

Chapitre 3

DE LA DERIVE DES CONTINENTS A L'EXPANSION OCEANIQUE

I – La dérive des continents

La surface de la Terre est un lieu instable et mobile. La croûte et la couche supérieure du manteau forment un ensemble de plaques distinctes qui recouvrent la Terre. La dérive des continents est le fruit des mouvements de ces plaques. Les tremblements de terre et les éruptions volcaniques sont deux "effets secondaires" négatifs qui surviennent aux extrémités des plaques.

A - Le concept de la "dérive des continents"

« L’Afrique et l’Amérique n’étaient autrefois qu’un seul et même bloc qui se serait fragmenté en son milieu, les deux parties s’éloignant l’une de l’autre et laissant entre elles un hiatus comblé par les eaux. Par la dérive des deux continents se serait ainsi créée l’océan Atlantique ».

Dans un traité publié en 1912, Alfred Wegener (1880 - 1930) avança l'idée de la dérive des continents en se basant sur un raisonnement scientifique solide.

Pour expliquer la dérive des continents, Wegener faisait appel à la force centrifuge associée à la rotation de la terre. Toutefois il ne put ni démontrer ni justifier d'une façon irréfutable les mécanismes et la cause des mouvements. Ce qui conduisit à l'époque les géophysiciens, emmenés par Harold Jeffreys, à nier la dérive des continents. Le moteur de la dérive des continents était une énigme. Il faut reconnaître qu'à cette époque Wegener ne disposait pas d'amples connaissances scientifiques. Par exemple la structure interne du globe était très approximative, faute de données géophysiques précises (telles que les données sismiques et magnétiques). De la même façon, la connaissance des océans et des fonds océaniques était au début du XX^e siècle très succincte. Or, comme nous le verrons, la dérive des continents doit être recherchée au niveau de la dynamique des océans.

Les progrès de la science et les études menées dans le cadre de la recherche ont considérablement évolué et ont permis à partir des années 50-60 d'apporter des arguments décisifs quant au concept de "dérive" des continents.

B - Les arguments en faveur de la "dérive des continents"

La théorie de Wegener sur la dérive des continents bouleverse les idées de son temps ; cependant les arguments en sa faveur sont très précis.

1 – Des preuves morphologiques

Les continents, de part et d'autre de l'Atlantique (Afrique et Amérique du Sud), ont des formes complémentaires ; ils pouvaient s'emboîter les uns les autres tel un puzzle. On peut envisager que jadis ces deux continents n'en formaient qu'un seul et que progressivement ils se sont éloignés l'un l'autre, l'un (l'Amérique du Sud) migrant vers l'ouest, l'autre (l'Afrique) dérivant vers l'est. D'une façon plus générale, on peut envisager qu'à une certaine époque géologique la majeure partie des continents ne formait qu'un continent unique (**fig.3-1**) qui s'est ensuite fracturé et morcelé en plusieurs unités qui se sont séparés au cours des temps géologiques.

2- Arguments géologiques

Plusieurs données géologiques sont en faveur d'une dérive des continents. Par exemple, on connaît des formations glaciaires âgées de 250 millions d'années qui se retrouvent aujourd'hui sur différents continents (Afrique, Amérique du Sud, Australie, Inde) suggérant qu'à cette époque tous ces continents étaient réunis dans un seul et même ensemble. De la même façon, l'étude comparée des faunes et flores fait apparaître des similitudes sur des continents aujourd'hui éloignés les uns des autres, alors que ces organismes vivants sont dans l'incapacité de franchir de grandes distances. Il faut donc admettre que dans le passé ces continents étaient très proches les uns des autres.

