaines continentaux révèlent des cycles orogéniques passés.

Les continents associent des domaines dont les roches sont d'âges différents et sont des reliquats d'anciennes chaînes de montagnes qui sont appelées ceintures orogéniques. Ces dernières témoignent de plusieurs cycles, qualifiés de cycles orogéniques, qui se sont succédés au cours de l'histoire de la Terre (cycle cadomien, cycle varisque, cycle alpin) et qui ont conduit à la formation d'une chaîne de montagnes.

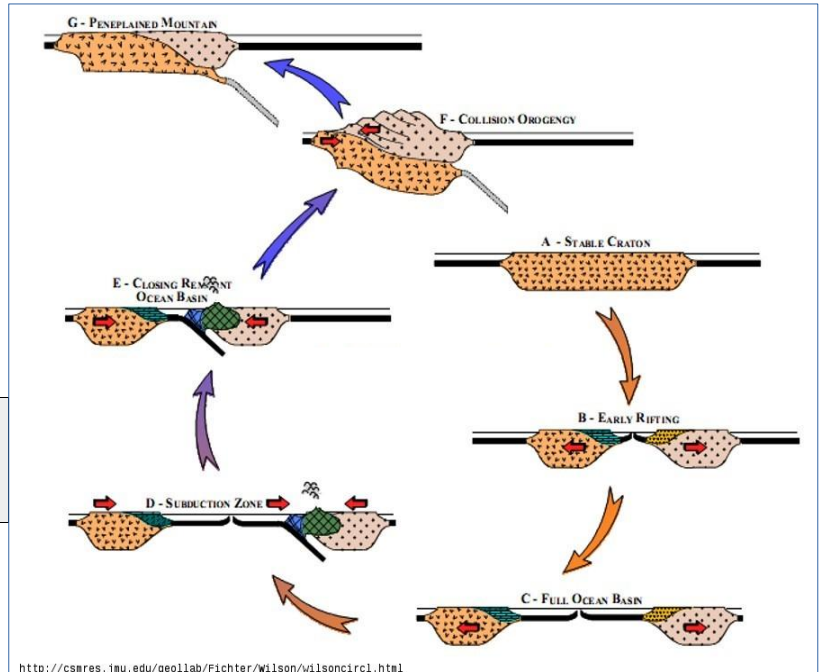
Chaque **cycle orogénique** est marqué par la succession de 3 mêmes phases :

1. formation, puis disparition d'un domaine océanique (A,B,C,D,E)
2. formation d'une chaîne de montagnes(F)
3. disparition de la chaîne de montagnes(G).

Ainsi, l'histoire de la Terre se caractérise par une périodicité de phases d'ouverture de bassins océaniques et de formation de chaînes de montagnes dont les continents ont gardé la mémoire.

Cycle orogénique	Cadomien	Varisque (ou hercynien)	Alpin
Période	-750 Ma à -520 Ma	- 400 Ma à - 300 Ma	- 65 Ma Actuel

Les principaux cycles orogéniques ayant affecté l'Europe occidentale sont indiqués ci-dessus (Ma = million d'années).



Comment a-t-on pu déterminer l'âge des roches et donc leur appartenance à des périodes différentes ?

II. Les outils pour dater les roches et les phénomènes géologiques

A. La chronologie relative

Différentes techniques et principes permettent de reconstituer la chronologie relative des événements géologiques, c'est-à-dire la succession dans le temps de la mise en place des événements géologiques passés.

1. La chronologie peut se baser sur les relations géométriques entre les structures géologiques

TP 7 Chronologie relative

- principe de superposition
- principe de continuité
- principe de recoupement
- principe d'inclusion

