

### III/ Voir et comprendre le fonctionnement des dorsales.

**Famous** a marqué en 1974 une étape très importante dans la recherche et l'étude des grands fonds. Pour la première fois, deux pays, les Etats-Unis et la France, incontestables pionniers et leaders dans la recherche océanographique et la conquête des abysses, après avoir été un temps concurrents, décident de s'unir et mettent leurs ressources humaines et techniques en commun. Au plan scientifique, ce qui n'était encore qu'une théorie reposant sur des observations obtenues en aveugle depuis la surface et sur de nombreuses hypothèses, va être vérifiée par la vérité terrain. Famous a permis cette première observation directe validant toute une théorie.

La première plongée a lieu le 2 août 1973. Pendant cinq heures, *Archimède* avec Xavier Le Pichon à bord, explore à 2680 m les pentes du volcan central et récolte de très nombreux échantillons de roches. Les observations laissent supposer que les phénomènes volcaniques liés à l'écartement des plaques sont récents, sinon actuels et qu'il doit exister des centres actifs visibles. *Archimède* plongera encore 6 fois à la recherche de ces sites, parcourant 9 km sur le fond. Il récolte 90 kg de roches, prend plus de 2000 photographies, un bilan semblable à celui d'une mission Apollo sur la Lune ! Mais deux années plus tôt !!



Archimède en surface, remorqué par son navire support, le Marcel Le Bihan

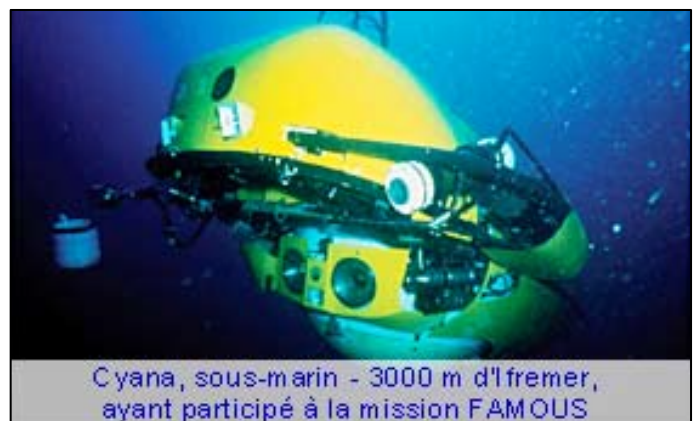


Le sous-marin américain Alvin

Français et Américains se partagent les tâches : *Archimède* doit travailler sur les pentes du rift dont on ne sait encore rien, les Américains avec l'*Alvin* vont explorer la vallée dans l'axe du rift au nord du Mont de Vénus (au total 17 plongées) ; Pourtant on a eu très peur ; au cours d'une plongée, il est resté coincé dans une faille. Pendant deux heures et demi, son pilote essaie de le dégager alors que déjà l'*Archimède* se prépare à intervenir. Après cent cinquante minutes d'angoisse, mais sans affolement, le pilote parvient, par une série de manœuvres éprouvantes, à se libérer.

*Cyana*, sous la direction de Le Pichon se focalise sur l'intersection du rift et de la faille transformante perpendiculaire. *Cyana* réalise ainsi au cours de ses premières plongées, la traversée de la zone tourmentée par les séismes sous-marins qui sépare les plaques Afrique et Amérique.

Cette mission va permettre de vérifier les prédictions de la tectonique des plaques et d'observer les dorsales en action.



Cyana, sous-marin - 3000 m d'l'fremer, ayant participé à la mission FAMOUS

**Les résultats :**

## 1. Morphologie du rift (📖 page 206)

Les dorsales sont des chaînes de montagnes volcaniques qui parcourent les océans du globe. Elles forment un réseau totalement interconnecté s'étendant sur 70.000 kilomètres à travers les océans de la Terre. Chaîne plus ou moins continue de monts sous-marins, les dorsales s'élèvent d'environ 1.500 mètres au-dessus de la plaine abyssale (qui gît à -4.000 mètres environ).

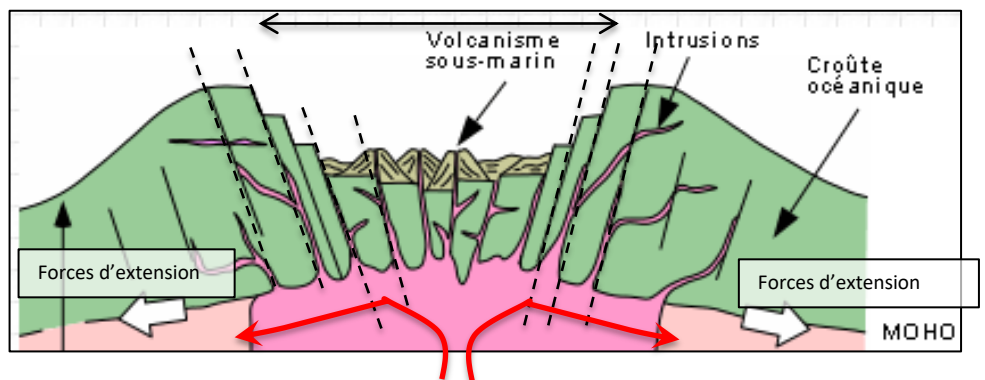
Leur zone axiale est le lieu **d'une intense activité sismique, tectonique, volcanique et hydrothermale** et représente le siège de la création de la nouvelle croûte océanique. Une fois formée à l'axe de la dorsale, la nouvelle croûte va être poussée de chaque côté pour laisser la place à du nouveau matériel crustal. Ce processus de formation est relativement continu et s'appelle « **l'accrétion océanique** ».

