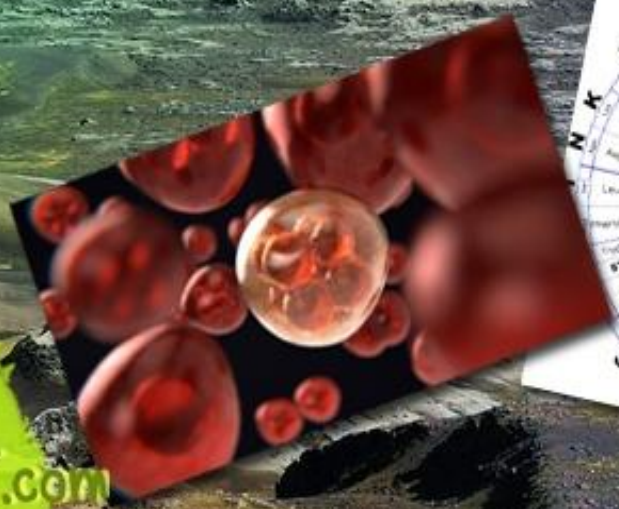
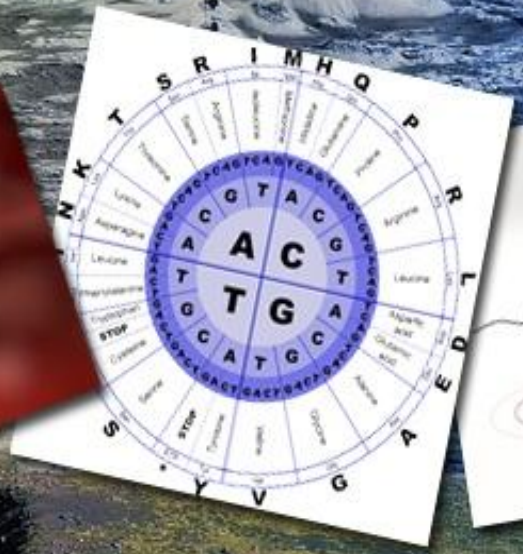
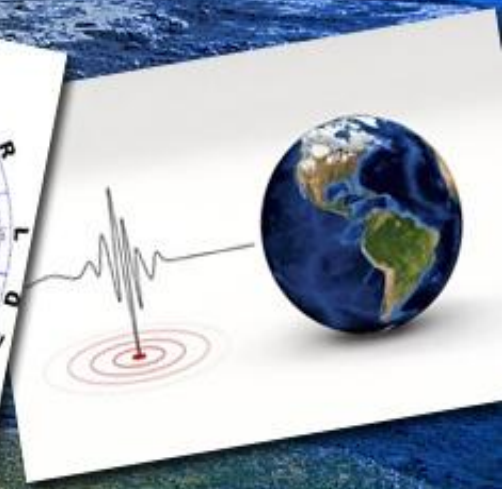
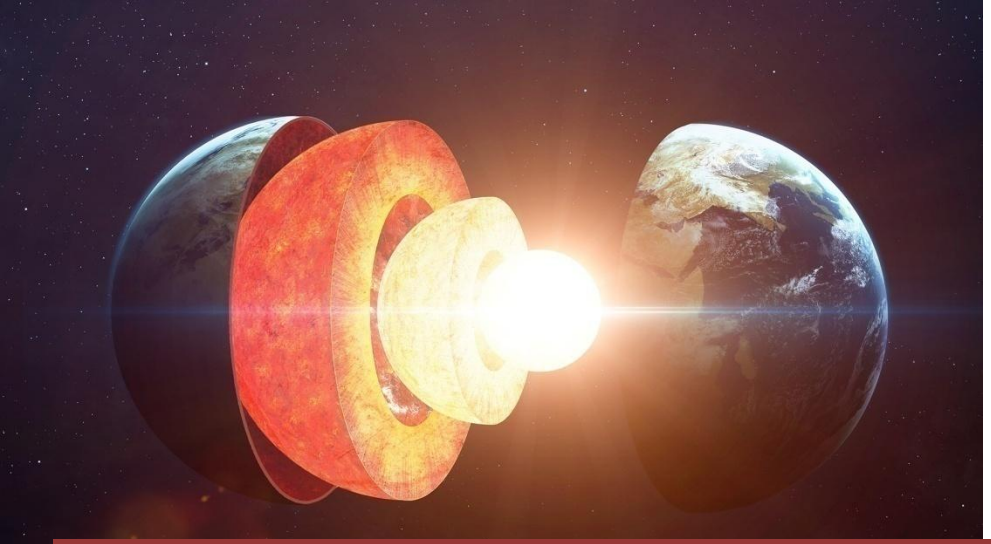
THEME 1: LA TERRE, LA VIE ET L'ORGANISATION DU VIVANT







VivelesSVT.com



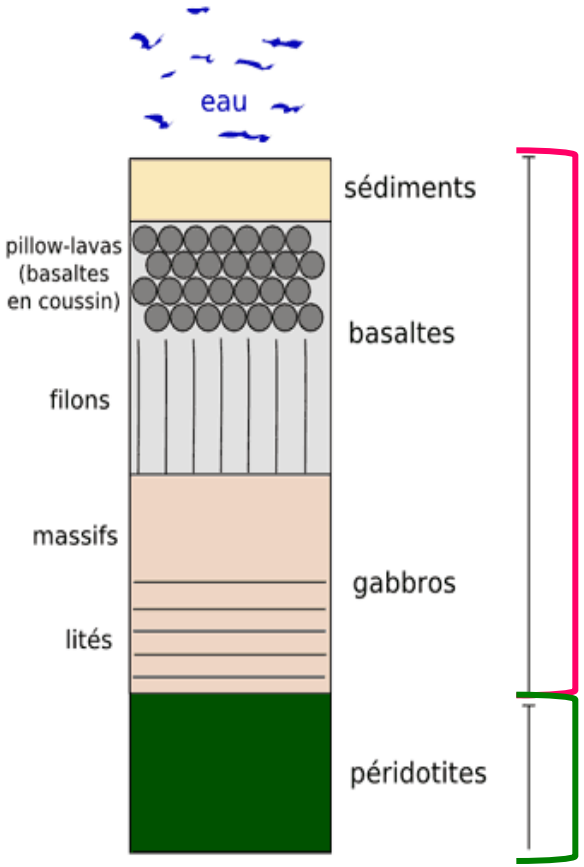


PARTIE B : DYNAMIQUE INTERNE DE LA TERRE

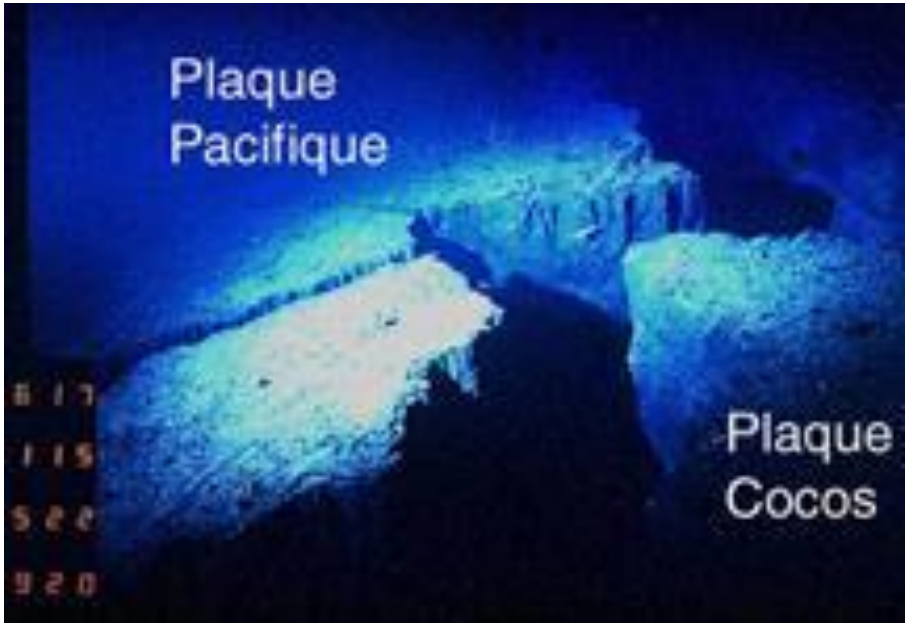


Chapitre 3: La dorsale et la formation de la lithosphère océanique

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

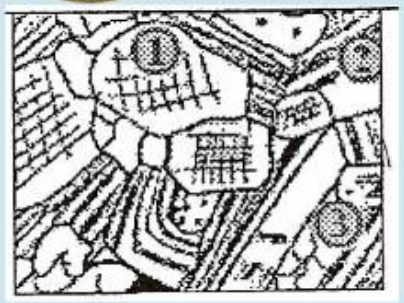
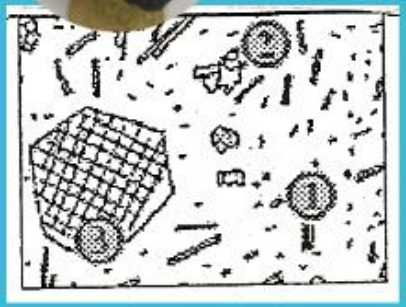


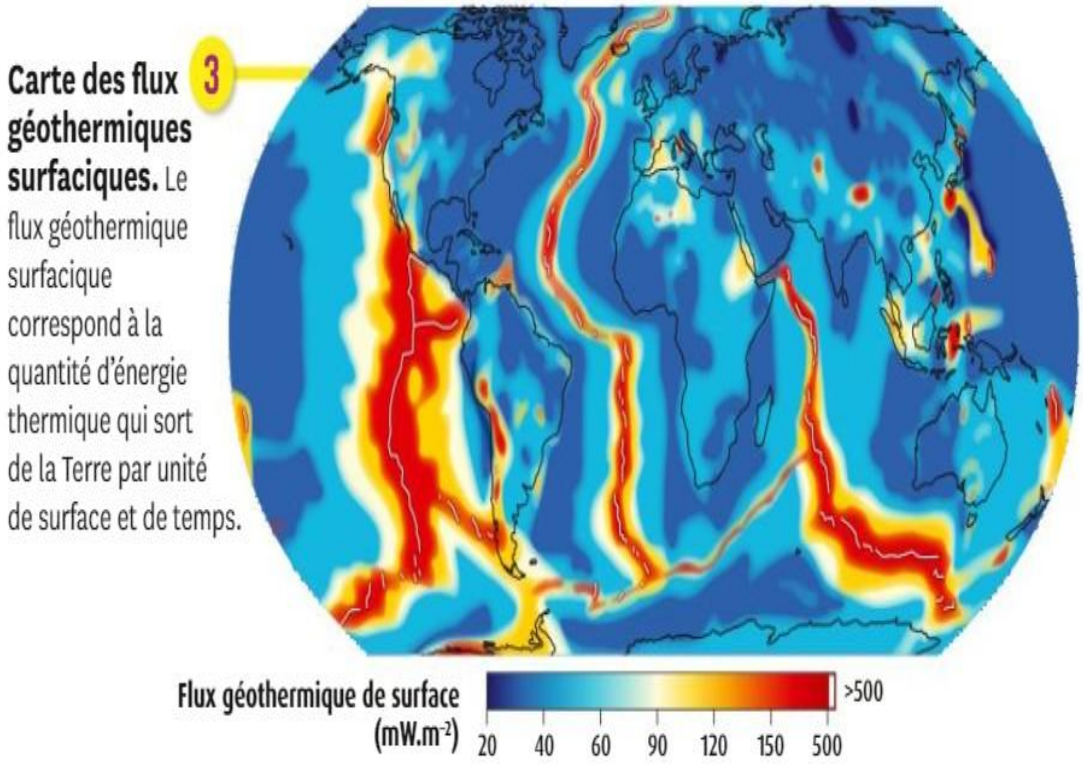
Croute océanique



Fracture d'extension matérialisant l'expansion du fond du Pacifique

Manteau lithosphérique

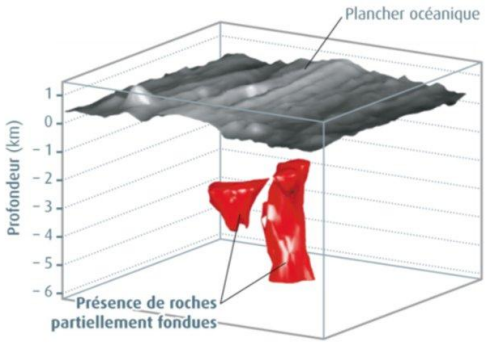
Nom de la roche	GABBRO	BASALTE
Observation macroscopique : couleurs, minéraux visibles		
Observation au microscope polarisant	1 : pyroxène 2 : feldspath 3 : olivine 	1 : feldspath 2 : olivine 3 : pyroxène 
Taille des cristaux	phénocristaux jointifs	qqs phénocristaux, de nombreux microlithes ; non jointifs dans un verre amorphe
Similitudes	composition minéralogique	
Différences	nombre et taille des cristaux	



Une élévation du flux thermique au niveau de l'axe des dorsales, des anomalies négatives de la vitesse des ondes sismiques dans le manteau révélant la présence de matériel chaud, donc moins dense qui remonte dans le manteau par convection, présence de matériau partiellement fondu au niveau de l'axe d'une dorsale à faible profondeur...

Quelle information apportent ces observations? Quelle hypothèse peut-on émettre sur l'origine d'un magma sous les dorsales? (rappel: le manteau est une enveloppe solide composée de péridotites)

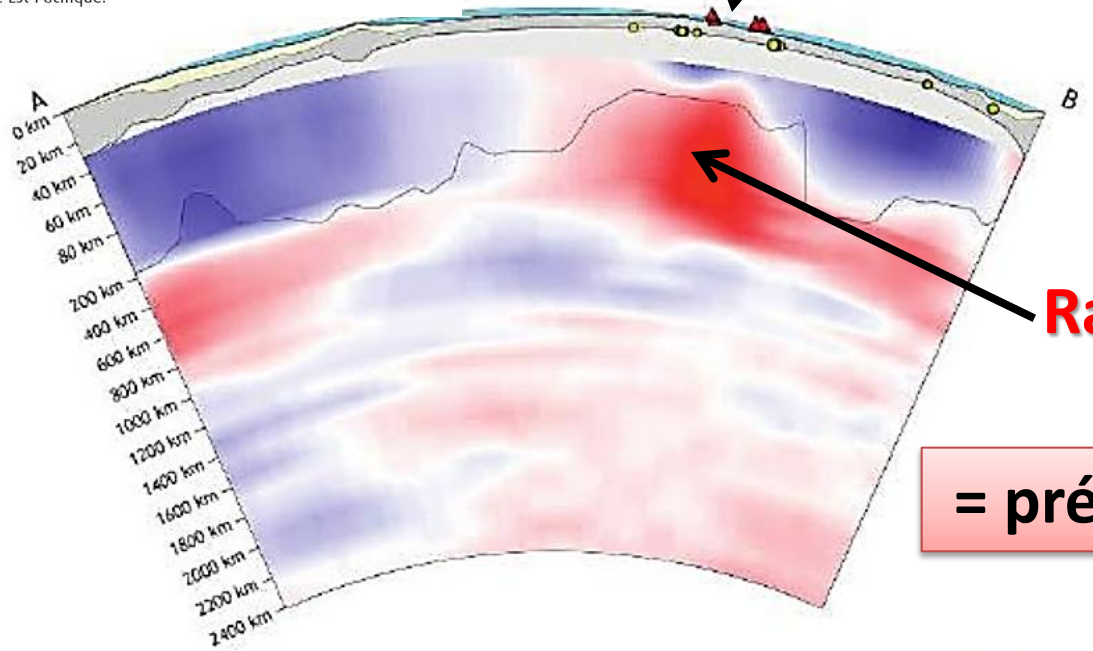
Tomographie sismique réalisée au niveau de la coupe AB dans l'océan Atlantique :



3 Des données sismiques. Dans une roche partiellement fondue, les ondes sismiques sont retardées. Les techniques actuelles permettent de reconstituer en trois dimensions les zones où le ralentissement des ondes indique la présence de roches partiellement fondues. Ce diagramme a été obtenu à l'aplomb de la dorsale Est-Pacifique.



