

Devoir surveillé n°4

Samedi 15 janvier 2022

Épreuve d'analyse de documents de géologie et biogéosciences

durée : 2 heures

Thème 1 – L'Océan Indien

durée conseillée : 1 heure

(tiré des sujets Agro-Véto 2021 et 2017 et IESO 2013)

Partie A – Tectonique globale

Cette partie 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 (figures 1 et 2 en fin de sujet).

1) Caractéristiques de l'Arc de la Sonde

Question 1 - Indiquez à quel contexte géologique correspond l'arc de la Sonde. Vous argumenterez à partir d'observations exclusivement tirées des cartes 1 et 2, en un paragraphe de 10 lignes maximum, sans schéma.

La figure 3 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 :

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

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

Question 2 - 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 .

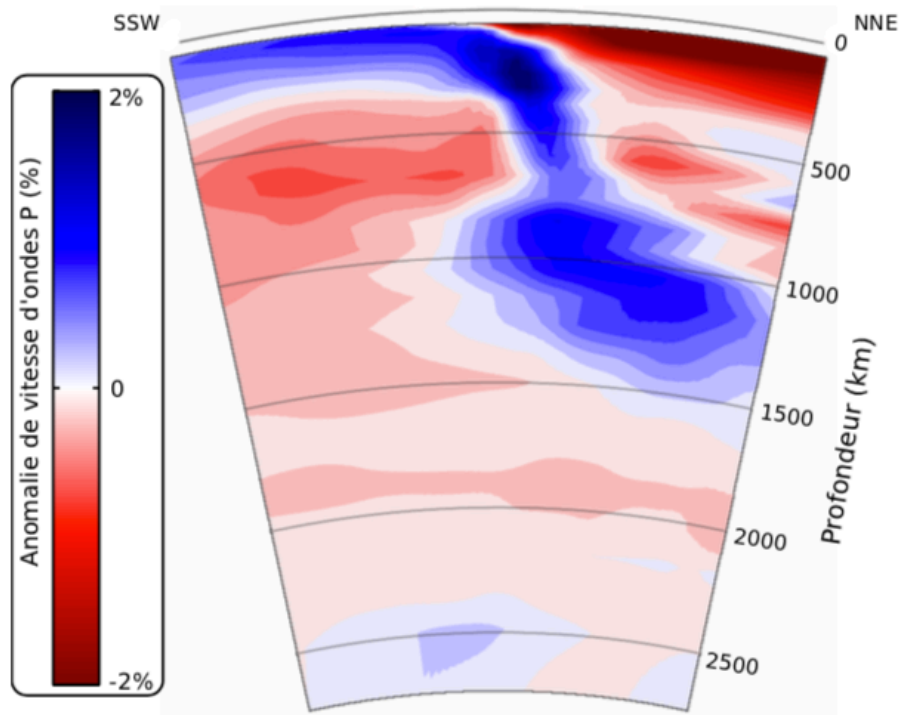


Figure 3 – Tomographie sismique d'ondes P au niveau de l'arc de la Sonde

Le profil est repositionné sur la figure 1.

Données de tomographie : modèle GAP-P4 (JAMSTEC Obayashi et al. (2011))

Question 3 - Après avoir rappelé la définition d'une anomalie de vitesse, vous interprétez rigoureusement la tomographie de la figure 3 en raisonnant à partir de la formule de vitesse des ondes P.

2) Propriétés de la dorsale Nord de l'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 4 - La carte 1 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.

La figure 5 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.

Question 5 - 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 4) 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 ;

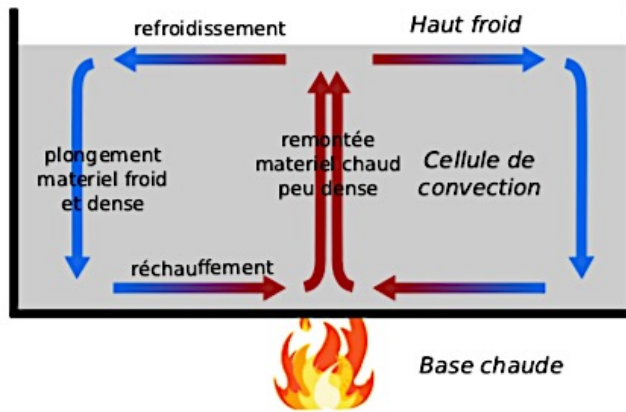


Figure 4 - Modèle de convection de type « casserole d'eau »

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.

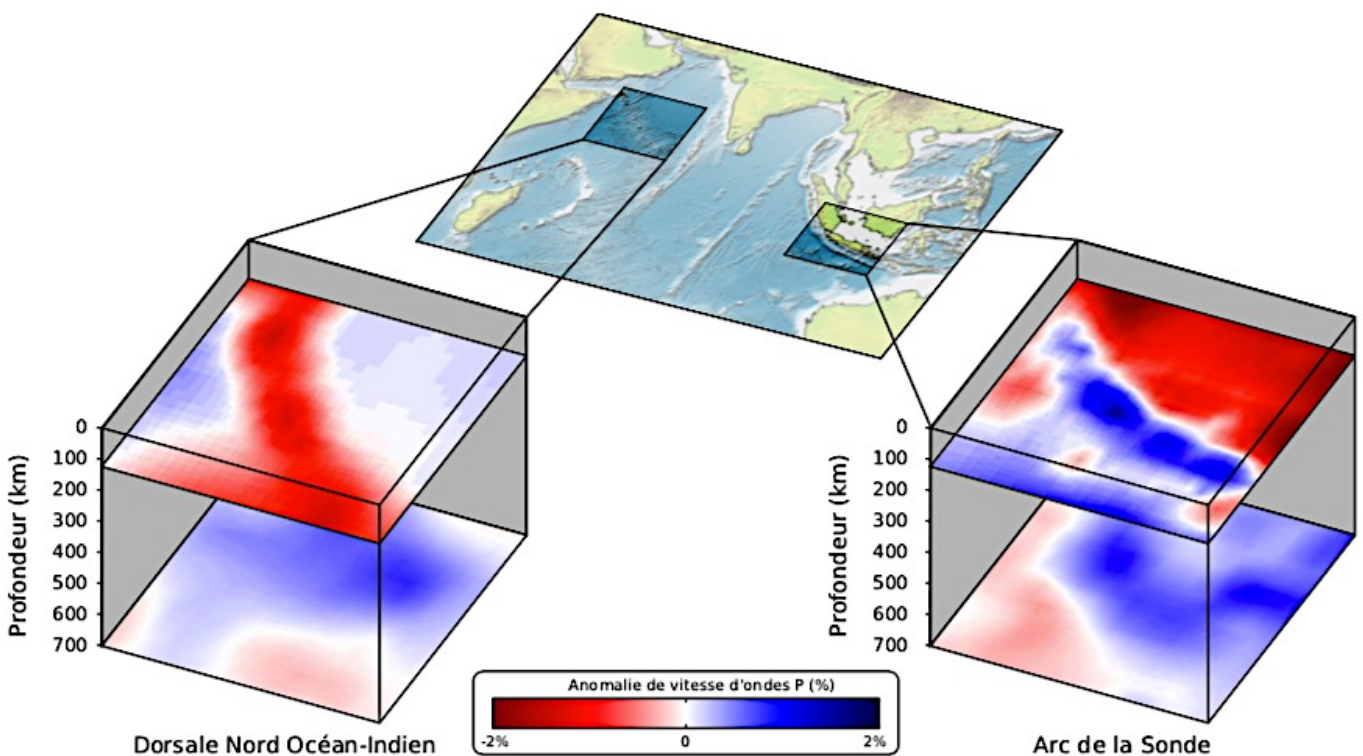


Figure 5 - Tomographies sismiques horizontales d'ondes P dans deux zones de l'océan indien

