

Chapitre 1 : Caractérisation du domaine continental

Programme :

La lithosphère est en équilibre (**isostasie**) sur l'asthénosphère. Les différences d'altitude moyenne entre les continents et les océans s'expliquent par des **différences crustales**. La croûte continentale, principalement formée de roches voisines du **granite**, est d'une **épaisseur** plus grande et d'une **densité** plus faible que la croûte océanique. L'**âge** de la croûte océanique n'excède pas 200 Ma, alors que la croûte continentale date par endroit de plus de 4 Ga. Cet âge est déterminé par **radiochronologie**. Au relief positif qu'est la chaîne de montagnes, répond, en profondeur, une importante **racine crustale**.

L'épaisseur de la croûte résulte d'un épaissement lié à un **raccourcissement** et un **empilement**. On en trouve des **indices tectoniques** (plis, failles, nappes) et des **indices pétrographiques** (métamorphisme, traces de fusion partielle). Les résultats conjugués des études tectoniques et minéralogiques permettent de **reconstituer un scénario** de l'histoire de la chaîne.

Introduction :

Le domaine continental se distingue du domaine océanique notamment par sa croûte qui, pour l'essentiel, est à l'affleurement (=on la voit). Le domaine continental est ainsi émergé, avec par endroits des reliefs d'altitude importante : les chaînes de montagnes, comme les Alpes ou l'Himalaya.

Comment expliquer la dualité d'altitude océans-continents et quelles sont les caractéristiques propres au domaine continental ?

1-la lithosphère est en équilibre sur l'asthénosphère

Voir documents 1,2,3 page 144 et 4 page 145 : la remontée de la Scandinavie

Voir TP 1 : modélisation avec les morceaux de bois.

Modèle de l'isostasie (Airy) : la lithosphère, rigide, flotte sur l'asthénosphère (plus dense et plus déformable).

Modifications de cet équilibre (couverture glaciaire de la Scandinavie)= mouvements verticaux de la lithosphère.

Phénomène commun aux lithosphères océaniques et continentales.

Par rapport au niveau de l'eau, les continents présentent une altitude moyenne de 800m, et les océans une profondeur moyenne de 3500m.

Comment expliquer cette dualité d'altitude ?

2-La dualité d'altitude océan-continent :

Voir TP 1 (technique du calcul des densités)

Doc 1 et 2, page 146 : les roches de la croûte continentale et leurs proportions dans cette croûte.

Croûte continentale = granite et gneiss. Densité : 2,5 en moyenne < densité des roches de la croûte océanique (basalte et gabbro, densité=2,7).

Épaisseur croûte continentale : 30km / croûte océanique : 10 km.

=>Explication des différences d'altitudes entre domaine continental et domaine océanique.

De plus, les roches de la CC peuvent avoir 4Ga alors que les roches de la CO n'excèdent pas 200Ma.

Comment connaît-on l'âge des roches ?

3-L'âge de la croûte continentale

Voir les documents 1 et 2, page 148 : notion de géochronomètre (+ faire exercice 5 page 161 : comment connaît l'âge de formation de la Terre)

Granite et gneiss : roches magmatiques (=issues du refroidissement d'un magma) formée à une époque donnée.

Depuis, désintégration régulière d'éléments radioactifs intégrés à la roche.

Cas du Rubidium87 qui se transforme en Strontium87 (Présents dans les minéraux de Zircon du granite).

Mesure de la quantité de ces éléments => déduction de l'âge de la roche selon la formule : **Age = (ln (pente+1))/lambda**

Lambda= constante de désintégration du Rubidium

Doc 3 page 151 : Des mesures de profondeur du Moho (limite croûte manteau) montrent que celui-ci est d'autant plus profond que le relief est élevé.

Comment peut-on expliquer cette particularité ?

4-Des particularités continentales au niveau des chaînes de montagnes

Voir TP 2 l'épaississement de la croûte continentale

Épaisseur de la CC Alpes : 70km, contre 35km en moyenne ailleurs= **une racine crustale** qui compense en profondeur la surcharge liée au relief (selon le principe de l'isostasie).

