

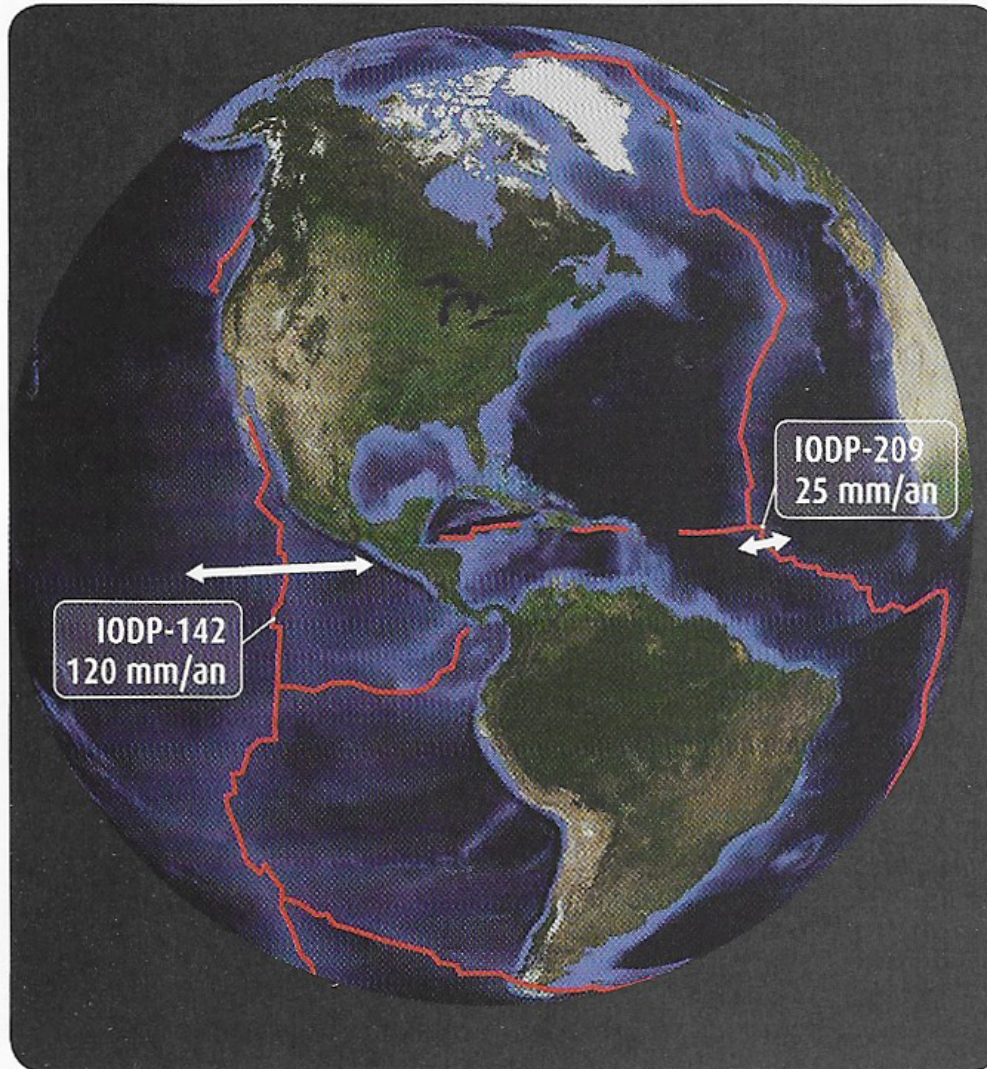
Thème C : La dynamique interne de la Terre

Chapitre C3 : La dynamique des zones de divergence

Problématique : Comment se met en place la lithosphère océanique et quelle est son évolution ?

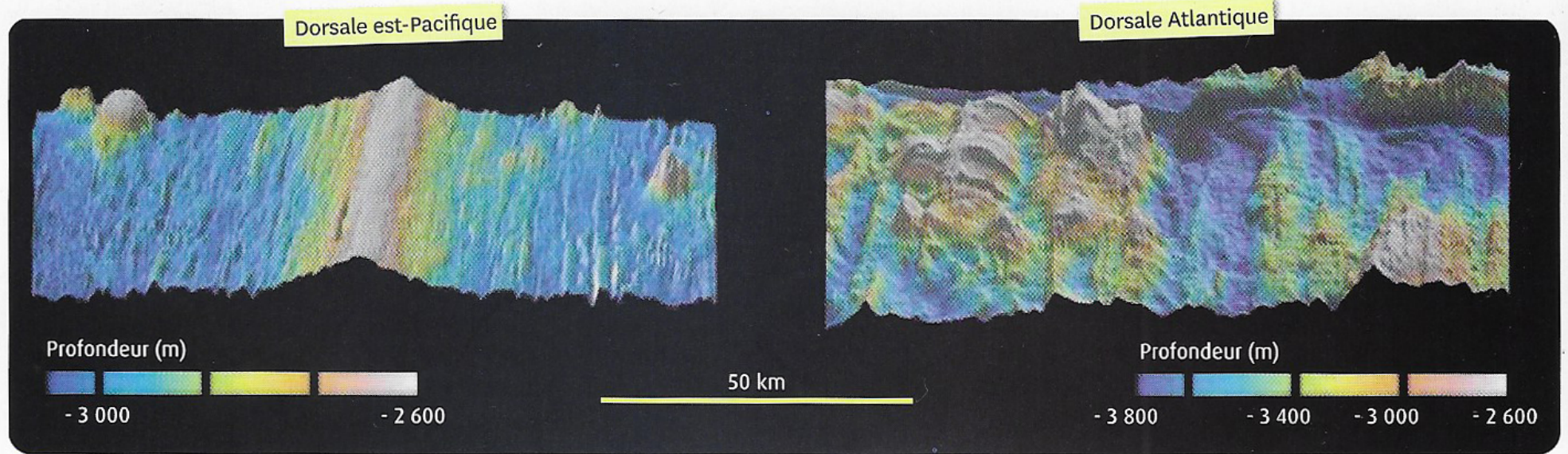
Comparaison de deux types de dorsales

Comparaison de deux types de dorsales

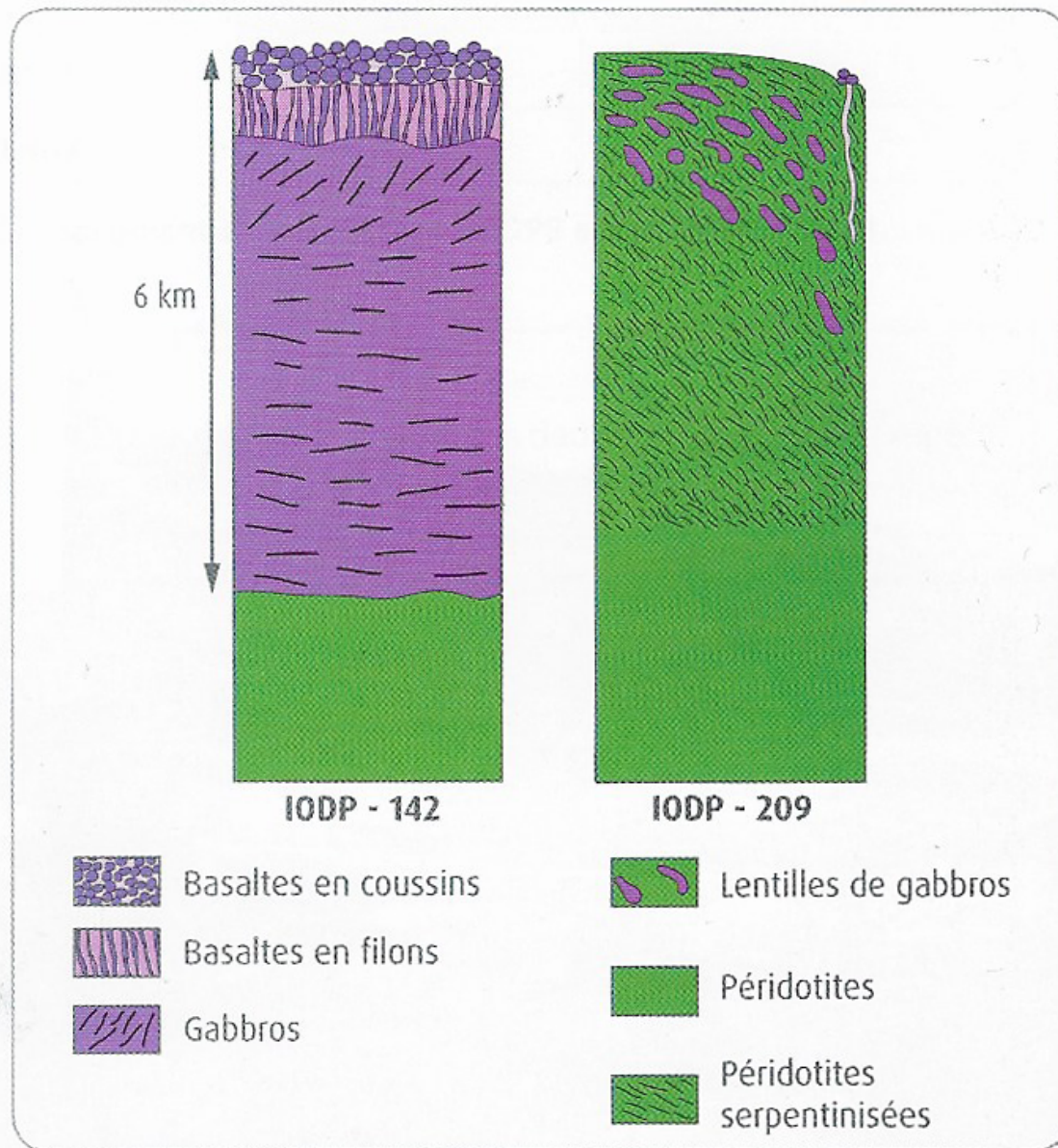


1 **Vitesse de divergence des plaques lithosphériques au niveau de la dorsale Atlantique et de la dorsale est-Pacifique.** La dorsale Atlantique est qualifiée de lente, la dorsale est-Pacifique est qualifiée de rapide. IOP-142 et 209 sont des sites de forage des expéditions de l'Integrated ocean drilling program.