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))

Partie B – Géodynamique externe

1) Climat et pluviométrie en Inde

La présence du relief de la chaîne himalayenne a des effets sur la dynamique atmosphérique et entraîne la mise en place du régime de mousson (vents violents associés à des pluies intenses).

Question 6 - Tracez le plus précisément possible, dans les rectangles rouges des cartes du document 6 (page à intégrer dans la copie), le trajet des vents de surface au niveau de l'Inde. Vous justifierez votre tracé. Déduisez-en la période de l'année à laquelle doit avoir lieu la mousson humide en Inde.

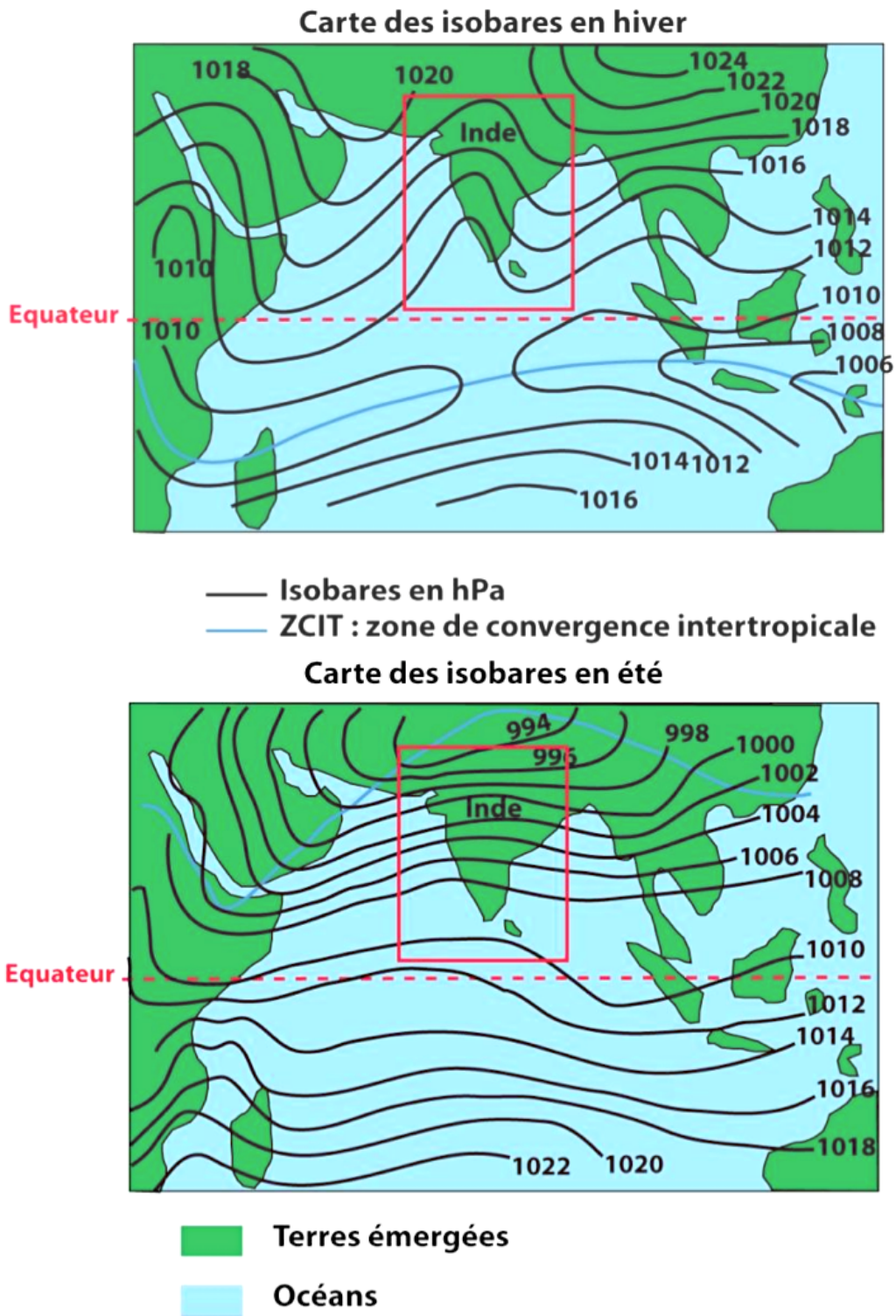


Figure 6 - Cartes des pressions atmosphériques en janvier et en août au niveau de l'océan indien.
 (source : Sciences de la Terre et de l'Univers ; page à intégrer dans la copie).

Question 7 - En utilisant les cartes des figures 7 et 8, expliquez la pluviométrie observée sur la façade ouest de l'Inde. Vous intégrerez un schéma à votre réponse.

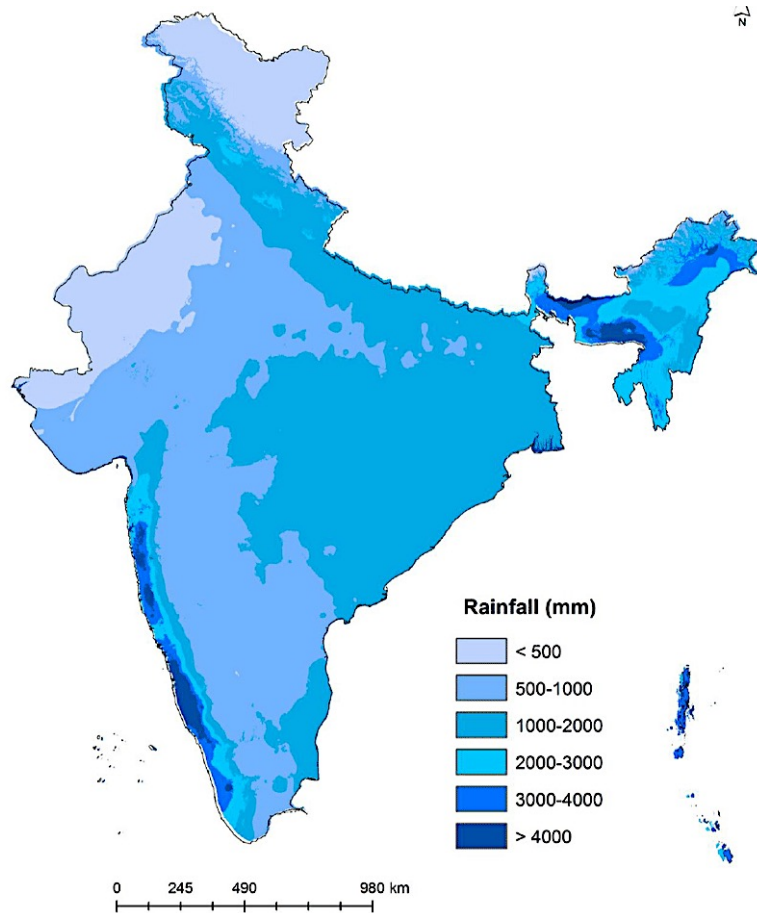


Figure 7 - Carte des précipitations annuelles en Inde (Source : S. Reddy, Environmental Monitoring and Assessment, 2015)

