

CONCOURS G2E

GÉOLOGIE

Durée : 3 heures

Les calculatrices programmables et alphanumériques sont autorisées. Les téléphones portables et autres "smartphones" doivent être éteints au cours de l'épreuve et ne doivent en aucun cas être utilisés même à titre de montre.

L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est strictement interdit.

Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il en fait mention dans sa copie et poursuit sa composition. Dans ce cas, il indique clairement la raison des initiatives qu'il est amené à prendre.

Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question posée. Pour chaque réponse, on demande un développement concis et explicite ; ceci, afin de pouvoir répondre à l'ensemble des questions du sujet.

La rédaction se fera uniquement à l'encre bleue ou noire et l'utilisation du blanc correcteur est interdite. Une grande attention sera apportée à la clarté de la rédaction et à la présentation des différents schémas.

Attention ! Les figures 2, 13, 14 et 15 en annexe, sont à rendre avec votre copie, sans découpage ni collage.

Vingt mille lieues sous les mers !

["La mer est le vaste réservoir de la nature. C'est par la mer que le globe a pour ainsi dire commencé, et qui sait s'il ne finira pas par elle ! ..."] (Jules Verne, 1870).]

Le développement technologique de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle a permis de déterminer le rôle fondamental de l'accrétion océanique dans le fonctionnement de la tectonique des plaques. Dans les océans, les techniques employées ont été le plus souvent indirectes : cartographie de la bathymétrie par sonars, sismologie, magnétisme et gravimétrie. Des données très localisées, obtenues par forages et dragages, et des observations *in situ* ont permis de reconstituer la nature de la croûte océanique et du manteau sous-jacent. Des modèles d'accrétion océanique ont été proposés en se basant sur l'étude des roches océaniques et de leurs équivalents possibles sur terre que sont les complexes ophiolitiques.

De nos jours, les observations océanographiques mettent en évidence une diversité constitutionnelle de la croûte océanique en liaison avec le site géotectonique et/ou la vitesse d'expansion, ce qui a induit une pluralité de modèles d'expansion océanique. Par ailleurs, les émissions hydrothermales, qui ont pu être filmées *in situ* à proximité immédiate des dorsales, ont révélé la formation de concentrations métallifères, sources potentielles de métaux à l'avenir.

Enfin, le mouvement des plaques océaniques n'est pas sans créer des aléas naturels susceptibles de causer des dommages importants dans des zones fortement peuplées, en bordure des continents et dans les îles intra-océaniques.

1. TECTONIQUE DES PLAQUES DANS L'OCÉAN INDIEN (5,5 POINTS).

La carte géologique de l'océan Indien est reportée sur la figure 1.

1.1. Dessinez sur la figure 2 (à rendre) les principales frontières de plaques visibles à partir de la figure 1, dont on reportera les caractéristiques essentielles dans un tableau.

1.2. A quel type de structure géologique correspond la zone entourée d'un cercle sur la figure 1 ?

1.3. Dans la partie occidentale de l'océan Indien, il existe de nombreuses îles volcaniques, dont la Réunion (Fig. 1), qui sont les manifestations de l'activité de points chauds.

Résumez les caractéristiques morphologiques des édifices intra-océaniques liés aux points chauds. Reportez les principaux édifices sur la figure 2 (à rendre).

1.4. Quels sont les deux principaux types de magmas généralement émis dans les points chauds ?

1.5. Comment expliquez-vous la présence des points chauds et la chronologie de mise en place des deux types de magmas observés ?

1.6. Quel est l'âge maximal du plancher océanique de l'océan Indien (Fig. 1) ?

1.7 Qu'est-ce qui empêche de trouver des croûtes océaniques anciennes dans les océans actuels ?

1.8. Décrivez le mécanisme de refroidissement de la lithosphère océanique à partir d'une dorsale.

1.9. Flottabilité de la lithosphère sur l'asthénosphère. Deux relations empiriques (1) et (2) existent entre l'épaisseur lithosphérique (e_L) et l'âge (t), pour les premiers 60 Ma :

$$(1) e_L = 9,2 (t)^{1/2}$$

$$(2) P_{(t)} = P_o + 350 (t)^{1/2}$$

$P_{(t)}$ est la profondeur sous la surface de l'océan (en mètres) du plancher océanique

P_o est la profondeur sous la surface de l'océan (en mètres) de la ride médio-océanique

t est exprimé en millions d'années

e_L est exprimée en kilomètres.

En adoptant un modèle d'équilibre, évaluez l'épaisseur et l'âge à partir desquels une lithosphère océanique ne devrait plus être portée par l'asthénosphère. On ne tient pas compte des sédiments dans la lithosphère et de la masse d'eau au-dessus du plancher océanique.

Epaisseur de la croûte océanique : $e_c = 7$ km

Masse volumique de la croûte océanique : $\rho_c = 2,80$ g.cm⁻³

Masse volumique de la lithosphère océanique : $\rho_{ML} = 3,30$ g.cm⁻³

Masse volumique de l'asthénosphère : $\rho_{MA} = 3,25$ g.cm⁻³

1.10. Comment expliquez-vous l'écart de temps entre l'âge calculé et l'âge maximal observé d'après la carte (Fig. 1) ?

1.11. Déformation de la croûte océanique à l'approche de l'arc de la Sonde, au niveau de l'île de Sumatra (Fig. 3). Décrivez les mouvements relatifs des différents blocs limités par les failles A et B.

1.12. Comment appelle-t-on l'organisation particulière des failles contemporaines approximativement N-S (noires) et NW-SE (bleues), localisées dans le domaine océanique à l'ouest de l'île de Sumatra (Fig.4).

1.13. Illustrez par un schéma le champ de contraintes local de ce jeu de failles.

1.14. Comment expliquez-vous la présence de ces failles dans la croûte océanique (cf. Fig. 1 et 3) ?

2. ALÉAS ET RISQUES (1,5 POINT).

2.1. Définissez de façon succincte la notion de risque par rapport à l'aléa.

2.2. Vous êtes ingénieur et vous avez obtenu un poste dans un observatoire qui est à équiper pour surveiller un volcan intra-plaque du type de celui de la Réunion (Fig.1). Quels sont les méthodes et les instruments que vous allez utiliser pour la surveillance du volcan ? Reportez vos informations sous forme d'une liste.

2.3. La figure 5 reporte la localisation et l'extension des avalanches de débris volcaniques autour de l'île de la Réunion. La zone d'activité la plus récente se situe au sud-est de l'île, autour du Piton de la Fournaise. Comment peuvent se former ces avalanches de débris ?

2.4. Quelle est la conséquence du déclenchement des avalanches sur la sécurité de l'île ?

2.5. La côte orientale de l'Inde est affectée régulièrement par des tsunamis (Fig. 1). Quelle peut en être l'origine ?

2.6. Est-ce que des tsunamis sont envisageables sur le pourtour Méditerranéen, et notamment en France ? Quelle en serait l'origine ?