**Exemple d'une dorsale dite « lente »** : Au centre, on observe un **effondrement central** : le rift, bordé de failles normales où se déroulent des épanchements volcaniques (laves basaltiques)

Une chaîne de montagnes volcaniques avec un effondrement central (<->)

Bordé de failles normales (- -)

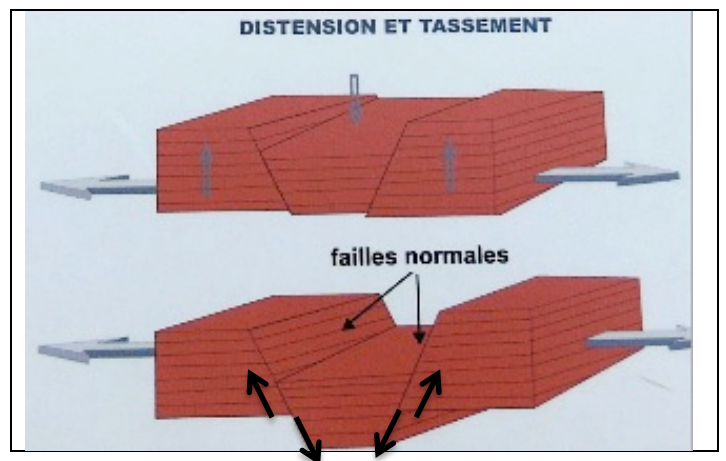
Chambre magmatique  
Remontées volcaniques le long des failles normales → volcanisme sous-marin



Interprétation :

L'axe de la dorsale se trouve à l'aplomb de **mouvements de convection ascendants**, ils provoquent la mise en place de forces d'extension qui étirent la croûte océanique provoquant la formation **de failles normales**, le long desquelles la lave, issue de la chambre magmatique, s'épanche.

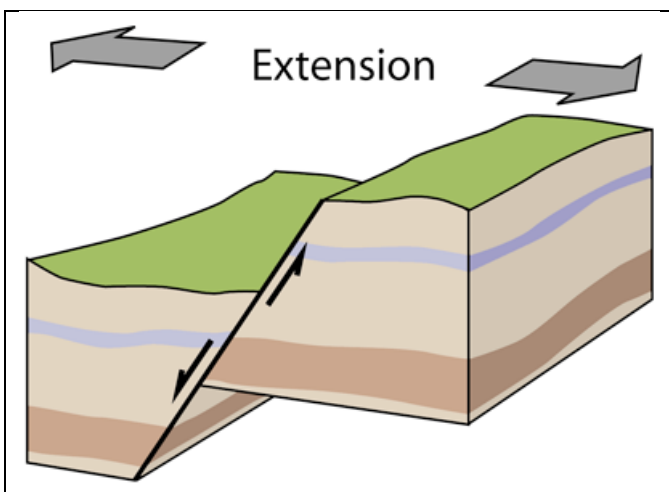
**La croûte océanique s'étire et s'amincie, la zone axiale s'effondre.**

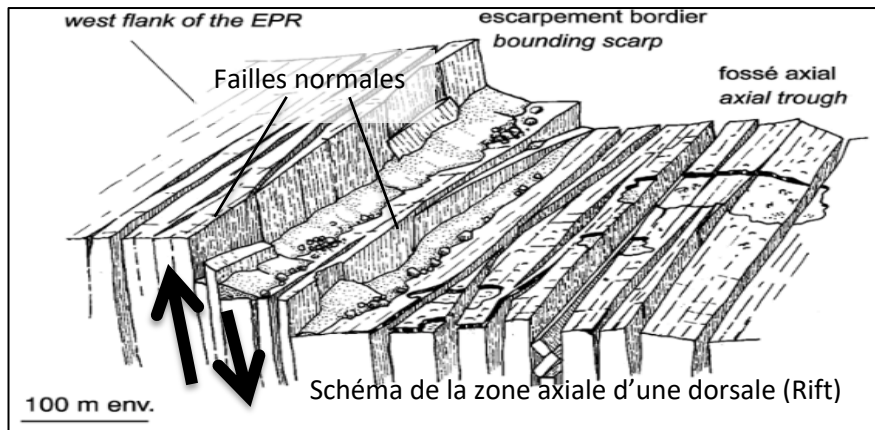


Les failles normales sont les témoins de forces d'extension

**NB** : la morphologie des dorsales dépend de la vitesse d'expansion : les dorsales « rapides » ne présentent pas de réel rift avec fossé d'effondrement.

La fracturation axiale du rift permet une **circulation intense de l'eau de mer** à l'origine de phénomènes d'hydrothermalisme. Cette circulation va jouer un rôle important dans le refroidissement de la croûte et son évolution.





