

SVT, ÉPREUVE SUR SUPPORT DE DOCUMENTS

GÉOLOGIE

Durée : 2 heures

L'usage d'abaques, de tables, de calculatrice et de tout instrument électronique susceptible de permettre au candidat d'accéder à des données et de les traiter par des moyens autres que ceux fournis dans le sujet est interdit.

Chaque candidat est responsable de la vérification de son sujet d'épreuve : pagination et impression de chaque page. Ce contrôle doit être fait en début d'épreuve. En cas de doute, il doit alerter au plus tôt le surveillant qui contrôlera et éventuellement remplacera le sujet.

Ce sujet comporte 11 pages numérotées de 1 à 11 et une annexe format A3.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

Quelques aspects de la formation et de la dynamique d'un Océan

Ce sujet est constitué de deux thèmes principaux, organisés en sous parties indépendantes. Un troisième thème fait une synthèse des deux premiers thèmes.

- Le candidat s'appuiera essentiellement sur une analyse des documents, pour répondre aux questions posées au fur et à mesure des documents.
- Le candidat ne doit pas rédiger de longs développements de ses connaissances sur le thème, indépendamment de l'exploitation des documents et des questions posées.
- La concision des réponses et l'exploitation des documents sans paraphrase seront valorisées.

Références

- [1] **Debret et al. (2013)**
Three steps of serpentinization in an eclogitized oceanic serpentization front (Lanzo Massif – Western Alps)– *Journal of Metamorphic Geology*
- [2] **Mahoney et al. (2002)**
Cretaceous volcanic rocks of the South Tethyan suture zone, Pakistan : implications for the Réunion hotspot and Deccan Traps– *Earth and Planetary Science Letters*
- [3] **Müller et al. (2008)**
Age, spreading rates, and spreading asymmetry of the world's ocean crust– *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*
- [4] **Obayashi et al. (2011)**
Finite frequency whole mantle P wave tomography : Improvement of subducted slab images.– *Geophysical Research Letters*
- [5] **Simmons et al. (2012)**
LLNL-G3Dv3 : Global P wave tomography model for improved regional and teleseismic travel time prediction– *Journal of Geophysical Research : Solid Earth*
- [6] **Nicollet**
Site personnel– <http://christian.nicollet.free.fr/>
- [7] **Snyder**
Site personnel– <http://peridotites.blogspot.com/>

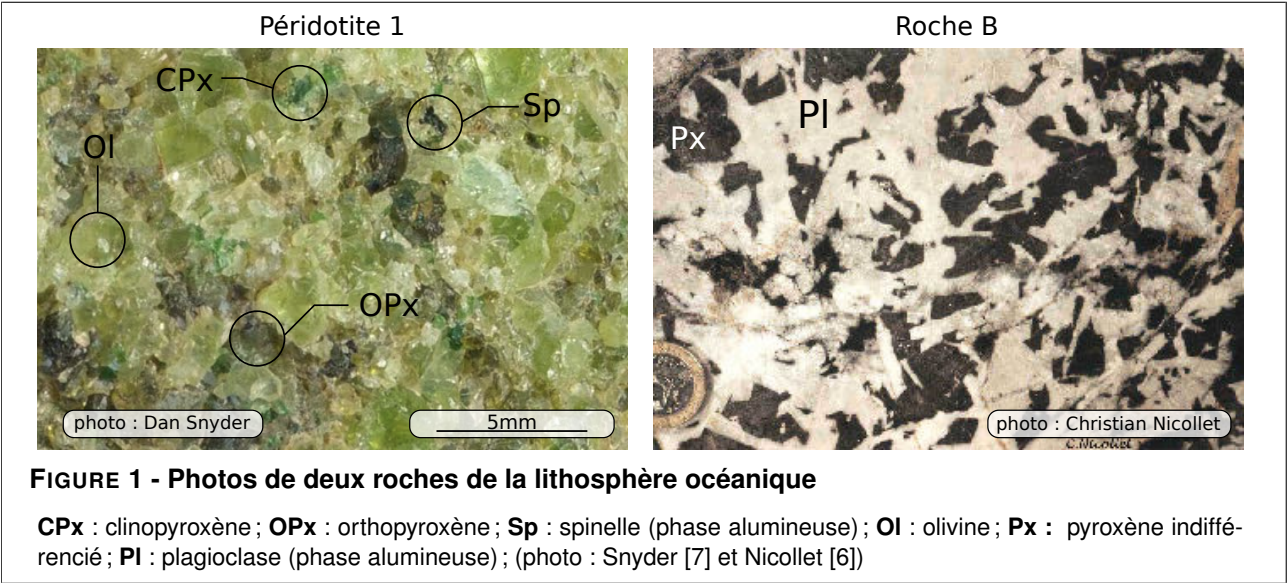
Thème 1 – Formation et transformation de la lithosphère océanique

Certaines ophiolites permettent de voir sur un même site différentes roches magmatiques caractéristiques de la lithosphère océanique. On cherche dans cette partie à caractériser les processus à l'origine de la diversité des roches de la lithosphère océanique.