Axe de la dorsale

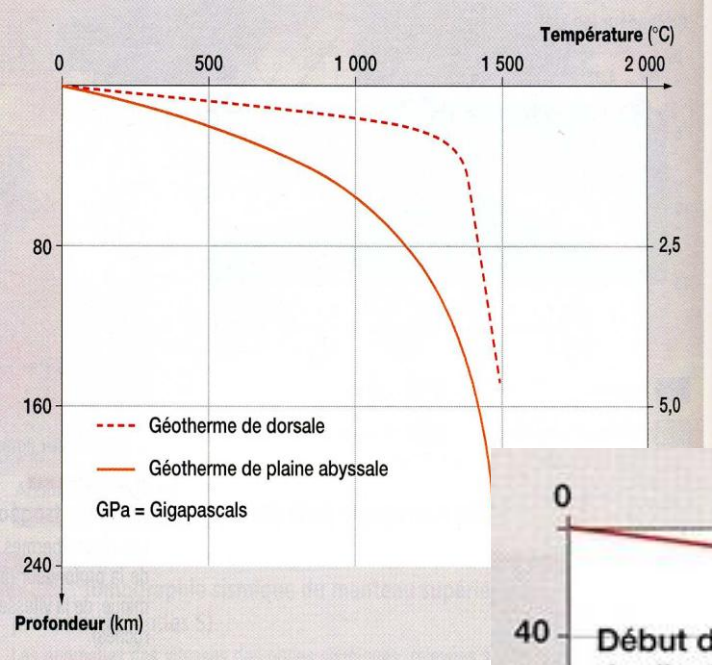


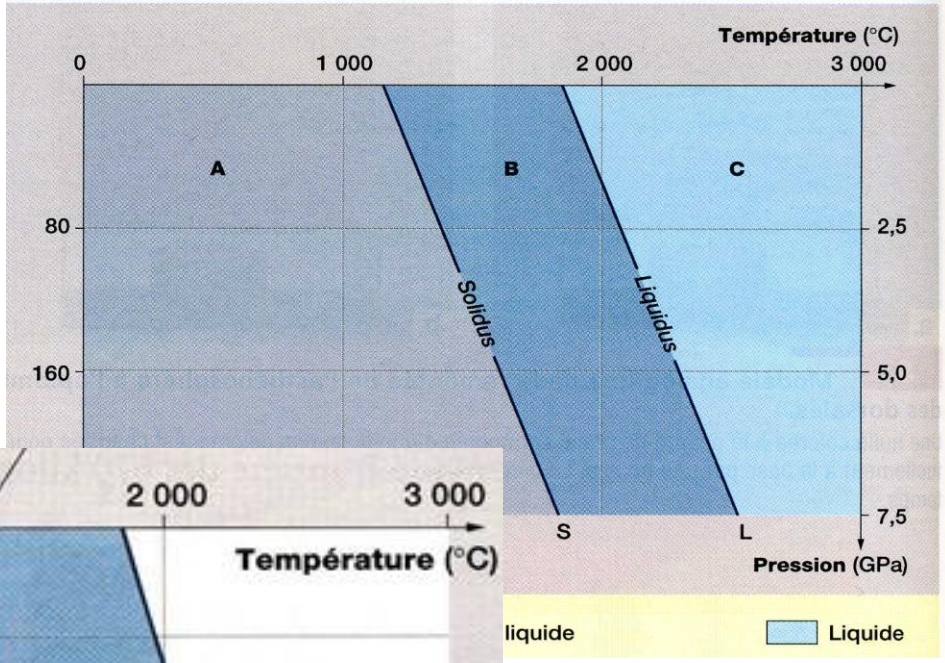
Ralentissement des ondes sismiques

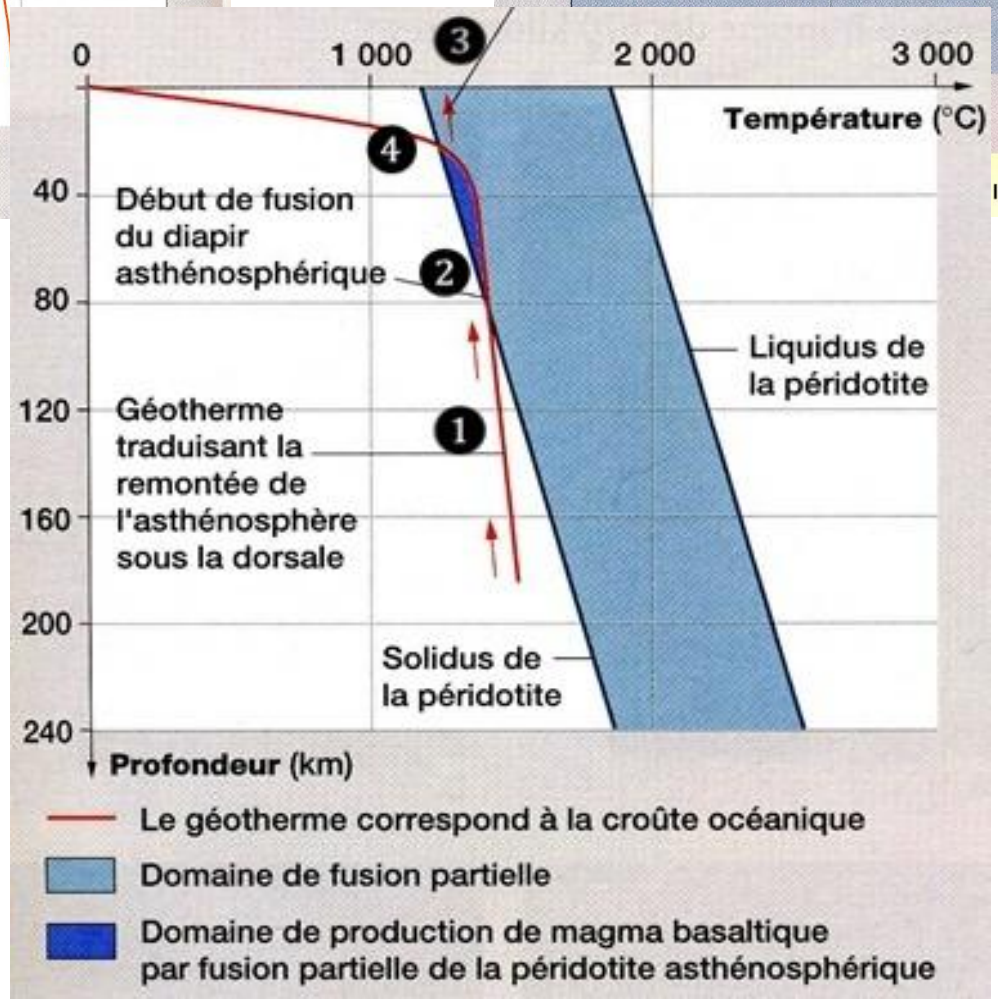
= présence d'un magma

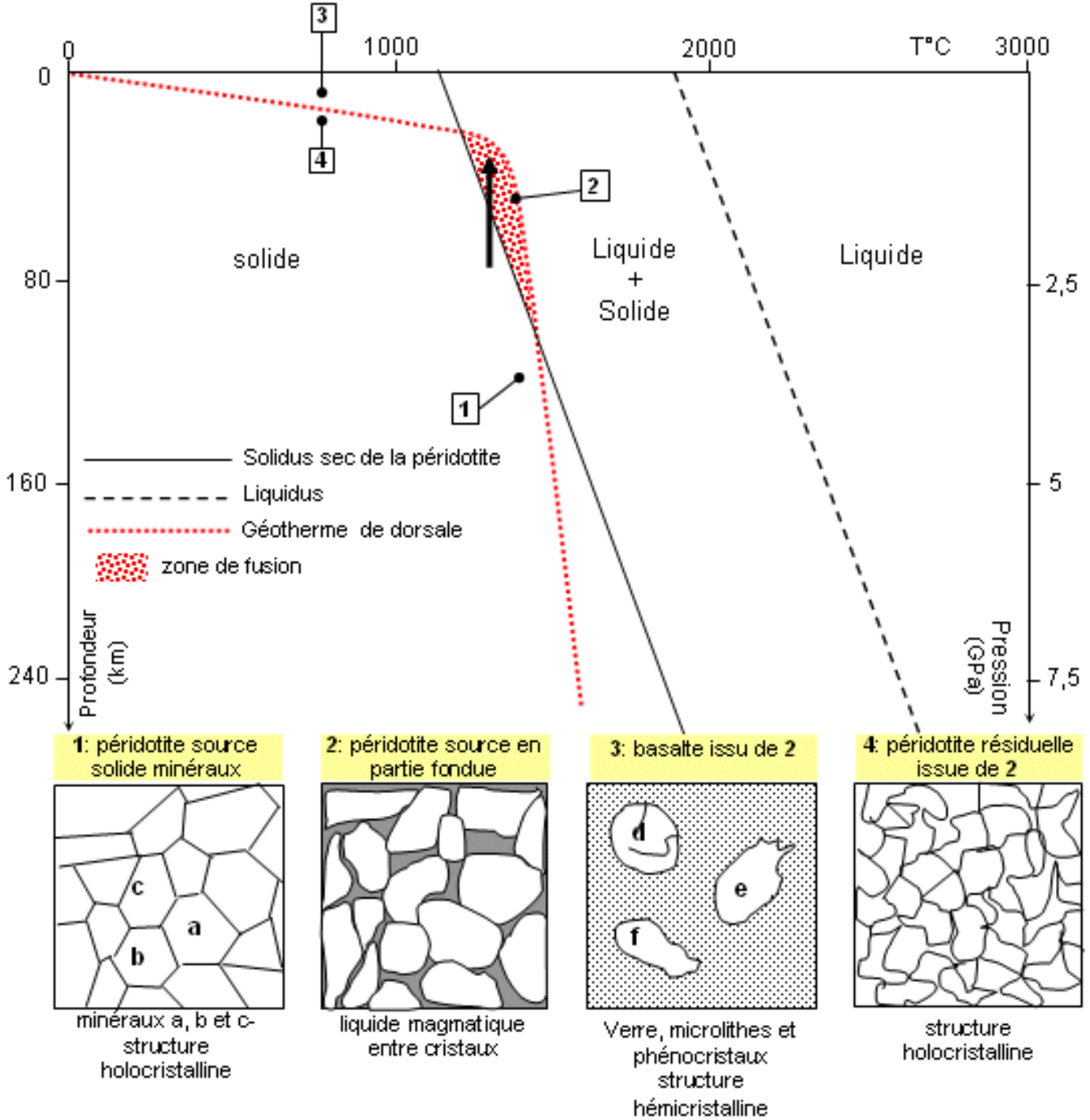


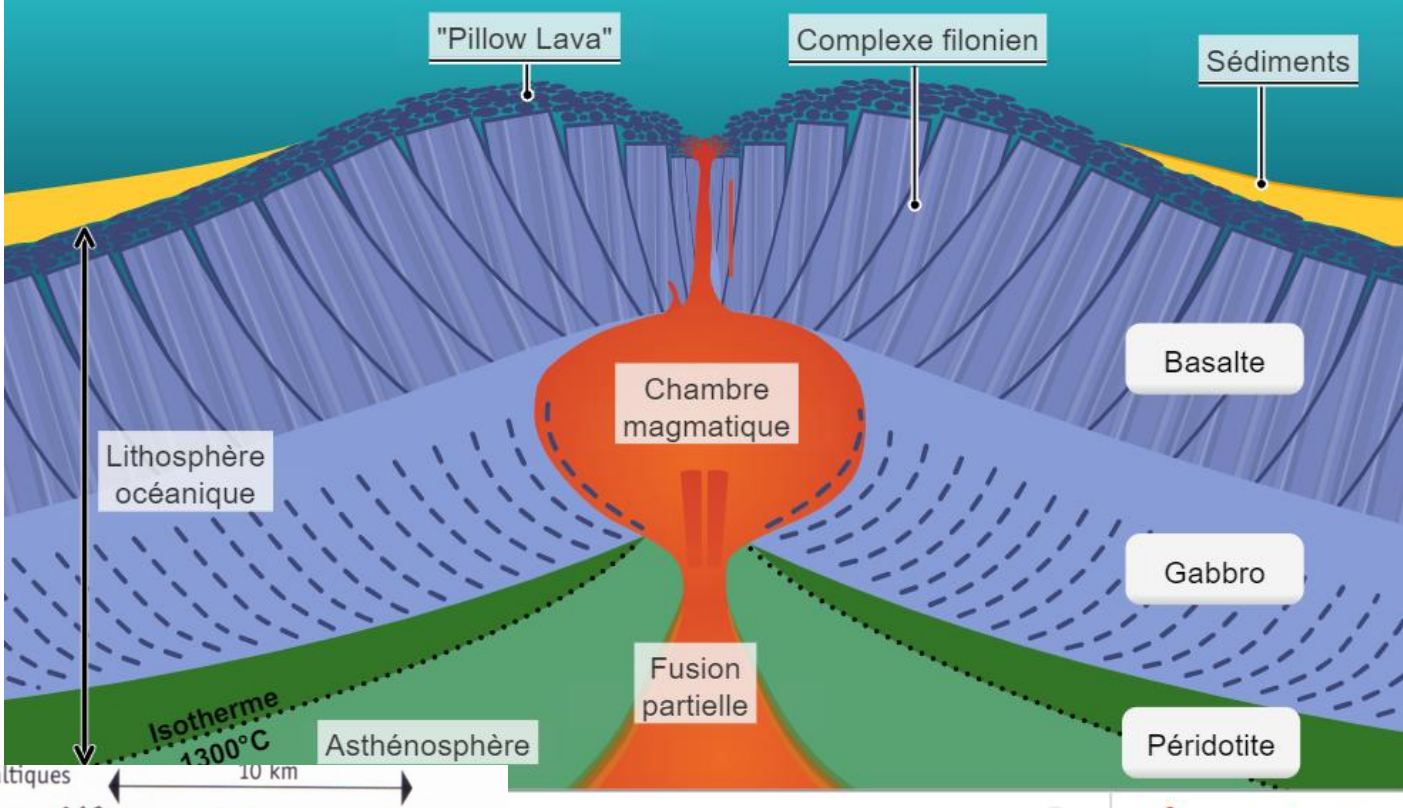
Anomalie négative

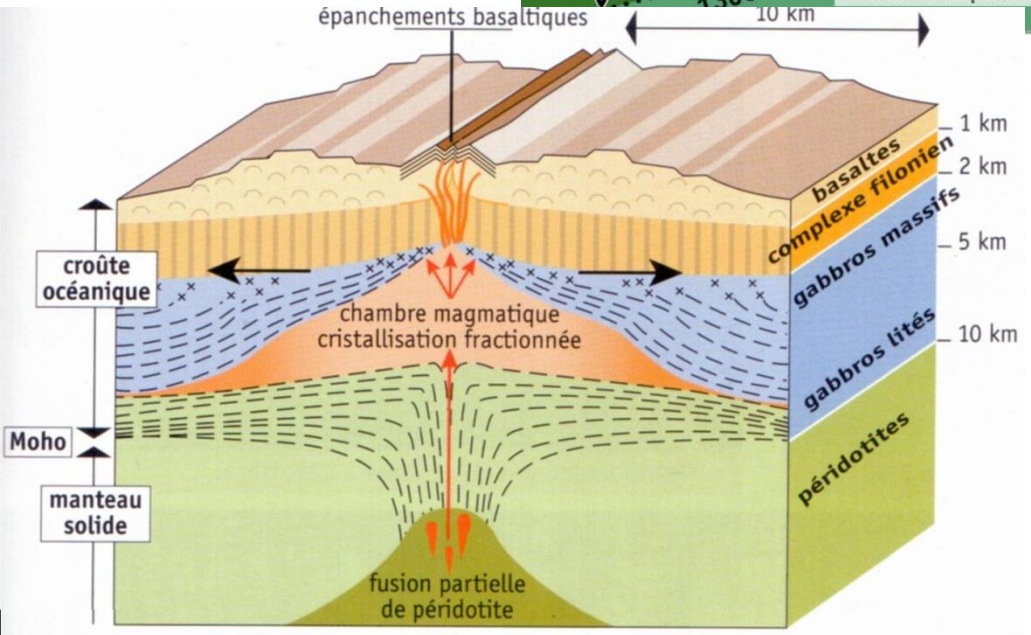

Température (°C)
0
500
1 000
1 500
2 000
80
160
240
2,5
5,0
Géotherme de dorsale
Géotherme de plaine abyssale
GPa = Gigapascals
Profondeur (km)


Température (°C)
0
1 000
2 000
3 000
A
B
C
80
160
2,5
5,0
7,5
Solidus
Liquidus
S
L
Pression (GPa)
liquide
Liquide


0
1 000
2 000
3 000
Température (°C)
40
80
120
160
200
240
Début de fusion du diapir asthénosphérique
Géotherme traduisant la remontée de l'asthénosphère sous la dorsale
Liquidus de la péridotite
Solidus de la péridotite
Profondeur (km)
Le géotherme correspond à la croûte océanique
Domaine de fusion partielle
Domaine de production de magma basaltique par fusion partielle de la péridotite asthénosphérique


0
1000
2000
T°C
3000
0
80
160
240
Profondeur (km)
2,5
5
7,5
Pression (GPa)
1
2
3
4
solide
Liquide + Solide
Liquide
Solidus sec de la péridotite
Liquidus
Géotherme de dorsale
zone de fusion
1: péridotite source solide minéraux
2: péridotite source en partie fondue
3: basalte issu de 2
4: péridotite résiduelle issue de 2
a
b
c
d
e
f
minéraux a, b et c- structure holocristalline
liquide magmatique entre cristaux
Verre, microlithes et phénocristaux structure hémicristalline
structure holocristalline





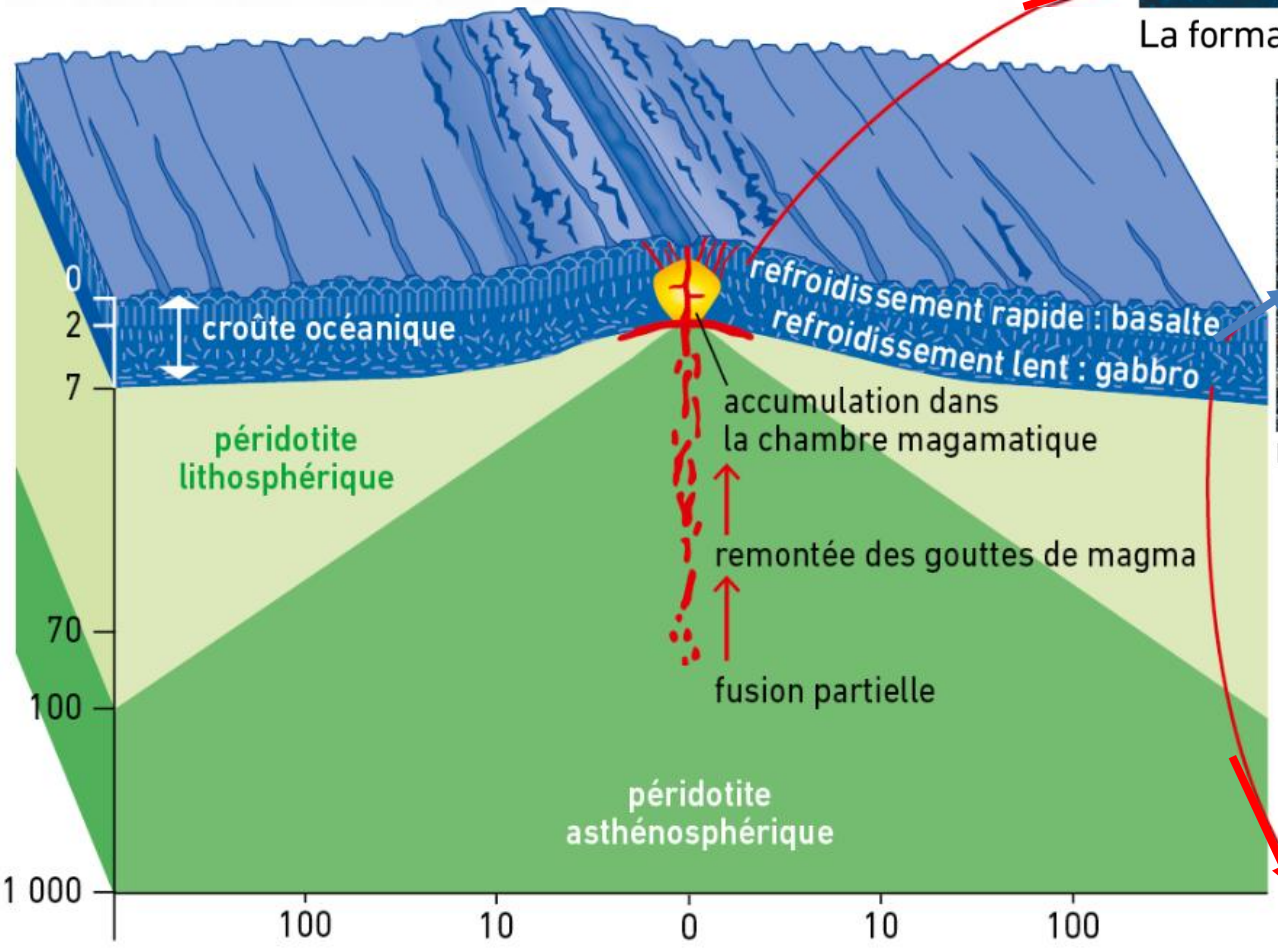
b. Modèle de fonctionnement d'une chambre magmatique.

eduMedia
edumedia-sciences.com

À la suite de la fusion partielle de la péridotite asthénosphérique, des gouttelettes de magma se forment, remontent et s'accumulent dans une chambre magmatique sous l'axe de la dorsale (A). Le refroidissement du magma est à l'origine des roches magmatiques de la croûte océanique : l'essentiel refroidit lentement en profondeur. Une faible part du magma, à plus de 1 000 °C, parvient à travers des fissures jusqu'en surface, au contact de l'eau de mer à 2 °C.



La formation d'un **pillow-lava**.



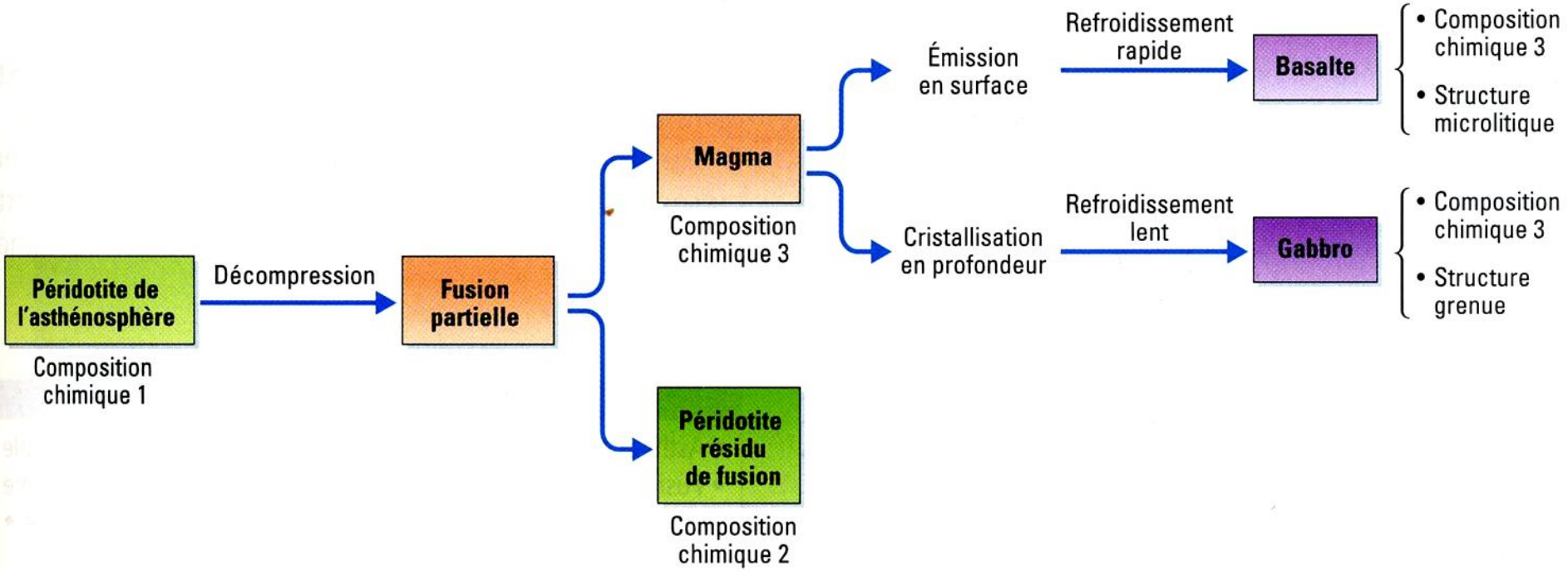


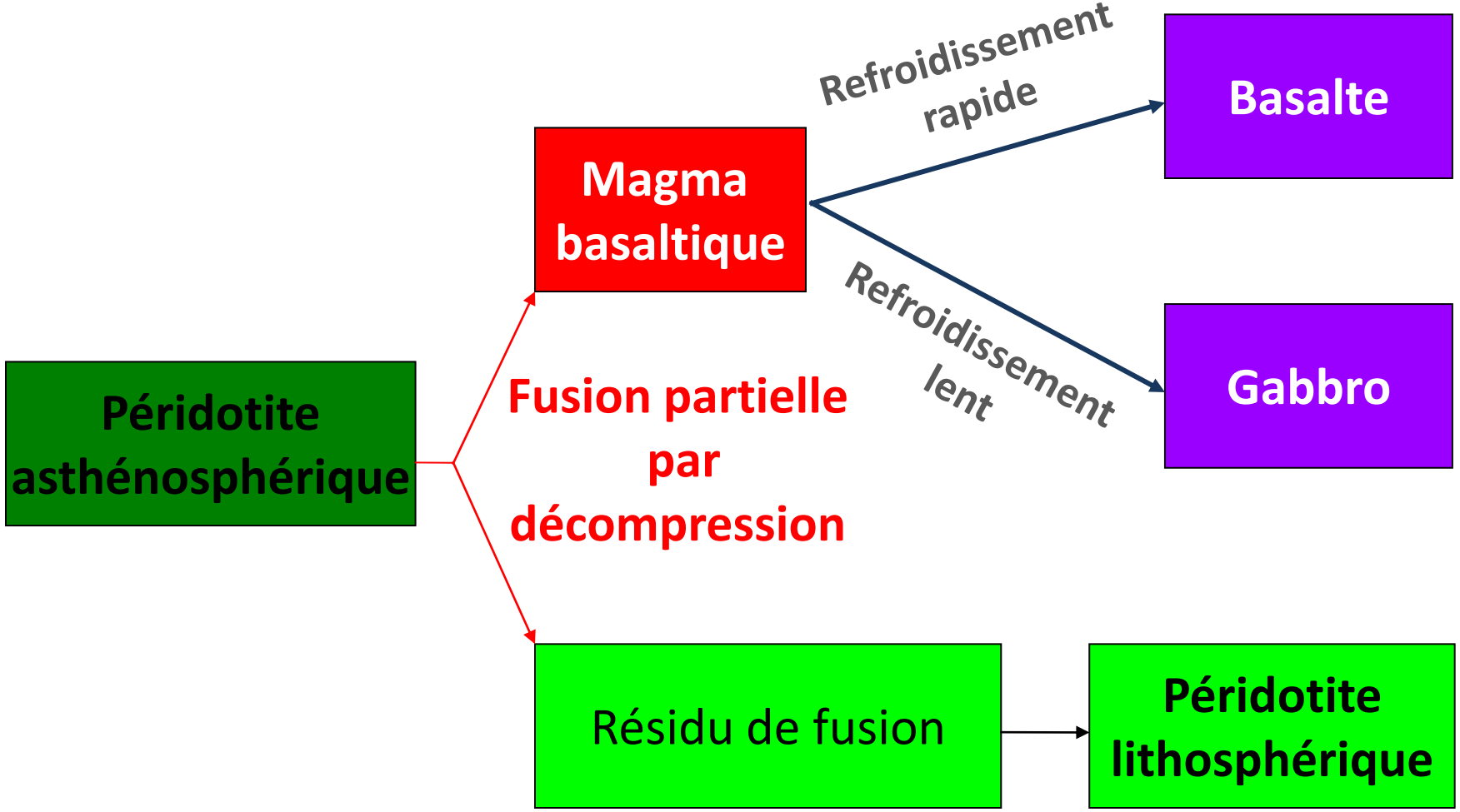
Le **basalte**, une roche volcanique* (texture microlitiq



Le **gabbro**, une roche plutonique* (texture grenue).

