

ATTENTION : EN ENCADRE ROUGE = CE QUI EST A SAVOIR ABSOLUMENT

**Pb. Scientifique général du CHAP. 5 : Comment expliquer la dualité d'altitude océans – continents ?
Quelles sont les caractéristiques propres au domaine continental ?**

- CHAPITRE 5 -

CARACTERISATION DU DOMAINE CONTINENTAL

Acquis à mobiliser :

▪ **Revoir en 4^{ème} :**

- Origine et mouvement des plaques lithosphériques.
- Naissance et disparition des océans.
- Mouvements de convergence et subduction.
- Formation des chaînes de montagne.

▪ **Revoir en 1^{ère} S :**

- Les océans naissent de la déchirure d'un continent au niveau d'un rift. Lorsque l'océan s'est élargi, ses marges qualifiées de passives correspondent aux 2 lèvres autrefois jointives de l'ancien rift continental.
- Les sédiments des marges passives sont surtout d'origine détritiques (érosion du continent); ils sont de plus en plus fins lorsqu'on s'éloigne vers la haute mer (les particules les plus fines sont transportées le plus loin).
- Dans les plaines abyssales, les sédiments sont constitués par les tests calcaires ou siliceux des êtres vivants planctoniques. Au delà de 4000 mètres de profondeur, seuls les tests siliceux peuvent sédimenter car les tests carbonatés sont dissous avant d'atteindre le fond.
- Distribution bimodale des altitudes
- La subduction d'une plaque océanique sous une plaque continentale (selon le Plan de Bénioff) peut conduire à l'affrontement de 2 plaques continentales. Cet événement conduit à la surrection d'une chaîne de montagnes dites de collision.
- Notions de Fusion partielle, magma, 2 modes de solidification donnant naissance à des roches grenues ou microgrenues.

Introduction :

Au début du XX^e siècle, Wegener avait postulé que l'altitude moyenne des continents (+100 m) et des océans (- 4 500 m) permettait d'avancer l'idée que ces deux domaines correspondent à des **croûtes terrestres différentes** : les croûtes continentale et océanique. Voici quelques caractéristiques du domaine continental.

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

Pb. Scientifique : Comment expliquer que, malgré les variations d'altitude, la lithosphère soit en équilibre sur l'asthénosphère ?

I- La lithosphère en équilibre sur l'asthénosphère

**Pb. : Comment la mobilité verticale de la lithosphère peut-elle être mise en évidence et expliquée ?
Comment expliquer que, malgré les variations d'altitude, la lithosphère soit en équilibre sur l'asthénosphère ?**

• **ACTIVITE 1 : MISE EN EVIDENCE DES MOUVEMENTS VERTICAUX DE LA LITHOSPHERE ET EQUILIBRE ISOSTATIQUE**

Objectifs :

- Recenser, extraire et organiser des informations afin de comprendre l'équilibre de la lithosphère sur l'asthénosphère
- Réaliser et exploiter une modélisation analogique ou numérique pour comprendre la notion d'isostasie.

Les études gravimétriques s'intéressent aux variations fines de l'intensité de la pesanteur terrestre (ou gravité), ces variations étant dues au fait que la Terre n'est pas rigoureusement sphérique, qu'elle n'est pas parfaitement plate (variations d'altitude d'un lieu à un autre) et que les masses ne sont pas forcément réparties de manière homogène à l'intérieur.

Il est possible de calculer la valeur théorique de la pesanteur en un lieu donné et de la comparer à la valeur effective mesurée à l'aide de **gravimètres**. Les spécialistes constatent alors l'**existence d'anomalies** : par exemple, dans les régions montagneuses, la pesanteur mesurée est souvent inférieure à la valeur théorique attendue.

Tout se passe comme si l'excès de masse représentée par la montagne était compensé en profondeur par un déficit de masse. On appelle **isostasie** cet état d'équilibre réalisé à une certaine profondeur de la Terre, dite **profondeur de compensation**.

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**.

Pb. : Comment expliquer la différence d'altitude entre océans et continents ?

II- Dualité d'altitude entre océans et continents

TP 5 : EVALUER LA DENSITE DE LA CROÛTE CONTINENTALE

-TP CALCUL DE MASSES VOLUMIQUES

IERE HYPOTHESE A VERIFIER : LA DENSITE DES CROUTES DIFFERE.