1.1 Étude de trois roches ophiolitiques et de leurs relations

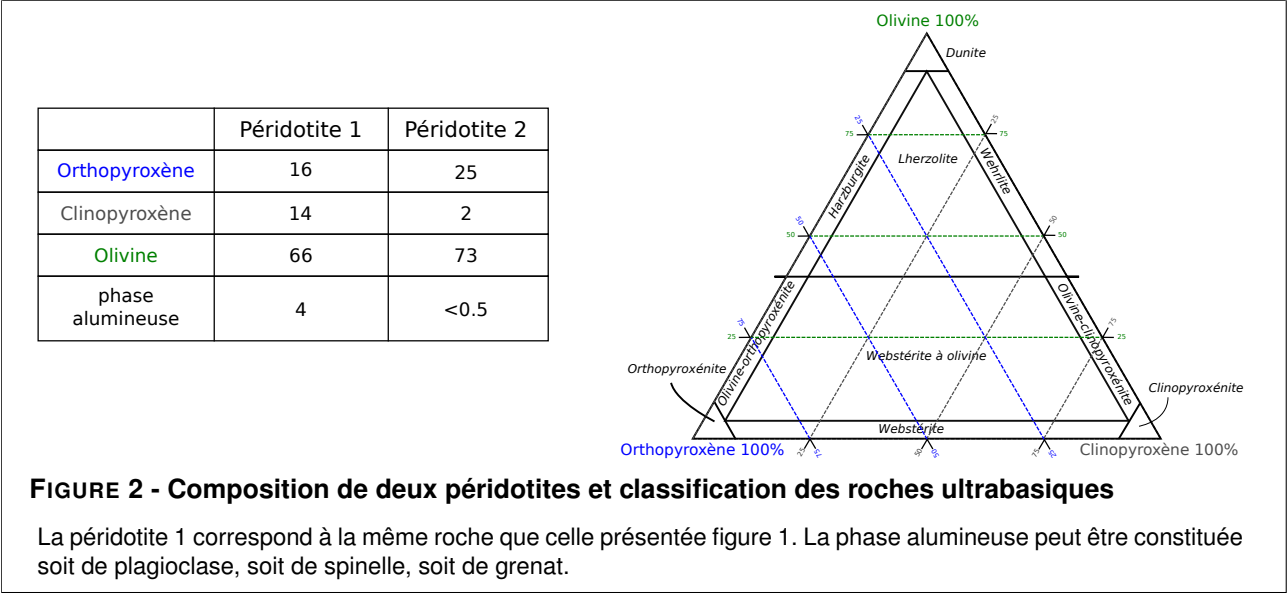
Question 1

- La figure 1 montre deux roches différentes de la lithosphère océanique.
- Décrivez la texture des deux roches.
 - Identifiez la roche B et précisez ses conditions de cristallisation.
 - Rappelez quelles sont les autres roches de la lithosphère océanique.



Question 2

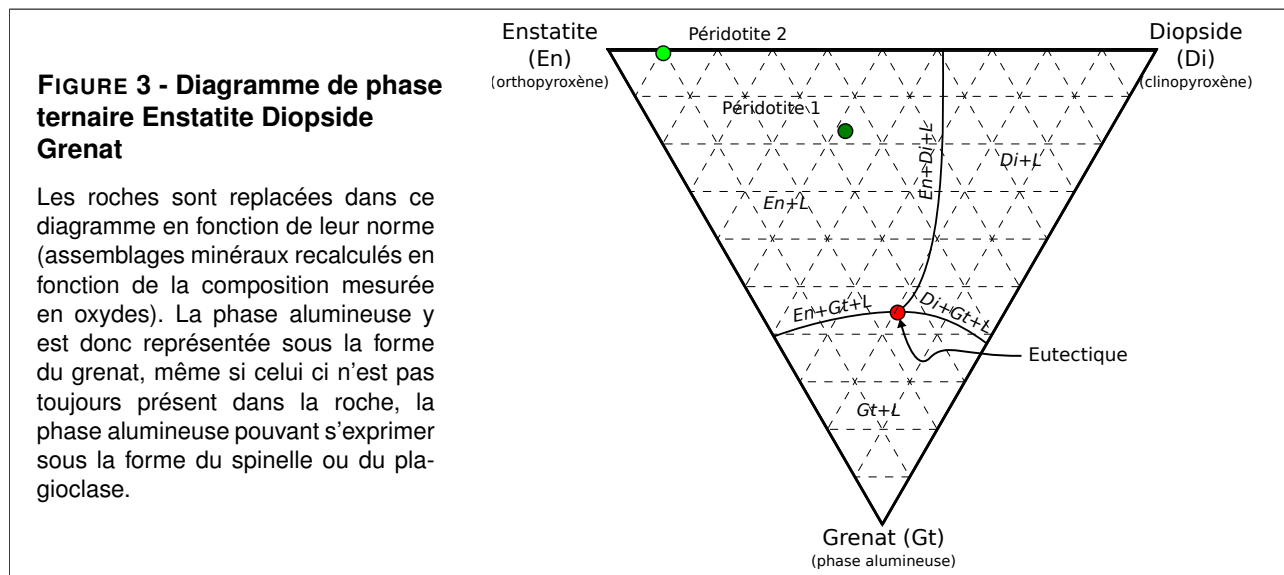
La figure 2 montre la composition de deux péridotites différentes. En vous basant sur la classification des roches ultra-basiques fournie, remplacez approximativement les deux péridotites sur la figure 2 de l'annexe format A3, puis donnez le nom des deux péridotites.



La fusion partielle de la péridotite 1 peut mener à la formation d'une roche résiduelle, la péridotite 2, et d'un liquide magmatique. On cherche à déterminer la relation entre les deux péridotites 1 et 2 et la roche B.