## 2. Les roches observées. (pages 207)

Sédiments		Roches formées par accumulation de débris minéraux et/ou organiques, compaction et solidification.
Basaltes en coussins (pillow lava)		Roche microlithique (verre + petits minéraux cristallisés) = refroidissement rapide en surface = roche volcanique Feldspath (plagioclase) + pyroxène + olivine - en « coussins » = refroidissement au contact de l'eau, froide → vitrification à la périphérie
Basaltes en filons		- en « filons » : Refroidissement dans les failles normales (Les minéraux peuvent être un peu plus gros (temps de cristallisation >))
Gabbros		Roche grenue (entièrement cristallisée, minéraux visibles à l'œil nu, jointifs) Feldspath (plagioclase) + pyroxène + olivine
MOHO		
Péridotites		Roche grenue (entièrement cristallisée, minéraux visibles à l'œil nu, jointifs) Pyroxène + olivine

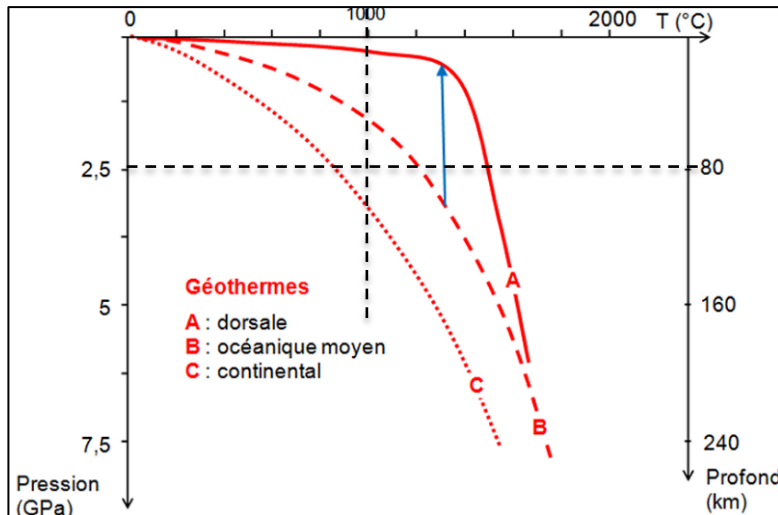
couleur, texture, densité	échantillon macroscopique	minéralogie	LPNA	LPA
<b>BASALTE</b>				
roche sombre (noire) parfois avec des vacuoles (trous ronds), et quelques minéraux (noirs et verts foncés) texture microlithique au microscope. d : 2,9		verre volcanique, microlites de Plagioclases, Pyroxènes, parfois Olivines petits Oxydes		
<b>GABBRO</b>				
roche foncée avec des minéraux sombres (pyroxènes) et plus clairs (feldspaths) texture grenue ou microgrenue (entièrement cristallisée), d : 3		Orthopyroxènes, Clinopyroxènes, Feldspaths plagioclases, amphiboles Oxydes		
<b>PÉRIDOTITE</b>				
roche verte, parfois oxydée de couleur ocre. texture grenue (entièrement cristallisée) d : 3,2		Olivine (vert clair, + 50%) Orthopyroxènes et Clinopyroxènes (vert foncé, noir)		

**Pour comparaison : croûte continentale :**

GRANITE				
<p>roche claire, parfois colorée (gris, bleu, rose, beige,...)</p> <p>texture grenue (entièrement cristallisée)</p> <p>d : 2,7</p>		<p>Quartz (gris « gros sel »)</p> <p>Feldspaths (vitreux, colorés, maclés)</p> <p>Micas (noir = biotite, argent = muscovite)</p> <p>parfois Amphiboles</p>		

**3. Le flux thermique (📖 page 208/209)**

La tomographie sismique montre des anomalies thermiques positives au niveau des dorsales : le manteau remonte et induit un flux thermique important



Doc 2 variation de la température en fonction de la profondeur (pression) dans différents contextes géologiques (A, B, C)  
**Géotherme** : courbe de variation de la température de la Terre (en fonction de la profondeur)

Lire le graphique :