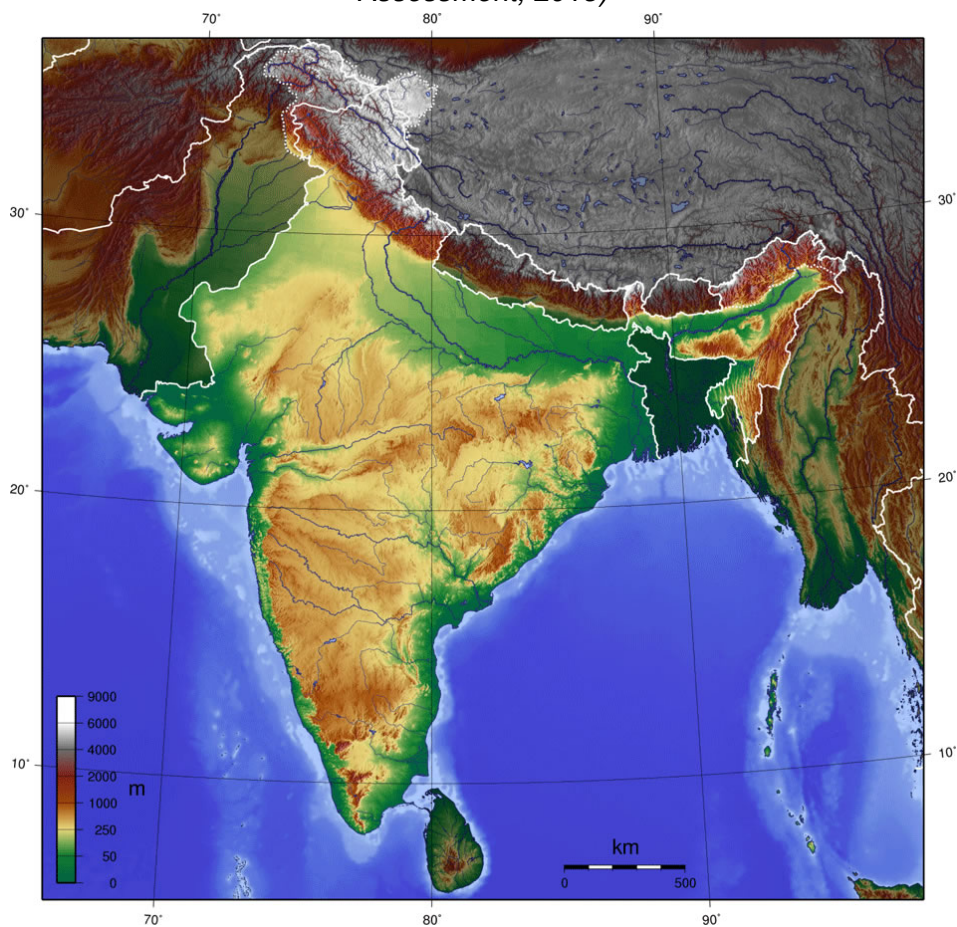


Figure 8 - Carte topographique de l'Inde (Source : maps-of-india.com)

2) Salinité de l'Océan Indien

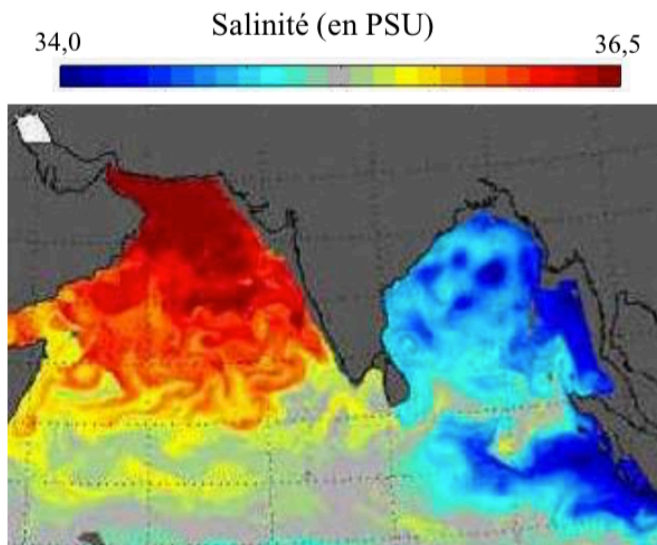


Figure 9

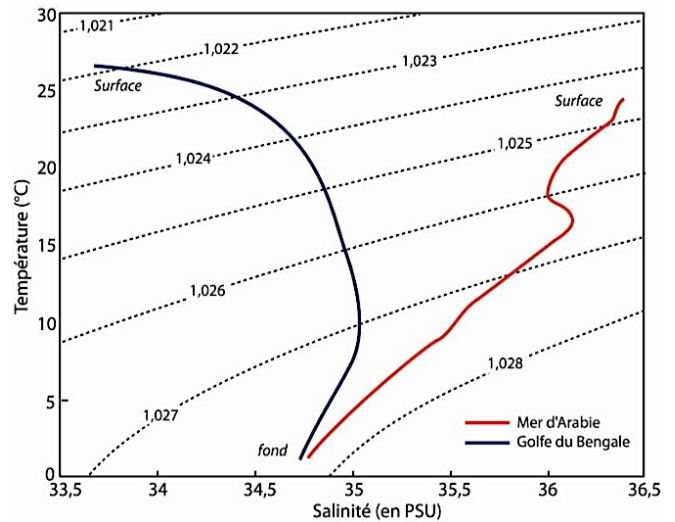


Figure 10

Figure 9 - Prédiction de salinité à 100 m du modèle Mercator-Océan le 29 avril 2008.

Figure 10 - Profils moyens des eaux de la mer d'Arabie et du Golfe du Bengale sur le diagramme température – salinité. Les droites en pointillés joignent les points de même densité.

Question 8 - Comparez la salinité de l'Océan Indien entre la mer d'Arabie et le Golfe du Bengale.