Doc 1 et 2, page 152. Surépaisseur de la croûte = résultat d'un raccourcissement et d'un empilement.

Indices tectoniques (pli, failles, et nappes) de ces phénomènes.

Doc 1, 2, 3, page 154 : métamorphisme d'un gneiss et 4, 5, 6, page 155 : fusion partielle d'une migmatite.

Indices pétrographiques : métamorphisme des gneiss + traces de fusion partielle des migmatites

Conclusion :

En quoi toutes ces informations permettent-elles de reconstituer l'histoire d'une chaîne de montagne ?

Voir le prochain chapitre, la formation d'une chaîne de montagne

Chapitre 2 : la formation d'une chaîne de montagnes

Programme :

Les chaînes de montagnes présentent souvent les traces d'un domaine océanique disparu (ophiolites) et d'anciennes marges continentales passives. La « suture » de matériaux océaniques résulte de l'affrontement de deux lithosphères continentales (collision). Tandis que l'essentiel de la lithosphère continentale continue de subduire, la partie supérieure de la croûte s'épaissit par empilement de nappes dans la zone de contact entre les deux plaques. Les matériaux océaniques et continentaux montrent les traces d'une transformation minéralogique à grande profondeur au cours de la subduction. La différence de densité entre l'asthénosphère et la lithosphère océanique âgée est la principale cause de la subduction. En s'éloignant de la dorsale, la lithosphère océanique se refroidit et s'épaissit. L'augmentation de sa densité au-delà d'un seuil d'équilibre explique son plongement dans l'asthénosphère. En surface, son âge n'excède pas 200 Ma.

Introduction

Dans les chaînes de montagnes, la croûte continentale est épaissie.

Cet épaississement est dû à un raccourcissement et à un empilement de terrains, qui témoignent de déplacements horizontaux. Ces déplacements peuvent s'expliquer dans le cadre du modèle de la tectonique des plaques.

Dans quel contexte géodynamique les chaînes de montagnes se forment-elles ?

1-Des indices de l'histoire de la chaîne de montagne:

Indices :

- des lambeaux de LO= les ophiolites, vestiges d'un océan disparu (Voir le Thalorn dans les Vosges ou le Chenaillet dans les Alpes, p 164 et TP4) ;
- Deux anciennes marges continentales passives peu déformées. Autrefois séparées par un océan, elles se trouvent rapprochées au sein d'un massif montagneux (p 166 et TP4, Barachin et St Crépin) ;
- Présence de roches dont les minéraux présentent des transformations liées à la subduction, glaucophane, grenat, jadéite (pages 168 et 169 ainsi que TP3) ;

Comment intégrer ces données d'observation dans le modèle de la tectonique des plaques ?

2-Un scénario de formation d'une chaîne de montagnes

Scénario : (voir doc 3 page 171 et TP4)

- Etape 1 : contexte de convergence de plaques lithosphériques : une subduction océanique. (les métagabbros à glaucophane + écoligite en témoignent)

- Etape 2 : fermeture de l'océan puis entrée en collision des deux lithosphères continentales. Limite entre les deux = suture continentale => un bourrelet, (une sorte de cicatrice : les ophiolites en témoignent)
- Etape 3 : collision = épaississement par empilement de nappes de charriages, de plis et de failles. (voir pages 152/153)

Comment expliquer que la lithosphère océanique qui « flotte » sur l'asthénosphère se mette à plonger dans cette asthénosphère uniquement au niveau des zones de subduction ?

3-Le moteur de la subduction (voir TP5)

- Eloignement de la dorsale= vieillissement de la croûte océanique=> épaississement par ajout d'une semelle de manteau lithosphérique. Isotherme 1300°C (limite inférieure) : de plus en plus profond. (doc 2 page 172)
- Epaississement => l'augmentation de la densité et donc de la profondeur de la lithosphère océanique : on parle de subsidence thermique. (doc 3 et 4 page 172)
- Après 30Ma : densité de la lithosphère océanique > à celle de l'asthénosphère = équilibre isostatique rompu => plongement de la lithosphère océanique dans l'asthénosphère : c'est le début de la subduction. (voir doc 5 page 173 et TP5)
- La lithosphère plongeante tracte le reste de la plaque lithosphérique : subduction = rôle de moteur dans la tectonique des plaques.