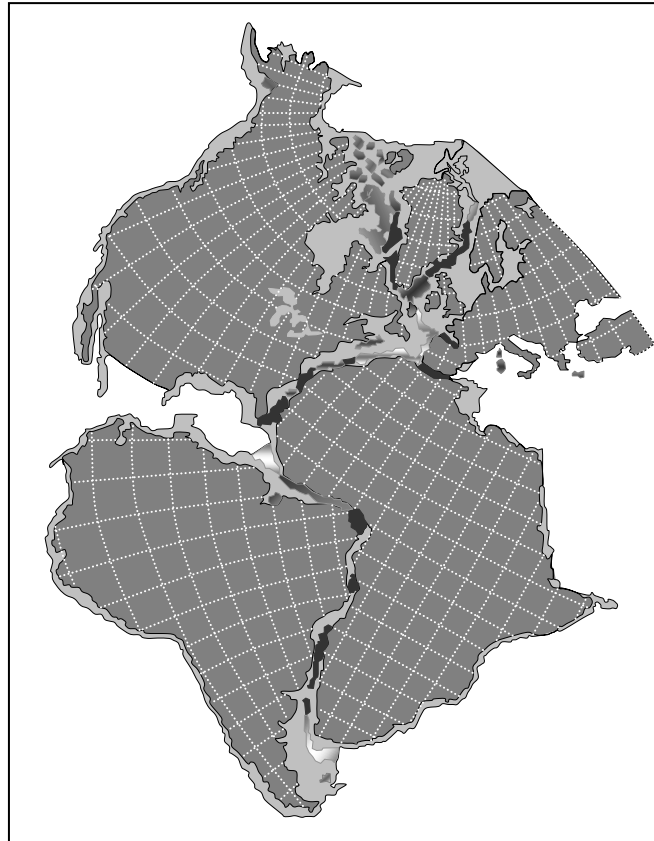


Fig. 3.1 : Ajustement des continents

3 - Arguments magnétiques

L'essentiel du champ magnétique terrestre serait produit par une dynamo auto-excitée par rotation du globe, fonctionnant grâce à des déplacements de matière conductrice se produisant dans le noyau liquide. Certains minéraux peuvent en dessous d'une certaine température (dénommée température de Curie) être magnétiques et se comporter vis à vis des pôles comme une boussole. C'est en particulier le cas d'un minéral très courant dans les roches sédimentaires ou volcaniques : la magnétite, oxyde de fer de formule Fe_2O_3 . Ce minéral à une température de Curie inférieure à 578°C s'aimante et se dépose dans les roches sédimentaires ou volcaniques selon la direction des pôles magnétiques. Il se comporte donc comme une boussole et fossilise le champ magnétique de l'époque de son dépôt (cas des roches sédimentaires) ou de sa cristallisation (cas des roches volcaniques). Lorsque l'on prélève aujourd'hui des roches sédimentaires ou volcaniques anciennes, on peut retrouver le magnétisme (*aimantation thermo-rémanente* ou ATR) de l'ère géologique grâce à ces minéraux "fossilisés". Cette technique, dénommée Paléomagnétisme a été fondamentale dans la démonstration de la dérive des continents.

Au cours des temps géologiques, la position et la direction des pôles a peu varié par rapport à leur position actuelle. Par contre leur sens a pu changer. C'est ainsi que le dipôle qui fournit

l'essentiel du champ magnétique terrestre s'est inversé à intervalles irréguliers au cours des temps. Lorsque le Nord magnétique est tel qu'aujourd'hui, proche du pôle Nord géographique, on parle de magnétisme normal ; lorsque la position des pôles nord et sud est inversée par rapport à leur position d'aujourd'hui on parle alors de magnétisme inverse. Le paléomagnétisme des roches nous permet de savoir pour une époque géologique donnée de déterminer le sens et la direction des pôles.

Le paléomagnétisme retrouve à partir de l'aimantation des roches les positions anciennes des pôles magnétiques par rapport à un continent. Plusieurs méthodologies paléomagnétiques ont permis de mettre en évidence la mobilité des continents au cours des temps géologiques.

a - 1° méthodologie : détermination de la position relative du pôle et d'un continent à différentes époques. Sur un continent, tel que l'Amérique du Sud on prélève des roches d'ères géologiques différentes (par exemple des roches âgées de 500, 330, 300, 250, 200, 65 et 35 Ma.). Si le continent était resté immobile, toutes ces roches devraient indiquer une direction unique des pôles. Or, par le paléomagnétisme, il apparaît qu'au cours des temps la direction des pôles aurait varié. Or, comme la direction des pôles est fixe, c'est le continent qui s'est déplacé dans le temps depuis 500 Ma. à 35 Ma. On peut ainsi reconstituer la migration du continent au cours du temps.

b - 2° méthodologie : Détermination des pôles à une même époque sur plusieurs continents