3. LES DORSALES OCÉANIQUES (8,5 POINTS).

3.1. Une image tomographique du manteau est représentée en figure 6. Que pouvez-vous déduire des hétérogénéités tomographiques observées entre les dorsales des océans Pacifique et Indien ?

3.2. La figure 7 illustre des pseudo-coupes (profondeur-âge) dans le manteau, en fonction de la vitesse d'expansion de différentes dorsales. Comment expliquez-vous le contraste entre la coupe d'une ride rapide et celle d'une ride lente à ultra-lente ?

3.3. Caractérissez le profil topographique des rides rapide et lente (Fig. 8 a et b).

3.4. Quels sont les principaux processus magmatiques qui peuvent jouer sur la teneur en MgO des basaltes océaniques ?

3.5. Comment expliquez-vous les plus fortes variations du rapport $[Mg/(Mg+Fe)]$ enregistrées au niveau de la dorsale rapide de l'océan Pacifique, comparées à celles, plus lentes, des océans Atlantique et Indien (Fig. 8c).

3.6. La ride sud-est indienne (Fig. 9), qui est une ride lente, montre des segments où les volumes d'émissions basaltiques sont distincts (Fig. 10). Toutefois, dans la zone occidentale de la dorsale (Fig. 9a), les accidents transverses sont voisins de ceux couramment observés dans les rides rapides. Caractérissez à partir de la carte bathymétrique, la structure de ces accidents transverses occidentaux par rapport à la structure des accidents orientaux, situés vers 108°N.

3.7. Quelle est l'origine des anomalies de Bouguer et que signifient-elles ?

3.8. Comparez la distribution des anomalies de Bouguer (Fig. 9b), avec la profondeur du plancher océanique.

3.9. Que pensez-vous de la distribution des chambres magmatiques (Fig. 9c) quant à la structuration de la croûte océanique ?

3.10. Schématisez, à main levée, les profils bathymétriques recoupant les dorsales dans les trois secteurs, A, B et C (Fig. 10a à c). Discutez de leur profil respectif par rapport à ceux des dorsales lentes ou rapides (cf. Fig. 8a et b). Que peut-on en déduire quant au rapport entre morphologie des dorsales rapide et lente et volume des émissions basaltiques associées ?

3.11. Dans l'océan Indien, à proximité des intersections dorsale - zone transformante, on peut observer des plateaux surélevés dont un exemple est visible dans l'encadré de la figure 11a. Il en va de même dans l'océan Atlantique (Fig. 11b et c). Le massif Atlantis est une structure en plateau qui offre une coupe allant du manteau, plus ou moins transformé en serpentinites, aux sédiments océaniques (Fig. 11d). Dans l'océan Indien, la structure en plateau est dépourvue de sédiments (Fig. 11a).

Décrivez les péridotites et serpentinites mylonitisées de l'océan Atlantique (Fig. 12 a et c).

3.12. Les plans structurants visibles dans les péridotites et les serpentinites (Fig. 12a et c) sont subhorizontaux. De tels plans sont observés sur les plateaux des océans Atlantique et Indien (Fig. 11a à c). Comment expliquez-vous alors les lignes subparallèles à la zone transformante, visibles sur la structure en plateau de l'océan Indien, dans l'encadré (Fig. 11a) ?

- 3.13. Décrivez les roches d à f (Fig. 12), en utilisant la terminologie appropriée, en terme de composition et de texture, puis donnez un nom précis aux roches.
- 3.14. Complétez le schéma de la figure 13 (à rendre), en remplissant le tableau : indiquez la nature des failles liées à la dorsale et à la zone transformante, ainsi que l'orientation de la contrainte principale σ_1 .
- 3.15. Indiquez, directement sur la figure, les mouvements relatifs au niveau des points A et B (Fig. 13) ?
- 3.16. Calculez la vitesse moyenne de déplacement au niveau des points A et B. Ecrivez votre réponse sur la figure 13, sous les points A et B.
- 3.17. Schématisez à partir de la coupe A-B (Fig. 11d), (i) la localisation en surface des formations hydrothermales et, (ii) leur système d'alimentation sur la figure 14 (à rendre).
- 3.18. Comment expliquez-vous la formation de péridotites et serpentinites mylonitisées dans le secteur A, au sud-ouest de la coupe, où ont été prélevés les échantillons représentés en figure 12 a et c ? Comment expliquez-vous l'attitude et l'origine du plan représenté en pointillés rouge sur la figure 11d ?
- 3.19. Etablissez la chronologie de mise en place des différentes formations observées le long de la coupe A-B (Figs 11d et 12b).

4. LES GISEMENTS HYDROTHERMAUX OCÉANIQUES (3 POINTS).

Il y a une quarantaine d'années, les premiers événements hydrothermaux (sources hydrothermales) actifs étaient découverts. On en compte aujourd'hui plus de 600 actifs le long des dorsales (80%) ou le long des arcs insulaires-bassins marginaux (20%) avec une fréquence de 0,5 à 5 événements tous les 100 km. Les forages et dragages à proximité des événements ont permis de découvrir des concentrations de sulfures massifs riches en Fe et Cu.

- 4.1. Décrire la réaction de désintégration conduisant à l'obtention de ^{87}Sr radiogénique. Expliquez, à l'aide d'un schéma, l'évolution du rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dans les roches et les minéraux avec le temps ainsi que l'obtention d'une isochrone qui sera figurée.
- 4.2. Comment expliquez-vous les valeurs élevées du rapport isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dans les filons et les gabbros (Fig. 15) ?
- 4.3. Représentez sur la Fig. 15 (à rendre) la circulation de fluides hydrothermaux dans la croûte océanique, des gabbros aux laves supérieures, à proximité d'une dorsale. Indiquez les faciès métamorphiques qui peuvent être présents (i) à proximité de la surface (laves) et (ii) en profondeur (complexe filonien et partie supérieure des gabbros). Précisez les principales caractéristiques des fluides qui ont été pu être en équilibre avec ces principaux faciès métamorphiques.
- 4.4. La minéralisation sulfurée est principalement concentrée à l'interface des filons avec les laves. Comment l'expliquez-vous ?
- 4.5. Que remarquez-vous quant à la présence des sites hydrothermaux par rapport au taux d'expansion océanique (Fig. 16). Comment expliquez-vous la répartition des sites hydrothermaux entre les océans de type Atlantique ou Indien, et de type Pacifique (cf. Figs 6 et 7) ?

5. SYNTHÈSE (1,5 POINT).

Schématisez une section transverse (i) d'une dorsale rapide et (ii) d'une dorsale lente jusqu'au manteau sommital. Précisez, sur les deux schémas, les caractéristiques de ces deux types de dorsales en fonctionnement quant à la nature et structuration de la croûte océanique produite et à celle du manteau sous-jacent (en vous aidant des figures 6, 7, 8, 11 et 15).