Afin d'expliquer ces différences, deux séries de mesures sont données.

Série 1 – pression et température

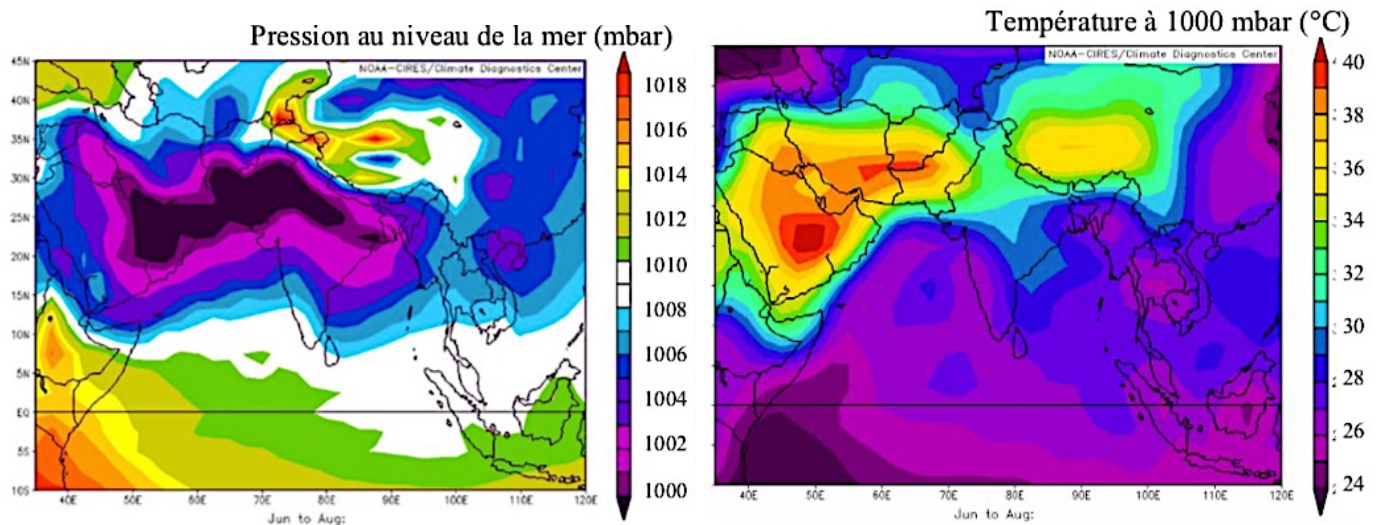


Figure 11 : Température et pression estivales (moyenne de juin à août) au niveau de la mer Moyennes sur 30 ans (source : NOAA).

Question 9 - Expliquez les données de pression relevées dans la Mer d'Arabie.

Série 2 - hydrologie



Figure 12 - Réseau hydrographique de l'Inde (Source : IESO 2013)

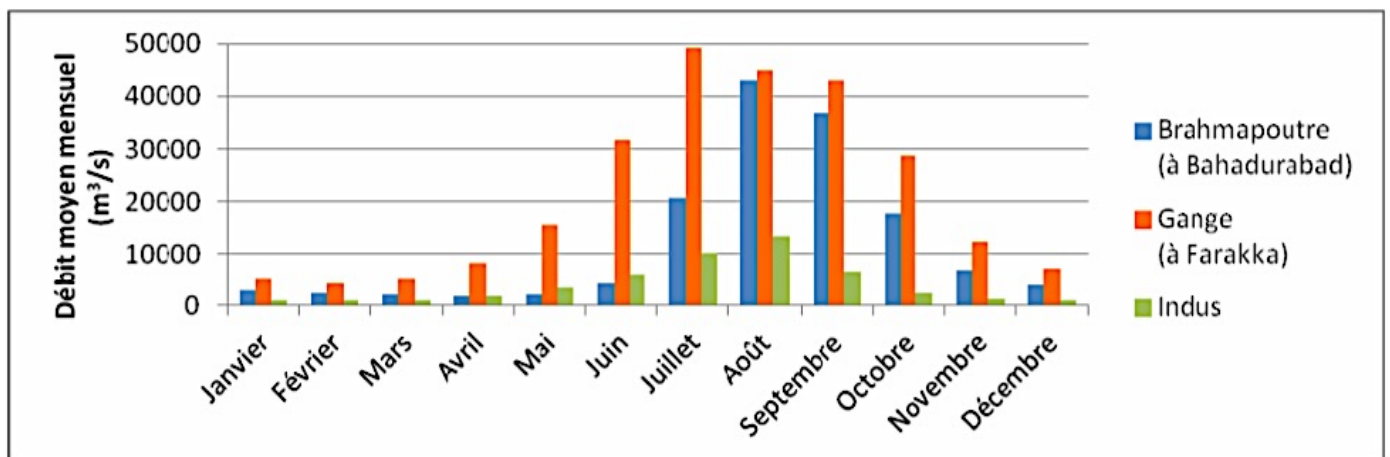


Figure 13 - Débits moyens mensuels des grands fleuves indiens.

Question 10 – En utilisant les données des séries 1 et 2 et les réponses aux questions précédentes, proposez trois explications à la différence de salinité entre la mer d'Arabie et le Golfe du Bengale.

Thème 2 – Les courants de l'ouest brésilien

durée conseillée : 15 minutes

(tiré de Castelao et Barth, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 2006)

Question 1 - Expliquez l'origine et la direction du courant équatorial Sud visible sur la carte de la figure 1.