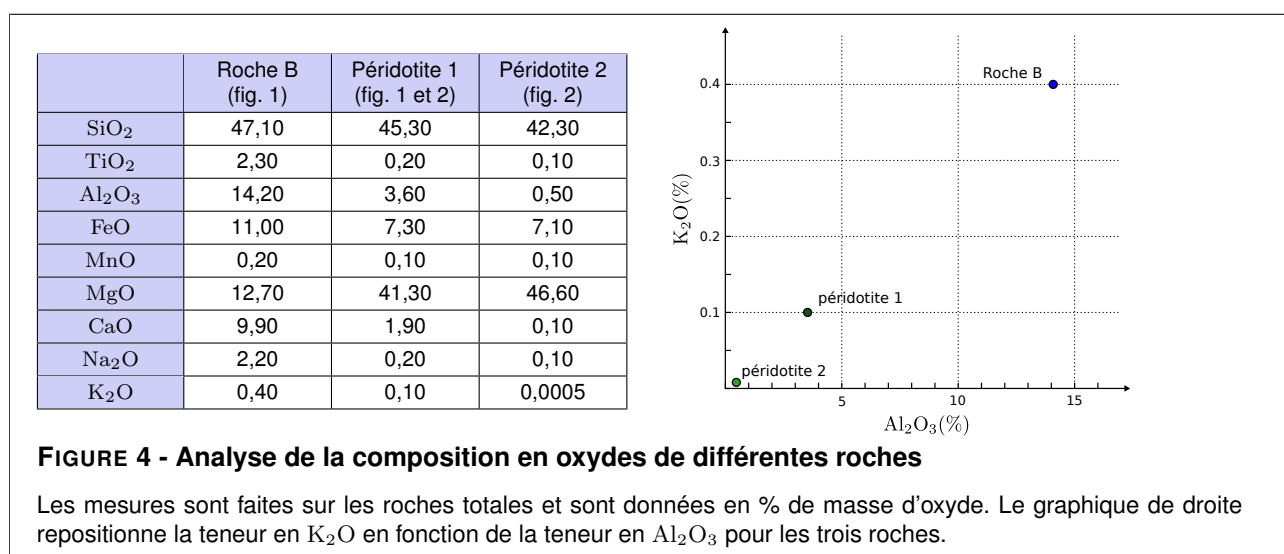
Question 3

Sur la figure 3 donnée sur l'annexe format A3, représentez l'évolution de la composition de la péridotite 1 et du liquide magmatique produit au cours de la fusion. Positionnez enfin la composition du liquide final à l'origine de la roche B.



Question 4

La figure 4 montre une analyse de la composition de la péridotite 1, de la péridotite 2 et de la roche B. Par la méthode de votre choix, estimez le taux de fusion partielle de la péridotite 1. Aucune justification n'est attendue, mais vous nommerez la méthode que vous avez utilisée.



1.2 Métamorphisme océanique dans l'ophiolite du Lanzo (Alpes)

Le Massif de Lanzo dans les Alpes italiennes contient un affleurement de péridotites, constitué principalement de lherzolites et de lentilles de harzburgite, entrecoupées de nombreux filons de gabbro. Les péridotites sont parfois serpentinisées. La figure 8 montre un diagramme pression-température où certaines informations ont été remplacées.

On cherche à reconstruire un chemin pression température temps de ce massif par l'étude des paragenèses visibles.

Question 5

La figure 5 montre une péridotite, et la présence de filons de gabbro dans le massif permet de supposer que ces péridotites ont partiellement fondu. À partir d'une analyse de la texture de la roche et des indications données à la figure 8 (page 6) :

- identifiez la réaction visible, ainsi que son sens ;
- donnez la profondeur maximale et un encadrement de la température à laquelle ont fondu les péridotites ;
- déduisez en le processus ayant provoqué la fusion partielle des péridotites.

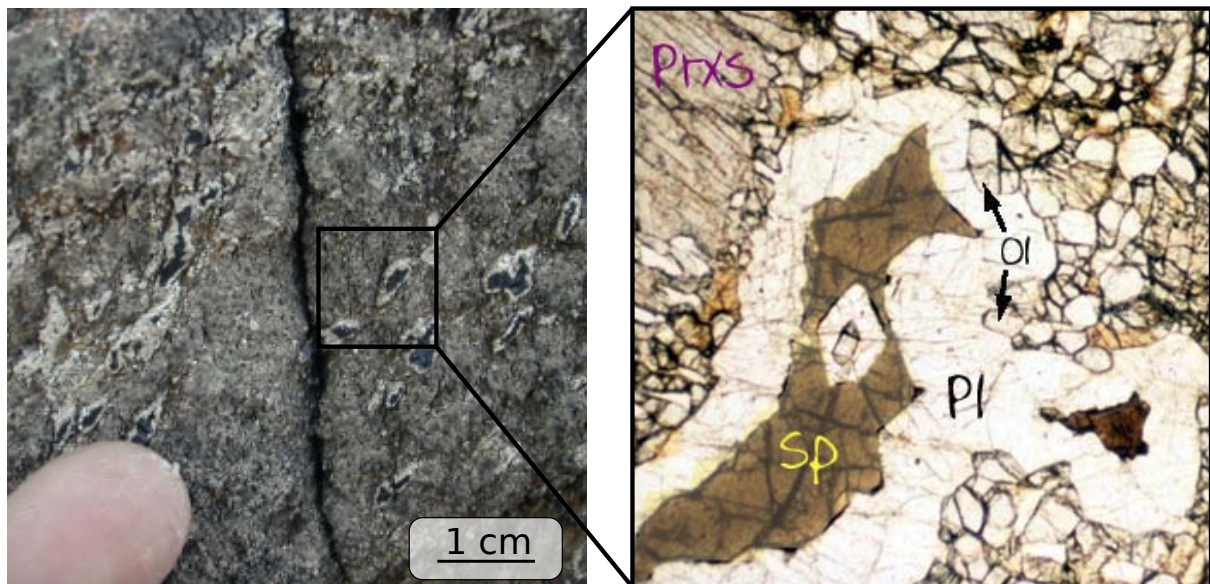


FIGURE 5 - Assemblage coronitique entre spinelle et plagioclase dans une lherzolite

À gauche : vue d'ensemble de l'échantillon. La lherzolite présente une patine orange grisâtre (d'après Debret et al. (2013) [1]). **À droite** : vue en LPNA. Le plagioclase forme une couronne autour du spinelle (d'où le terme d'assemblage coronitique) (photo : Nicollet [6])

Question 6

La figure 6 montre des filons de gabbro visibles dans les lherzolites. À partir d'une analyse de la texture de la roche et des indications données à la figure 8 :

- caractérisez l'évolution de la température de l'encaissant dans lequel se sont injectés les filons ;
- identifiez la réaction visible sur la lame mince ainsi que son sens, et proposez une origine pour les fluides impliqués ;
- déduisez-en une profondeur maximale de réalisation de cette réaction.

