

Introduction

La formation des reliefs montagneux est due à l'empilement de fragments de lithosphère ou de croûte continentale.

Problème : Quelles sont les étapes qui conduisent à ces empilements ?

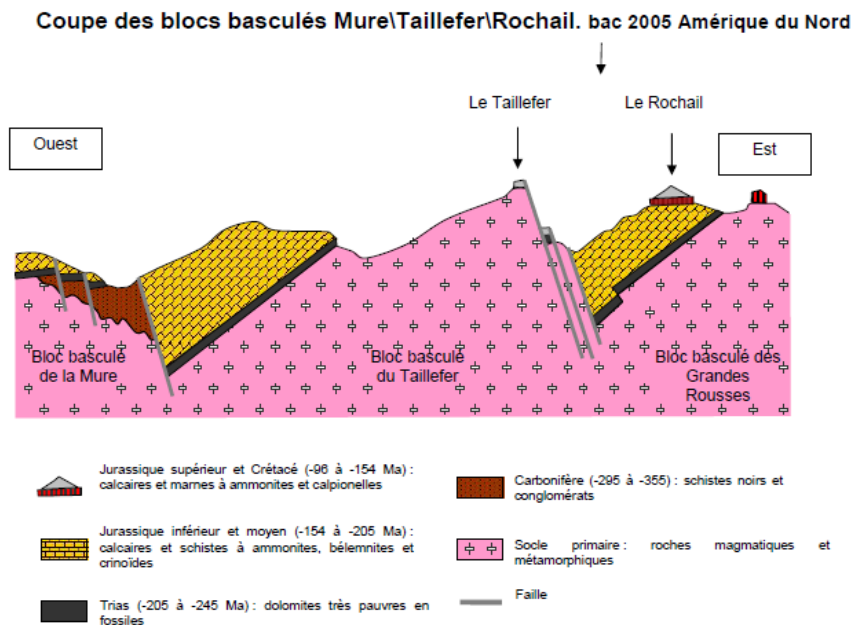
I. Des indices de l'existence d'un ancien océan disparu

Dans de nombreuses chaînes de montagnes, on trouve :

- **des traces d'une ancienne marge continentale passive** avec des failles normales (caractéristiques de l'extension initiale) qui séparent des blocs basculés auxquels sont associées des séries sédimentaires particulières (sédiments anté-, syn- et post-rift) ;
- **des fragments d'un ancien domaine océanique, les ophiolites** dans lesquels on retrouve des constituants (basaltes, gabbros et péridotites) d'une lithosphère océanique non subduite et ramenée en surface.

Cela indique qu'avant la formation du relief, la région actuellement montagneuse était un océan dans lequel une dorsale permettait la formation de lithosphère océanique (*voir cours de première S*).

A. Traces d'une ancienne marge continentale passive



Observation : On observe dans la zone externe des Alpes des structures en **blocs basculés** limitées par des **failles**. Le bloc Taillefer (bloc supérieur) glisse sur le bloc « La Mure » (bloc inférieur).

Interprétation : Il s'agit d'une **faille normale**. Les failles normales témoignent d'un épisode d'extension. Cette extension a eu pour conséquence **d'étirer et d'amincir** une croûte continentale qui s'est fracturée ; il y a eu naissance d'un rift continental dont les deux bordures du rift constitueront les deux futures marges passives (marge européenne et apulo-Africaine). Les blocs séparés par les failles ont basculé, créant des bassins subsidents dans leurs parties affaissées où se sont déposées en éventail de **grandes épaisseurs de sédiments**.

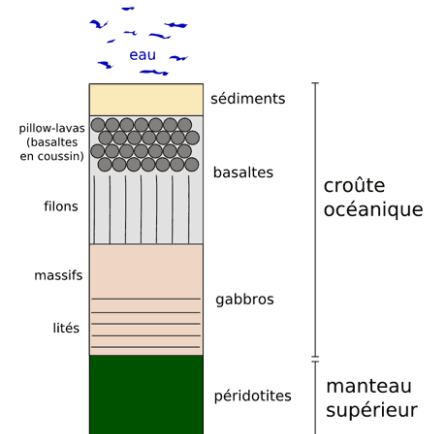
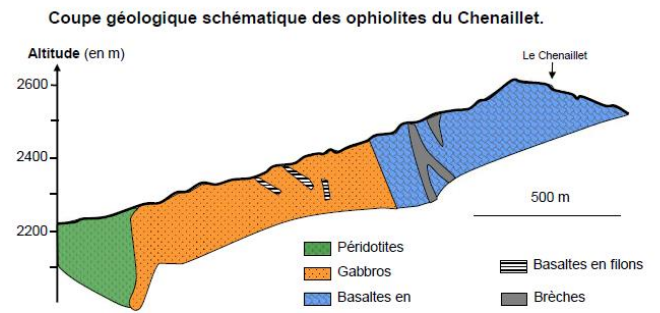
B. Fragments d'un ancien domaine océanique, les ophiolites