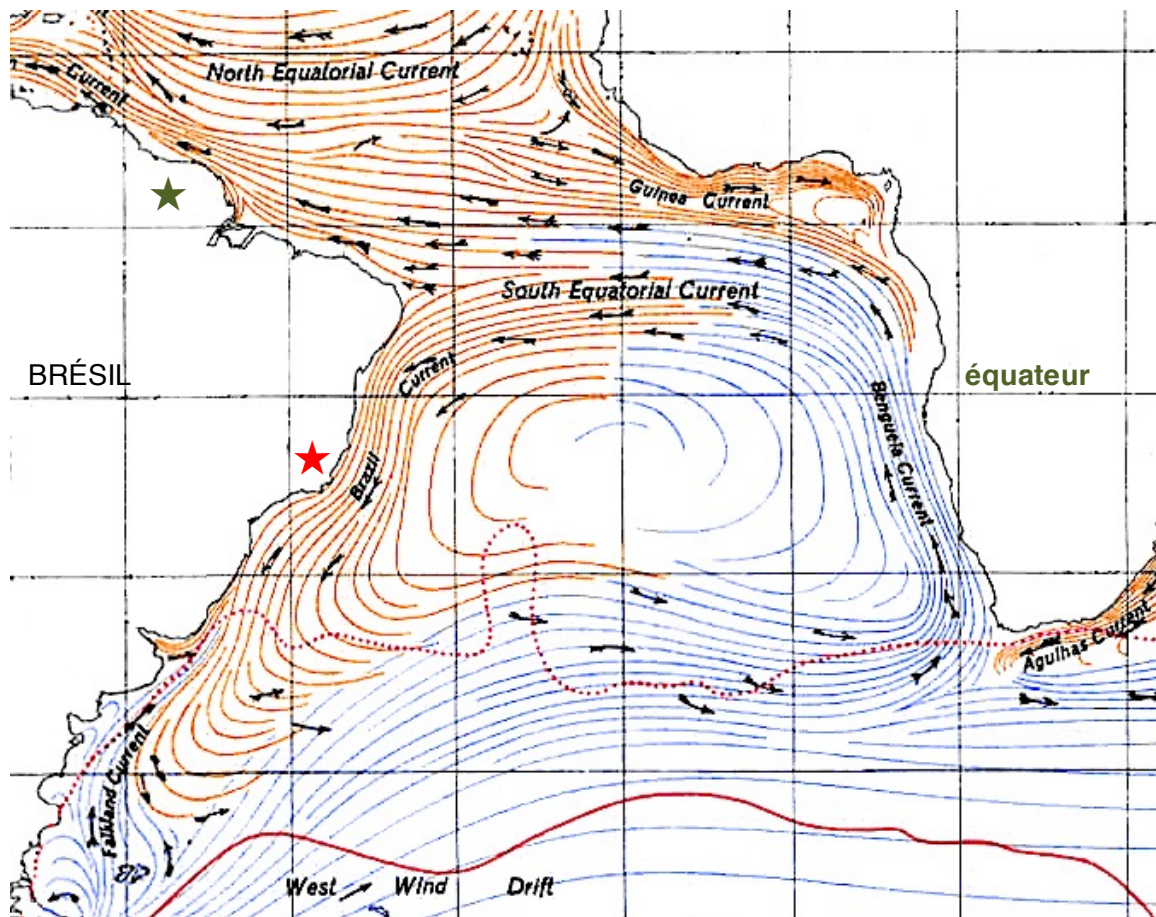


Figure 1 – Carte des courants de surface des Océans Atlantiques et Antarctiques (Source : Ocean Currents and Sea Ice from Atlas of World Maps, US Army Service Forces Manual, 1943)

Le courant équatorial Sud se scinde en 2 courants côtiers au niveau du Brésil. La côte Sud étudiée ci-après est dans la région de l'étoile rouge. La question 3 porte sur la côte Nord, au niveau de l'étoile verte.

Question 2 – Nommez, décrivez puis expliquez sous la forme d'un schéma le phénomène observé au niveau de Cabo Frio et présenté dans les figures 2 et 3.

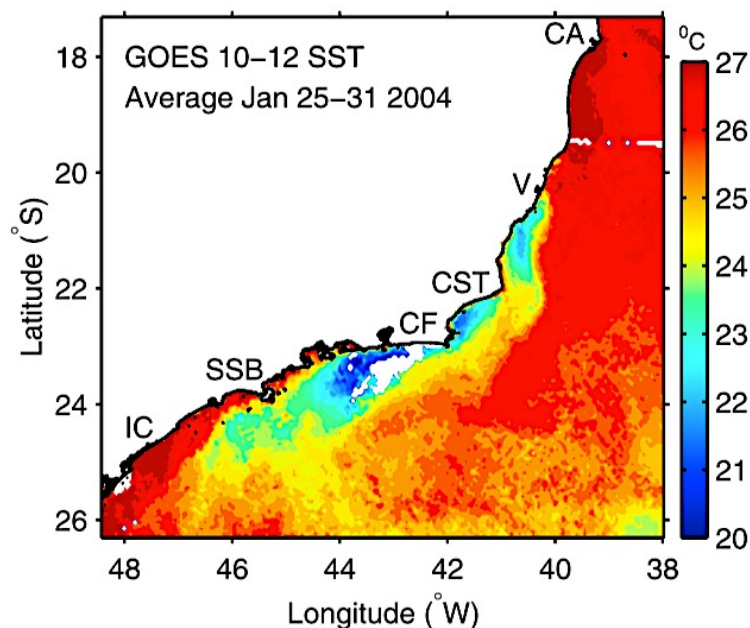


Figure 2 – Température de l'eau de surface mesurée par altimétrie satellitaire pendant 7 jours de janvier 2004 (été austral) – IC = Ilha Comprida – SSB = São Sebastião Island – CF = Cabo Frio – CST = Cabo de São Tomé – V = Vitória et CA = Caravelas

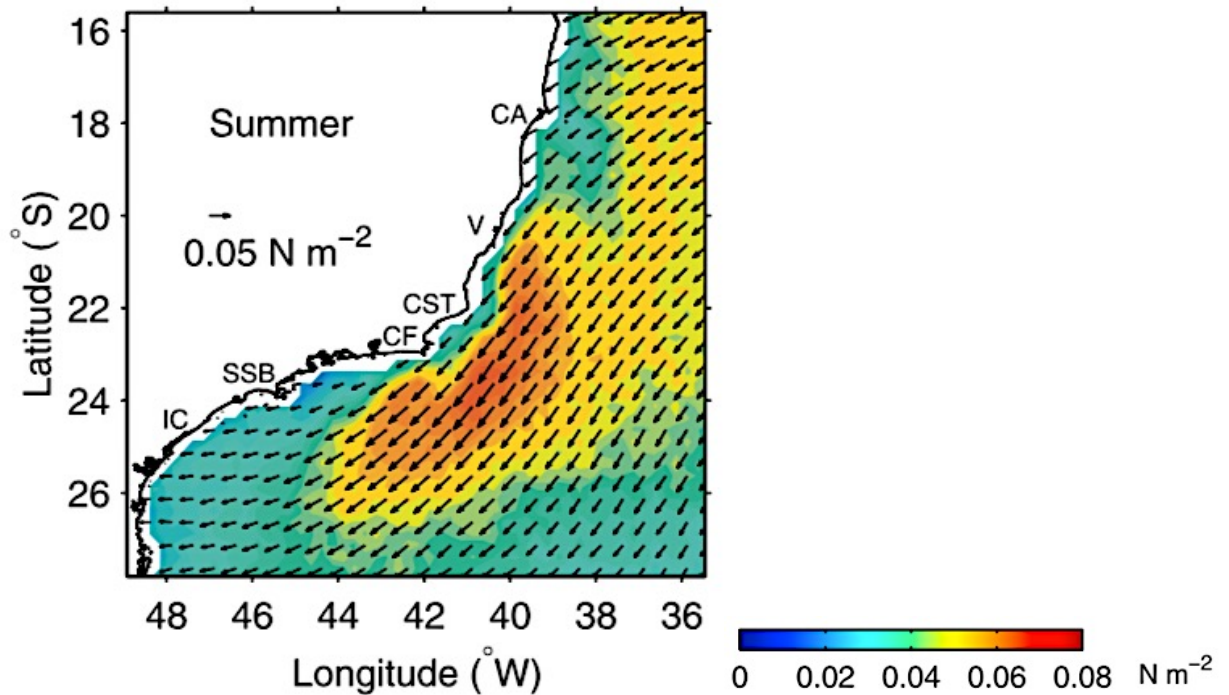


Figure 3 – Direction et force du vent lors de l'été austral.