Comparaison des reliefs de la croûte océanique des 2 types de dorsales



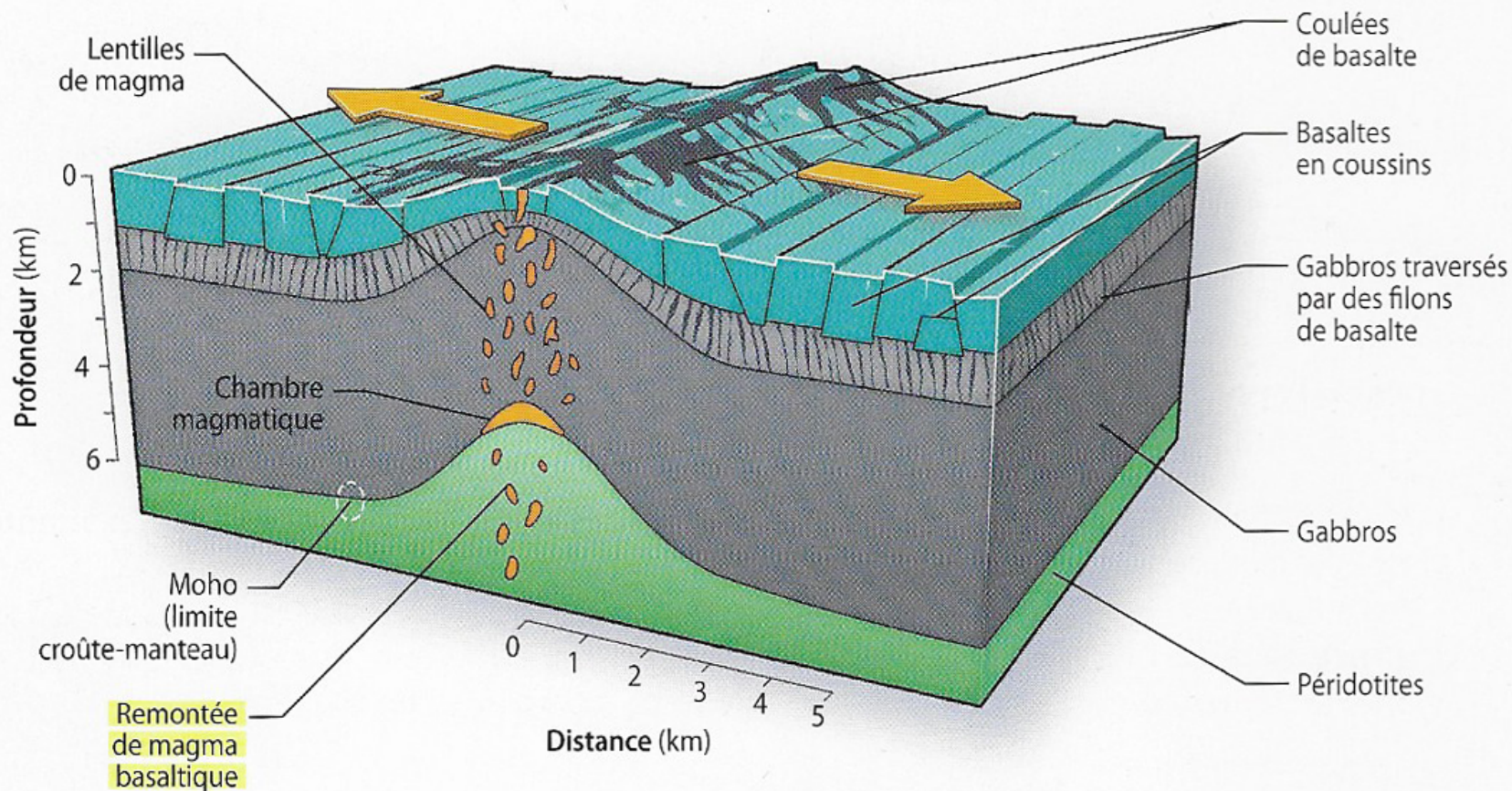
3 **Comparaison de la bathymétrie du plancher océanique au niveau de la dorsale est-Pacifique et de la dorsale Atlantique.** On observe un bombement axial de la dorsale à expansion rapide et un large et profond rift axial au cœur de la dorsale à expansion lente.



2 Reconstitution de la succession verticale des roches au niveau de la dorsale est-Pacifique et de la dorsale Atlantique. La localisation des forages est indiquée doc. 1. Les striations représentées dans les gabbros et les péridotites soulignent l'organisation des minéraux dans la roche.

I. Le fonctionnement d'une dorsale rapide

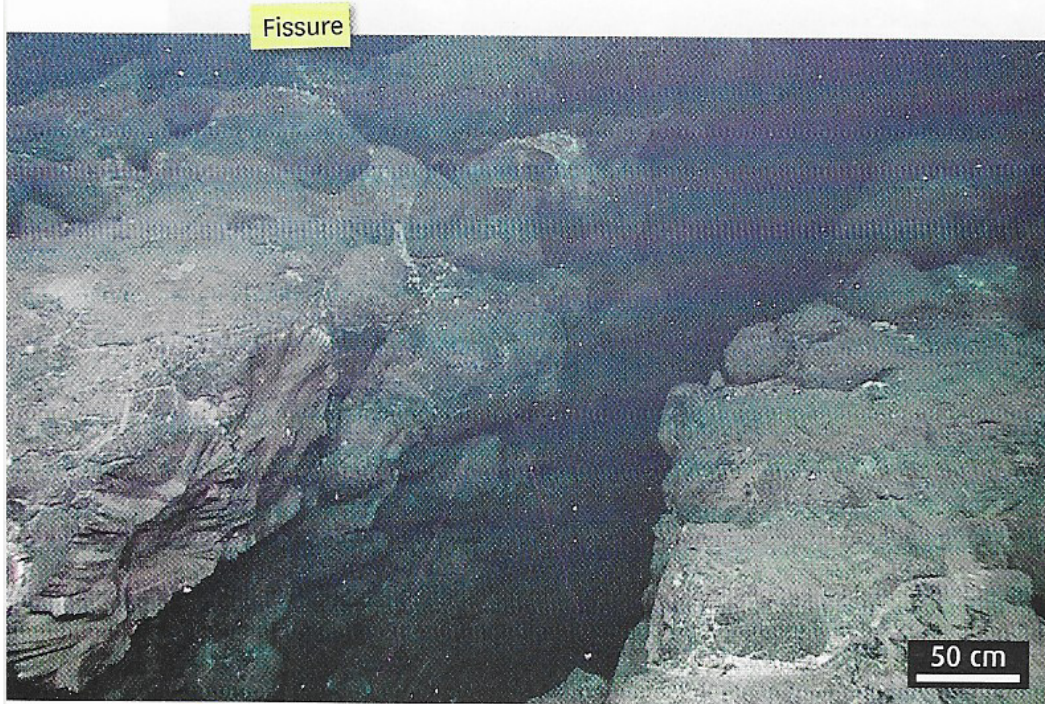
Schéma d'une dorsale rapide type Est-Pacifique



Le dôme, caractéristique des dorsales rapides, se trouve entre 3 000 et 2 500 mètres de profondeur. Le refroidissement du magma basaltique présent dans les chambres magmatiques donne deux types de roches : des gabbros en profondeur et des basaltes en surface.

