

Chapitre 1

DYNAMIQUE LITHOSPHÉRIQUE DE CONVERGENCE : LES SUBDUCTIONS

définition : enfouissement d'une lithosphère dans l'asthénosphère quand sa densité dépasse celle de l'asthénosphère ductile et qu'elle s'incurve et se fracture

constat : datation des fonds océaniques : pas de lithosphère océanique > 200 Ma or :

- la Terre a 4,56 Ga, et les plus vieilles roches connues (continentales) ont 4,03 Ga (gneiss d'Acasta, Canada) et selon les chercheurs ne se forment qu'en contexte de subduction, ce qui implique de la lithosphère le plus souvent océanique
- de plus, de la lithosphère océanique est continuellement produite au niveau des dorsales

question : que cela signifie t-il ? qu'il n'y avait pas d'océan avant le Jurassique (-200 Ma) ? Nous savons que non. Comment dépasser cette contradiction ?

COMMENT LA MOBILITÉ HORIZONTALE DES PLAQUES LITHOSPHÉRIQUES À LA SURFACE TERRESTRE A T-ELLE ÉTÉ MISE EN ÉVIDENCE AU COURS DE LA 2È MOITIÉ DU XXÈ S ET PEUT-ELLE INTIER L'ENFOUCEMENT LITHOSPHÉRIQUE (= SUBDUCTION) ?

I / INDICES D'UNE MOBILITÉ HORIZONTALE AMORÇANT LA CONVERGENCE LITHOSPHÉRIQUE

AP # 1, 2 ET 3

rappel : La lithosphère (moyenne d'épaisseur de la surface terrestre depuis le sol jusqu'à en moyenne - 100 km), est découpée en plaques rigides dont les mouvements sont à l'origine des activités externes de surface issues de l'activité interne : volcanisme, séismes et évacuation de chaleur en surface, généralement situés à leur frontière sauf cas particuliers des points chauds (voir cycle 4, 4è)

Diverses méthodes permettent de reconstituer et montrer ses mouvements

Les preuves/indices historiques de la mobilité horizontale de la lithosphère que Wegener n'avait pu justifier suffisamment dans les années 20 faute d'un moteur suffisant à sa mort en 1930, sont établies à partir du début des années 60, notamment grâce aux progrès techniques et de prospection des fonds marins suite à l'effort de guerre de 39-45 qui entraîne des campagnes de mesures et études des océans, jusque là largement méconnus.

RAPPELS : LEXIQUE DE BASE :

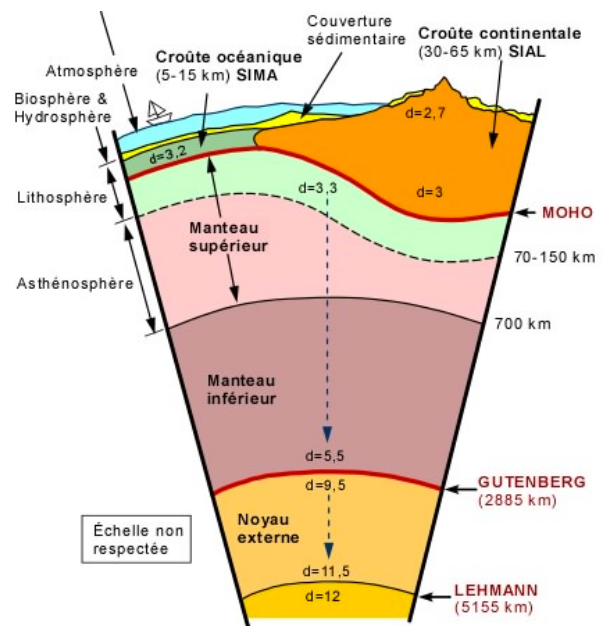
convergence = rapprochement de 2 lithosphères de 2 plaques => <=

divergence = écartement, éloignement de 2 lithosphères de 2 plaques <= =>

lithosphère vs asthénosphère : 2 concepts (épaisseur, constitution, propriétés) => voir ci-dessous

concept = idée générale humaine, commode représentation abstraite d'un objet ou d'un ensemble d'objets à caractéristiques communes

	LITHOSPHÈRE	ASTHÉNOSPHERE
ÉTYMOLOGIE	du grec lithos = « pierre », la sphère de pierre	du grec « asthenos », sans résistance
COMPOSITION	croûte terrestre + petite partie supérieure du manteau supérieur située sous le MOHO, de composition variable suivant sa nature (océanique ou continentale) subdivisée en plaques lithosphériques = plaques tectoniques	couche interne partie du manteau supérieur sous la lithosphère et sous la mésosphère située à - 670 km c'est-à-dire manteau supérieur sous-lithosphérique , d'épaisseur variable et ductile



	LITHOSPHERE	ASTHENOSPHERE
PROPRIÉTÉ	<p>rigide, peut :</p> <ul style="list-style-type: none"> - sous de fortes contraintes => rupture => séisme possible - sous de faibles contraintes : déformation et reprend sa forme initiale après => pas de séismes 	<p>ductile, plus plastique, capable de «fluer» sous de faibles contraintes => pas de rupture possible => pas de séismes possible</p>
ÉPAISSEUR	70 km sous les océans / 120 à 150 sous les continents	limite inférieure : - 650 km

point technique géologique : la tomographie sismique : méthode d'étude du globe des mouvements et hétérogénéités (variations d'état) du manteau (carottage à ses profondeurs impossible techniquement) reposant sur les mêmes principes que les techniques d'imagerie médicale comme celle de l'imagerie à ultrasons : elle réalise des mesures à la surface des objets pour reconstituer ses propriétés internes, ici les vitesses d'ondes sismiques dans les matériaux traversés en profondeur du globe depuis la surface par rapport à un modèle

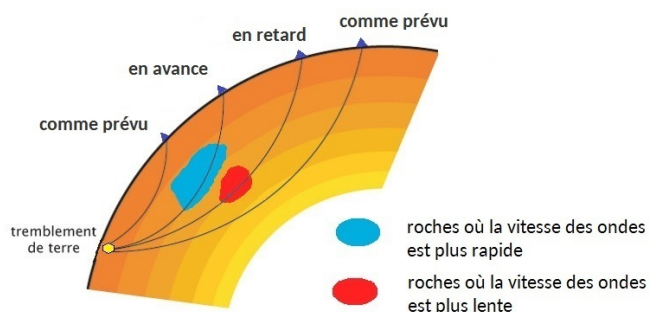
La notion d'anomalie est très importante en géologie : ce sont leur interprétation (positives quand valeur mesurée > valeur attendue et négative quand inférieure) qui intéressent les chercheurs pour comprendre la présence, l'état (solide rigide, malléable, liquide, plus ou moins dense ...) et les mouvements des matériaux rocheux sous nos pieds

Les données sismiques permettent de construire des modèles théoriques (ici le modèle appelé PREM = Preliminary Reference Earth Model, modèle sismique de vitesse de propagation des ondes S (S comme Secondes, les 2^è à arriver aux stations sismiques, un peu moins rapides que les P) et P (Premières, les 1^{ères} à arriver aux stations) depuis la surface jusqu'au centre de la Terre d'après Dziewonski et Anderson, 1981). Les sauts brusques de vitesse sur le trajet d'une onde sismique sont interprétés comme des discontinuités limitant des enveloppes concentriques : ce modèle correspond à une description « attendue moyenne » du réel. Les données mesurées peuvent présenter de faibles écarts par rapport au modèle et ses valeurs prédites : ce sont des anomalies : ce sont elles qui apportent de précieuses informations pour comprendre le modèle thermique de la Terre : elles permettent aussi d'imaginer les mouvements de convection (mouvement de matière dans un solide sans mouvement visible à l'œil nu) responsable du faible gradient géothermique (augmentation de température avec la profondeur) dans l'asthénosphère et le manteau inférieur. Les ondes arrivant plus tôt que prévu par le modèle PREM sont passées dans une zone où les ondes se propagent plus rapidement, interprétées comme plus denses que prévu et donc plus froides. Les ondes arrivant plus tard que prévu sont passées par une zone où les ondes se propagent plus lentement que prévu interprétées comme moins dense donc plus chaudes.

interprétations des anomalies de vitesse :

- $\Delta v > 0 \Rightarrow \Delta d > 0 \Rightarrow$ zone plus froide que prévue ($\Delta T < 0$)
 - $\Delta v < 0 \Rightarrow \Delta d < 0 \Rightarrow$ zone plus chaude que prévue ($\Delta T > 0$)
- formée à partir des éléments tomo- (du grec «coupure») et -graphie («écriture»), la tomographie sismique nous permet d'**obtenir une image de l'intérieur de la planète grâce aux données fournies par les secousses sismiques générées lors des tremblements de terre**. Il existe 2 grandes catégories de tomographie : locale et régionale. La locale est plus précise et donne des informations sur une zone très localisée, souvent peu profonde autour d'une région d'activité sismique importante couverte par de très nombreux **sismographes**. Au contraire, la régionale s'intéresse aux phénomènes de plus grande profondeur et pour cela, exploite l'information obtenue lors de puissants et profonds séismes. La tomographie nécessite des instruments de mesure très précis pour enregistrer les données et des outils de calculs performants car la quantité de données à analyser est gigantesque.

Arrivées des ondes sismiques aux stations d'enregistrement ▲



<https://www.pedagogie.ac-nice.fr/svt/productions/tomographie2/> : application

https://m.simplyscience.ch/terre-et-environnement-jeunes/articles/la-tomographie-sismique-ou-comment-observer-linterieur-de-la-terre.html?_locale=fr

les indices de mouvements horizontaux sont :

- 1/ LA REMONTÉE DE MATÉRIEL CHAUD suggéré par la tomographie sismique au niveau des points chauds couplé à la détermination de l'âge des édifices volcaniques qui se forment à sa verticale montre des âges croissants à mesure qu'on s'en éloigne par radiochronologie absolue basées sur la désintégration radioactive d'atomes (isotope en un autre) selon une vitesse connue.

- [2/ LA GÉODÉSIE SPATIALE ET CINÉMATIQUE BASÉE SUR LE GPS À PARTIR DES ANNÉES 90 ET AUTRES TECHNIQUES](#), laser aujourd'hui par ex, permet de construire des vecteurs au sein des plaques montrant leur mouvement relatif par rapport aux autres (aujourd'hui DORIS, 1990)

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=WOQPQBWDACQ](https://www.youtube.com/watch?v=WOQPQBWDACQ) : KEZAKO : PRINCIPE DU GPS (GLOBAL POSITIONING SYSTEM)

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=E79TSIPLIDK](https://www.youtube.com/watch?v=E79TSIPLIDK) : UN EXEMPLE, GALILEO (EUROPE)

Science très ancienne, la **géodésie** a eu longtemps pour objet la mesure de la forme et des dimensions de la Terre. Depuis quelques décennies, la **géodésie** utilise les observations collectées par les satellites artificiels.

La géodésie spatiale et notamment le système GPS permet de quantifier le mouvement actuel des plaques (vecteurs vitesse). Grâce à des satellites, au mm près, des stations GPS au sol partout sur Terre sont utilisées. L'étude de la position d'une station sur plusieurs années permet de déterminer le sens et la vitesse du déplacement de la plaque sur laquelle elle se trouve. Les mesures par GPS indiquent une vitesse absolue des plaques de l'ordre des cm.an⁻¹

Des stations dites GNSS fixes sont installées à différents endroits du globe comme en Islande. Le système GNSS est un réseau satellitaire européen (GALILEO), américain (GPS), mais aussi russe (GLONASS) et chinois (BEIDOU), en orbite à 20000 km, envoyant des signaux vers des récepteurs installés à la surface terrestre. Ils fournissent de précises informations sur la géolocalisation des récepteurs et ils fournissent de nombreuses mesures géodésiques (étude des formes et dimension de la Terre) des plaques. Dans un repère orthonormé sont reportées les valeurs des vitesses mesurées par le récepteur GNSS (en cm.an⁻¹). La vitesse, le sens et la direction globale de déplacement de la plaque peuvent être définies, c'est-à-dire un vecteur vitesse.

Ainsi NUVEL 1 (1990) et MORVEL (2010) avec ses 25 plaques et microplaques le corrige à partir de données satellitaires.

DORIS : Les déplacements horizontaux des plaques tectoniques qui composent l'écorce terrestre ont longtemps été décrits par des modèles établis uniquement à partir d'observations géologiques sur les frontières de plaques. Le plus récent de ces modèles cinématiques, NUVEL-1, suppose que les plaques tectoniques sont rigides et que leurs vitesses de déplacement restent constantes sur plusieurs millions d'années (Ma). DORIS a permis de mesurer pour la première fois les mouvements relatifs de plusieurs plaques, notamment les plaques Afrique et Antarctique. L'accumulation des données dans les années à venir permettra d'affiner les résultats obtenus et de mesurer les vitesses d'autres stations avec la perspective de produire un modèle global des mouvements des plaques tectoniques uniquement basé sur la géodésie spatiale. D'autre part, plusieurs stations DORIS se trouvent à proximité de la frontière de deux plaques tectoniques, dans des zones dites " de déformation ". Le traitement des mesures issues de ces stations permet d'étudier les mouvements de ces zones, qui ne sont pas décrits par les modèles de plaques. Enfin, des travaux récents du GRGS ont montré l'intérêt de DORIS pour la mesure des déplacements verticaux des stations.