Question 3 – Par analogie, indiquez le type de phénomène qui a lieu sur la côte Nord du Brésil (région de l'étoile verte sur la carte de la figure 1).

Thème 3 – Fossiles et datation

durée conseillée : 15 minutes
Source : IESO 2011

Les fossiles sont des traces de vie riches en informations pour les géologues. Appliquons leur utilisation à deux cas.

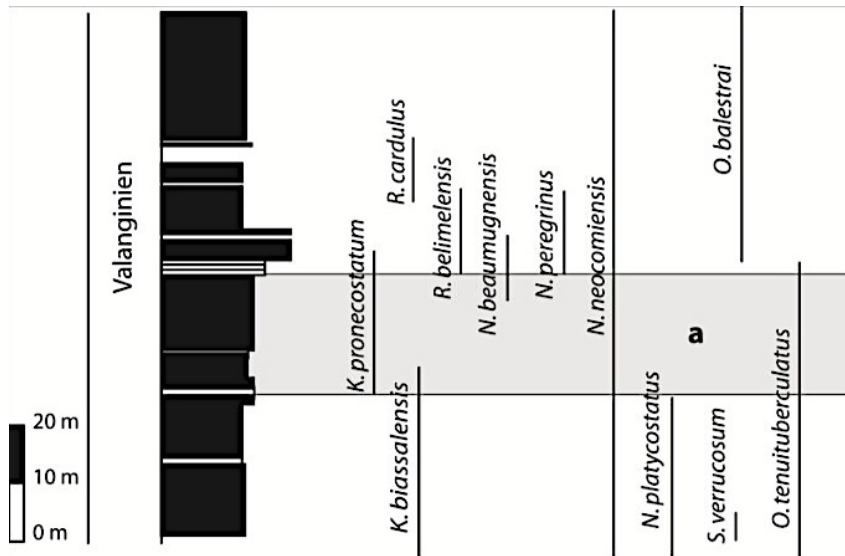
Cas 1 : une biozone de Drôme et de Provence

On a étudié la répartition des espèces d'ammonites dans des formations du Crétacé inférieur (Valanginien) correspondant à la « fosse vocontienne » (un domaine marin assez profond qui occupait une partie de la Drôme) et à la plate-forme provençale (domaine peu profond qui bordait la fosse). Ces deux domaines sont représentés par les séries d'Angles et de Carajuan, respectivement.

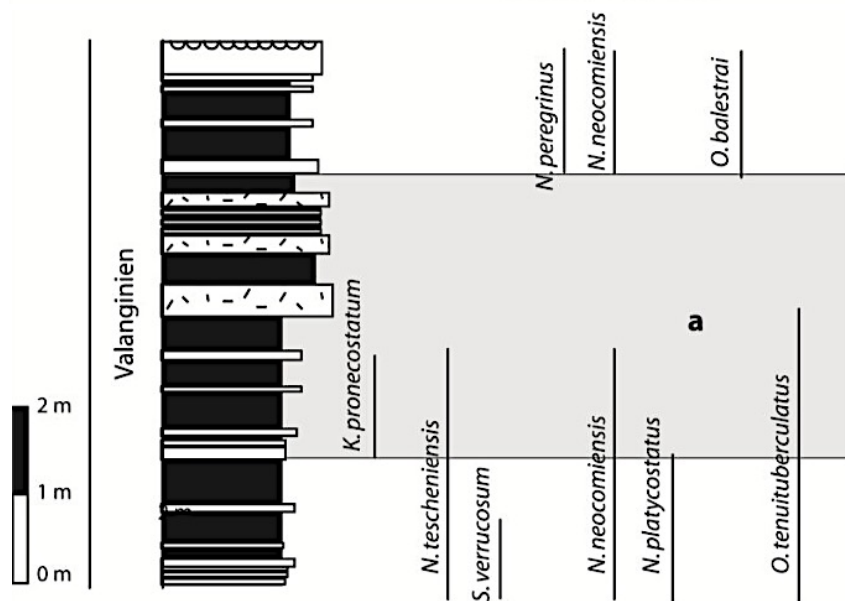
Question 1 – Listez les caractéristiques des fossiles stratigraphiques.

Question 2 - En étudiant ces deux séries, indiquez le meilleur fossile stratigraphique. Justifiez votre choix.

Question 3 - Indiquez la meilleure façon de définir la biozone notée « a ».



SERIE D'ANGLES



SERIE DE CARAJUAN

Cas 2 – Affleurement de Turquie

La coupe idéalisée en figure 2 correspond à une situation rencontrée à l'Ouest des monts du Taurus, en Turquie. Les fossiles trouvés sur place sont montrés en figure 1.



Fossile I (taille : 11 mm)



Fossile II (taille : 5 cm)



Fossile III (taille : 15 cm)

Figure 1 – Fossiles trouvés dans les Monts Taurus (Turquie)

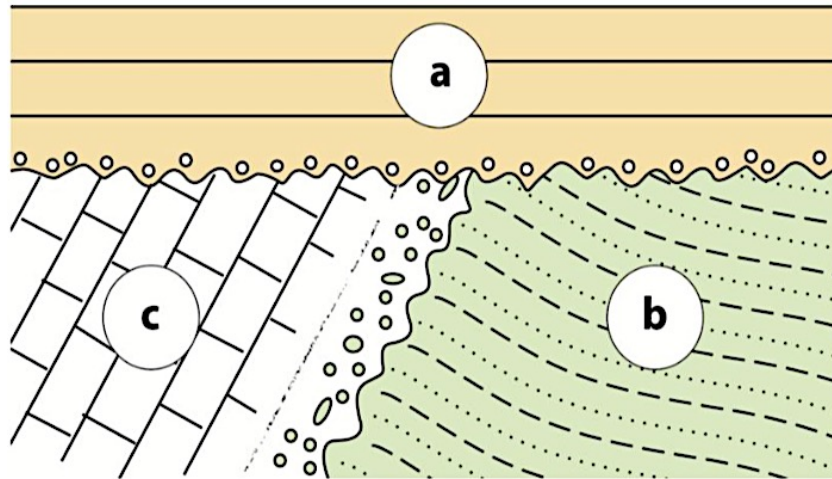


Figure 2 – Schéma de l'affleurement turc

Question 4 – Identifiez les 3 fossiles de la figure 1. Précisez le nom de leur ère d'existence.

Question 5 – Associez chaque fossile à l'ensemble a, b ou c de l'affleurement.

Thème 4 – Gravimétrie et isostasie au Tibet

durée conseillée : 30 minutes

Source : Zhao et al, *Geochemistry Geophysics Geosystems* · January 2020

Le plateau tibétain fait partie de la grande chaîne himalayenne. Des études gravimétriques ont été réalisées à l'aide de satellites. Le secteur pointé par l'étoile jaune sur la figure 1 sera la zone d'étude.