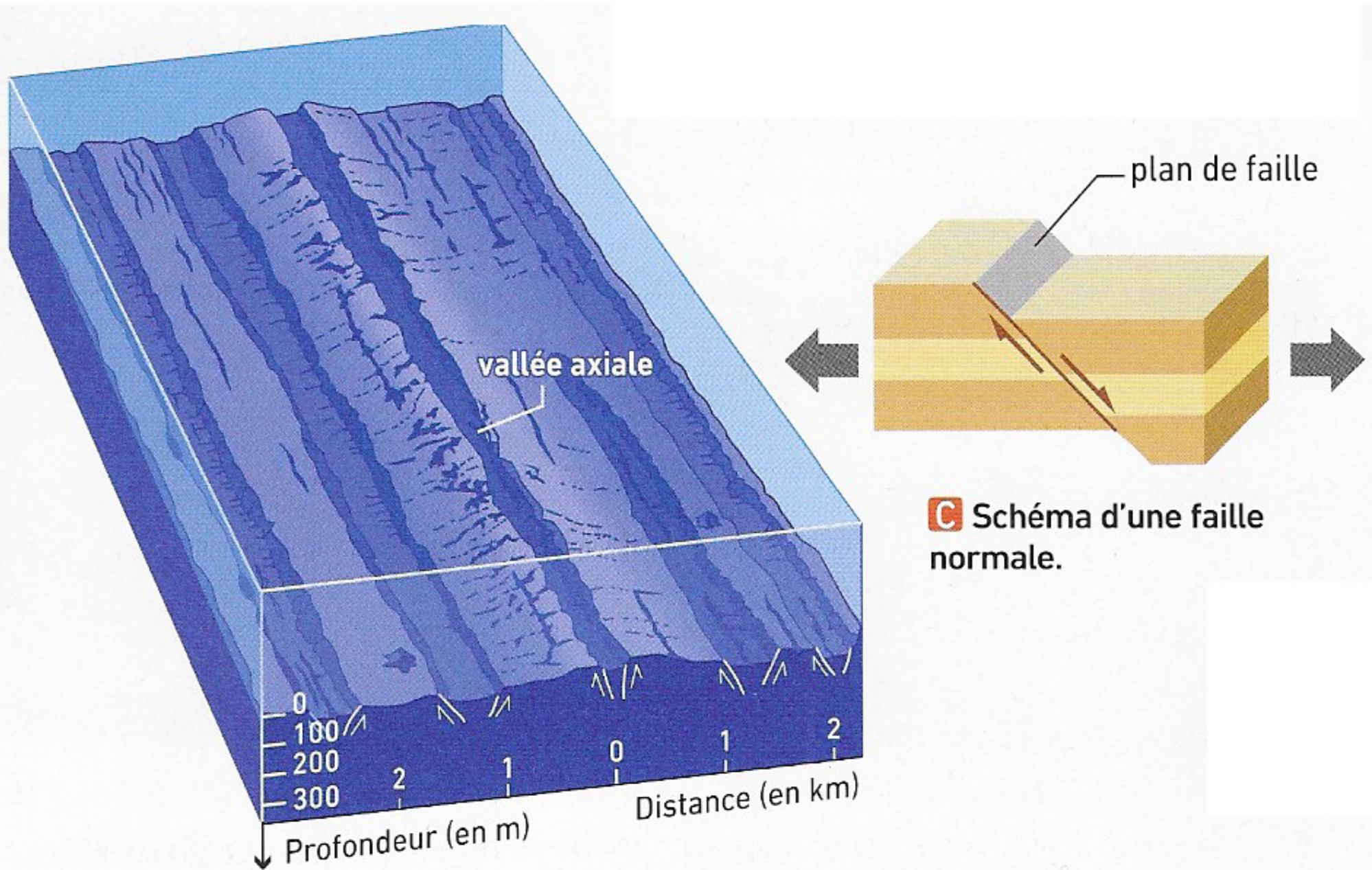
Organisation en surface et en profondeur d'une dorsale rapide

Une zone présentant des failles et des remontées magmatiques



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.

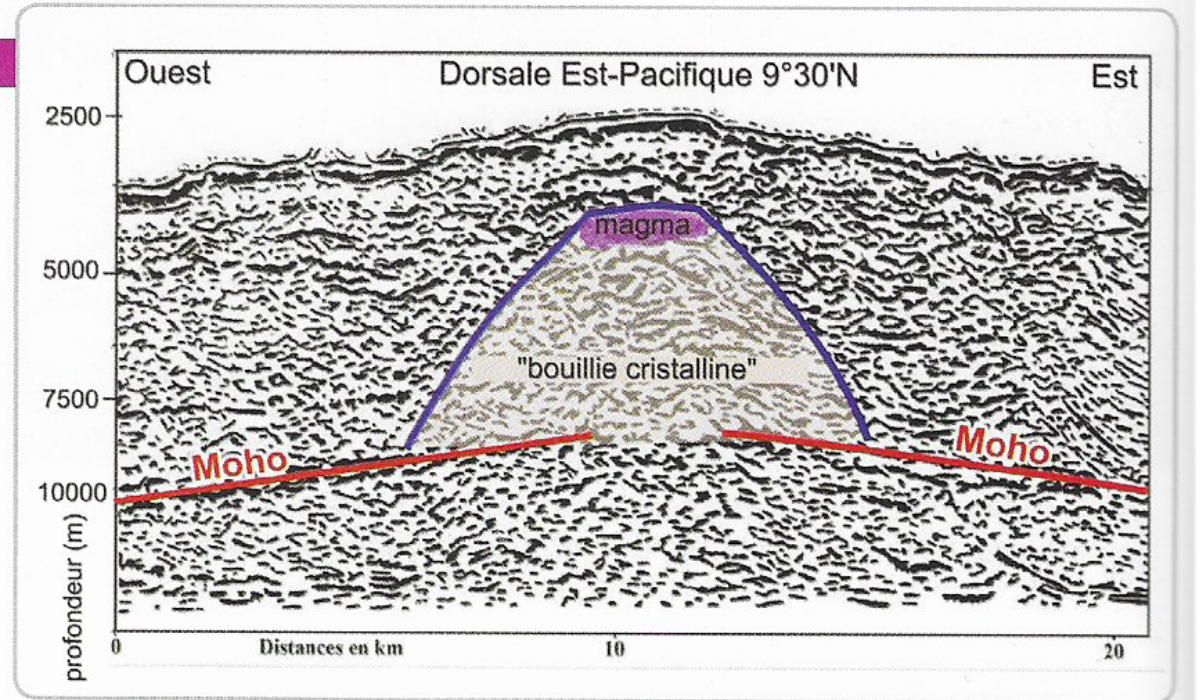
Les failles normales caractéristiques de la zone axiale des dorsales



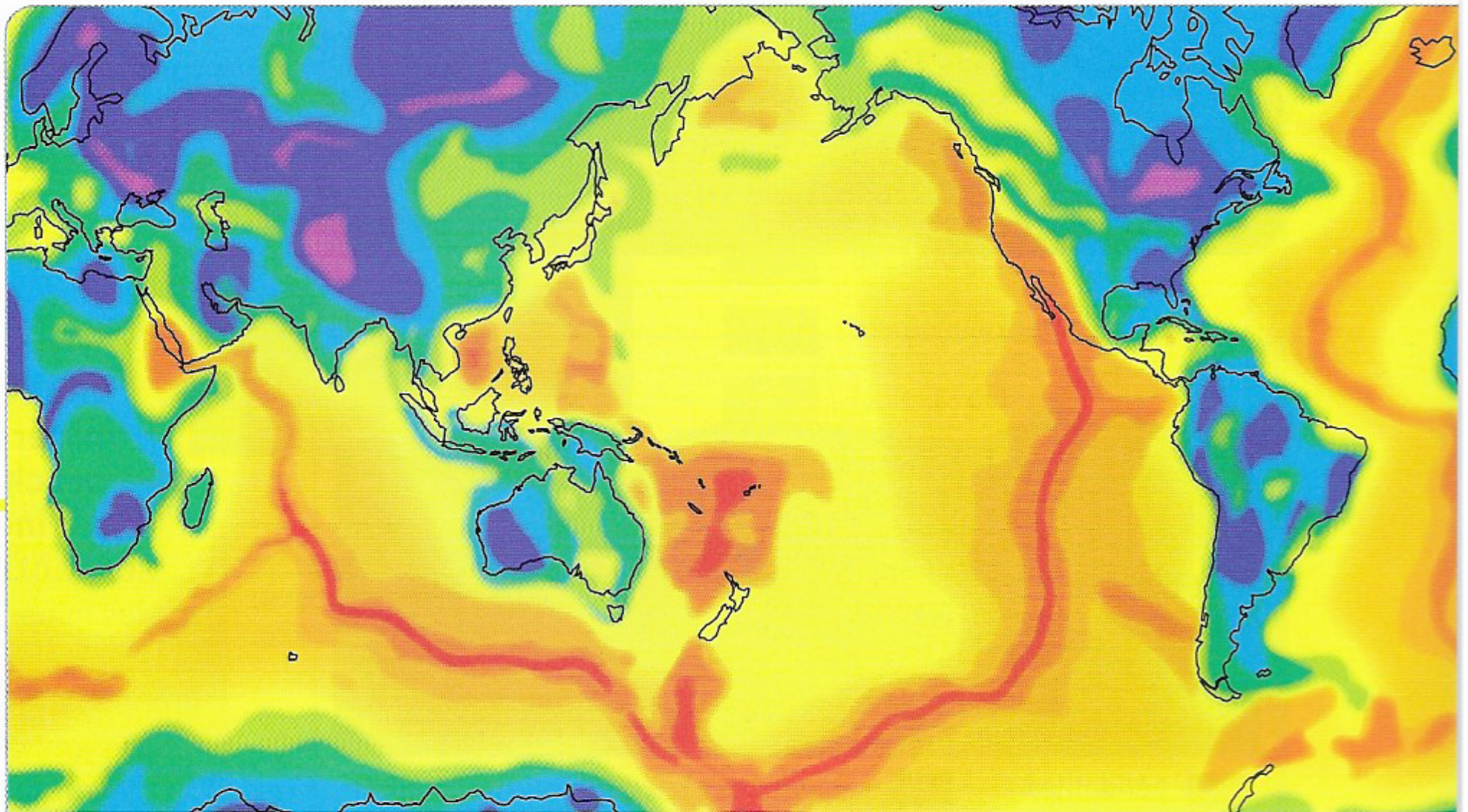
Profil sismique d'une dorsale rapide

Profil sismique réalisé perpendiculairement à la dorsale est-pacifique. On estime que ce profil est représentatif de la plupart des segments de cette dorsale.