LE SYSTEME DORIS : <https://eduscol.education.fr/localisation/pedago/geologie/DORIS.htm>

<https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/climatologie-doris-geometre-espace-22417/>

https://videothèque.cnes.fr/index.php?urlaction=doc&id_doc=14922&rang=1

cinématique déduite : les modèles historiques NUVEL, NUVEL 1-A & MORVEL

=> Google Earth et les points chauds : indices volcaniques de point chaud

Les données de l'océanographie et de la sismique (science d'étude des séismes) ont permis de proposer des modèles décrivant le déplacement des plaques NUVEL1. Dans ces modèles, les mouvements relatifs aux frontières de plaques sont des mouvements de divergence dans le cas des dorsales, de convergence le long des fosses de subduction et dans les chaînes de montagnes, ou de coulisse le long des failles transformantes.

L'étude des alignements volcaniques intraplaques permet aussi de caractériser les mouvements des plaques par rapport à la position supposée fixe des points chauds.

Les techniques de positionnement par satellites (GPS) ou des mesures de distance par laser permettent enfin de caractériser le mouvement des plaques en temps réel et de calculer des vitesses de déplacement avec une grande précision.

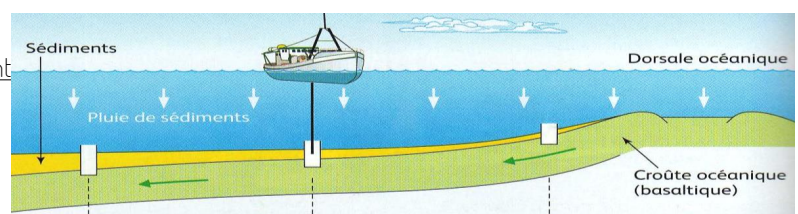
Les mouvements et les vitesses ainsi déterminés confirment les mouvements et les vitesses prévus dans les modèles établis à partir de données géologiques (NUVEL1 et mouvements dans le repère « points chauds »)

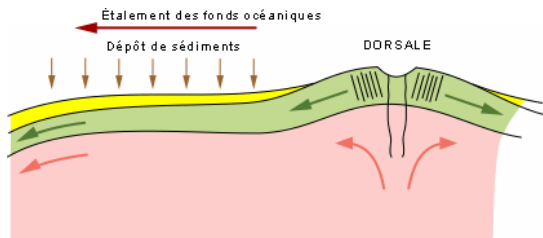
La cinématique classique décrit les mouvements des plaques lithosphériques essentiellement grâce aux données paléomagnétiques.

La cinématique instantanée, fondée sur les données océaniques, s'appuie sur des données magnétiques qui remontent légèrement dans le passé, jusqu'au chron 2A.

Les cinématiciens ont établi des modèles de déplacement des plaques à l'aide de formules mathématiques en prenant en compte des contraintes d'ordre varié :

les vitesses d'ouverture aux dorsales connues par les anomalies magnétiques, les orientations des zones de fracture, les vecteurs glissement des séismes de subduction, etc.





Les données ne sont donc pas homogènes, mélangeant des moyennes sur plusieurs Ma d'un côté et de véritables instantanés de mouvements sismiques que sont les vecteurs glissement, de l'autre.

Le premier modèle de Le Pichon en 1968 avait 6 plaques, on a ensuite beaucoup utilisé le modèle de Minster et Jordan publié en 1978 à 11 plaques, puis le modèle NUVEL 1 par DeMets et coll. depuis 1990, jusqu'à ce que soit publié le modèle MORVEL à 25 plaques (2010).

Le modèle NUVEL 1 (1990) modélise 12 plaques dont les mouvements sont contraints

de la façon suivante :

- frontières divergentes : vitesses d'expansion à partir de l'anomalie 2A sur 277 points répartis sur 16 frontières de type dorsale
- frontières en coulisage : détermination du pôle relatif de rotation entre 2 plaques par l'intersection des grands cercles perpendiculaires aux traces actives des failles transformantes
- frontières convergentes : les vecteurs glissement de 724 séismes majeurs ont été compilés.

En 1994, les auteurs de NUVEL proposent une légère révision du modèle 1, le **modèle NUVEL 1A**, en raison d'un recalage de l'anomalie 2A.

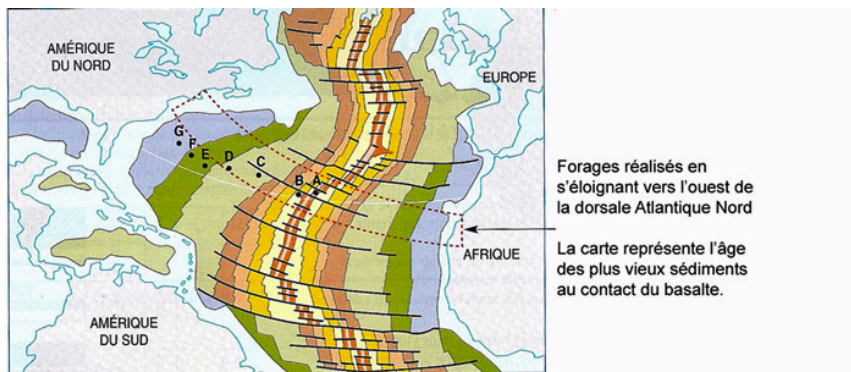
Le dernier né des modèles, **MORVEL**, publié en 2010 (DeMets, Gordon, Argus, etc.) signifie Mid Oceanic Ridge Velocities, en raison du poids important alloué aux dorsales : il prend en considération beaucoup plus de plaques que NUVEL et fonde les 3/4 des contraintes sur les anomalies magnétiques. L'Afrique est découpée en 3 « nouvelles » plaques, l'Amérique du Sud également ; les plaques Caroline, Sundaland, etc. apparaissent. Les mouvements ainsi calculés décrivent 97% de la surface de la Terre. Les données magnétiques pour les taux d'ouverture et les azimuts des failles sont calculés pour 16 plaques majeures. On se sert des données GPS pour contraindre les mouvements des 5 plaques restantes. A la différence de NUVEL 1A, on utilise les anomalies pour les plaques rapides seulement jusqu'à 0.76 Ma. Il combine les déplacements indiqués par les données de NUVEL 1 et les données géodésiques actuelles satellitaires.

- ⇒ **Il y a une cohérence de grande fiabilité intégrée dans le modèle MORVEL (Mid Oceanic Ridge Velocities, 2010 à 2012) entre les estimations cinématiques par données GPS, de point chaud, les anomalies magnétiques, l'âge des sédiments reposant sur le plancher : les auteurs confirment que le postulat des plaques rigides reste très adapté pour décrire les mouvements horizontaux de la surface terrestre.**

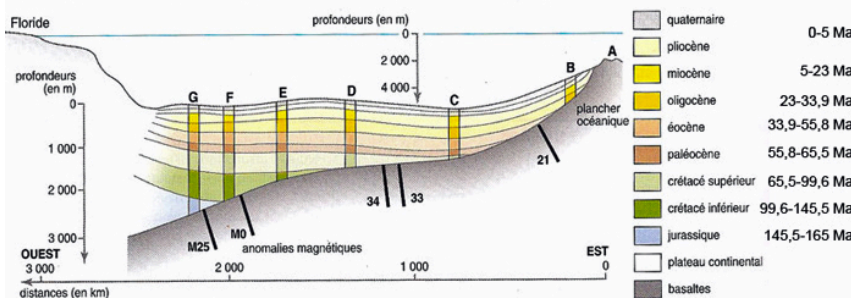
3/ L'ÂGE DES SÉDIMENTS DE FOND, EN S'ÉLOIGNANT DE PART ET D'AUTRE DE LA DORSALE, CROISSANT AU CONTACT DU PLANCHER BASALTIQUE DE LA CROÛTE OcéANIQUE DES FONDS OcéANIQUE (ATLANTIQUE, PACIFIQUE), DATÉS PAR PRINCIPE D'IDENTITÉ PALÉONTOLOGIQUE (PRINCIPE DE DATATION RELATIVE) PAR LEURS FOSSILES (FOND DES ABYSSES)

NB : Un fossile est un reste ou une trace d'organisme conservée le plus souvent dans une roche sédimentaire. La fossilisation est un phénomène exceptionnel lié aux conditions de dépôt et de recouvrement des organismes et à l'histoire géologique future du milieu de dépôt. Un fossile stratigraphique est un excellent moyen de datation relative ; pour cela l'espèce concernée doit avoir une existence la plus courte possible, une relative abondance et une importante répartition géographique mondiale.

rappel : dorsale : relief médio-océanique où sort la néocroûte océanique, magma issue de la fusion partielle d'une péridotite du manteau qui refroidit en sortant dans l'eau de mer à 4°C environ à près de 1200°C de part et d'autre de sa zone centrale (rift)



Forages réalisés en s'éloignant vers l'ouest de la dorsale Atlantique Nord
La carte représente l'âge des plus vieux sédiments au contact du basalte.



4/ LA CONFIRMATION PAR LA MESURE D'ANOMALIES MAGNÉTIQUES SYMÉTRIQUES DE PART ET D'AUTRE DU RIFT DE LA DORSALE. MESURÉES DANS LES BASALTES OcéANIQUE RAPPROCHÉES D'AUTRES, CONTINENTAUX OÙ L'ÂGE DES ROCHES EST CONNU PAR LES DATES D'INVERSION DU CHAMP (PALÉOMAGNÉTISME DES MINÉRAUX FERROMAGNÉSIENS, FE2O3 HÉMATITE ET FE3O4, MAGNÉTITE, QUI ENREGISTRENT APRÈS LEUR REFROIDISSEMENT LE CHAMP MAGNÉTIQUE GLOBAL, VOIR PLUS TARD, VINE ET MATTHEWS, USA, 1963)

BILAN I /

La lithosphère terrestre est découpée en plaques animées de mouvements. Le mouvement des plaques, dans le passé et actuellement, peut être quantifié par différentes méthodes géologiques : études des anomalies magnétiques, mesures géodésiques, détermination de l'âge des roches par rapport à la dorsale, alignements volcaniques liés aux points chauds.

La distinction de l'ensemble des indices géologiques et les mesures actuelles permettent d'identifier des zones de divergence et des zones de convergence aux caractéristiques géologiques différentes (marqueurs sismologiques, thermiques, pétrologique).

II / INITIATION DE L'ENFONCEMENT LITHOSPHÉRIQUE DU SLAB : LE MOTEUR DE LA SUBDUCTION

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=V0PS103UB8K](https://www.youtube.com/watch?v=v0ps103ub8k)

Documents supplémentaires pour élaborer le bilan

Pour expliquer le mouvement des plaques océaniques, deux mécanismes peuvent être envisagés :

- Le fonctionnement de la dorsale « pousse » la plaque océanique, qui, à son autre extrémité, est contrainte de plonger sous la plaque voisine ;
- La subduction de la partie âgée d'une plaque océanique « tire » sur l'autre extrémité de la plaque, provoquant le mouvement horizontal de celle-ci.

Les informations présentées dans les documents donnent des arguments pour trancher entre ces deux hypothèses.

« La partie jeune de la plaque océanique repose sur l'asthénosphère comme sur un plan incliné, et tend donc à glisser, exerçant une poussée latérale de la plaque.

La partie plongeante de la plaque océanique, plus dense que l'asthénosphère, s'enfonce en exerçant une traction sur le reste de la plaque océanique. »

Des calculs simples permettent d'estimer l'ordre de grandeur de ces forces au sein de la lithosphère océanique. (Doc ci-contre)

✓ Calcul de la pression de poussée et de la traction de subduction :

Poussée = $\frac{L}{2} \times g \times 50 \times \sin \alpha$

Traction = $H \times g \times 50$

✓ Remarques :

Les résultats sont obtenus en $N \cdot m^{-2}$; g, accélération de la pesanteur, vaut $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.
La valeur « 50 » correspond à la différence de masse volumique entre la lithosphère et l'asthénosphère : en effet, 1 m^3 de lithosphère pèse 50 kg de plus que le même volume d'asthénosphère. Dans ces calculs, on néglige l'influence de la croûte.

A Des calculs pour estimer les forces exercées sur une plaque océanique.

D'après SVT Bordas programme 2019

Le schéma ci-dessus assimile la plaque à un système mécanique et d'autres forces dont celle de frottements qui s'oppose à l'enfoncement sont négligées par simplification au Lycée.

intensité (en Newton N) du « ridge push » (force de poussée à la dorsale P) : $P = L / 2 \times g \times 50 \times \sin \alpha =$

$$500 \times 9,81 \times 50 \times \sin(5,7) = 24358 \text{ N}$$

intensité (en Newton N) du « slab pull » (force de traction T) : $T = H \times g \times 50 = 500 \times 9,81 \times 50 = 245250 \text{ N}$

On voit que le slab pull est quasi 10 fois plus élevé en valeur de force que la poussée à la dorsale : on peut donc en déduire que c'est le slab pull le moteur de la subduction qui expliquerait en grande partie la poussée à la dorsale et qui serait donc le principale moteur de la tectonique des plaques.

$T/P = 1/\sin \alpha = 1/\sin(5,7^\circ) = 10,1$ environ

Aspects mécaniques de la subduction

→ Pour qu'il y ait subduction, il faut le poids d'une colonne lithosphérique (ou la pression exercée en A) soit plus élevé que le poids d'une colonne asthénosphérique de même hauteur (ou que la pression exercée en B).