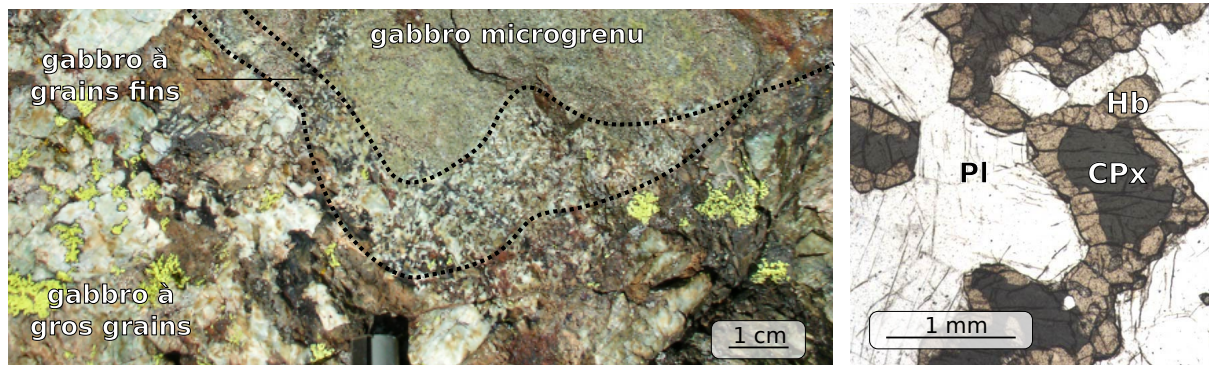


FIGURE 6 - Filons de gabbros dans les lherzolites

À gauche : Succession de filons de gabbros injectés dans les lherzolites (non visibles sur la photo). Les filons à gros grains sont recoupés par les filons à grains plus fins. **À droite :** vue en LPNA de la texture coronitique des gabbros (quels qu'ils soient). La hornblende (amphibole brune) est présente autour des clinopyroxènes au contact du plagioclase (photo : Nicollet [6])

Question 7

La figure 7 montre un affleurement de péridotites dans lequel les diaclases sont remplies de serpentines. À partir de l'analyse de la roche et des indications données à la figure 8 :

- proposez une origine à l'eau nécessaire à la serpentinisation ;
- expliquez le gradient de serpentinisation dans les diaclases ;
- déduisez en une profondeur maximale de la serpentinisation de ces péridotites, et la variation de température associée.

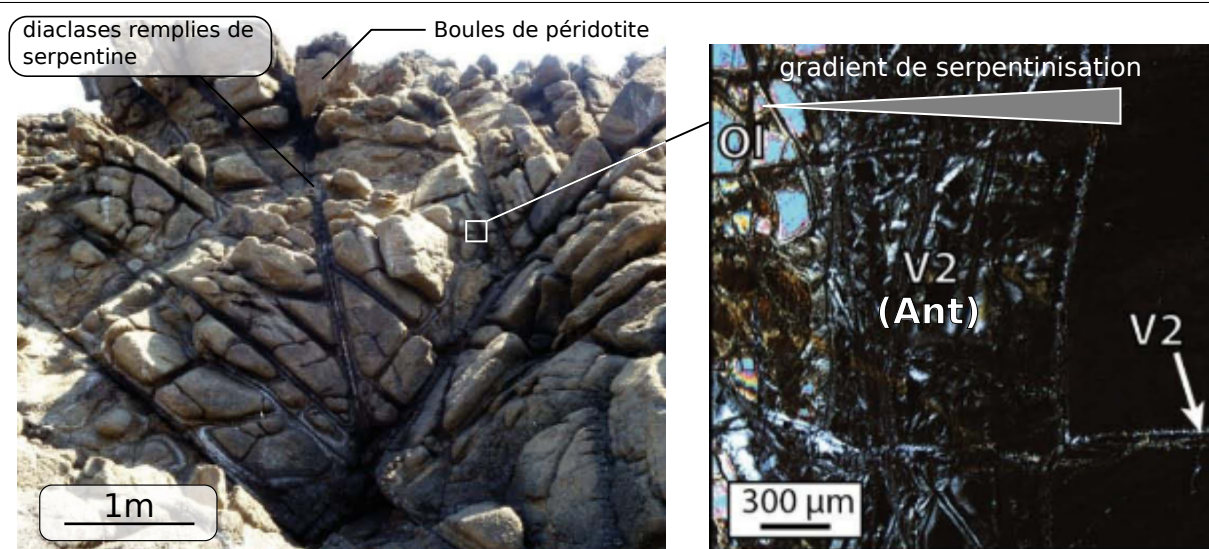


FIGURE 7 - Serpentinisation des lherzolites du massif du Lanzo

À gauche : un affleurement de péridotites dont les diaclases contiennent de la serpentine. **À droite :** vue en LPA du contact diffus entre la lherzolite et la serpentine ; **Ol** : Olivine ; **Ant** : Antigorite (variété de serpentine). On observe un gradient de serpentinisation du cœur de la veine de serpentine (serpentinisation complète) vers la bordure (serpentinisation faible ou nulle). (d'après Debret et al. (2013) [1]).

1.3 Synthèse : reconstitution du chemin PT

Question 8

Sur la figure 8 fournie en annexe au format A3, et à l'aide de trois couleurs de votre choix, vous reconstituerez :

- couleur 1 : le chemin suivi par les péridotites ;
- couleur 2 : le chemin suivi par les gabbros ;
- couleur 3 : le magma produit.