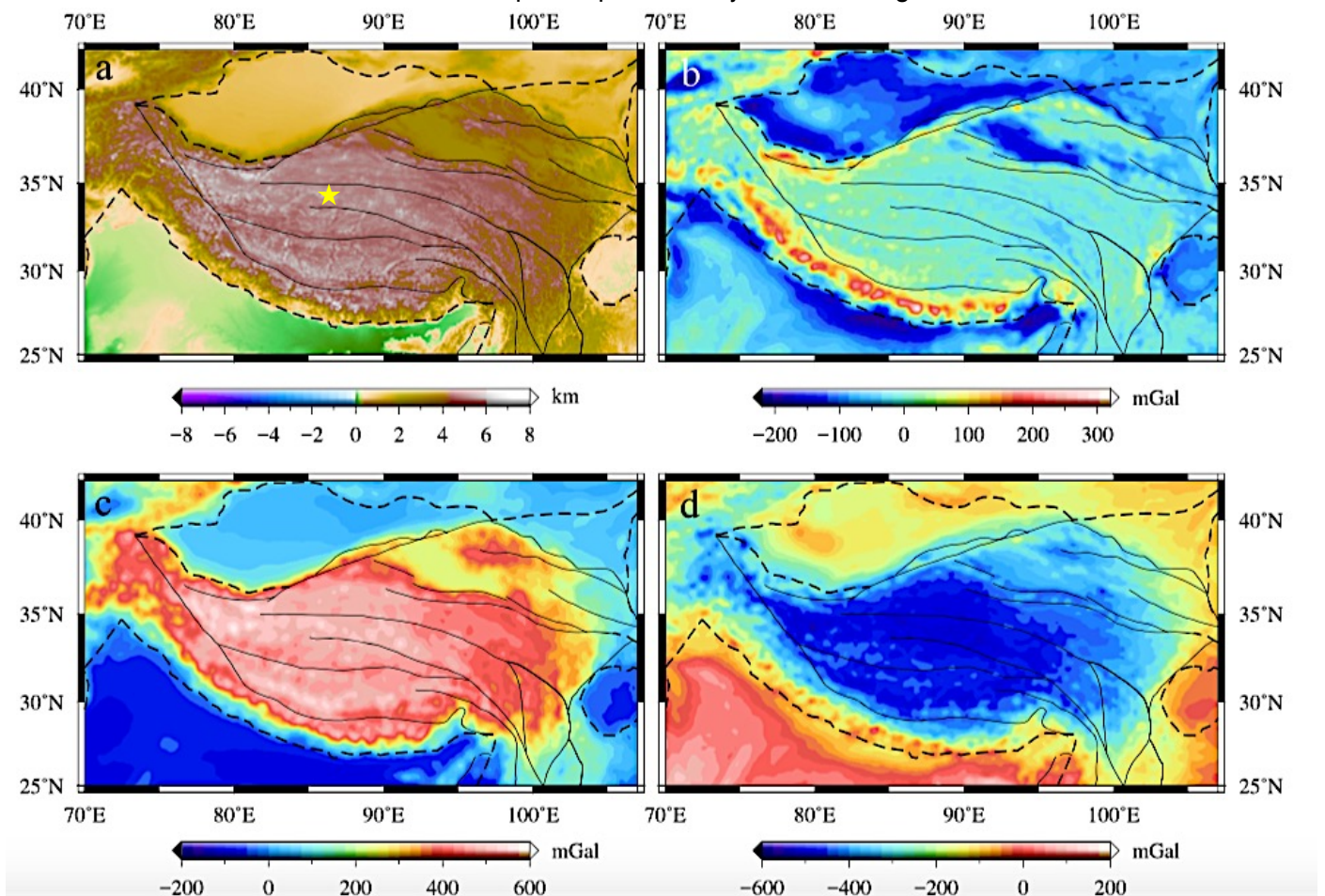


Figure 1. (a) Topographie du plateau tibétain ; (b) anomalie à l'air libre ; (c) correction de Bouguer ; (d) anomalie de Bouguer.

Sachant que le Tibet est à une latitude de 35°N , il est possible de calculer la valeur de g théorique en employant la formule : $g = 9,78031846 \times [1 + 0,0053024 \cdot \sin^2\theta - 0,0000058 \cdot \sin^2(2\theta)]$ avec $\theta =$ latitude
Ceci donne une valeur de g théorique (g_t) de $9,797329511 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ soit environ $g_t = 979\,733 \text{ mgal}$.
Des mesures de la valeur de g à l'altitude $5\,000 \text{ m}$, donnent la valeur mesurée de $g_m = 978\,218 \text{ mgal}$.

Données :

Correction à l'air libre	$\Delta g_{\text{air}} = 0,3086 \times h$ en mgal, avec h altitude en m
Correction de plateau	$\Delta g_{\text{plateau}} = 0,04 \cdot d \cdot h$ pour la correction de plateau en mgal avec $d =$ densité de la roche ($2,7$ pour la croûte) et h l'altitude en m.

Question 1 – Calculez approximativement la correction à l'air libre au niveau du plateau tibétain.

Question 2 – Rappelez la définition d'une anomalie en géophysique. Calculez l'anomalie à l'air libre. La valeur obtenue est-elle compatible avec la carte de la figure 1b ?

Question 3 – Calculez la correction topographique au lieu d'étude.

Question 4 – Calculez l'anomalie de Bouguer et la comparer à la valeur de la carte 1d.

Question 5 – Interprétez la valeur obtenue pour l'anomalie de Bouguer.

Question 6 – Calculez l'épaisseur de la croûte au niveau du plateau tibétain, à une altitude de $5\,000 \text{ m}$. Vous préciserez l'hypothèse et le modèle choisis. Un schéma est attendu.