Vidéo : les principes de la datation relative



Photographie : Pierre Thomas

Affleurement, en bordure de la D 213, sur la commune d'Ancelle ; Hautes Alpes

1 - Dépôts sédimentaires



2 - Compactage des sédiments



3 - Déformations ductiles

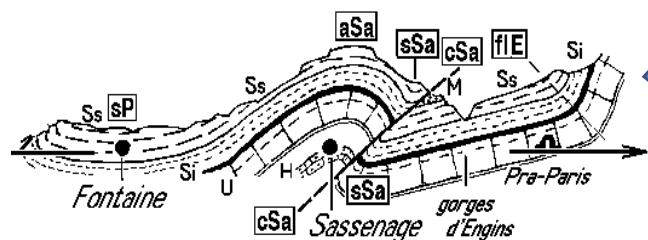


4 - Déformations cassantes



cliché M. GIDON

stratigraphiques



2. La chronologie peut se baser sur la présence de fossiles

TP 8 Datation relative et fossiles stratigraphiques

Les **fossiles stratigraphiques** sont des fossiles ayant évolué rapidement au cours du temps, donc **présents sur une courte période géologique, mais très abondants et très largement répartis à l'échelle géographique**. C'est le cas des Ammonites, des Trilobites ou de certains Foraminifères (cf TP13), chacun de ces groupes étant caractéristique d'une période géologique particulière.

La présence de fossiles stratigraphiques dans des roches permet ainsi de dater indirectement la roche qui les contient : c'est le **principe d'identité paléontologique**. De plus, la présence d'associations de fossiles stratigraphiques identiques dans deux formations géologiques différentes permet d'établir des corrélations temporelles entre ces formations ; c'est le **principe de corrélation**. Ainsi, selon ce principe, deux couches géologiques renfermant la même association de fossiles stratigraphiques sont considérées comme étant de même âge.

Dans certaines situations, les conditions d'utilisation de ces méthodes sont complexes, voire impossibles.

B. L'établissement d'une échelle stratigraphique

Les coupures dans le temps sont établies sur des critères paléontologiques : apparition ou disparition de groupes fossiles. Ces changements ont été utilisés pour définir des limites entre les différentes périodes géologiques. Selon l'importance des changements, les limites séparent des périodes plus ou moins longues (ères, étages ...).

La prise en compte de données biologiques (fossiles) et pétrographiques (nature des roches) à l'échelle mondiale a permis d'établir une échelle stratigraphique mondiale qui est réexaminée régulièrement afin de tenir compte de nouvelles données.

C. La chronologie absolue

TP 9 Radiochronologie

L'âge de la croûte continentale est déterminé par **radiochronologie**. On parle aussi de **datation absolue**

Cette méthode est fondée sur la décroissance radioactive naturelle de certains éléments chimiques présents dans les minéraux qui constituent les roches.

Un élément radioactif (appelé élément père) se désintègre spontanément de façon continue, irréversible et régulière et donne naissance à un autre élément (appelé élément fils).

Dans les cristaux d'une roche ou les molécules d'un être vivant, il existe des éléments radioactifs naturels. Or, lorsqu'un cristal se forme à partir d'un magma, on considère que ce cristal **constitue un système fermé** car il n'existe plus d'échanges de matière entre ce cristal et son environnement (cela se produit également à la mort d'un individu, ses cellules n'effectuant plus d'échanges avec leur environnement).

En effet, chaque élément radioactif se caractérise par une demi-vie ou période radioactive, correspondant au temps nécessaire pour que 50 % des éléments contenus dans un « système » se soient désintégrés. La teneur en éléments radioactifs dans un cristal diminue donc progressivement à une vitesse propre à chaque élément radioactif. Ainsi, en déterminant les quantités de l'élément père radioactif et/ou de l'élément fils radiogénique dans un minéral il est possible d'en déduire l'âge de formation de ce minéral, donc de cristallisation du magma. Cette méthode s'applique aux roches magmatiques et métamorphiques, à l'échelle du minéral ou de la roche entière.

Les différents couples « éléments pères radioactifs – éléments fils radiogéniques » constituent différents radio chronomètres dont les périodes radioactives sont différentes. Pour les roches magmatiques ou métamorphiques, les principaux chronomètres isotopiques sont « potassium/argon » (K/Ar) et « rubidium/strontium » (Rb/Sr). Le choix d'un radio chronomètre dépend essentiellement de l'âge supposé de l'objet à dater. La datation au carbone 14 se limite aux 50000 dernières années alors que la datation avec les méthodes K/Ar et Rb/Sr permettent de dater des roches de plusieurs milliards d'années.