On prélève sur plusieurs continents (par exemple Amérique du Nord, Afrique, Australie) des roches de même âge (par exemple des formations âgées de 180 Ma.). Les études paléomagnétiques de ces roches devraient indiquer la direction des pôles de cette époque géologique. Or, la position et la direction des pôles ne sont pas identiques. Comme les pôles sont plus ou moins fixes, cette divergence apparente de la direction des pôles suggérée par le paléomagnétisme est la conséquence de la migration de ces continents. Ce ne sont pas les pôles qui ont migré, mais les continents qui se sont déplacés. Les continents n'occupent pas la même position aujourd'hui que lors du dépôt de ces roches de même âge. Pour faire coïncider les différents pôles paléomagnétiques en un pôle unique, il faut déplacer les continents les uns par rapport aux autres.

Les études paléomagnétiques effectuées sur des roches continentales ont apporté la preuve irréfutable de la "dérive des continents".

C - Modèles de dérive des continents

Les nombreuses études géologiques permettent de modéliser la "dérive des continents" au cours des temps géologiques (**fig. 3-2**). D'une façon schématique on peut résumer cette dérive des continents depuis 200 Ma.

Jusqu'à l'époque triasique (200 Ma.), n'existait qu'un continent (la Pangée), un océan (la Panthalassa) et une mer (la Téthys) qui est l'ancêtre de notre Méditerranée actuelle (**fig.3.2-a**).

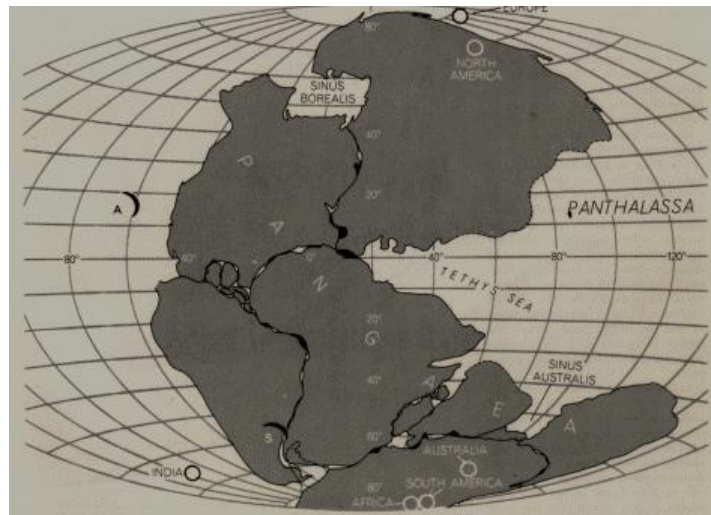


Fig.3.2-a : époque triasique (il y a 240 millions d'années)

A la fin du Trias (il y a 180 Ma.), la Pangée s'est fracturé et deux continents sont apparus (**fig.3.2-b**) : la Laurasia au nord (ancêtre de l'Amérique du Nord et de l'Eurasie) et le Gondwana au sud (ancêtre de l'Amérique du Sud et de l'Afrique). A la même époque, l'Inde se détache de l'Afrique, ainsi que l'Antarctique et l'Australie.

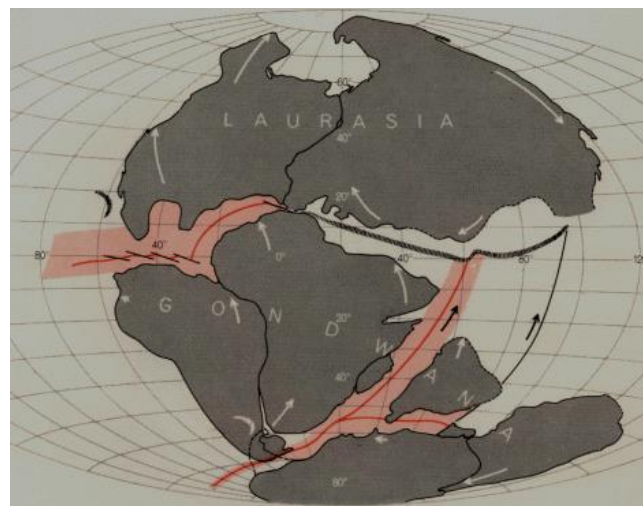


Fig. 3.2-b : époque fin triasique (il y a 180 millions d'années)

