

Leçon n°12

Importance des continents et des océans dans l'élaboration du modèle de la tectonique des plaques

I. La dérive des continents selon Wegener et les critiques de l'époque de ce modèle (activité n° 24)

1) La notion de continents et d'océans avant Wegener (=> activité n° 24)

+ Au début du XXe siècle, les géologues (ex : Suess) pensent que la Terre qui se refroidit se **rétracte** comme une « pomme qui se dessèche » expliquant ainsi par les **plissements continentaux**, les **chaînes de montagnes** et par les **effondrements** au sein des continents, les **bassins océaniques**. La croûte **continentale** constituée de **granites**, sédiments et **roches métamorphiques surmonte un soubassement dense**, légèrement visqueux constitué de **basaltes** et **péridotites**.

2) Les arguments qui conduisent Wegener à énoncer sa théorie (=> activité n° 24)

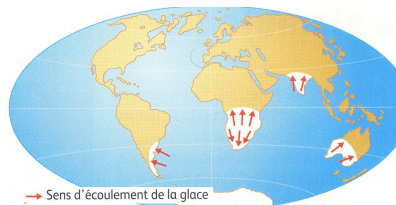
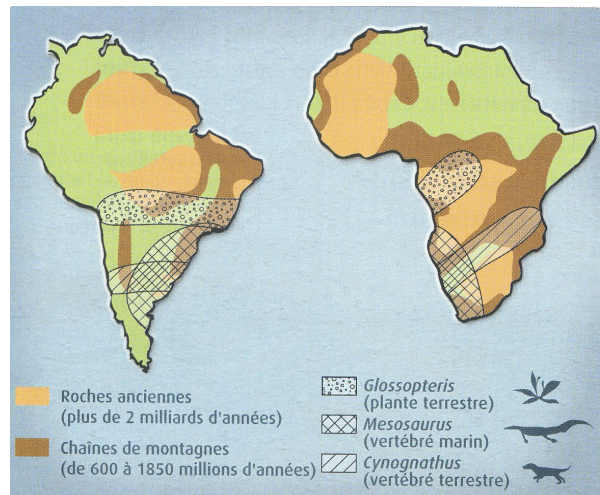
+ Les arguments avancés par Wegener :

=> **arguments géographiques**

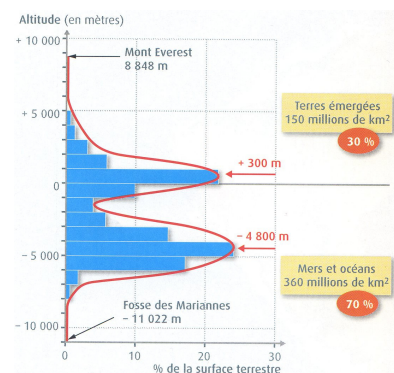
(morphologiques) : **emboîtement des limites continentales** de l'Est de l'Amérique latine et de l'Ouest de l'Afrique.

=> **arguments pétrographiques** : si on considère les **blocs continentaux** âgés de plus de **2 milliards d'année (= boucliers)**, on peut observer qu'ils existent à la fois sur les continents américains et africains et **qu'ils se complètent parfaitement** d'où l'idée qu'ils furent initialement réunis en chaînes continues avant d'être séparés : bouclier angolais, bouclier Ouest africain, bouclier rhodésien, bouclier guyanais et bouclier brésilien.

=> **arguments paléontologiques** : idem concernant la **distribution de fossiles de plus de 200 Ma** (**Cynognathus** reptile prédateurs de 240 Ma, **Mesosaurus** reptile aquatique de 260 Ma, **Lystrosaurus** reptile terrestre de 240 Ma et **Glossopteris** plante terrestre de 240 Ma). Leurs **aires de répartition sont actuellement disjointes** du fait de la séparation des continents Sud Américain et Africain.



=> **arguments altimétriques** : si la terre subit des effondrements aléatoires du fait de son refroidissement, les altitudes terrestres doivent se répartir suivant une **courbe de gausse** (donc unimodale). Or les **altitudes continentales (150 millions de km³ = 30 %)** et les **altitudes océaniques (360 millions de kms = 70 %)** se répartissent suivant une **courbe bimodale** : un maximum à 300 m (moyenne continentale) et un maximum à -4800 m (moyenne océanique). Pour Wegener, cet argument **fait effondrer l'hypothèse d'une terre qui « se dessèche comme une pomme »** et accrédite l'idée de **deux croûtes de nature distinctes** (granitique pour la continentale, basaltique pour l'océanique).