$(\rho_C \cdot g \cdot H_C) + (\rho_{ML} \cdot g \cdot H_{ML}) > \rho_A \cdot g \cdot (H_C + H_{ML})$
 On peut simplifier en :
 $g \cdot (\rho_C \cdot H_C) + (\rho_{ML} \cdot H_{ML}) > \rho_A \cdot g \cdot (H_C + H_{ML})$
 $(\rho_C \cdot H_C) + (\rho_{ML} \cdot H_{ML}) > \rho_A \cdot (H_C + H_{ML})$
 $(\rho_C \cdot H_C) + (\rho_{ML} \cdot H_{ML}) - \rho_A \cdot H_C > \rho_A \cdot H_{ML}$
 $(\rho_{ML} \cdot H_{ML}) - \rho_A \cdot H_{ML} > (\rho_A \cdot H_C) - (\rho_C \cdot H_C)$
 $H_{ML}(\rho_{ML} - \rho_A) > H_C(\rho_A - \rho_C)$
 $H_{ML} > H_C(\rho_A - \rho_C) / (\rho_{ML} - \rho_A)$

Si $\rho_{ML} = 3,3$ $\rho_A = 3,25$ $\rho_C = 2,9$

On a $H_{ML} > 7 \cdot H_C$

H_C = épaisseur de la croûte.
 H_{ML} = épaisseur du manteau lithosphérique.
 H_{LO} = épaisseur de la lithosphère océanique.
 H_A = épaisseur de l'asthénosphère dans la colonne considérée.

Nous avons identifié ensemble 3 conditions pour que le slab plonge dans l'asthénosphère :

- **1/ que la lithosphère devienne plus lourde que l'asthénosphère**
- **2/ que l'asthénosphère soit ductile (solide déformable malléable)**
- **3/ que la lithosphère se flexure (se rompe et s'incurve), sinon pas de plongée !**

Quel moteur l'AP # 3 nous permet t-elle d'identifier pour expliquer que la lithosphère devienne plus lourde que l'asthénosphère sous-jacente ?

Il faut que s'initie un déséquilibre, c'est-à-dire que le poids d'une colonne B de lithosphère PB dépasse celui d'une colonne A de volume équivalent d'asthénosphère PA, ce qui n'est possible que si :

- 1/ la masse volumique de B dépasse celle de A, ce qui implique pour une masse mA fixe une baisse de volume VA or en se refroidissant le magma qui remonte à la dorsale donne des basaltes et gabbros qui sont le produit de refroidissement d'un matériau à 1300°C dans de l'eau à 4°C environ (en se refroidissant, le matériau se contracte donc le volume diminue bien donc la densité augmente
- 2/ de plus, en s'éloignant de la dorsale, le poids des sédiments sur la croûte de la lithosphère océanique augmente (voir I / J) , ce qui vient ajouter à la hausse de poids expliquée déjà par le refroidissement précédent qui augmente la densité de la lithosphère océanique
- 3/ ensuite, la lithosphère en vieillissant s'épaissit aux dépens de l'asthénosphère car l'isotherme 1300°C devient plus basse (slab froid autour, déformation des isothermes donc celle de 1300°C NB : isotherme = ligne reliant les points de même température)
- 4/ enfin, la subduction est entretenue car en s'enfonçant, la densité continue d'augmenter car avec la profondeur croissante, la pression augmente avec une influence supérieure à la température croissante, ce qui augmente la quantité de matériau dans un même volume, la densité augmente donc encore, ce qui maintient l'enfoncement. Ainsi le ridge push est aussi entretenu.

Pour quel âge la densité de la lithosphère dépasse t-elle celle de l'asthénosphère de densité 3,25 ?

Le calcul demandé dans l'atelier 1 et 2 de l'AP # 3 permet de trouver le moment où d litho > d asthéo.

Le fichier Excel une fois les calculs effectués indique 40 Ma.

Le calcul littéral donne à partir de PB > PA ce qui suit à droite.

On peut retrouver cela littéralement à partir des formules littérales de la feuille Excel. On trouve un âge de 40 Ma pour une épaisseur de lithosphère océanique

$H_{ML} > 7 H_c$ où $H_c = 6$ km soit = 42 km

donc quand l'épaisseur manteau du slab dépasse de 7 fois celle de sa croûte, on atteint une épaisseur de lithosphère de 42 km. C'est là que PA > PB, ce qui donne 40 Ma grâce aux calculs de la feuille Excel de l'atelier 1 de l'AP # 2.

Retrouvons-le littéralement par démonstration à partir des formules de calcul indiquées sur la feuille Excel. On a donc (voir-ci dessous pour les Matheux que vous êtes avec votre option Mathématiques !!!)

Ceci donne un âge de 40 Ma. En fait, le plus souvent, ça s'enfonce pour des âges supérieurs encore en raison d'autres facteurs négligés dans ces formules fournies de mathématiques.

DONC LE MOTEUR DE SUBDUCTION SERAIT :

- 1/ PRINCIPALEMENT $\Delta \rho > 0$, LA DIFFÉRENCE DE DENSITÉ SLAB /ASTHÉNOPHÈRE SOUS-JACENTE > 0 QUAND D LITHO $> 3,25$ À PARTIR DE 35 MA ENVIRON. Cette rupture d'équilibre de flottabilité se produit lorsque le poids de la plaque qui plonge dépasse l'asthénosphère en-dessous. Ce mécanisme est l'un des principaux moteurs responsables du mouvement des plaques à la surface de la Terre. Il explique pourquoi les plaques océaniques se déplacent toujours en direction de l'endroit où elles plongent en subduction. Plus la lithosphère s'éloigne de la dorsale, lieu de production de la lithosphère océanique), plus sa température diminue et sa densité moyenne augmente. Après > 30-40 Ma minimum, les plaques océaniques deviennent plus denses que l'asthénosphère (> 3,3) : une force de traction les entraîne vers le bas (slab pull), jusqu'à rupture de la marge passive et amorçage de la subduction. Après le début de la subduction, les transformations minéralogiques lors du métamorphisme de la plaque plongeante entraînent une augmentation de la densité des roches qui la constituent. Ainsi, un schiste vert en début de subduction gagnera en densité lors de sa transformation en schiste bleu, pour atteindre une densité encore plus importante au stade éclogite. La traction qui résulte de ce poids supplémentaire permet d'entretenir la subduction. (90 à 95% d'influence dans l'enfoncement du slab : éclogites densité supérieure à 4,5 contre 3,25 pour l'asthénosphère)

état d'équilibre pour $P_B > P_A$ ($P = mg = \rho \times V \times g = \rho \times L \times l \times h \times g = \text{masse volumique} \times \text{longueur} \times \text{largeur} \times \text{hauteur} \times g$)
(densité) de la colonne colonne colonne

soit $m_B > m_A$
 soit $\rho_c L \times l \times h_c + \rho_{mL} h_{mL} \times L \times l > \rho_{asth} (h_c + h_{mL}) \times L \times l$ car $V_{\text{colonne}} = L \times l \times h$
 soit $L \times l (\rho_c h_c + \rho_{mL} h_{mL}) > L \times l \times \rho_{asth} (h_c + h_{mL})$
 soit $\rho_c h_c + \rho_{mL} h_{mL} > \rho_{asth} (h_c + h_{mL})$
 soit $h_{mL} > \frac{h_c (\rho_{asth} - \rho_c)}{\rho_{mL} - \rho_{asth}}$
 d'où AN: $h_{mL} > \frac{3,25 - 2,8}{3,3 - 3,25} h_c$
 soit $h_{mL} > 2 h_c$ et pour $h_c = 6 \text{ km}$: $h_{mL} > 54 \text{ km}$

or $\rho_{Lo} = \frac{e_{Lo} \times \rho_{c0} + e_{mL} \rho_{mL}}{e_{Lo}}$ dans Excel avec $e = 3,5 \sqrt{a}$ soit
 $\rho_{Lo} = \frac{e_{c0} \rho_{c0} + e_{mL} \rho_{mL}}{e_{Lo}} = \frac{e_{c0} \rho_{c0} + e_{mL} \rho_{mL}}{3,5 \sqrt{a}}$
 on regarde au calcul (âge) a conduit à $\rho_{Lo} > \rho_{asth}$ soit $\rho_{Lo} > 3,25$:
 c'est pour âge = a tel que: $\sqrt{a} > \frac{e_{c0} \rho_{c0} + e_{mL} \rho_{mL}}{3,5 \rho_{Lo}}$
 la graphiquement pour voir, ici on trouve par démonstration "!" pour les mathématiciens!
 $a > 40 \text{ Ma} \leftarrow a > \frac{38025}{253,26} \leftarrow a > \frac{125^2}{253,26} \leftarrow a > \frac{(16,8 + 178,2)^2}{20,25 \times 10,5625} \leftarrow a > \frac{(6 \times 2,8 + 54 \times 3,3)^2}{3,5^2 \times 3,25^2}$

- Les vitesses de déplacement de plaques les plus rapides correspondent à celles qui présentent un pourcentage élevé de frontières en subduction. A l'inverse, les plaques lentes ne subduisent peu ou pas => confirme bien l'importance de la subduction comme moteur du déplacement des plaques.
- 2/ SECONDAIREMMENT, LA FORCE RIDGE PUSH (POUSSÉE À LA DORSALE) : LE GLISSEMENT LITHOSPHÉRIQUE SUR LA PENTE OCÉANIQUE (CRÉÉ PAR LE GONFLEMENT THERMIQUE), ANCIENNEMENT POUSSÉE À LA DORSALE MAIS ON A DÉMONTRÉ QU'UNE DORSALE NE POUSSE PAS VRAIMENT (VOIR CONFÉRENCE DE PIERRE THOMAS, UN SPÉCIALISTE DE L'ENS LYON DE GÉOLOGIE), INFLUENCE SUPPOSÉE DE 5 À 10%
- 3/ TROISIÈMEMENT, LA CONVECTION (ENCORE DISCUTÉ, CONSIDÉRÉS NÉGLIGEABLES DANS LE MOTEUR, CES MOUVEMENTS VISUALISÉS DANS LE MONTAGE ATELIER 3 DE L'AP # 3 + 6 P 179), MOUVEMENTS DE MATIÈRE PAR UNE REMONTÉE CHAUDE puisque pas toujours dans le même sens que le déplacement de la plaque, et on a montré l'existence d'un certain « découplage » donc indépendance entre mouvements de la lithosphère et mouvements de convection (vus dans le montage avec l'huile colorée en TP) en-dessous de l'asthénosphère. On estime que la convection serait due le plus souvent à une descente active et importante de matériel froid au niveau des zones de subduction donc sa conséquence est à une remontée passive au niveau des dorsales pour combler le trou puisque zone en décompression si on néglige les points chauds. En fonction de la distance à la dorsale, le plancher océanique s'enfonce par subsidence thermique : l'isotherme 1100° C s'enfonce au fur et à mesure du refroidissement et comme la densité dépend de la température, la lithosphère devient de plus en plus dense et épaisse (mais la croûte ne change pas d'épaisseur et le poids des sédiments ne suffit pas à expliquer cette subsidence). Lorsque la lithosphère est assez vieille, elle devient plus DENSE que le manteau sous-jacent et s'enfonce en subduction. Le phénomène de subduction n'est donc pas lié à la plaque chevauchante qui ne contrôle que les manifestations telluriques de la subduction (type et répartition des séismes, volcanisme). La plaque subductée ne s'enfonce pas dans le manteau parce qu'elle rencontre une plaque moins dense. Pour comprendre ce contresens, exemple de 2 icebergs, le numéro 1 formé de glace très pure et riche en bulles d'air, le numéro 2 formé de glace riche en poussières et plus pauvre en bulles d'air, donc plus dense que 1. La rencontre de l'iceberg 2 avec l'iceberg 1 va-t-elle faire sombrer l'iceberg 2 plus dense ? La réponse évidente à cette question s'applique au phénomène de subduction qui est lui aussi régi par la différence

entre le poids de la plaque et la poussée d'Archimède. la vitesse d'expansion dépend de la vigueur de la convection sous-jacente, plus élevée au niveau Pacifique qu'Atlantique

BILAN

↗ ÉLOIGNEMENT DORSALE => ↗ ÂGE DE LA LITHOSPHERE => ↘ TEMPÉRATURE (REFROIDISSEMENT PROGRESSIF ET ↘ FLUX THERMIQUE) => CONTRACTION THERMIQUE => ↗ DENSITÉ PAR ↘ VOLUME À MASSE ÉGALE + ↗ ÉPAISSEUR (CONTRACTION THERMIQUE + ↗ DE CELLE DES SÉDIMENTS SUS-JACENTS) + OR ↗ DENSITÉ TELLE QUE D LITHO > D ASTHÉNO => ENFONCEMENT PROGRESSIF LITHOSPHERE OCÉANIQUE FROIDE, DENSE ET ÉPAISSE DANS UNE COUCHE SOUS-JACENTE ASTHÉNOsphérique PLUS DUCTILE ET CHAUDE => ∃ LIMITE LITHOSPHERE / ASTHÉNOsphère THERMO-MÉCANIQUE (ISOTHERME 1300°C). AVEC PROFONDEUR ↗ => P ↗ (+ θ) => DENSITÉ ↗ ENCORE ENTREtenant LA SUBDUCTION
AU VOISINAGE DES FOSSES OCÉANQUES, LA DISTRIBUTION SPATIALE DES FOYERS (HYPOCENTRES) DES SÉISMES EN FONCTION DE LEUR PROFONDEUR S'ÉTABLIT SELON UN PLAN INCLINÉ APPELÉ PLAN DE WADATI-BÉNIOFF

LES DIFFÉRENCES DE VITESSE DES ONDES SISMQUES PAR RAPPORT AU MODÈLE PREM QUI SE PROPAGENT LE LONG DE CE PLAN, PAR RAPPORT À CELLES QUI S'EN ÉCARTENT, PERMETTENT DE DISTINGUER : LA LITHOSPHERE ($\Delta V > 0$) DE L'ASTHÉNOsphère ($\Delta V < 0$)

L'INTERPRÉTATION DE CES DONNÉES SISMQUES (DU PLUS RAPIDE QUE PRÉVU EST DU PLUS DENSE DONC PLUS FROID PERMET DE MONTRER QUE LA LITHOSPHERE S'ENFONCE DANS LE MANTEAU AU NIVEAU DES FOSSES DITES DE SUBDUCTION.