Schéma des mécanismes physiques conduisant à la formation des roches de la lithosphère océanique



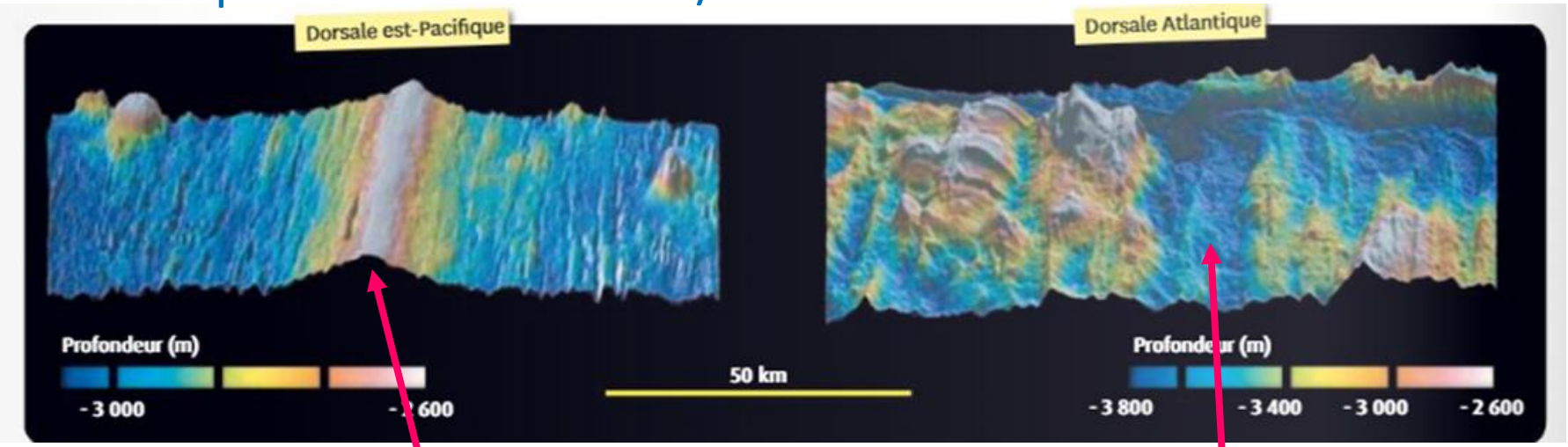

Péridotite asthénosphérique
Fusion partielle par décompression
Magma basaltique
Refroidissement rapide
Basalte
Refroidissement lent
Gabbro
Résidu de fusion
Péridotite lithosphérique

Dorsales rapides

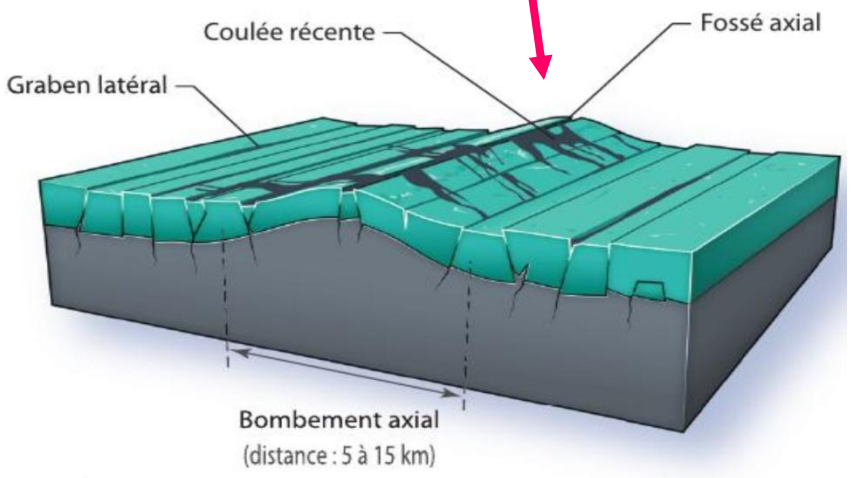
expansion de 8 à 16 cm/an

Dorsales lentes

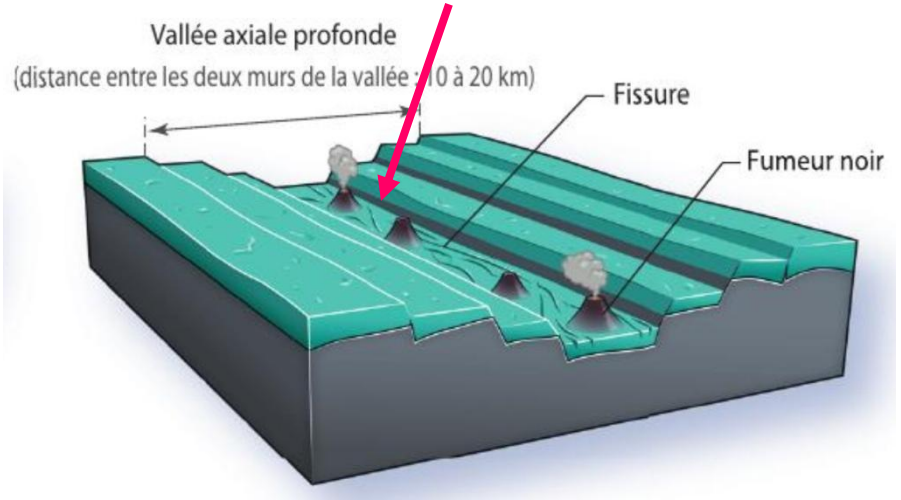
expansion de 2 à 5 cm/an



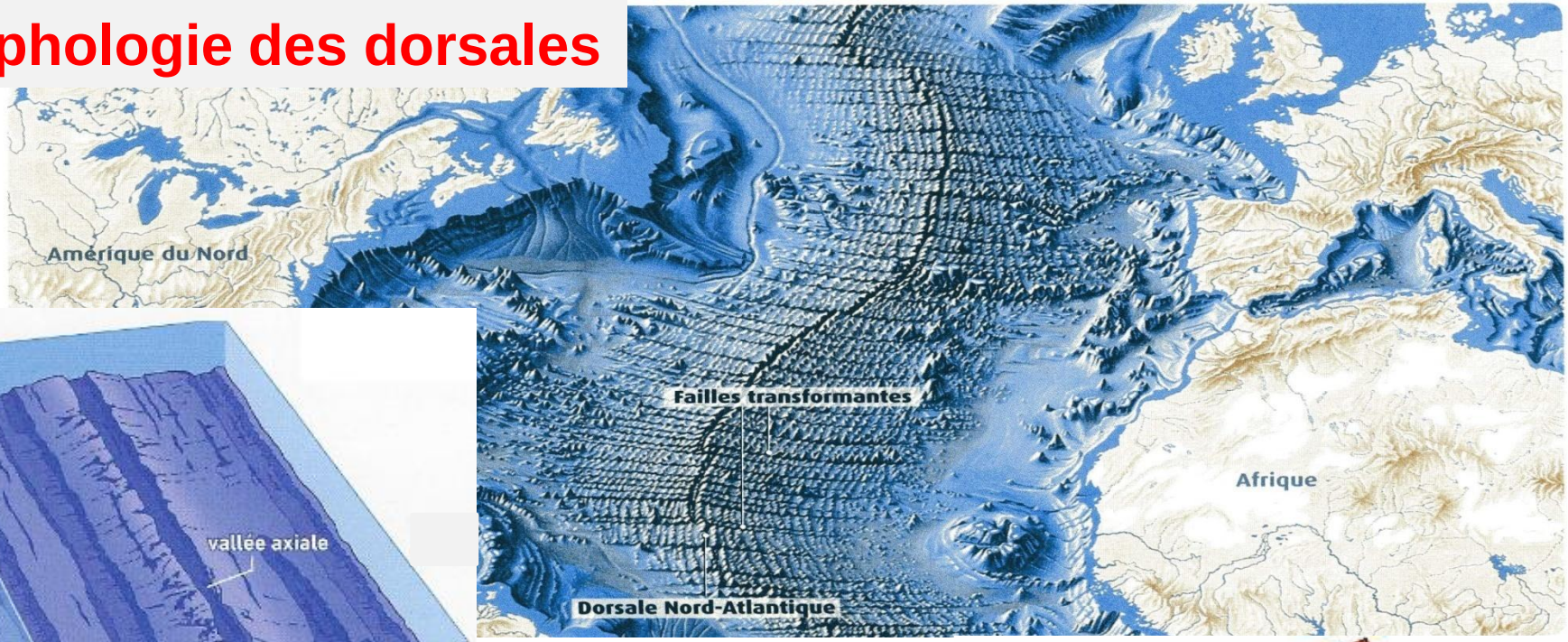
Un bombement axial marqué

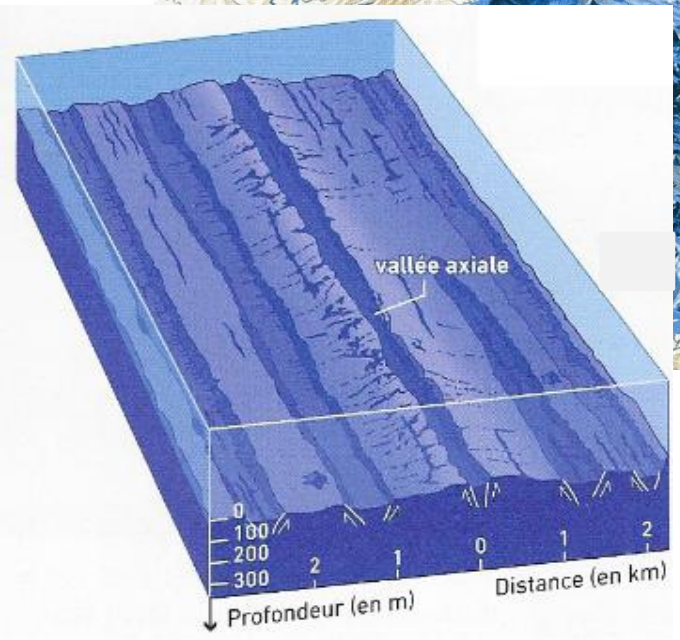


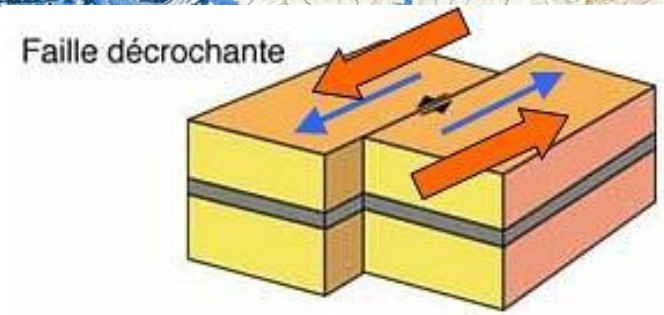
Une vallée axiale profonde et large

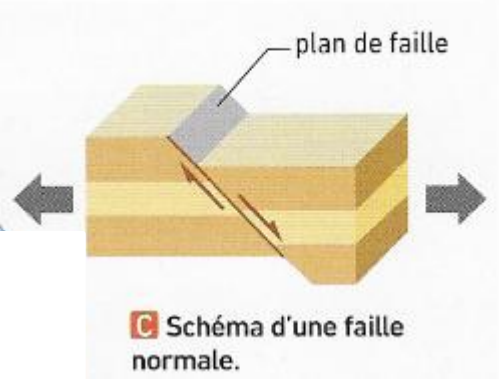


Morphologie des dorsales







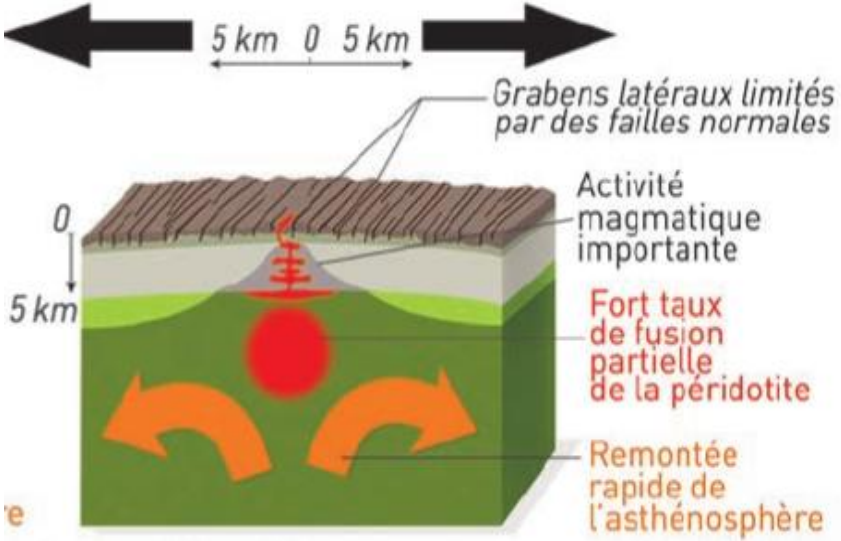


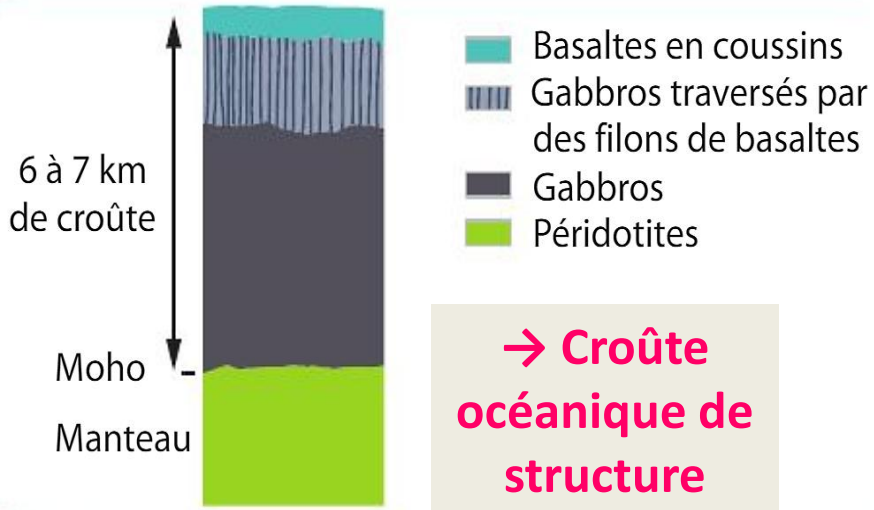
C Schéma d'une faille normale.

Une faille normale est un plan incliné le long duquel un bloc rocheux glisse (s'abaisse) par rapport à un autre : ce type de faille témoigne de forces d'extension qui s'exercent dans la région.

Dorsale rapide

Activité magmatique continue et intense

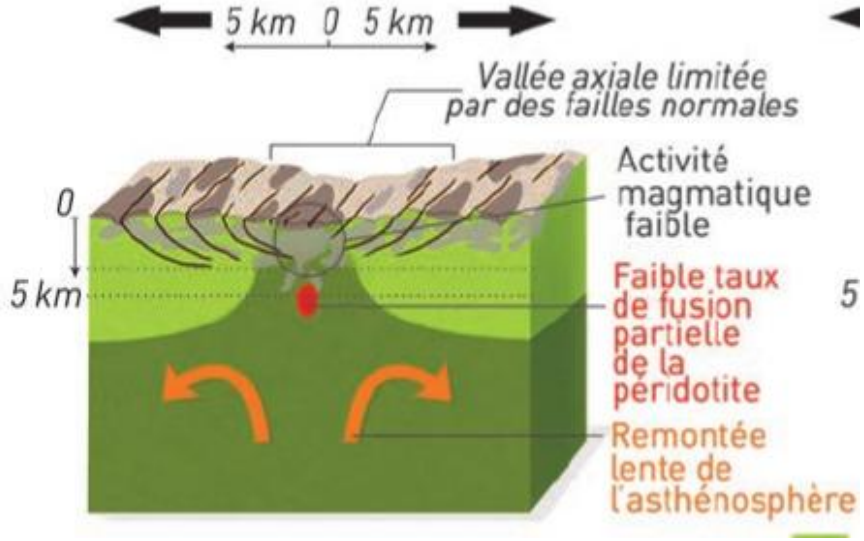


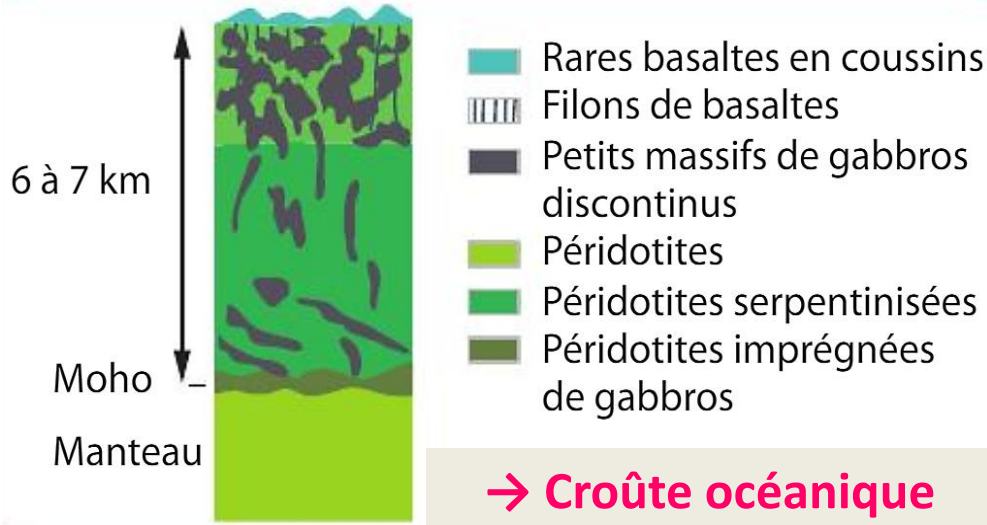


→ Croûte océanique de structure régulière

Dorsale lente

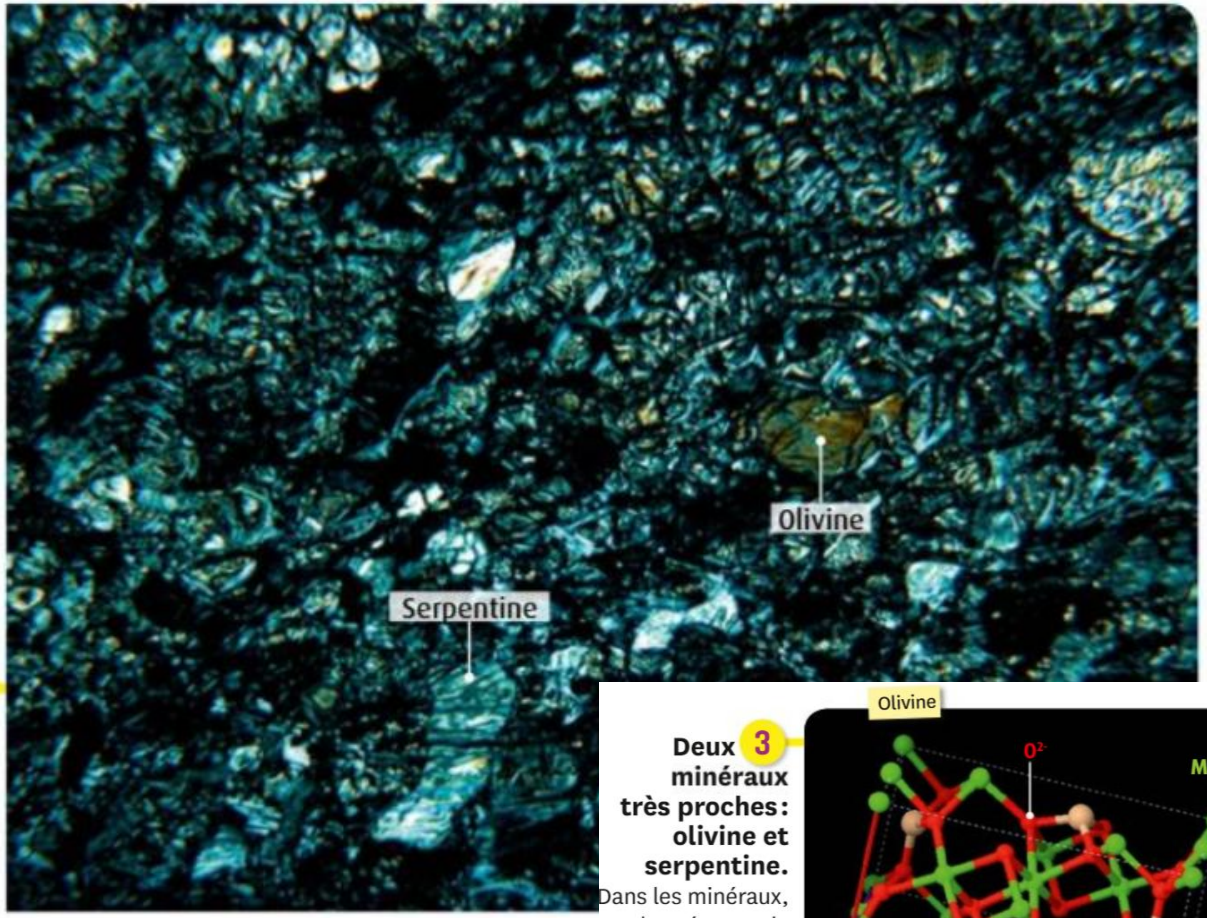
Activité magmatique faible et discontinue



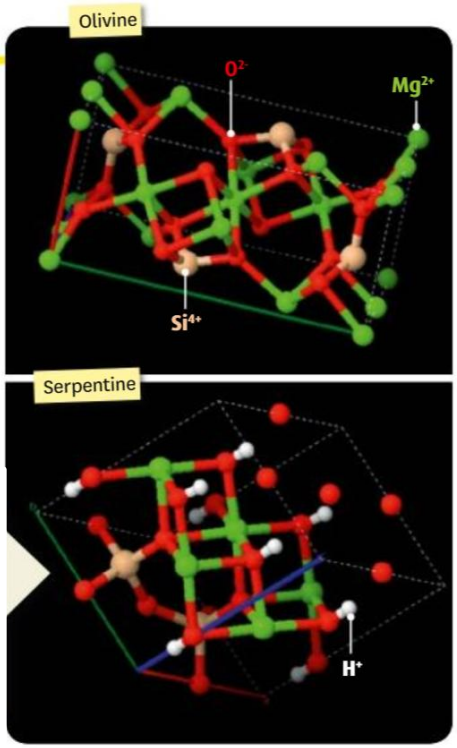


→ Croûte océanique hétérogène





4 Échantillon et lame mince d'une péridotite serpentinisée du même type que celles échantillonnées au niveau du forage IODP-209. La serpentine est un minéral hydraté (voir doc. 3 p. 158).