Observation : Dans la zone médiane des Alpes (ex : au Chenaillet), on observe à l'affleurement un complexe ophiolitique formée par la succession de trois types de roches inhabituelle en milieu continental :

- Des **méta basaltes** en forme de coussin, les pillow lavas, roches volcaniques
- Des **méta gabbros**, roches plutoniques constituant, sous les basaltes
- Des **péridotites serpentinisées** contenant les minéraux hydratés

Des filons de basaltes (ou dykes), ancienne cheminée d'alimentation des coulées basaltiques sous-marines sont parfois intercalées entre les méta-basaltes et les méta-gabbros

Interprétation : On trouve cette succession de roche (de bas en haut : péridotite, gabbros, basalte) actuellement en milieu océanique, formant la lithosphère océanique (Cf. Faille de Véma). D'après le principe de l'actualisme, nous pouvons en déduire que ces roches se sont mises en place lors de **l'expansion océanique** de l'océan alpin (du Jurassique moyen au Crétacé inférieur -150 à -80 Ma). Ces roches contiennent des minéraux hydroxylés, témoins d'une circulation hydrothermale dans la lithosphère océanique.



Ainsi, ces ophiolites sont des témoins de l'existence :

- d'un ancien domaine océanique
- de mouvements de convergences

La présence de nombreux sédiments (radiolarites) caractéristiques de dépôts de grande profondeur est un autre argument pour l'existence d'un ancien domaine océanique.

Cette association de roches est donc très inhabituelle au sein d'une croûte continentale ; elle constitue un vestige d'une ancienne lithosphère océanique qui s'est retrouvé coincé, portée à plusieurs milliers de mètres d'altitude et déposée sur une lithosphère continentale par un phénomène de charriage lors de la collision.

II. Des indices d'une subduction

Photo roches			
Arrêt	Chenaillet	Queyras	Mont Viso
roches	Metagabbro à hornblende	Metagabbro à glaucophane	Eclogites

Observation : Les gabbros sont fréquents dans la zone interne des Alpes mais la plupart d'entre eux sont **métamorphisés**.

On observe dans les Alpes, d'Ouest en Est :

- Des méta-gabbros à hornblende, chlorite et actinote au Chenaillet (paragénèse : Px : Pl, Hb, Actinote, Chlorite)
- Des méta-gabbros à glaucophane au Queyras (paragénèse : Px, Pl, glaucophane, jadéite)
- Des éclogites au Mont Viso (grenat, jadéite)

Interprétation : Nous pouvons donc en déduire que les méta-gabbros du **Queyras** renfermant du glaucophane appartiennent **au faciès des schistes bleus**; ceux du **Mont Viso** renferment du **grenat** et de la **jadéite** sont caractéristiques du faciès des **éclogites**. Ces roches présentent des minéraux caractéristiques de zones de **hautes pression** et **basses températures** et témoignent donc d'une subduction à plus ou moins grande profondeur de ces roches (vers 30 à 50 km pour les roches ayant subi un métamorphisme dans le faciès des schistes bleus, 50 à 90 km pour le faciès des éclogites).

Conclusion : Les roches de la lithosphère océanique subissent une forte augmentation de pression et une faible augmentation de température (due à la mauvaise conductivité thermique des roches), on parle de **métamorphisme de subduction**, lorsque la plaque océanique hydratée plonge dans l'asthénosphère.

Pour aller plus loin : Puis ces terrains ont été ramenés en surface lors de mouvements compressifs liés à la collision.

III. De la subduction à la collision

Observation : Les roches du massif de Dora Maira de nature continentale, renferme un minéral particulier : la **coésite**, forme d'ultra haute pression du quartz (profondeur d'au moins 100 km, 2.5 Gpa)

Interprétation : Nous pouvons donc en déduire qu'une partie de la lithosphère continentale a également subi une subduction ce qui a entraîné certains terrains crustaux à des profondeurs très importante, au-delà des 100 km de profondeur, à l'origine de la coésite, minéral d'ultra haute pression.