LA LIMITE INFÉRIEURE DE LA LITHOSPHERE CORRESPOND GÉNÉRALEMENT À L'ISOTHERME 1300°C.

LE MODÈLE DE LA TECTONIQUE DES PLAQUES REPOSE SUR LA DISTINCTION LITHOSPHERE / ASTHÉNOsphère LA LITHOSPHERE EST UNE ENVELOPPE RIGIDE REPOSANT SUR L'ASTHÉNOsphère PLUS DUCTILE, PLUS PLASTIQUE : LA LIMITE ENTRE LES 2 N'EST PAS CHIMIQUE MAIS PHYSIQUE, THERMO-MÉCANIQUE MÊME

LA LITHOSPHERE OCÉANIQUE EST PLUS DENSE QUE LA LITHOSPHERE CONTINENTALE EN RAISON D'UNE CROÛTE PLUS DENSE, LEUR ÉPAISSEUR MANTELLIQUE ÉTANT COMPARABLE

ON DISTINGUE ALORS 2 TYPES DE BORDURES DE CONTINENTS : LES MARGES PASSIVES ET LES MARGES ACTIVES

[HTTP://WWW.BIOLOGIEENFLASH.NET/ANIMATION.PHP?REF=GEO-0031-1](http://www.biologieenflash.net/animation.php?ref=GEO-0031-1)

remarque :

asthénosphère = plus « molle » que lithosphère mais solide => exerce très grande résistance mécanique ralentissant considérablement l'enfoncement de la lithosphère en subduction

NB : quand l'âge de la lithosphère océanique > 180 Ma : d litho telle que les forces de gravité l'entraînent obligatoirement dans l'asthénosphère donc aucune lithosphère océanique n'a plus de 200 Ma sur Terre.

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?](https://www.youtube.com/watch?)

[V= YB83ZWNJUK&LIST=PLB2JIKLA1NHEPYFJULAMNBXPHD_SLIYXL&INDEX=13](https://www.youtube.com/watch?v=YB83ZWNJUK&list=PLB2JIKLA1NHEPYFJULAMNBXPHD_SLIYXL&index=13)

QUELLE CONSÉQUENCE POUR LES 2 PLAQUES : SOUS-JACENTE (SLAB, PLAQUE SUBDUITE) ET SUS-JACENTE (PLAQUE CHEVAUCHANTE) ?

QUEL RÔLE LA SUBDUCTION A-T-ELLE DANS LA DYNAMIQUE GLOBALE TERRESTRE ?

apparemment majeure vue l'importance majeure du slab pull (force de traction de plongée) (intensité 10x ridge push) dans les mouvements des plaques qui tirerait le matériau de basalte et gabro (néocroûte sortant à la dorsale par refroidissement rapide au fond du milieu des océans). Les vitesses de déplacement de plaques les plus rapides correspondent à celles qui présentent un pourcentage élevé de frontières en subduction (voir plaque Pacifique). A l'inverse, les plaques lentes ne subduisent peu ou pas => cela confirme bien l'importance de la subduction comme moteur du déplacement des plaques.

III/ MARQUEURS GÉOMORPHOLOGIQUES DES SUBDUCTIONS

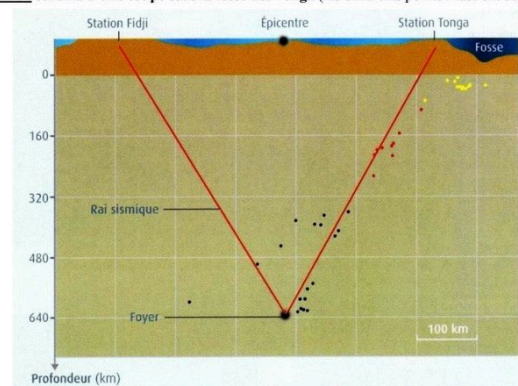
A/ un sismicité intense dont les hypocentres dessinent le plan 3D dit de Wadati-Benioff du slab

l'apport de la sismique : le plan de Bénihoff en zone de subduction (1930-1955)

rappels : 4è : <http://www.biologieenflash.net/animation.php?>

8

Document 1 : schéma d'une coupe sous la fosse des Tonga (les différents points illustrent des foyers sismiques).



ref=geo-0087-1

séisme si et seulement si : 1/ contraintes fortes accumulées en contexte rigide => 2/ seuil des contraintes franchi : rupture de roches en profondeur au niveau d'une faille souvent préexistante => 3/ lors de toute transformation, il y a conservation de l'énergie (1er principe de la thermodynamique), ce qui implique qu'une néoénergie ne peut provenir que de la conversion d'une autre forme préexistante : l'énergie des contraintes tectoniques est libérée en cette faille (hypocentre de projection en surface = épiceutre) sous forme de chaleur par frottement et de trains d'ondes sismiques élastiques dans toutes les directions

∃ 3 types de séismes :

- superficiels $p < - 100$ km
- intermédiaires : $-100 \text{ km} < p < - 400$ km
- profonds - $400 \text{ km} < p < - 700$ km

POURQUOI Y -A-T-IL DES SÉISMES À PLUS DE - 100 KM DE PROFONDEUR ?

attendu pour $p > - 50$ km : (pression, température) ne devraient pas permettre la rupture d'un matériau car asthénosphère = ductile (solide déformable, opposé à fragile, cassant de la lithosphère qui est la seule apte donc aux séismes qui sont des ruptures profondes de roches, jusqu'à - 700 km !! (à peu près - 670 km : limite manteau supérieur / inférieur) pas de rupture de roches en profondeur possible sauf si

=> **hypothèse interprétative I** : la lithosphère rigide plonge

raisonnement par l'absurde : si la lithosphère était statique, elle devrait se réchauffer (milieu environnant plus chaud qu'elle) et perdre son identité rigide donc gagner en ductilité ou se désagréger : si sa propriété persiste (voir tomographies + étude Δv ondes sismiques), c'est qu'elle est renouvelée en permanence or nous avons vu qu'elle est créée au niveau des dorsales donc il existe des zones où elle disparaît

AU VOISINAGE DES FOSSES OCÉANIQUES, LA DISTRIBUTION SPATIALE DES FOYERS SISMQUES S'ÉTABLIT SELON UN PLAN INCLINÉ REPÉRABLE JUSQU'À VERS - 700 KM NOMMÉ PLAN DE WADATI-BÉNIOFF, CE QUI TRADUIT UN ENFONCEMENT LITHOSPHÉRIQUE DANS DES ZONES DITES DE SUBDUCTION. IL VARIE EN VALEUR SELON LA ZONE DE SUBDUCTION CONSIDÉRÉE : ON REMARQUE UN ALIGNEMENT VOLCANIQUE EN AVANT DE LA FOSSE ET AUSSI DES SÉISMES DANS LA PLAQUE CHEVAUCHÉE.

remarques : distinguer plaque océanique plongeante = plaque subduite de la plaque chevauchante sous laquelle l'autre s'enfonce

HISTOIRE DES SCIENCES

1933 : Holmes : séismes en profondeur = déjà associés à lithosphère dans le manteau puis Wadati (1935) et plus tard Carey (1953) / manteau = homogène, constitué de péridotite, roche de $d > 3,3$ à olivines (ferromagnésiennes) et pyroxènes

<http://www.edumedia-sciences.com/fr/a89-les-3-types-d-ondes-sismiques>

Histoire des Sciences :

C : 1935 : Wadati : en Asie, disposition des séismes profonds = près des fosses et particulière

1949 : Hugo Bénéioff : idem en Amérique du Sud => hypocentres selon un plan incliné remarquable « fosse => continent » d'où le nom de plan de Wadati-Bénéioff

hyp interprétative (I) : **1955 : Bénéioff** : le fond océanique doit être entraîné dans les profondeurs sous les océans

exemple : fosse du Chili = frontière entre une plaque océanique de Nazca, et celle d'Amérique du Sud, continentale . Au niveau de la fosse, les séismes ne sont que superficiels, les foyers intermédiaires et profonds sont nettement décalés vers le continent et d'autant plus qu'ils sont profonds

constat : plan incliné d'inclinaison (= **pendage**) variable suivant les zones de subduction, matérialisé par les hypocentres intermédiaires ou profonds de - 100 à - 700 km max !!

Les séismes plus profonds augmentant avec l'éloignement de l'arc magmatique.

On a la même disposition des foyers pour toutes les fosses océaniques péri-Pacifique (Du Pacifique Ouest, comme celles des Mariannes)

1964 : Jack Oliver, Bryan Isacks, et Lynn Sykes :

constat : étude d'un enregistrement d'un séisme profond (ondes P) ayant accusé un retard d'ondes : les ondes P directes parvenant 2 secondes plus tôt d'un côté à la station Tonga (Vava'u) qu'à la station Fidji pourtant équidistantes ! Comment expliquer cela ?

interprétations : 1967 : comme v ondes ↗ quand θ ↘ alors :

-1/ **la répartition des séismes se fait le long d'un plan incliné appelé plan de Wadati-Bénéioff de 100 km d'épaisseur vues les données sismiques disponibles** or la croûte = 2 à 10 fois épaisse que litho donc **la litho, froide et rigide, plonge dans une couche plus ductile (- rigide) et plus chaude nommée asthénosphère : notre hypothèse précédente est validée**

-2/ **en plongeant, cette unité froide et cassante se fracture, ce qui occasionne les séismes**

Jack Oliver et son étudiant **Bryan Isacks** parviennent à expliquer la sismicité sur tout le globe terrestre par le modèle de la tectonique des plaques, ce qui finit de convaincre la majorité des scientifiques à rejeter le paradigme fixiste et embrasser la toute nouvelle théorie.

carte de la répartition mondiale des séismes (2000-2008)

constats :

3 zones principales d'activité sismique terrestre :

- les dorsales océaniques, où séismes superficiels (> 20 km)

- la zone péri-Pacifique, surtout le long des fosses océaniques où séismes superficiels, intermédiaires ou profonds

- au sein des continents : des Alpes aux chaînes asiatiques, avec séismes superficiels ou intermédiaires

1967 : Jack Oliver et Bryan Isacks interprètent ces plans comme la trace de la lithosphère océanique retournant dans le manteau. Ces lieux de disparition de la lithosphère océanique (on dira plus tard « zones de subduction ») sont nécessaires dans la logique du « sea floor spreading » si on ne veut pas supposer l'expansion de la Terre ; ils sont désormais démontrés.

B/ un volcanisme explosif (relief > 0) : voir IV/

existence de 30 000 km de volcans mondiaux associés à la subduction

C/ une fosse océanique (relief < 0)

D/ un prisme d'accrétion

E/ des anomalies thermiques négatives (déformation des isothermes autour du slab)

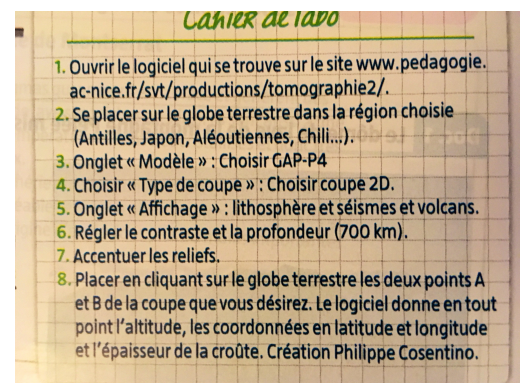
IV / COUPLAGE MAGMATISME ET MÉTAMORPHISME DES SUBDUCTIONS (AP # 4)

MATHRIX : [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?](https://www.youtube.com/watch?v=QRMTB5F15JC)

[V=QRMTB5F15JC&T=414S](https://www.youtube.com/watch?v=QRMTB5F15JC)

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=QRMTB5F15JC](https://www.youtube.com/watch?v=QRMTB5F15JC)

COMMENT, DANS LE CONTEXTE GÉODYNAMIQUE DE SUBDUCTION, SE MET EN PLACE DU MAGMATISME ET INTERVIENT-IL DANS LA PRODUCTION DE NÉOMATÉRIAUX GÉOLOGIQUES CONTINENTAUX ?



