

Chapitre 6 : De la dérive des continents à la tectonique des plaques.

Au début des années 1960 de nouvelles données et surtout l'étude des fonds océaniques vont permettre de « réhabiliter » les idées de Wegener. En 1968 émerge la première version du modèle de la tectonique des plaques.

Problème : Comment de nouvelles données permettent de construire la théorie de la tectonique des plaques ?

Objectifs :

Comprendre comment les études des fonds océaniques ont permis de vérifier l'hypothèse d'une expansion océanique.

Comprendre comment les données de la sismique ont permis de découvrir la dynamique de la lithosphère par rapport à l'asthénosphère.

Proposer un modèle global de la tectonique des plaques

1. L'hypothèse de l'expansion océanique

A. Un argument bathymétrique.

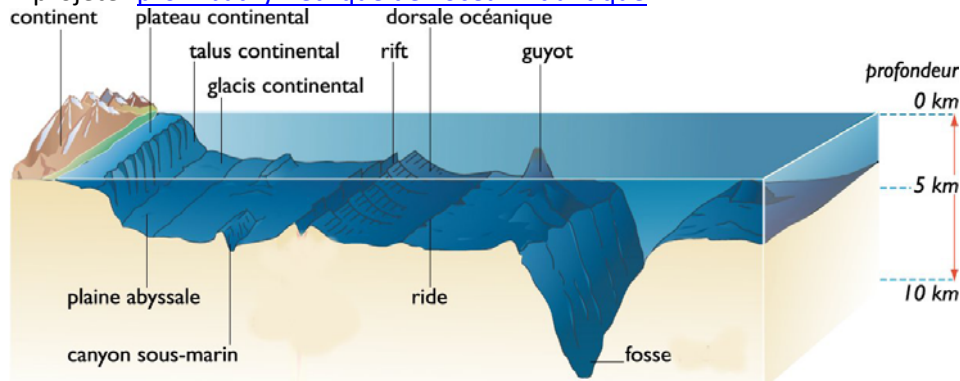
La cartographie du fond des océans est réalisée pour la navigation des sous-marins pendant la 2e guerre mondiale, c'est la **bathymétrie**.

Au début des années 1960 les nouvelles techniques d'exploration (échouage) permettent de découvrir avec précision le relief des fonds océaniques.

Trois structures principales sont présentes :

- **Les marges continentales** constituées d'un plateau peu profond (200 mètres) prolongé d'un talus qui descend jusqu'aux plaines abyssales.
- Les plaines abyssales vers 4000 à 5000 m de profondeur bordées parfois de **fosses océaniques profondes** (- 10 000 m)
- Les **dorsales océaniques**, « chaînes de montagnes » sous-marines de plus de 60 000 km de long.

A projeter [profil bathymétrique de l'océan Atlantique](#)



TP 4 : Flux géothermique - Convection - Etude du paléomagnétisme

B. Un argument géothermique

Depuis toujours, on observe une augmentation de la température au fur et à mesure que l'on s'enfonce dans la terre (exemple des mineurs de fond), de plus la terre présente de nombreuses manifestations thermiques : coulées de lave, sources hydrothermales...

La terre est donc productrice de chaleur. Observons ce flux de chaleur.

[Document flux géothermique](#) – [Document à projeter](#)

On appelle le **flux géothermique** la quantité de chaleur dégagée à la surface du globe par unité de temps et par unité de surface. (W/m^2)

Le flux géothermique moyen est égal à $60 \text{ mW} / \text{m}^2$, mais il est très inégalement réparti à la surface de la Terre :

- supérieur à $200 \text{ mW}/\text{m}^2$ au niveau des dorsales ;
- environ égal à $50 \text{ mW}/\text{m}^2$ à la verticale des fosses océaniques.

RQ. Cette valeur est infime par rapport à l'énergie solaire reçue, puis rayonnée dans l'espace de l'ordre de 240 W.m^{-2} .