3) La théorie de la « dérive des continents de Wegener » (=> activité n° 24)

+ Du dernier argument (distribution des altitudes), Wegener et quelques autres géologues déduisent que les **continents granitiques** sont légers, constitués d'un matériau le « **SIAL** » (Si pour Silicium et Al pour Aluminium) reposant sur un **matériel plus dense** de nature basaltique qui constituerait également le plancher océanique et constitué d'un matériau nommé « **SIMA** » (Si pour Silicium et Ma pour magnésium).

+ Par ailleurs, des études isostasiques de cette époque montrent que le **SIAL serait en équilibre** sur le **SIMA** comme un **iceberg dans l'eau** et que ces continents pourraient ainsi **du fait de l'érosion** être soumis à des **mouvements verticaux** (équilibre isostasique). Dès lors, **si les continents sont mobiles verticalement** pourquoi **ne le seraient-ils pas horizontalement** ?

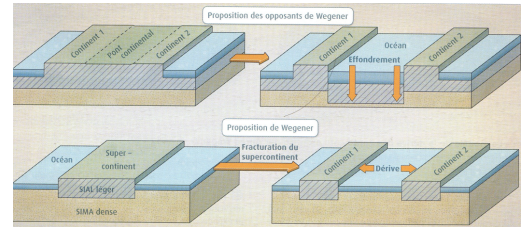
+ Nait ainsi la théorie de la « dérive des continents » : Au début de l'ère secondaire (245 Ma), les continents sont tous réunis en **une masse unique**, la **Pangée**. Puis au cours du temps, ce **supercontinent se fragmente** et se **dissocie en masses continentales dérivant** à la surface de la Terre du fait d'un déplacement sur de ces masses continentales sur un soubassement fluide et basaltique. Il va jusqu'à évoquer **un moteur à ce déplacement** : la **rotation de la Terre** et **l'effet de marée** qui induisent une **force faisant dériver les continents vers l'Ouest** et une **force** (nommée **force d'Eötvös**) qui tend à pousser les continents **des pôles vers l'équateur**.

4) Critiques de cette théorie par les géologues de l'époque (=> activité n° 24)

+ Les partisans d'une vision terrestre se refroidissant en se desséchant tels que **Emile Haug** évoquent les « **ponts continentaux** » pour expliquer des migrations des espèces datées de 240 Ma, ce qui expliquerait la séparation de leur fossiles sur des continents distincts.

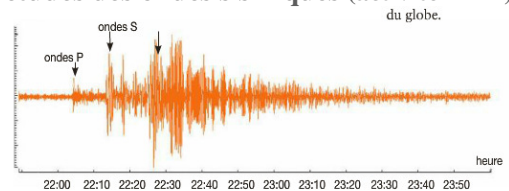
+ Puis **Harold Jeffreys** en 1924 critique le moteur de cette dérive **en estimant les forces évoquées par Wegener** comme **beaucoup trop faibles** pour faire mouvoir des continents. Il nie également la possibilité pour de telles **masses continentales** de pouvoir se déplacer dans un ensemble rigide.

+ Seul l'écosais **Arthur Holmes** en 1928, accepte ce modèle. Il reprend l'idée d'un **soubassement fluide** qui serait le **manteau** et explique l'origine de cette fluidité par la **radioactivité** qui provoquerait ainsi des mouvements lents dans le manteau. Il évoque des **mouvements convectifs** dont les ascendances sous la croûte continentale fracturerait cette croûte et formerait au niveau de cette ascendance un **matériel basaltique** constituant le **plancher océanique**. Holmes suggère que cette création de matière est compensée par une disparition dans d'autres zones. Nous sommes assez proche des conceptions actuelles !



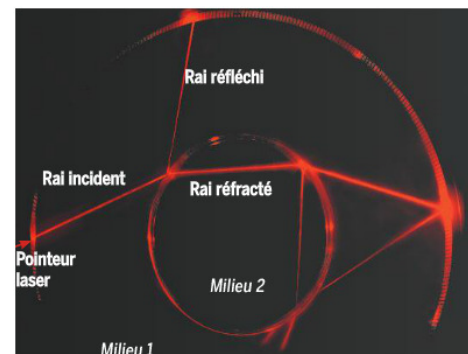
5) Un rejet définitif de la théorie par les premières études des ondes sismiques (activité n° 24)