c



La profondeur de la limite lithosphère /asthénosphère

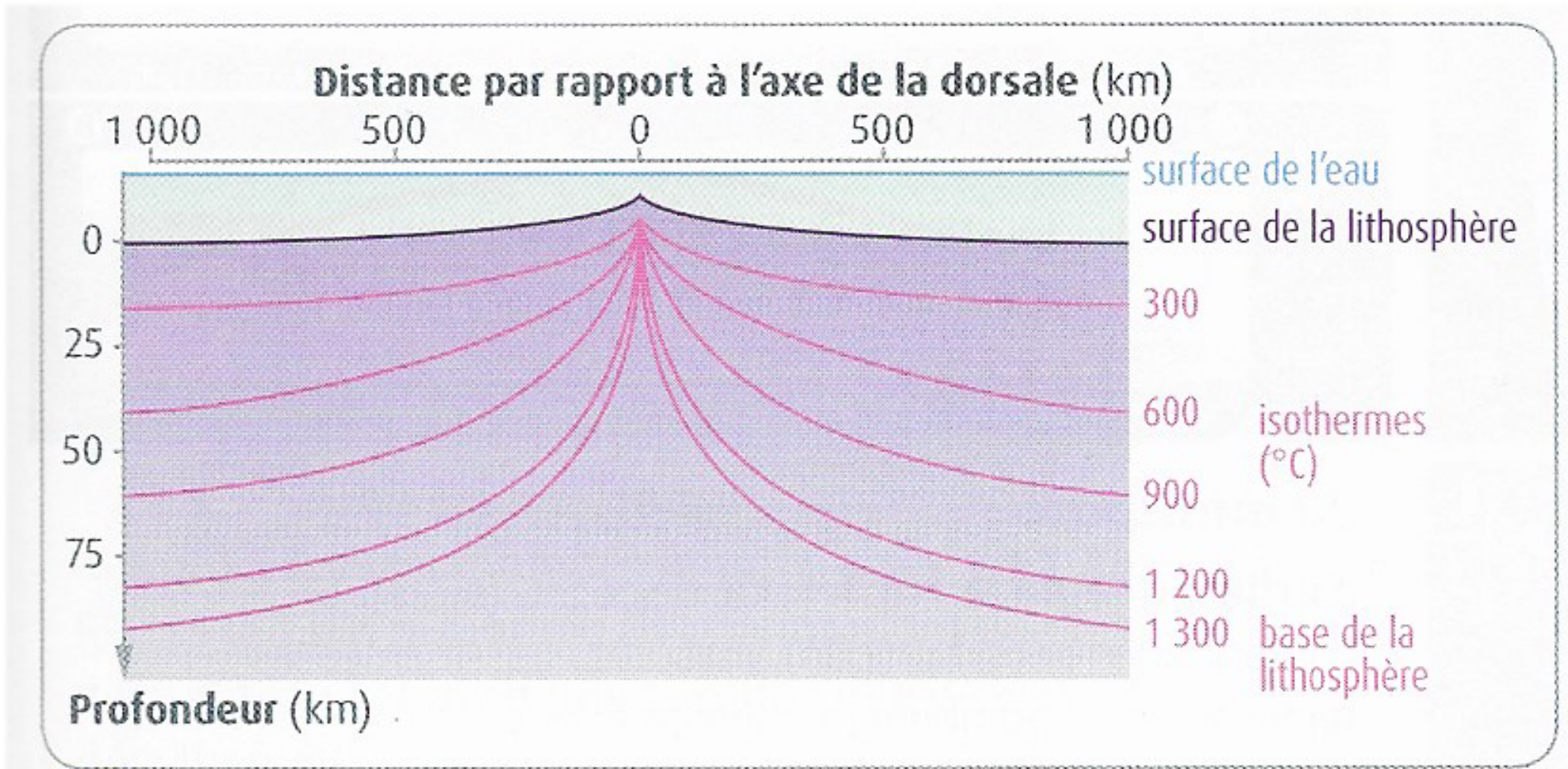


Profondeur (km)

6,5 30 60 90 120 150 180 210 240 256

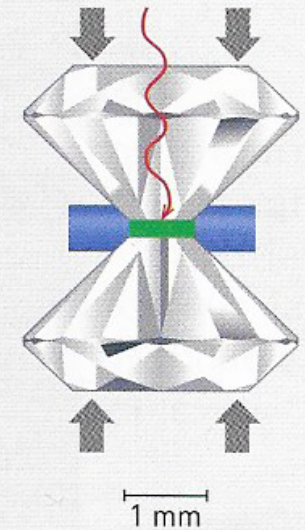
Répartition des isothermes dans la lithosphère océanique au niveau d'une dorsale rapide

Un isotherme est une ligne ou une surface qui relie tous les points du globe qui sont à la même température.



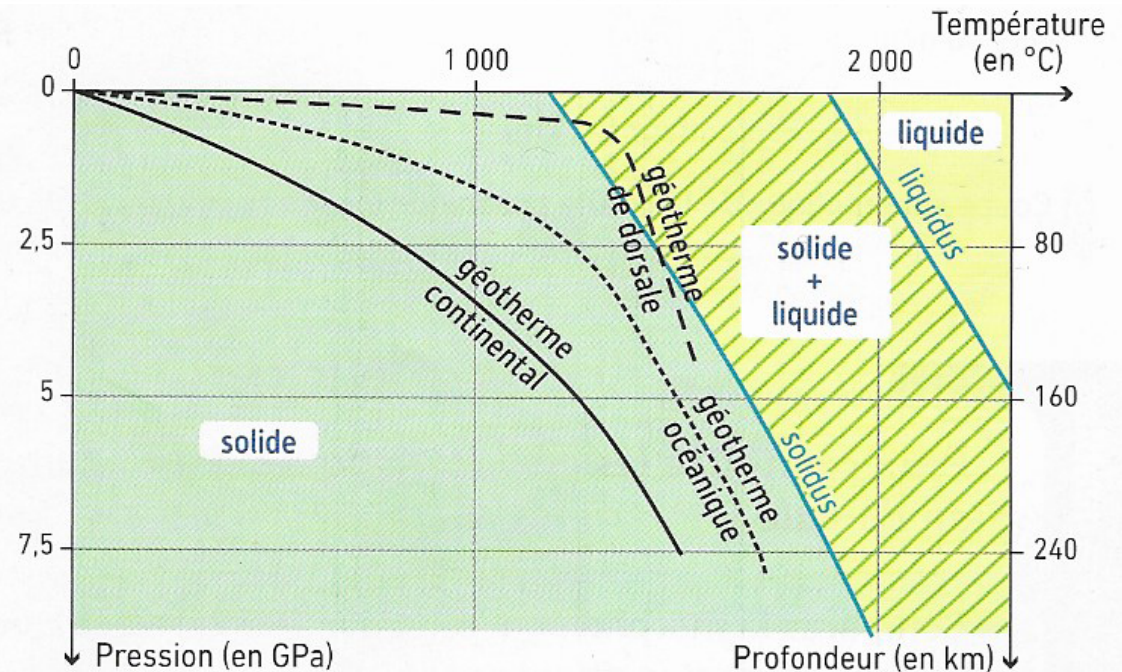
Les conditions de fusion partielle de la péridotite

Le schéma ci-contre représente une presse « à enclumes de diamant ». Cet appareil permet de soumettre une roche à des températures et des pressions telles qu'elles existent dans les profondeurs de la Terre, et d'observer son état (solide, liquide, ou partiellement fondu). L'échantillon (**en vert**) est réduit en poudre, puis placé entre deux diamants dans un joint métallique (**en bleu**). Un dispositif rapproche les deux diamants (flèches noires) pour régler la pression. L'échantillon est chauffé par un faisceau laser qui traverse les diamants (**en rouge**).

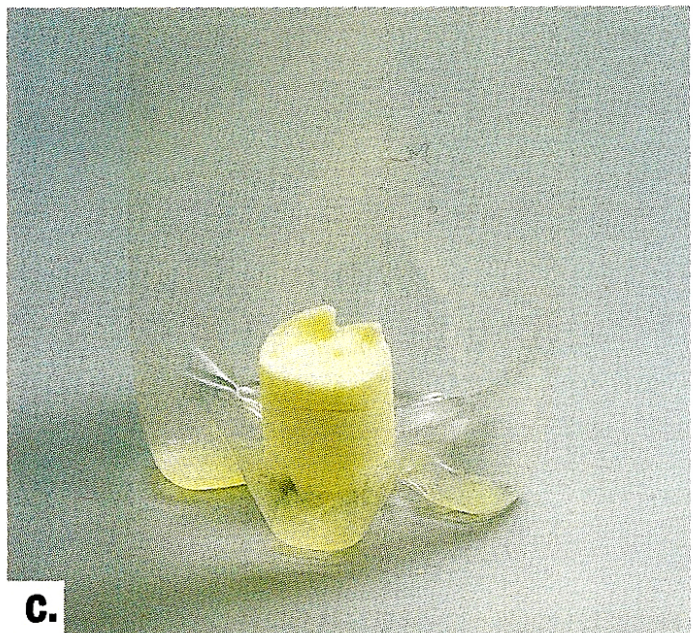
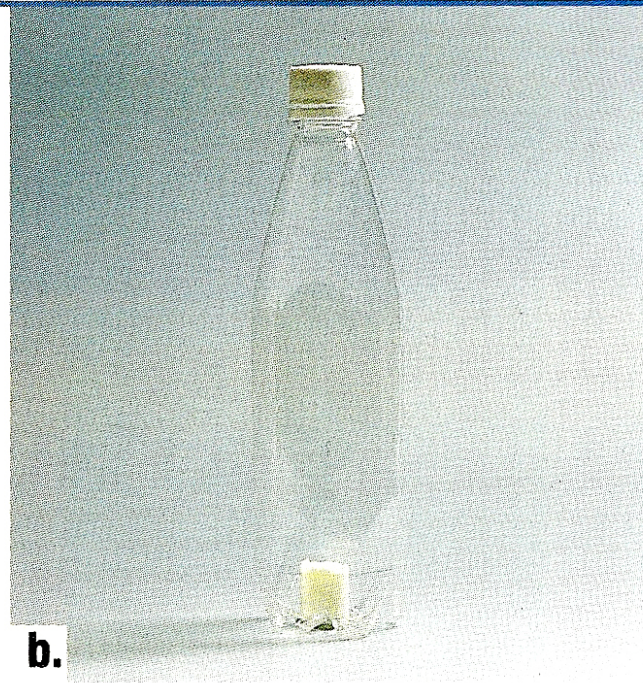


L'étude du comportement de la péridotite dans la presse à enclume de diamant permet de tracer son solidus (courbe de début de fusion) et son liquidus (courbe de fin de fusion). Entre ces deux courbes, la péridotite est partiellement fondue.