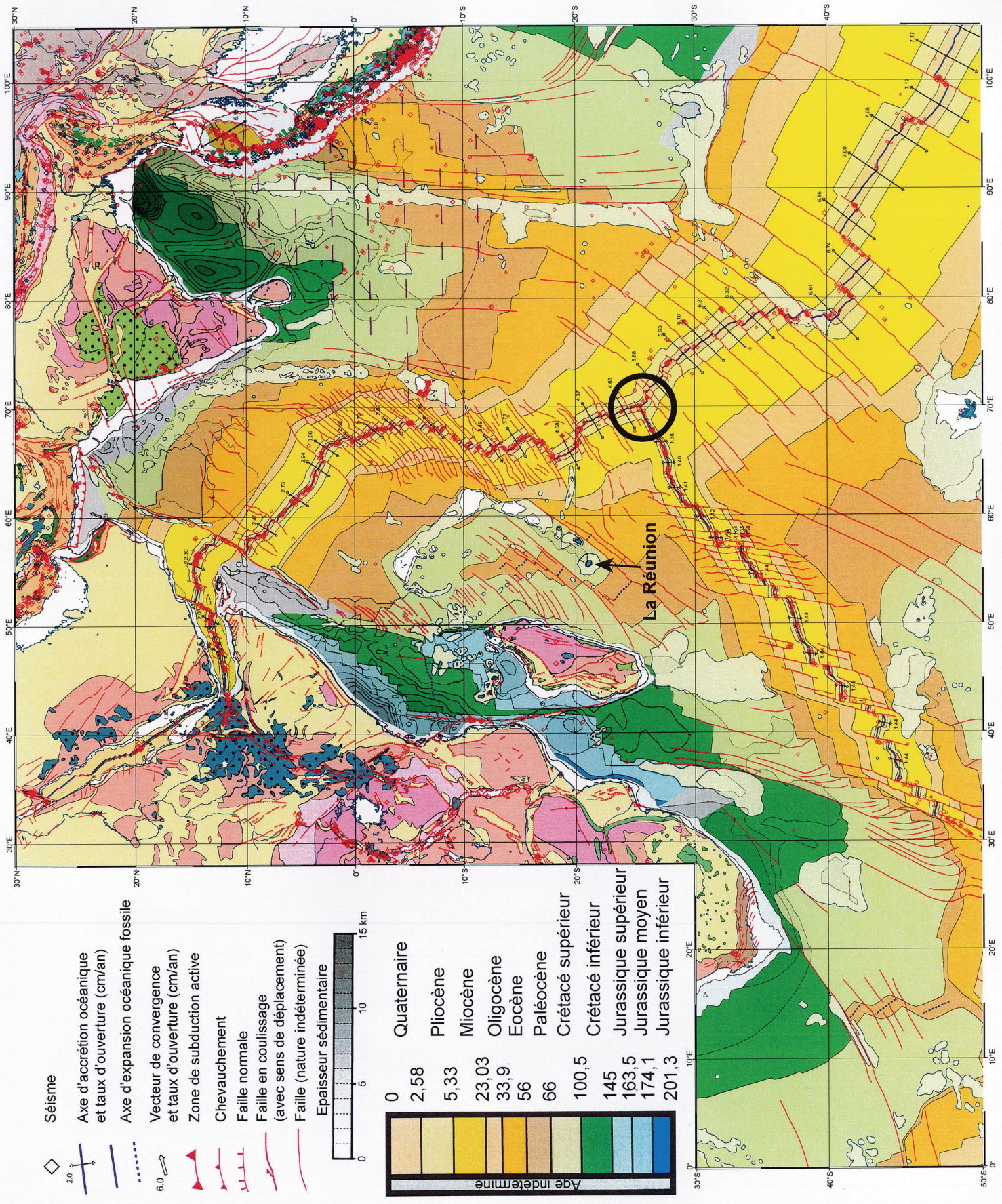


Figure 1. Carte géologique de l'océan Indien.

Les losanges, de couleur et de taille variable, représentent respectivement les épïcénres et la magnitude des séismes. La taille des losanges est proportionnelle à la magnitude. Dans l'encadré, les âges absolus sont donnés en Ma. Les traits pleins en bleu correspondent à des courbes de niveau. Le cercle noir est relatif à la question 1.2.

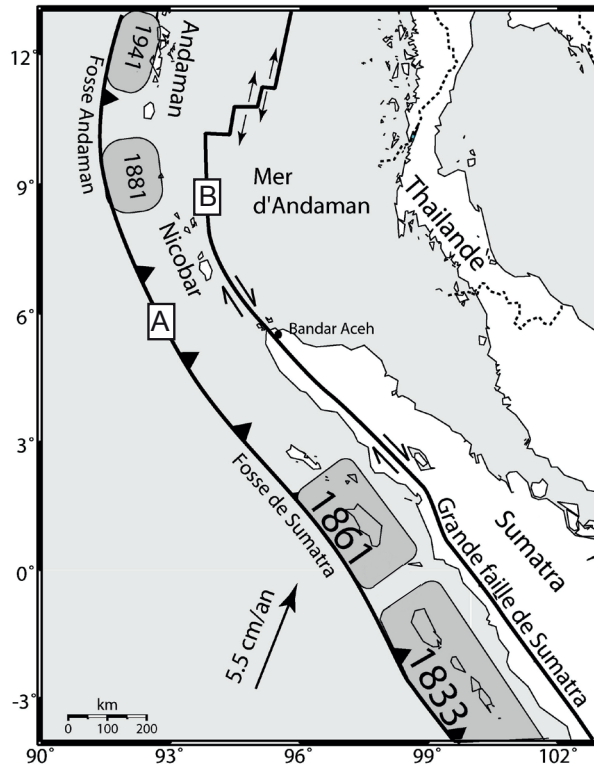


Figure 3. Carte sismotectonique montrant les deux failles majeures, A et B, de l'arc de la Sonde, au niveau des îles de Sumatra et d'Andaman. La date des séismes majeurs, le long de la faille A, souligne le lieu de rupture principal.