En datant la croûte continentale en différents points du globe, on obtient des âges très divers qui peuvent atteindre 4 milliards d'années.

En comparaison, l'âge de la croûte océanique n'excède pas 200 millions d'années

III. A la recherche de marqueurs de cycles orogéniques passés

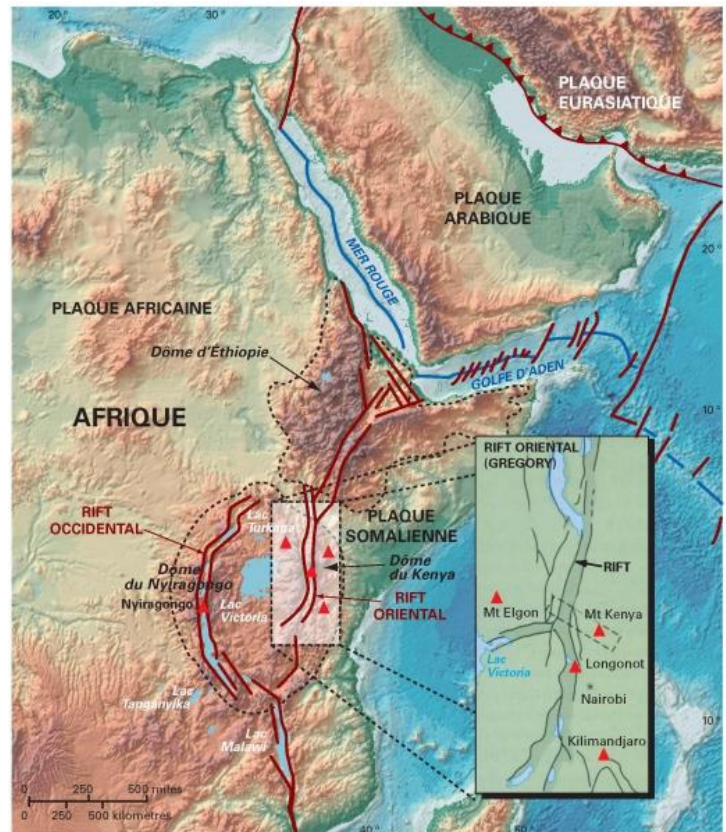
En France métropolitaine, les datations absolues ont permis de révéler la présence de roches contemporaines de 3 cycles orogéniques passés :

- le cycle cadomien (-670 à -540 MA), visible essentiellement dans le Massif Armoricain
- le cycle varisque ou hercynien (-450 à -280 MA), visible en particulier dans le Massif Armoricain et dans le Massif Central
- le cycle alpin (-100 à actuel), visible en particulier dans les Alpes

Certaines de ces roches sont considérées comme des reliquats des cycles orogéniques passés car elles sont des témoins de quelques étapes d'un cycle orogénique (formation puis fermeture d'un domaine océanique, formation de la chaîne de collision, puis disparition de cette chaîne).

A. Les traces d'une fragmentation continentale et de l'ouverture océanique

Le début d'un cycle orogénique se caractérise par la fragmentation d'un continent qui résulte de mouvements de divergence comme le montre aujourd'hui la zone du Rift Est-africain. Cette formation géologique est appelée **rift continental** et se caractérise par la présence de **failles normales** qui limitent des **blocs basculés** (blocs de croûte continentale), ces structures se mettant en place avant la formation d'un éventuel océan.



Voir livre pages 136-137

- Identifier les caractéristiques géographiques, sédimentaires et tectoniques des marges passives (documents 1, 2 et 3).**
- Identifier les marqueurs d'une distension ou fracturation continentale dans le rift africain, puis expliquer leur origine (documents 4 et 5).**
- A l'aide de quelques schémas, reconstituer les premiers stades de la naissance d'un océan.**

c. Identifier les caractéristiques géographiques, sédimentaires et tectoniques des marges passives (documents 1, 2 et 3).