Si on reporte dans ce diagramme de phase* la courbe représentant pour un lieu donné l'évolution de la température en fonction de la profondeur (géotherme), on peut alors savoir si, à la verticale de ce lieu, le manteau peut produire ou non des magmas, à quelle profondeur et en quelle quantité. À l'aplomb d'une dorsale, les péridotites soumises à des mouvements de convection ascendants remontent vers la surface, pratiquement sans se refroidir.



B Mise en relation du diagramme de phase de la péridotite et de trois géothermes typiques (continent, plaine abyssale et dorsale).



11 Modèle analogique de l'influence de la pression sur la fusion d'un solide.

Deux bouteilles contenant chacune un cylindre de beurre de même volume sont mises sous pression à l'aide d'un gonfleur muni d'un manomètre jusqu'à une pression de 5 atmosphères. L'une d'elles (**a.**) est laissée sous pression, l'autre (**b.**) est remise à la pression atmosphérique normale. Les deux bouteilles sont ensuite placées dans un bain-marie à 35 °C jusqu'à l'observation des résultats (**c.** et **d.**).

Expérience de fusion partielle d'une péridotite

Des échantillons de péridotite broyée sont placés dans la cellule d'une enclume à diamants (pour le principe voir le chapitre 6 p. 120) afin d'obtenir des conditions de pression et de température provoquant leur **fusion partielle** (entre 5 et 40 %). Le matériel fondu (magma)

est analysé et sa composition chimique est comparée à celle des basaltes. Les péridotites dites appauvries correspondent aux roches du manteau qui restent, c'est-à-dire à ce qui n'a pas fondu.

Composition chimique	Péridotite utilisée lors de l'expérience	Pourcentage de fusion de la péridotite						Basalte de la dorsale	Péridotite appauvrie
		5 %	10 %	20 %	25 %	30 %	40 %		
SiO ₂	44,9	47	48	48,6	50,1	50,5	51,6	48	42,3
Al ₂ O ₃	3,2	15,7	13,2	12,8	11,8	10,5	7,8	14,3	0,5
Fe ₂ O ₃	8,6	13,9	12,1	8,9	8,3	8,9	8,4	11	7,1
MgO	40	10,4	12	15,4	18,8	19,2	23,9	12	49,6
CaO	3	9,2	12,6	13,2	10,1	9,9	7,4	12	0,1
Na ₂ O	0,2	2,6	1,5	1,1	0,8	0,9	0,8	2,2	0,1
K ₂ O	0,1	1,2	0,6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,005

Pourcentage des éléments constitutifs de la péridotite, du basalte de dorsale et des magmas obtenus par fusion partielle

Péridotite du manteau (%)

Composition chimique

SiO ₂	44,5
Al ₂ O ₃	1,8
FeMgO	50
CaO	1,6
Na ₂ O	0,3
K ₂ O	0,1

Composition minéralogique

Olivine	40
Pyroxène	54
Plagioclases	6

Fusion
partielle 20
à 25%

Fraction liquide (%)

Composition chimique

SiO ₂	52
Al ₂ O ₃	7
FeMgO	34
CaO	4
Na ₂ O	1
K ₂ O	0

Refroidissement lent (%)

Composition minéralogique

Olivine	0 %
Pyroxène	74 %
Plagioclases	24 %
Quartz	2 %

GABBRO

Refroidissement rapide (%)

Composition minéralogique

Verre 65
Parmi les cristaux pyroxènes et plagioclases

BASALTE

Fraction solide (%)

Composition chimique

SiO ₂	43
Al ₂ O ₃	0
FeMgO	56
CaO	1
Na ₂ O	0
K ₂ O	0

Residu (%)

Composition minéralogique

Olivine	52
Pyroxène	48

Péridotite appauvrie

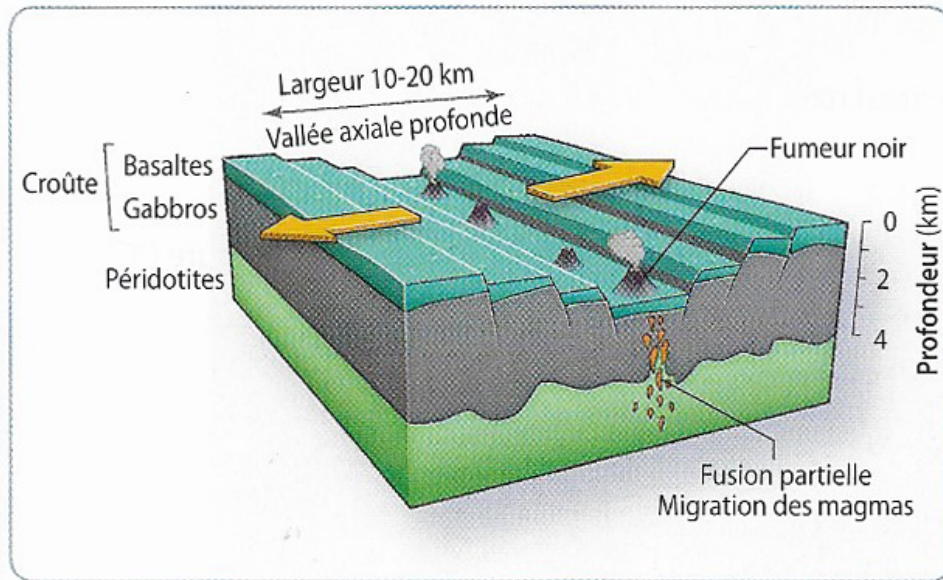
I. Le fonctionnement d'une dorsale lente

Schéma d'une dorsale lente type Atlantique

L'axe d'une dorsale lente est formé d'une vallée profonde parsemée de volcans et parcourue de nombreuses failles normales parallèles à l'axe.

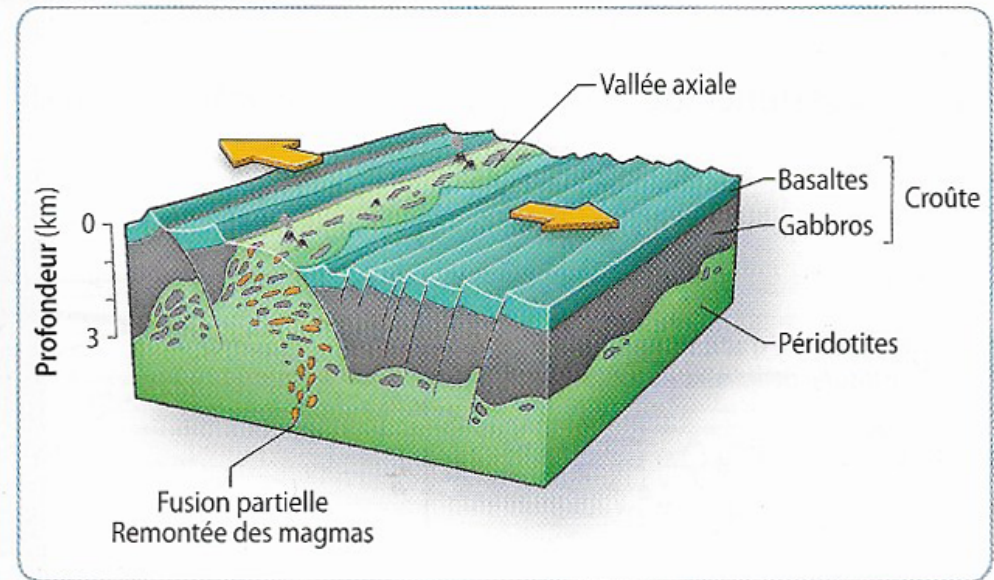
Quand la vitesse de divergence est faible (moins de 2 cm par an), le manteau remonte lentement en se refroidis-

sant et la production de magma est quasi-inexistante. En 1997, on découvre des dorsales au niveau desquelles les péridotites du manteau sont directement à l'affleurement parfois traversées par un filon de lave et partiellement recouvertes de basaltes.