Formée à 25% environ à la fin de l'Archéen (-2,5 Ga) et à $> 85\%$ 1 Ga après, la croûte continentale a aujourd'hui un volume stable, ce qui suppose une compensation création/recyclage (érosion ...). Après avoir montré en quoi la subduction est le contexte approprié sur le globe pour créer cette croûte continentale (plongée d'une lithosphère avec du volcanisme de type explosif sur la plaque chevauchante) car elle génère du magmatisme en profondeur par déshydratation, voyons comment le refroidissement de ce fluide en mouvement ascensionnel par décompression peut conduire à de néomatériaux continentaux (granitoïdes, rhyolites, dacites et andésites pour l'essentiel). Le volcanisme consiste en l'émission de laves, gaz et projections importantes à la surface, cendres, nuées ardentes et laves visqueuses.

témoignant de la remontée de magmas formés en profondeur. Ceux-ci peuvent interrompre leur remontée et s'immobiliser en profondeur pour y subir un refroidissement plus progressif et alimenter un autre processus magmatique nommé plutonisme. Volcanisme et plutonisme participent à la création des matériaux constituant la croûte continentale. Les zones de subduction sont le siège d'un volcanisme brutal, souvent explosif, à forte sismicité (cf « ceinture de feu » du Pacifique). Le volcanisme explosif des zones de subduction s'accompagne d'émission de gaz, cendres, nuées ardentes (= laves visqueuses + gaz + cendres + blocs de taille variable dévalant les pentes d'un volcan) et de laves visqueuses. Les éboulements et les explosions décapitent le volcan et ouvrent un grand cratère. Cette phase majeure est caractérisée par la formation de nuées ardentes, projections solides accompagnées de gaz en combustion à très haute température, émises souvent à l'horizontale, à la vitesse initiale de 500 km/h et précédées d'une onde de choc meurtrière. La teneur en silice SiO_2 des magmas est le plus fréquemment comprise entre 45% (pauvres) et 65% (riches) : c'est cette teneur en silice qui détermine la viscosité du magma, c'est-à-dire la résistance à l'écoulement : plus elle est élevée, plus le magma est visqueux, « acide »

A / LES TRANSFORMATIONS MINÉRALOGIQUES DE LA LITHOSPHERE SUBDUITE SONT LIÉES AU FLUIDE H_2O

1/ Caractéristiques de la lithosphère subduite et métamorphisme HTBP (⇒ voir 1 du 1er schéma-bilan)

Après sa formation à l'axe (rift) d'une dorsale, la lithosphère océanique fracturée et peu épaisse est le siège d'une circulation d'eau de mer, lui faisant subir un métamorphisme dit BPHT (Haute Température Basse Pression) :

- la croûte océanique entrant en subduction au bout d'environ 40 Ma comme nous l'avons vu dans le II / est donc riche en minéraux hydroxylés (à radicaux **hydroxyles OH**) : **hornblende (amphibole verte), actinote, chlorite, épidote**
- la péridotite du manteau lithosphérique de la plaque plongeante est au moins dans sa partie supérieure, métamorphisée (hydratée en **serpentine** (roche serpentinisée, ressemblant à une peau de serpent, où l'olivine s'est hydroxylée en un minéral verdâtre, la serpentine). tous ces minéraux appartiennent à des roches placées dans ce que l'on appelle le faciès schistes verts (SV).

réactions chimiques : (ne pas apprendre les formules détaillées, mais savoir les réactions et qui est hydroxylé et qui ne l'est pas, en lien avec son faciès (schiste vert, bleu ou éclogite)

au niveau de la croûte (basaltes et metagabbros crustaux)	au niveau du manteau péridotitique :
pyroxène + plagioclase + H ₂ O => amphibole verte hornblende NaCa ₂ (Mg,Fe) ₄ Si ₆ Al ₃ O ₂₂ 3Al(OH) ₂	olivine (Mg,Fe) ₂ SiO ₄ + H ₂ O => serpentines (Mg,Fe,Ni) ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
amphibole hornblende NaCa ₂ (Mg,Fe) ₄ Si ₆ Al ₃ O ₂₂ 3Al(OH) ₂ + plagioclase + H ₂ O => chlorite (Fe,Mg,Al) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈ + actinote Ca ₂ (Mg,Fe) ₅ (OH,F) ₂ (Si ₄ O ₁₁) ₂	Olivine + eau → Serpentine

épidote = Ca₂(Fe³⁺,Al)₃(SiO₄)₃(OH), albite,

2/ le métamorphisme de cette lithosphère en subduction HPBT (⇔ voir 2 du 1er schéma-bilan)

Au cours de sa subduction, due à sa contraction thermique par refroidissement avec l'éloignement de la dorsale (divergence lithosphérique), à son épaissement aux dépens de l'asthénosphère ductile sous-jacente (celle du manteau lithosphérique, due à l'abaissement de l'isotherme 1300°C et subsidence thermique) dont elle est devenue plus dense encore (> 3,25 après > 40 Ma à > 2000 km de la dorsale), la croûte océanique de la lithosphère se réchauffe lentement et est surtout soumise à des pressions de plus en plus importantes avec la profondeur croissante : dans ces conditions, les minéraux qui la constituent deviennent instables : à des profondeurs supérieures à **- 30 à -40 km**, la croûte devient siège de réactions à l'état solide conduisant à la formation avec perte d'eau de nouvelles associations minéralogiques, marquées en particulier par l'apparition de la **glaucophane et de la lawsonite par exemple** à partir de minéraux initiaux = **métamorphisme Haute Pression Basse Température HPBT**. Pour des profondeurs supérieures encore (⇔ voir 3 du schéma-bilan), le metagabbro devient une **roche anhydre éclogitique** (à minéraux **non hydroxylés : grenats et jadéite**) : ainsi, ce n'est pas à partir de minéraux de la lithosphère océanique subduite que prend naissance le magma : **sa subduction a comme conséquence unique une déshydratation libérant des hydroxyles percolant dans la péridotite chevauchante.**

faciès schistes bleus SB : glaucophane Na₂(Mg,Fe)₃Al₂Si₈O₂₂(OH)₂, épidote Ca₂(Fe³⁺,Al)₃(SiO₄)₃(OH), lawsonite CaAl₂Si₂O₇(OH)

feldspath plagioclase + chlorite + actinote => glaucophane + H₂O

glaucophane => jadéite (pyroxène vert sodique) + H₂O + grenat omphacite

diopside = pyroxène calcique

éclogites : grenat rouge Mg₃Al₂Si₃O₁₂, jadéite, clinopyroxène vert sodique NaAlSi₂O₆

• **Plagioclase + Actinote + Chlorite → Amphibole bleue (Glaucophane) + eau**

• **Plagioclase → Pyroxène (Jadéite) + Quartz et Plagioclase + Amphibole bleue → Grenat + Jadéite + eau**

B / GENÈSE MAGMATIQUE

1/ matériel d'origine

Il n'existe pas de formation de magma continue, il se forme toujours en des endroits particuliers dans des conditions particulières (décompression adiabatique au rift d'une dorsale, apport de chaleur au niveau des points chauds ou d'eau pour les subductions). **Un magma provient toujours de la fusion partielle d'une roche préexistante.** En dépit des variations de valeur du pendage de la

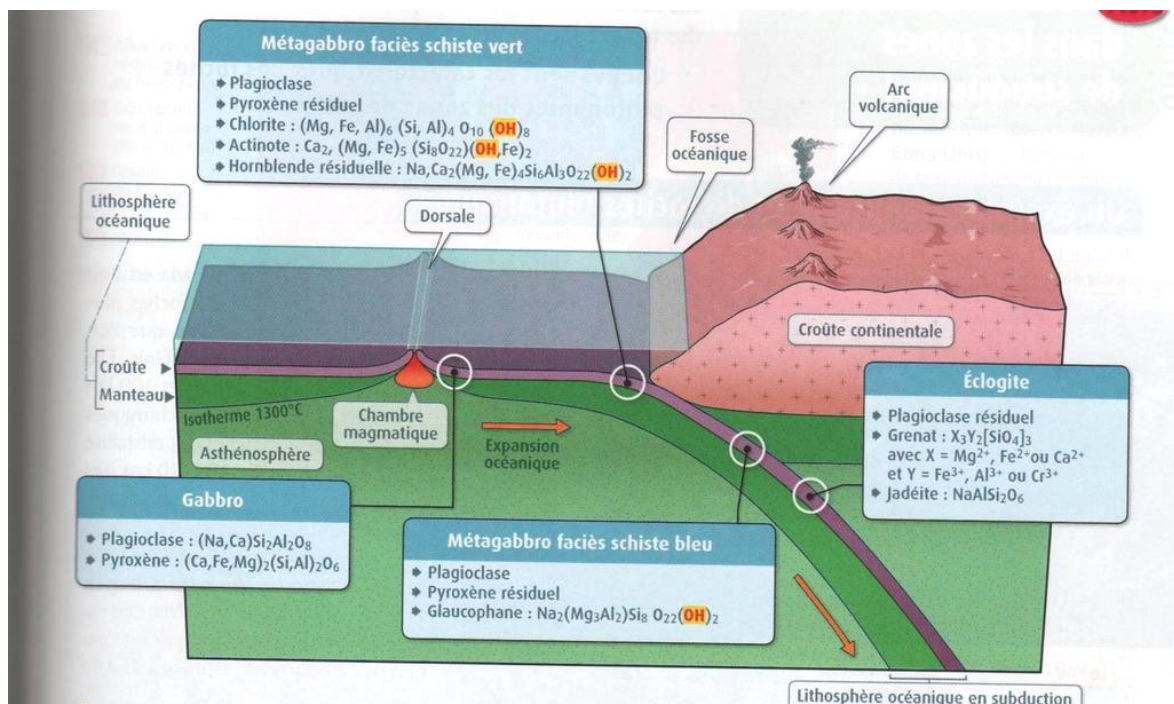
lithosphère plongeante, les volcans se situent à l'aplomb d'une zone où le toit de la lithosphère en subduction est à une **profondeur de - 100 km** au plus. La péridotite de la plaque chevauchante située à ces profondeurs subit une fusion partielle à l'origine d'un magma.

2/ eau et genèse magmatique

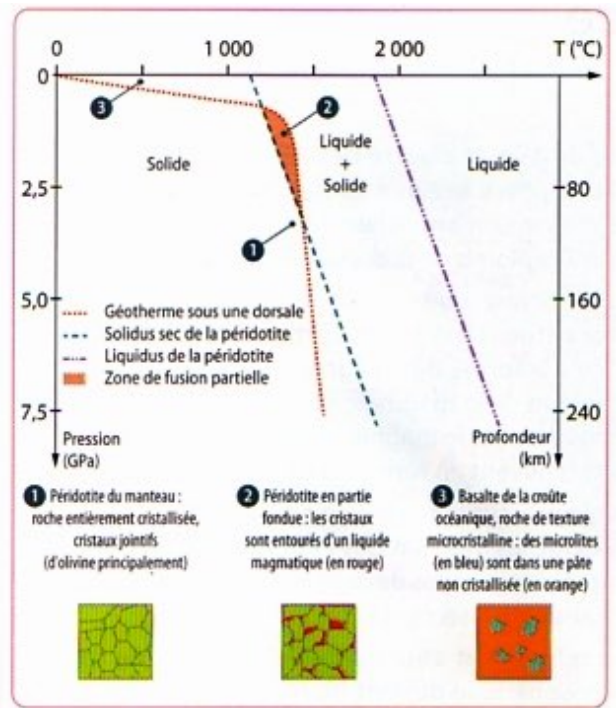
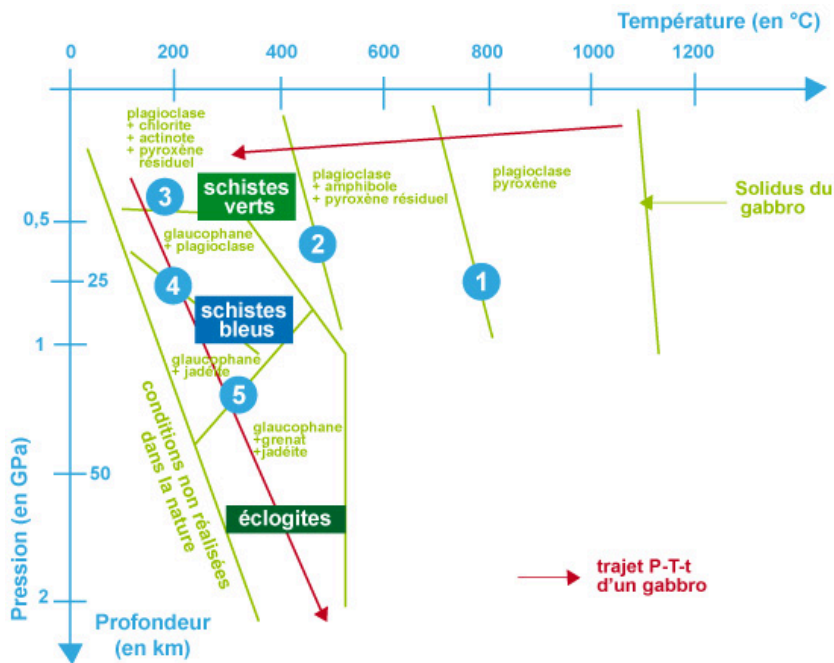
Les données thermiques indiquent que la température de la péridotite de la plaque chevauchante **vers - 100 km** est d'environ 1000°C, température insuffisante pour une fusion partielle de péridotite anhydre, là où expérimentalement on peut observer que les conditions de P/T rencontrées en subduction actuelle sont incompatibles avec une fusion partielle d'un basalte anhydre, hydraté ou même d'une péridotite anhydre. Les fluides comme l'eau peuvent expérimentalement abaisser la température de fusion patelle d'environ 300°C : ainsi, seule une **péridotite hydratée à cette température sous la pression de cette profondeur peut entrer en fusion partielle (d'environ 10-15%, ce qui est faible)** : certains minéraux gagnent alors le liquide magmatique en formation (éléments chimiques les plus hygromagmatophiles, encore appelés incompatibles comme K par exemple) quand d'autres demeurent dans la roche résiduelle (une péridotite appauvrie, l'harzburgite). **Ainsi, l'hydratation de la péridotite chevauchante montre un couplage métamorphisme de subduction /magmatisme.**

L'introduction d'eau caractérise toutes les régions qui, en surface, correspondent au plongement d'une plaque océanique (chapelet d'îles comme le Japon, "marges" continentales actives comme la cordillère des Andes...). La tomographie sismique du manteau dans les zones de subduction montre qu'il existe un coin de manteau entre la croûte de l'arc et la plaque plongeante. La morphologie du

	Andésite	Diorite	Rhyolite	Granite
Feldspath plagioclase $(Na,Ca)[Al(Si,Al)Si_2O_8]$	✓	✓	✓	✓
Feldspath orthose $KAlSi_3O_8$	✓	✓	✓	✓
Amphibole Hornblende $(Na,Ca)_2(Mg,Fe,Al)_5Si_6(Si,Al)_2O_{22}(OH)_2$	✓	✓	✓	✓
Pyroxène $(Ca,Mg,Fe)SiO_3$	✓	✓		
Biotite $K(Mg,Fe)_3(OH,F)_2(Si_3AlO_{10})$			✓	
Quartz SiO_2			✓	✓
Verre	✓		✓	✓



2 L'évolution des roches de la croûte océanique depuis leur mise en place à la dorsale jusqu'à leur engagement dans une subduction. La composition minéralogique des différentes roches est indiquée, ainsi que la formule chimique des minéraux. La présence de radicaux hydroxylés (-OH) dans les minéraux d'une roche témoigne de son hydratation (présence d'eau).



solidus humide est très incurvée vers les basses pressions, recoupant largement les géothermes continentaux anciens ou récents, et plus encore le géotherme océanique au niveau des dorsales.