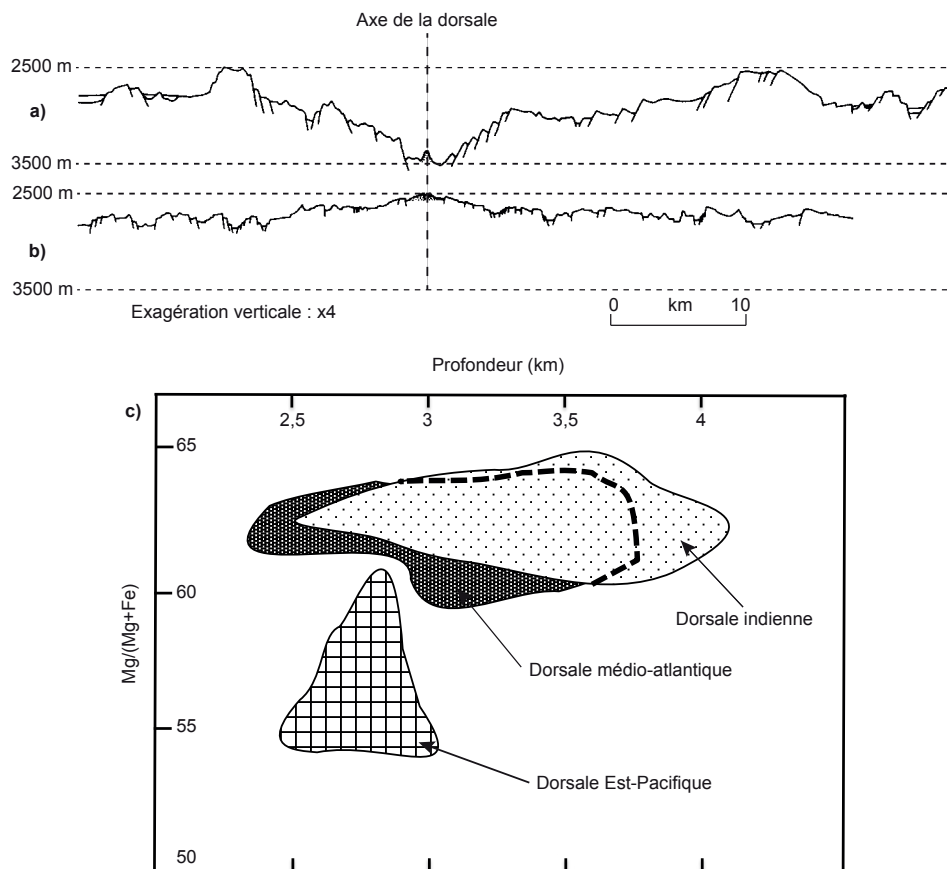


Figure 8. Coupes bathymétriques de dorsales. a) Dorsale lente. b) Dorsale rapide. c) Relation entre la composition moyenne des laves, représentée par le rapport $[Mg/(Mg+Fe)]$, et la profondeur du plancher océanique.

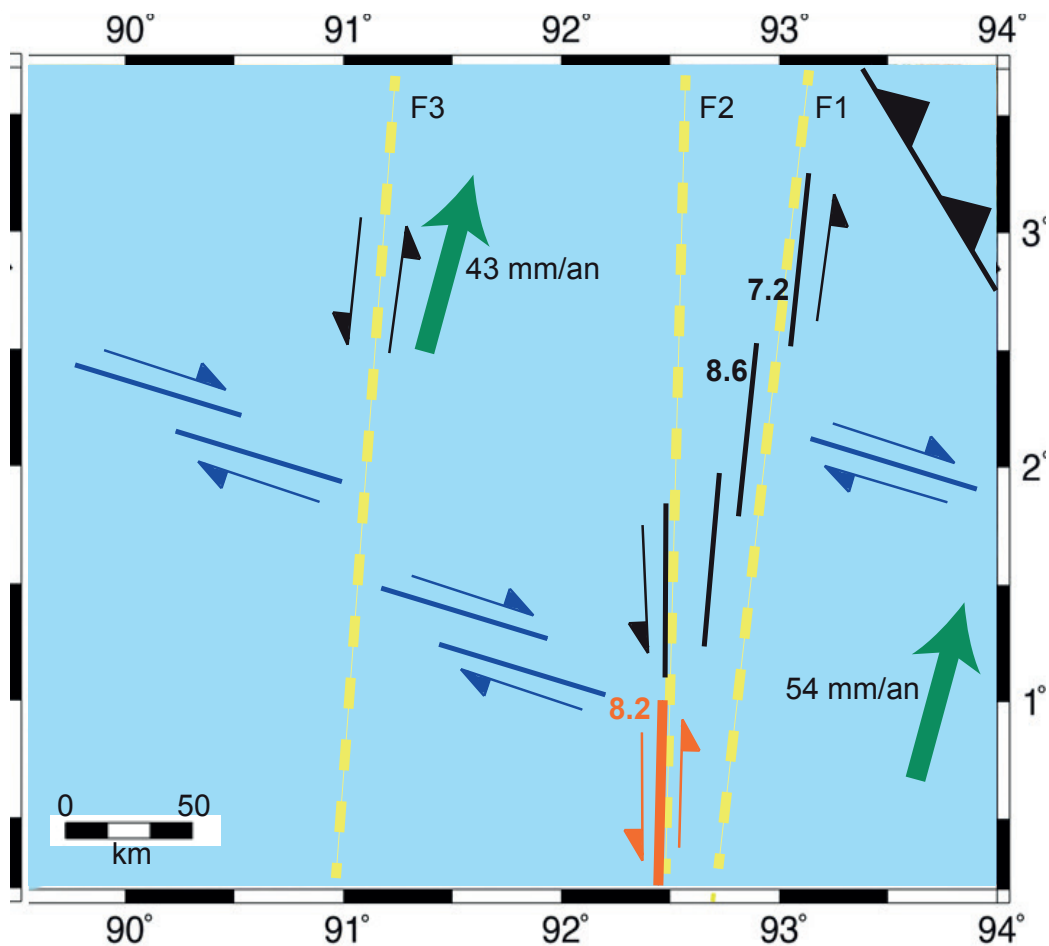
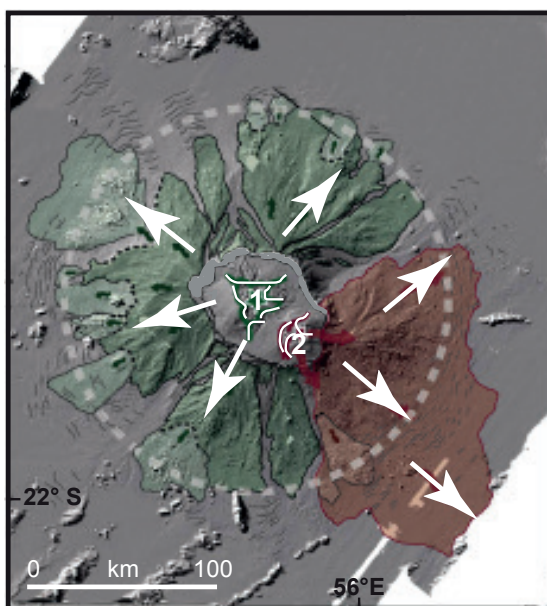


Figure 4. Schéma montrant les plans de rupture créés lors du tremblement de terre de 2012 de magnitude 8.6.

Les demi-flèches en noir et bleu indiquent le déplacement des fractures réactivées. Les zones de failles majeures sont indiquées en pointillé jaune (F1 à F3). La faille nord-sud, au sud de la carte, en orange, a été en partie créée et réactivée durant le séisme de 2012 (magnitude 8.2). Les deux grosses flèches vertes indiquent la direction de déplacement de la plaque et sa vitesse.



- 1 - Piton des Neiges (3070 m)
- 2 - Piton de la Fournaise (2632 m)
- Cercle en pointillés : limite approximative du talus sous-marin.
- Courbes blanches : caldeiras.
- Flèches blanches : direction principale d'écoulement des avalanches de débris (en vert, avalanches issues du Piton des Neiges ; en rouge, avalanches issues du Piton de la Fournaise).