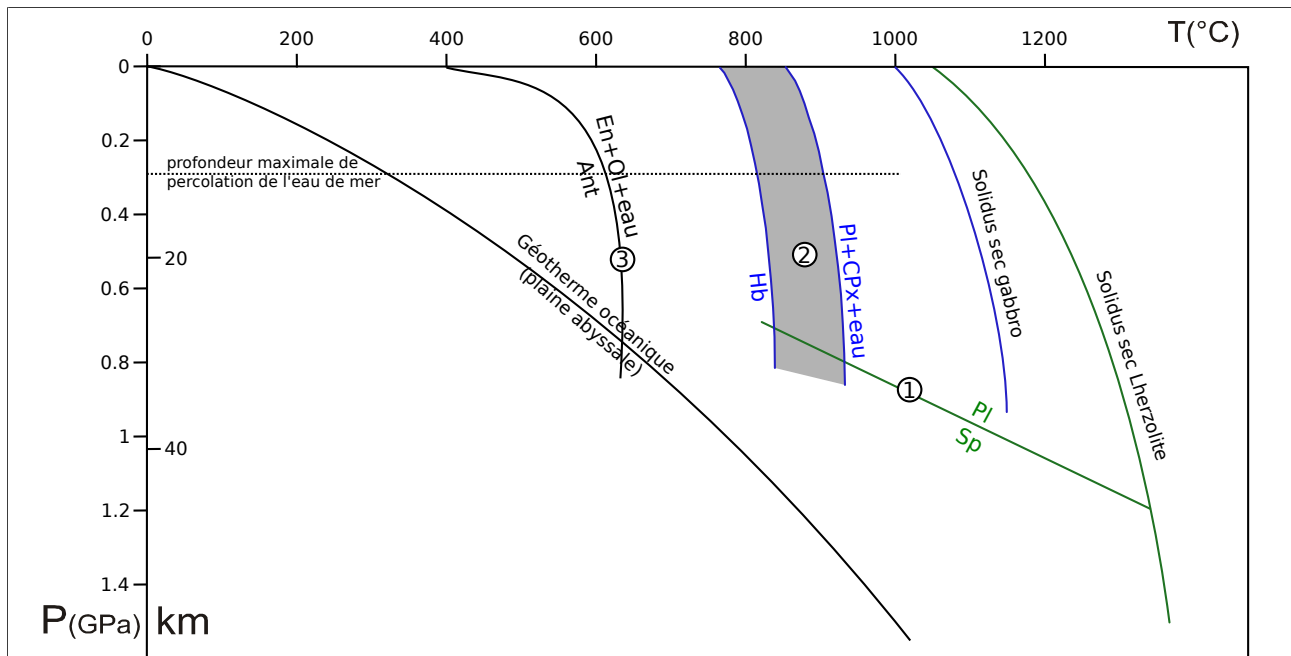
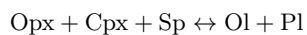


FIGURE 8 - Equilibres minéraux visibles dans certaines ophiolites

Les numéros ci-dessous renvoient aux réactions données dans le diagramme.

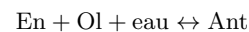
1 : domaine de stabilité de la phase alumineuse dans une péridotite. La réaction correspond au changement de phase entre spinelle (Sp) et plagioclase (Pl). La réaction complète donnée ci-dessous se fait en conditions anhydres :



2 : réaction d'hydratation entre clinopyroxène (Cpx), plagioclase (Pl) donnant une amphibole brune, la hornblende (Hb) :



3 : réaction simplifiée de serpentinisation (Ol : olivine ; En : enstatite ; Ant : antigorite)



Thème 2 – Géodynamique de l'Océan Indien

Ce thème a pour but de caractériser la dynamique de l'Océan Indien, afin d'en identifier le moteur et d'en dresser un mode de fonctionnement général. Il se base principalement sur l'étude de deux cartes de l'Océan Indien (figure 9 et 10).

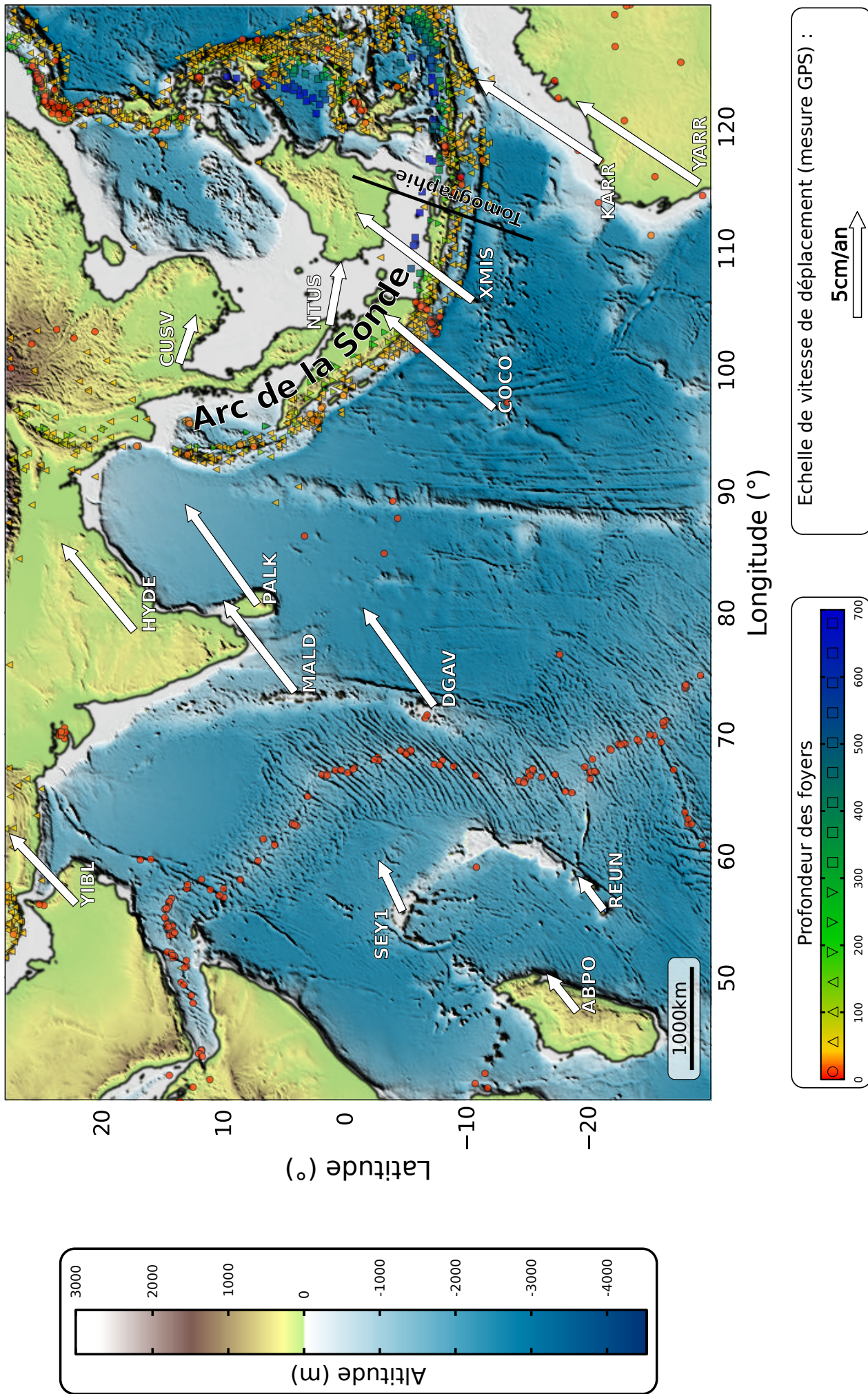


FIGURE 9 - Topographie et bathymétrie dans la zone de l'Océan Indien, répartition de la sismicité et vitesse moyenne de quelques stations GPS.