C / DU MAGMA AUX ROCHES CONTINENTALES

Ce magma est injecté dans les couches sus-jacentes, le manteau lithosphérique chevauchant puis la croûte continentale plus en

Les roches plutoniques




- La **granodiorite** est une roche entièrement cristallisée (texture **grenue**), ce qui confirme son origine plutonique (refroidissement lent d'un magma ayant cristallisé en profondeur);
- En revanche **sa composition minéralogique se rapproche de celles de l'Andésite et de la Rhyolite**, ce qui suggère que ces roches se forment à partir d'un **même type de magma**.

surface où il est **stocké dans des chambres magmatiques** où ce magma provoque la **fusion partielle des roches continentales encaissantes** : il y a **mélange des 2 magmas mantelliques et granitique d'origine crustale**, l'arc volcanique de la plaque chevauchante étant généralement situé à l'aplomb du coin mantellique fusionnant situé à - 100km.

1/ cristallisation fractionnée, remontée et refroidissement rapide : andésites et rhyolites

L'analyse des roches volcaniques des zones de subduction ainsi que l'expérimentation montrent que les produits de la fusion mantellique hydratée sont très différents de ceux qu'engendre la fusion par décompression adiabatique du manteau quasi sec sous les dorsales. Au lieu de basaltes (à 40 à 45% de SiO₂), on obtient des andésites et des diorites, qui contiennent 50 à 60% de SiO₂. Le magma résultant génère par refroidissement des roches effusives microlithiques, **andésites et rhyolites**, arrivant en surface au

Roches volcaniques produites dans les zones de subduction



- **Andésite et Rhyolite** possèdent une texture caractérisée par la présence de gros et de petits cristaux (**microlites**) noyés dans un verre non cristallisé (texture **microlitique**), cette texture atteste l'origine volcanique des 2 roches;
- Ces 2 roches ont une composition minéralogique différente:
- **Feldspath plagioclase et pyroxène** (amphibole) pour l'**Andésite**,
- **Feldspath plagioclase, quartz et biotite** pour la **Rhyolite**.

cours d'éruptions volcaniques explosives, plutôt imprévisibles, dangereuses, à nuées ardentes, laves visqueuses et gaz tels que la vapeur d'eau, engendrées par des surpressions rares faisant sauter un bouchon d'accumulation dans la chambre magmatique sous-jacente au point de sortie.

Le fractionnement des éléments légers comme Si, Na, K ou lourds comme U, Th, est alors maximum. Ces produits sont en outre de faible densité ($d=2,8$ au lieu de 3 pour les basaltes). Ils ne peuvent plus être recyclés dans le manteau et donnent naissance à de la croûte continentale, dont la composition chimique moyenne peut être assimilée à celle des diorites, roches intermédiaire entre les basaltes, liquides quasi indifférenciés, et les granites, qui constituent le terme le plus évolué de ce fractionnement.

La rhyolite, issue de laves acides (richesse en silice Si dans l'espèce chimique SiO_2 dite intermédiaire), a une composition chimique proche du granite avec de minéraux essentiels qui sont le quartz et les feldspaths et où on trouve également des minéraux ferromagnésiens hydroxylés (riches en OH) comme la biotite et l'amphibole. L'andésite, issue de laves intermédiaires (richesse en silice entre 53 et 66%) de couleur gris clair, ne contient pas de quartz et contient essentiellement feldspaths et minéraux ferromagnésiens type amphiboles et biotite. Ces minéraux hydroxylés résiduels sont à corréliser avec l'hydratation de la péridotite dont ils proviennent.

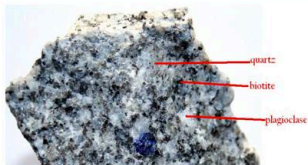
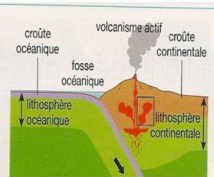
NB : la remontée rapide du magma à l'origine de ses roches ne doit pas faire oublier une première cristallisation fractionnée préalable dans une autre chambre plus en profondeur avant cette remontée dite rapide reliée à la structure minéralogique microlithique qui leur est propre.

2/ cristallisation fractionnée, remontée et refroidissement lents : plutons et granitoïdes

La Diorite et la Granodiorite

Au cours d'une éruption volcanique, une partie du magma n'atteint pas la surface et refroidit en profondeur. Les roches ainsi formées sont appelées **roches plutoniques**. Elles n'affleurent en surface que des millions d'années après leur formation, suite à une érosion importante. Au niveau des zones de subduction, une grande variété de roches plutoniques peut se former. La diorite est une des plus caractéristiques.

Bordas, Terminales S, 2012



Granodiorite
<http://svtlarde.pagesperso-orange.fr/page%2031%20fiche%20g%20490.htm>



La diorite

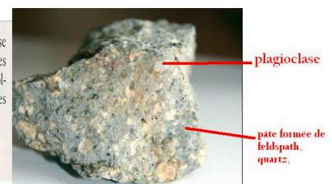
- Roche magmatique plutonique
- Structure grenue
- Composition minéralogique : plagioclases, amphiboles, biotite et muscovite, pyroxènes.

Bordas, Terminales S, 2012

La Rhyolite

Au niveau de l'arc volcanique, une quantité importante de lave visqueuse est produite à chaque éruption. Le refroidissement en surface de ces laves engendre la formation d'une grande diversité de roches qualifiées de volcaniques. Parmi celles-ci, l'andésite et la rhyolite sont caractéristiques des zones de subduction.

Bordas, Terminales S, 2012



<http://svtlarde.pagesperso-orange.fr/page%2031%20fiche%20g%20490.htm>



image en LPA

feldspath
pâte formée de microlites
quartz

La rhyolite

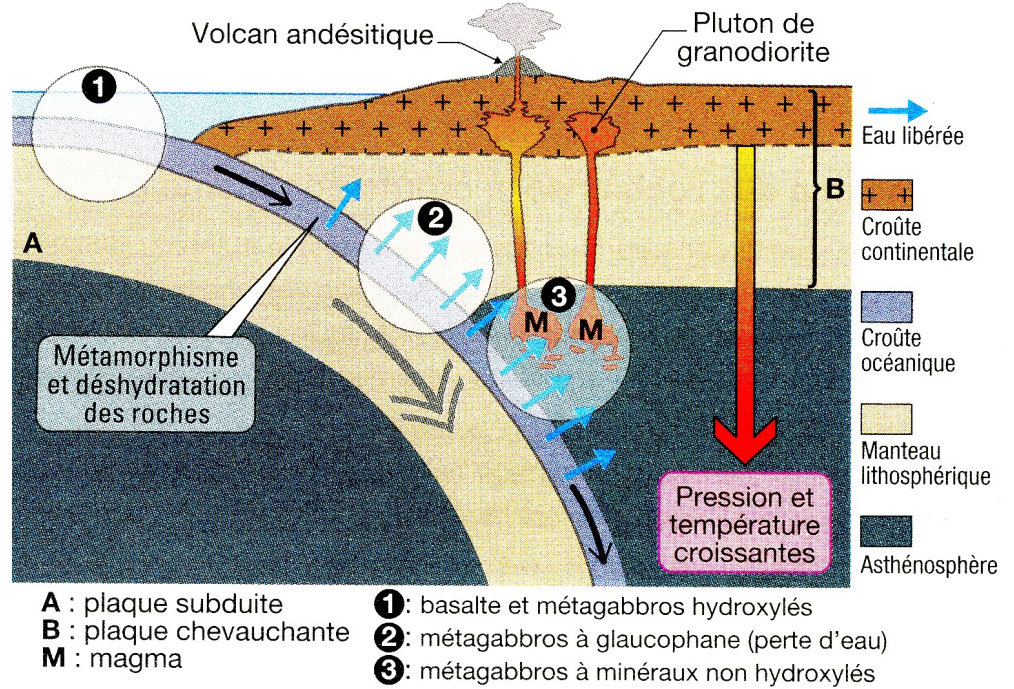
- Roche magmatique volcanique
- Structure microlitique
- Composition minéralogique :
 - phénocristaux de quartz, d'amphiboles, de feldspath potassique et plagioclases, de biotite ;
 - microlites de quartz et de feldspaths ;
 - verre (partie non cristallisée).

Bordas, Terminales S, 2012

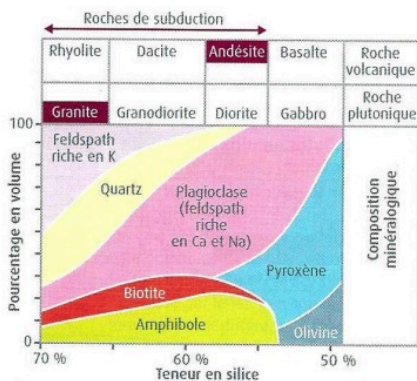
La majeure partie du magma se refroidit en profondeur et donne des roches plutoniques grenues de type granitoïdes, à composition minéralogique proche du granite. Les roches de composition granitique étant caractéristiques de la croûte continentale, celles issues du magma (**rhyolites, andésites, granitoïdes**) contribuent à produire un néomatériau continental. Si le magmatisme des dorsales engendre la croûte océanique (basaltes et

gabbros), le magmatisme des zones de subduction donne naissance à des roches de composition proche de celle de la croûte continentale (granitoïdes).

C'EST L'HYDRATATION DE LA CROÛTE OCÉANIQUE AU NIVEAU DE LA DORSALE ET LA SUBDUCTION QUI PAR DES MÉCANISMES À VISUALISER SUR LE SCHEMA-BILAN CI-CONTRE PERMETTENT LA GENÈSE DE LA CROÛTE CONTINENTALE (ROCHES VOLCANIQUES ET PLUTONIQUES : ANDÉSITES ET GRANITOÏDES ENTRE AUTRES) PAR FUSION PARTIELLE DES PÉRIDOTITES DU MANTEAU CHEVAUCHANT, HYDRATÉES PAR LA DÉSHYDRATATION DES MÉTAGABBROS DU FACIÈS SCHISTE VERT ET BLEUS EN RAISON DE LA HAUSSE DE LA PRESSIION (ET SECONDAIREMMENT DE LA TEMPÉRATURE) ACCOMPAGNANT L'ENFONCEMENT DE LA CROÛTE OCÉANIQUE DE LA LITHOSPHERE PLONGEANT DANS L'ASTHÉNOSPHERE, DÉSORMAIS PLUS DENSE QU'ELLE À 2000 KM ENVIRON DE LA DORSALE, DE DENSITÉ > 3,25 ET D'ÂGE > 30 MA.



Composition minéralogique	Quartz Feldspaths Orthose avec ou pas de F. Plagioclases minéraux secondaires : biotite - amphibole	Quartz Feldspaths Plagioclases (plus abondant que les F. orthose) minéraux secondaires : biotite - amphibole - pyroxène	Feldspaths Plagioclases Amphibole verte (Hornblende) biotite et pyroxène plus rares	
Structure				
Microolithique	Rhyolite	Dacite	Andésite	Refroidissement rapide
Grenue	Granite	Grandiorite	Diorite	Refroidissement lent
	Magma riche en silice (entre 65 et 75 %)	Magma assez riche en silice (entre 60 et 65 %)	Magma moyennement riche en silice (entre 50 et 60%)	Vitesse de refroidissement
				Chimie du magma



La **grandiorite** (de « grain » et de « diorite ») est une roche magmatique plutonique grenue proche du granite. Elle est le résultat de la fusion partielle de la péridotite du manteau au niveau de l'arc magmatique d'une zone de subduction. Cette péridotite en fusion partielle remonte et reste bloquée dans des réservoirs où elle va entamer une lente cristallisation en profondeur, donnant naissance à la grandiorite. Elle est principalement constituée de **quartz** (> 10 %) et de **feldspaths**, mais contrairement au granite, elle contient **plus de plagioclases** que d'orthose. Les minéraux secondaires sont la **biotite**, l'**amphibole** et le **pyroxène**.

La **diorite** est une roche magmatique plutonique grenue composée de **plagioclase**, d'**amphibole verte** (hornblende), de mica et de **biotite** plus rare. Elle se distingue du **gabbro** par l'**absence d'olivine**.