Caractéristiques géographiques (doc 1) : les marges passives sont localisées sur les bordures continentales (à la limite entre continents et océans) de la majorité de l'océan Atlantique (exception : Antilles) et sur la côte occidentale de l'Afrique.

Caractéristiques sédimentaires (doc 2 et 3) : les marges passives sont des zones marquées par des dépôts sédimentaires importants : certains sont situés uniquement entre les blocs basculés (exemple des dépôts du Vanginien-Aptien – doc 3) ; d'autres dépôts, plus récents, sont essentiellement mis en place sur les blocs basculés (exemple des dépôts de l'Aptien-Pliocène – doc 3) et recouvrent donc les dépôts précédents.

Caractéristiques tectoniques (doc 2 et 3) : les marges continentales sont marquées par la présence de nombreuses failles normales qui recoupent le domaine continental et délimitent de nombreux blocs basculés.

d. Identifier les marqueurs d'une distension ou fracturation continentale dans le rift africain, puis expliquer leur origine (documents 4 et 5).

L'étude du paysage du **document 4** (Rift africain - Afars) permet de **repérer de nombreuses failles normales qui limitent des blocs de la croûte continentale** qui forment des gradins. Nous savons par ailleurs que ce type de déformations est caractéristique d'un domaine de divergence. Nous pouvons donc en déduire qu'il existe un contexte de divergence au sein du continent est-africain. Nous pouvons donc en déduire que cette région africaine est marquée par une distension continentale repérable par des mouvements distensifs.

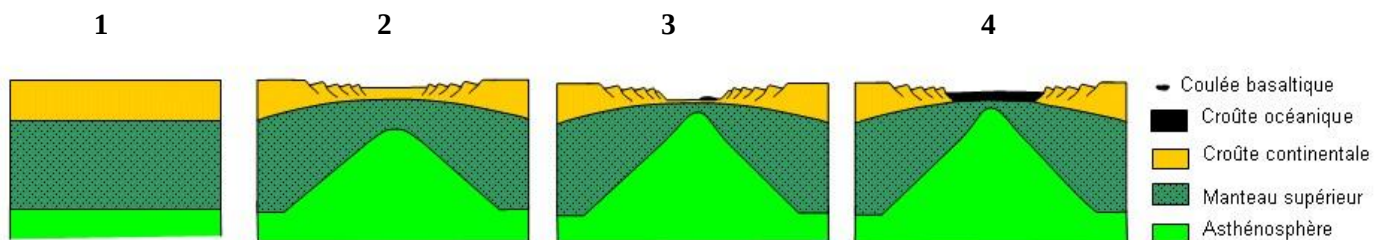
Par ailleurs, la carte régionale (doc 5) montre que cette région est-africaine est marquée par un **contexte de divergence (flèches rouges), la présence de failles actives et de nombreux séismes** dont beaucoup témoignent de phénomènes d'extension.

Nos connaissances permettent de montrer que les structures géologiques visibles dans cette marge peuvent s'expliquer par des mouvements de divergence qui affectent cette région, mouvements qui peuvent s'expliquer par une divergence continentale.

Il existe donc plusieurs indices révélant l'existence de mouvements de divergence dans cette région à l'origine d'un paysage caractéristique d'une fragmentation continentale.

c. A l'aide de quelques schémas, reconstituer les premiers stades de la naissance d'un océan. Ces schémas permettent d'illustrer les 1^{ers} stades de la naissance d'un océan avec

- la fracturation d'un continent (1),
- la formation de marges passives (fracturation de la croûte continentale marquée par des failles normales) (2),
- la remontée du manteau et la formation d'un domaine océanique (3 et 4).