Conclusion : Lorsque toute la lithosphère océanique a disparu par subduction, les deux lithosphères continentale entrent en contact. Une partie des matériaux de la croûte continentale est entraînée dans le plan de subduction, on parle de **subduction continentale**. C'est la collision.

Parfois, des fragments de lithosphère océanique peuvent remonter en surface lors de la collision : c'est le phénomène d'obduction à l'origine des ophiolites.

IV. UNE RECONSTITUTION DE L'HISTOIRE DES CHAINES DE MONTAGNES

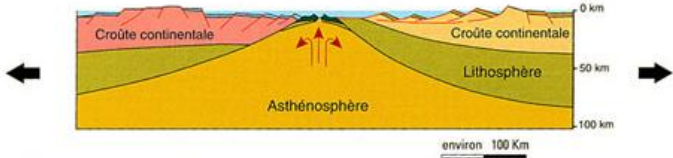
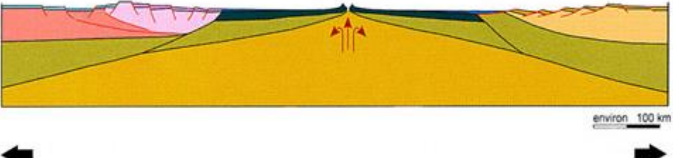
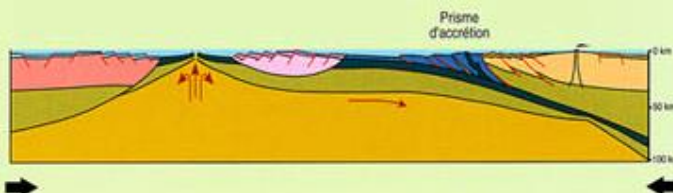

Les résultats conjugués des études tectoniques et minéralogiques permettent de reconstituer un scénario de l'histoire d'une chaîne de montagnes.

On peut récapituler les différentes phases de l'histoire d'une chaîne de montagnes de l'ouverture océanique à la collision continentale :

- ouverture d'un océan,
- par subduction, la lithosphère océanique s'enfonce dans le manteau, ce qui peut conduire à la fermeture de l'océan
- Un enfoncement du continent porté par la plaque plongeante se produit.

- Cet enfoncement est limité par sa densité trop différente de celle du manteau de sorte que les 2 croûtes continentales portées par les plaques plongeante et chevauchante butent l'une contre l'autre.
- des fragments de croûte océanique coincés entre les 2 blocs continentaux sont soulevés en altitude importante par obduction.
- La collision continentale s'accompagne de cassures de la croûte continentale formant des failles inverses et des nappes de charriages.

Schéma bilan

Etape de la formation de la chaîne de montagnes	Indices permettant de mettre en évidence cette étape
<p>Ouverture océanique</p>  <p>The diagram shows a cross-section of the Earth's crust and upper mantle. Two continental crust blocks are shown thinning and moving apart. The asthenosphere bulges in the center, with red arrows indicating magma rising. Labels include 'Croûte continentale', 'Lithosphère', and 'Asthénosphère'. A vertical scale on the right shows 0, 50, and 100 km. A horizontal scale at the bottom indicates 'environ 100 Km'.</p>	<p>Blocs basculés des marges passives de l'océan (failles normales) + sédimentation associée (pré-, syn- et post-rift)</p>
<p>Expansion océanique</p>  <p>The diagram shows an ocean basin forming between the continental blocks. Oceanic crust is spreading from the center. Labels include 'Croûte continentale' and 'Lithosphère'. A vertical scale on the right shows 0, 50, and 100 km. A horizontal scale at the bottom indicates 'environ 100 km'.</p>	<p>Présence des ophiolites Présence de roches sédimentaires contenant des fossiles marins de milieux plus ou moins profonds</p>
<p>Subduction océanique</p>  <p>The diagram shows one oceanic crust block subducting under the other. An accretionary prism is formed at the leading edge of the subducting plate. Labels include 'Prisme d'accrétion', 'Croûte continentale', and 'Lithosphère'. A vertical scale on the right shows 0, 50, and 100 km. A horizontal scale at the bottom indicates 'environ 100 km'.</p>	<p>Roches métamorphiques caractéristiques de la subduction de la croûte océanique : schistes bleus et éclogites</p>
<p>Subduction continentale et collision</p>  <p>The diagram shows the final collision of the continental blocks. The crust is significantly thickened, and the ocean basin has closed. Labels include 'Croûte continentale' and 'Lithosphère'. A vertical scale on the right shows 0, 50, and 100 km. A horizontal scale at the bottom indicates 'environ 100 km'.</p>	<p>Minéraux caractérisant une très forte pression tels que la coésite et le diamant témoignant d'un fort enfoncement de la croûte en profondeur Données sismiques Ecaillage de la lithosphère visible sur les profils ECORS Nappes de charriages, chevauchement, failles inverses et plis</p>

