



Chapitre 3 : la dynamique des zones de divergence



différents types de dorsales
magmatisme des dorsales
métamorphisme des dorsales



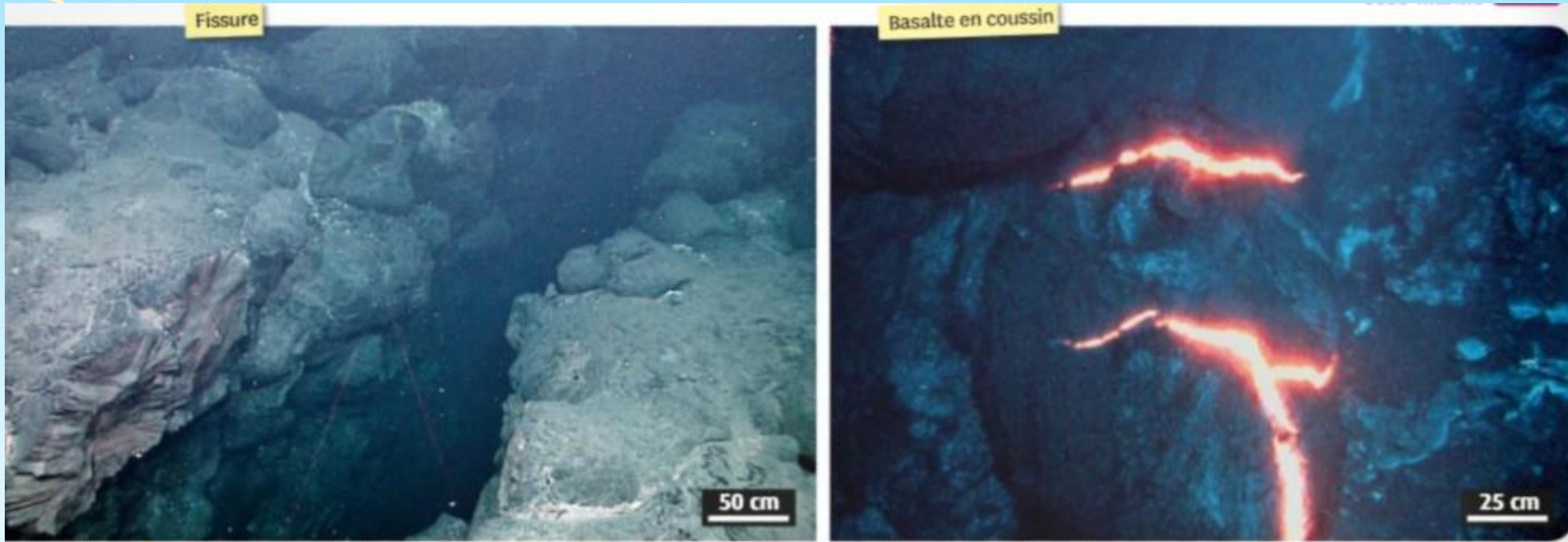
Introduction

On sait que les frontières de plaques sont des zones actives. Les dorsales océaniques sont des frontières de plaques en divergence et le lieu où se réalise l'accrétion de nouveaux fonds océaniques.

On va chercher à comprendre comment se met en place la lithosphère océanique et quelle est son évolution



Activité 6 : le magmatisme des dorsales



1 Fissure et magma basaltique observés au niveau d'une dorsale rapide. L'expansion océanique fracture la lithosphère. De larges fissures apparaissent et se comblent grâce à la montée d'un magma basaltique. La lave, produite en profondeur à des températures supérieures à 1200 °C, se refroidit brutalement en arrivant au contact de l'eau de mer et prend la forme de coussins de lave (pillow-lavas). Il y a ainsi accrétion (c'est-à-dire croissance d'une structure par apport de matière) de croûte océanique.


Etape 1 : mise en évidence des différences de structure des roches

Rappeler les caractéristiques du basalte et du gabbro (structure (texture), composition minéralogique et chimique (document de référence 1) et lieu de formation)

| | | | |
|-----------------------|--|---|--|
| Minéraux présents | A l'œil nu | Roche mélanocrate : Cristaux sombres très petits (ou non visibles) et dispersés. Vacuoles présentes dans une pâte sombre qui ne brille pas (verre) | Roche mélanocrate : sombre, cristaux visibles de taille moyenne à grande . |
| | Au microscope (LPA) | Minéraux jaune, orange, plusieurs teintes ternes séparées par une macle : pyroxène Nombreux microlites (cristaux en baguettes) et cristaux de feldspaths (clairs à blancs) Verre (éteint) | Minéral blanc à noir à macle en code barre : feldspath plagioclase . Minéral avec teintes jaune orangé, couleurs ternes, à petites fractures : pyroxène . |
| Composition chimique | Identique : riche en O et Si . Même pourcentage de composition pour chaque atome | | |
| Texture de la roche | Microlitique | | Grenue |
| Lieu de mise en place | En surface , équivalent volcanique du gabbro | | En profondeur, roche plutonique |
| Roche identifiée | Basalte | | Gabbro |

Formuler une hypothèse permettant d'expliquer leurs points communs et leurs différences.

Elles sont constituées des **mêmes minéraux et ont la même composition chimique**. Ces deux roches sont donc issues du **même liquide magmatique MAIS** avec des **vitesse de refroidissement différentes**.



La basalte a une structure microlithique, il est constitué de petits minéraux (microcristaux), de minéraux plus gros (phénocristaux) et d'une pâte volcanique (ou verre).

La gabbro a une structure grenue, il est constitué de gros minéraux et de petits sans pâte volcanique. Leurs compositions chimiques est identique.

Pourtant, ils proviennent tous les deux du même magma.

Pourquoi ont-ils acquis des structures si différentes ?

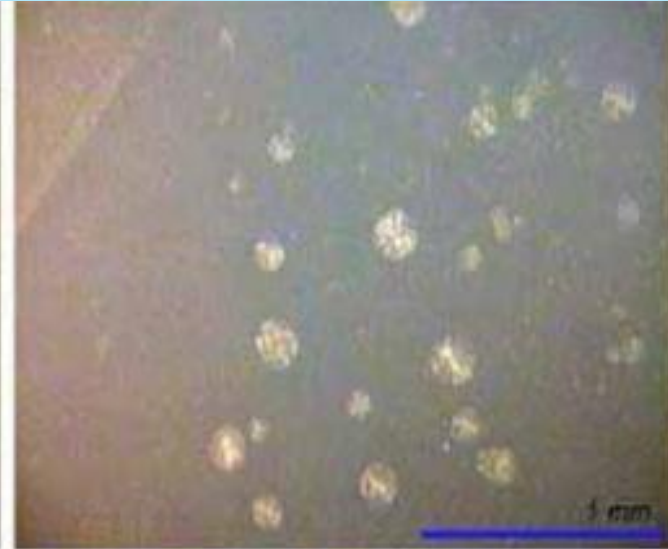
Hypothèse : Ils n'ont pas refroidi avec la même rapidité.



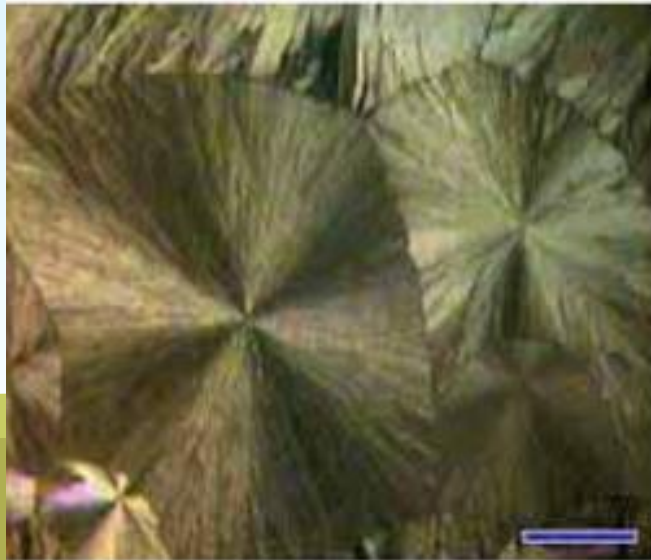
Réaliser la manipulation de cristallisation de la vanilline pour montrer l'effet de la température sur la cristallisation



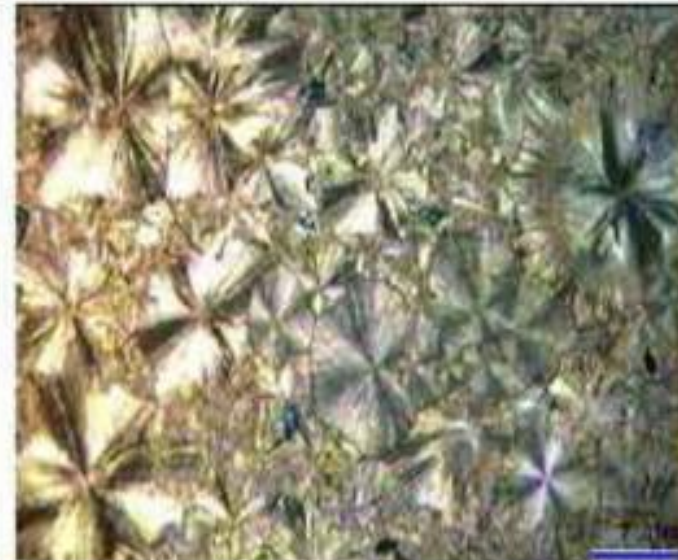
Refroidissement de la lame placée au bain marie (50°C)



Refroidissement de la lame placée sur de la glace



Refroidissement de la lame placée à l'air libre (20°C)



Refroidissement de la lame placée sur la paille (table)

Conclusion du modèle de la Vanilline

Si la température décroît lentement lors de la cristallisation, les cristaux s'agrandissent et tout le liquide cristallise ;

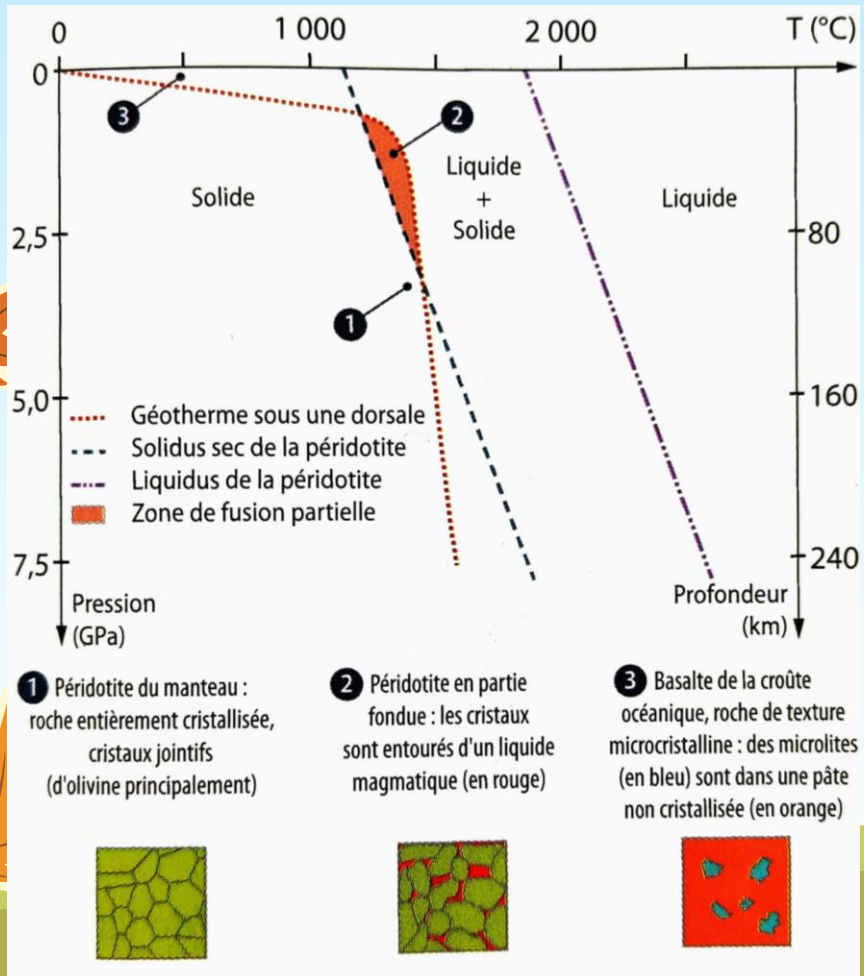
si la température baisse brutalement lors de la cristallisation, les cristaux restent de petite taille, une partie pouvant passer même à l'état de verre (non cristallisé).