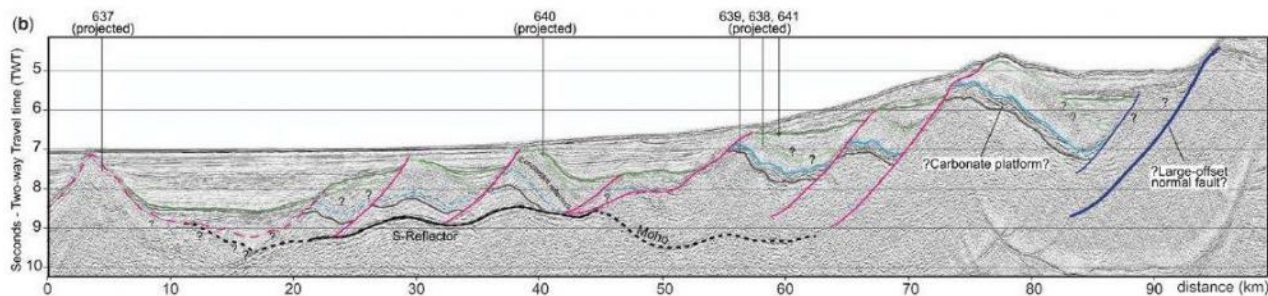


Bilan : cette région du monde (rift est-africain) présente aujourd'hui de multiples indices (failles normales, croûte continentale fracturée en gradins, séismes générés par mouvements d'extension, magmatisme) qui caractérisent un contexte géologique en distension. La région est aujourd'hui au stade de la fragmentation continentale dont certains marqueurs sont identiques à ceux présents aujourd'hui au niveau des marges passives d'un océan. Celui-ci pourrait être le prochain stade d'évolution de cette région de l'Afrique si éventuellement le contexte de divergence aujourd'hui présent se maintenait pendant plusieurs dizaines de millions d'années.

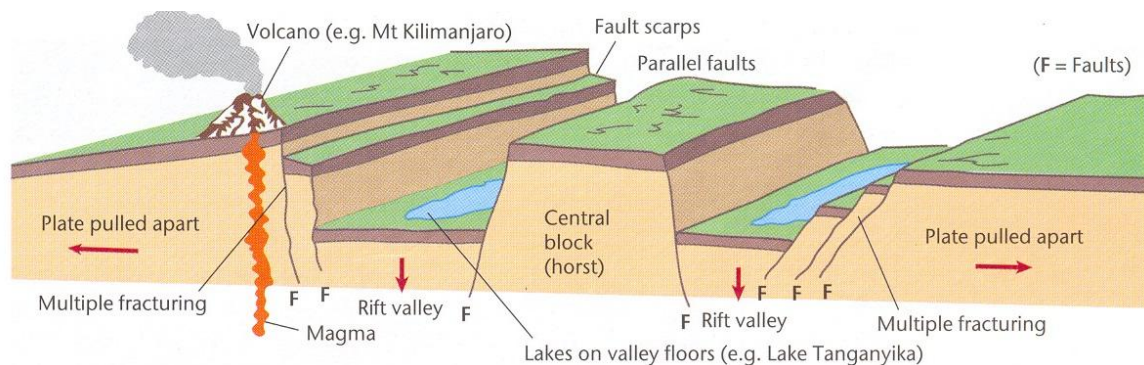
Vidéo : modélisation de la divergence et formation des failles normales + vidéo de l'ESA

Si le contexte de divergence se poursuit, un rift continental peut évoluer jusqu'à la formation d'un domaine océanique au sein duquel une dorsale est active et crée de la croûte océanique. Dans ces domaines océaniques, les bordures sont appelées **marges passives** car il n'y a pas d'activité géologique intense (à la différence des marges actives, caractéristiques des zones de subduction, marquées par une activité sismique et volcanique très intense).

Les marges passives sont donc caractérisées par des failles normales et des blocs basculés, témoins de la distension initiale. C'est le cas des marges de l'océan Atlantique.



Coupe de la marge passive Atlantique Est (Galice)



Des traces d'anciens rifts continentaux, plus ou moins déformés, peuvent se retrouver aujourd'hui dans des chaînes de montagnes (*exemple de la faille d'Ornon dans les Alpes occidentales*) et témoignent donc de la phase initiale d'un cycle orogénique.

En France métropolitaine, certaines régions présentent des rifts continentaux avortés, c'est-à-dire n'ayant pas évolué vers un stade d'océanisation avec mise en place d'une croûte océanique (fossé rhénan → **exercice pages 146/147 à faire en fin de chapitre, fossé de la Limagne**).