C. L'hypothèse de Hess

Dans les années 1960, Hess propose une hypothèse pour expliquer les observations de l'époque, pour lui, le manteau terrestre serait animé de **mouvements de convection** (hypothèse proposée 30 ans plus tôt par Holmes) :

Des courants de convection ascendants au niveau des dorsales et des courants descendants au niveau des fosses océaniques. Pour Hess **si ce modèle fonctionne**, il conduit à une fabrication au niveau de la dorsale d'une jeune croûte océanique celle-ci s'en éloigne et finit par atteindre les fosses où elle disparaît dans le manteau, il y a donc une **expansion océanique**.

Les continents, au contraire, à cause de leur relative légèreté, ne peuvent pas retourner dans le manteau. Ils sont condamnés à dériver à la surface de la Terre.

Comment valider l'hypothèse de l'expansion océanique ?

2. L'apport du paléomagnétisme.

A. Le champ magnétique terrestre actuel et fossile

Des écoulements de fer et de nickel dans le noyau externe créent des courants électriques à l'origine de l'existence du champ magnétique terrestre. Ce champ magnétique est représenté par un vecteur qui matérialise la direction, le sens et l'intensité du champ. Actuellement le pôle nord magnétique correspond au pôle nord géographique.

Les roches magmatiques possèdent leur propre aimantation. Certaines roches, comme les basaltes contiennent des minéraux qui acquièrent une aimantation lorsque le magma dépasse la température dite de Curie du minéral considéré (585°C pour les minéraux du basalte). Le champ magnétique du basalte en formation s'oriente alors selon le sens du champ magnétique de l'époque. Les caractéristiques de ce champ magnétique sont conservées lors du refroidissement du magma.

A l'aide d'un magnétomètre sensible on peut détecter dans la roche la trace de ce champ magnétique ancien, on parle d'un champ **paléomagnétique**.

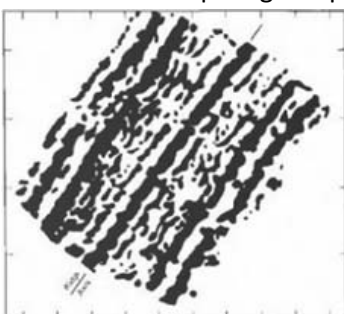
B. La découverte des anomalies magnétiques.

L'étude de roches d'âges variés a ainsi montré que la polarité du champ magnétique terrestre a subi des inversions au cours des temps géologiques. Ainsi, certaines périodes sont qualifiées :

- **d'inverses**, lorsque le pôle nord et le pôle sud sont inversés par rapport à la situation actuelle,
- **de normale** (avec le pôle nord magnétique proche du pôle nord géographique).

A la fin des années 1950, les relevés magnétiques effectués au niveau du plancher océanique montrent des **anomalies remarquables du champ magnétique**. On distingue des anomalies positives et négatives.

- **Une anomalie positive** correspond à une intensité du champ magnétique mesurée supérieure à l'intensité moyenne du champ magnétique actuel. Cette anomalie s'explique parce que la roche (basalte) a enregistré un champ magnétique (fossile) de même sens que le champ magnétique actuel, les deux champs s'ajoutent.
- **Une anomalie négative** correspond à une intensité du champ magnétique mesurée inférieure à l'intensité moyenne du champ magnétique actuel. Cette anomalie s'explique parce que la roche (basalte) a enregistré un champ magnétique (fossile) de sens opposé au champ magnétique actuel, les deux champs se soustraient.



Les anomalies du champ magnétique enregistrées sur le fond de l'océan forment des bandes parallèles et symétriques par rapport à la dorsale (anomalie positive bande noire et anomalie négative bande blanche), on obtient des profils « **en peau de zèbre** » qui sont restés incompris jusqu'en 1963.

En 1963 Vine et Matthews réalisent une synthèse des différentes données (Inversion des pôles, anomalies magnétiques de la CO, reliefs des fonds océaniques, hypothèse de Hess) et proposent une explication à l'expansion océanique (accroissement de la surface d'un océan).