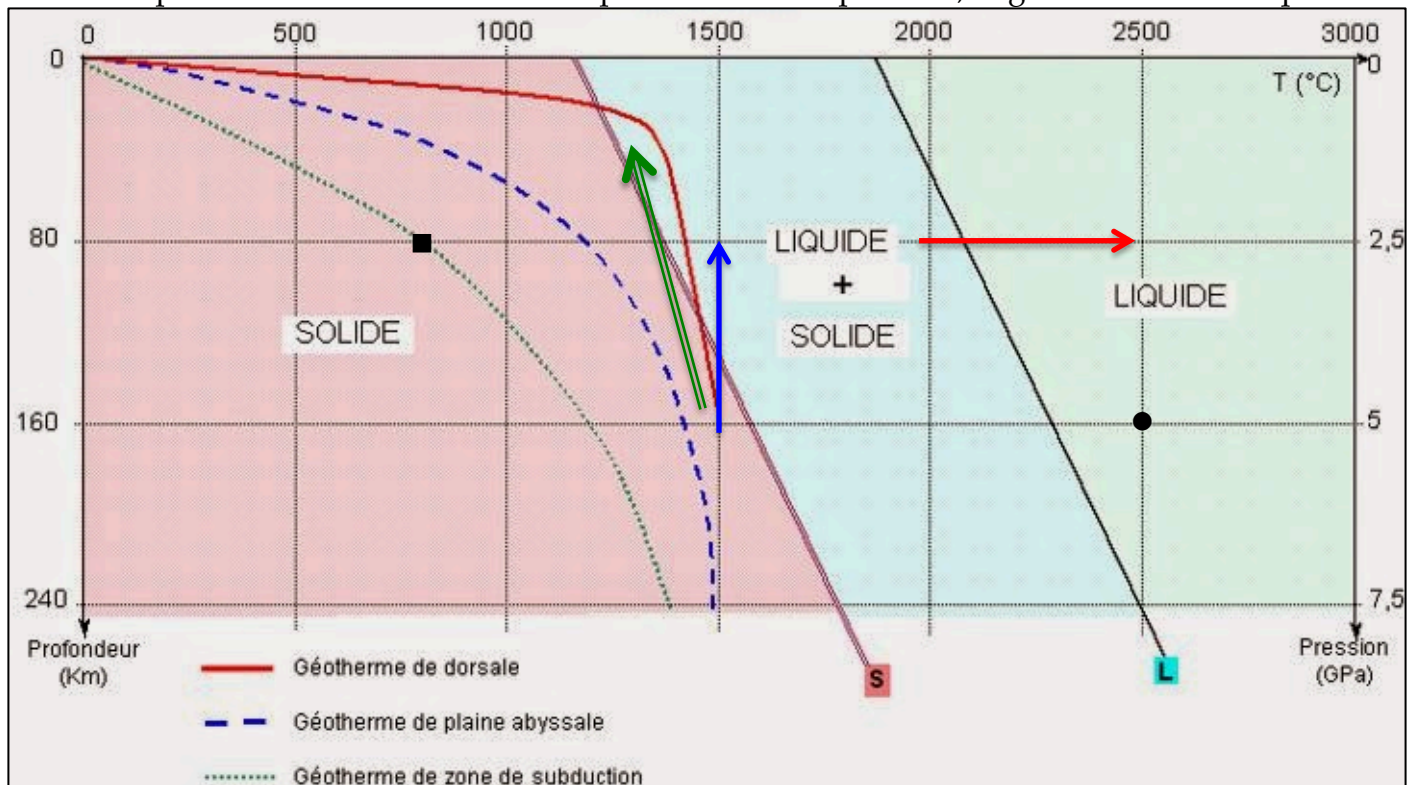
T° à 80 Km de profondeur : A 1500°, B 1200° C 800°

Profondeur où la T° est de 1000°C : A 10 Km, B 60 Km, C 100 Km

Donc : **au niveau des dorsales, la température est beaucoup plus élevée à une profondeur moindre.**

**4. Le magmatisme des dorsales (📖 page 209)**

Etat de la péridotite en fonction de la température et de la pression, et géothermes océaniques



**Lire le graphique :**

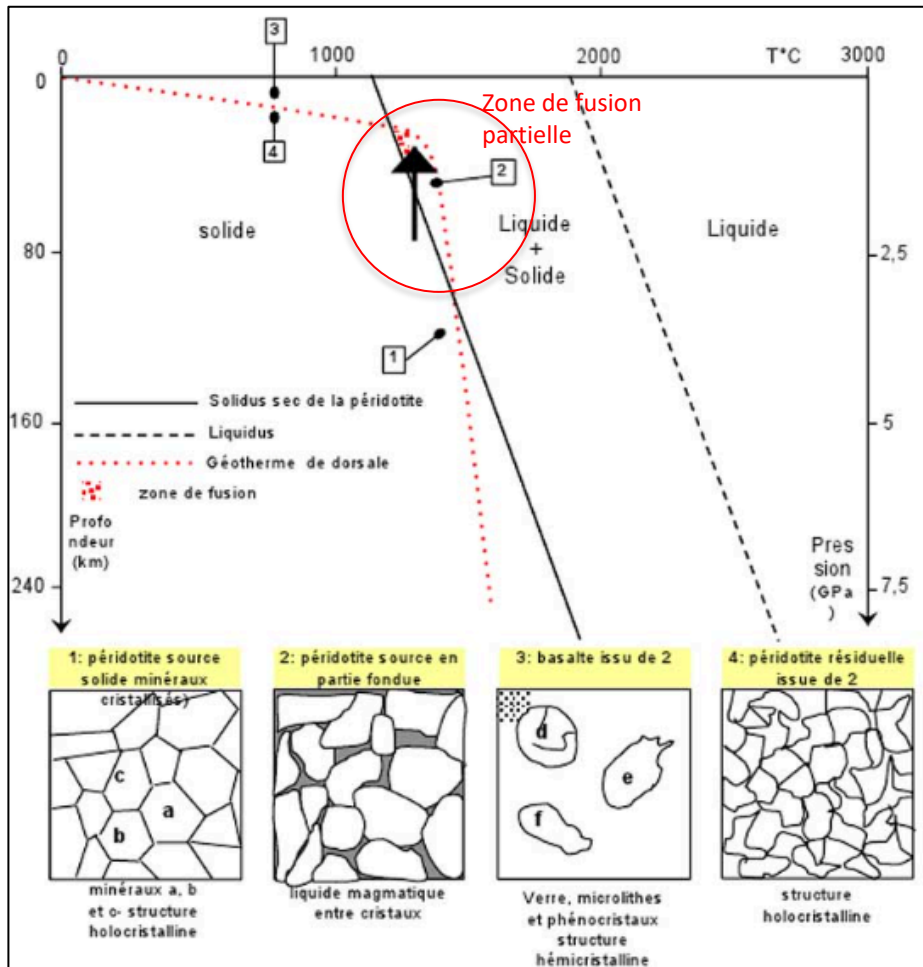
**S = Solidus** : passage de l'état solide → solide / liquide = **fusion partielle**