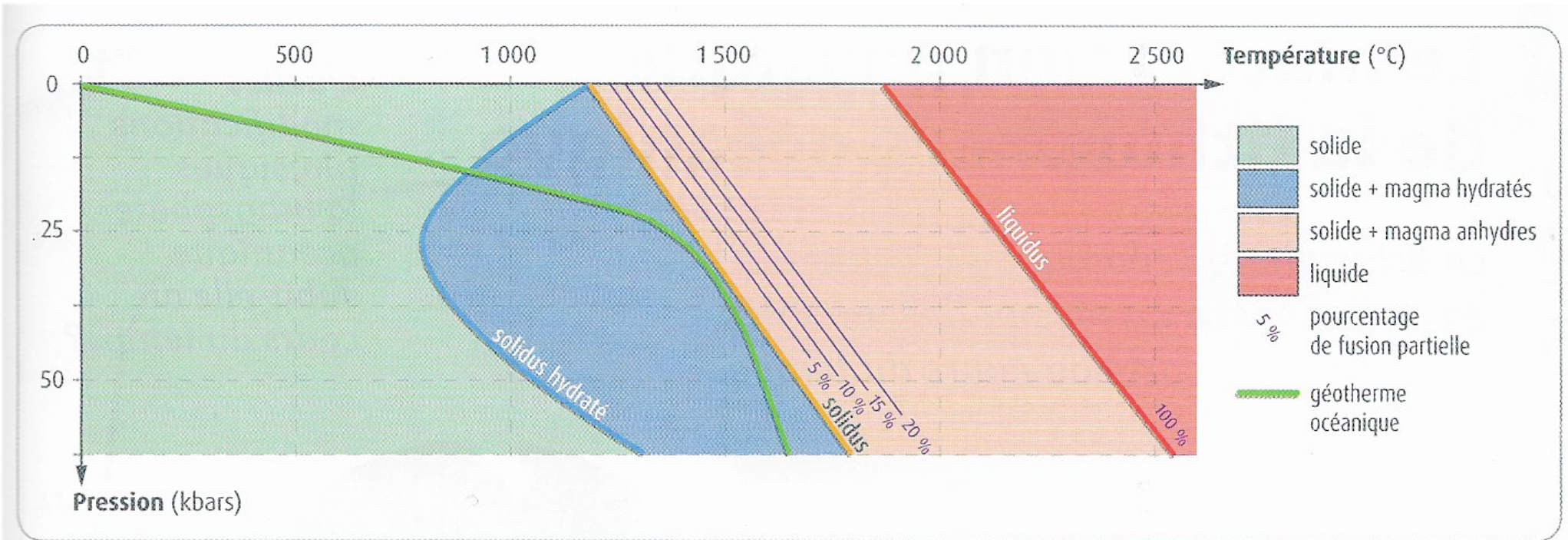
a. Structure schématique d'une dorsale lente

Source : insu.cnrs.fr



b. Structure schématique d'une dorsale ultra-lente

Les conditions de fusion partielle



4 **Diagramme de phase de la péridotite hydratée.** À une pression donnée, la présence d'eau dans la roche abaisse à une pression donnée la température du solidus. Un magma peut donc apparaître à des températures plus basses si la péridotite est en cours de serpentinisation (c'est-à-dire si l'olivine et les pyroxènes de la péridotite sont en train de se transformer en serpentine).

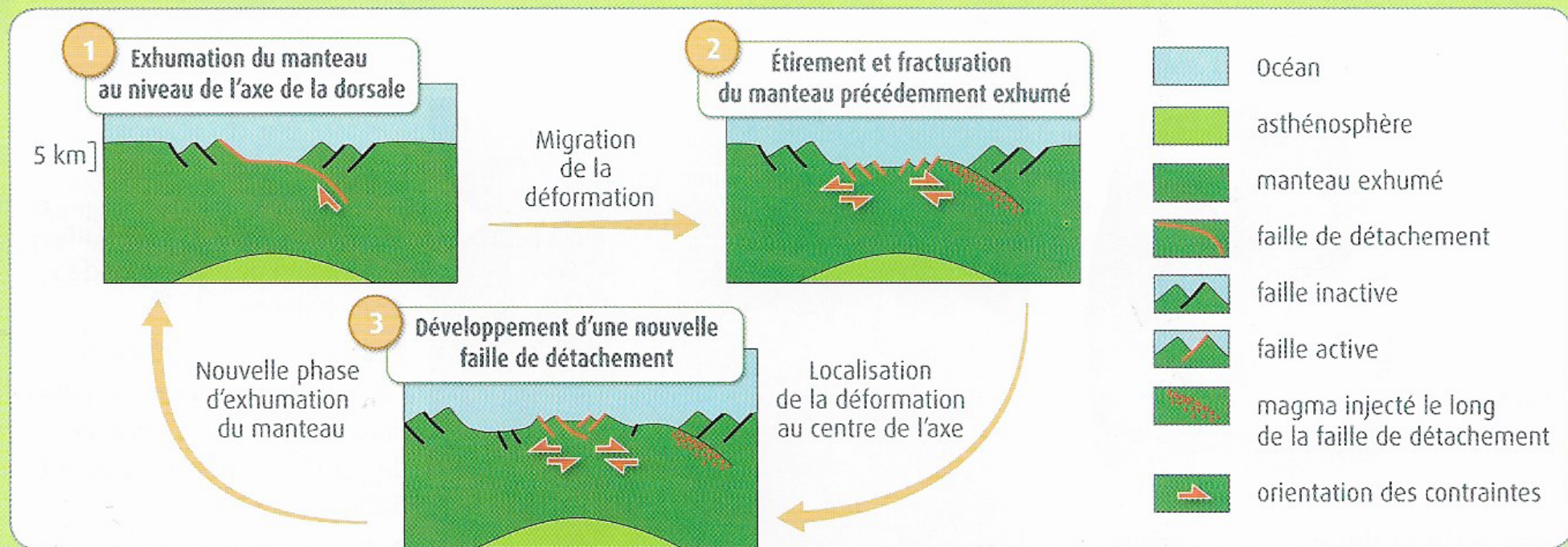
La formation de lithosphère océanique au niveau d'une dorsale lente



Interview de Morgane Gillard, chercheuse en tectonique et géodynamique océanique.

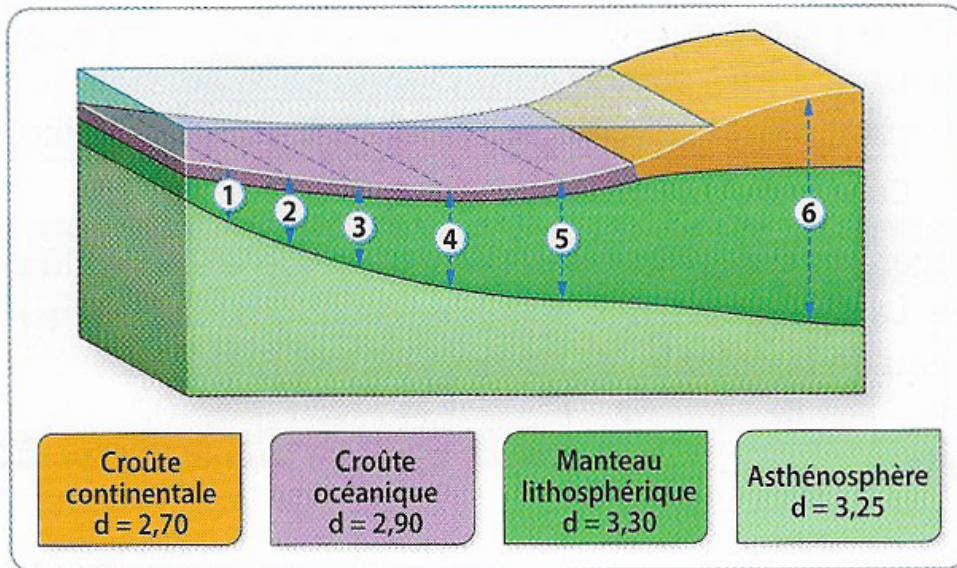
La création de la croûte océanique au niveau des dorsales lentes est associée à des processus tectoniques plutôt que magmatiques. Elle se fait par remontée à l'affleurement de portions de manteau le long d'une grande faille dite « faille de détachement » : on parle d'exhumation du manteau. Les forces à l'origine de cette exhumation sont liées aux mouvements de divergence des plaques lithosphériques de part et d'autre de la dorsale. Ces mêmes forces

provoquent ensuite un étirement et une fracturation du manteau exhumé. L'eau de mer pénètre au niveau de failles dans le manteau étiré. L'eau favorise la fusion partielle des péridotites et produit un magma peu abondant formant des lentilles de gabbros. L'hydratation des péridotites en serpentine facilite le détachement et l'exhumation (remontée des roches vers la surface) du manteau le long de la surface de glissement serpentinisée. Lorsque la portion de manteau exhumée ne peut plus s'étendre, une nouvelle faille de détachement se met en place un peu plus loin et permet à nouveau l'exhumation.