+ Lors d'un séisme, un **sismographe** (appareils enregistrant les séismes) réalise un enregistrement (= **sismogramme**) qui montre successivement **trois trains d'ondes sismiques**. D'abord deux **ondes de volume**, nommées ainsi car elles **se propagent à l'intérieur du globe terrestre** : les **ondes P** (ou premières) qui sont des ondes très rapides, **longitudinales de compression-dilatation** et qui se propagent dans tous les **milieux solides et liquides** puis les **ondes S** (ou Secondes) qui sont un peu moins rapides – et arrivent donc avec un certain retard par rapport aux premières – et sont des **ondes transversales de cisaillement** ne se propageant que dans les milieux solides (**ne se propagent pas dans les liquides**). Vient ensuite une **onde de surface**, ondes L qui ne se propagent que dans les **couches superficielles du globe** et qui sont des **ondes de grande amplitude**.



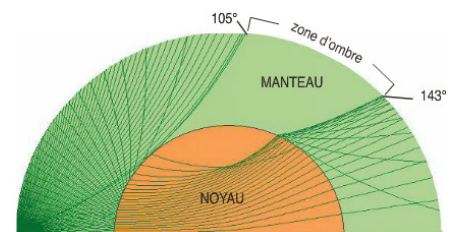
+ On nomme **rais sismiques** les trajectoires des **ondes sismiques** dans le globe terrestre. Les ondes P et S fournissent des informations sur la **structure** et la **composition** du globe.

En effet, dès qu'ils rencontrent un **changement de milieu** (= **discontinuité**), les **rais sismiques se réfléchissent** et se **réfractent sur la discontinuité**. Du fait de la réfraction due au changement de milieu, les rais sont déviés et peuvent subir une 2^{ème} réfraction pour revenir au milieu initial. Ainsi lors d'un séisme, les stations sismiques réparties sur la totalité du globe fournissent des enregistrements qui permettent de connaître la structure du globe. Par comparaison de la progression de ces ondes dans différentes roches (mesurées expérimentalement) à celles enregistrées dans le globe, on peut alors **déduire la nature** des roches qui composent ces milieux

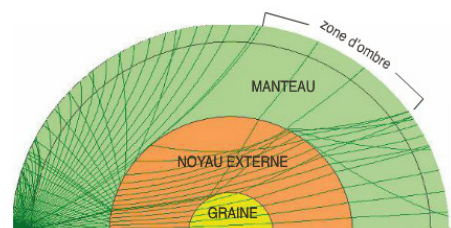


+ Dès 1906, **Richard Dixon Oldham** observe que les ondes sismiques traversent le globe terrestre avec augmentation de leur vitesse (du fait de l'augmentation des densités) **sont brutalement ralenties vers 3800 Km** de profondeur et en déduit l'existence **d'un noyau liquide**.

+ En 1912 **Beno Gutenberg** repositionne cette discontinuité à 2900 Km grâce à la présence d'une « **zone d'ombre** » observée dans chaque séisme, c'est-à-dire **l'absence de séismes reçus** par des **stations sismiques situées** sur une bande positionnée **entre 11 500 Km et 14500 Km par rapport à l'épicentre**, soit une **distance angulaire comprise entre 105° et 143°**. En 1923 Gutenberg interprète ce phénomène par l'existence d'une **discontinuité majeure** (à laquelle on donne le nom de discontinuité de Gutenberg). En effet les ondes S ne traversent pas cette discontinuité ce qui atteste de la nature liquide de la partie externe du noyau.



+ En 1936 **Inge Lehman** montre que cette zone d'ombre n'est pas tout à fait muette et permet d'enregistrer des ondes P tardives. Cette observation permet de mettre en



évidence une nouvelle discontinuité au sein du noyau : la **discontinuité de Lehman** localisée entre la partie externe du noyau (liquide) et la partie interne solide (graine).

+ Ainsi ces divers travaux **nient l'existence de liquides dans les parties superficielles de la Terre** comme le supposait plus ou moins Wegener. De plus cette partie externe liquide du noyau ne peut rendre compte des mouvements de dérive des continents.