Conclusion : les chaînes de montagne résulte d'une collision entre deux plaques continentales dont les sommets témoignent d'un empilement plurikilométrique de roches. Les mouvements de convergence peuvent s'arrêter soudainement, et l'altitude diminuera inexorablement : les Alpes deviendront dans 5 à 10 Ma des montagnes comme les Vosges.

Quels sont les processus qui interviennent dans le démantèlement d'une chaîne de montagne ?

Chapitre 3 : la production de nouveaux matériaux continentaux

Programme :

Dans les zones de **subduction**, des volcans émettent des **laves** souvent **visqueuses** associées à des gaz et leurs éruptions sont fréquemment **explosives**. La **déshydratation** des matériaux de la croûte océanique subduite libère de l'eau qu'elle a emmagasinée au cours de son histoire, ce qui provoque la **fusion partielle** des péridotites du manteau sus-jacent. Si une fraction des magmas arrive en surface (volcanisme), la plus grande partie **crystallise en profondeur** et donne des roches à structure grenue de type **granitoïde**. Un magma, d'origine mantellique, aboutit ainsi à la **création** de nouveau **matériau continental**.

Intro :

Doc 6 page 191 : au début, il n'y avait rien ! Pas un seul continent ; puis vers 4 Ga, la construction des continents débute pour devenir exponentielle entre 2,5 et 1,5Ga... pour être stable aujourd'hui, ce qui signifie que formation et destruction des continents sont à peu près équivalent.

Selon quels processus la formation des continents s'est-elle déroulée ?

1. Le volcanisme explosif des zones de subduction :

- Zones de subduction (=ceinture de feu du Pacifique) : activité volcanique fréquemment **explosive** => production de nuées ardentes et coulées pyroclastiques meurtrières. (Disparition du couple Kraft sur le Mont Unzen, Mont St Helens ou M é r a p i P182) + Dégâts importants.
- Caractère explosif : lié à la **forte viscosité** des laves émises (doc 3 page 183) + richesse en **gaz**.
- Refroidissement en surface => naissance d'une roche volcanique appelée **Andésite**. (doc 2 page 183 et **carrière de la Katzmatt, Vosges**)
- =Roche microlithique (minéraux invisibles à l'œil nu) riche en silice et en minéraux comprenant des groupements -OH (= minéraux hydroxylés comme la biotite).

2. L'origine du magma dans les zones de subduction :

- Expansion océanique=> la croûte océanique emmagasine de l'eau => production des minéraux hydroxylés. (composition chimique du chlorite, l'actinote, la hornblende, glaucophane page 187)
- Subduction : mise sous pression de cette croûte + Augmentation de température = métamorphisme
 - ⇒ Transformations minéralogiques (chlorite => glaucophane => grenat) = déshydratation des minéraux, donc libération d'eau. (doc 3 page 187)
- **Percolation** de l'eau dans le manteau de la lithosphère chevauchante => **abaissement du point de fusion** des péridotites => fusion de manière partielle. (doc 2 page 184)
- **Fusion partielle des péridotites** mantelliques de la plaque chevauchante : à l'origine d'un magma de composition andésitique. (doc 1 page 190)

3. Le magmatisme de subduction, une fabrique à continent !

- **Une fraction** du magma produit en profondeur arrive en surface et alimente les volcans. (doc 1 page 190)
- Cristallisation en profondeur de la **majeure partie** de ce magma (dans la croûte continentale : Sierra Nevada, Half Dome, page 188)
- =Formation des **roches plutoniques** (grenue donc) : granodiorite roches de composition globalement granitique appelées **granitoïdes**.
- **Roche du rocher du Neuntelstein dans les Vosges**.
- Le magmatisme des zones de subduction produit ainsi, à partir de péridotite mantellique, de nouveaux matériaux continentaux.(agrandissement des continents par leur périphérie : doc 5 page 191)

Conclusion

Les zones de subduction sont le siège d'une importante activité magmatique qui aboutit à une production de croûte continentale. C'est ainsi que depuis la formation de la Terre, les continents absents au début se sont progressivement formés.