**L = Liquidus** : passage de l'état solide/liquide → liquide = **fusion totale**

## Etat de la péridotite :

- 2000°C, 5GPa (●) **LIQUIDE** ;
- À 80Km de profondeur dans une zone de subduction (■) **SOLIDE** ;
- Si elle passe expérimentalement de 2000 à 2500 °C sous une pression de 2,5 GPa (→) **FUSION TOTALE** ;
- Si elle passe expérimentalement de 5 à 2,5 GPa pour une T° de 1500°C (→) **FUSION PARTIELLE**

Si on dessine le trajet de la péridotite sous une dorsale : (remontée de l'asthénosphère : =>) : **FUSION PARTIELLE**



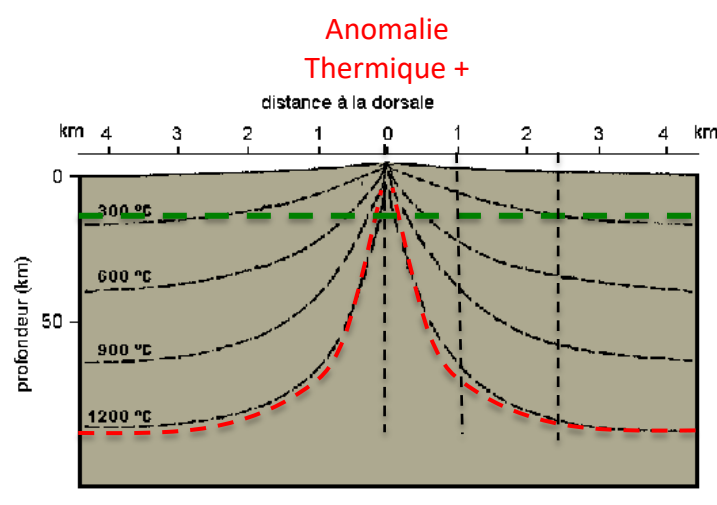
Sous les dorsales, les péridotites du manteau remontent. Leur température diminue peu mais elles subissent surtout une **décompression** qui entraîne leur fusion partielle (fusion adiabatique). Elles franchissent le solidus aux alentours de 100 Km de profondeur et commencent à fondre, (fusion partielle) →

- **magma** composé des minéraux dont le point de fusion est le plus bas → à l'origine des basaltes (refroidissement rapide) et des gabbros (refroidissement lent).

- **minéraux non fondus** qui sédimenteront et donneront les péridotites de la base du manteau, appauvries en éléments qui ont fondu.

NB : holocristalline = grenue, hémicristalline = microlithique

## Isothermes au niveau d'une dorsale



Donc au niveau des dorsales : (📖 page 210)

L'isotherme 1200°C remonte, ainsi - à 10 Km de profondeur, il fait plus de 1200°C sous les dorsales mais 400°C à 1Km de la dorsale et 300°C à 2,5 Km. Plus on se rapproche de la dorsale plus l'isotherme 1200°C remonte

L'isotherme 1200° marque la limite entre les péridotites du manteau lithosphérique (rigides) et celles de l'asthénosphère (ductiles)

Donc sous les dorsales on a un flux de chaleur provenant d'une remontée de l'asthénosphère.

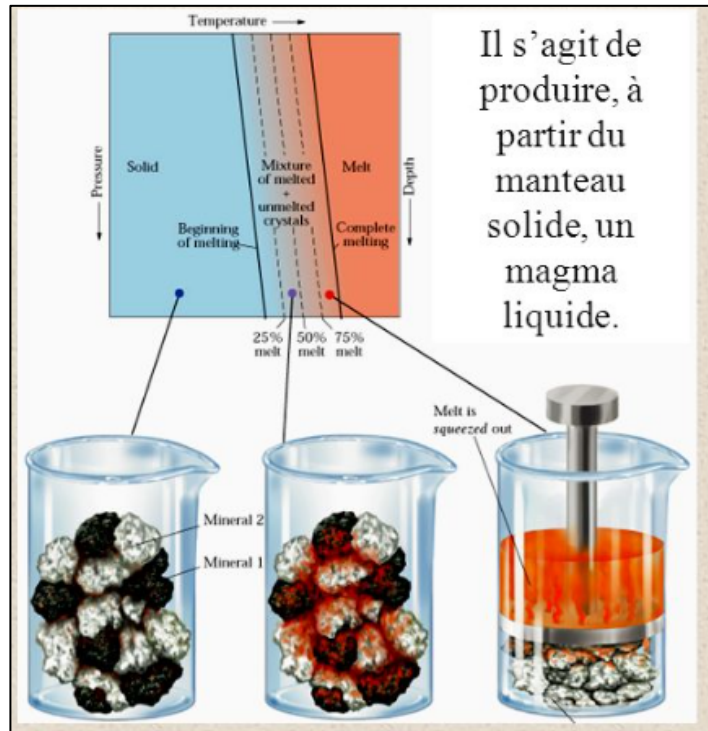
Composition des différentes roches de la lithosphère océanique (et asthénosphère)

	Si	Al	Fe	Mg	K
<b>Basalte ou gabbro</b>	23,3 ↗	7,3 ↗	8,8 ↗	6,1 ↘	0,4 ↗
<b>Péridotite de la lithosphère</b>	20,2 ↘	0,3 ↘	4,7 ↘	30,3 ↗	0,000 ↘
<b>Péridotite de l'asthénosphère</b>	20,8	0,9	5,6	25,8	0,1

**Observation :**

**Le magma, provenant de la fusion partielle des péridotites de l'asthénosphère**, à l'origine des basaltes et gabbros est enrichi en minéraux silicatés (les premiers à fondre) et en moindre mesure Fe et K.