• **ACTIVITE 2 : EVALUER LA DENSITE DE LA CROUTE CONTINENTALE**

- **Objectif** : - Estimer la densité de la croûte continentale par rapport à celle de la croûte océanique

Les roches continentales visibles en surface présentent une grande variété (roches magmatiques, sédimentaires ou métamorphiques de compositions diverses) mais elles ne représentent qu'une faible part de la croûte continentale. Pour l'essentiel, celle-ci est constituée de roches de type **granite**.

Par comparaison, les roches océaniques sont formées principalement de type **basalte**.

Cette différence de composition minéralogique s'accompagne d'une différence de **densité** : une mesure simple de la masse volumique d'échantillons de granités et de basaltes permet de le confirmer.

On peut estimer **que la densité moyenne de la croûte continentale** est de l'ordre de **2,7** alors que celle de la croûte océanique est plus proche de **3**.

Cette différence pose le problème des relations d'équilibre entre ces croûtes et le manteau sous-jacent.

En fait, croûte continentale et croûte océanique ne représentent que la partie superficielle d'un ensemble rigide beaucoup plus épais : la **lithosphère**. Nous savons que la lithosphère terrestre est divisée en un certain nombre de **plaques** d'une centaine de kilomètres d'épaisseur environ.

Ces plaques, mobiles les unes par rapport aux autres, reposent en équilibre sur l'**asthénosphère**. C'est une zone du manteau terrestre moins rigide, déformable (les géologues disent « ductile ») la limite lithosphère-asthénosphère correspondant à l'isotherme 1300°C.

La croûte continentale, principalement formée de roches voisines du **granite**, est d'**une densité plus faible** que la croûte océanique.

Pb. : y a t il une relation entre l'altitude du relief et l'épaisseur de la croûte continentale ?

III- Epaisseur de la croûte et reliefs continentaux

TP 5 (SUITE) : EVALUER L'ÉPAISSEUR DE LA CROÛTE CONTINENTALE
TD INFO (DONNEES SISMOLOG + TABLEUR EXCEL)

2EME HYPOTHESE A VERIFIER : L'ÉPAISSEUR DES CROUTES DIFFERE.

• **ACTIVITE 3 : EVALUER L'ÉPAISSEUR DE LA CROUTE CONTINENTALE**

- Objectifs :

- Estimer l'épaisseur de la croûte continentale par rapport à celle de la croûte océanique
- Utiliser des données sismiques et leur traitement avec des logiciels pour évaluer la profondeur du Moho.

Cet équilibre de la lithosphère sur l'asthénosphère étant admis, il est logique de penser que la croûte continentale, moins dense que la croûte océanique, peut être à la fois plus épaisse, et avoir sa surface à une altitude plus élevée. Les données sismiques permettent d'estimer **l'épaisseur de la croûte**.

Elles sont fondées sur l'analyse de sismogrammes enregistrés par différentes stations assez proches d'un foyer sismique. Il est possible de repérer sur ces enregistrements l'arrivée d'ondes P qui ont suivi plusieurs chemins, mais à la même vitesse : des ondes P « directes » e: des ondes P qui se sont enfoncées dans la croûte, puis on: été réfléchies sur une **surface de discontinuité** (« réflecteur ») et sont remontées vers la station.

Un calcul assez simple fondé sur la comparaison des temps de parcours (donc des longueurs de trajet) permet d'estimer la profondeur du « réflecteur ». On nomme **Moho** cette surface qu marque la limite inférieure de la croûte et donc le contact avec le manteau supérieur.

En domaine continental, la profondeur du **Moho** se situe **en général aux alentours de 30 km** ; cette valeur représente donc l'épaisseur moyenne de la croûte continentale (à comparer avec les 6 à 7 km de la croûte océanique).

La valeur obtenue par les sismologues varie toutefois beaucoup suivant les régions. **Dans une région montagneuse** (zone alpine par exemple), la profondeur du Moho s'abaisse notablement, **jusqu'à 60 km environ**.

Comme le laissaient penser les modèles concernant l'équilibre isostatique, l'excès de masse représenté par la chaîne de montagnes est compensé en profondeur par une « **racine crustale** » moins dense que le manteau supérieur.

- *Reste à comprendre comment, dans ces régions, la croûte continentale s'est épaissie au point d'ériger des reliefs de plusieurs kilomètres, qui surmontent des racines profondes. (voir Paragraphe V)*

La croûte continentale, principalement formée de roches voisines du **granite**, est d'**une épaisseur plus** que la croûte océanique.

Au **relief positif** qu'est la **chaîne de montagnes**, répond, en profondeur, une importante **racine crustale**.

Pb. : Quel est l'âge de la croûte continentale ?