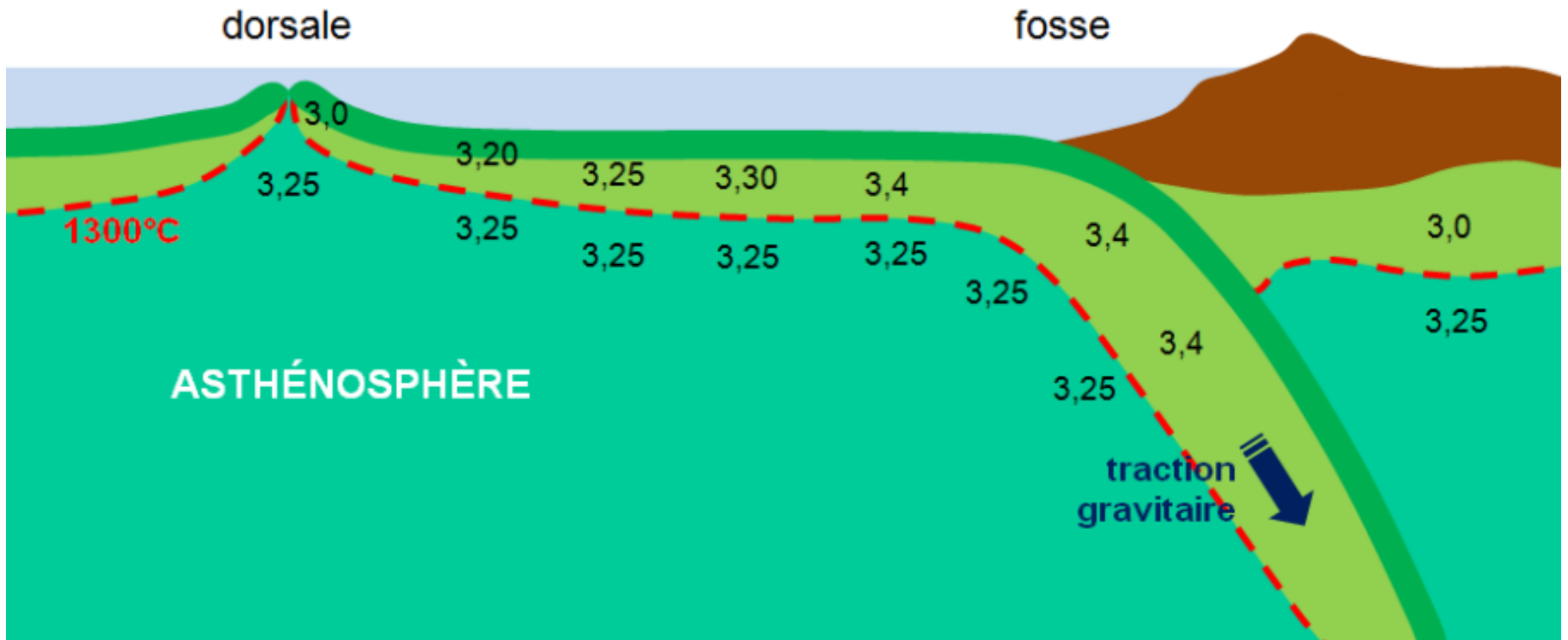
III. L'évolution de la lithosphère océanique au cours du temps

Les modifications de la LO



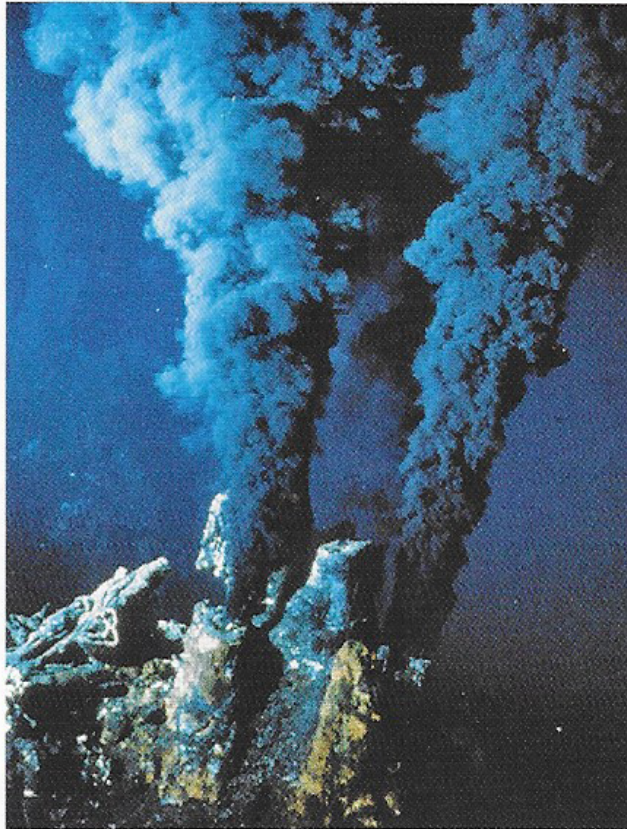
Repère sur le schéma	Âge de la lithosphère (Ma)	Épaisseur de la croûte (km)	Épaisseur du manteau (km)	Densité
1	10	6	24	3,22
2	30	6	34	3,24
3	50	6	44	3,25
4	80	6	84	3,27
5	100	6	104	3,28
6	croûte continentale	35	110	3,16

Densité de la lithosphère océanique dans une zone de subduction.

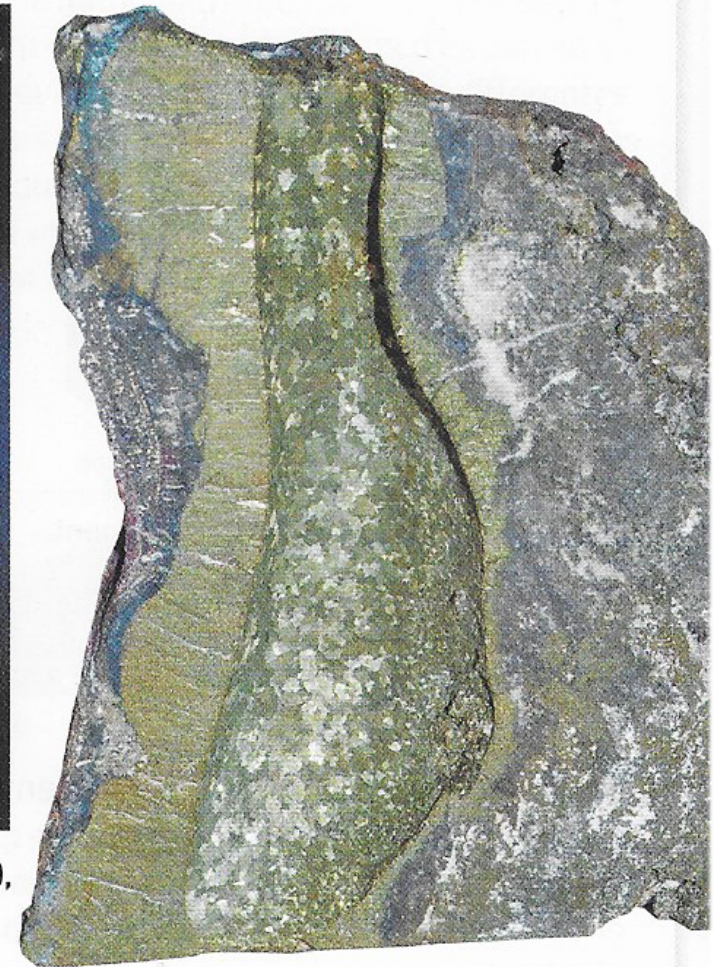


Les fumeurs noirs et la circulation hydrothermale

Que la dorsale soit lente ou rapide, les nombreuses failles et fractures de la croûte océanique permettent à l'eau de mer de s'infiltrer dans les profondeurs de la croûte, et jusque dans les péridotites du manteau superficiel. Là, des échanges thermiques et chimiques s'effectuent entre l'eau et les roches. Fortement réchauffée et chargée de particules métalliques, l'eau remonte alors et rejaillit au niveau de cheminées qualifiées de « fumeurs noirs ». Cette intense circulation hydrothermale brasse d'énormes volumes d'eau : on estime qu'à l'échelle mondiale, c'est l'équivalent de la moitié de l'eau de l'océan Atlantique qui passe chaque année par ce type de circulation hydrothermale.