Les péridotites résiduelles, issues des minéraux fondant moins sont appauvries en minéraux qui ont formé le magma mais enrichies en Mg (fusion moins rapide)

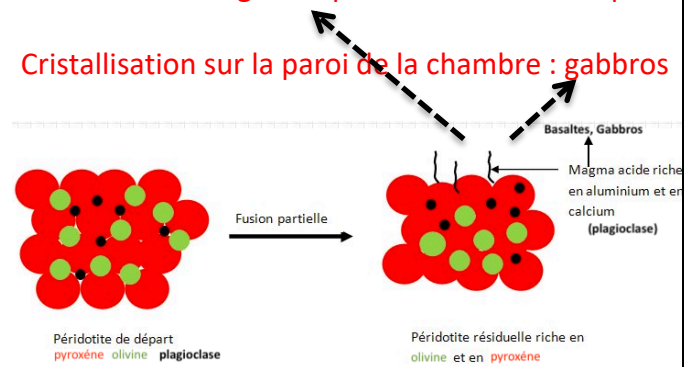


Les péridotites du manteau sont constituées de plusieurs minéraux aux propriétés différentes, ainsi seuls quelques éléments fondent : la fusion est partielle. ( $\pm 15\%$  pour les basaltes)

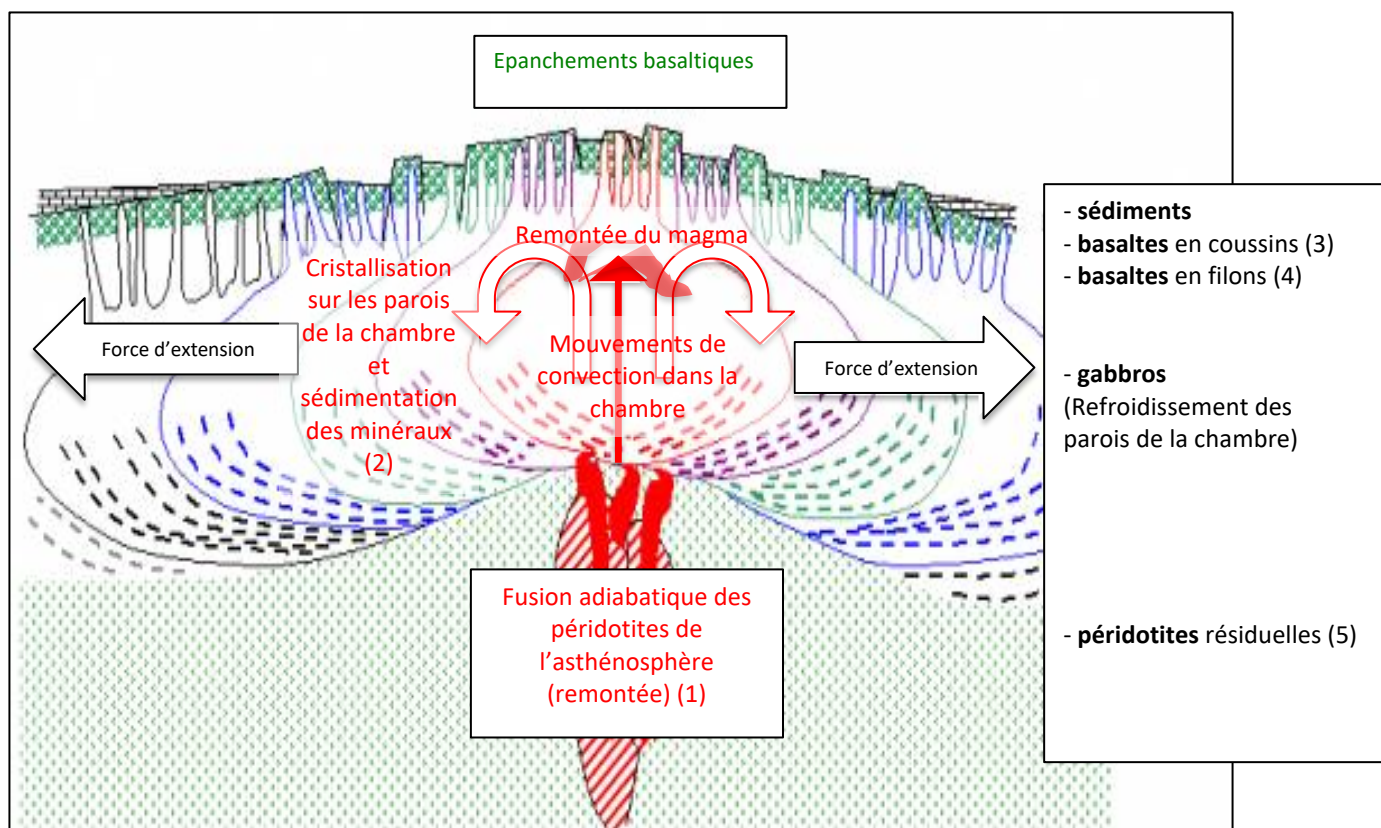
Elle produit un magma mais aussi des éléments solides, résiduels.