- Gabbro (roche plutonique): provient d'un refroidissement lent du magma. Les minéraux ont le temps de cristalliser, c'est pourquoi on observe uniquement des phénocristaux
- Basalte (roche volcanique) : refroidissement en plusieurs temps :
 - assez lent : formation de phénocristaux
 - plus rapide : formation de microlites
 - brutal : formation de verre non cristallisé.

Etape 2 : origine du magma au niveau des dorsales

En utilisant le document de référence 2 et le document ressource 1, **expliquer** le phénomène de **fusion partielle** du manteau à l'origine de la croûte océanique au niveau d'une dorsale et **préciser le pourcentage de fusion partielle** dans le cas d'une dorsale lente.

Document 2 : diagramme des états de la péridotite associé au géotherme d'une dorsale



Géotherme : courbe représentant l'évolution de la température des roches en fonction de la profondeur.

Solidus : courbe séparant un domaine de pressions et températures où une roche est à l'état solide, d'un domaine où elle est en fusion partielle (mélange solide et liquide).

Ce document montre que les conditions de pression et de température régnant au niveau d'une dorsale (géotherme) peuvent provoquer la fusion de la péridotite (roche du manteau). Ces conditions sont au-delà du solidus de la péridotite. On obtient donc un mélange liquide/solide, on parle de **fusion partielle**.

On remarque que ces conditions sont atteintes pour une profondeur située entre 30 et 100 km.

Ainsi du magma se forme à l'aplomb d'une dorsale à ces profondeurs.

Document 1 : Expériences de fusion partielle de la péridotite et analyse de la composition chimique des liquides de fusion

| Composition chimique* | Basalte de la dorsale | Péridotite utilisée lors de l'expérience | % de fusion | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|--|-------------|------|------|------|------|------|
| | | | 5 % | 15 % | 20 % | 25 % | 30 % | 40 % |
| SiO ₂ | 48 | 44,9 | 47 | 48 | 48,6 | 50,1 | 50,5 | 51,6 |
| Al ₂ O ₃ | 14,3 | 3,2 | 15,7 | 13,2 | 12,8 | 11,8 | 10,5 | 7,8 |
| Fe ₂ O ₃ | 11 | 8,6 | 13,9 | 12,1 | 8,9 | 8,3 | 8,9 | 8,4 |
| MgO | 12 | 40 | 10,4 | 12 | 15,4 | 18,8 | 19,2 | 23,9 |
| CaO | 12 | 3 | 9,2 | 12,6 | 13,2 | 10,1 | 9,9 | 7,4 |
| Na ₂ O | 2,2 | 0,2 | 2,6 | 1,5 | 1,1 | 0,8 | 0,9 | 0,8 |
| K ₂ O | 0,5 | 0,1 | 1,2 | 0,6 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |

*exprimée en % de masse d'oxydes

On place une péridotite broyée dans un autoclave. Elle est portée à différentes températures qui déterminent sa fusion partielle (de 5 % à 40 % de fusion). On analyse la composition chimique du matériel fondu pour chaque expérience de fusion partielle. Les résultats sont comparés à la composition chimique du basalte.

On vient de voir que le magma à l'origine des basaltes et des gabbros de la croûte océanique provient de la **fusion des péridotites** du manteau.

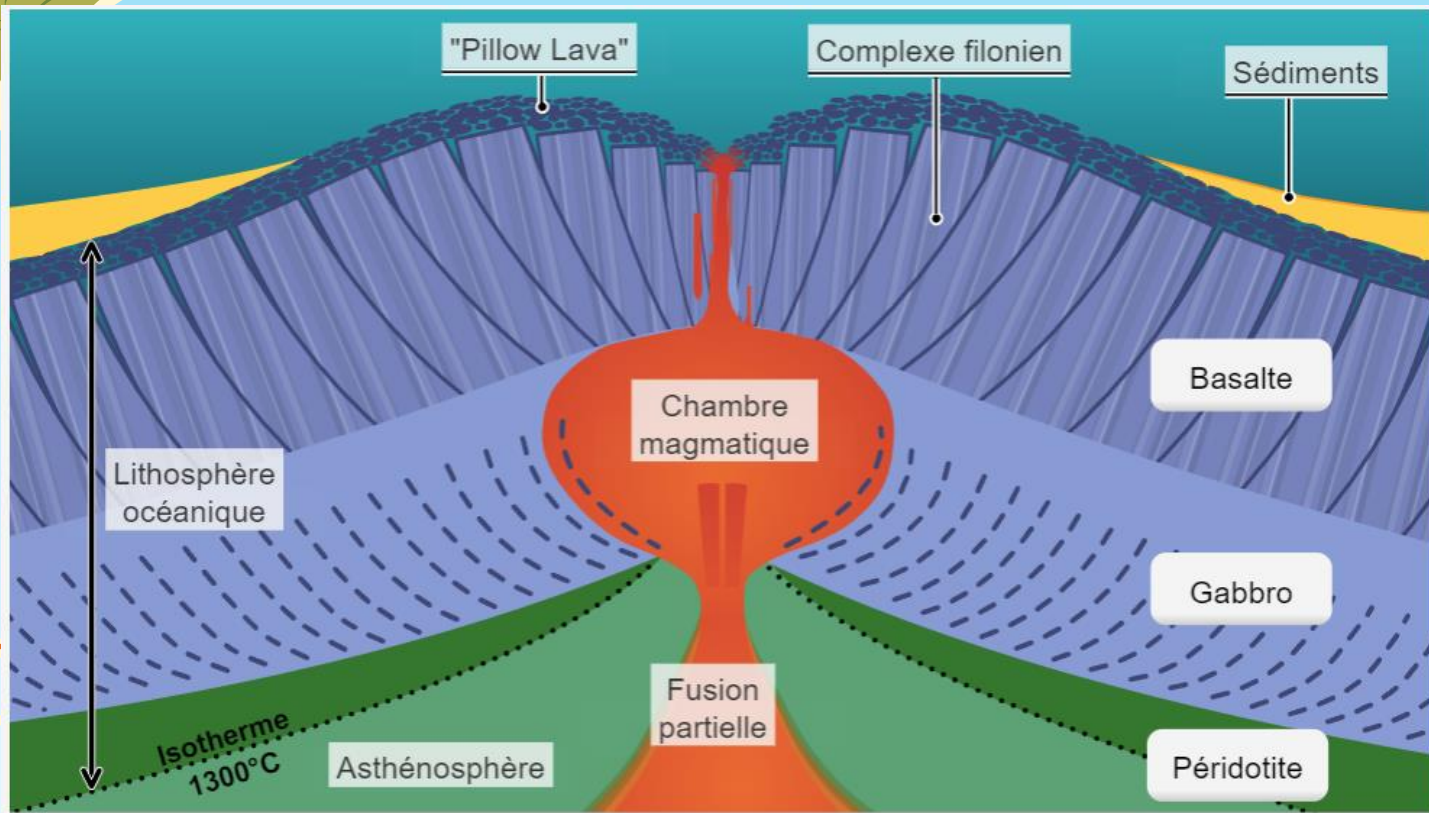
Mais à quel pourcentage de fusion partielle ?

Pour cela on réalise l'expérience présenté dans le document ci-dessus.

On fait **fondre à différents pourcentage une péridotite** et on étudie la **composition du liquide magmatique** issu de cette fusion pour voir si elle est **semblable à celle du basalte et du gabbro** de la croûte océanique.

Le liquide issu de la fusion partielle à 15 % de la péridotite a une composition chimique très semblable à celle du basalte (et donc du gabbro) de la croûte océanique.

Le magma à l'origine des basaltes et des gabbros de la croûte océanique est donc **issu de la fusion partielle des péridotites du manteau à l'axe de la dorsale (taux de fusion partielle voisin de 15 %)**.



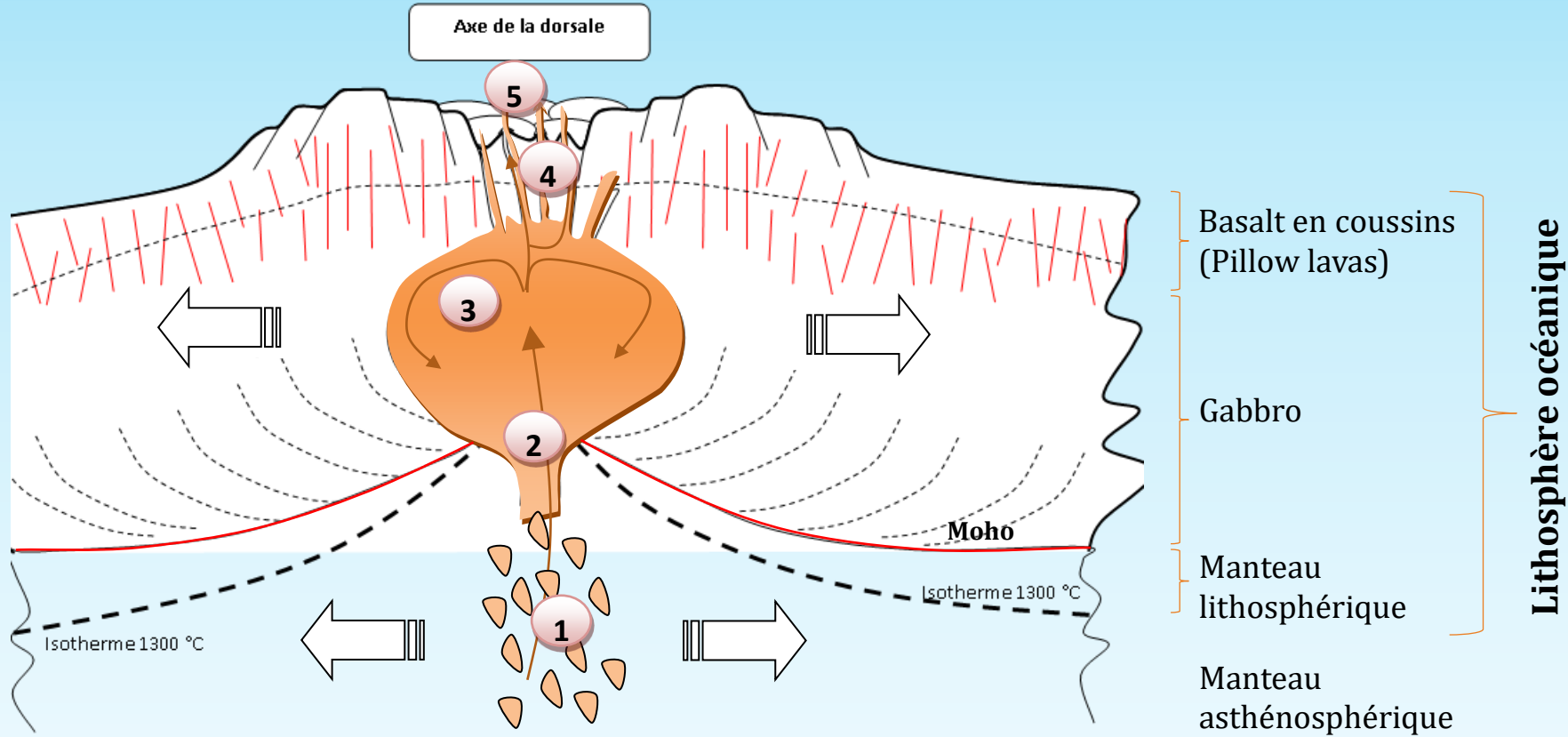
On observe une **zone de fusion partielle** de la péridotite au alentour de 80 km de profondeur. Le **magma** ainsi formé s'extrait des roches sources, **remonte** et s'accumule dans une **chambre magmatique**.

Du **magma est injecté dans les fractures de la croûte océanique** au-dessus de la chambre magmatique. Il donne, par **refroidissement rapide au contact de l'eau de mer**, des **basaltes en coussins en surface**, mais aussi des **basaltes en filons dans les fractures**.

Les **gabbros** proviennent quant à eux de la **crystallisation lente et complète de la bouillie cristalline**, de part et d'autre de la chambre magmatique.

La **péridotite résiduelle**, c'est-à-dire la **partie non fondue de la péridotite**, reste en dessous de la croûte océanique nouvellement créée. Elle **forme la partie mantellique de la lithosphère océanique** formée au niveau des dorsales.