II. La connaissance des croûtes et de leur soubassement grâce à la sismique et à la pétrologie.

1) Apports de la sismique dans la connaissance des structures superficielles terrestres (=> activité n° 25)

a) Mise en évidence du Moho

+ En 1909, **Andrija Mohorovičić** lors du séisme de Zagreb constate qu'aux diverses stations sismique parviennent deux trains d'onde. Un train d'onde direct Pg et plus tardivement un 2^{ème} train d'onde P qui se déplaçant à la même vitesse (car dans le même milieu) a donc parcouru un chemin plus long pour arriver à la station ; Mohorovičić interprète ce train d'onde comme **réfléchi par une discontinuité** située entre la croûte et le manteau et **nommée le Moho**. On nomme **PmP** ou train d'onde indirect ce 2^{ème} train d'onde.

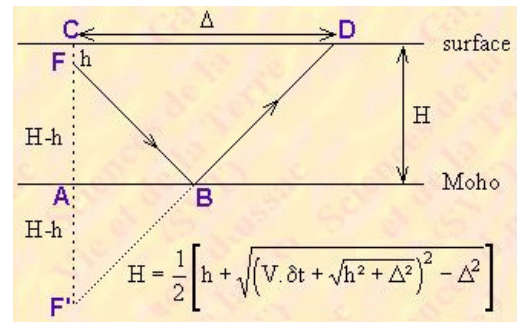
b) Evaluation de la profondeur du Moho

+ Connaissant la distance de l'épicentre (point où le séisme est le plus fortement ressenti à la surface de la Terre) à la station, les temps d'arrivée des 2 ondes Pg et PmP à la station et la profondeur de l'hypocentre (= foyer du séisme), il est possible de connaître par un calcul (utilisant le théorème de Pythagore) **l'épaisseur de la croûte** (donc la **profondeur du Moho**). On peut aussi faire ce calcul à **partir d'explosions** provoquées en surface et générant des **trains d'onde** et de les recueillir à l'aide de **sismographes** (= technique de **sismique réflexion**).

+ La profondeur du Moho varie de **7 à 12 Km au niveau de la croûte océanique** et de **30 à 40 Km au niveau d'une croûte continentale** (cette épaisseur peut atteindre jusqu'à **70 Km dans certaines chaînes de collision**).

c) Evaluation de la vitesse des ondes et nature des roches

+ La vitesse des ondes P est de **6 Km/s dans la croûte continentale** ce qui correspond à des **granites et granulites**, varie de **6,5 à 7,2 Km/s dans la croûte océanique** ce qui correspond expérimentalement à des **basaltes et des gabbros** et enfin cette vitesse est de **8,2 Km/s dans le soubassement mantellique** ce qui correspond à des **péridotites anhydres** (= non hydratées).



2) Apports de la pétrologie (observation à l'œil nu / microscope polarisant) (=> activité n° 25)

a) Méthode d'étude


+ L'étude des roches peut se faire soit à l'œil nu soit au **microscope polarisant** après obtention de **lames minces de roches** (fines tranches de roches de 30 μm) ; ces lames minces traversables par la lumière sont observables soit avec **un seul polaroïd** installé au niveau de la platine tournante (**LPNA = Lumière Polarisée Non Analyisée**) ou avec deux polaroïds, le précédent auquel on ajoute l'analyseur localisé le plus souvent au niveau de l'oculaire, escamotable, c'est la **LPA = Lumière Polarisée Analyisée**). Ces deux types d'observations permettent d'identifier sans erreurs les minéraux par leur forme, leur clivage éventuel, leur couleur en LPNA ou leur couleurs de polarisation en LPA.

b) Résultats

+ **Les roches de la croûte continentales.**

Granites, roches métamorphiques et roches sédimentaires constituent l'essentiel des roches des continents. **Le granite, roche grenue** (= roche à l'aspect d'un assemblage de grains) est constituée principalement de **Quartz**, de **feldspaths** et de **micas** (parfois s'y

ajoute des **amphiboles**). Les éléments chimiques les plus abondants sont Oxygène (O), Silicium (Si), Aluminium (Al) et Potassium (K). **La densité des granites est de 2,7.**

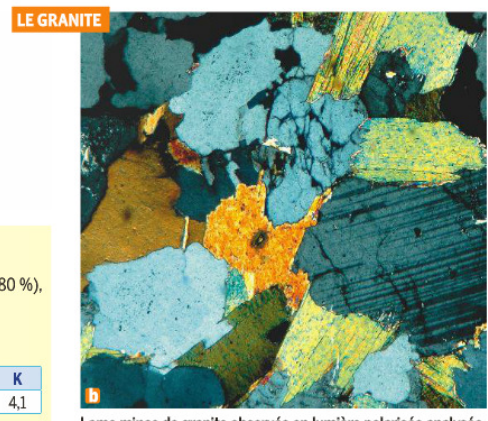


Échantillon de granite

CARTE D'IDENTITÉ

- Roche magmatique plutonique
- Composition minéralogique : quartz et feldspaths (80 %), micas, éventuellement amphiboles
- Densité : 2,7
- Principaux éléments chimiques (en %) :