IV- L'âge de la croûte continentale : une autre façon de la caractériser

Site référence :

<http://pedagogie.ac-amiens.fr/svt/info/logiciels/radiochr/index.htm>

Pb. : Quelles données peut-on utiliser pour replacer les évènements géologiques dans le temps ?

A- La datation absolue permet une mesure physique des roches

La datation relative ne permet pas de chiffrer l'âge d'un phénomène ou d'aborder directement la durée des phénomènes observés.

Pour obtenir l'âge d'un phénomène, d'une roche, d'un minéral ou exceptionnellement d'un fossile on a recours à une méthode qui s'appuie sur la **décroissance radioactive** d'isotopes de certains éléments chimiques : cette méthode de datation est appelée méthode de **datation absolue**.

- Il existe 3 méthodes de datation absolue utilisant des couples d'isotopes variés : la méthode du ¹⁴C, la méthode ⁴⁰K / ⁴⁰Ar et la méthode ⁸⁷Rb / ⁸⁷Sr.

➤ Nous retiendrons une seule des trois méthodes existantes : la méthode ⁸⁷Rb / ⁸⁷Sr.

La datation absolue, qui utilise des méthodes physiques, donne accès à *l'âge de roches et de fossiles*, à *la durée des évènements géologiques*. Elle permet également de situer l'échelle relative des temps géologiques. Pour obtenir l'âge d'un évènement, d'une roche, d'un minéral ou même d'un fossile, on utilise une méthode s'appuyant sur la décroissance naturelle de la radioactive d'isotopes de certains éléments chimiques. Cette méthode est appelée datation absolue ou radiométrique.

a- Principe des méthodes de datation absolue

1. Ces méthodes reposent sur la présence d'éléments radioactifs dans les objets géologiques

Ces objets sont les minéraux des roches magmatiques et métamorphiques (pour les isotopes ⁴⁰K et ⁸⁷Rb) et des objets d'origine biologique (bois, os, pour l'isotope ¹⁴C).

De nombreux éléments chimiques possèdent des **isotopes naturels radioactifs** qui se désintègrent spontanément en éléments stables. Ce phénomène s'accompagne de l'émission de rayonnements.

Dans les objets géologiques, l'isotope radioactif d'origine ou **élément père (P)**, se transforme au fil du temps en **élément fils (F)** non radioactif avec émission d'un rayonnement variable suivant l'isotope. Ces deux éléments présentant une légère différence de masse sont identifiables et dosables à l'aide d'un *spectromètre de masse*.

La désintégration des atomes est un phénomène continu, irréversible, de vitesse constante, telle que la quantité d'atomes désintégrés est exclusivement fonction du temps écoulé. La connaissance de cette quantité permet d'avoir accès à l'âge absolu de l'objet étudié.

2. La loi de désintégration des isotopes radioactifs

Au cours de sa transformation en élément fils, la décroissance de l'élément père se fait selon une **fonction exponentielle du temps**, si bien que, quelle que soit la quantité d'éléments père présente à un moment donné, il faut le même temps pour que cette quantité soit divisée par deux : cette durée est la **période radioactive (ou demi vie radioactive)**, caractéristique de l'élément considéré.

Cette loi s'exprime mathématiquement de la manière suivante :

$$N_{(t)} = N_{(0)} e^{-\lambda t} \quad (1)$$

N_(t) = nombre d'éléments père au temps t ;

N₍₀₎ = nombre d'éléments père à l'origine ;

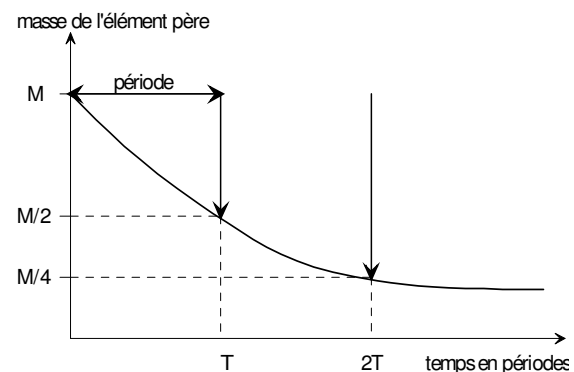
λ = constante de désintégration.