La **rhyolite** est une roche volcanique de couleur assez claire : rosée ou grise. C'est une roche à structure microlithique présentant des minéraux visibles à l'œil nu : quartz, feldspaths et amphibole.

VIDEOS

https://www.youtube.com/watch?time_continue=740&v=CFUTLU6Q0DM

POUR ALLER PLUS LOIN : LA CRISTALLISATION FRACTIONNÉE : <https://www.youtube.com/watch?v=5YVRH3K6ZB0>

<https://www.youtube.com/watch?v=QRMTB5F15JC>

ROCHES FORMÉES DE LA CROÛTE CONTEINTALE EN SUBDUCTION (PLAQUE CHEVAUCHANTE) <https://www.youtube.com/watch?v=PMIBYE6VKV0>

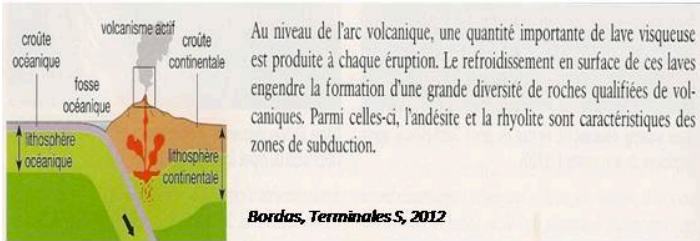
MATHRIX : <https://www.youtube.com/watch?v=QRMTB5F15JC&t=4145>

<https://www.youtube.com/watch?v=QRMTB5F15JC>

https://www.youtube.com/watch?v=W_DQH6D4ZHU&t=5125

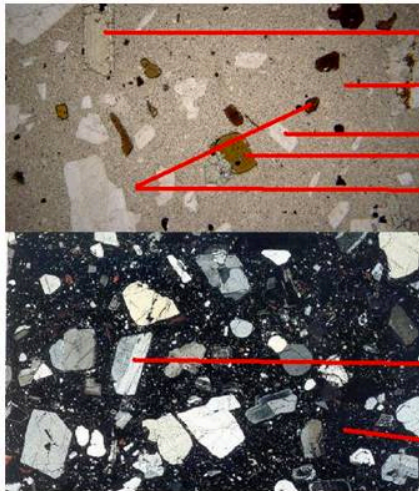
L'Andésite

<http://svtlarde.pagesperso-orange.fr/page%2031%20fiche%20g%E9ol.htm>



Bordas, Terminales S, 2012

Au niveau de l'arc volcanique, une quantité importante de lave visqueuse est produite à chaque éruption. Le refroidissement en surface de ces laves engendre la formation d'une grande diversité de roches qualifiées de volcaniques. Parmi celles-ci, l'andésite et la rhyolite sont caractéristiques des zones de subduction.



amphibole
hornblende brune
pâte formée de microlithes de
pyroxènes, amp, plagio, biotites
plagioclase
biotite
pyroxène

image en LPNA en haut
image en LPA en bas

plagioclase
pâte formée de microlithes de
pyroxènes, amp, plagio, biotites

<http://svtlarde.pagesperso-orange.fr/page%2031%20fiche%20g%E9ol.htm>

L'andésite

- Roche magmatique volcanique
- Structure microlitique
- Composition minéralogique :
 - phénocristaux de plagioclases, d'amphiboles, de pyroxènes, de biotite ;
 - microlites d'amphiboles et de plagioclases ;
 - verre (partie non cristallisée).

Bordas, Terminales S, 2012

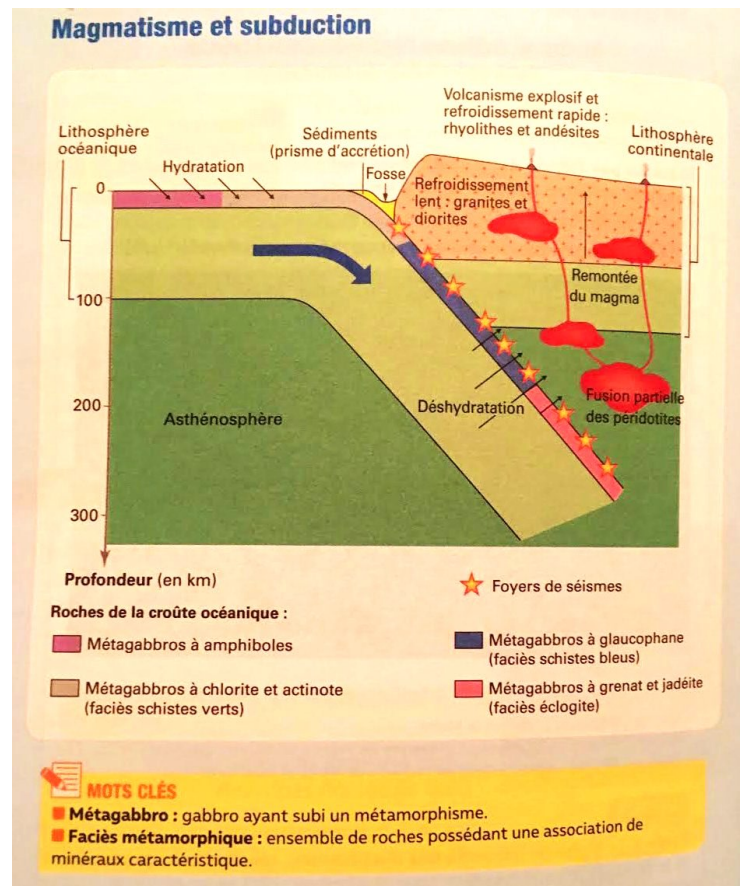
Etude macroscopique de l'échantillon

Couleur : claire (leucocrate), grise
Minéraux visibles à l'œil nu : amphibole / plagioclase zoné / pyroxène
Texture de la roche : Microlitique
Famille de la roche : Roche magmatique volcanique (cristallisation en surface)
Localisation : Volcanisme en zone de subduction - Cordillères des Andes
Autres caractéristiques : (par rapport au basalte, pas d'olivine !)
Série sub-alkaline

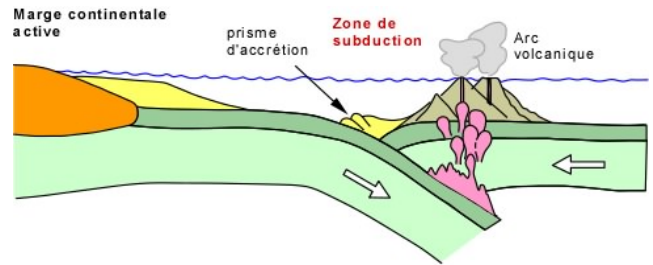
MINÉRAUX HYDROXYLÉS (à OH) : AMPHIBOLES
 $NACa_2(Mg, Fe)_4Si_6Al_3O_{22}3Al(OH)_2$ COMME LA
 HORNBLÉNDÉ, PHLOGOPITE
 $KMg_3(Si_3AlO_{10})(F, OH)_2$ ET DES MICAS
 $K(Fe, Mg)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$ COMME LA BIOTITE
 $K(Mg, Fe)_3(OH, F)_2(Si_3AlO_{10})$ DES
GRANODIORITES, GRANITES, DACITES,
RHYOLITES, ANDÉSITES

VIDEOS

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?TIME_CONTINUE=740&V=CFUTLU6Q0DM](https://www.youtube.com/watch?time_continue=740&v=CFUTLU6Q0DM)
 POUR ALLER PLUS LOIN : LA CRISTALLISATION FRACTIONNÉE :
[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=5YVRH3K6ZB0](https://www.youtube.com/watch?v=5YVRH3K6ZB0)
[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=QRMTB5F15JC](https://www.youtube.com/watch?v=QRMTB5F15JC)



hypothèse émise aux vues des acquis de cycle 4 : « la lithosphère de plus de 200 Ma a disparu par enfouissement dans l'asthénosphère »
 Vérifions cette hypothèse par des arguments scientifiques, recherchons des indices explicatifs.



COMMENT UNE DENSITÉ D'UN MATÉRIAU PEUT S'ÉLEVER EN SE DÉPLAÇANT ?

hypothèses :

- **H1** : un épaississement engendre une prise de masse et son poids en N peut dépasser en valeur les forces opposées (résistances diverses, poussée d'Archimède)
- **H2** : un refroidissement progressif en s'éloignant de la dorsale contracte le matériau qui devient plus dense

3/ une limite thermo-mécanique en zone de subduction

a/ une limite inférieure thermique

- au niveau de la **zone volcanique** : anomalie positive du flux thermique très élevé (jusqu'à x 15 la valeur moyenne des autres régions du globe)
- **au niveau de la fosse océanique** : anomalie négative du flux (plus faible que la moyenne) : flux thermique faible (en $W.m^{-2}$)
- **au fur et à mesure que l'on s'éloigne de ces 2 zones** : il redevient moyen, environ $80mW.m^{-2}$

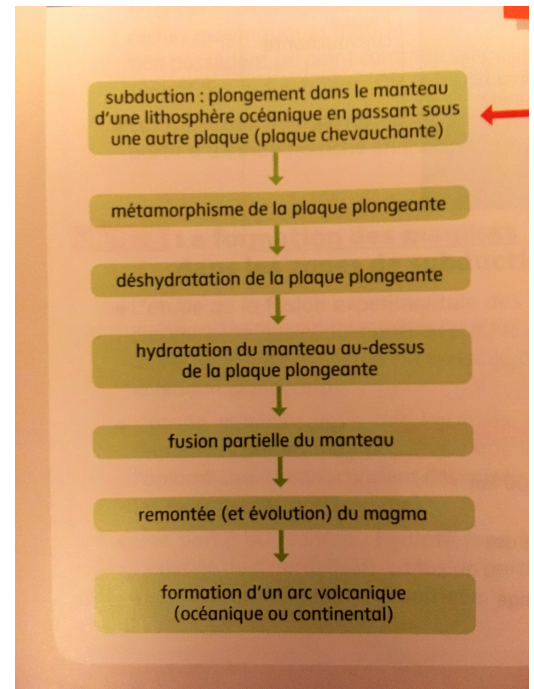
La modélisation des **isothermes** (variations de température en profondeur) dans une zone de subduction montre des anomalies thermiques négatives : elles sont **déformées**, comme si une zone froide locale plongeait sans avoir le temps de s'équilibrer en température avec la zone plus chaude dans laquelle elle s'enfonce : elle refroidirait son environnement plus vite qu'elle ne se réchauffe en s'y enfouissant.

géotherme : sur un graphique, courbe représentant la température en fonction de la profondeur (ou de la pression)

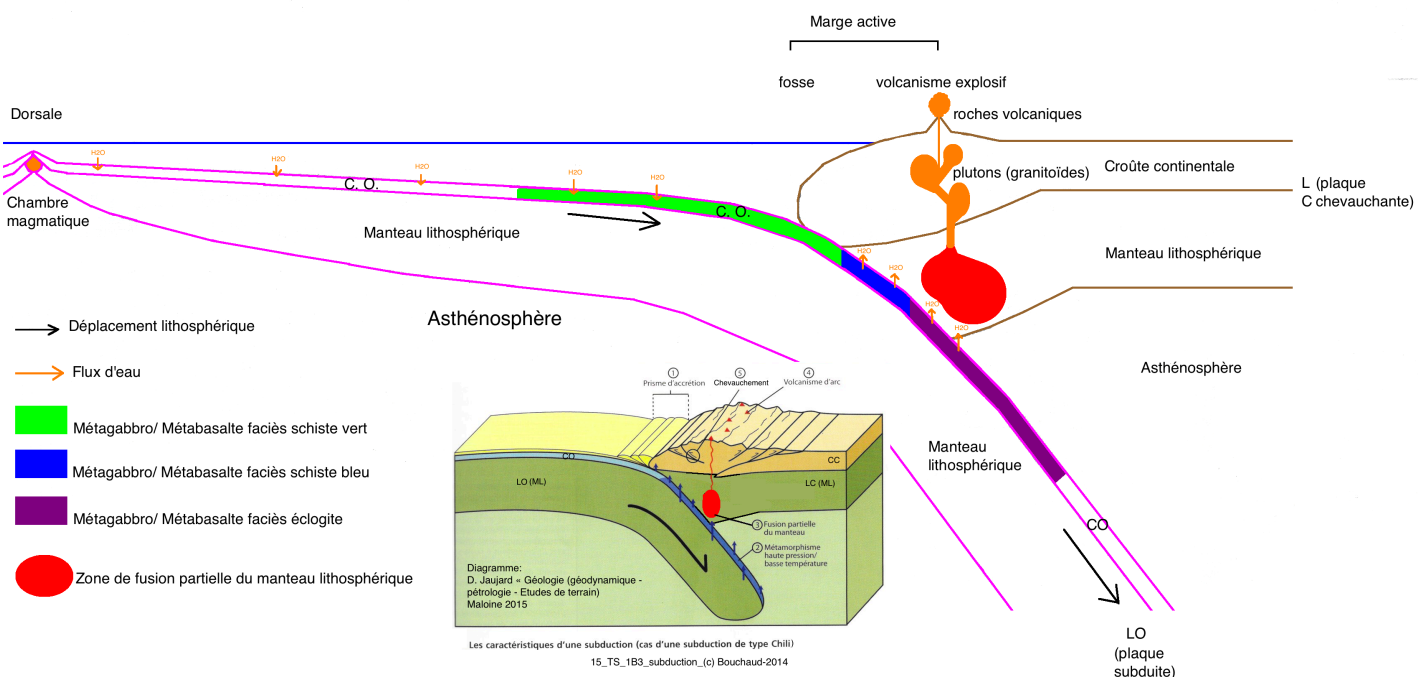
isotherme : sur une carte ou sur une coupe, courbe joignant les points d'une surface qui sont à la même température

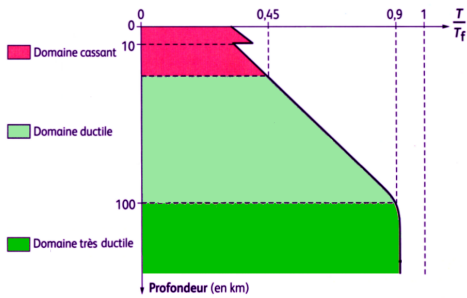
La capacité de déformation d'une roche est liée au rapport T/T_f où T est la température de la roche et T_f sa température de fusion. Plus ce rapport est proche de 1, et plus la roche est déformable.