Chapitre 4 : La disparition des reliefs

Programme :

Les chaînes de montagnes anciennes ont des **reliefs moins élevés** que les plus récentes. On y observe à l'affleurement une plus forte proportion de **matériaux transformés et/ou formés en profondeur**. Les parties superficielles des reliefs tendent à disparaître. **Altération et érosion** contribuent à l'effacement des reliefs. Les produits de démantèlement sont **transportés** sous forme solide ou soluble, le plus souvent par l'eau, jusqu'en des lieux plus ou moins éloignés où ils se déposent (**sédimentation**). Des **phénomènes tectoniques** participent aussi à la disparition des reliefs. L'ensemble de ces phénomènes débute dès la naissance du relief et constitue un **vaste recyclage** de la croûte continentale.

Introduction :

Les hauts reliefs de la planète, Himalaya, Alpes, rocheuses, sont formés de roches dont l'âge ne dépasse pas 50 Ma ; or, comme nous l'avons vu dans le chapitre 3, la formation des continents commence toujours par une chaîne de montagnes... Par conséquent, les anciennes montagnes formées régulièrement depuis 4Ga ont toutes connues le même sort : leur érosion entraînant la disparition des reliefs !

Comment des roches dures comme les granites peuvent-elles disparaître des chaînes de montagne ?

1-Altération et érosion des chaînes de montagnes :

- Les hauts reliefs qui caractérisent les chaînes de montagnes à l'époque de leur formation sont des **systèmes instables** qui tendent à disparaître. (Page 200/201)
- **L'altération et l'érosion** contribuent au démantèlement des parties superficielles des reliefs. Les produits de ce démantèlement sont **transportés** principalement par l'eau jusque dans les **bassins sédimentaires** plus ou moins éloignés des reliefs. (page 202/203)
- Les sédiments s'y déposent puis forment après consolidation, des roches sédimentaires détritiques. Les ions dissous y précipitent,

formant d'autres types de roches sédimentaires. Ces processus se produisent dès la naissance d'une chaîne de montagnes.

2-Des processus tectoniques à l'œuvre

Lorsque les forces liées au poids des reliefs et à la poussée d'Archimède contrebalancent celles liées à la convergence des plaques lithosphériques, l'épaississement maximal de la croûte est atteint. Alors, le cœur de la chaîne de montagnes commence à s'effondrer. L'effondrement se propage ensuite au reste de la chaîne.

Ces processus sédimentaires et tectoniques entraînent un rééquilibrage isostatique associé à une **remontée de la racine crustale** située sous la chaîne de montagnes. L'ensemble de ces phénomènes exhume des roches formées et/ou transformées en profondeur, qui affleurent ainsi en grande proportion dans certaines chaînes anciennes.

3-Le recyclage de la lithosphère continentale :

- Le recyclage de la lithosphère continentale a lieu pour l'essentiel au sein même de cette lithosphère où, lors des **cycles orogéniques** successifs, les roches sont transformées par des processus sédimentaires, tectoniques, métamorphiques et magmatiques.
- Par le passage en subduction des sédiments et roches sédimentaires, seule une très faible proportion de lithosphère continentale est recyclée en profondeur dans le manteau sous-jacent, où elle disparaît.
- Cette caractéristique du recyclage de la lithosphère continentale explique pourquoi elle a conservé les roches les plus anciennes de la Terre. Ce n'est pas le cas de la lithosphère océanique, dont la quasi totalité disparaît dans le manteau sous-jacent au niveau des zones de subduction.

Conclusion :

La disparition des reliefs est inéluctable mais les restes constituent une histoire géologique qui peut être lue par les géologues.