Figure 5. Carte des avalanches de débris autour de l'île de la Réunion.

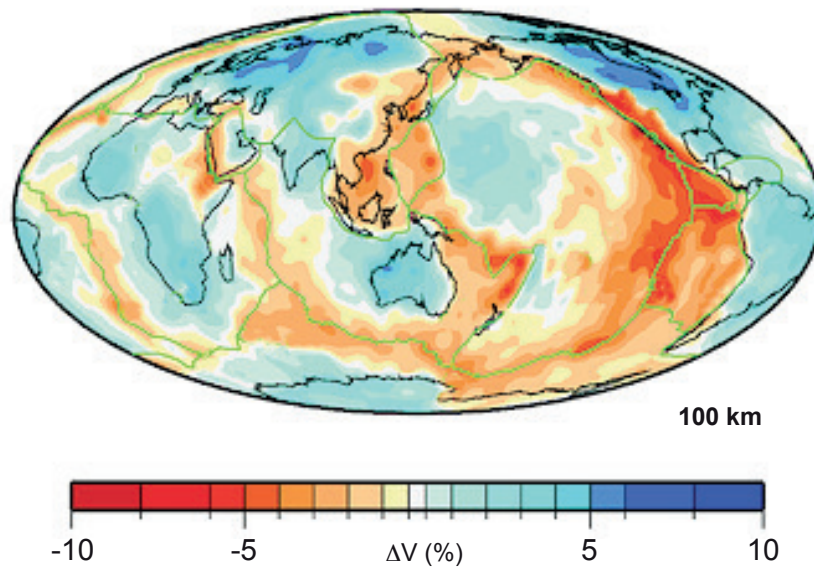


Figure 6. Modèle tomographique du manteau supérieur de Debayle & Ricard (2012). L'échelle des couleurs est en % de variation de la vitesse de propagation des ondes S par rapport au modèle PREM. Les variations sont représentées pour une profondeur de 100km. Les limites des plaques lithosphériques sont représentées en vert.

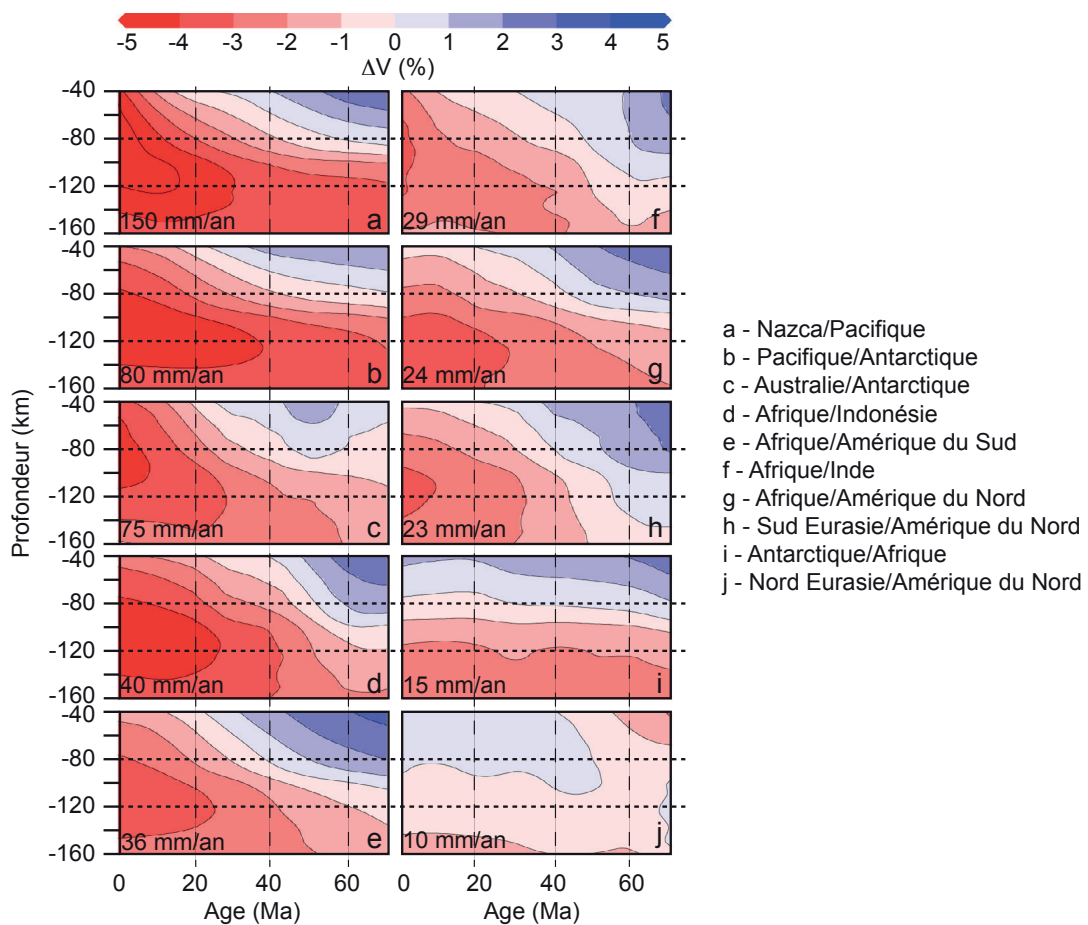


Figure 7. Pseudo-coupes construites à partir du modèle tomographique de Debayle & Ricard (2012) montrant les effets de la vitesse d'expansion (taux d'expansion total) sur la structure tomographique du manteau. L'échelle des couleurs représente les variations de vitesse de propagation des ondes sismiques en % par rapport au modèle de Debayle & Ricard (2012).