B. Les traces d'océans disparus

TP 10 - ophiolites

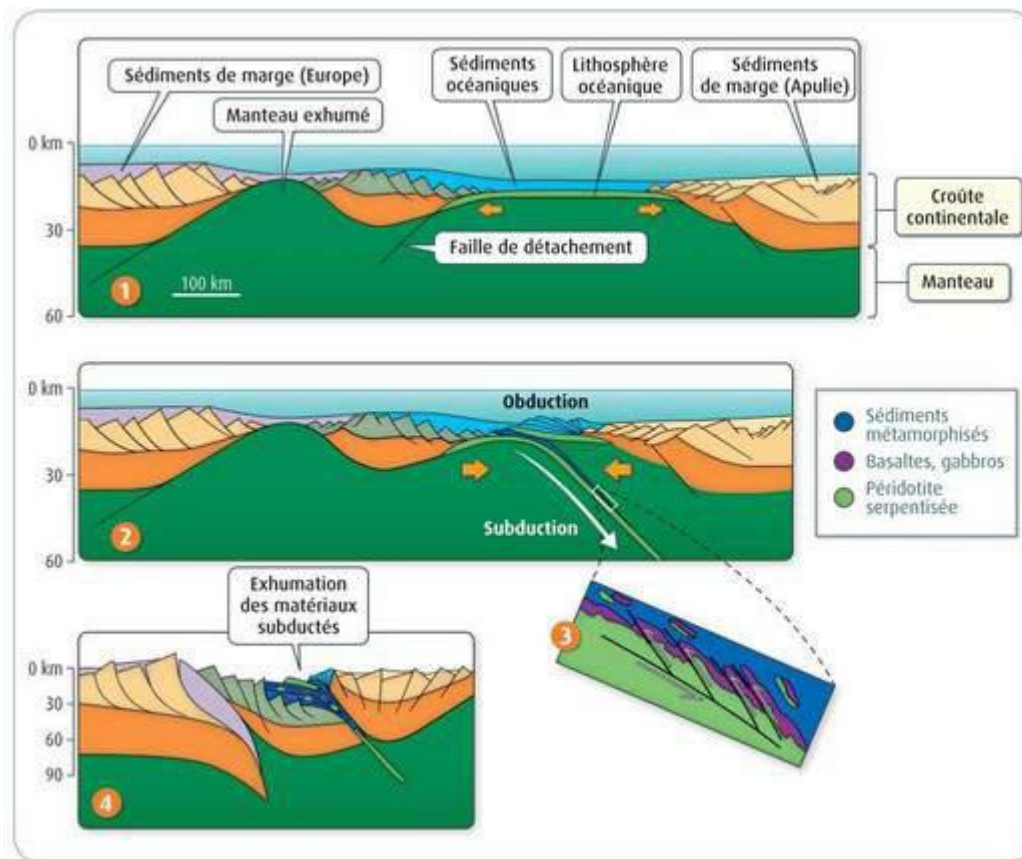
Les **ophiolites** sont des fragments d'une ancienne lithosphère océanique. Elles sont donc constituées d'une superposition plus ou moins complète des roches de la lithosphère océanique (sédiments, basaltes, gabbros, péridotites).

La présence des ophiolites dans une région témoigne donc de la présence passée d'un domaine océanique, qui a disparu par subduction. Dans les chaînes de montagnes, les ophiolites forment généralement des ensembles, appelés **sutures ophiolitiques**, car elles sont localisées à la limite entre les deux domaines continentaux. Leur présence et leur localisation témoignent donc du phénomène de collision qui a « enfermé » les restes d'une ancienne lithosphère océanique.

Deux phénomènes géologiques différents peuvent expliquer la présence d'ophiolites à l'affleurement :

– un **phénomène d'exhumation** (=retour à la surface) **qui a suivi un phénomène de subduction** : dans ces conditions, les roches constitutives des ophiolites ont subi un **métamorphisme de haute pression et de basse température** lié à la subduction, avant d'être ramenées en surface (*ex : ophiolites du Mont Viso*).