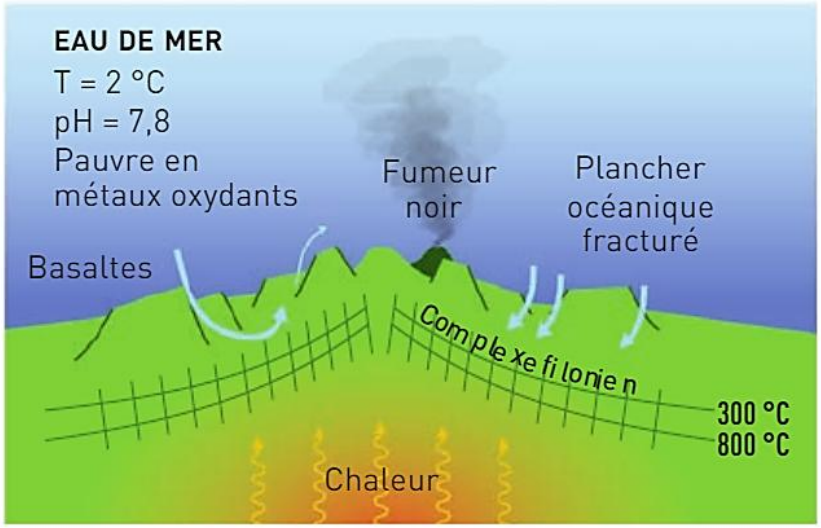


3 Deux minéraux très proches : olivine et serpentine. Dans les minéraux, la présence de groupement –OH est le signe d'une hydratation.

Une circulation hydrothermale à travers la croûte océanique :



▲Les fumeurs noirs sont des cheminées constituées de sulfures (de fer, de cuivre, de nickel, de zinc…). Le fluide émis est chaud (300 à 400 °C), acide (pH~3) et réducteur.



▲La fracturation du plancher océanique. L'eau de mer s'infiltre par ces fractures et une importante circulation d'eau marine se met en place.

→ **Modification des minéraux** de la croûte et du manteau supérieur par la circulation d'eau.

→ **Refroidissement** de la lithosphère.

Forstérite (Olivine)

Atome	I	F	A	S	Total	Masse	%
Mg^{2+}	3	6	4	8	8	194.48	35
O^{2-}	16	0	0	0	16	256	45
Si^{4+}	4	0	0	0	4	112.36	20

Masse volumique calculée : 3.273 g/cm^3
Compacité calculée : 62.85 % (volume)
Pourcentage d'hydratation : 0 % (masse)

Pas de H donc **minéral non hydraté (0%)**

Densité : 3,3

Lizardite : (Serpentine)

Atome	I	F	A	S	Total	Masse	%
O^{2-}	3	6	12	0	9	144	52
H^{+}	1	4	4	0	4	4.032	1
Mg^{2+}	1	4	0	0	3	72.9299	26
Si^{4+}	2	0	0	0	2	56.18	20

Masse volumique calculée : 2.584 g/cm^3
Compacité calculée : 55.74 % (volume)
Pourcentage d'hydratation : 24.55 % (masse)

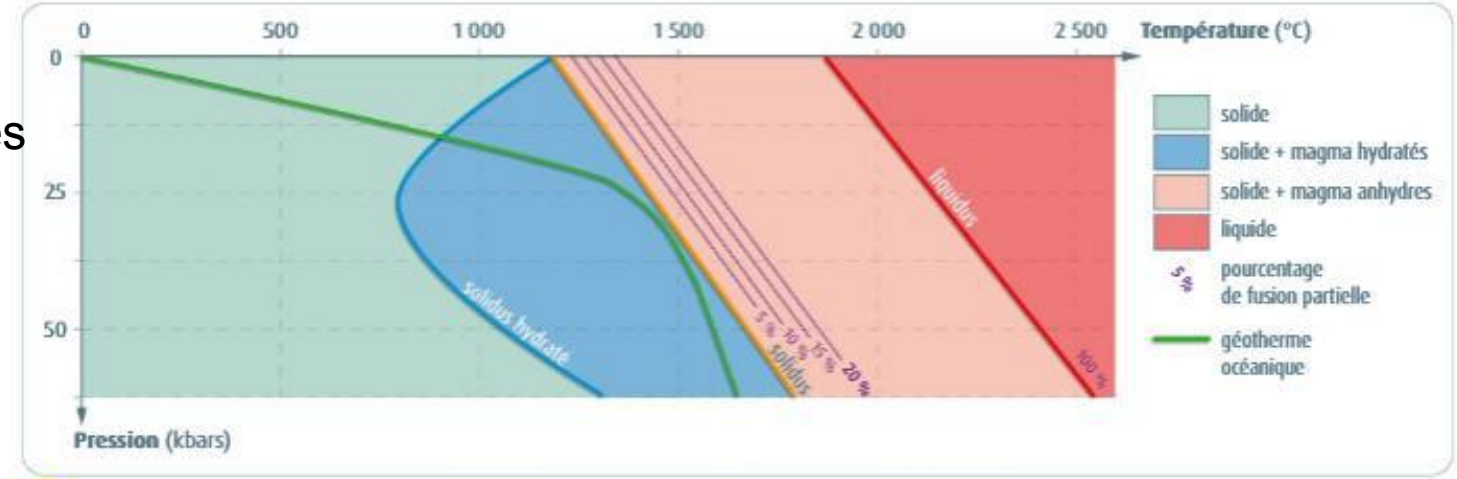
Composition très proche avec H supplémentaire –> formation **groupements OH donc minéral hydraté (24,5%)**

Densité : 2,6

–> exhumation facilitée de la péridotite serpentinisée

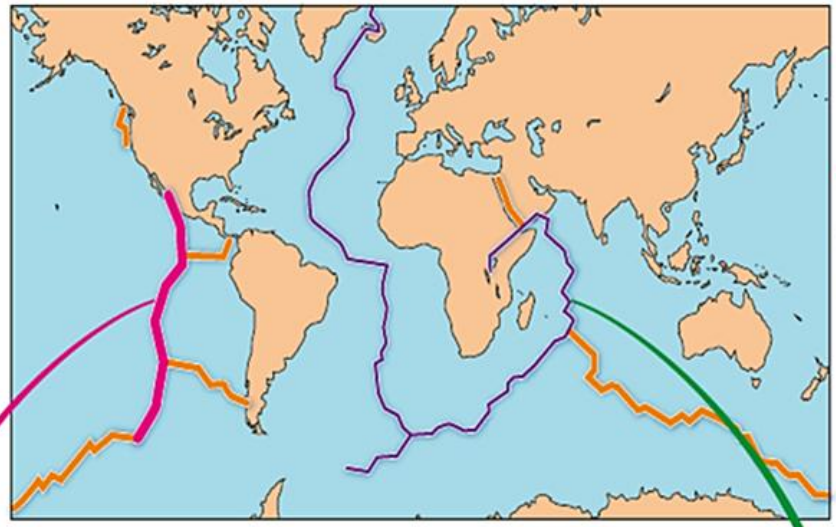


Magma à l'origine des lentilles de gabbro



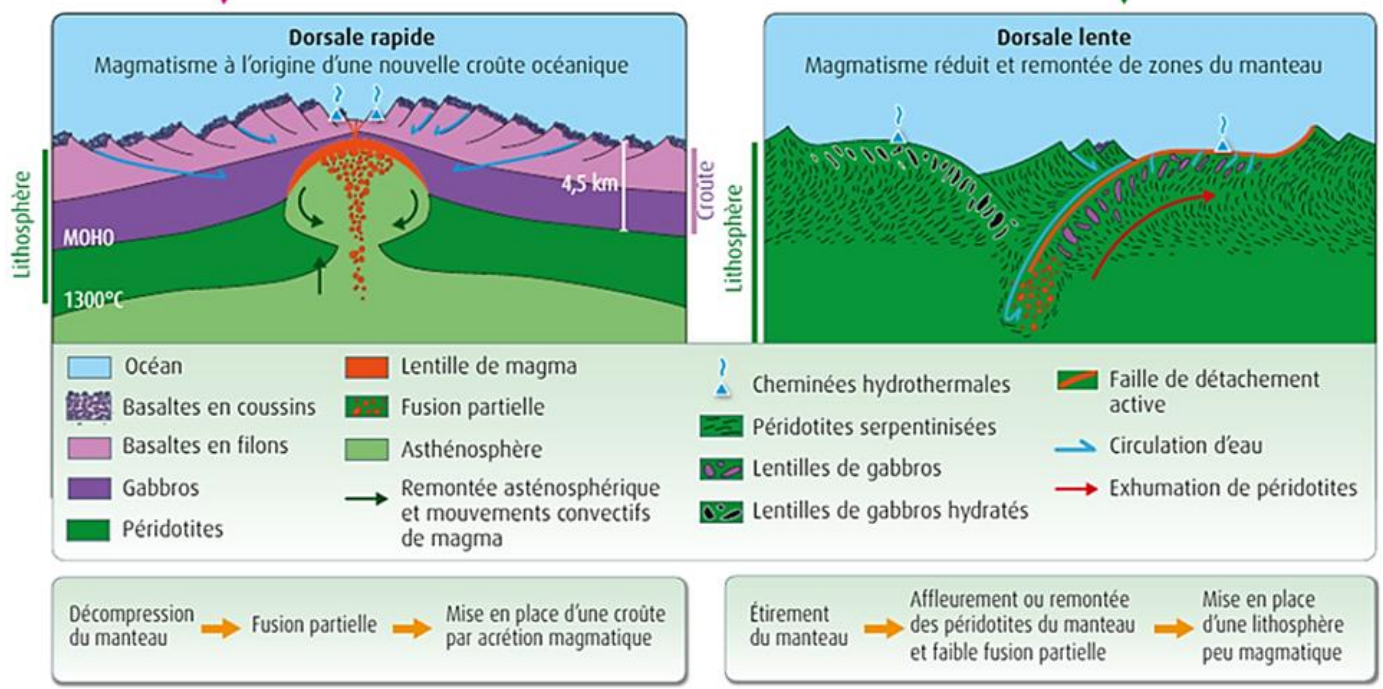
4 Diagramme de phase de la péridotite hydratée. À une pression donnée, la présence d'eau dans la roche abaisse à une pression donnée la température du solidus. Un magma peut donc apparaître à des températures plus basses si la péridotite est en cours de serpentinisation (c'est-à-dire si l'olivine et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

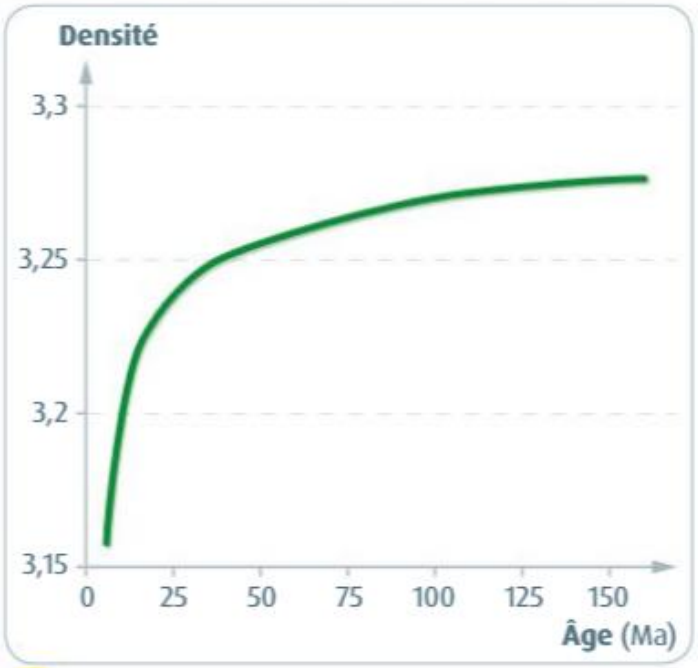
Des dorsales aux vitesses de divergences variées



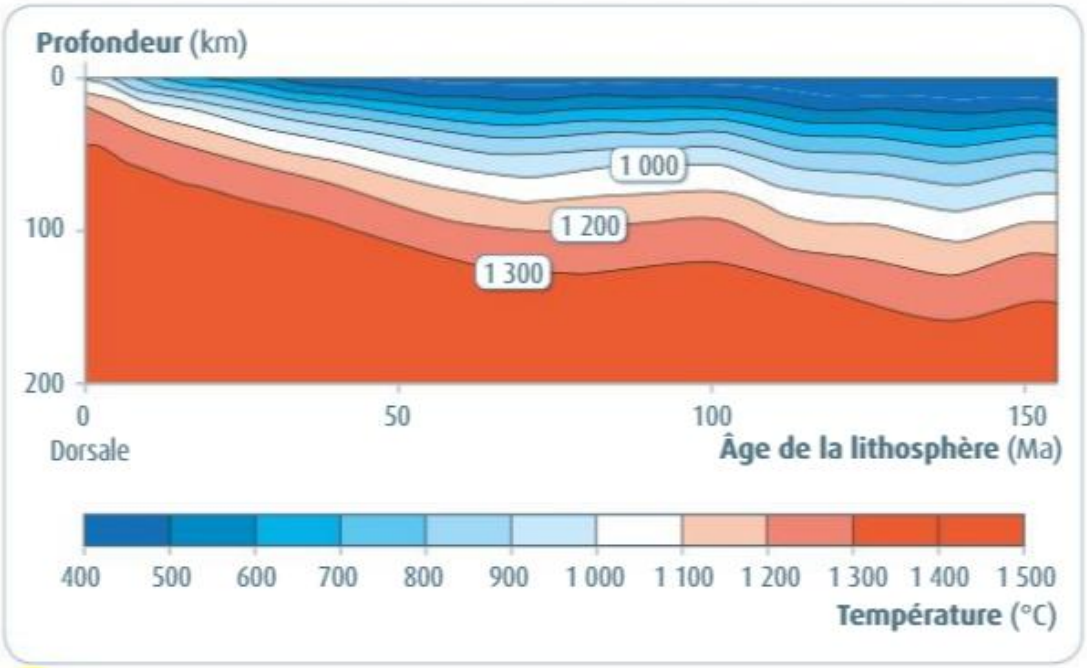
Dorsale rapide
Dorsale intermédiaire
Dorsale lente

Des modes de mise en place différents





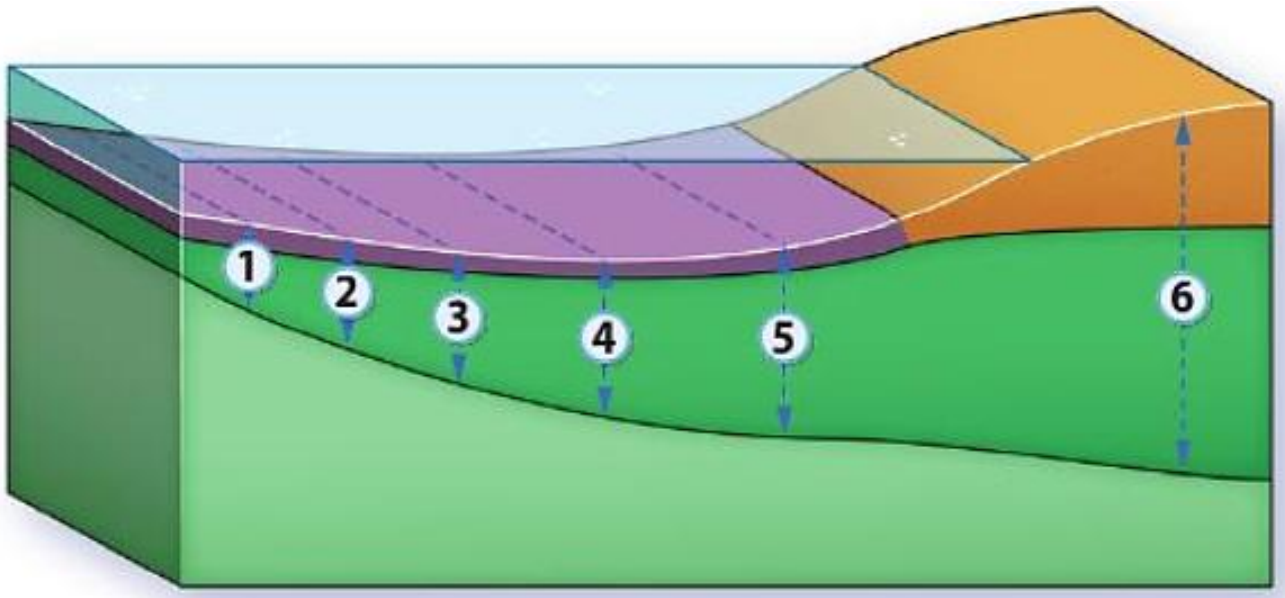
4 Évolution de la densité de la lithosphère globale en fonction de son âge.



5 Évolution de l'épaisseur de la lithosphère en fonction de son âge. La base de la lithosphère correspond à l'isotherme 1300 °C qui est la limite avec l'asthénosphère. Connaissant le mode de dissipation de l'énergie

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.