V. Le moteur de la subduction

A. L'initiation de la subduction

Observation : Au fur et à mesure de son éloignement de l'axe de la dorsale, la lithosphère océanique se refroidit et sa limite thermique de 1300°C s'abaisse ce qui entraîne son épaissement. Cet épaissement est lié à une épaisseur de plus en plus importante de manteau lithosphérique (de 24 km à 120 km) et non de la croûte océanique dont l'épaisseur reste constante (6 km).

Interprétation : Or nous savons que la limite entre lithosphère et asthénosphère est **uniquement physique** (comportement différent lié à la température), nous pouvons donc en déduire que le **manteau lithosphérique s'épaissit au dépend de l'asthénosphère**. Cet apport important de matériaux froids de densité 3.3 et dont la proportion augmente par rapport à la croûte au fur et à mesure de son éloignement à la dorsale (l'épaisseur de la croûte ne changeant pas) conduit à une densité moyenne (globale) de la lithosphère (CO + manteau lithosphérique) qui augmente et passe de 3.1 au niveau de la dorsale à une densité de 3.25 pour une lithosphère de 40 Ma.

Conclusion : Au bout de 30 Ma, la densité de la lithosphère océanique devient supérieure à l'asthénosphère : sa subduction devient possible théoriquement. Cependant, l'asthénosphère est solide et exerce une grande résistance mécanique à l'enfoncement, ce qui retarde la subduction de la lithosphère océanique qui n'est possible qu'au bout de 150 Ma à 180 Ma. En surface, son âge n'excède pas 200 Ma.

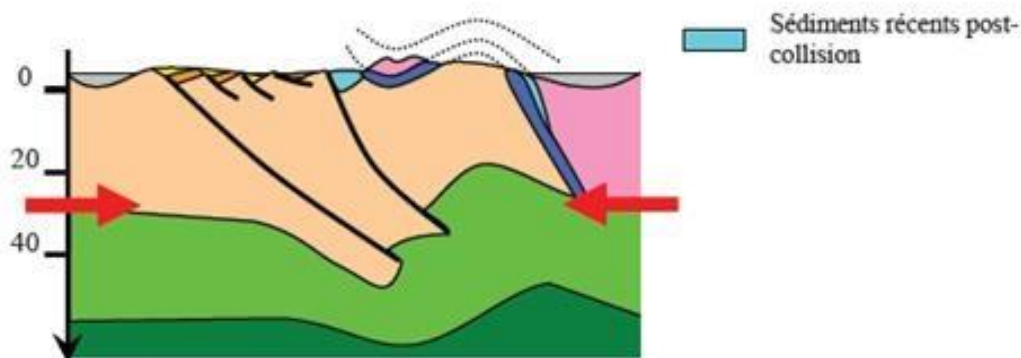
B. Une subduction entretenue

Au cours de la subduction, les roches de la croûte océanique se transforment en éclogite dont la densité est de 3.4, ce qui augmente encore plus la densité de la lithosphère plongeante : la traction exercée par la lithosphère océanique plongeante a ainsi un rôle moteur dans la dynamique des plaques.

VI. La collision responsable des caractéristiques de la chaîne des montagnes

Une fois la lithosphère océanique complètement résorbée, la subduction de la lithosphère continentale succède à celle de la lithosphère océanique. La majeure partie de la croûte continentale se désolidarise du manteau lithosphérique, qui poursuit sa subduction, alors que la croûte, moins dense, cesse de subduire. Du fait du blocage de sa subduction, la croûte se fracture et donne naissance à une première écaille de croûte sous laquelle la croûte continentale continue de s'enfoncer.

Le phénomène se renouvelle tant que dure la convergence, de sorte que la croûte continentale se débite en plusieurs écailles superposées les unes aux autres, la première écaille formée recouvrant toutes les autres.



Cet empilement d'écailles explique le raccourcissement horizontal et l'épaississement vertical qui constituent la racine crustale de la chaîne.