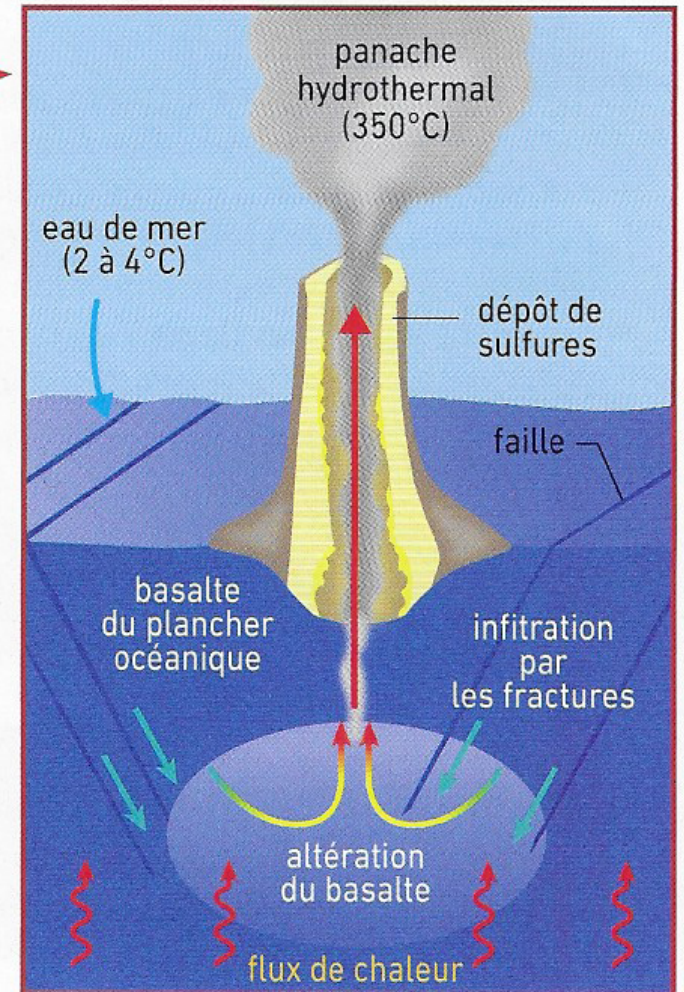
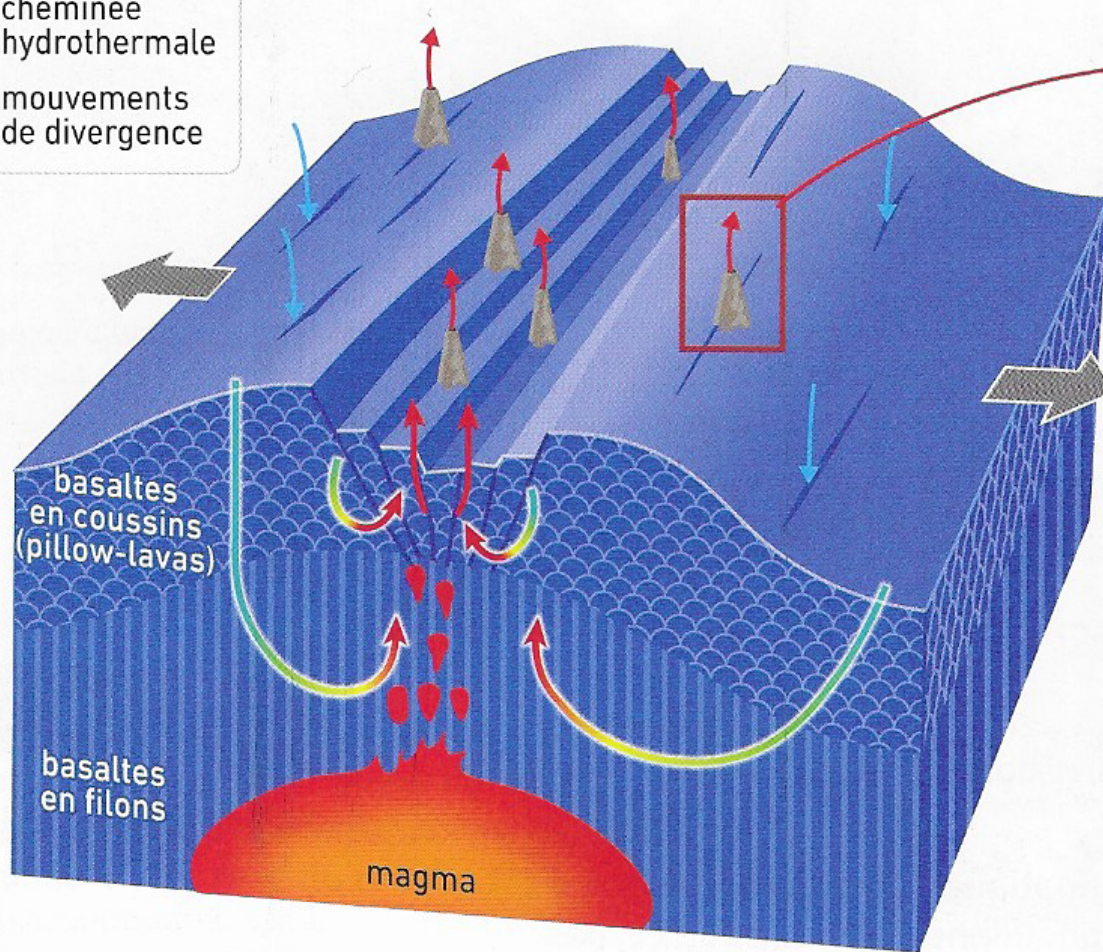


A Cheminée hydrothermale (fumeur noir), et coupe réalisée dans un fumeur noir mettant en évidence le dépôt de sulfures (fer, cuivre, nickel, zinc, etc.).



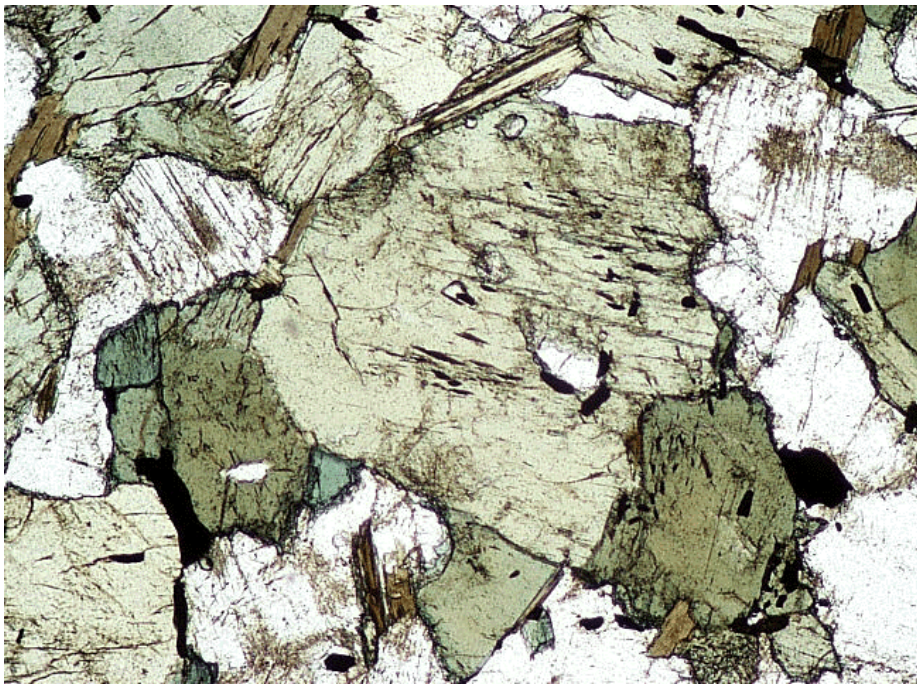
La circulation hydrothermale

- eau froide
- eau chaude
- ▲ cheminée hydrothermale
- ← mouvements de divergence



B Modèle de circulation hydrothermale au niveau d'une dorsale.

Metagabbro à hornblende (faciès amphibolite)

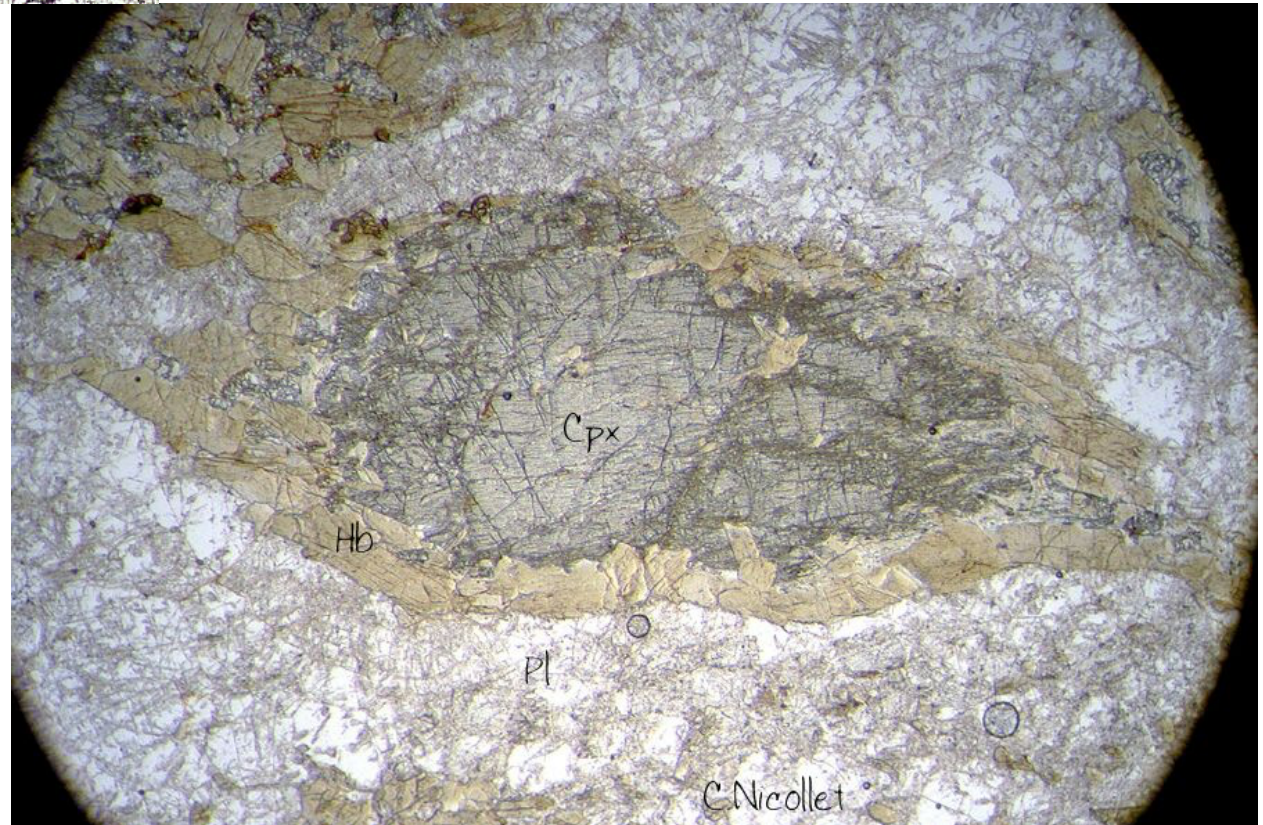


LPNA

Hornblende verte au microscope polarisant (LPNA)-
pyroxène (marron), plagioclase (blanc) et hornblende (vert)

LPNA

Hornblende en couronne autour
du pyroxène au microscope
polarisant (LPNA)- pyroxène (gris),
plagioclase (blanc) et hornblende
(marron)



Metagabbro à chlorite (faciès Schiste vert) observation à l'œil nu