**Remontée du magma : épanchements basaltiques**

**Cristallisation sur la paroi de la chambre : gabbros**



Fonctionnement de la chambre magmatique (en fait assez réduite) :



La **chambre magmatique**, une « poche » contenant un mélange de cristaux et de liquide magmatique. Elle est alimentée par la fusion partielle des péridotites, permise par leur **décompression** lors de la remontée de l'asthénosphère (fusion adiabatique) (1)

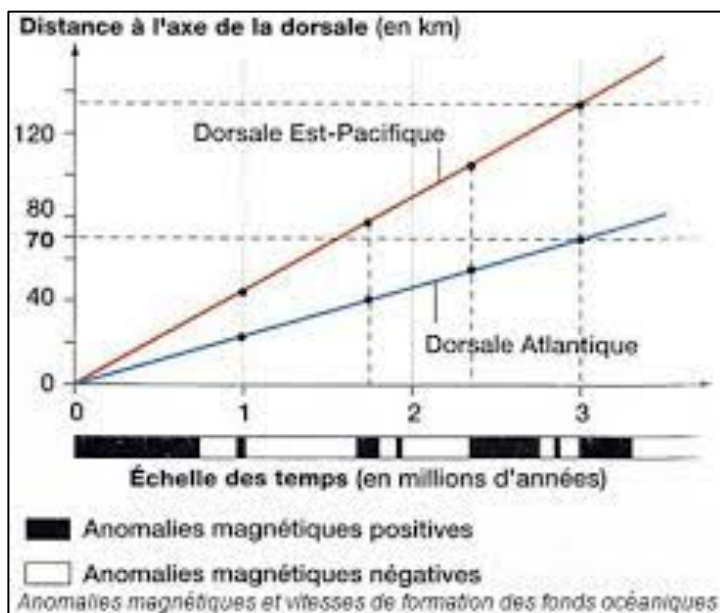
Cette bouillie cristalline est plus chaude à sa base (1.250 °C environ), alors que la partie supérieure et les côtés sont efficacement refroidis grâce à la circulation hydrothermale. C'est ainsi que vont cristalliser les **gabbros** qui vont former les niveaux les plus profonds de la nouvelle croûte océanique. (2)

Quelques fissures vont permettre aux laves de s'échapper et de cristalliser en surface sous la forme de **basaltes** en coussin. (3) et en filons (4)

A la base, les minéraux des péridotites qui ne sont pas entrés en fusion s'accumulent et forment les **péridotites du manteau supérieur**, (5) appauvries, relativement, en plagioclases (*qui fondent en premier et enrichissent le magma à l'origine des basaltes et des gabbros*)

L'observation en direct du fonctionnement des dorsales a confirmé la théorie de l'expansion océanique et le modèle de la tectonique des plaques, on peut désormais reconstituer l'histoire d'un océan de sa naissance à sa disparition.

## 5. Des vitesses d'expansion différentes (📖 page 212/213)



Cependant, les taux d'accrétion peuvent être extrêmement variables d'une dorsale à une autre et également entre les différents segments d'une même dorsale.

Ces taux d'accrétion, ou taux d'ouverture, sont déterminés grâce à l'analyse des anomalies magnétiques enregistrées dans les laves.

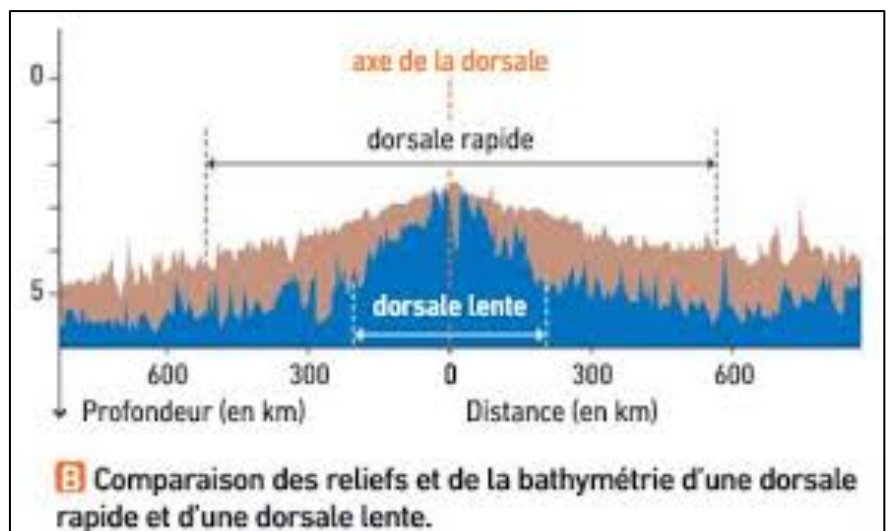
- De 0 à 5 cm/an on parle **de dorsales lentes**, type Atlantique
- Au-delà de 5 cm/an, on parle **de dorsale rapide**, type Pacifique