Au niveau de la dorsale, il y a une **activité magmatique** qui conduit à la fabrication de nouveaux basaltes qui repoussent les basaltes plus anciens de part et d'autre de la dorsale. Les basaltes mis en place au cours de périodes normales présentent une **anomalie magnétique positive** et les basaltes mis en place lors d'une période inverse présentent une **anomalie négative**

L'âge des différents basaltes et la symétrie par rapport à la dorsale prouvent que la dorsale est le siège d'une **accrétion permanente de matériaux** qui provoque une **expansion océanique**. Le calendrier des inversions magnétiques étant connu, on peut calculer la vitesse d'expansion de l'océan ($V = D/T$ en cm/an).

TP 5 : la distinction lithosphère – asthénosphère

3. Le concept de lithosphère - asthénosphère

L'étude sismique au niveau des fosses comme celle des Tonga-Kermadec donne des résultats intéressants :

- L'analyse des vitesses des ondes sismiques (tomographie) révèle la présence d'anomalies. On distingue des :
 - Des **anomalies positives**, les ondes sismiques traversent un matériel froid et la vitesse des ondes est supérieure à la vitesse prévue.
 - Des **anomalies négatives**, les ondes traversent un matériel chaud et la vitesse des ondes est inférieure aux vitesses attendues.

Ces résultats traduisent une hétérogénéité du manteau fait de péridotite au niveau des fosses océaniques, avec un manteau froid et un manteau chaud.

- Dans les années 1940 Wadati et Benioff (1930 et 1945) constatent qu'au niveau de ces zones marquées par une fosse, les foyers sismiques sont d'autant plus profonds qu'ils sont loin de la fosse. En coupe les foyers sismiques se répartissent selon un plan incliné d'une épaisseur de 100 Km qui part de la fosse et plonge en profondeur, on parle du plan de **Wadati-Benioff**. A l'époque ces observations posent problème car à cette profondeur (à partir de 100 Km), la péridotite est ductile, non cassante et aucun séisme ne devrait être présent au-delà de 100 km de profondeur.
- **Livre page 118 doc 2** : Les isothermes, courbes reliant les points de même température, plongent au niveau des fosses, cela traduit une température anormalement faible à des profondeurs importantes

En 1967 ces données conduisent Oliver et Isacks au modèle de la **subduction**. Ils interprètent le plan de Wadati-Benioff comme une plaque froide, rigide, cassante de lithosphère océanique (100 km d'épaisseur) qui plonge dans un matériel chaud, ductile l'asthénosphère. Les **isothermes**, qui plongent au niveau des zones de subduction confortent l'idée de la subduction d'une plaque lithosphérique froide en profondeur. (L'enfoncement rapide de quelques cm/an ne permet pas aux roches de la lithosphère de se rééquilibrer thermiquement au contact de l'asthénosphère, d'où l'anomalie thermique observée).

Les travaux sur les zones des subductions ont conduit à distinguer la **lithosphère** et l'**asthénosphère**. La lithosphère ou plaque lithosphérique est une entité composée de la CO ou CC et du manteau lithosphérique, cet ensemble froid de 100 Km d'épaisseur (au maximum) forme une plaque lithosphérique océanique ou continentale. L'**isotherme 1300°C** (discontinuité physique) marque la séparation entre la lithosphère et l'asthénosphère solide composé de péridotite ductile.

[Schéma bilan : lithosphère – asthénosphère](#)

[Schéma bilan : zone de subduction](#)

Remarque : Les données précédentes montrent bien que ce qui plonge est une structure froide d'une 100 de Km d'épaisseur. Comme la CO ne fait que 10 Km, on est certain que ce qui plonge correspond à la CO + un morceau de manteau (manteau lithosphérique), donc une lithosphère océanique (une plaque lithosphérique)

Conclusion :

Les études des fonds océaniques et du paléomagnétisme ont conduit au modèle de la tectonique des plaques. Ce modèle a fait évoluer la théorie de la dérive des continents de Wegener. En effet le mouvement ne concerne pas la croûte, en réalité le déplacement correspond à la croûte couplée au manteau lithosphérique, il y a donc déplacement des plaques lithosphériques (les continents dérivent parce qu' ils font partie intégrante d'une plaque lithosphérique qui est en expansion). La limite importante est la séparation entre le manteau lithosphérique et l'asthénosphère, l'isotherme 1300°C situé entre 60 et 150 Km de profondeur. Le moteur semble lié aux mouvements de convection profonds du manteau.