A la fin du Jurassique (il y a 135 Ma.), la Laurasia se fracture laissant place à l'ouverture de l'Atlantique Nord (**fig. 3.2-c**). La Téthys se ferme. Le Gondwana se fissure et débute la séparation de l'Amérique du Sud et de l'Afrique. Inde, Antarctique et Australie continuent à migrer et se détacher

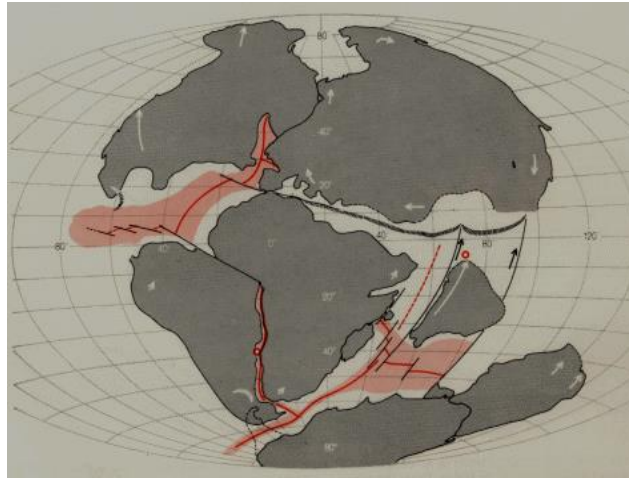


Fig.3.2-c : époque jurassique (il y a 135 millions d'années)

Au Crétacé (il y a 65 Ma.), Amérique du Sud et Afrique se sont largement séparés, laissant place à l'ouverture de l'Atlantique Sud. Inde, Antarctique et Australie continuent leur dérive. La Téthys se ferme de plus en plus (**fig.3.2-d**).

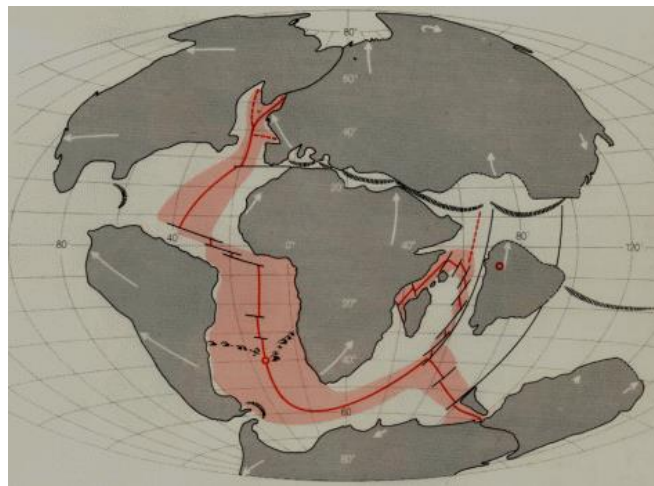


Fig.3.2-d : époque crétacé (il y a 65 millions d'années)

Le scénario se perpétue jusqu'à nos jours pour aboutir à la géographie que nous connaissons actuellement.

Le moteur de cette dynamique est à rechercher au niveau des océans.

II – L'expansion océanique

Les études des océans, menées essentiellement après les années 1950, furent essentielles quant à la compréhension de la géodynamique interne de la terre.

A - Connaissance des océans

Sur les 510 000 000 de Km² de surface du globe, les océans représentent près de 70%. La connaissance des océans fut progressivement acquise grâce à de nombreuses missions océanographiques faisant appel à des navires océanographiques, tel l'*Atalante*, ou à des sous-

marins, tel le *Nautilus*. Plusieurs approches technologiques furent abordées.

1 - Cartographie des fonds océaniques.