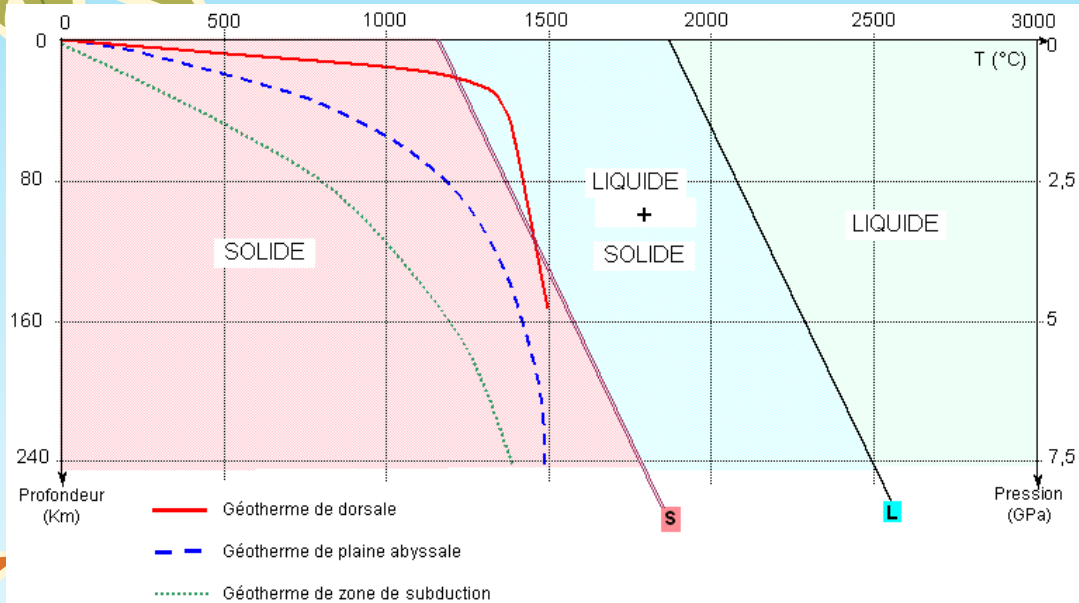
BILAN



- 1 Fusion partielle. Mise en place du magma
- 2 Remontée du magma moins dense
- 3 Cristallisation lente dans la chambre magmatique ; mise en place des gabbros.
- 4 Remontée vers la surface du magma
- 5 Refroidissement brutal du magma : mise en place des basaltes

**Modèle de fonctionnement
d'une dorsale à l'origine de la
lithosphère océanique**

La fusion des péridotites du manteau est-elle possible lorsque l'on s'écarte des dorsales (plaine abyssale) ?



Non, le **géotherme de plaine abyssale ne coupe jamais le solidus**. Donc, quelque soit leur profondeur, les péridotites n'entrent jamais en fusion à plus de 100 Km des dorsales. Les conditions de température et de pression à plus de 100 Km des dorsales ne permettent pas la fusion des péridotites.

Pourquoi la fusion des péridotites sous les dorsales n'est-elle pas totale ?

Car elles **n'atteignent jamais la température du liquidus**.

Mais alors pourquoi y-a-t 'il fusion partielle sous une dorsale ?

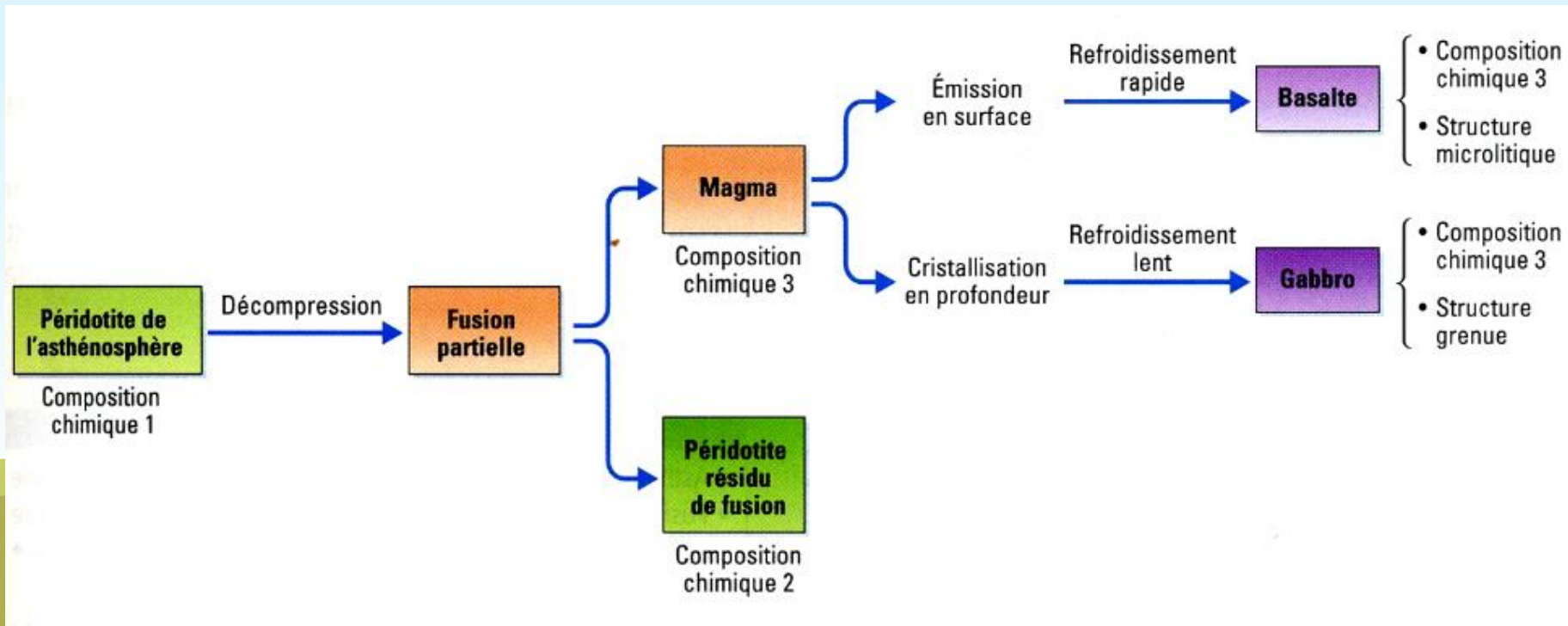
Il a été démontré que des **mouvements de convection** du manteau entraînent **une remontée des péridotites asthénosphériques quasiment sans perte de chaleur**, ce que montre le géotherme de dorsale. Ces péridotites sont donc soumises à une **décompression** liée à leur remontée, mais **gardent une température élevée**.

Elles **croisent leur solidus vers 80 km de profondeur** : elles entament donc une **fusion partielle**, et du magma se forme. Cette fusion partielle se prolonge au cours de leur remontée **jusqu'à 20 Km de profondeur environ** en atteignant un **taux voisin de 15 %**.

Une question pour aller plus loin...

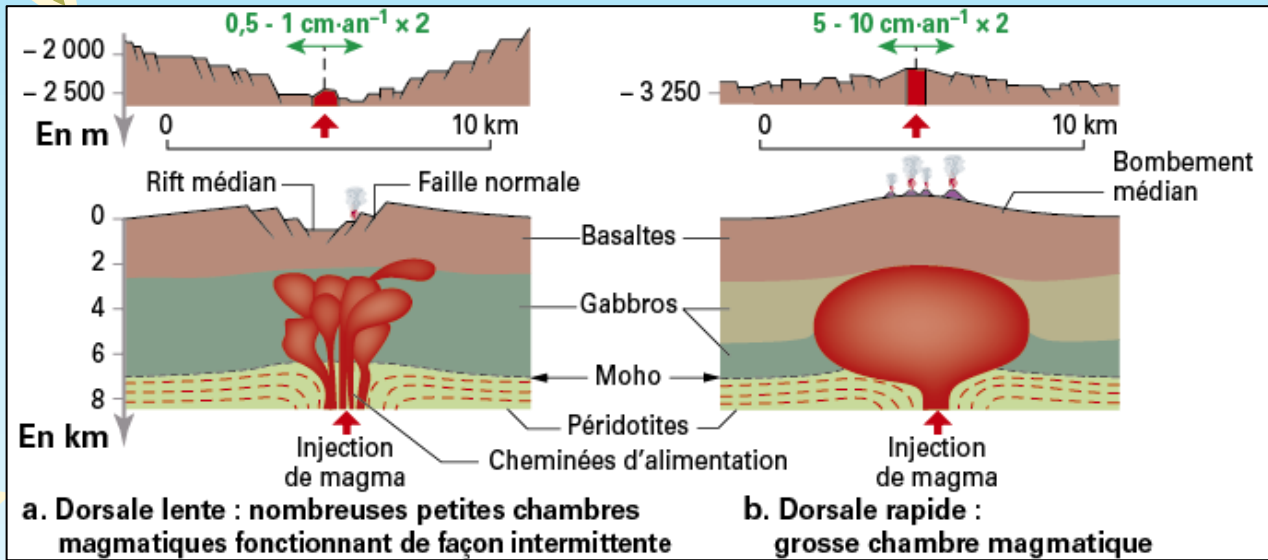
Pourquoi le basalte et gabbro, issus de la fusion partielle de la péridotite, ont-ils une composition chimique différente de la péridotite ?

Lors de la fusion partielle de la péridotite, les **premiers minéraux qui fondent sont les plagioclases**, qui contiennent du **silicium**, de l'**aluminium**, du **calcium** et du **sodium**. Le **liquide magmatique est donc enrichi en ces éléments**, et, inversement, la **péridotite résiduelle est appauvrie en ces éléments**. Le liquide magmatique a donc une composition chimique différente de celle de la péridotite initiale. Le **basalte et le gabbro contiennent donc beaucoup de plagioclases**, alors que la **péridotite résiduelle pas du tout**. Au contraire, celle-ci est **enrichie en olivine et pyroxène**. La **composition chimique des basaltes et gabbros dépend donc en premier lieu du taux de fusion partielle des péridotites**.

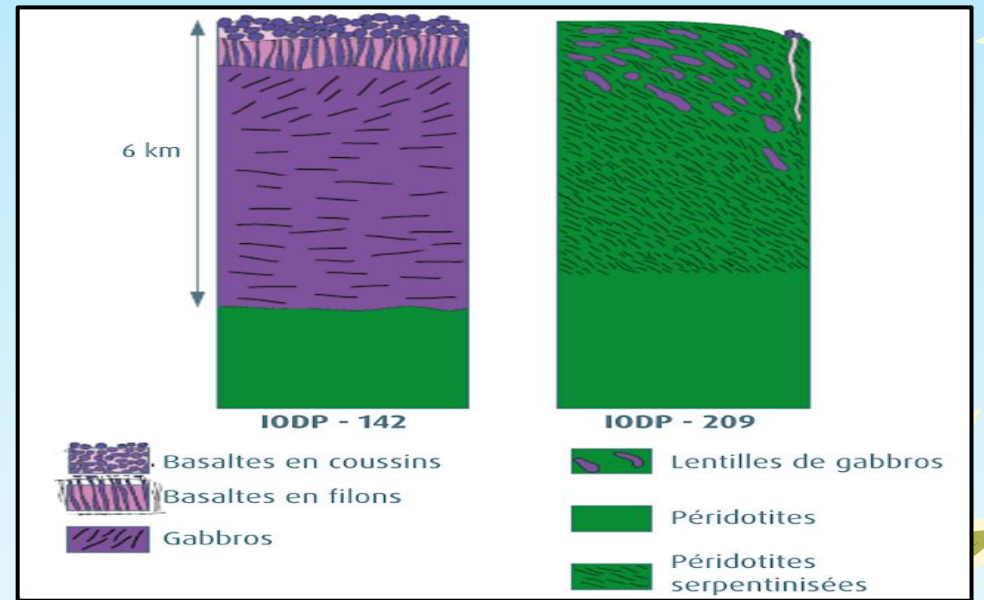


Etape 3 : comparaison dorsale lente et rapide

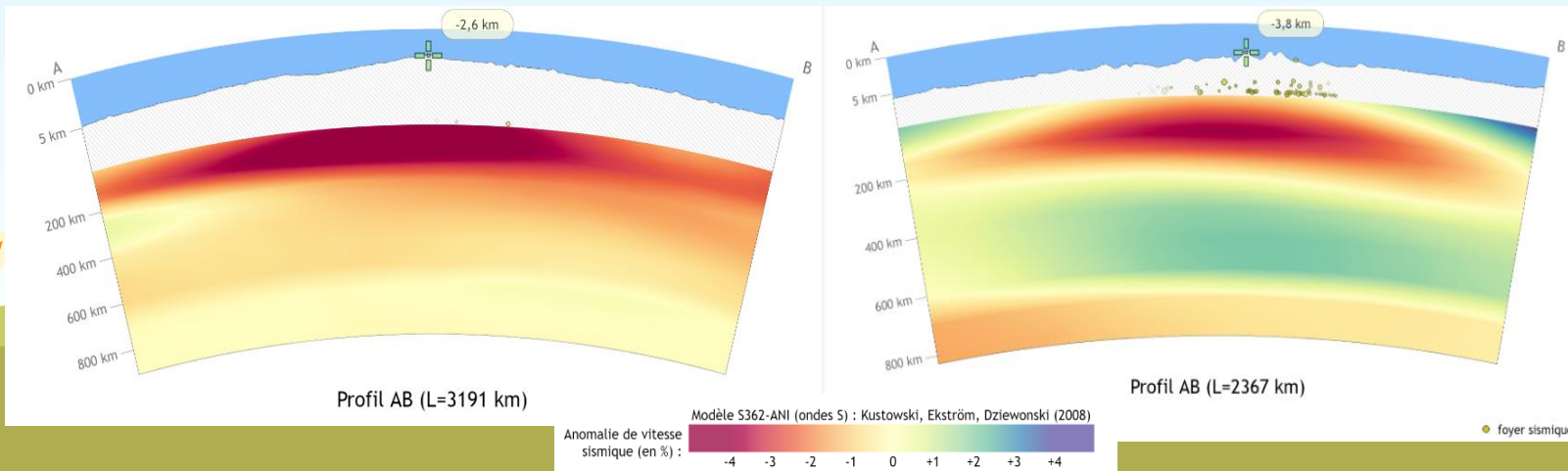
Comparaison des caractéristiques dorsale lente et dorsale rapide