Données : densité des roches crustales = 2,7 et densité du manteau = 3,2

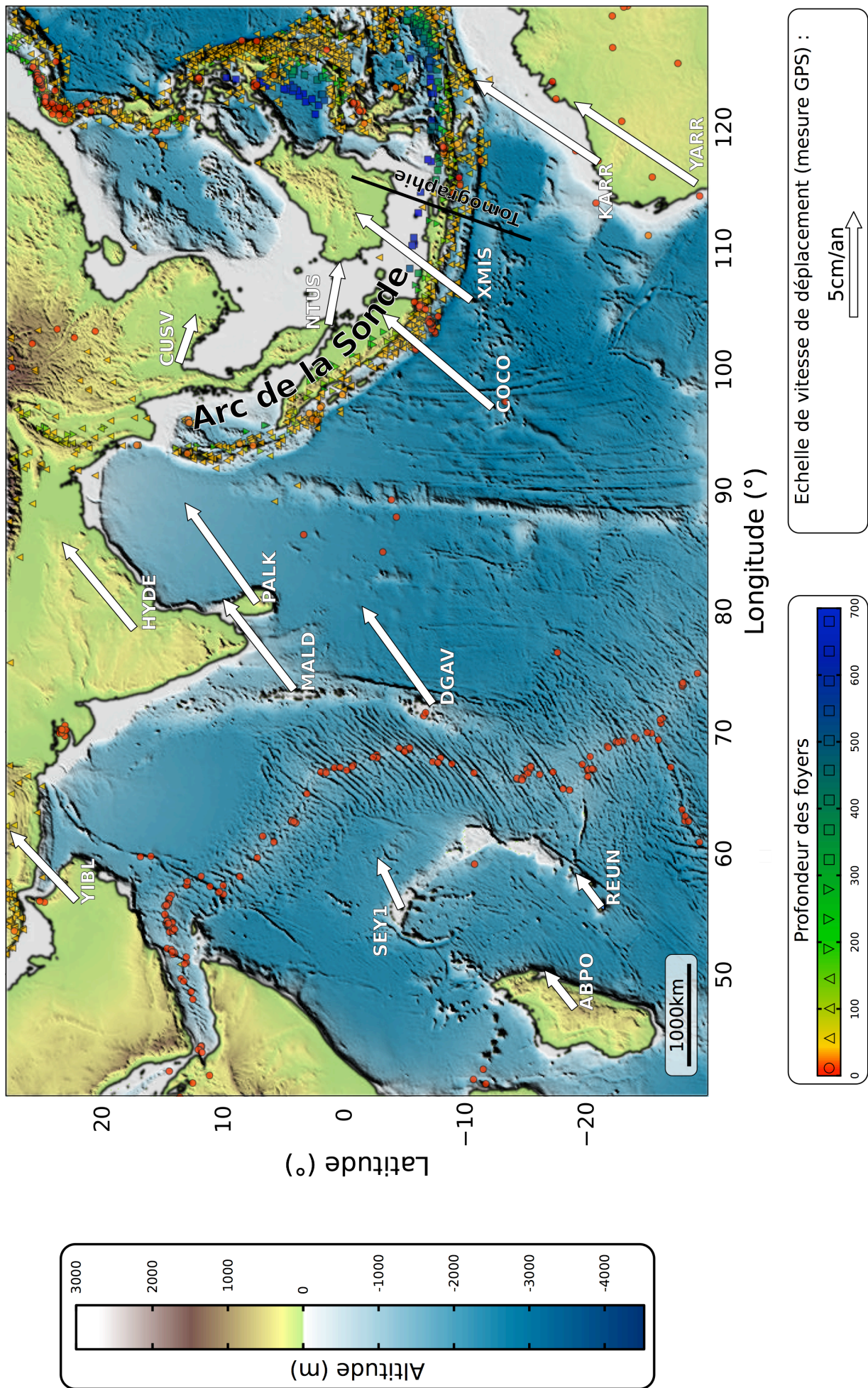


Figure 1 – Topographie et bathymétrie dans l’Océan Indien, répartition de la sismicité et vitesse moyenne de quelques stations GPS (NASA, USGS).

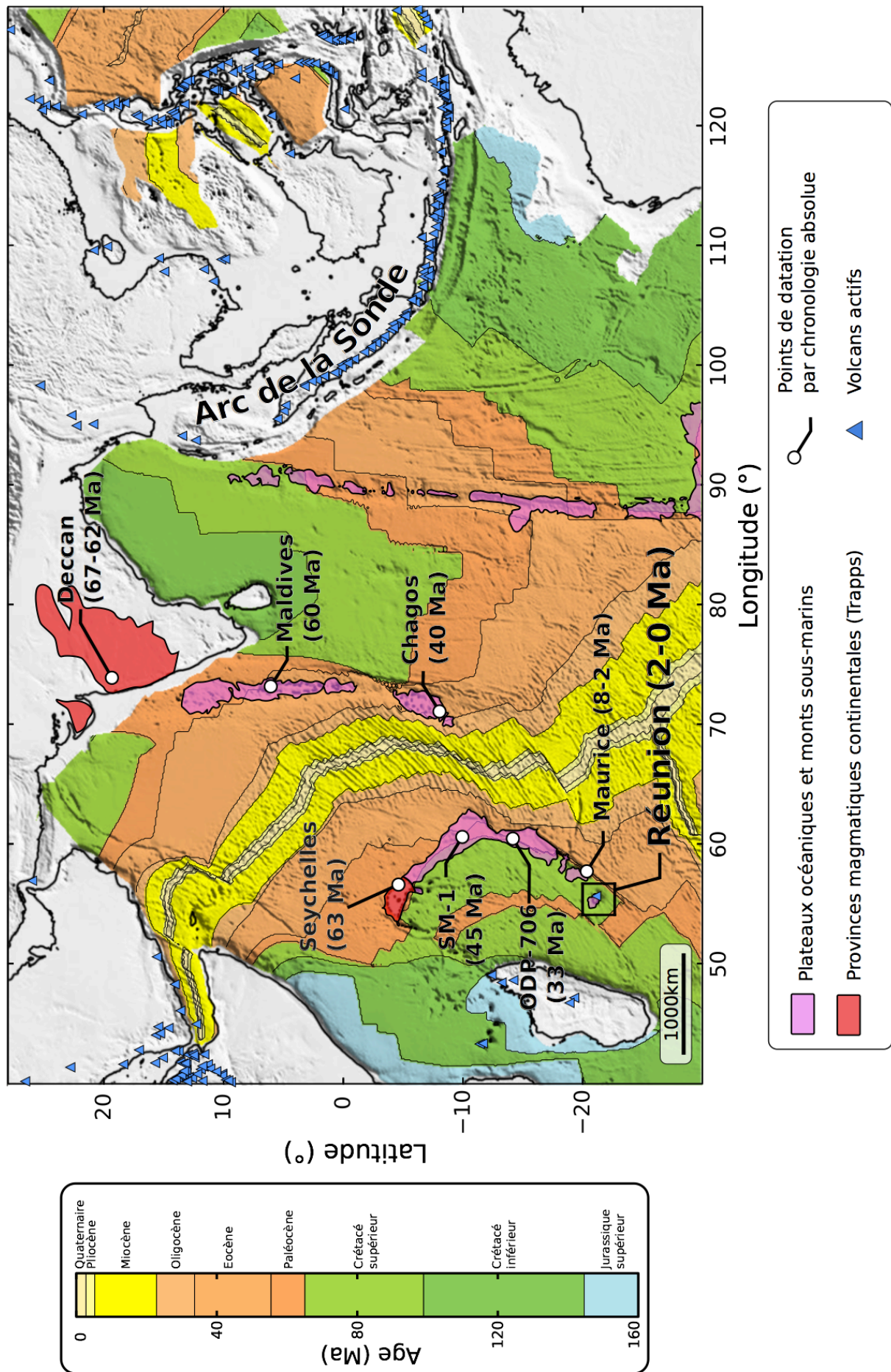


Figure 2 – Âge de différents objets de l’Océan Indien.

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).