On remarque une **augmentation de densité au fur et à mesure du vieillissement de la lithosphère**. Elle s'explique par **l'augmentation de l'épaisseur du manteau lithosphérique plus dense**.



	d
1	3,22
2	3,24
3	3,25
4	3,27
5	3,28
6	3,16

Croûte continentale d = 2,70

Croûte océanique d = 2,90

Manteau lithosphérique d = 3,30

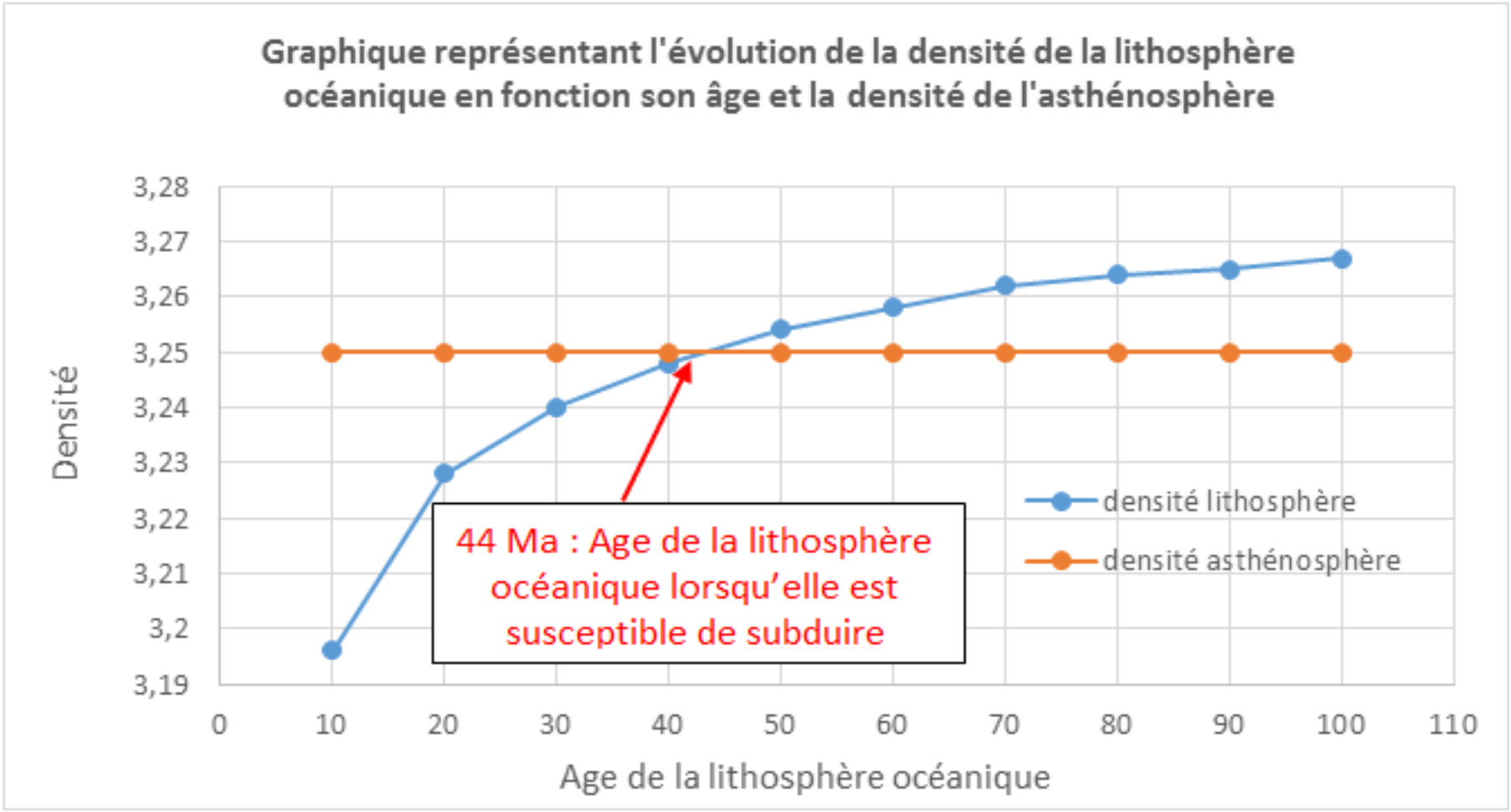
Asthénosphère d = 3,25

Refroidissement de la lithosphère océanique :

→abaissement de l'isotherme 1300°C.

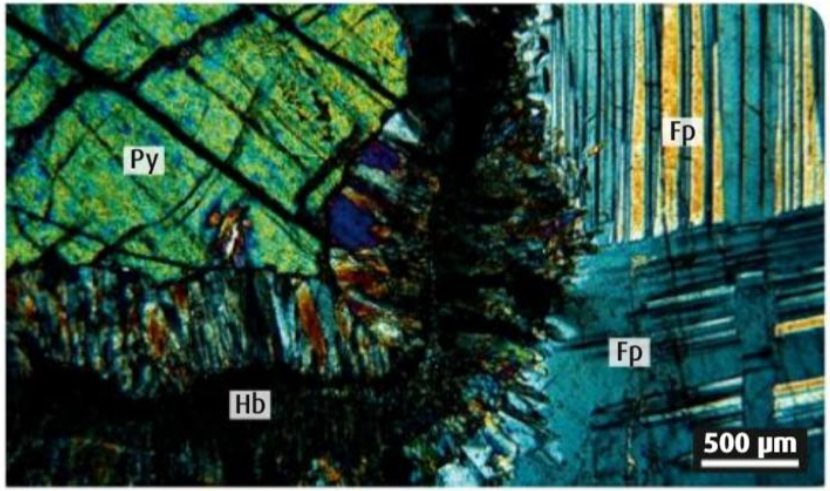
→ épaississement de la lithosphère.

→ augmentation de la densité.

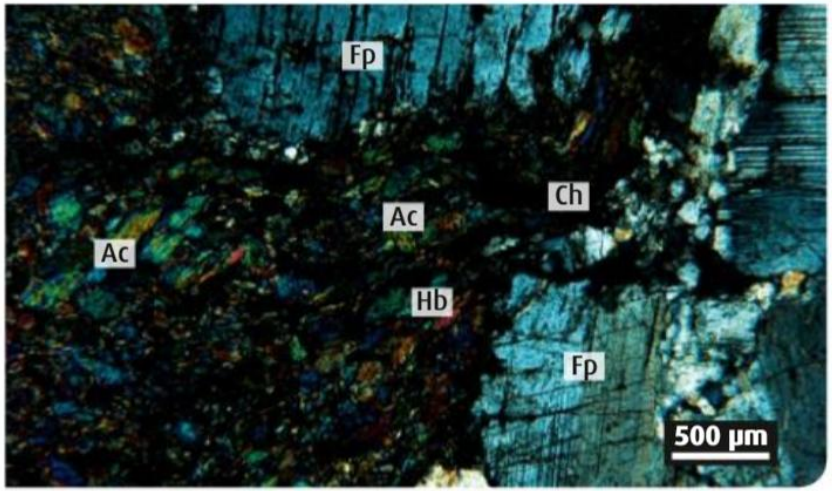

Graphique représentant l'évolution de la densité de la lithosphère océanique en fonction son âge et la densité de l'asthénosphère
Densité
3,28
3,27
3,26
3,25
3,24
3,23
3,22
3,21
3,2
3,19
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
Age de la lithosphère océanique
44 Ma : Age de la lithosphère océanique lorsqu'elle est susceptible de subduire
densité lithosphère
densité asthénosphère

En haut: Gabbro G2.
En bas: Gabbro G3 (plus éloigné de la dorsale que G2)









2 Deux échantillons 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.

Document 2 Composition minéralogique du gabbro G1

Minéral	Composition chimique
Feldspath plagioclase	$Na\ Al\ Si_3O_8$; $Ca\ Al\ Si_2\ O_8$
Pyroxène	$Ca\ Fe\ Mg\ Si_2\ O_6$

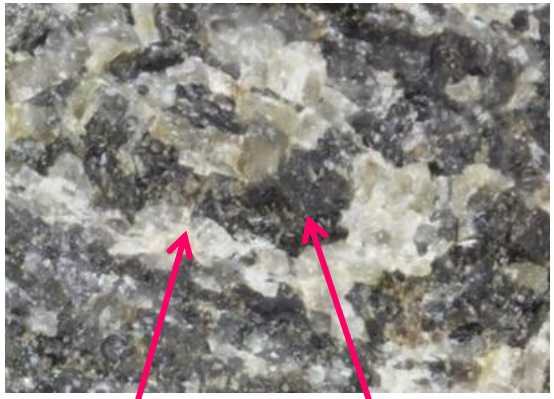
Document 3 Composition minéralogique du gabbro G2

Minéral	Composition chimique
Feldspath plagioclase	$Na\ Al\ Si_3O_8$; $Ca\ Al\ Si_2\ O_8$
Pyroxène	$Ca\ Fe\ Mg\ Si_2\ O_6$
Hornblende	$Na\ Ca_2\ (Mg, Fe^{2+})_4\ (Al, Fe^{3+})_5\ (AlSi_4O_{11})_2\ (OH)_2$

Vue macroscopique

Vue au microscope polarisant (LPA)

Gabbro anhydre





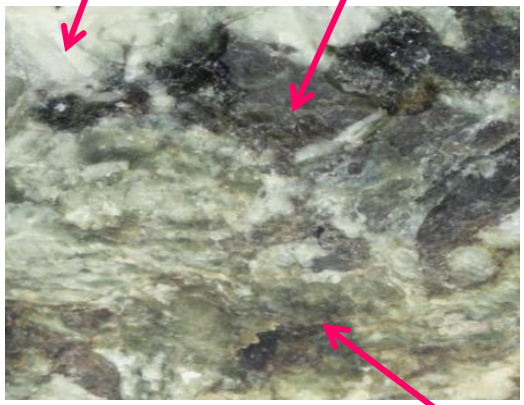
Fd plagioclase

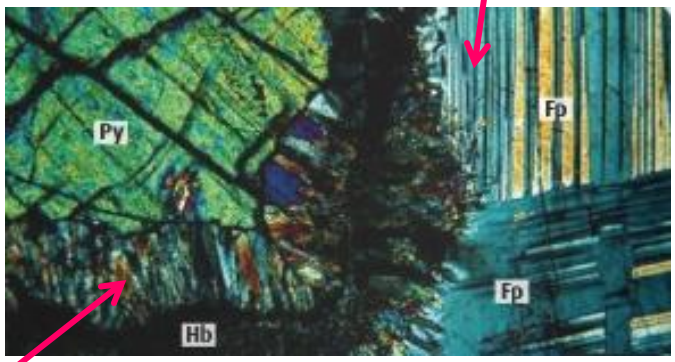
Pyroxènes

Pyroxènes

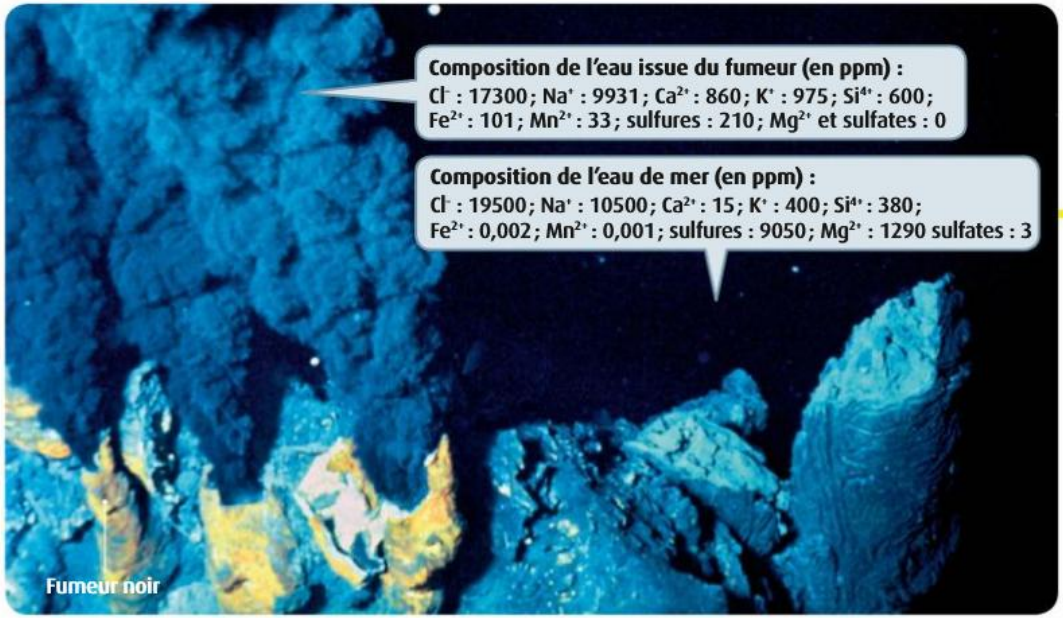
Fd plagioclase

Gabbro hydraté

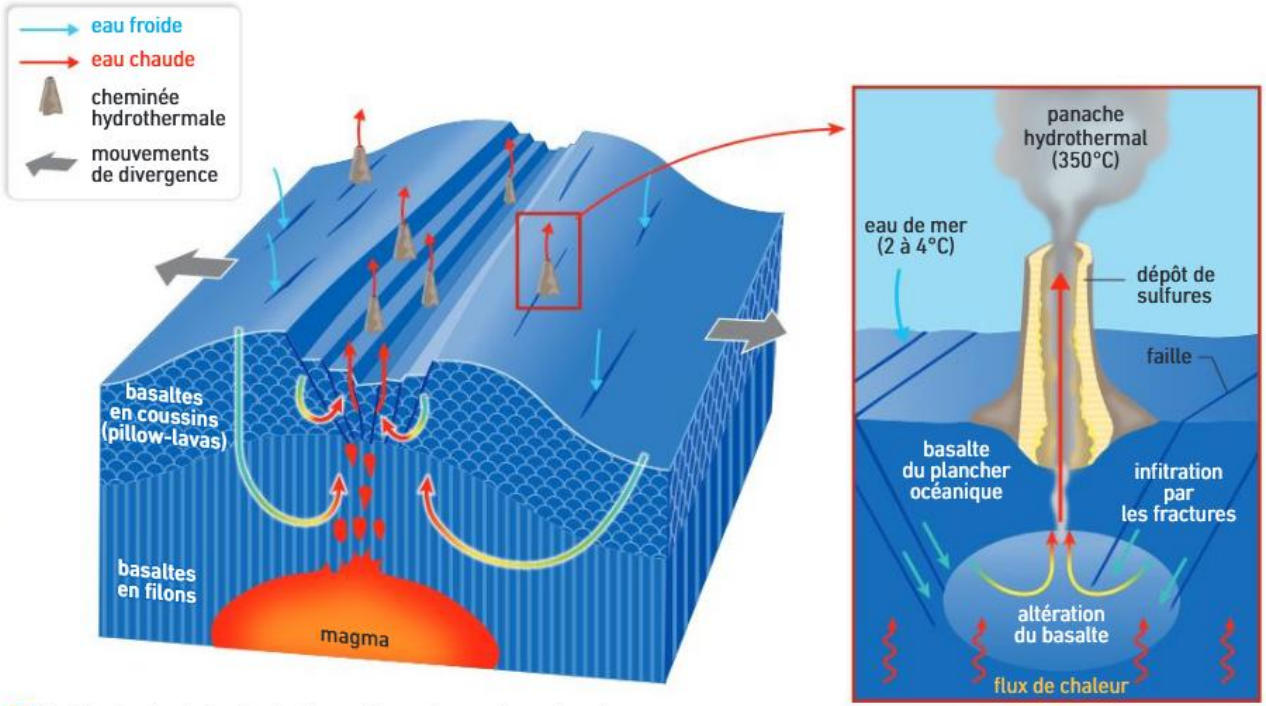




Hornblende = minéral hydroxylé

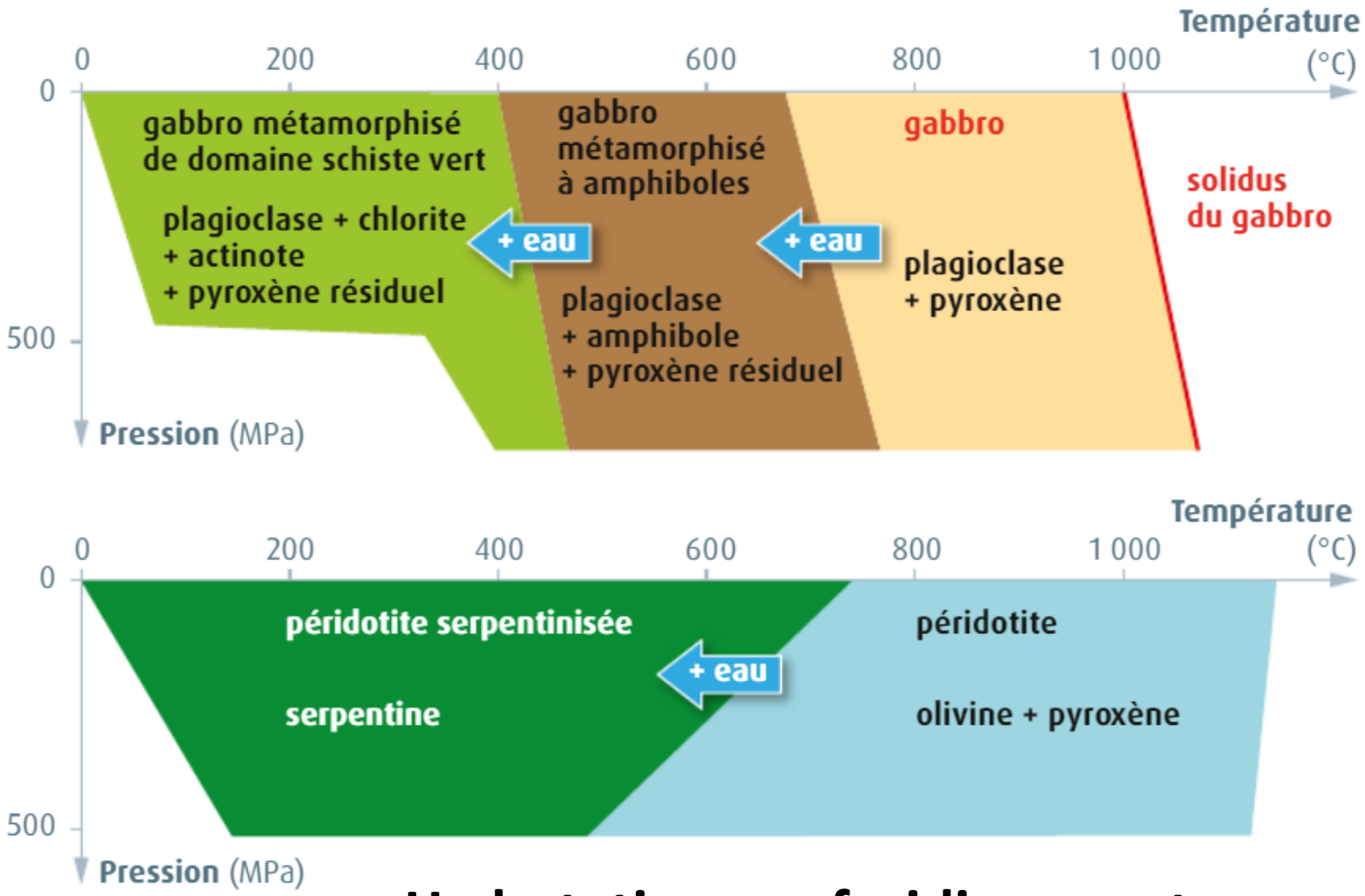


1 Fumeurs noirs à proximité d'une dorsale. À la surface de la lithosphère, de nombreuses cheminées qualifiées de «fumeurs noirs» rejettent une eau chaude et chargée en particules.



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

Domaines de stabilité de quelques associations minéralogiques du gabbro et de la péridotite :



Hydratation + refroidissement

⇒ minéraux hydroxylés

Une maturation commune

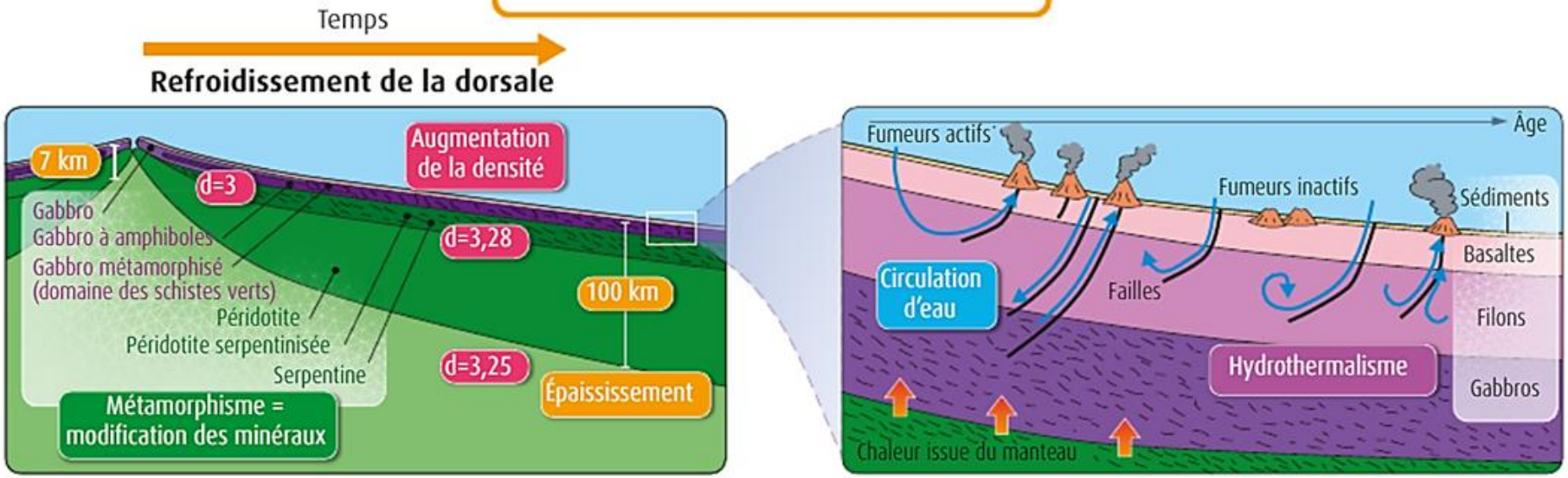
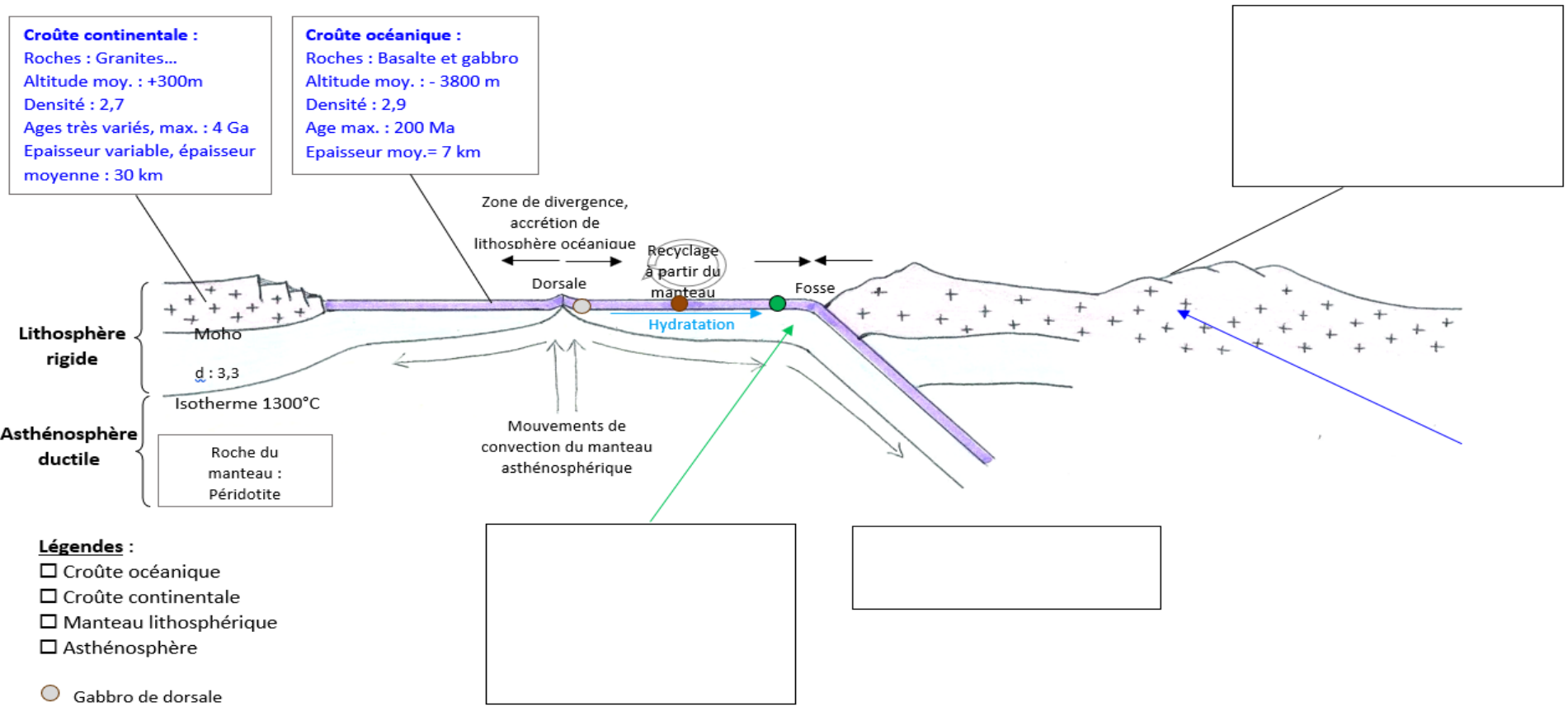