Reconstitution de la succession verticale des roches au niveau dorsale rapide (à gauche) et d'une dorsale lente (à droite)



Profils tomographiques sous la dorsale est-Pacifique (à gauche) et Atlantique (à droite)



| | Dorsale lente : Atlantique | Dorsale rapide : Pacifique |
|------------------------------|--|---|
| Vitesse de divergence | 25 mm/an | 120 mm/an |
| Morphologie | Rift au cœur de la dorsale (-1000 m) | Bombement axial au niveau de la dorsale (+500m) |
| Tomographie | Anomalie positive modérée Fusion partielle moins importante | Forte anomalie positive, très développée en largeur. Fusion partielle importante |
| Succession de roches | Lentilles de gabbro Péridotite serpentinisée Péridotite | Basalte en coussins, en filon Gabbro, Péridotite |

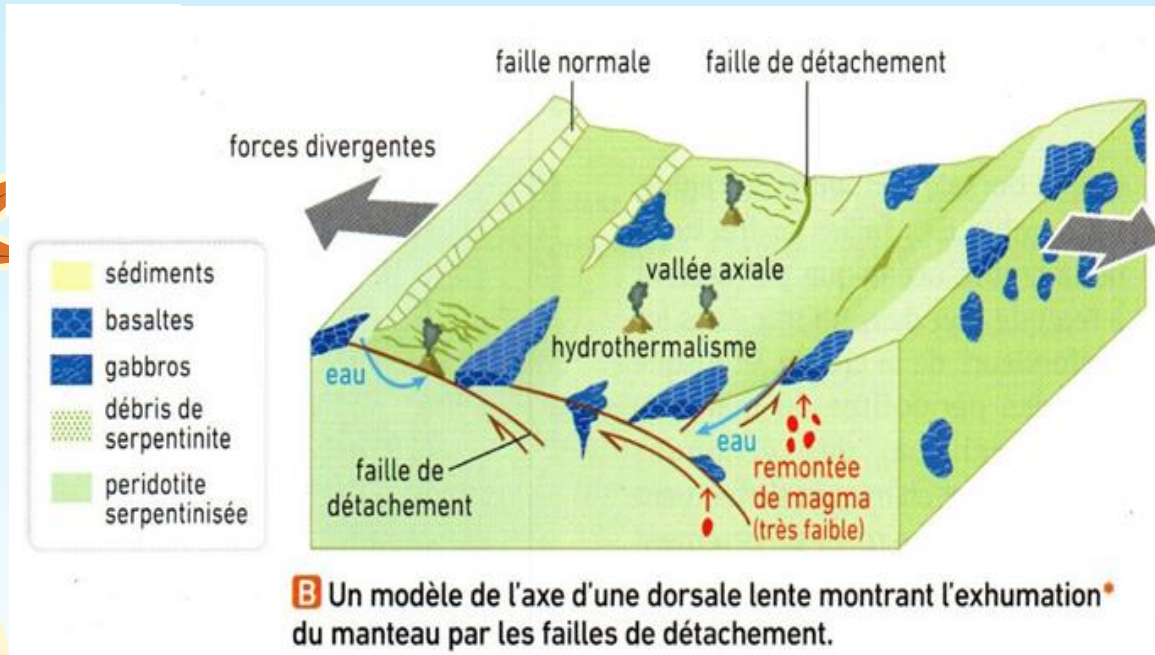
| <u>Forstérite (Olivine)</u> | | | | | | | | <u>Lizardite : (Serpentine)</u> | | | | | | | |
|--|----|---|---|---|-------|--------|----|---|---|---|----|---|-------|---------|----|
| Atome | I | F | A | S | Total | Masse | % | Atome | I | F | A | S | Total | Masse | % |
| Mg ²⁺ | 3 | 6 | 4 | 8 | 8 | 194.48 | 35 | O ²⁻ | 3 | 6 | 12 | 0 | 9 | 144 | 52 |
| O ²⁻ | 16 | 0 | 0 | 0 | 16 | 256 | 45 | H ⁺ | 1 | 4 | 4 | 0 | 4 | 4.032 | 1 |
| Si ⁴⁺ | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 | 112.36 | 20 | Mg ²⁺ | 1 | 4 | 0 | 0 | 3 | 72.9299 | 26 |
| Masse volumique calculée : 3.273 g/cm ³ Compacité calculée : 62.85 % (volume) Pourcentage d'hydratation : 0 % (masse) | | | | | | | | Masse volumique calculée : 2.584 g/cm ³ Compacité calculée : 55.74 % (volume) Pourcentage d'hydratation : 24.55 % (masse) | | | | | | | |
| Pas de H donc minéral non hydraté (0%) Densité : 3,3 | | | | | | | | Composition très proche avec H supplémentaire → formation de groupements OH donc minéral hydraté (24,5%) Densité : 2,6 | | | | | | | |

Les **péridotites serpentinisées (hydratées)** sont plus riches en serpentine, minéral hydraté moins dense, elles sont donc globalement moins denses ce qui explique leur remontée facilitée.

L'hydratation des péridotites les transforme en serpentinite et les rend globalement moins dense, ce qui entraîne leur remontée et donc la **remontée du manteau**.

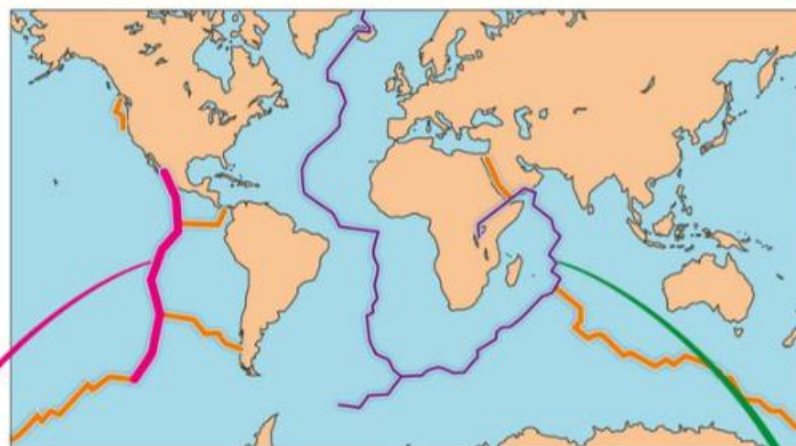
Cette remontée entraîne une **fusion partielle relativement faible** sans volcanisme.

Il ne se forme alors que des **gabbros** qui restent **sous forme de lentille** dans les péridotites serpentinisées



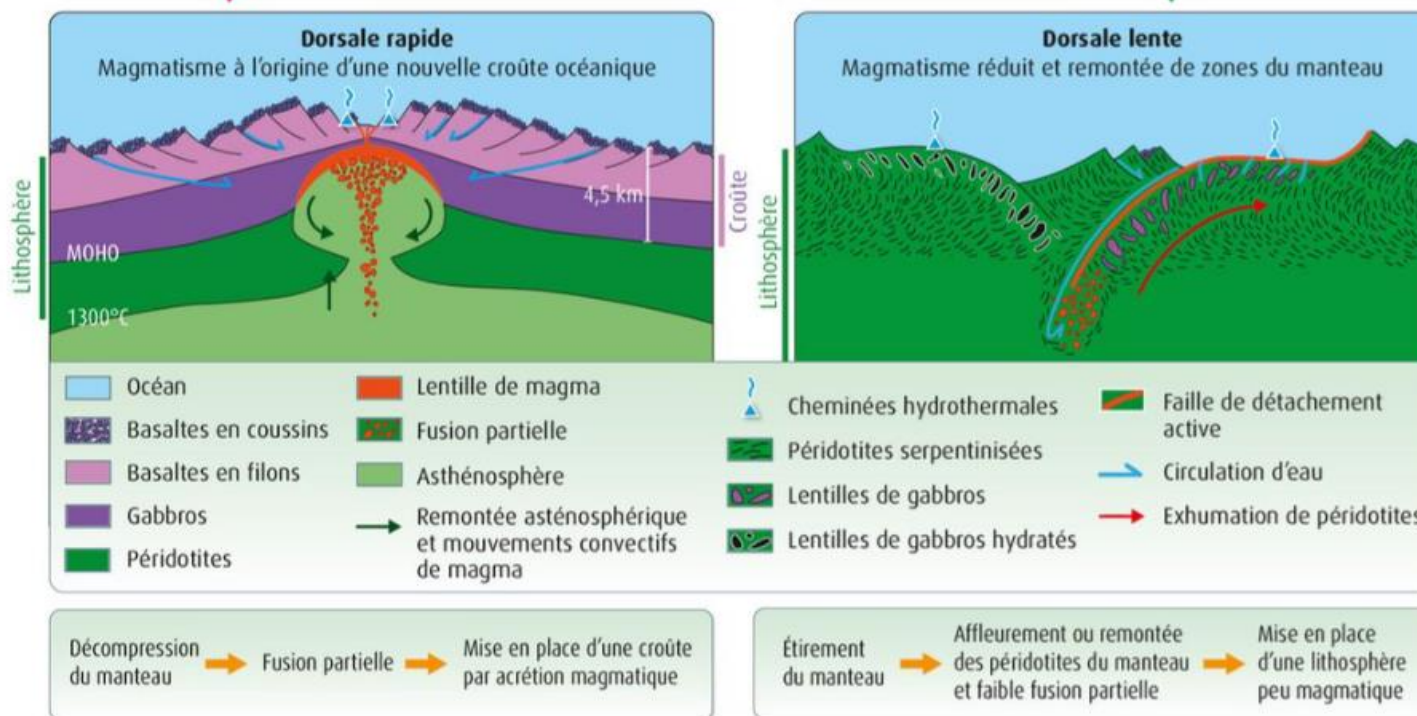
Au niveau des **dorsales lentes l'activité magmatique est plus réduite** et ce sont des **processus tectoniques qui assurent l'essentiel de la divergence**. Cette divergence forme des **failles normales et des failles de détachement** qui mettent les **péridotites du manteau à l'affleurement**. L'eau qui s'infiltre dans les failles **favorise la remontée des péridotites** en les hydratant et en les transformant en serpentinites (péridotite riche en serpentine) moins denses. De plus, **l'eau favorise également la fusion partielle** de la péridotite dont la cristallisation est à l'origine des lentilles de gabbros.