O	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K
47,4	32,6	7,6	2,2	0,5	1,4	2,4	4,1



Lame mince de granite observée en lumière polarisée analysée

+ Les roches de la croûte océanique. **Gabbros** et **basaltes** sont les roches constituant les roches des océans. Ces deux roches ont le **même chimisme** et sont donc constitués des **mêmes minéraux** (**feldspaths**, **pyroxènes** et parfois **olivines**) et leurs éléments chimiques les plus abondants sont Oxygène (O), Silicium (Si), Fer (Fe) et Aluminium (Al). La **densité des gabbros (3,0)** est très proche de celle des **basaltes (2,7)**. Les basaltes sont dans la croûte océanique plus superficiels que les gabbros et ont une structure microlitique (présence de **macrocristaux**, de **microcristaux** ou **microlites** noyés dans un **verre**). Les **gabbros**, plus profonds dans la croûte sont au contraire de **structure grenue**.

+ Les roches du manteau supérieur (**soubassement des croûtes**). Les **péridotites** sont les roches représentatives du manteau. Il s'agit d'une roche grenue constituée de **minéraux ferromagnésiens** : **olivines** (dominantes) et **pyroxènes** et leurs éléments chimiques les plus abondants sont Oxygène (O), Silicium (Si), Magnésium (Mg) et Fer (Fe). La **densité des péridotites est de 3,2**.



Échantillon de gabbro

CARTE D'IDENTITÉ

- Roche plutonique
- Composition minéralogique : pyroxènes, feldspaths, éventuellement olivines
- Densité : 3
- Principaux éléments chimiques (en %) :

O	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K
43,5	23,7	7,4	8,3	3,8	7,4	1,6	0,6

LE GABBRO



Lame mince de gabbro observée en lumière polarisée analysée



Échantillon de péridotite

CARTE D'IDENTITÉ

- Roche magmatique
- Composition minéralogique : essentiellement olivines et pyroxènes
- Densité : 3,2
- Principaux éléments chimiques (en %) :

O	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K
42,7	20,3	2,1	9,4	20,5	2,4	0,4	0,2

LA PÉRIDOTITE



Lame mince de péridotite observée en lumière polarisée analysée

III. Confrontation de la théorie de Wegener aux données actuelles (=> activité n° 25)

1) Rappel des idées de Wegener

+ Les idées avant Wegener : croûte **continentale** constituée de **granites**, sédiments et **roches métamorphiques** surmonte un **soubassement dense**, légèrement visqueux constitué de **basaltes** et **péridotites**. Wegener et quelques autres géologues déduisent que les **continents granitiques** sont légers, constitués d'un matériau le « **SIAL** » (Si pour Silicium et Al pour Aluminium) reposant sur un **matériel plus dense** de nature basaltique qui constituerait également le plancher océanique et constitué d'un matériau nommé « **SIMA** » (Si pour Silicium et Ma pour magnésium).

2) Critique à la lumière de nos connaissances de ce modèle

+ Certes la **croûte continentale** est bien **la plus légère de toute** (densité = 2,7) et est bien constituée **essentiellement de Si et Al (SIAL)**. La **croûte océanique** (densité = 2,9 à 3,0) **est plus élevée** mais ne peut être appelée SIMA, le magnésium n'étant pas l'élément le plus abondant. Par contre le soubassement de ces deux croûtes, le manteau correspond bien au SIMA de par sa composition et sa densité (3,2).

+ Chez Wegener, il y a donc confusion entre deux matériaux : croûte océanique et manteau (densité = 3,2). Il y a bien **deux croûtes distinctes**, comme le prévoyait par le **relevé des altitudes terrestres**, Wegener, avec des roches distinctes et des densités différentes mais leurs relations ne sont pas exactement celles auxquelles Wegener pensait. En effet les matériaux basaltiques (gabbros compris) sont distincts des matériaux mantelliques sur lesquels ils reposent comme c'est le cas pour les matériaux granitiques qui reposent sur ces mêmes matériaux mantelliques.

+ Quant aux parties fluides terrestres, elles existent mais sont profondes (noyau externe) et ne peuvent rendre compte directement du déplacement des continents.