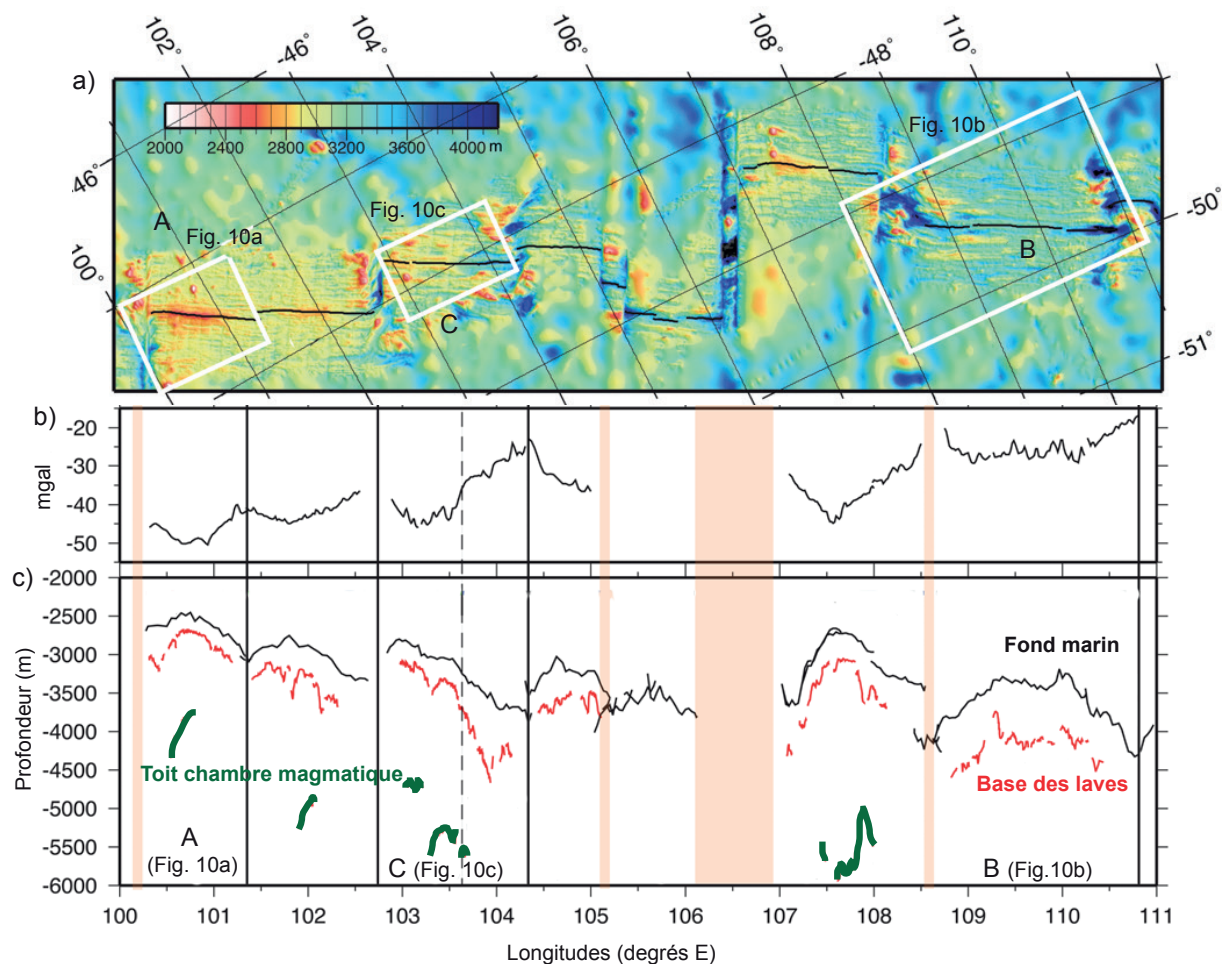


Figure 9. Portion de la dorsale sud-est indienne.

a) Bathymétrie de la dorsale entre 100°E et 110°E. Les sections de dorsale encadrées sont représentées en figure 10.

b) Anomalie de Bouguer.

c) Courbe noire : profondeur du plancher océanique ; courbe rouge : base des laves de la croûte océanique ; courbe vert foncé, toit de la chambre magmatique. Les bandes verticales rosées soulignent la présence des principales zones transformantes. Les traits noirs continus indiquent la limite des segments de dorsale marqués par des discontinuités transverses.

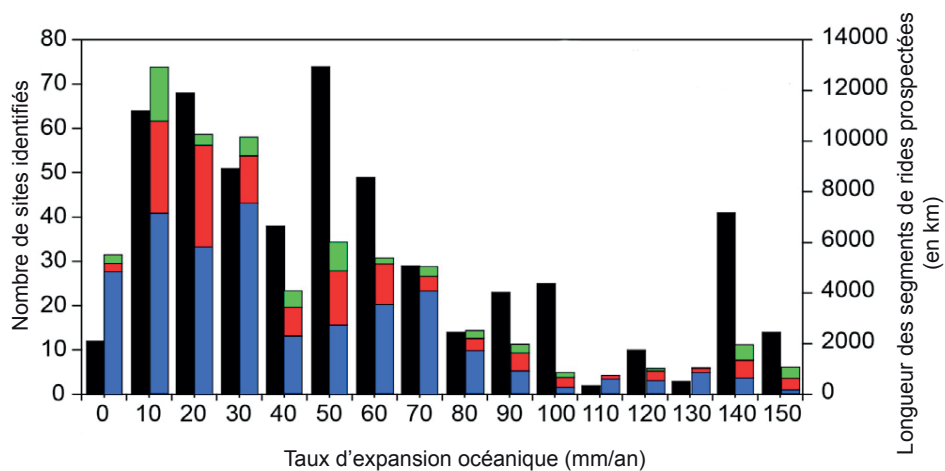


Figure 16. Relation entre le taux d'expansion des dorsales, le nombre de sites hydrothermaux recensés et la longueur des segments de dorsales prospectées.

Le degré d'étude des portions de dorsales est indiqué par différentes couleurs : en vert, segments de dorsales bien étudiés ; en rouge, modérément étudiés ; en bleu, non étudiés ; en noir, la longueur des segments de dorsales prospectées.