Le profil de tomographie correspond à la figure 11 ; Données GPS : Jet Propulsion Laboratory/NASA ; Modèle numérique de terrain : ETOPO1 (NOAA) ; Sismicité : USGS

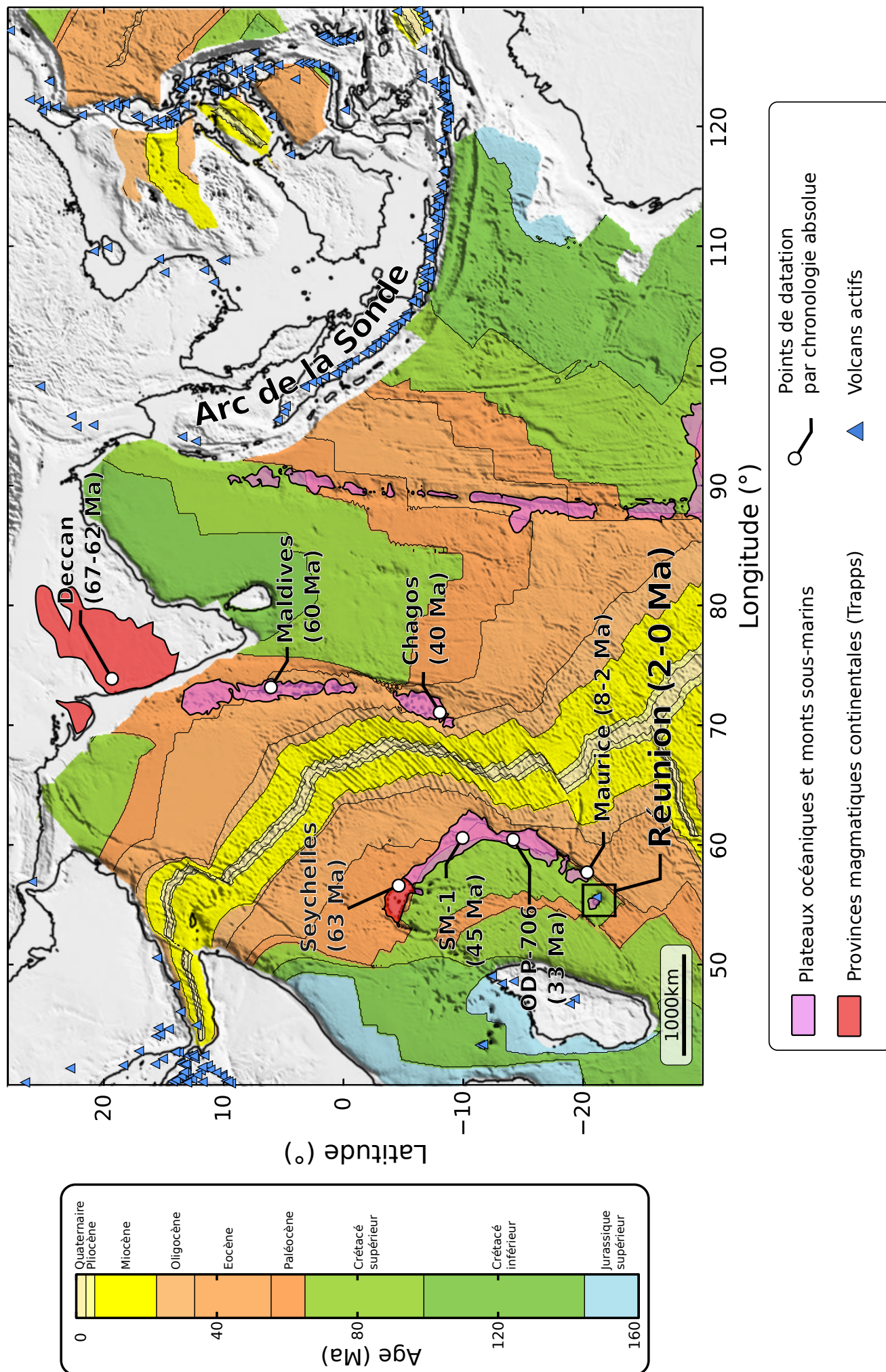


FIGURE 10 - Âge de différents objets de l'Océan Indien

La carte correspond à l'âge de la lithosphère océanique. L'âge de la lithosphère continentale n'est pas donné. Certains objets importants de l'Océan Indien sont datés, qu'ils soient sur de la lithosphère continentale (Trapps du Deccan, Plateau des Seychelles) ou sur la lithosphère océanique (îles, monts sous-marins).
Données d'âge de la lithosphère : Müller et al. (2008) [3] ; Données d'âge des provinces magmatiques et monts sous marins : Mahoney et al. (2002) [2]

2.1 Caractéristiques de l'arc de la Sonde

Question 9

Indiquez à quel contexte géologique correspond l'arc de la Sonde. Vous argumenterez à partir d'observations exclusivement tirées des cartes 9 et 10, en un paragraphe de 10 lignes maximum, sans schéma.