Des dorsales aux vitesses de divergences variées



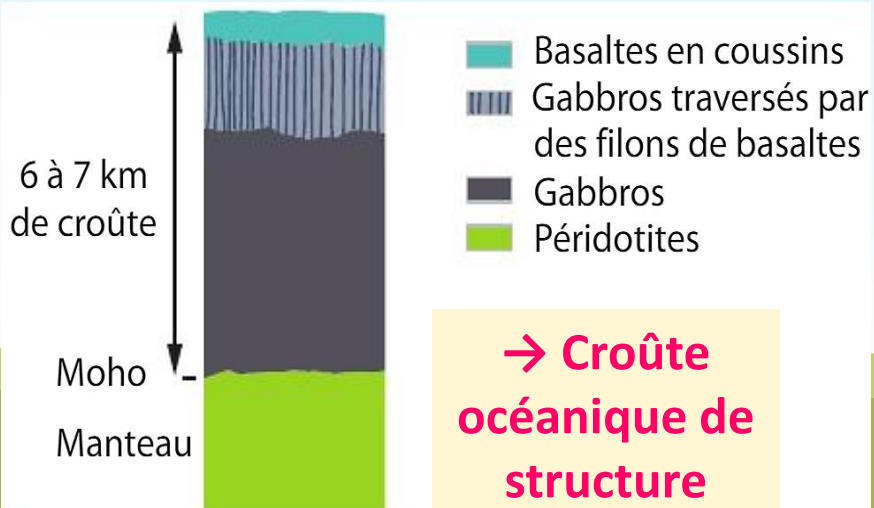
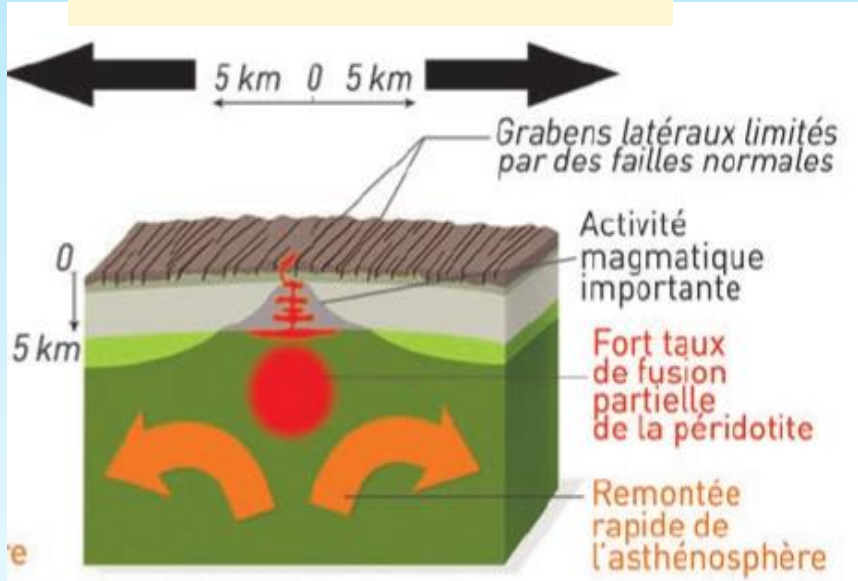
- Dorsale rapide
- Dorsale intermédiaire
- Dorsale lente

Des modes de mise en place différents



Dorsale rapide

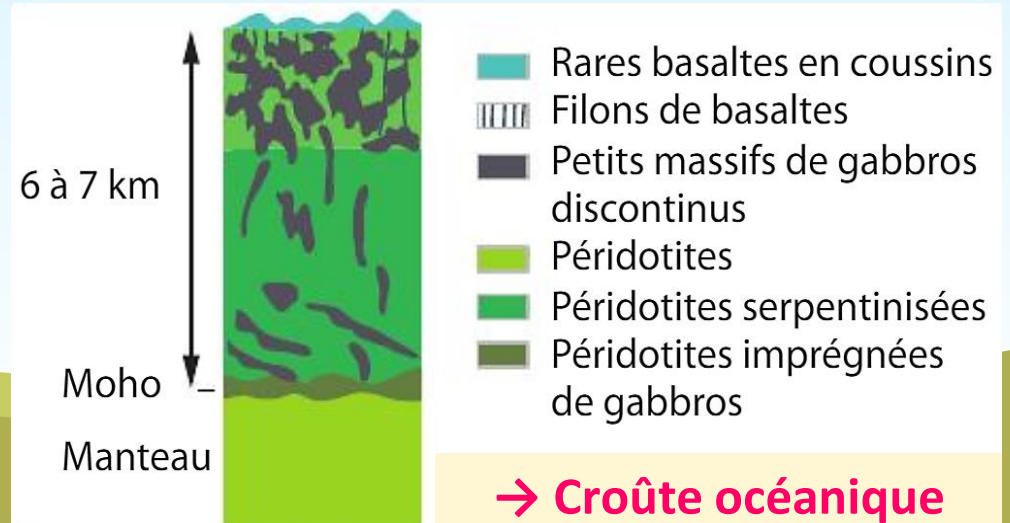
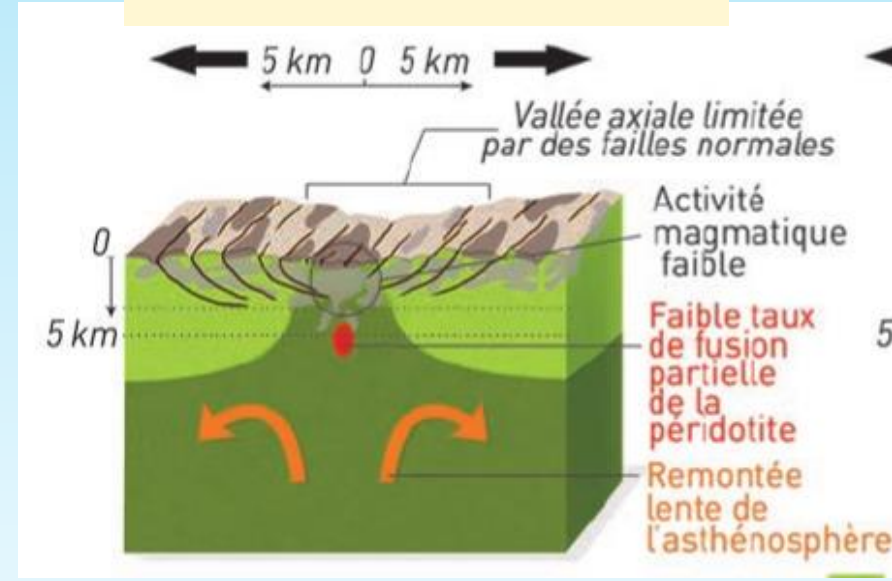
Activité magmatique continue et intense



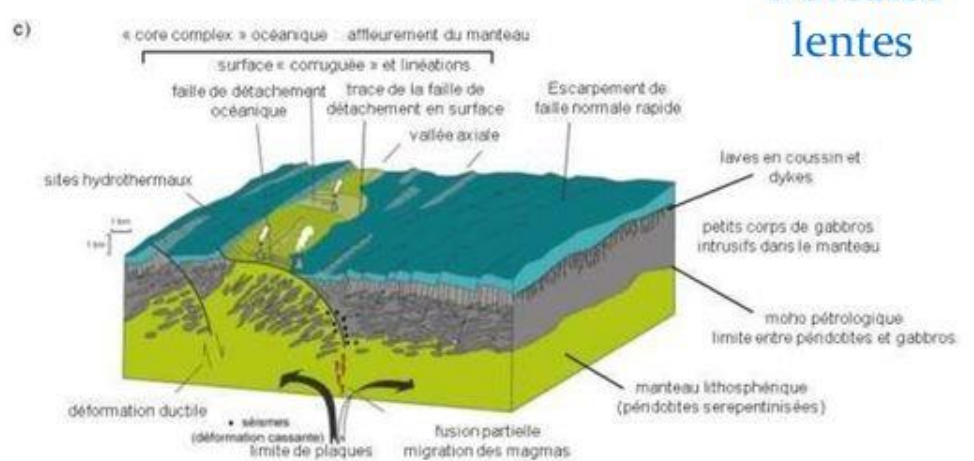
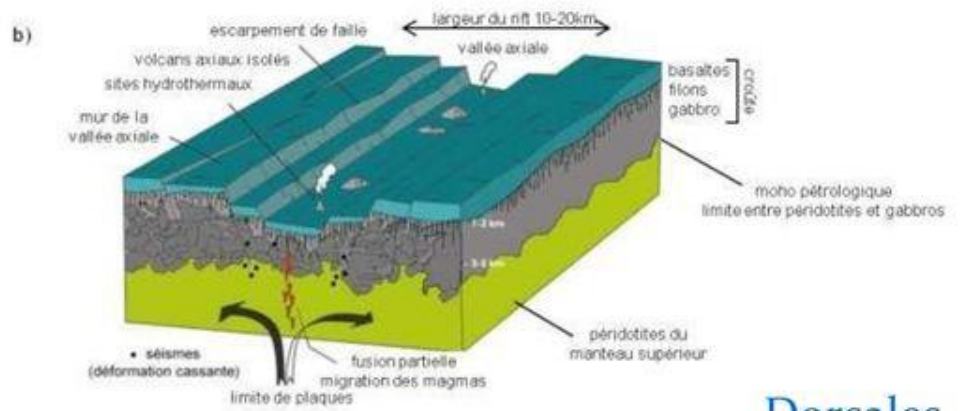
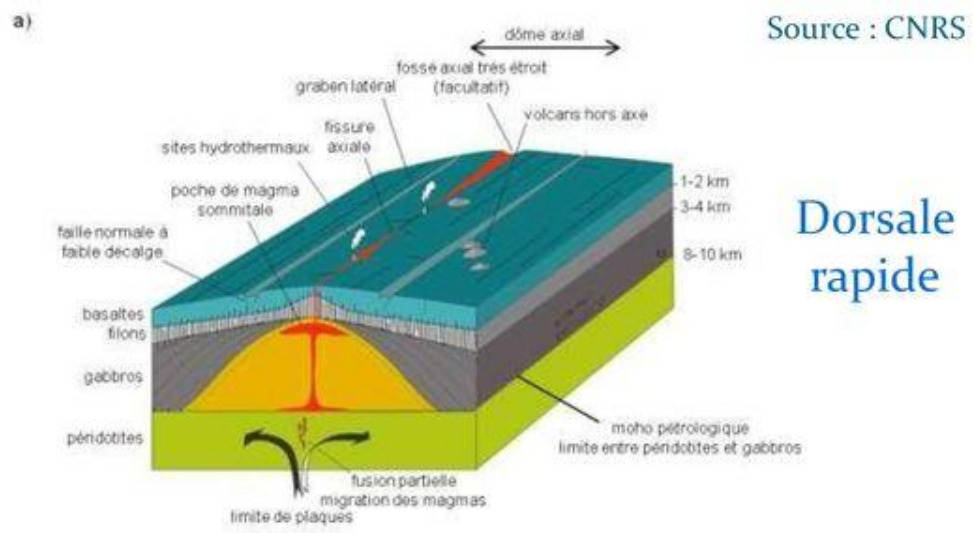
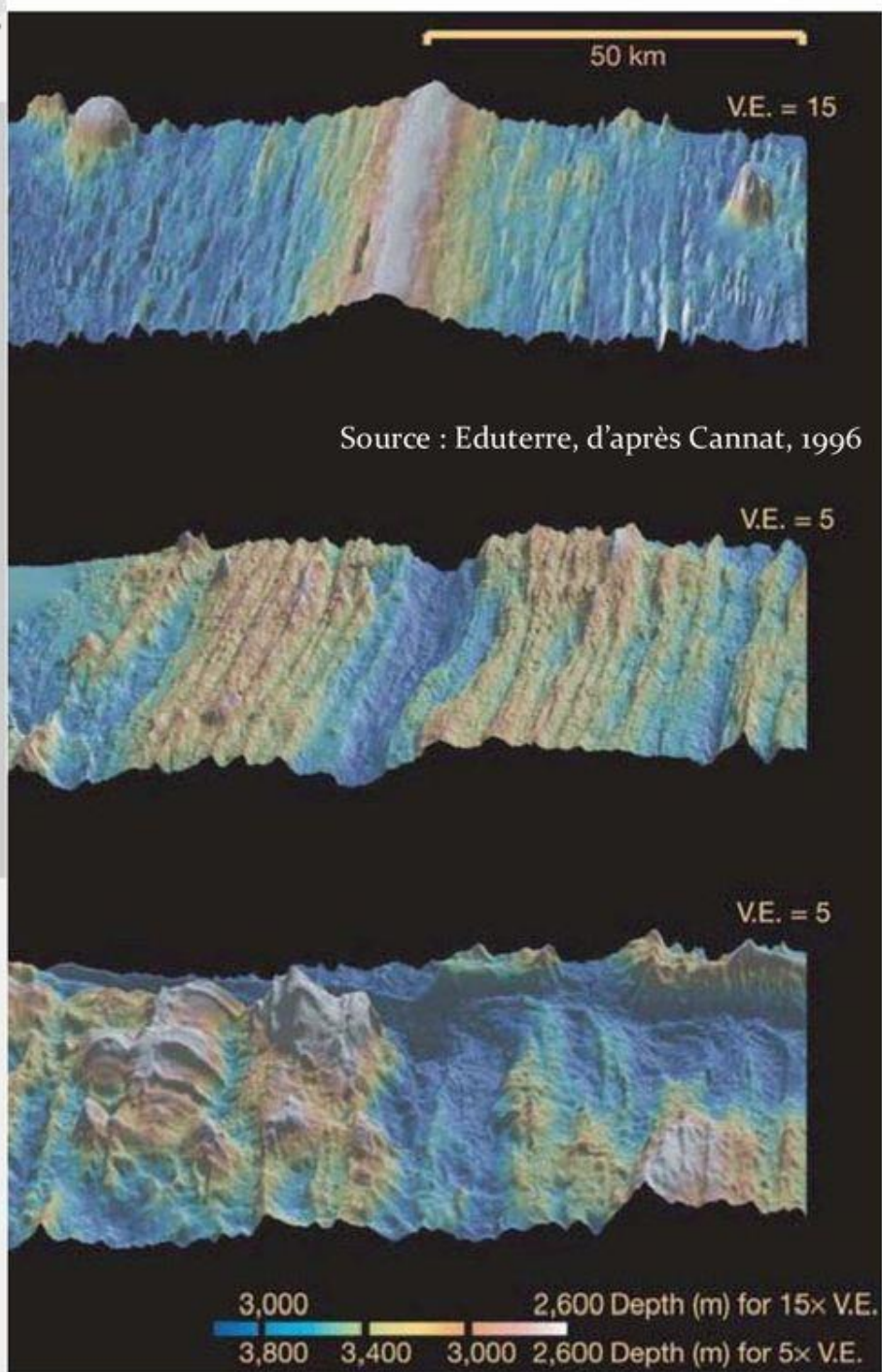
→ Croûte océanique de structure régulière

Dorsale lente

Activité magmatique faible et discontinue



→ Croûte océanique hétérogène





Activité 7 : le métamorphisme des dorsales

La jeune lithosphère formée dans l'axe de la dorsale s'en éloigne peu à peu au cours du temps. Pendant ce déplacement des changements de propriétés physiques de la lithosphère océanique s'accompagnent de modifications minéralogiques des roches à l'état solide.