De cette équation il est facile de tirer l'âge de l'échantillon :

$$t = 1/\lambda \ln (N_0 / N_t) \quad (2)$$

La période radioactive T est un paramètre lié à la *constante de désintégration* : c'est le temps exprimé en années au bout duquel la moitié des atomes radioactifs présents à un moment donné sont désintégrés. Elle est reliée à par la formule :

$$T \text{ (période)} = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda \quad (\text{Où } \lambda \text{ est la constante de désintégration})$$



Pb. : Quel est l'âge de la croûte continentale ?**B- Datation absolue de roches de la croûte continentale de type GRANITE****TP 5 (FIN) : CALCULER L'AGE DE LA CROÛTE CONTINENTALE**
Td INFO (LOGICIEL RADIOCHRONOLOGIE)**• ACTIVITE 4 : EVALUER L'AGE DE LA CROUTE CONTINENTALE****- Objectif : Déterminer un âge en utilisant la méthode de la droite isochrone.**

On sait que la croûte océanique est recyclée en permanence : la croûte ancienne devenue trop dense, sombre inexorablement dans le manteau. Ainsi, on ne connaît pas de **croûte océanique d'âge supérieur à quelque 200 Ma**. En revanche, **la croûte continentale peut être très vieille** : l'âge des gneiss d'Acasta au Canada, roches parmi les plus vieilles connues, est de 4,03 Ga.

Comment ces âges sont-ils obtenus ?

Ce sont des méthodes de **radiochronologie** qui permettent de réaliser de telles datations. Elles sont fondées sur la connaissance de la **désintégration radioactive** d'éléments contenus dans les roches. Ce phénomène obéit à une loi immuable de **décroissance exponentielle** en fonction du temps, la **demi-vie** variant d'un élément à l'autre.

On dispose donc de divers **géochronomètres**. Parmi eux, *les éléments rubidium et strontium*, présents dans les roches de la croûte continentale, permettent de dater des roches vieilles de plusieurs milliards d'années.

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**.

On étudie un exemple d'indice tectonique et un indice pétrographique de raccourcissement **(1B1)**.

→ **Subduction, collision**. Les indices de subduction ou de collision doivent pouvoir être reconnus sur divers types de documents.

La succession est présentée comme un scénario type, jamais parfaitement réalisé sur le terrain.

→ **Subsidence thermique**. Le rôle moteur de la traction par la lithosphère océanique plongeante complète la compréhension de la tectonique des plaques.

On cherche maintenant à **expliquer la grande épaisseur de la croûte continentale au niveau de chaînes de montagnes** intracontinentales.

L'étude se limite aux **chaînes de montagnes de collision**.

L'histoire de la chaîne est reconstituée en deux moments : **la collision** elle-même puis **la subduction** qui l'a précédée.

Pour mettre en évidence cet épaissement on s'appuie sur :

- des données de terrain, plis, failles, nappes, indices pétrographiques de métamorphisme et de fusion partielle
- des données sismiques

L'ensemble de ces informations permet de **reconstituer la partie post-subduction de l'histoire de la chaîne** :

- 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). **(1B1 initialement)**

- 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.
- . Les résultats conjugués des études tectoniques et minéralogiques permettent de reconstituer un scénario de l'histoire de la chaîne.

TP 6 : LES INDICES TECTONIQUES ET PETROGRAPHIQUES DE L'ÉPAISSISSEMENT CRUSTAL

Td INFO (LOGICIEL ALPES) + Tp PETROLOGIE DES ROCHES DE LA CROÛTE CONTINENTALE (MICROSCOPE POLARISANT)

V – Des indices tectoniques de l'épaississement crustal

Au niveau des **chaînes de montagnes intracontinentales**, la croûte continentale présente une grande épaisseur, mise en évidence notamment par les calculs réalisés sur la profondeur du Moho, ou par **des profils ECORS obtenues à partir de données sismiques**.

C'est le résultat d'une histoire tectonique complexe.

Les observations de terrains permettent de retrouver des indices de cette histoire.

- *Document initiateur* : « Les chaînes alpines en Eurasie », images obtenues avec le logiciel « Sismolog ».

Pb. : Quels sont les marqueurs (éléments caractéristiques) d'une compression des roches de la croûte ?

• **ACTIVITE 5 : LES MARQUEURS TECTONIQUES DE LA COLLISION CONTINENTALE**

- **Objectif** : Repérer, à différentes échelles, des indices simples de modifications tectoniques du raccourcissement et de l'empilement.

http://sylviejean.cazes.free.fr/SiteBioLFH/TS/videocours/05_Convergence_collision.htm

• Les chaînes de montagnes sont toujours le résultat d'une histoire tectonique complexe, en général dans un contexte **d'affrontement de plaques**. Sous l'effet des contraintes liées aux déplacements de ces plaques, les roches ont subi des déformations ou des déplacements parfois considérables. Un exemple très connu est celui de la collision, actuellement en cours, entre le sous-continent indien et le bloc eurasiatique, avec pour résultat l'érection des chaînes himalayennes. Les Alpes sont un autre exemple plus proche de nous.