La figure 11 montre une tomographie sismique d'ondes P au niveau de l'arc de la Sonde. Cette méthode est basée sur la mesure de vitesse d'ondes P, qui dépend des propriétés physiques des matériaux traversés. On rappelle que la vitesse des ondes P et S s'expriment selon :

$$V_P = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

- où K est le module d'incompressibilité,
- μ est le module de cisaillement,
- et ρ la masse volumique du matériau.

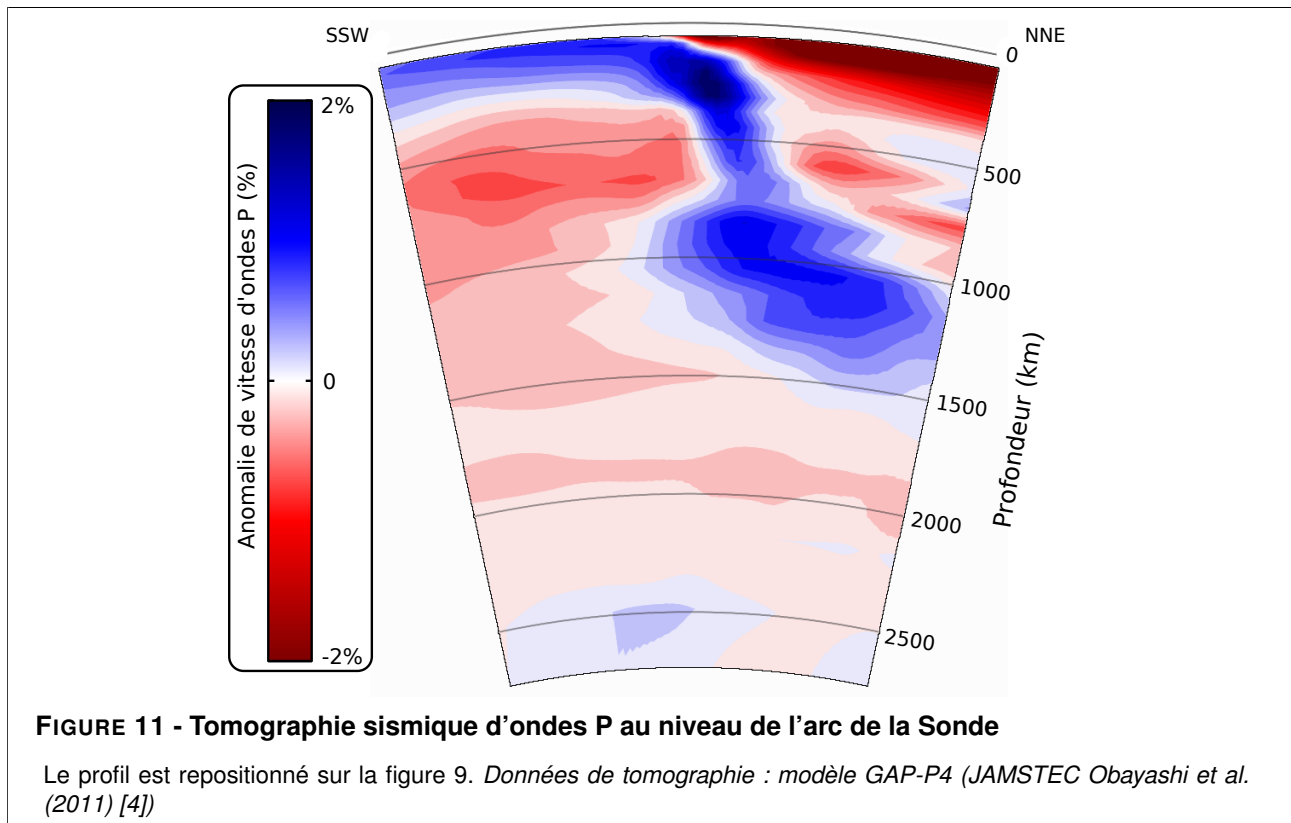
Question 10

D'après vos connaissances :

- précisez quels sont les types de milieux que peuvent traverser les ondes P ;
- d'après les propriétés des ondes S, estimez la valeur de μ dans un liquide ;
- d'après les équations, indiquez comment varient V_P et V_S avec la masse volumique ;
- indiquez quel(s) paramètre(s) du milieu est susceptible d'impacter à la fois μ , K et ρ .

Question 11

Après avoir rappelé comment on définit une anomalie de vitesse, vous interprétez rigoureusement la tomographie de la figure 11 en raisonnant à partir de la formule de la vitesse des ondes P.



2.2 Propriétés de la dorsale Nord Océan Indien

L'Océan Indien est parcouru par trois dorsales, en contact au niveau d'un point triple. On s'intéresse ici à la branche la plus au Nord de l'Océan Indien.

Question 12

La carte 9 montre des enregistrements de vitesse de déplacement de différentes stations GPS.

- Les déplacements enregistrés par les stations à l'ouest de la dorsale (REUN, ABPO) et ceux enregistrés à l'est (DGAV, HYDE) sont-ils compatibles avec une dorsale ? Justifiez en comparant les déplacements de deux stations GPS que vous choisirez.
- Décrivez le mouvement actuel de la dorsale.

Question 13

La figure 13 montre des tomographies sismiques horizontales (i.e. dans un plan parallèle à la surface) au niveau de la dorsale et de l'arc de la Sonde. À partir d'arguments tirés de cette figure et de vos connaissances :

- montrez qu'un modèle de convection du manteau en grandes cellules de convection fermées (type « casserole », voir figure 12) n'explique pas l'ouverture de l'Océan Indien ;
- proposez un modèle convectif alternatif à l'ouverture de l'Océan Indien, en indiquant les sources de chaleur et le moteur de ce modèle ;

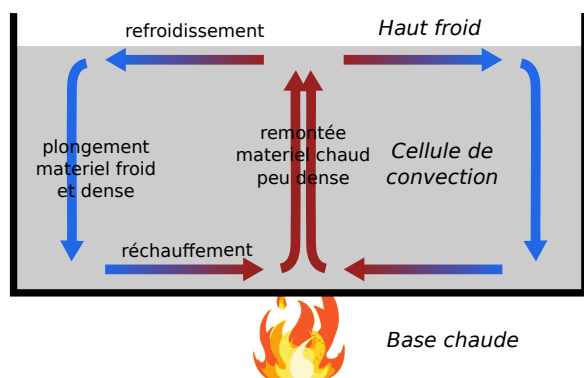


FIGURE 12 - Modèle de convection de type « casserole d'eau »

Le réchauffement par la base et le refroidissement par le haut de l'eau dans une casserole provoque la mise en place de cellules de convection fermées.