A la surface du globe, l'âge des plus vieilles lithosphères océaniques **n'excèdent pas 200 Ma.**

On cherche à comprendre si les changements minéralogiques des roches de la lithosphère océanique expliquent ses modifications physiques



Proposer une stratégie réaliste pour déterminer quelles modifications subit un gabbro au fur et à mesure de son éloignement de l'axe de la dorsale

Ce que je fais : Je suppose qu'au cours de son éloignement de l'axe de la dorsale, un gabbro initial G1 se transforme en un métagabbro G2. Je vois que de l'eau circule en s'infiltrant dans la dorsale.

Nous allons comparer la composition minéralogique d'un gabbro à celle d'un métagabbro G2. Nous comparerons également déterminer l'état d'hydratation des roches . Pour cela, on peut observer les compositions chimiques des différents minéraux des roches.

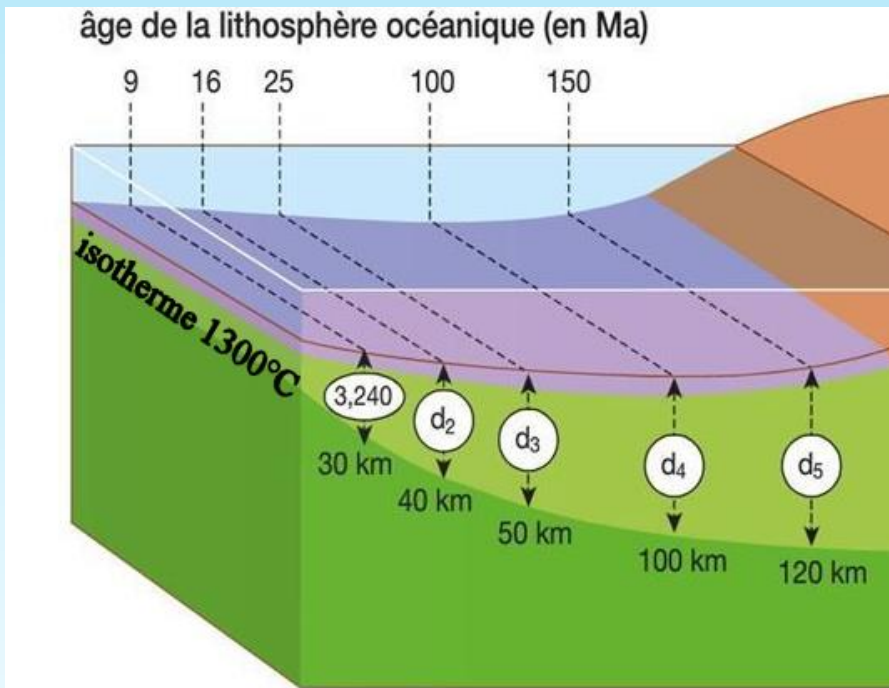
Comment je le fais : La composition minéralogique sera déterminée à l'aide d'un microscope polarisant et d'une fiche de détermination des minéraux.

L'état d'hydratation minéralogique sera déterminé en utilisant le logiciel Minusc.

Ce qu'on attend comme résultat : En observant les données du document 3 de référence, je suppose que les minéraux du métagabbro seront différents de ceux du gabbro initial. Notamment, on devrait observer des minéraux hydratés.

ETAPE 2 : EVOLUTION DE LA DENSITE

En utilisant le document de référence 2, **indiquer comment varie l'épaisseur** de la lithosphère océanique et **expliquer** cette évolution.



| | |
|------------------------------------|---------------------------|
| croûte continentale d = 2,82 | croûte océanique d = 3 |
| manteau lithosphérique d = 3,30 | asthénosphère d = 3,25 |

3,240 densité moyenne calculée

En s'éloignant de la dorsale, la lithosphère océanique se refroidit principalement par l'eau de mer, l'isotherme 1300°C qui marque la limite lithosphère/asthénosphère s'enfonce et la lithosphère devient donc **plus épaisse** au fur et à mesure qu'elle vieillie.

Calculez la densité moyenne de la lithosphère au fur et à mesure de son éloignement à la dorsale.

Utilisez le fichier Excel fourni.

Calcul de l'épaisseur du manteau lithosphérique

épaisseur de la lithosphère = épaisseur de la croûte + épaisseur du manteau

B3-C3

Calcul de la densité de la lithosphère

$$=(C3 * E3 + D3 * F3) / B3$$

| Age de la lithosphère (Ma) | épaisseur de la lithosphère | épaisseur de la croûte océanique | épaisseur du manteau lithosphérique | densité de la croûte océanique | densité du manteau lithosphérique | densité moyenne de la lithosphère |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 9 | 30 | 6 | 24 | 3 | 3,3 | 3,24 |
| 16 | 40 | 6 | 34 | 3 | 3,3 | 3,255 |
| 25 | 50 | 6 | 44 | 3 | 3,3 | 3,264 |
| 100 | 100 | 6 | 94 | 3 | 3,3 | 3,282 |
| 150 | 120 | 6 | 114 | 3 | 3,3 | 3,285 |










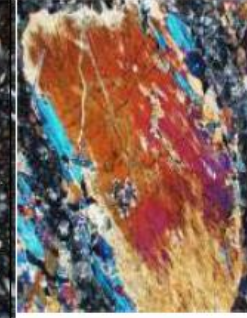


On remarque une **augmentation de densité** au fur et à mesure du **vieillissement de la lithosphère**.

ETAPE 3 : EVOLUTION MINERALOGIQUE ET CHIMIQUE

Déterminez la composition minéralogique du **métagabbro** et indiquez les différences avec le gabbro

PLANCHE D'IDENTIFICATION AU MICROSCOPE DE MINERAUX DE ROCHES METAMORPHIQUES

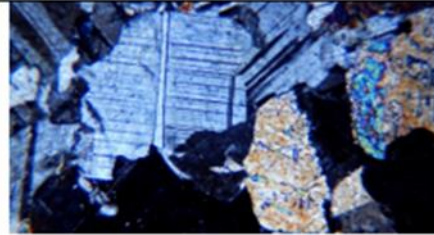
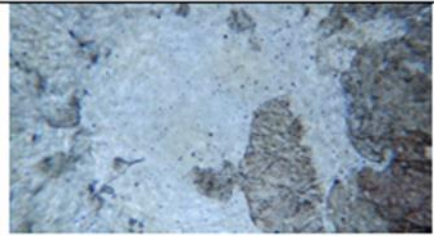
NB : Les lames minces peuvent être observées, à l'œil nu, sur fond blanc ce qui permet de repérer certains minéraux colorés avant d'utiliser le microscope.

| | | Grenat | Jadéite | Plagioclases | Pyroxène relique | Hornblende | Glaucophane |
|---|--|---|--|---|--|---|---|
| Au microscope avec le plus faible grossissement | LPNA (sans analyseur) | Sections hexagonales ou pentagonales de couleur légèrement rosée. Craquelures et limites bien marquées (fort relief). | Sections allongées plus ou moins rectangulaires de couleur vert pâle. Deux séries de stries fines parallèles (clivages). | Sections rectangulaires et incolores. Des stries grossièrement parallèles entre elles. | Sections à bords diffus de couleur beige clair. Nombreuses stries parallèles fines dans le sens de la longueur (clivages). | Minéral brun clair à vert dont la couleur varie selon l'orientation. Deux séries de stries parallèles (clivages). | Minéral bleu à violet dont la couleur change avec l'orientation. Deux séries de stries parallèles (clivages). |
| | LPA (avec analyseur) | Teinte noire (=éteint) quelle que soit l'orientation du cristal. | Teintes vives de polarisation (jaune orange ou magenta, rarement bleu). | Teintes de polarisation : gris plus ou moins clairs, en bandes parallèles dans le sens de la longueur | Teintes vives de polarisation (jaune, orange, magenta). | Teintes vives (jaune, rouge, magenta à bleu), légèrement atténuées par la couleur naturelle. | Teintes vives (jaune, orange, magenta) relativement atténuées par la couleur naturelle |
| | En lumière polarisée non analysée (sans analyseur) |  |  |  |  |  |  |
| | En lumière polarisée et analysée (avec analyseur) |  |  |  |  |  |  |

Roche mélanocrate : sombre, cristaux visibles de taille moyenne à grande.

Minéral blanc à noir à macle en code barre : *feldspath plagioclase*.

Minéral avec teintes jaune orangé, couleurs ternes, à petites fractures : *pyroxène*.



Grenue

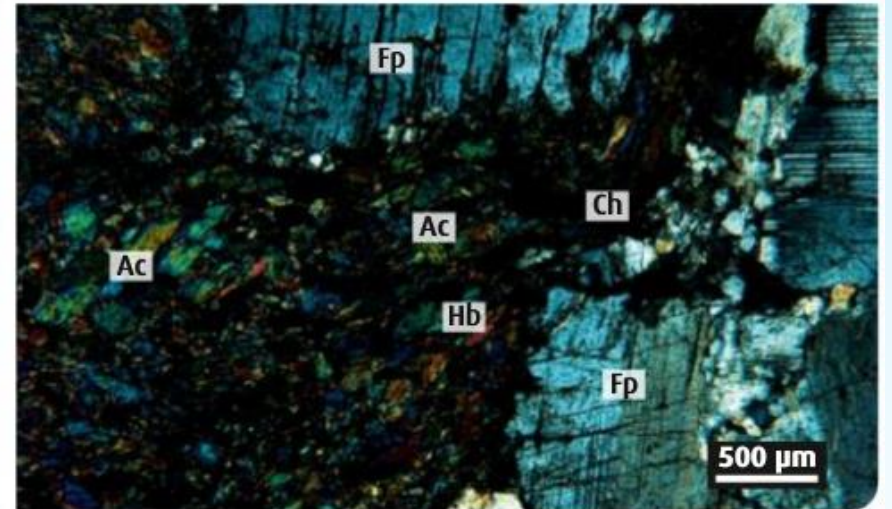
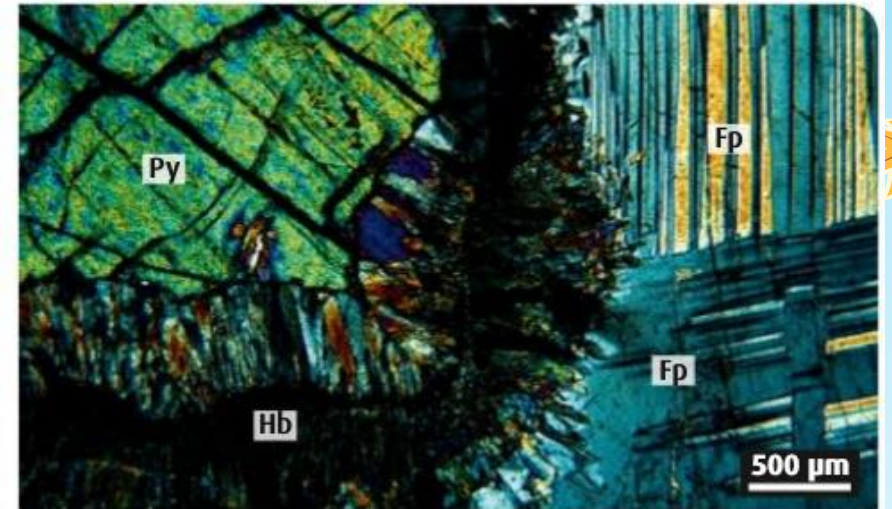
En profondeur (refroidissement lent),
roche plutonique

Gabbro

Deux échantillons **2**
de gabbros
prélevés dans des
environnements
anciens proches des
conditions dorsales
actuelles.