Les géologues peuvent identifier, sur le terrain, des indices révélateurs des **contraintes compressives** qui se sont exercées :

- **Les plis**, qui affectent les séries sédimentaires, témoignent d'une déformation souple et permettent de repérer la direction générale des contraintes (perpendiculaire à l'axe des plis).
- **Les failles inverses** sont un indice de déformation cassante et traduisent un raccourcissement local de la croûte.
- **Les nappes de charriage** représentent une espèce de paroxysme : des formations géologiques de taille parfois impressionnante ont glissé sur des distances qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de kilomètres, en chevauchant les formations en place. Ainsi, se créent des **empilements complexes**, où des roches initialement très éloignées se retrouvent en « **contact anormal** ». C'est d'ailleurs le constat de telles anomalies qui permet de repérer ces formations « voyageuses ».

L'épaisseur de la croûte résulte d'un épaississement lié à un **raccourcissement** et un **empilement**.

On en trouve des **indices tectoniques** (plis, failles, nappes).

Au niveau d'une chaîne de montagnes, l'épaississement de la croûte continentale est lié au raccourcissement et aux empilements imposés par les contraintes tectoniques.

➤ Les roches crustales subissent les conséquences de ces conditions nouvelles.

V – Des indices pétrographiques de l'épaississement crustal

L'épaississement de la croûte a pour conséquence de soumettre des roches à de **nouvelles conditions de températures et de pression.**

L'objectif est de montrer les modifications pétrographiques associées à ces nouvelles conditions.

Pb. : En quoi les roches des chaînes de montagnes témoignent-elles d'un épaississement crustal ?

• **ACTIVITE 6 : LES MARQUEURS DE LA COLLISION CONTINENTALE**

- **Objectif** : Repérer, à différentes échelles, des indices simples de **modifications pétrographiques** du raccourcissement et de l'empilement.

<http://espace-svt.ac-rennes.fr/applic/chrono/met-ex3.htm#doc2>

Lithothèque Ens Lyon :

<http://lithotheque.ens-lyon.fr/Lithotheque/FormRech/page.php?recup=6.8.3.1.1>

A- Des transformations structurales et minéralogiques affectant les roches de la croûte continentale

B- Les conditions d'une fusion partielle de la croûte continentale

Echantillons + lames minces : Granite, Gneiss, Migmatites

Microscope polarisant

Du simple fait de l'**enfouissement** à des profondeurs de plusieurs kilomètres, elles sont soumises à des **températures et des pressions croissantes** et **se transforment**.

Sur le terrain, il est, par exemple, possible d'observer le passage progressif de **roches sédimentaires** de surface comme des **roches argileuses** (pélites) à des roches qui représentent des argiles de plus en plus transformées (des métapélites), car ayant été enfouies de plus en plus profondément : c'est ainsi que l'on observe successivement des **schistes**, puis des **micaschistes** et des **gneiss (→ roches métamorphiques)**

Retenons simplement qu'à part les modifications de texture (apparition d'une schistosité), le fait marquant est **la cristallisation de nouveaux minéraux**.

La composition chimique globale de la roche reste stable mais les minéraux se transforment progressivement : les minéraux stables sous certaines conditions ne le sont plus lorsque pression et température augmentent et interagissent chimiquement pour donner de nouveaux minéraux.

➤ **Cette « transformation minérale »,** qui intervient alors que la roche reste **à l'état solide**, caractérise les **roches métamorphiques**.

Si la température et la pression s'élèvent encore plus, **une partie de la roche métamorphique peut fondre et donner naissance à un magma**.

Ce phénomène de **fusion partielle** constitue ce que l'on nomme l'**anatexie**. C'est ainsi que l'on observe des **migmatites**, c'est-à-dire des gneiss contenant des lentilles granitiques : ce granité provient de la cristallisation d'un magma, lui-même produit par la fusion des minéraux les moins réfractaires du gneiss (ceux qui ont la température de fusion la plus faible).

L'épaisseur de la croûte résulte d'un épaississement lié à un **raccourcissement** et un **empilement**.

On en trouve des **indices pétrographiques** (métamorphisme, traces de fusion partielle).

Les résultats conjugués des études tectoniques et minéralogiques permettent de **reconstituer UNE PARTIE du scénario de l'histoire de la chaîne**.