A l'aide de navires océanographiques, animés d'une vitesse de croisière de l'ordre de 10 nœuds et équipés de sondeurs multi-faisceau on a établi une carte topographique des fonds marins. Ces études montrèrent que les fonds océaniques étaient morphologiquement diversifiés. On y reconnaît (**fig. 3.3**) :

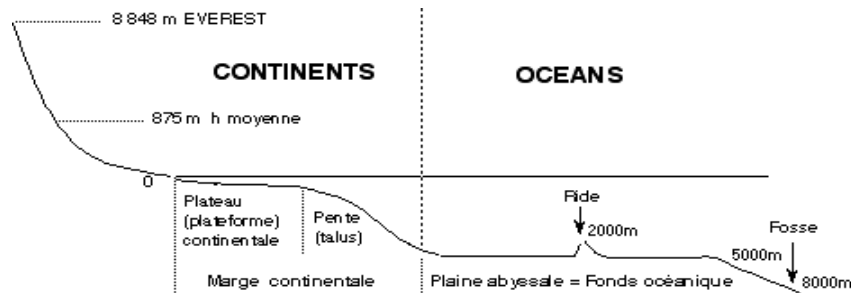


Fig. 2.3 : morphologie des unités continentales et océaniques

* un **plateau** (ou plate-forme) **continental**, à pente infime (1m/Km), composé de sédiments d'érosion des continents. Les **plates-formes** continentales représentent 10% de la surface des océans.

* une pente (ou **talus continental**) à pente forte (5% de pente en moyenne, parfois 30 à 40%). Elle constitue 15% de la superficie des océans. C'est un **glacis** continental, entaillé parfois de profonds canyons, correspondant à des cônes de déjection de sédiments d'origine continentale. Plateau et pente sont en fait des éléments d'origine continentale. Elles sont à rattacher à la **marge continentale** située sous la tranche d'eau océanique. L'océan "véritable", c'est à dire celui dont la croûte océanique est distincte de la croûte continentale du point de vue genèse, nature et composition est constitué de 3 éléments distincts : les plaines abyssales (40% en surface), les rides océaniques (30%) et les fosses océaniques.

* les *plaines abyssales*, dont la profondeur moyenne est de l'ordre de 5 000 m ; elles constituent la majeure partie des océans. Elles sont relativement planes, tapissées de sédiments plus ou moins épais. Parfois se dressent des reliefs positifs, dénommés **sea-mounts** (montagnes sous-marines).

* des *rides océaniques ou dorsales* qui parcourent tous les océans sur une distance de plus de 60 000 Km et dont le sommet se situe à environ - 2 000m de profondeur (**fig.3.4**).

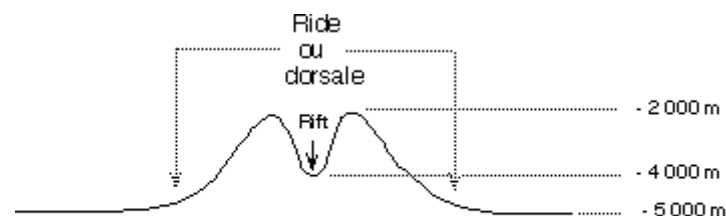


fig. 2.4 : Dorsale et rift océaniques

La ride présente donc un relief positif de près de 3 000m ; son axe peut être affecté d'un effondrement de 2 000m de dénivelé et de 25 à 50 Km de large. Cette dépression est dénommée **rift**.

* des *fosses océaniques*, profondes de plus de 6 000 m, la plus profonde étant près des îles Mariannes dans le Pacifique (- 11 000 m)

* des *fractures transverses*, dénommées *failles transformantes*, perpendiculaires aux dorsales et qui les décalent horizontalement (**Fig. 3.5**).

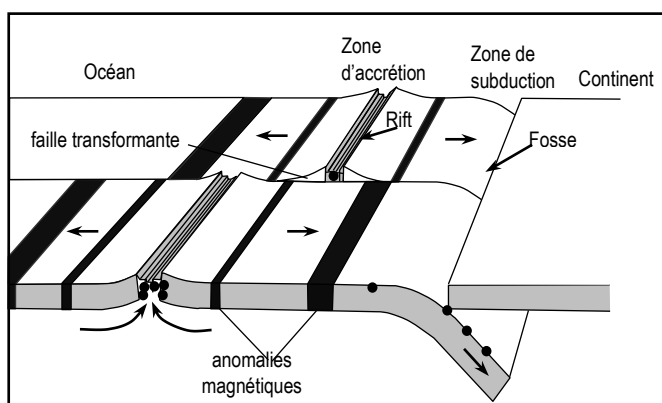


Fig. 3.5 : Schéma simplifié des fonds océaniques

2 - Dragages et forages des fonds océaniques

A bord des navires océaniques furent effectués des dragages des fonds océaniques. Les roches draguées étaient systématiquement des roches volcaniques de type basalte. On en a donc conclu que le plancher océanique était de nature volcanique.