Lors de la maturation de la croûte magmatique, les roches sont refroidies et hydratées par la circulation de l'eau de mer entre les minéraux.

Py: pyroxène,
Fp: feldspath plagioclase,
Hb: hornblende
(amphibole),
Ch: chlorite,
Ac: actinote.



On observe de nouveaux minéraux qui apparaissent avec l'hydratation des gabbros :
amphibole (hornblende), chlorite, actinote

Indiquer le pourcentage d'hydratation de chaque minéral

Pyroxène Augite

| | Intérieur | Faces | Arêtes | Sommets | Total | Masse (masse) | % |
|------------------------|-----------|-------|--------|---------|-------|---------------|------|
| Ca²⁺ | 2 | 4 | 0 | 0 | 4 | 160.3 | 18.5 |
| Mg²⁺ | 2 | 4 | 0 | 0 | 4 | 97.2 | 11.2 |
| O²⁻ | 20 | 8 | 0 | 0 | 24 | 384 | 44.3 |
| Si⁴⁺ | 8 | 0 | 0 | 0 | 8 | 224.7 | 25.9 |

Masse volumique calculée : 3.269 g/cm³
 Compacité calculée : 62.8 % (volume)
 Pourcentage d'hydratation : 0 % (masse)

Plagioclase : Anorthite

| | Intérieur | Faces | Arêtes | Sommets | Total | Masse (masse) | % |
|------------------------|-----------|-------|--------|---------|-------|---------------|------|
| O²⁻ | 48 | 32 | 0 | 0 | 64 | 1024 | 46.0 |
| Al³⁺ | 12 | 8 | 0 | 0 | 16 | 431.7 | 19.4 |
| Si⁴⁺ | 12 | 8 | 0 | 0 | 16 | 449.4 | 20.2 |
| Ca²⁺ | 6 | 4 | 0 | 0 | 8 | 320.6 | 14.4 |

Masse volumique calculée : 2.766 g/cm³
 Compacité calculée : 53.9 % (volume)
 Pourcentage d'hydratation : 0 % (masse)

Amphibole : hornblende

| | Intérieur | Faces | Arêtes | Sommets | Total | Masse (masse) | % |
|------------------------|-----------|-------|--------|---------|-------|---------------|------|
| Fe²⁺ | 0 | 2 | 0 | 8 | 2 | 111.7 | 6.5 |
| Al³⁺ | 0 | 4 | 8 | 0 | 4 | 107.9 | 6.3 |
| Na⁺ | 0 | 0 | 8 | 0 | 0.9 | 19.8 | 1.2 |
| Mg²⁺ | 2 | 4 | 0 | 0 | 4 | 97.2 | 5.7 |
| Ca²⁺ | 2 | 4 | 0 | 0 | 4 | 160.3 | 9.3 |
| H⁺ | 2 | 4 | 0 | 0 | 4 | 4.0 | 0.2 |
| O²⁻ | 44 | 8 | 0 | 0 | 48 | 768 | 44.7 |
| Si⁴⁺ | 16 | 0 | 0 | 0 | 16 | 449.4 | 26.2 |

Masse volumique calculée : 3.133 g/cm³
 Compacité calculée : 59.4 % (volume)
 Pourcentage d'hydratation : 3.96 % (masse)

Amphibole : actinote

| | Intérieur | Faces | Arêtes | Sommets | Total | Masse (masse) | % |
|------------------------|-----------|-------|--------|---------|-------|---------------|------|
| Fe²⁺ | 2 | 10 | 8 | 8 | 5.3 | 294.8 | 16.5 |
| Mg²⁺ | 2 | 10 | 8 | 8 | 4.7 | 115.2 | 6.4 |
| Ca²⁺ | 2 | 4 | 0 | 0 | 4 | 160.3 | 8.9 |
| H⁺ | 2 | 4 | 0 | 0 | 4 | 4.0 | 0.2 |
| O²⁻ | 44 | 8 | 0 | 0 | 48 | 768 | 42.9 |
| Si⁴⁺ | 16 | 0 | 0 | 0 | 16 | 449.4 | 25.1 |

Masse volumique calculée : 3.231 g/cm³
 Compacité calculée : 58.8 % (volume)
 Pourcentage d'hydratation : 3.80 % (masse)

Chlorite

| | Intérieur | Faces | Arêtes | Sommets | Total | Masse (masse) | % |
|------------------------|-----------|-------|--------|---------|-------|---------------|------|
| Mg²⁺ | 2 | 10 | 8 | 8 | 10 | 243.1 | 21.9 |
| Si⁴⁺ | 6 | 4 | 0 | 0 | 6.1 | 170.8 | 15.4 |
| Al³⁺ | 6 | 8 | 0 | 0 | 3.9 | 105.8 | 9.5 |
| O²⁻ | 28 | 16 | 0 | 0 | 36 | 576 | 51.8 |
| H⁺ | 14 | 4 | 0 | 0 | 16 | 16.1 | 1.5 |

Masse volumique calculée : 2.638 g/cm³
 Compacité calculée : 56.6 % (volume)
 Pourcentage d'hydratation : 24.48 % (masse)

Calculer le pourcentage d'hydratation de la roche SANS CALCULATRICE

| Roche | Minéraux | % dans la roche | % d'hydratation | Pourcentage d'hydratation de la roche |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------------|
| Gabbro "frais" | Pyroxène: Augite | 55 | 0 | 0 |
| | Plagioclase: Anorthite | 45 | 0 | |
| Gabbro à hornblende | Pyroxène: Augite | 40 | 0 | 0.594 |
| | Plagioclase: Anorthite | 45 | 0 | |
| | Amphibole: Hornblende | 15 | 3.96 | |
| Métagabbro de faciès schiste vert | Plagioclase: Anorthite | 35 | 0 | 6.646 |
| | Amphibole: Hornblende | 25 | 3.96 | |
| | Amphibole: actinote | 20 | 3.8 | |
| | Chlorite | 20 | 24.48 | |

Calculer le pourcentage d'hydratation de la roche dû au pyroxène

Ajouter le pourcentage d'hydratation de la roche dû aux plagioclases

Ramener le pourcentage à 100

$$=(M3*L3+M4*L4)/100$$

Calcul masse volumique de la roche

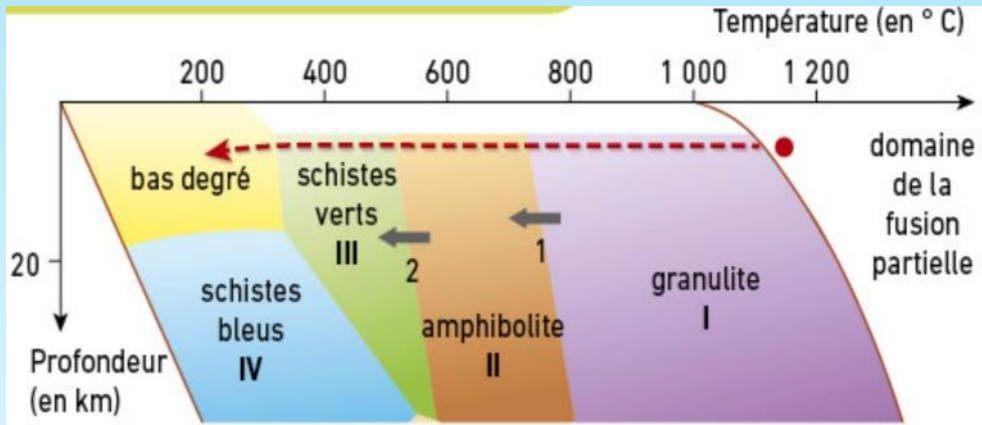
$$= (O3*L3+O4*L4)/100$$

| Roche | Minéraux | % dans la roche | % d'hydratation | Pourcentage d'hydratation de la roche | Masse volumique en g/cm3 | Masse volumique de la roche en g/cm3 | Densité de la roche |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| Gabbro "frais" | Pyroxène: Augite | 55 | 0 | 0 | 3.269 | 3.04265 | 3.04 |
| | Plagioclase: Anorthite | 45 | 0 | | 2.766 | | |
| Gabbro à hornblende | Pyroxène: Augite | 40 | 0 | 0.594 | 3.269 | 3.02225 | 3.02 |
| | Plagioclase: Anorthite | 45 | 0 | | 2.766 | | |
| | Amphibole: Hornblende | 15 | 3.96 | | 3.133 | | |
| Métagabbro de faciès schiste vert | Plagioclase: Anorthite | 35 | 0 | 6.646 | 2.418 | 2.80335 | 2.80 |
| | Amphibole: Hornblende | 25 | 3.96 | | 3.133 | | |
| | Amphibole: actinote | 20 | 3.8 | | 3.231 | | |
| | Chlorite | 20 | 24.48 | | 2.638 | | |

L'hydratation fait diminuer la densité des métagabbros de la croûte océanique.
 C'est contradictoire avec l'augmentation de la densité au fur et à mesure du vieillissement de la lithosphère. Cela s'explique par l'augmentation de l'épaisseur du manteau lithosphérique qui est plus dense (3.3 en moyenne) que la croûte.

En s'éloignant de l'axe de la dorsale, la nouvelle lithosphère formée subit des transformations par l'eau de mer qui s'infiltré, elle se refroidit et s'épaissit. Cet épaississement induit une augmentation progressive de sa densité.

Comprendre et utiliser un diagramme Pression – température pour situer les modifications des roches lors d'un métamorphisme



I, II, III... : faciès métamorphiques

Domaines de stabilité de quelques associations minérales

I pyroxène + plagioclase

II hornblende + plagioclase

III chlorite + actinote + plagioclase

← - - - Trajet « pression-température » d'un gabbro au cours du temps

le métamorphisme de la croûte océanique au cours de l'expansion océanique.

En laboratoire, il est possible de soumettre des associations minérales à des pressions et des températures comparables à celles qui règnent dans la lithosphère.

Ces expériences montrent qu'à partir d'un certain seuil, deux minéraux voisins jusqu'alors stables commencent à réagir entre eux, tout en restant à l'état solide, et donnent naissance à des nouveaux minéraux, stables, dans les nouvelles conditions de pression et de température. Ces lentes transformations sont appelées métamorphisme et l'éventail de pressions et températures dans lequel l'association minérale est stable constitue un faciès métamorphique.

Métamorphisme : modification à l'état solide de la structure et de la minéralogie d'une roche soumise à des conditions de pression et de température différentes de celles de sa formation.

1 : plagioclase + pyroxène + eau → hornblende

2 : plagioclase + hornblende + eau → actinote + chlorite

B Exemples de réactions métamorphiques

1. Que représente le solidus du gabbro ?

Le solidus du gabbro représente la limite entre le gabbro à l'état solide et le gabbro en fusion partielle.

2. Que représentent les différents domaines délimités sur le diagramme ?

Les différents domaines délimités sur le diagramme représentent l'association de minéraux stables à ces conditions de pression et de température : ce sont les **faciès**. Les limites entre ces domaines correspondent à des réactions métamorphiques suite aux changements de pression et/ou de température.

3. Ces différents domaines sont-ils situés dans une zone où la roche est solide ? liquide ? ou en fusion partielle ?

Ces différents domaines sont situés dans une zone où la **roche est solide**.

4. A une pression d'environ 250 MPa et à une température de 800°C, dans quel état physique se trouve le gabbro ?

Dans ces conditions l'état physique du gabbro est solide.

5. Lorsqu'il y a refroidissement et que la température atteint 600°C, que se passe-t-il ? Et quel est l'état physique de la roche ?