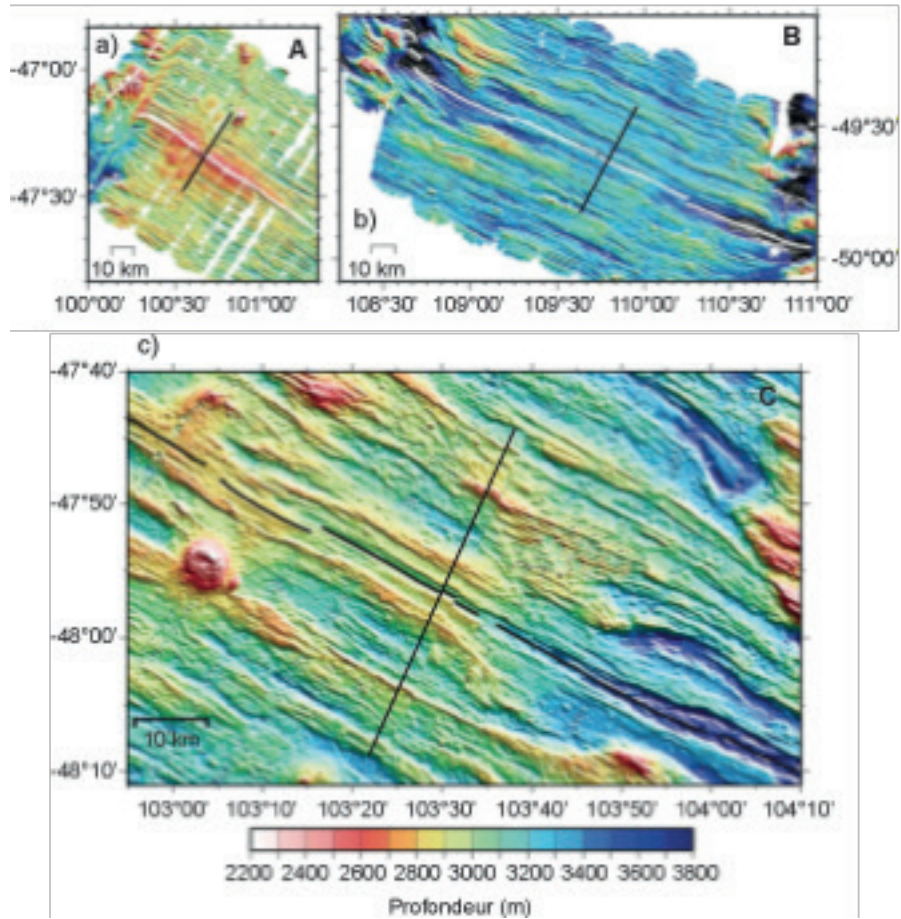
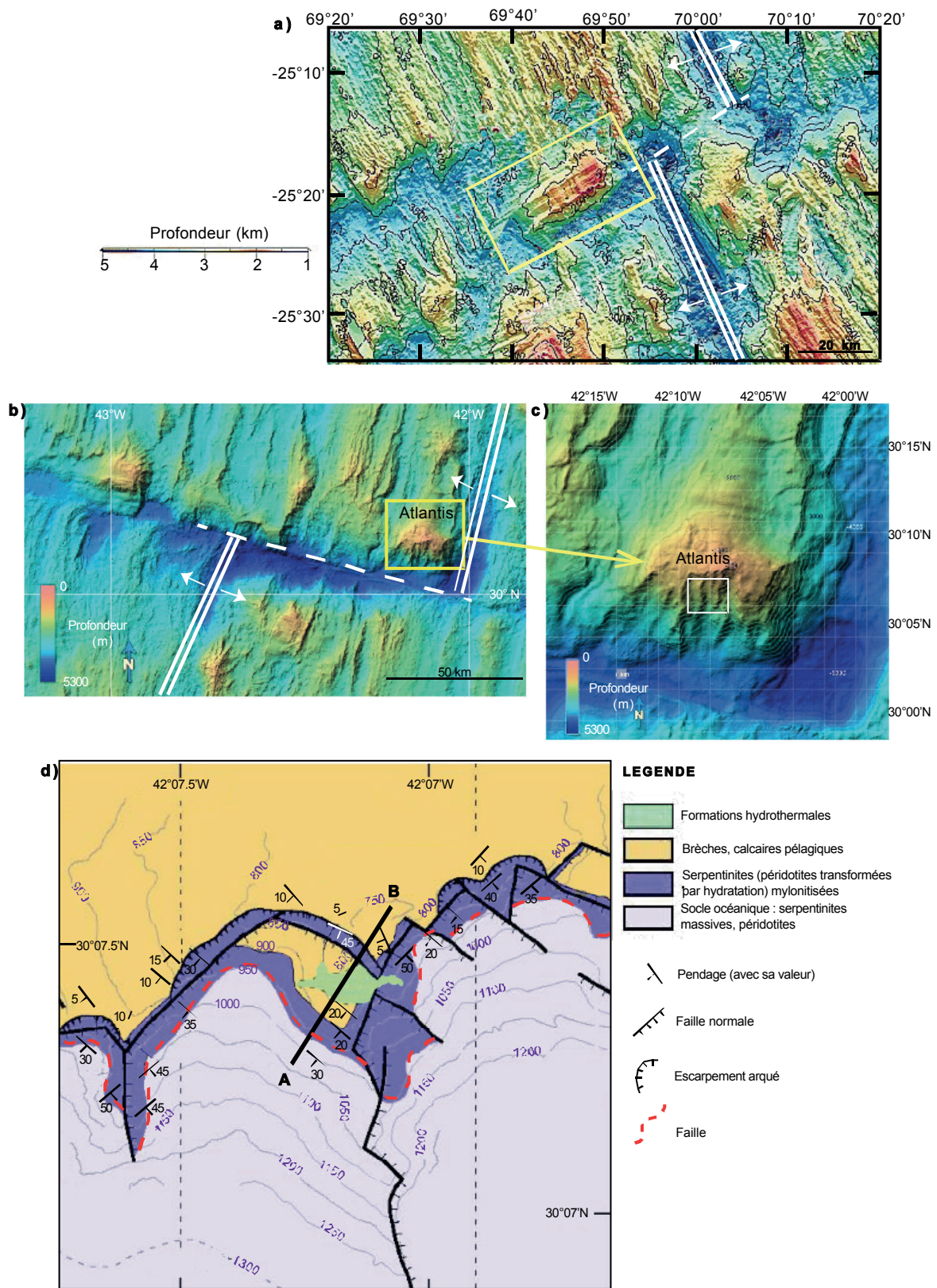


Figure 10. Détail des cartes bathymétriques de la dorsale sud-est Indienne.
 Le trait noir dans chaque secteur (A à C) correspond à la trace du profil bathymétrique à schématiser.
 a) Section de dorsale riche en émission basaltique (secteur A).
 b) Section de dorsale pauvre en émission basaltique (secteur B).
 c) Section de dorsale aux émissions basaltiques intermédiaires entre celles des secteurs A et B.