Schéma bilan : La dynamique de la lithosphère

NB : Les reliefs ont été exagérés

Croûte continentale :
Roches : Granites…
Altitude moy. : +300m
Densité : 2,7
Ages très variés, max. : 4 Ga
Epaisseur variable, épaisseur moyenne : 30 km

Croûte océanique :
Roches : Basalte et gabbro
Altitude moy. : - 3800 m
Densité : 2,9
Age max. : 200 Ma
Epaisseur moy.= 7 km



Légendes :

- ☐ Croûte océanique
- ☐ Croûte continentale
- ☐ Manteau lithosphérique
- ☐ Asthénosphère

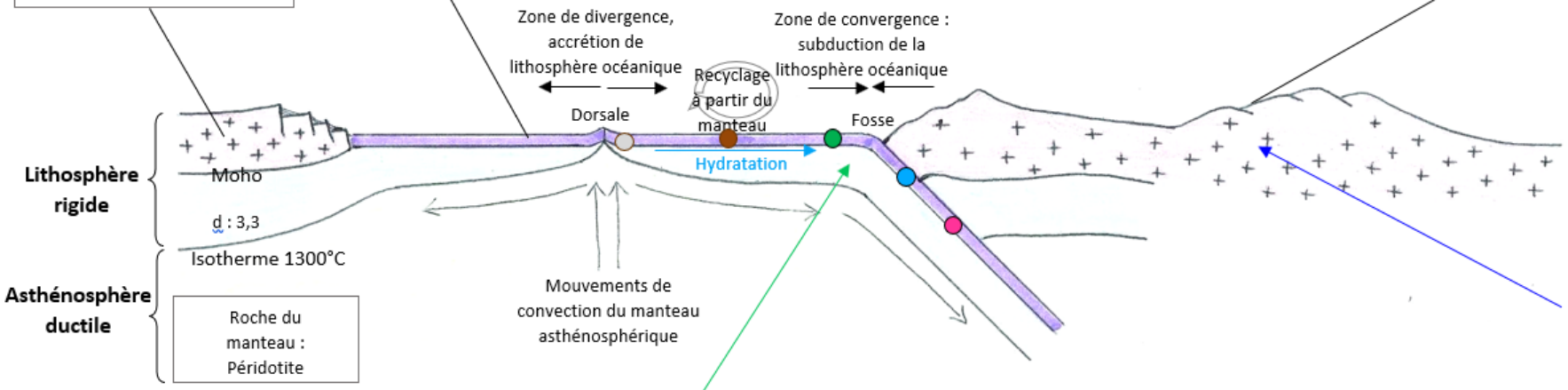
- Gabbro de dorsale
- Gabbro à amphibole (hornblende)
- Métagabbro schiste vert

Schéma bilan : La dynamique de la lithosphère

NB : Les reliefs ont été exagérés

Croûte continentale :
Roches : Granites…
Altitude moy. : +300m
Densité : 2,7
Ages très variés, max. : 4 Ga
Epaisseur variable, épaisseur moyenne : 30 km

Croûte océanique :
Roches : Basalte et gabbro
Altitude moy. : - 3800 m
Densité : 2,9
Age max. : 200 Ma
Epaisseur moy.= 7 km



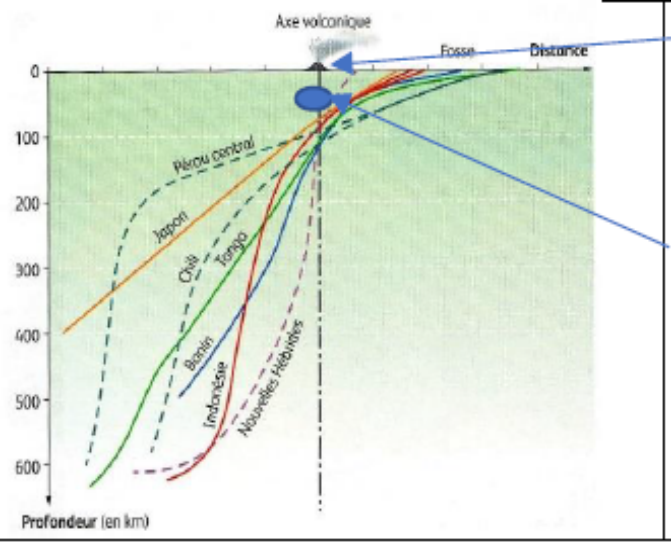
Légendes :
- ☐ Croûte océanique
- ☐ Croûte continentale
- ☐ Manteau lithosphérique
- ☐ Asthénosphère

- Gabbro de dorsale
- Gabbro à amphibole (hornblende)
- Métagabbro schiste vert
- Métagabbro schiste bleu
- Eclogite

- Moteur de la subduction : Refroidissement → augmentation épaisseur et densité lithosphère océanique / asthénosphère
- Subduction entretenue par métamorphisme des roches de la croûte océanique

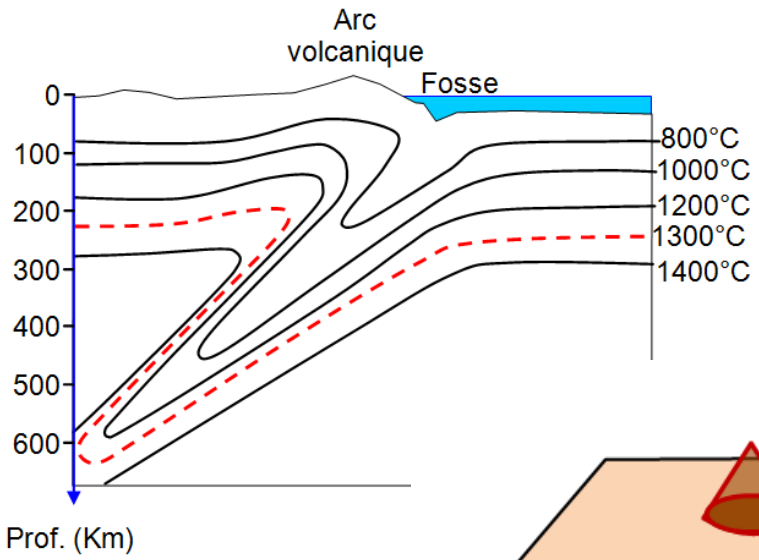
Chapitre 4: La dynamique des zones de convergence: SUBDUCTION

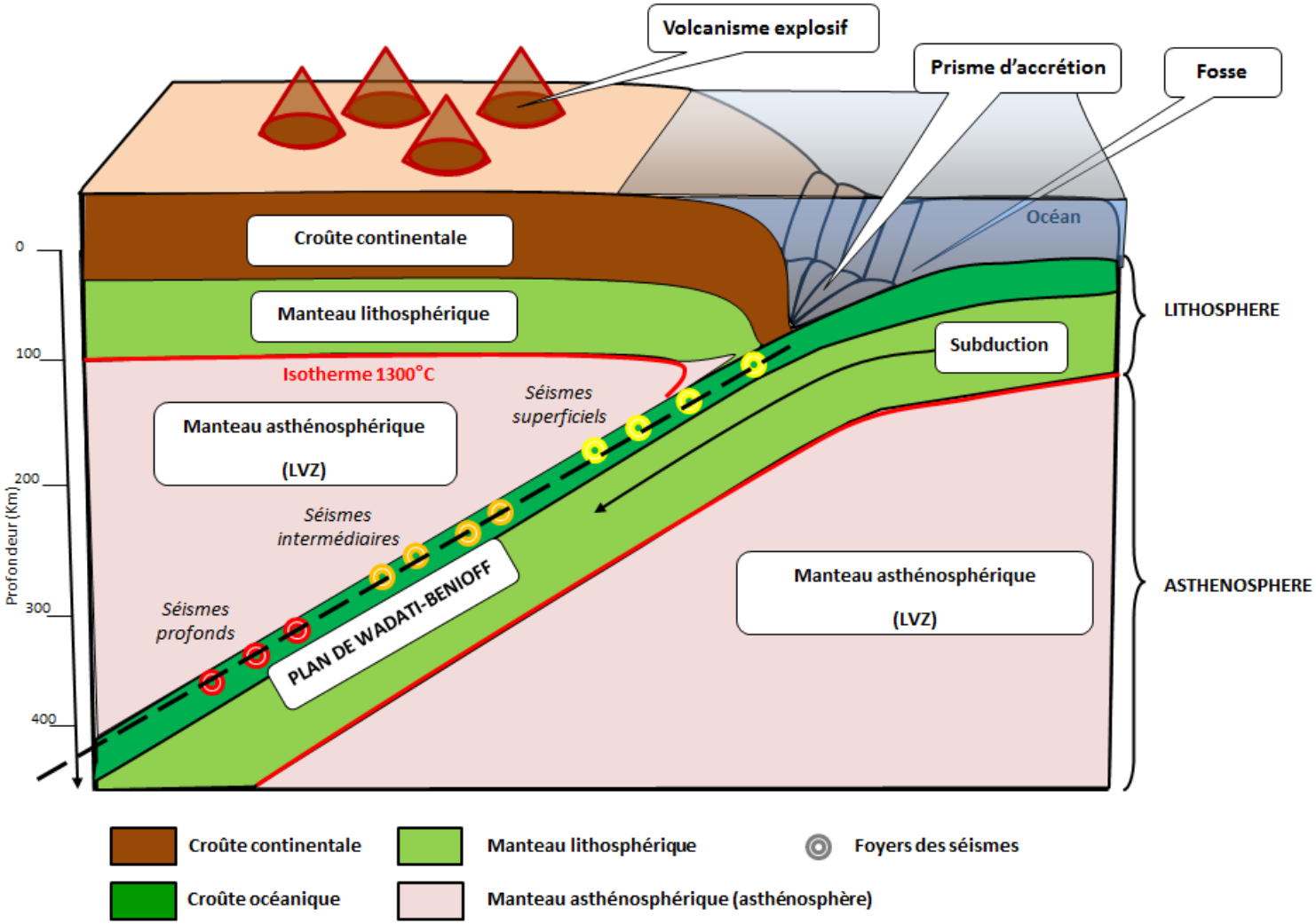




Les volcans actifs dans les zones de subduction sont situés à l'aplomb des plans de Bénioff, là où ceux-ci atteignent 100 à 150 km de profondeur. La genèse des magmas se situe donc à ce niveau, au-dessus de la lithosphère océanique plongeante.

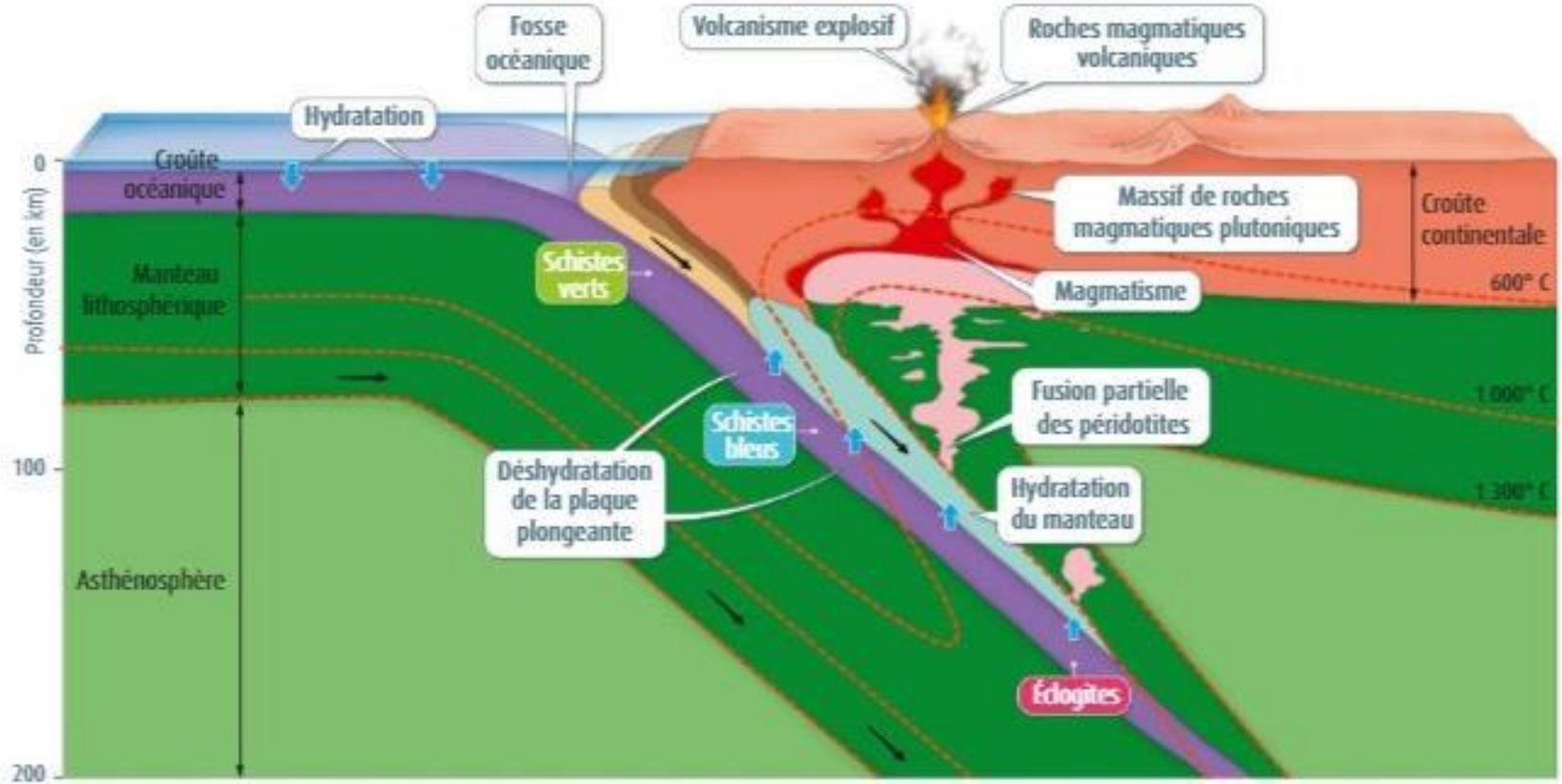
Pour avoir formation d'un magma, il y a donc dans cette zone une fusion des péridotites du manteau de la plaque chevauchante.


Arc volcanique
Fosse
0
100
200
300
400
500
600
800°C
1000°C
1200°C
1300°C
1400°C
Prof. (Km)

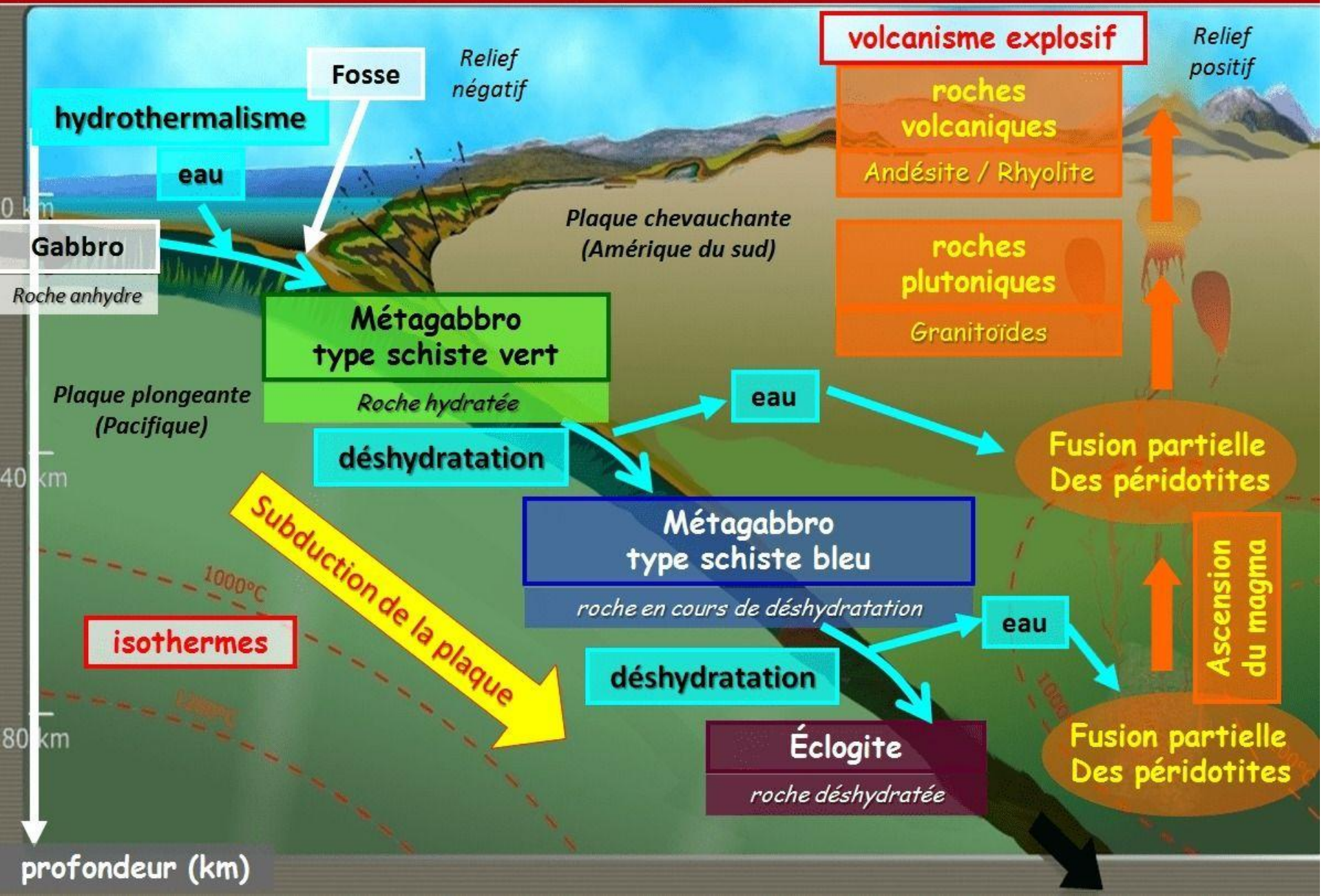

Volcanisme explosif
Prisme d'accrétion
Fosse
Océan
Croûte continentale
Manteau lithosphérique
Subduction
LITHOSPHERE
Isotherme 1300°C
Séismes superficiels
Manteau asthénosphérique (LVZ)
Séismes intermédiaires
Séismes profonds
PLAN DE WADATI-BENIOFF
Manteau asthénosphérique (LVZ)
ASTHENOSPHERE
Profondeur (Km)
0
100
200
300
400
Croûte continentale
Manteau lithosphérique
Foyers des séismes
Croûte océanique
Manteau asthénosphérique (asthénosphère)