< - 100km : $R < 0,5 \Rightarrow$ roche à comportement cassant = lithosphère.



LE MAGMATISME DE SUBDUCTION ET LA PRODUCTION DE MATERIAUX CONTINENTAUX



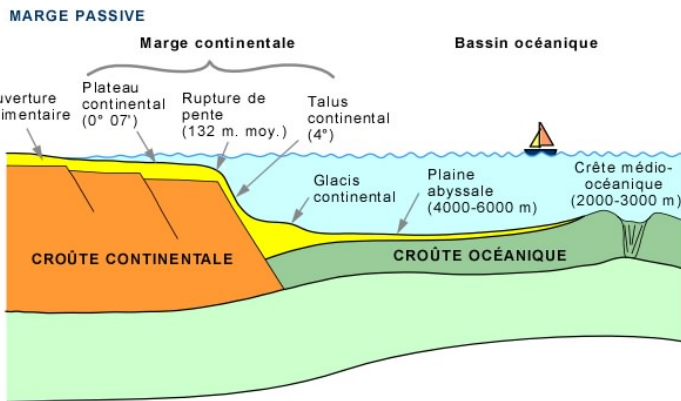
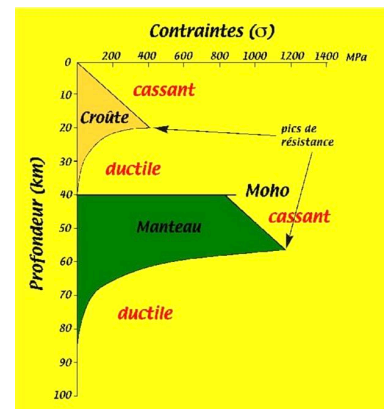


> - 100 km : $0,5 < R < 1$ => roche à comportement ductile = asthénosphère.

Dans les conditions (P,T) de la lithosphère, les roches ont un comportement cassant et la chaleur se propage par conduction (sans mouvement de transfert).

À partir de la LVZ (isotherme 1300 °C) les conditions (P,T) sont voisines de celles nécessaires au début de fusion partielle de la péridotite mantellique : les ondes sismiques y

sont légèrement ralenties (LVZ), les roches à comportement ductile et la chaleur transmise par conduction mais aussi convection (avec cellules de transfert). Δ structure pétrographique résulte d'une Δ composition chimique entre



croûtes (de composition basaltique OU granitique), manteau (formé de péridotites) et noyau. Δ structure géophysique repose, elle, sur une différence de comportement mécanique des roches. Les croûtes océanique et continentale et la partie supérieure du manteau supérieur (jusqu'à la LVZ), sont solidaires sur le plan mécanique et forment ensemble la lithosphère rigide et cassante. L'asthénosphère sous-jacente est constituée du reste du manteau supérieur et, bien que solide, se caractérise par sa ductilité.

La convection est un transfert de chaleur par mouvement de matière. Les mouvements au sein du manteau sont lents (quelques cm.an-1) et affectent un SOLIDE (déformable) ⇒ voir aussi TS

Les matériaux terrestres chauds et peu denses montent puis s'étalent à la surface de la Terre alors que les matériaux froids et denses s'enfoncent dans le manteau. C'est la gravité qui attire les masses les plus denses vers le bas. Ces dernières, en prenant la place des masses les moins denses, repoussent celles-ci vers le haut. A composition chimique, minéralogique et pétrologique homogènes, le manteau inférieur (-670 à -2900 km) ne présente de différence que de température. Les zones mantelliques rouges sont des masses de péridotite SOLIDES et CHAUDES, qui montent donc, alors que les zones lithosphériques bleues sont des masses de péridotite SOLIDES et FROIDES (avec un peu de croûte) qui descendent. Il ne s'agit en aucun cas de magma.

CONCLUSION

une subduction implique toujours 2 plaques en convergence : la plus lourde entre alors en subduction par simple effet de différence de masse volumique. La lithosphère continentale ne s'épaississant pas avec le temps contrairement à la lithosphère océanique, c'est le plus souvent la lithosphère océanique qui subducte sous une autre lithosphère. Il existe quelques rares cas de subduction continentale qui se produisent dans les zones de collision très avancées.

conséquences de la subduction : très importantes sur la sédimentation par la formation d'un prisme d'accrétion, par la mise en place de relief positifs particuliers accompagnés souvent de volcanisme andésitique et métamorphisme intense au niveau du slab. Au niveau géodynamique, la subduction peut être interprétée comme la branche descendante

de la convection mantellique. Le matériel ainsi enfoui sera recyclée comme on peut le voir au niveau de certains points chauds. Enfin, il est important de noter que la subduction a participé et continue dans une moindre mesure à former la croûte continentale notamment par la mise en place de zone adakitique/komatiitique et par collage. Toute subduction se termine inéluctablement par une collision qui permet de former des chaînes de montagnes. Cependant, si on regarde les autres planètes du système solaire, peu ont certainement présente de la subduction mais peuvent pour autant montrer des chaînes de montagnes.

nombre de plaques : <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/plaque-tectonique-plaques-tectoniques-compte-terre-10922/>

Mathrix : modèle plaquiste : https://www.youtube.com/watch?v=J6-OgICL2jk&list=PLB2JikIAINHEPYFJULamNBXPhD_SliyxL&index=9&t=28s

▪ Les zones de subduction

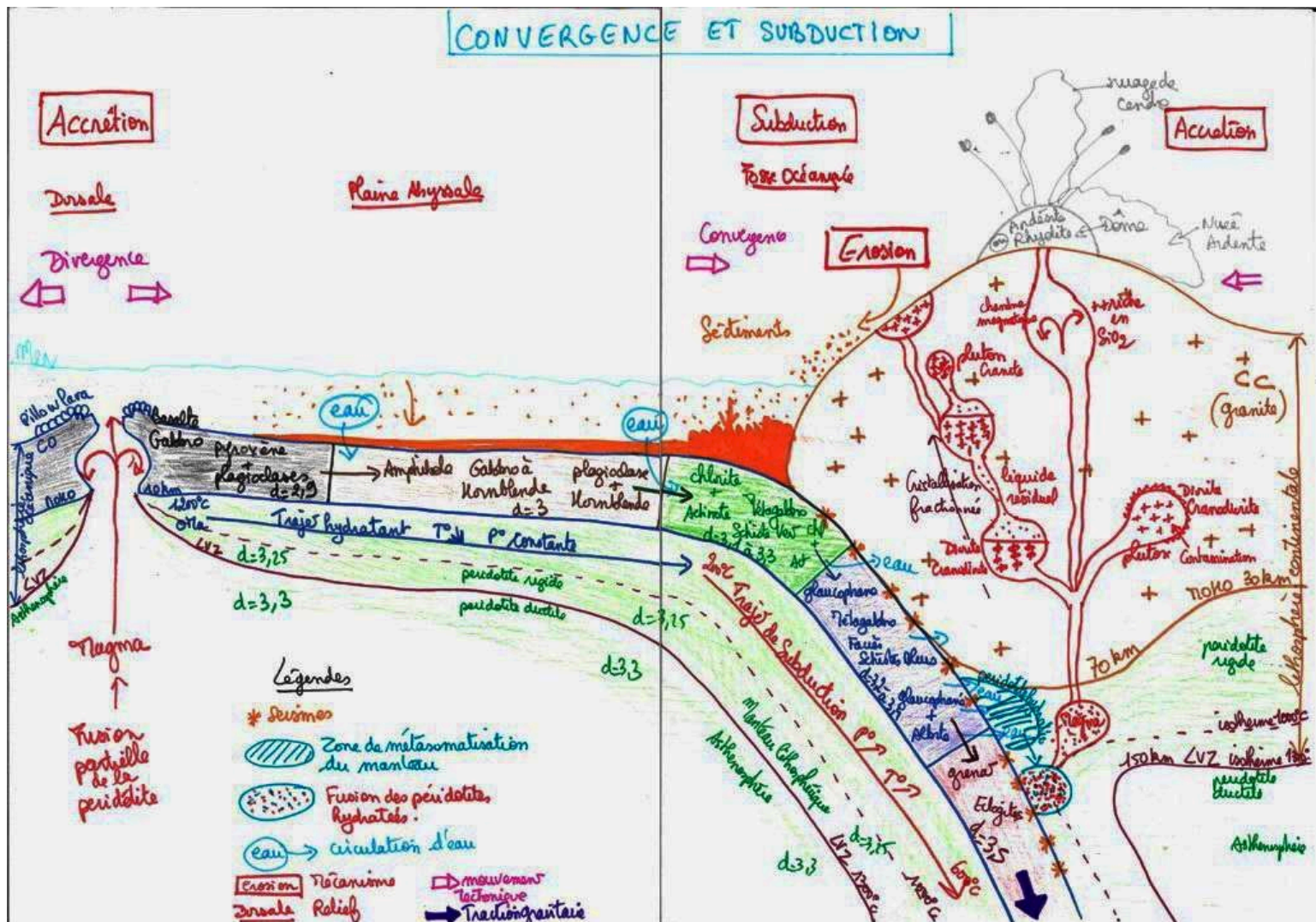
Connaissances

BILAN

- marqueurs géologiques :
volcans + séismes
- thermo-sismiques :
sismicité lithosphérique du slab du plan de Benioff et de la plaque chevauchante tome anomalies positive du slab (du plus dense que prévu interprété comme plus froid (années 60))
- thermiques : positif à l'arc, négatif à la fosse, anomalies négative des isothermes dont la déformation suit le slab (logiciel tomographie Sismique et tectoglob) :
l'inertie thermique faible des roches lithosphériques fait que du froid qui s'enfonce dans du plus chaud se réchauffe peu et refroidit l'encaissant plus qu'il ne se réchauffe donc
- géodésiques : anomalies négative de g à la fosse, positive au niveau de l'arc
- volcano-magmatiques : volcanisme explosif (lié « au gaz, visqueux), hydraté avec néocroûte continentale (granodiorites, granites, diorites, andésites, dacites et rhyolithes en fonction du temps de refroidissement du magma et de la position, ce qui affecte la composition net la structure des roches microlithiques ou microlithiques : plus un minéral a le temps de cristalliser, plus il est gros et inversement où il forme des bagues et parfois ne cristallise pas (pâte amorphe, verre, voir basaltes))

La lithosphère océanique plonge en profondeur au niveau d'une zone de subduction. Les zones de subduction sont le siège d'un magmatisme sur la plaque chevauchante. Le volcanisme est de type explosif : les roches mises en place montrent une diversité pétrologique mais leur minéralogie atteste toujours de magmas riches en eau. Ces magmas sont issus de la fusion partielle du coin de manteau situé sous la plaque chevauchante ; ils peuvent s'exprimer en surface ou peuvent cristalliser en profondeur, sous forme de massifs plutoniques. Ils peuvent subir des modifications lors de leur ascension, ce qui explique la diversité des roches. La fusion partielle des péridotites est favorisée par l'hydratation du coin de manteau. Les fluides hydratant le coin de manteau sont apportés par des transformations minéralogiques affectant le panneau en subduction, dont une partie a été hydratée au niveau des zones de dorsales. La mobilité des plaques lithosphériques résulte de phénomènes de convection impliquant les plaques elles-mêmes et l'ensemble du manteau. L'augmentation de la densité de la lithosphère constitue un facteur important contrôlant la subduction et, par suite, les mouvements descendants de la convection. Ceux-ci participent à leur tour à la mise en place des mouvements ascendants.

LA SUBDUCTION EST LE PROCESSUS PERMETTANT LA DISPARITION DE PALEOCEANS, À RÔLE FONDAMENTAL DANS LE RENOUVELLEMENT DES FONDS OcéANIQUE ET LE REMODELAGE DE LA CROûTE TERRESTRE.



Capacités

- Analyser les résultats de différentes méthodes pour identifier le plan de Wadati-Benioff.
- Relier la minéralogie des roches (présence de minéraux hydroxylés) mises en place (andésite, rhyolite, granites) et l'état d'hydratation du magma.
- Utiliser le diagramme de phases des péridotites pour montrer les effets de l'hydratation.
- Comparer la minéralogie d'échantillons illustrant la déshydratation de la lithosphère (schiste bleu ; éclogite).
- Discuter les relations entre vitesse d'accrétion et pourcentage de subduction aux frontières de plaques.
- En considérant la densité moyenne de la lithosphère et celle de l'asthénosphère, déterminer l'épaisseur et l'âge de la lithosphère qui induiraient un déséquilibre gravitaire. Confronter les valeurs aux situations réellement observées.