Dans le même temps, le navire étant positionné stationnaire, on a effectué des forages. Les premières couches forées étaient souvent une mince pellicule sédimentaire (absente au niveau des rides océaniques), puis rapidement le forage traversait des couches de roches massives, volcaniques de type basalte ; ce qui a permis de corroborer les résultats des dragages, à savoir que la croûte basaltique, sous sa mince couverture sédimentaire était composée de roches volcaniques basaltiques.

3 - Plongées sous-marines

En 1973, fut effectué pour la première fois une plongée sous-marine dans l'Atlantique au large des Açores pour explorer le fond océanique. Ce fut la mission franco-américaine FAMOUS avec les soucoupes Cyana (France) et Archimède (U.S.A.). Depuis de nombreuses autres plongées furent effectuées jusqu'à ce jour. Toutes ces explorations permirent de visualiser le fond des océans (Atlantique, Pacifique, Indien) et permirent de confirmer que le plancher océanique était bien volcanique basaltique et qu'au niveau des rides océaniques existait une intense activité volcanique qui se manifeste par des épanchements de laves sous-marines et par une activité hydrothermale sous la forme de fumerolles de haute température (350°C).

Toutes ces études permirent de conclure que la croûte océanique superficielle était basaltique et pouvait être recouverte en dehors des rides océaniques d'une pellicule de roches sédimentaires.

Comment expliquer la genèse de cette croûte océanique.

B - Accrétion océanique et expansion océanique

La genèse de la croûte océanique et sa dynamique furent élaborées progressivement à partir des années 1960.

1 – La déchirure continentale

L'écartement de deux plaques peut être compensé de deux manières : soit par un amincissement de la lithosphère localisé sous un rift continental, soit par la création à l'axe des

dorsales de nouvelle lithosphère aux dépens de l'asthénosphère. Le stade "rift continental" et le stade "expansion océanique" se succèdent dans le temps. Entre les deux intervient la **rupture continentale** qui est une rupture de la lithosphère entière. Alors le rift continental est coupé en deux par l'océan qui s'ouvre. Chacun des demi-rifts s'éloigne peu à peu de son frère jumeau à mesure que l'océan grandit et devient alors une marge continentale passive.

Il existe deux types de rifting : rifting passif et rifting actif.

On parle de rifting passif lorsque c'est l'écartement de deux plaques en présence qui est la cause première de la déchirure continentale. En ce cas l'asthénosphère remonte sous le rift parce qu'elle est en quelque sorte "appelée" par l'amincissement lithosphérique. Les événements géologiques se produisent selon l'ordre suivant : extension tectonique superficielle et création d'un fossé subsident.

On parle de rifting actif quand c'est au contraire la poussée de l'asthénosphère qui amincit, fragilise et finalement rompt la lithosphère. Au cours de ce phénomène, le volcanisme est très actif.

2 – L'ouverture océanique

Les études paléomagnétiques effectuées sur les fonds océaniques mirent en évidence des anomalies du champ magnétique terrestre. On a découvert que le plancher océanique était successivement composé de roches basaltiques à magnétisme normal et à magnétisme inverse. Ces anomalies du champ magnétique océanique forment des bandes parallèles aux dorsales médio-océaniques et symétriques de part et d'autre de la ride (**fig.3-6**). Comment expliquer ce fait ?

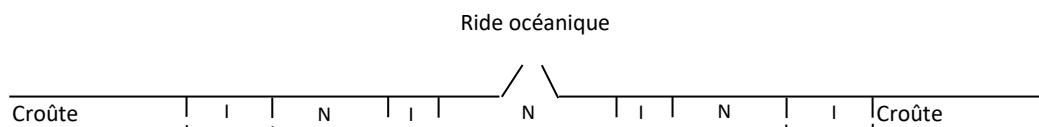


Fig.3.6 : anomalies magnétiques d'une croûte océanique relevées de part et d'autre d'une ride océanique
(N : aimantation normale ; I : aimantation inverse)

En 1963, Lawrence Morley au Canada, Fred Vine et Drummond Matthews en Angleterre interprétèrent ces anomalies magnétiques. De la croûte océanique basaltique se forme continuellement au niveau des rides océaniques et prend le champ magnétique de l'époque tantôt normal, tantôt inverse. Les dorsales sont ainsi les zones de genèse ou **zones d'accrétion** de la croûte océanique (**fig.3-7**).