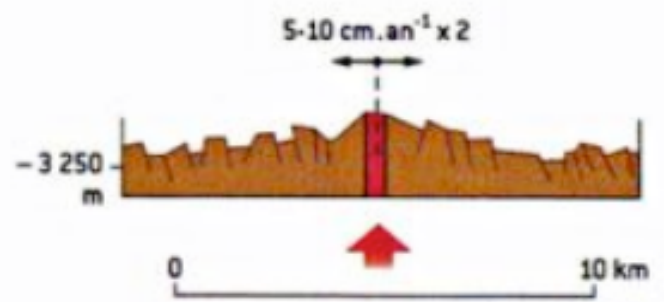
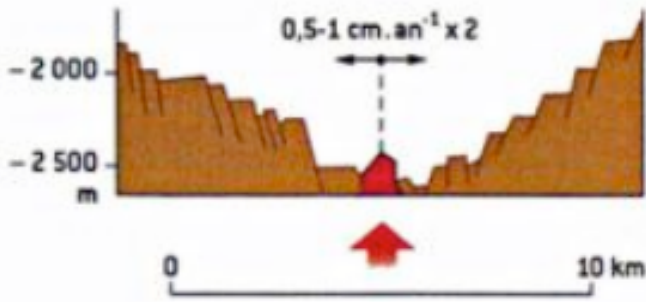
La morphologie **des dorsales** est différente.

**Les dorsales rapides** sont surélevées avec des failles normales on observe un « **bombement** » central ;

Tandis que **les dorsales lentes** présentent au niveau de l'axe, **une zone d'effondrement**, bordées de failles normales également mais sont très peu surélevées.

Les profils de tomographie sismique révèlent la structure en profondeur

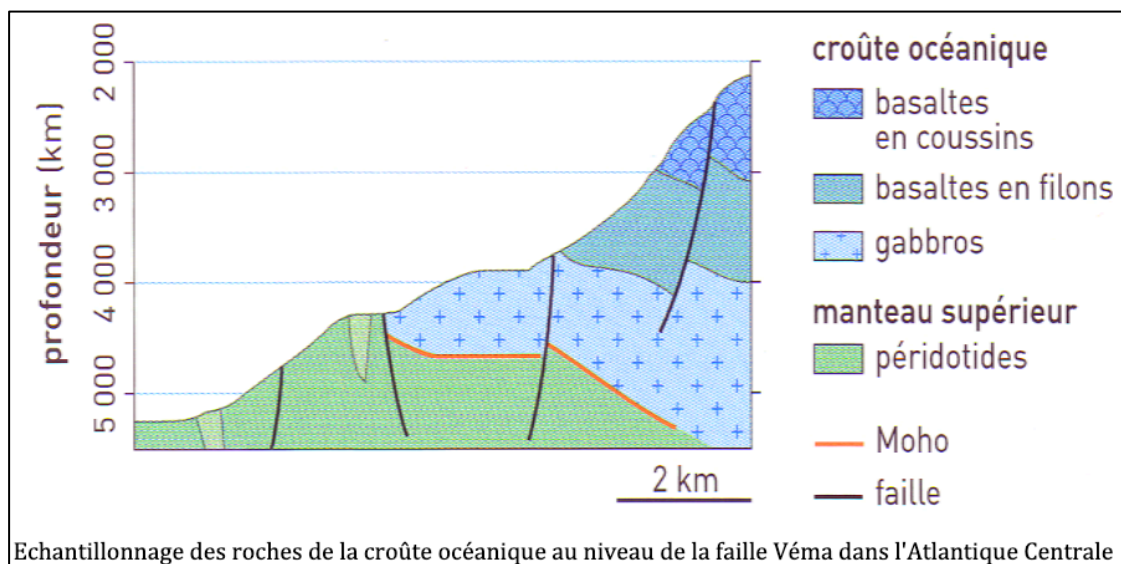




Dorsale lente	Dorsale rapide
Remontée faible du manteau, peu de fusion, petites chambres éparées, temporaires	Remontée importante du manteau, fusion importante (→ 20%), grosse chambre permanente
Activité magmatique intermittente	Activité magmatique continue
<b>TECTONIQUE &gt; MAGMATISME</b>	<b>TECTONIQUE &lt; MAGMATISME</b>

La vitesse d'expansion et la nature des dorsales résulte d'un équilibre entre le magmatisme et la tectonique.

- Dans les dorsales lentes, (📖 page 212) l'activité magmatique est réduite, si bien que l'écartement des deux plaques n'est pas compensé par la fabrication de nouvelle lithosphère, mettant à l'affleurement (en surface) des zones du manteau sous-jacent, donc des péridotites.
  - La croûte océanique est régulièrement soumise à la dislocation et peine à se mettre en place.
- Les failles transformantes peuvent mettre à nu la croûte comme au niveau de la faille Véma, dont l'étude confirme l'organisation de la croûte océanique. (exercice)



Echantillonnage des roches de la croûte océanique au niveau de la faille Véma dans l'Atlantique Centrale



- Sous l'effet des forces d'extension, non compensées par le magmatisme, des fragments du manteau peuvent être ramenés vers la surface et se trouver directement à la surface du plancher océanique

- Dans **les dorsales rapides**, le magmatisme intense alimente en continu la production de nouvelle croûte océanique qui compense les forces d'extension. La croûte est épaisse, mise en place de façon structurée en couches superposées : basaltes, gabbros. Les péridotites du manteau restent en profondeur.

*Remarque : le maintien d'un contexte de divergence en absence de magmatisme dans les dorsales lentes confirme que ce magmatisme ne « pousse » pas les plaques et ne peut donc pas être le moteur de la tectonique des plaques.*

*D'autre part le contexte tectonique global participe à la vitesse d'expansion : les dorsales rapides sont cernées de zones de convergence, celles-ci semblent donc jouer un rôle déterminant dans la dynamique des dorsales, nous y reviendrons*