– un **phénomène d'obduction** : dans ce cas, les ophiolites ont chevauché directement le domaine continental **sans avoir subi de subduction** (*ex : ophiolites du Chenaillet, ophiolites d'Oman*).

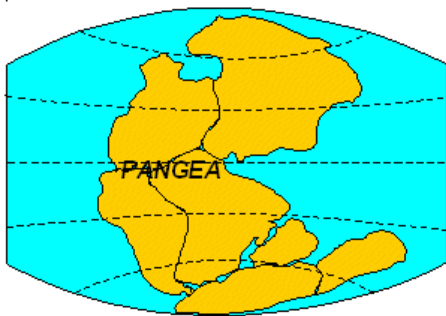


4 Scénario de formation des ophiolites alpines.

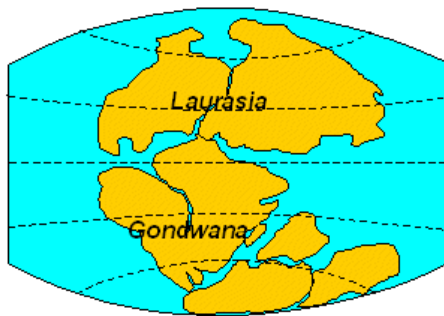
1. Fin de l'océanisation (145 Ma).
2. Rupture de la lithosphère océanique lors de l'inversion des contraintes tectoniques. Une portion de lithosphère part en subduction. L'autre portion chevauche la précédente (obduction). La portion en obduction demeure dans le domaine des schistes verts (ex. : Chenaillet, 80-90 Ma). La portion en subduction entre dans les domaines des schistes bleus et des éclogites (ex. : Viso).
3. Entre 30 et 80 km de profondeur, des écaïlles de lithosphère peuvent se former et se désolidariser de la plaque plongeante.
4. Collision et exhumation des écaïlles de lithosphère océanique (Viso ; 40-0 Ma).

Ainsi, les domaines continentaux renferment des témoins géologiques de la dynamique passée de la lithosphère, marquée par une **succession de périodes de fragmentation de la lithosphère continentale et de périodes de collision de blocs continentaux à l'origine de chaînes de montagnes**.

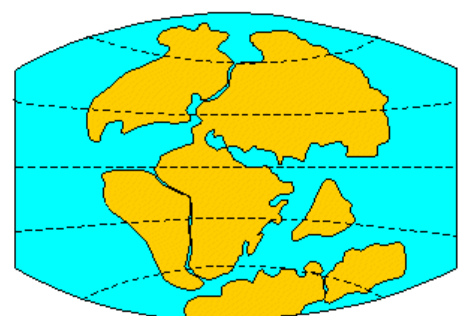
La géographie passée de la Terre ou paléogéographie a donc évolué au cours du temps et a été marquée par des périodes où tous les continents étaient regroupés, formant un « supercontinent », comme la Pangée (-250 MA) ou Rodinia (environ 1 GA), suivies de périodes de dislocation continentale.



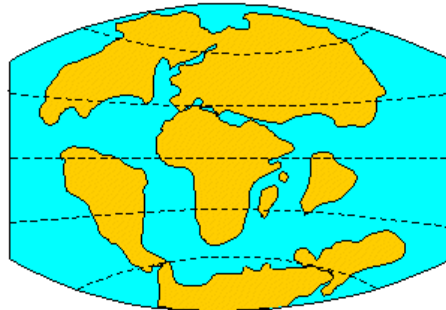
PERMIEN – 225 MA



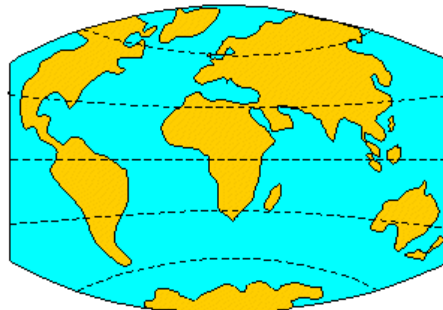
TRIAS – 200 MA



JURASSIQUE – 135 MA



CRETACE – 60 MA



ACTUEL