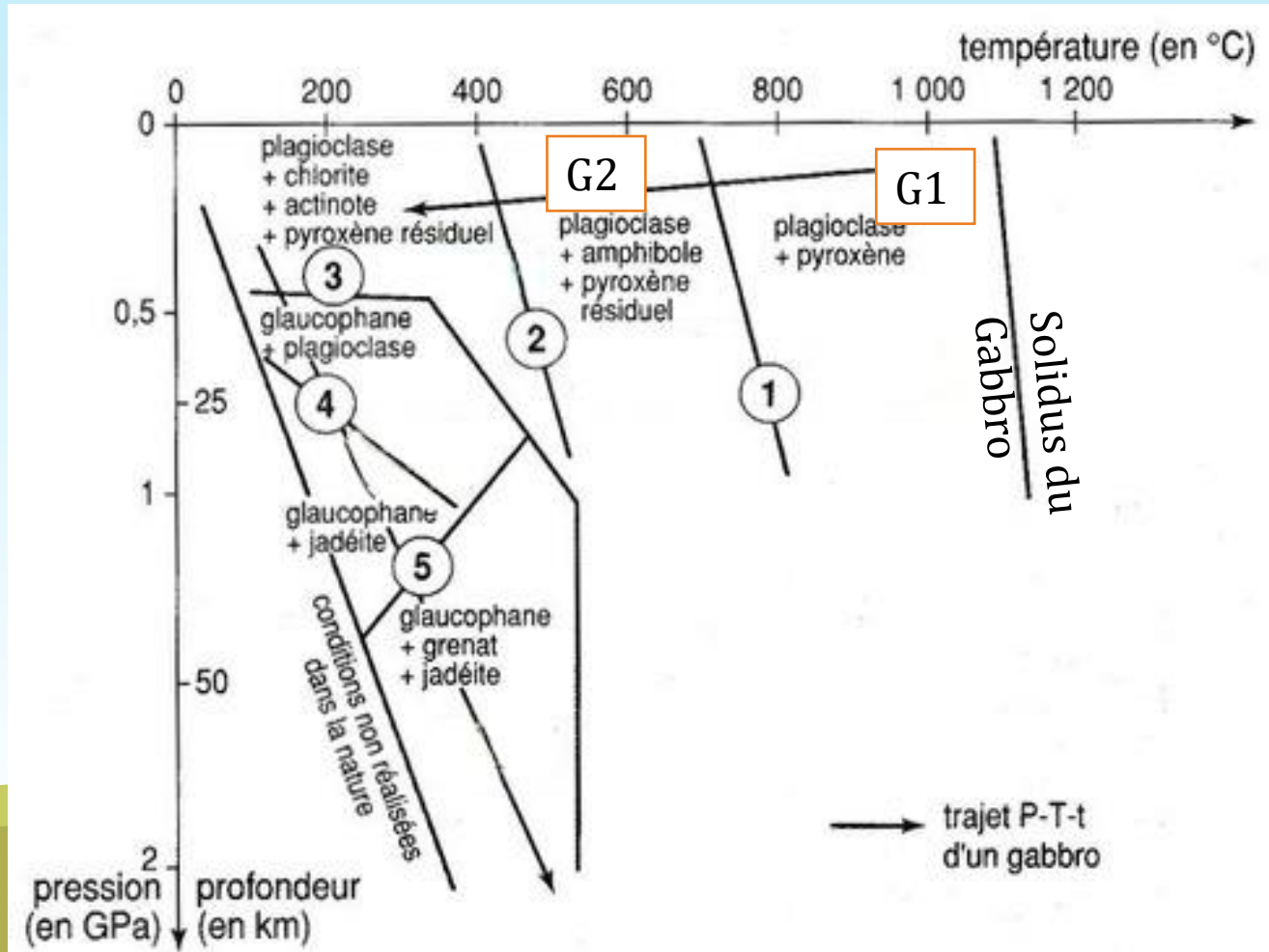
Lorsque la température atteint 600°C, il y a des transformations minéralogiques : le pyroxène et le plagioclase associés à l'eau de l'océan se transforment à l'état solide en amphibole : hornblende verte.

6. D'après la vidéo, (à 4 min environ), comment appelle-t-on ces réactions?

On appelle ces réactions des réactions métamorphiques (elles ne sont pas à apprendre par cœur)

7. Comment appelle-t-on alors la roche obtenue ?

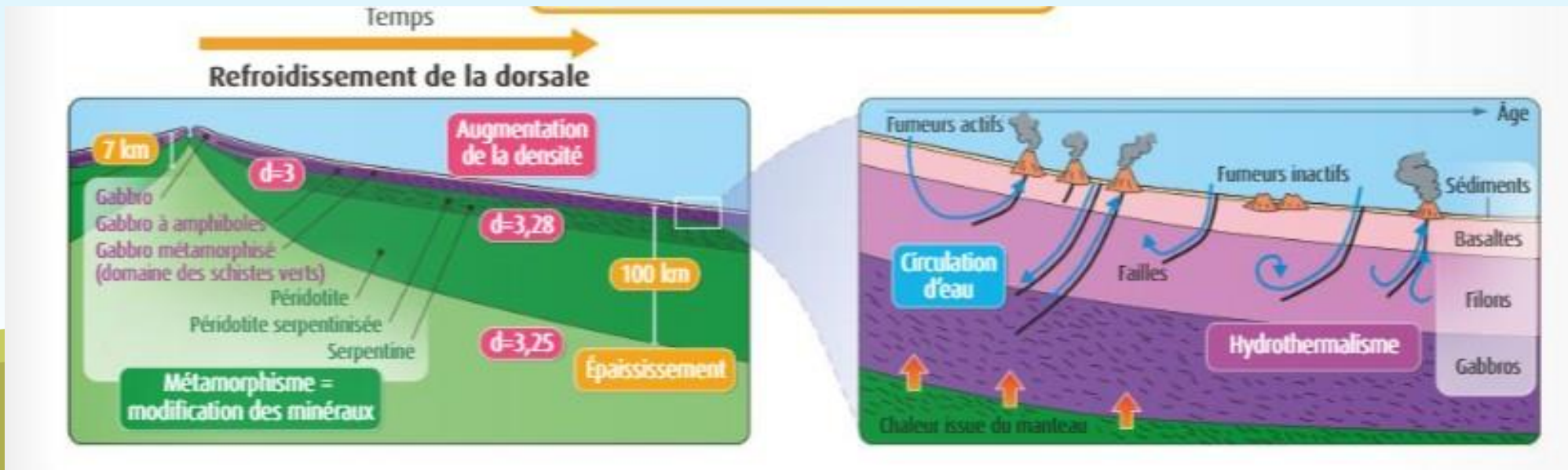
On obtient un métagabbro

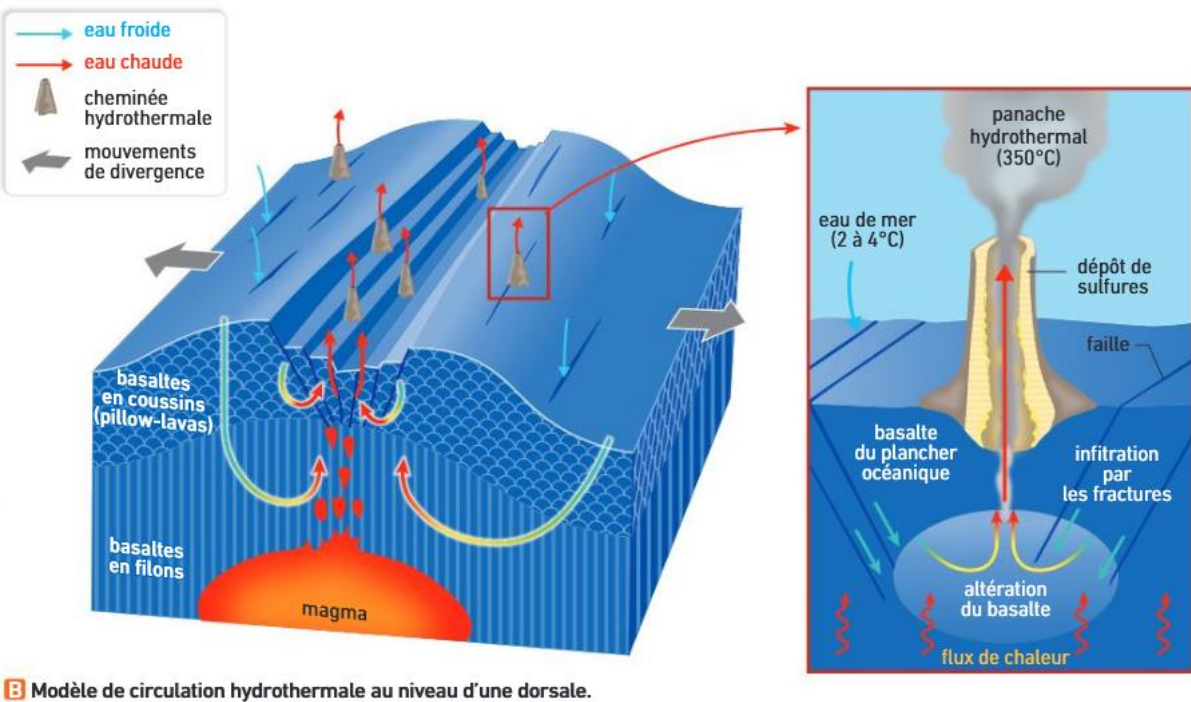


G1 : gabbro initial composé de plagioclase et de pyroxène à l'état solide

G2 : Gabbro métamorphisé appelé métagabbro composé de pyroxène, plagioclase et amphibole (hornblende)

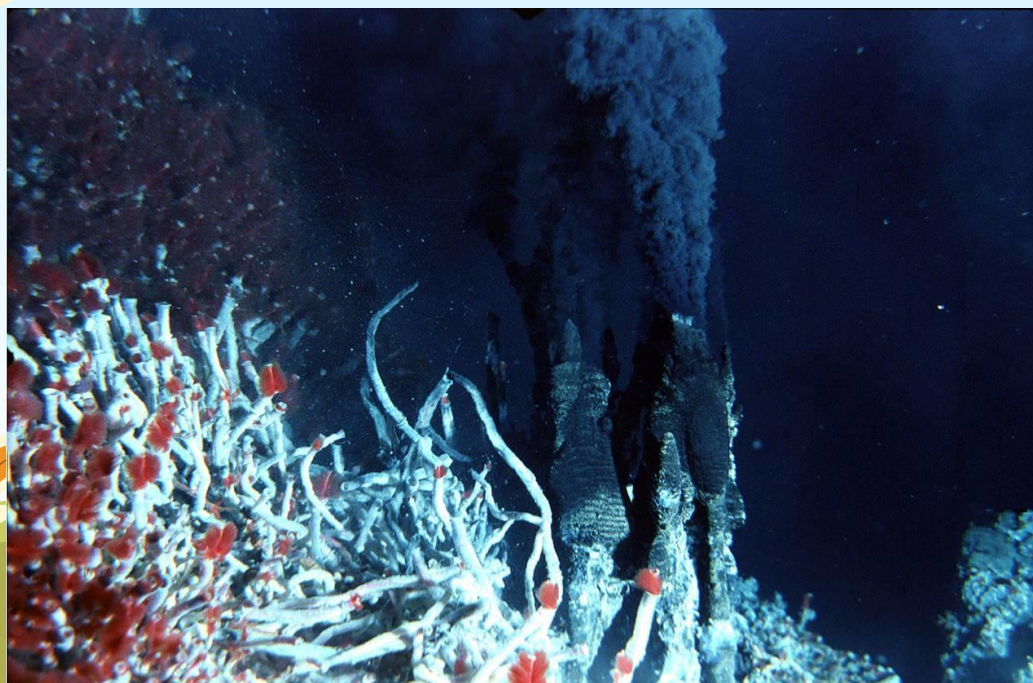
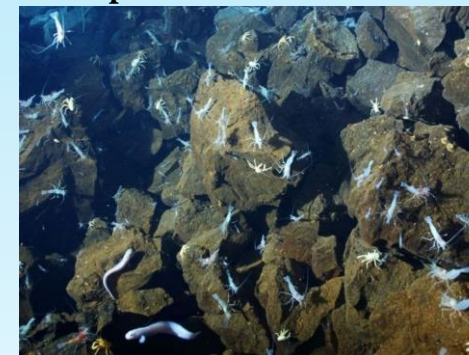
Bilan : En s'éloignant de l'axe de la dorsale, la nouvelle lithosphère formée subit des transformations par l'eau de mer qui s'infiltré, elle se refroidit et s'épaissit. Cet épaississement induit une augmentation progressive de sa densité. L'eau entraîne des transformations à l'état solide des roches de la croûte océanique et du manteau superficiel, on parle de **métamorphisme**. Le gabbro est ainsi transformé en **métagabbro à amphibole** (hornblende) puis en **métagabbro de faciès schiste vert** (présence de chlorite et d'actinote) tandis que la péridotite est transformée en **péridotite serpentinisée** puis en serpentinite.





L'infiltration de l'eau de mer permet le métamorphisme des roches mais en ressortant il est à l'origine de source hydrothermale (caractérisée par des fumeurs noirs (photo en bas à gauche)) véritable oasis de vie dans les grands fonds sous-marins.

On y trouve des formes de vie très particulières.



ANIMAUX DES CHEMINÉES HYDROTHERMALES

Ver tubulaire géant



Crabe Yéti



Ver de Pompéi