Structure / **Composition Minéralogique**	Quartz Feldspaths (orthose avec ou sans plagioclases) Biotite	Feldspaths (Plagioclases) Pyroxène et/ou Amphiboles	
Microlithique A l'œil nu : existence de gros cristaux visibles (phénocristaux) dans une pâte non cristallisée (structure hémicristalline) Au microscope : grands cristaux et petits cristaux (microlithes) visibles dans une pâte non cristallisée apparaissant noire en lumière polarisée analysée (structure microlithique)	**RHYOLITE**	**ANDESITE**	Refroidissement rapide Roche volcanique d'origine superficielle
Grenue Cristaux visibles à l'œil nu. L'ensemble de la roche est entièrement cristallisé	**GRANITE**	**DIORITE**	Refroidissement lent Roche plutonique d'origine profonde
	Magma riche en silice (entre 65 et 75%)	Magma moyennement riche en silice (entre 50 et 60 %)	**Vitesse de refroidissement** *Un refroidissement lent est favorable au développement des cristaux* **Chimie du magma**

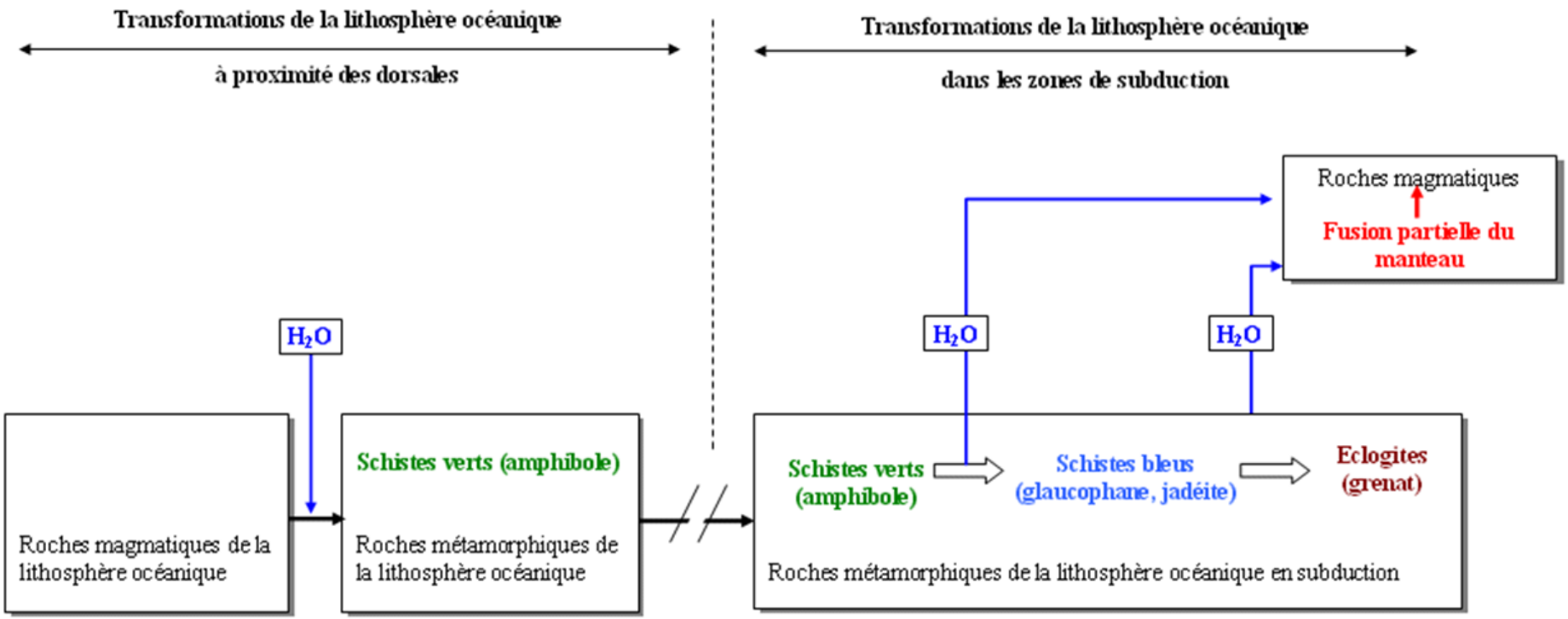
Composition chimique %	Basalte	Andésite	Rhyolite	Diorite	Granite	Péridotites
SiO_2	50	58,65	73,29	66,1	73,86	44,74
Al_2O_3	15	17,43	13,30	15,73	13,75	0,93
Fe_2O_3	3,9	3,21	0,62	1,38	0,78	6,18
FeO	7,3	3,48	1,08	2,92	1,13	2,44
MgO	7	3,28	0,30	1,74	0,26	44,49
CaO	10,2	6,26	1,13	3,83	0,72	1,17
Na_2O	2	3,82	3,66	3,75	3,51	0
K_2O	0,3	1,99	4,24	2,73	5,12	0,01
H_2O	0	1,06	1,90	0,85	0,47	0

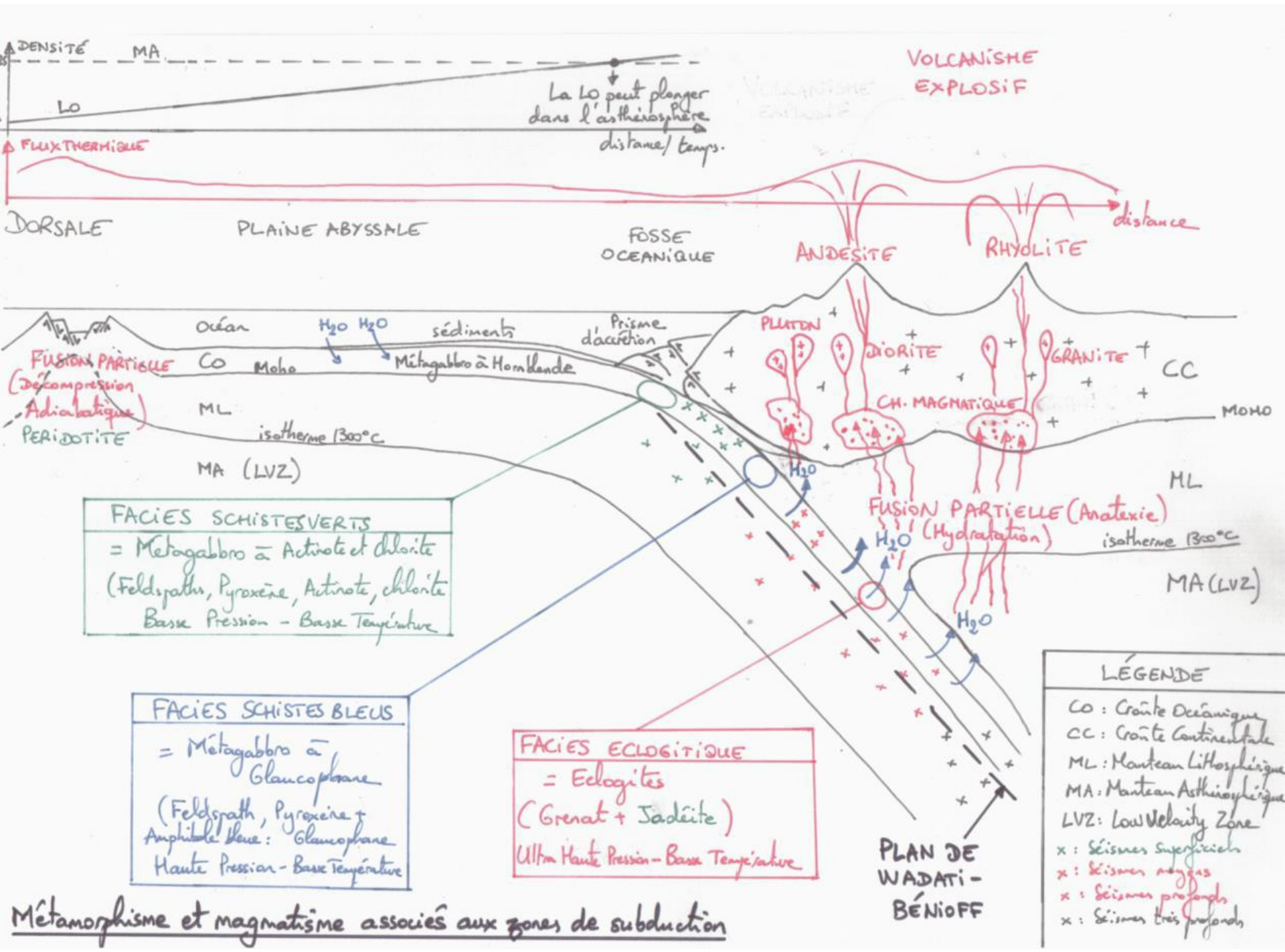


Le couplage du métamorphisme et du magmatisme par l'eau



Couplage magmatisme – métamorphisme : Rôle de l'eau





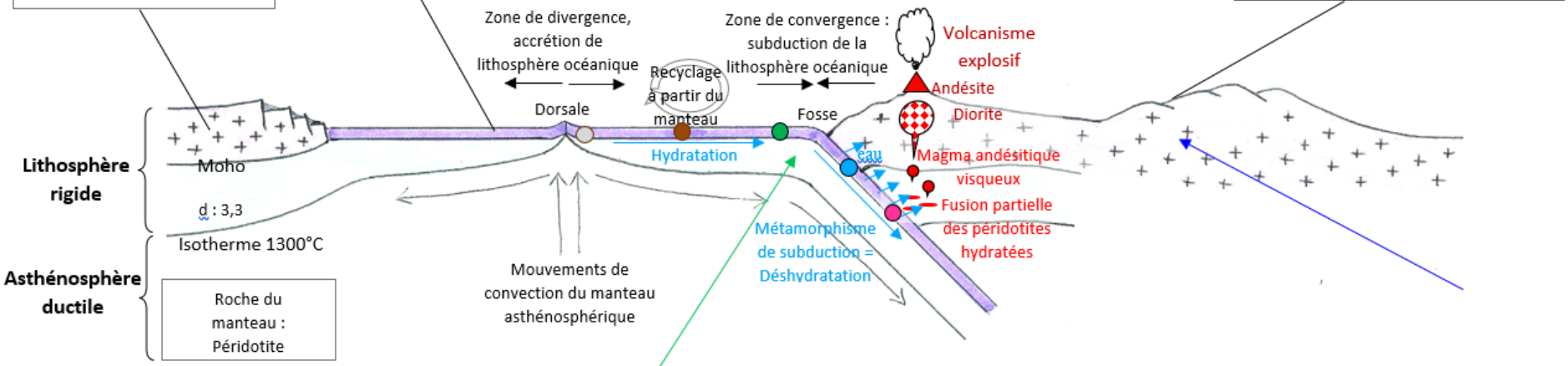
Métamorphisme et magmatisme associés aux zones de subduction

Schéma bilan : La dynamique de la lithosphère

NB : Les reliefs ont été exagérés

Croûte continentale :
Roches : Granites…
Altitude moy. : +300m
Densité : 2,7
Ages très variés, max. : 4 Ga
Epaisseur variable, épaisseur moyenne : 30 km

Croûte océanique :
Roches : Basalte et gabbro
Altitude moy. : - 3800 m
Densité : 2,9
Age max. : 200 Ma
Epaisseur moy.= 7 km

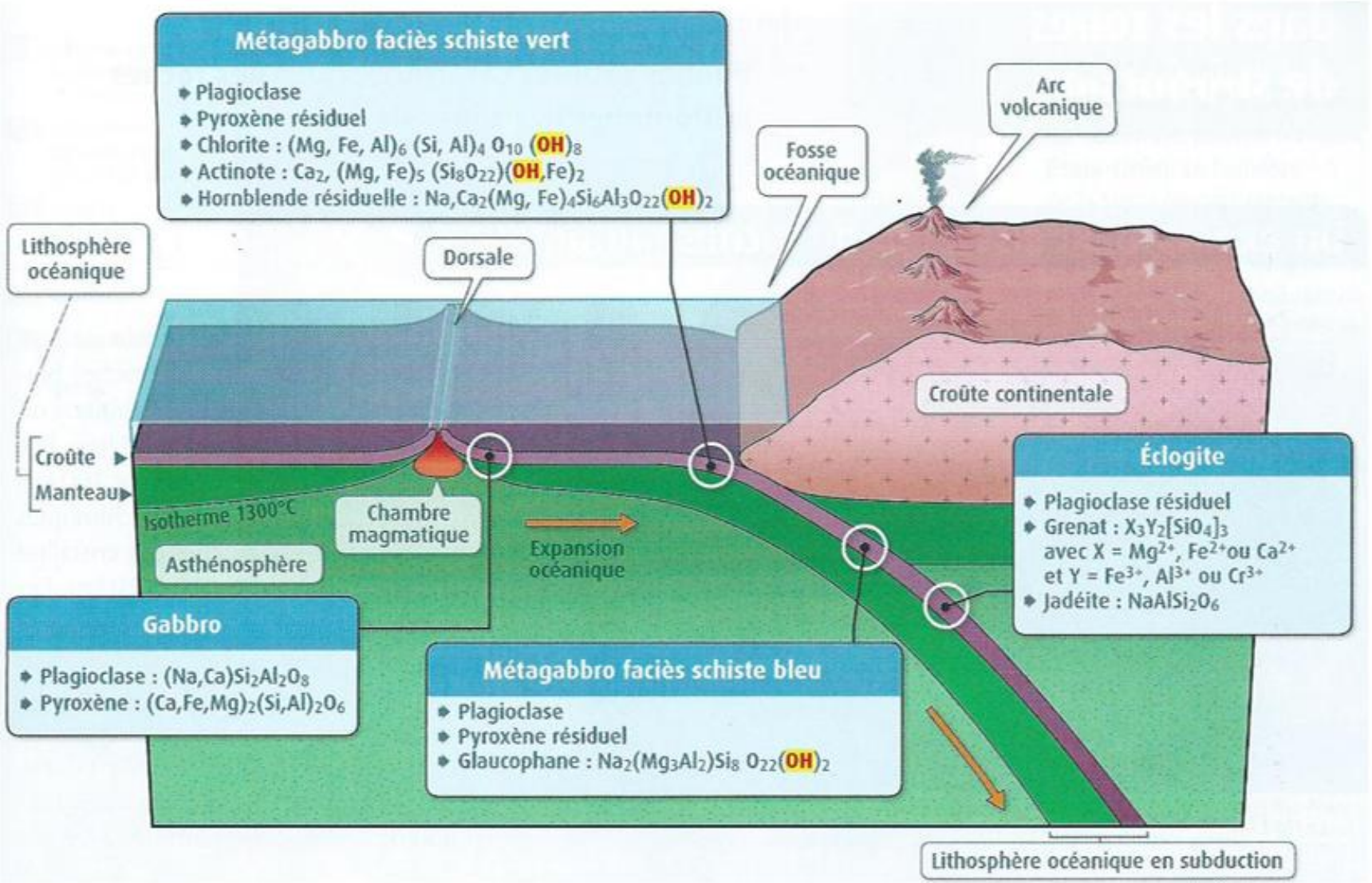


Légendes :
- ☐ Croûte océanique
- ☐ Croûte continentale
- ☐ Manteau lithosphérique
- ☐ Asthénosphère

- Gabbro de dorsale
- Gabbro à amphibole (hornblende)
- Métagabbro schiste vert
- Métagabbro schiste bleu
- Eclogite

- Moteur de la subduction : Refroidissement → augmentation épaisseur et densité lithosphère océanique / asthénosphère
- Subduction entretenue par métamorphisme des roches de la croûte océanique

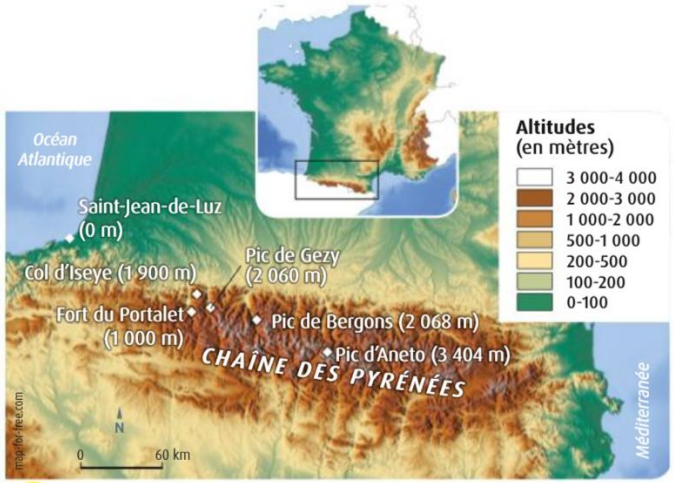
Magmatisme des zones de subduction → Accrétion continentale



Document 3 : L'évolution des gabbros de la croûte océanique depuis leur mise en place à la dorsale jusqu'à leur engagement dans une subduction. La présence de groupements -OH dans les minéraux d'une roche témoigne de son hydratation (présence d'eau).

Chapitre 5: collision

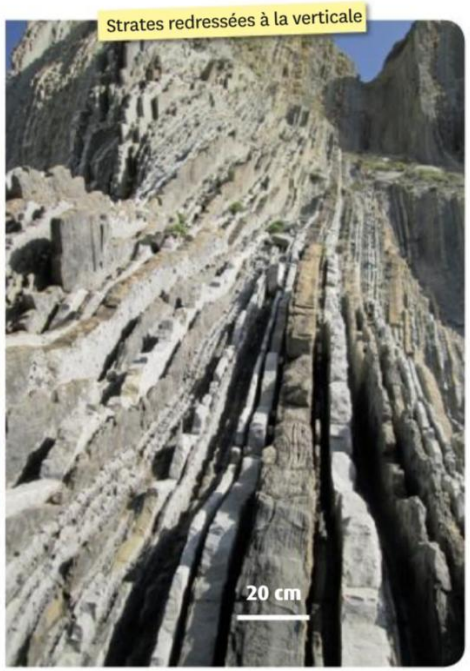


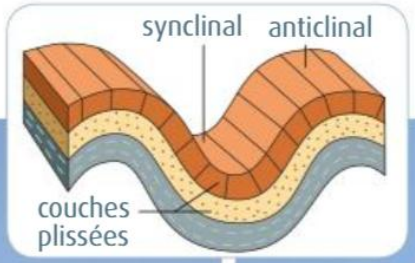


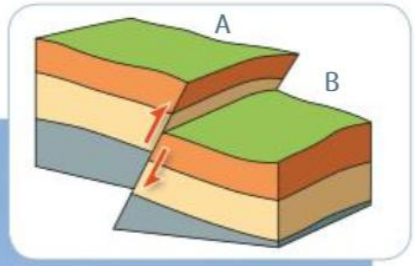
1 La chaîne des Pyrénées : carte et vue de la chaîne depuis le pic du midi de Bigorre. Cette chaîne de montagnes s'étend sur 450 km de long et 111 km de large entre la France et l'Espagne selon une direction est-ouest. Son point culminant est le pic d'Aneto (3404 mètres), en Espagne. Plus de 200 sommets principalement situés au cœur de la chaîne ont une altitude supérieure à 3000 m et l'altitude moyenne de la ligne de crête atteint les 2000 m. Les arrêts effectués au cours de la sortie de terrain sont reportés sur la carte.



2 Des couches sédimentaires déformées. Le long de la côte Basque au niveau de Saint-Jean-de-Luz, on observe la déformation des roches sédimentaires. Lors de leur dépôt, ces roches sédimentaires formaient des strates (couches) horizontales. Le long de la plage, on observe des plis où les strates se courbent autour d'un axe, la charnière du pli (CP), et des couches redressées à la verticale.