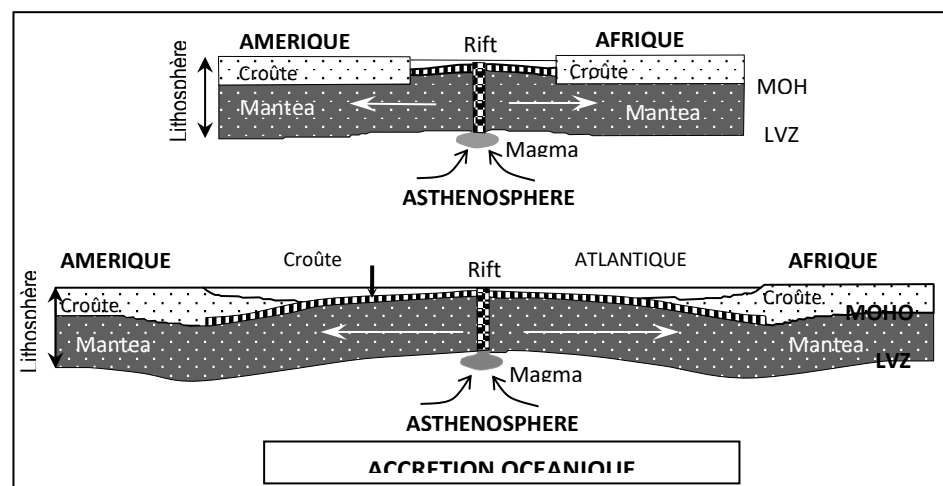


Fig.3.7

a – Hypothèse de Harry Hess

En 1962, Hess a proposé que la topographie du fond marin peut être expliquée si le fond marin se déplace latéralement en s'écartant des rides océaniques. On appelle cette théorie "expansion océanique" et le paléomagnétisme a donné la preuve essentielle.

Selon Hess, la croûte océanique naît au niveau des rifts et disparaît au niveau des fonds océaniques. Cela veut dire que loin d'une ride, la croûte océanique doit être plus âgée que celle proche d'une ride. L'expansion des océans qui détermine un accroissement de la surface du globe, est compensée par la résorption de la lithosphère au niveau des fossés océaniques.

b – Hypothèse de Vine et Matthews

Ces géologues ont utilisé l'enregistrement magnétique des roches pour prouver la théorie de l'expansion océanique. Lorsqu'un magma est émis au niveau d'une ride médio-océanique, la roche qu'il forme se magnétise et enregistre la polarité magnétique qui existe au moment où la lave se refroidit. Si de nouvelles laves sont injectées et si la croûte s'éloigne progressivement de la ride, cette croûte doit contenir un enregistrement continu des changements de polarité magnétique de la Terre. La croûte est donc un magnétophone (enregistreur).

La croûte océanique de chaque côté d'une ride enregistre la même polarité ce qui implique la formation de bandes symétriques de magnétisation inverse et normale sur le fond marin (**Fig. 3.5 et 3.6**).

III – Conclusion

Au fur et à mesure que du magma est généré dans l'axe de la dorsale, la lithosphère océanique se sépare. La dorsale est donc une zone de **divergence** de la lithosphère océanique. L'océan grandit et s'élargit de part et d'autre de la ride. On parle d'**expansion océanique**. Si on connaît en un point donné l'âge de la croûte océanique et sa distance par rapport à la ride, l'écartement des bandes d'anomalies magnétiques de part et d'autre de la dorsale fournit la vitesse d'expansion des fonds océaniques pendant les périodes qui séparent les différentes bandes d'anomalies magnétiques. Cette vitesse est de l'ordre de quelques centimètres par an (2 à 15 cm/an).

C'est ainsi que l'expansion océanique entraîne les continents jusqu'à leur position actuelle (**Fig. 3.8**). Elle est le moteur de leur dérive qu'Alfred Wegener n'avait pu mettre en évidence à son époque.

Position actuelle des continents



Fig. 3.8