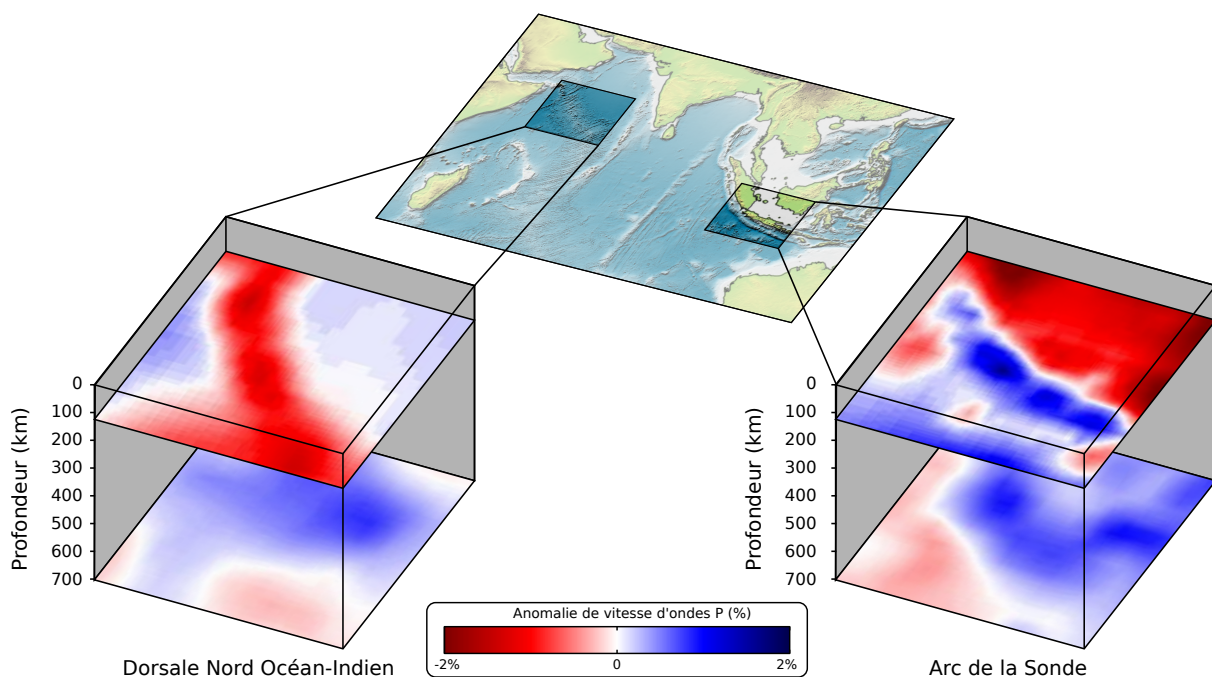


FIGURE 13 - Tomographies sismiques horizontales d'ondes P dans deux zones de l'océan indien

Pour les deux zones, les tomographies horizontales sont proposées pour une profondeur de 125 km et 700 km.
Données de tomographie : modèle LLNL-G3Dv3 (Simmons et al. (2012) [5])

2.3 Alignements d'îles dans l'Océan Indien

À l'intérieur de l'arc de la Sonde, se trouvent environ 120 volcans actifs, répartis le long d'un alignement d'environ 4000 km de long pour une centaine de kilomètres de largeur (voir figure 10).

Question 14

Expliquez succinctement (10 lignes maximum) la géométrie de cet alignement de volcans ainsi que le mode de genèse des magmas et précisez à quelle série magmatique appartiennent les produits de ces volcans.

La carte en figure 10 montre la position de grands plateaux océaniques et de monts sous marins présents dans l'Océan Indien. L'âge de la lithosphère océanique ainsi que l'âge de différents monts sous marins sont donnés. Généralement, les points chauds sont responsables d'un alignement d'îles d'âge croissant.

Dans la partie ouest de l'Océan Indien, un tel alignement apparaît des trapps du Deccan (–65 Ma) jusqu'à la Réunion (volcanisme actif actuellement). Cependant, cet alignement n'est pas continu et on cherche à en identifier la cause.

Par ailleurs, le fonctionnement d'une dorsale explique généralement les symétries d'âge de la lithosphère océanique, des marges passives ou de la topographie sous-marine : ainsi on peut raisonnablement supposer que les Seychelles et les Trapps du Deccan étaient accolés il y a 65 Ma, ou encore Chagos et le plateau compris entre SM-1 et ODP-706 il y a 40 Ma.

Question 15

- Déduisez en les positions relatives du point chaud et la dorsale à trois moments : il y a 65 Ma, il y a 40 Ma et il y a 8 Ma. Vous répondrez soit sous forme de schémas, soit sous forme d'un court paragraphe.
- Proposez une hypothèse au changement des positions relatives.

Thème 3 – Synthèse : origine des différents types de volcanisme dans l'Océan Indien

Question 16

À partir de vos connaissances et de l'ensemble de vos conclusions, vous réaliserez sur le profil topographique fourni sur l'annexe au format A3, un schéma expliquant la dynamique de la lithosphère océanique dans l'Océan Indien ainsi que la diversité des processus magmatiques impliqués. Votre schéma devra respecter au premier ordre l'échelle verticale fournie et remplacera :

- les mouvements absolus des plaques impliquées,
- les mouvements relatifs aux frontières de plaques,
- les limites des compartiments importants,
- tout élément, tiré de l'analyse des documents ou de vos connaissances, permettant d'expliquer la diversité du magmatisme dans l'Océan Indien,
- les croûtes sont attendues, mais aucun détail de leur structure n'est exigé.

FIN DU SUJET