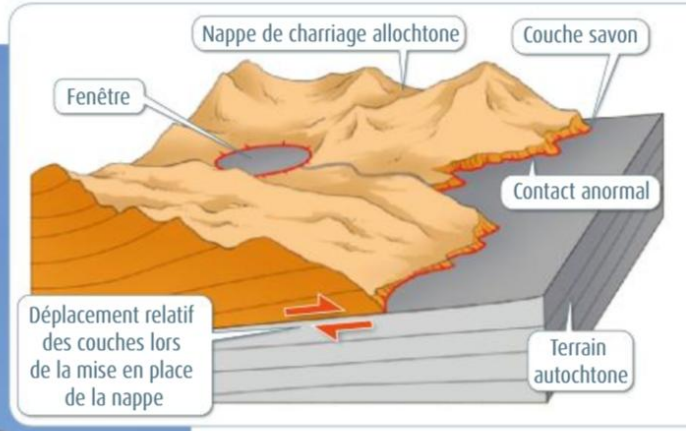






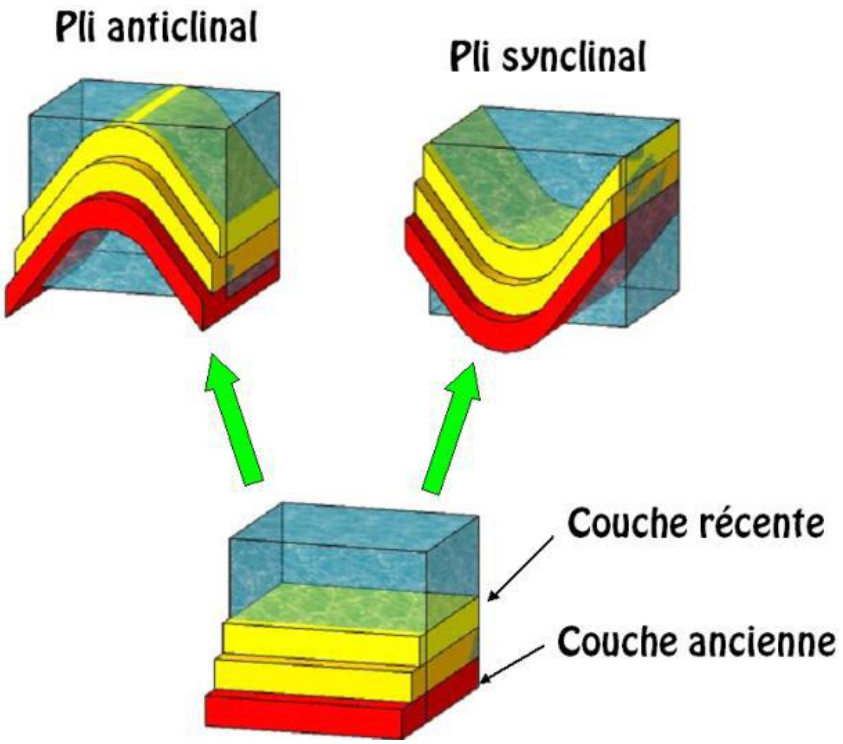
3 **Des plis, des**
de calcaire sont plis
couches sédimentai
au niveau de laquell

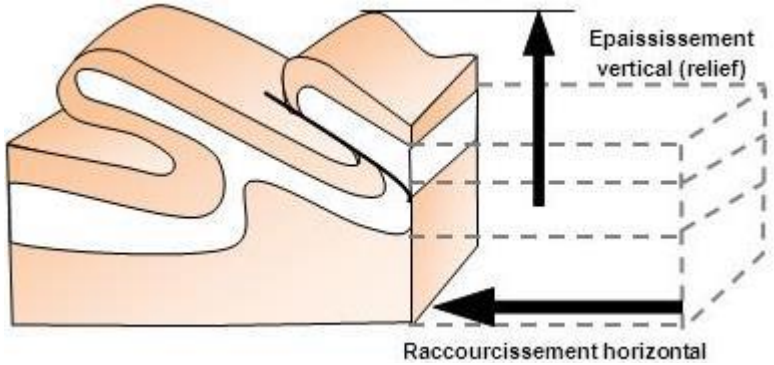


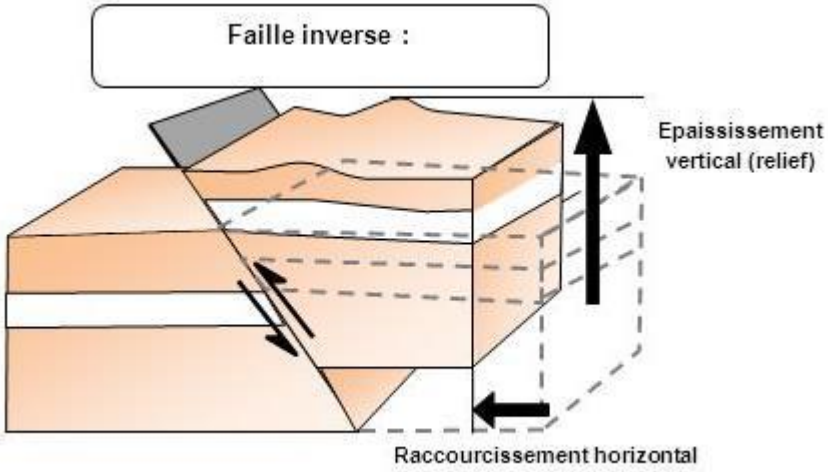


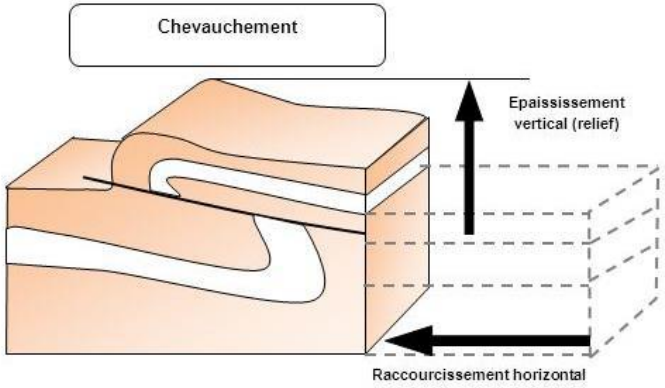
https://www.youtube.com/watch?v=RY24lQxMI4U&list=PL5mdIMX6SVlbUS9kMfmtLJ9AcHCK7KQfW

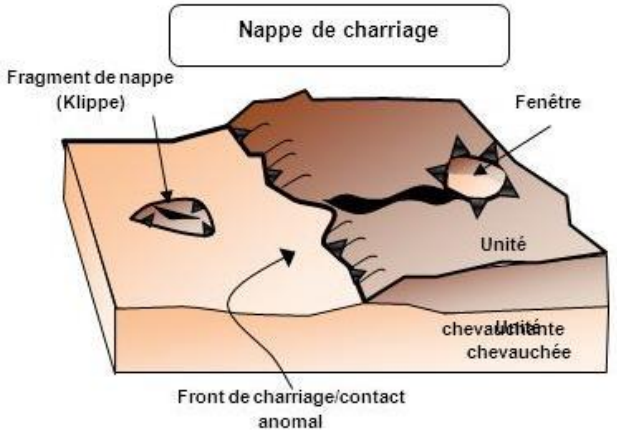
4 **Le Pic du Cézy : une nappe de charriage.** La nappe est un ensemble de couches, constituées ici de calcaires du Crétacé (âgés de 80 Ma) qui se sont décollées et se sont déplacées sur de grandes distances en glissant sur des couches « savon » (ici, les sédiments du Trias, âgés de 220 Ma). Cette nappe (dite allochtone) est venue chevaucher une autre couche de calcaire du Crétacé âgée de 90 Ma (terrain autochtone). Le contact entre le Trias et le Crétacé qu'il recouvre est anormal puisque le Trias est plus ancien que le Crétacé.

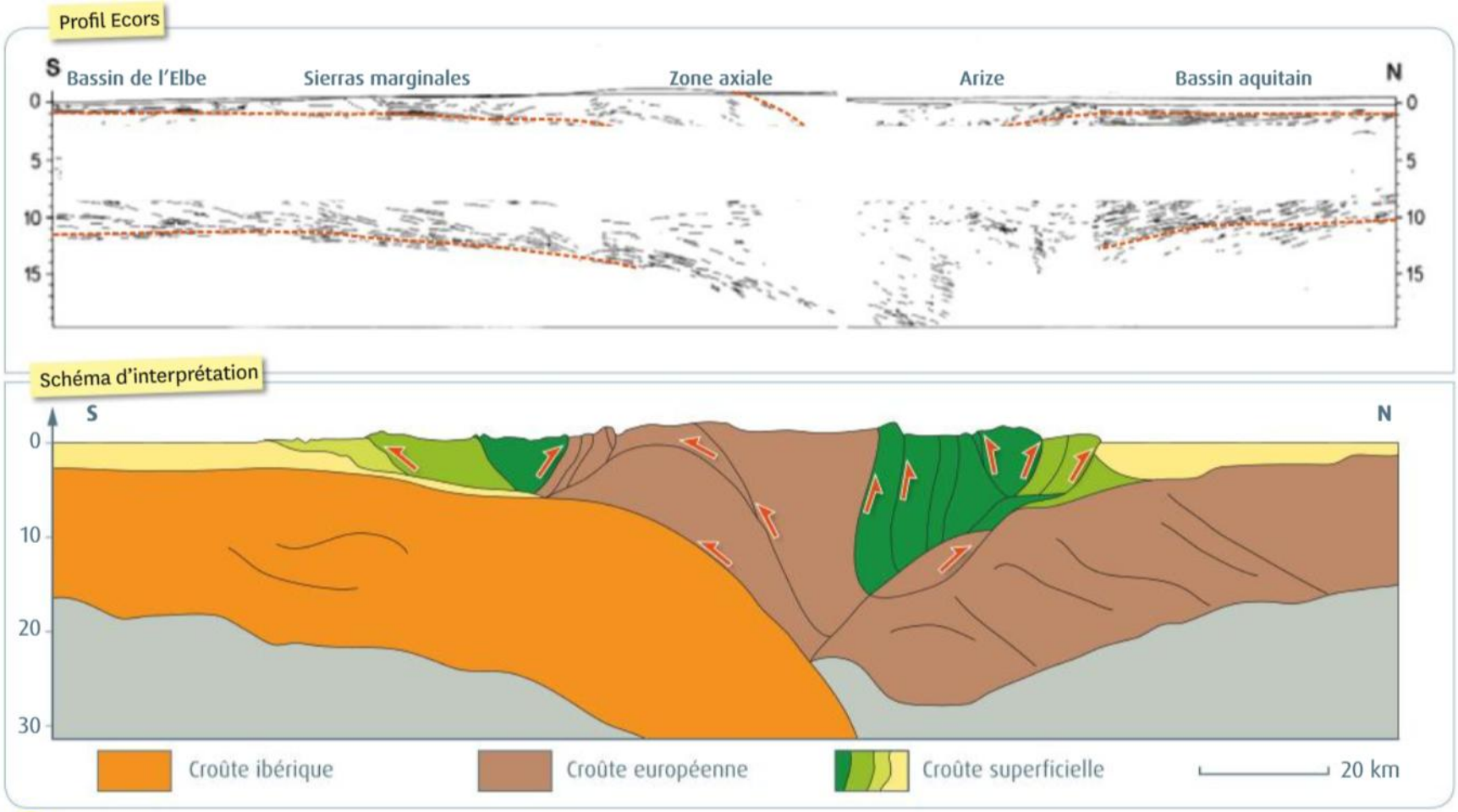

Pli anticlinal
Pli synclinal
Couche récente
Couche ancienne


Epaississement vertical (relief)
Raccourcissement horizontal


Faille inverse :
Epaississement vertical (relief)
Raccourcissement horizontal


Chevauchement
Epaississement vertical (relief)
Raccourcissement horizontal

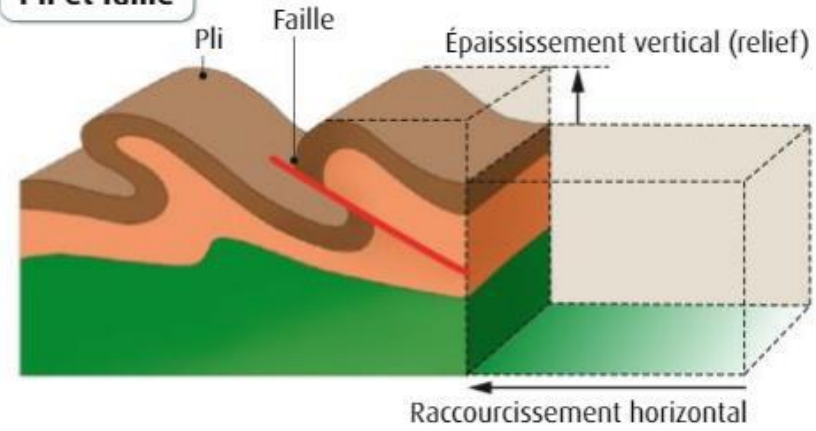

Nappe de charriage
Fragment de nappe (Klippe)
Fenêtre
Unité chevauchante
Unité chevauchée
Front de charriage/contact anomal



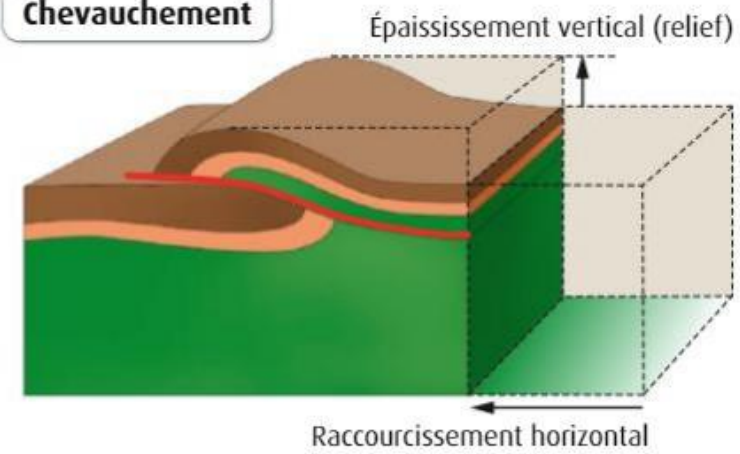
3 Profil Ecors sous les Pyrénées et schéma interprétatif. Un profil Ecors est une image de la structure profonde de la croûte obtenue par des méthodes sismiques (voir chapitre 7). Les ondes sismiques émises depuis la surface sont réfractées ou réfléchies de manière plus ou moins intense au niveau des interfaces entre des roches de propriétés différentes. Enregistrées et analysées en surface, elles permettent de comprendre l'organisation des roches dans la lithosphère. Le profil permet d'observer la superposition de deux plaques continentales : la plaque ibérique au sud et la plaque européenne au nord.

Structures tectoniques déformant les roches

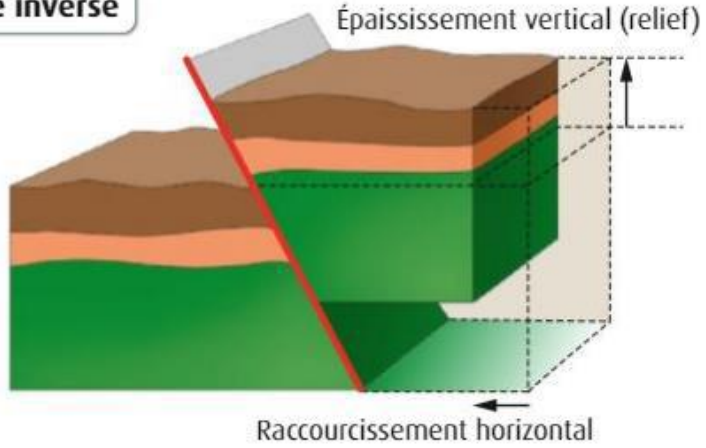
Pli et faille



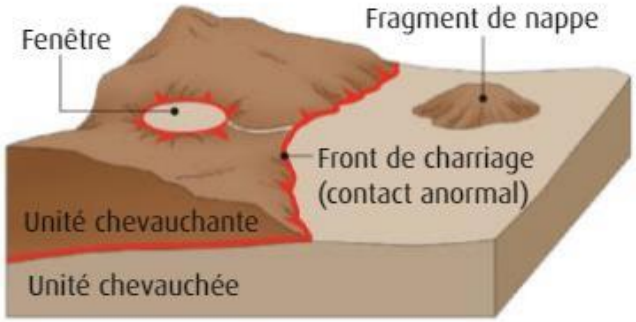
Chevauchement



Faille inverse



Nappe de charriage



Une zone de collision

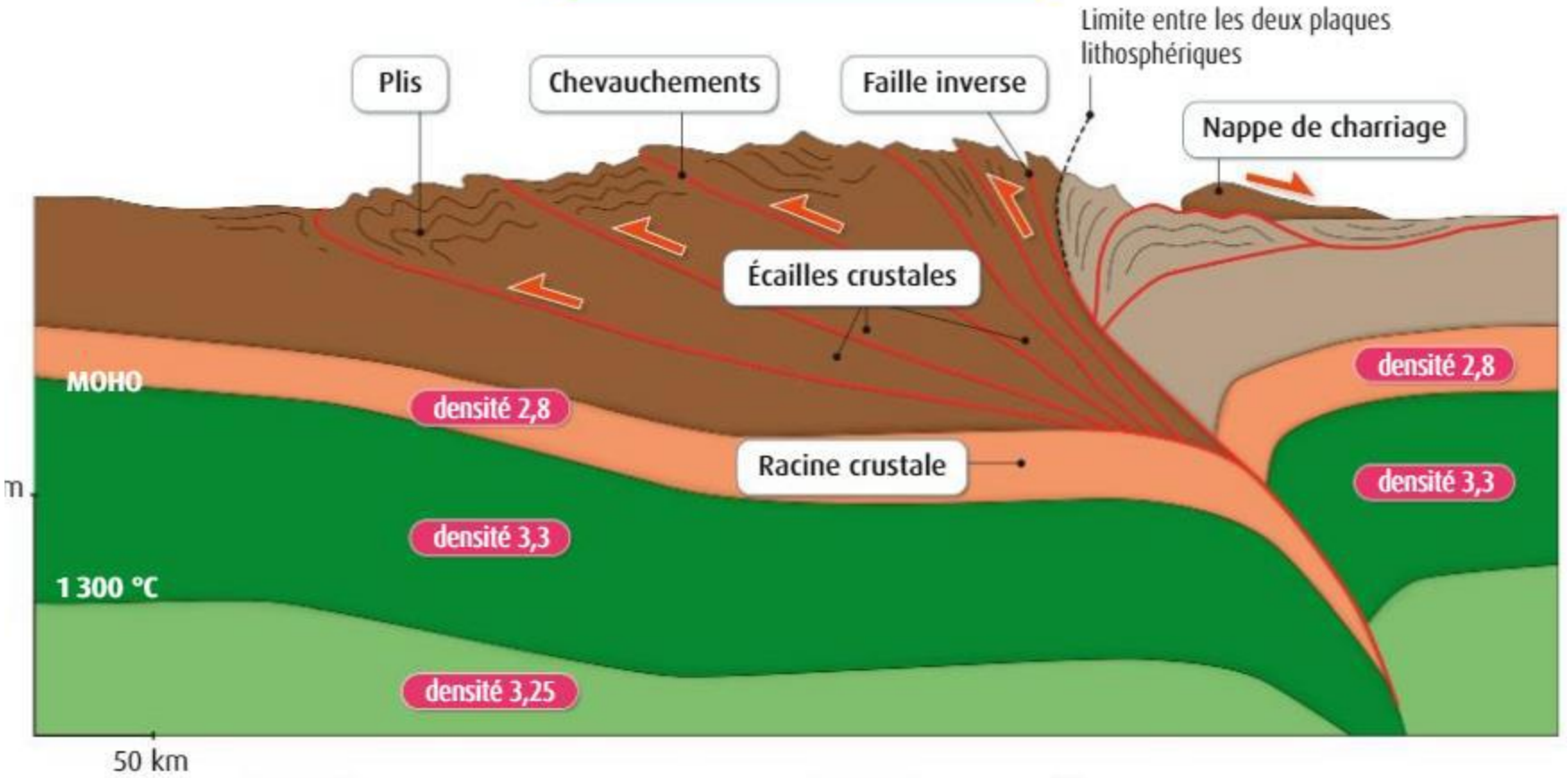


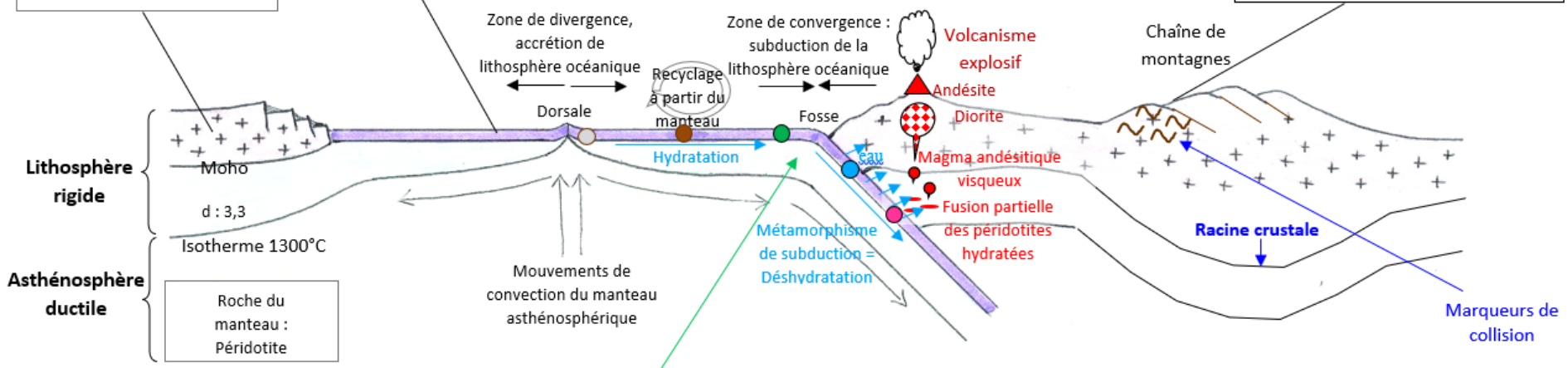
Schéma bilan : La dynamique de la lithosphère

NB : Les reliefs ont été exagérés

Croûte continentale :
Roches : Granites…
Altitude moy. : +300m
Densité : 2,7
Ages très variés, max. : 4 Ga
Epaisseur variable, épaisseur moyenne : 30 km

Croûte océanique :
Roches : Basalte et gabbro
Altitude moy. : - 3800 m
Densité : 2,9
Age max. : 200 Ma
Epaisseur moy.= 7 km

Indices tectoniques de raccourcissement et d'épaississement crustal : plis, failles inverses, chevauchements, nappes de charriage



- Moteur de la subduction : Refroidissement → augmentation épaisseur et densité lithosphère océanique / asthénosphère
- Subduction entretenue par métamorphisme des roches de la croûte océanique

Magmatisme des zones de subduction → Accrétion continentale

Légendes :
- ☐ Croûte océanique
- ☐ Croûte continentale
- ☐ Manteau lithosphérique
- ☐ Asthénosphère

- Gabbro de dorsale
- Gabbro à amphibole (hornblende)
- Métagabbro schiste vert
- Métagabbro schiste bleu
- Eclogite