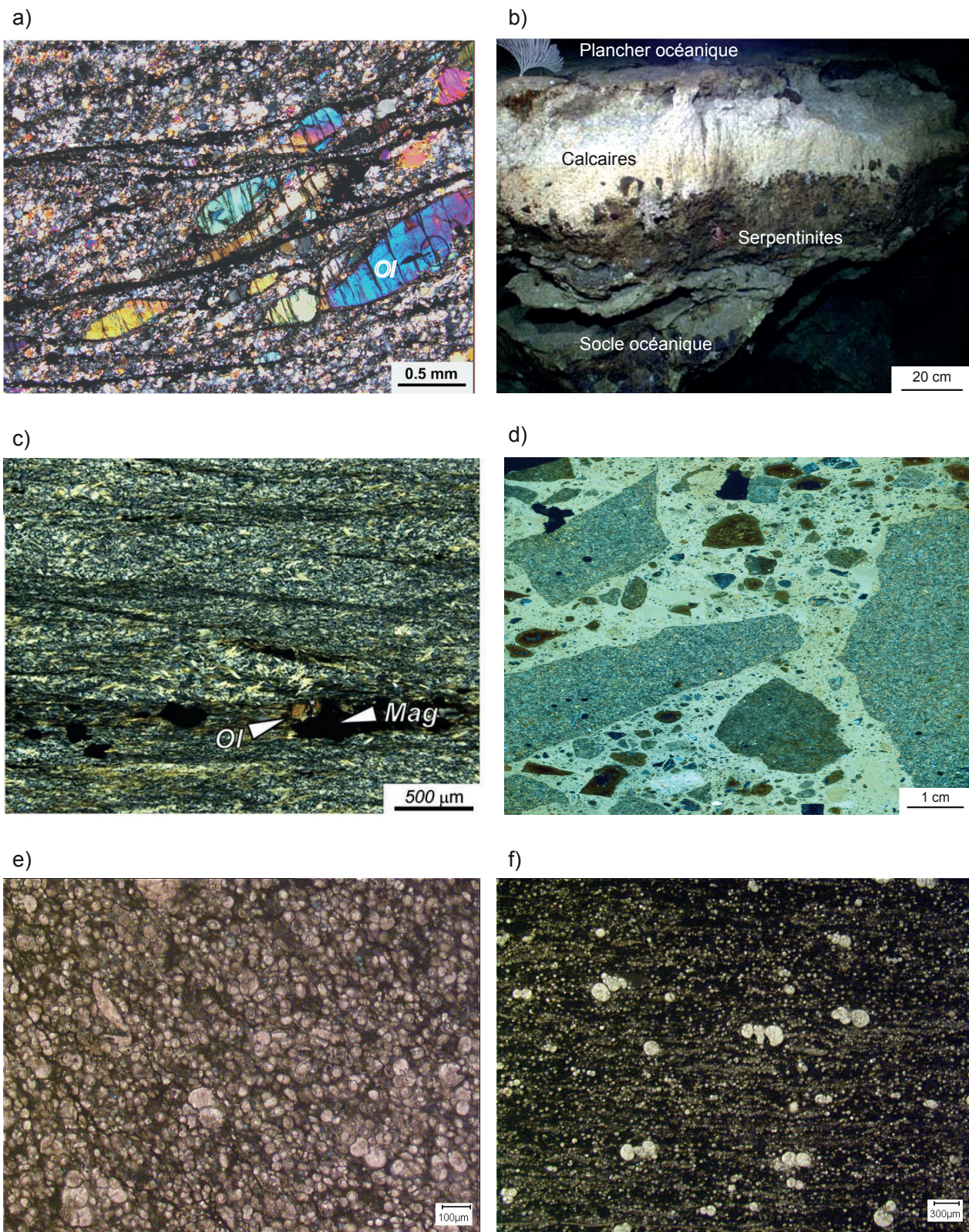


Figure 12. Pétrographie.

- a) Péridotite mylonitisée (profondément recristallisée) prélevée en profondeur dans la croûte océanique. De larges cristaux d'olivine (Ol) sont situés dans une matrice d'olivine et de pyroxènes (lumière analysée).
- b) Succession stratigraphique réduite au dessus du socle océanique (cf. Fig. 11d).
- c) Serpentinite mylonitisée (lumière analysée). Ol : olivine, Mag : magnétite (oxydes de fer), associés aux minéraux serpentineux.
- d) Roche (à déterminer) avec des éléments de gabbros, de serpentinites noires, de calcaires pélagiques blancs, et une matrice calcaire.
- e) et f) Roches (à déterminer) : fond sombre constitué de minuscules cristaux coalescents de calcite, et éléments de calcite clairs (tests de Foraminifères planctoniques).

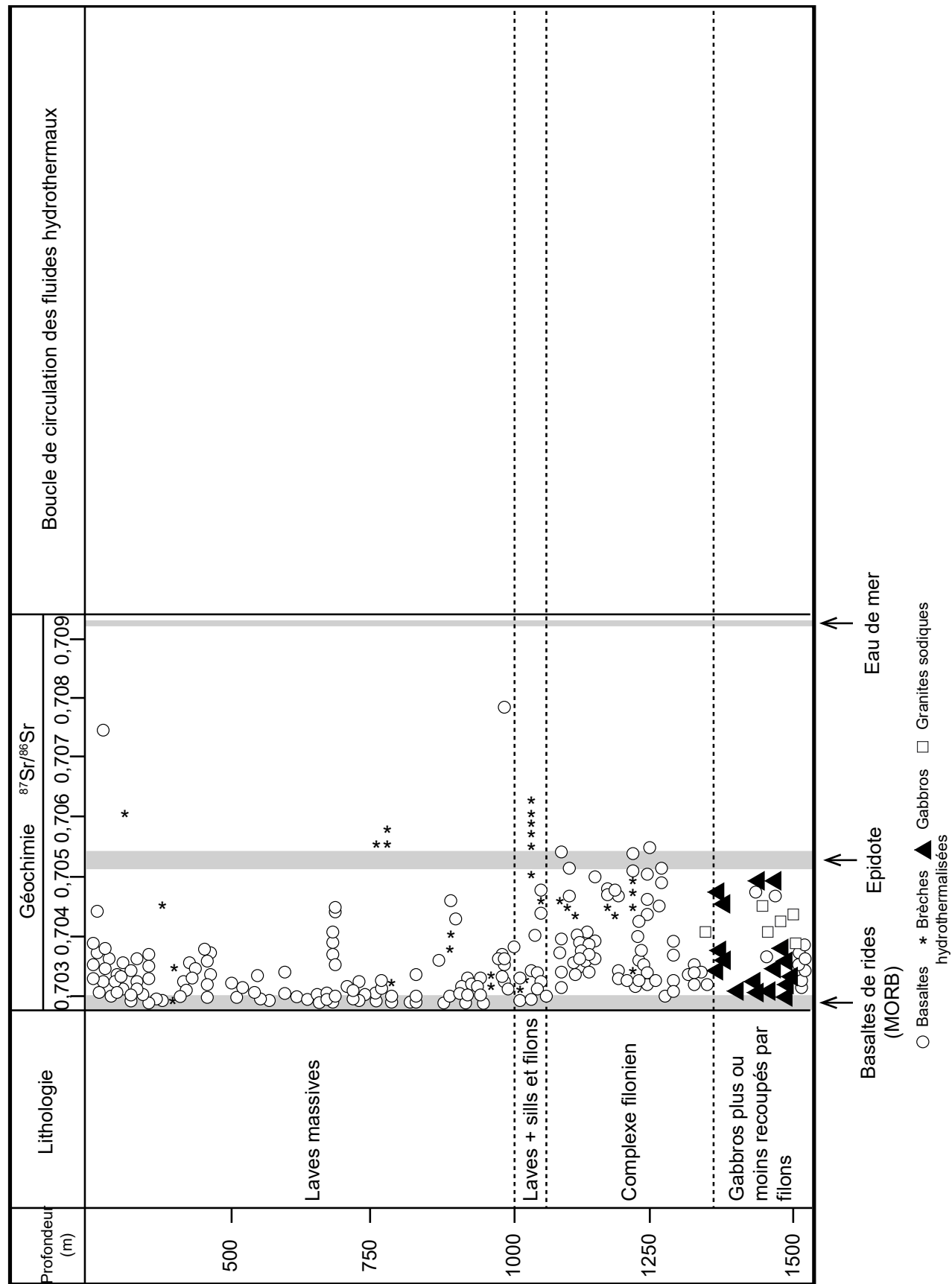


Figure 15. Profil dans la croûte océanique de l'océan Pacifique au voisinage d'un événement hydrothermal. Le profil montre la succession des lithologies de bas en haut du sondage, et le rapport isotopique $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (i) des différentes roches du profil, (ii) d'un basalte de ride (MORB) frais, (iii) de l'épidote (minéral secondaire : silicate aluminocalcique hydraté, principalement issu de la transformation des plagioclases), et (iv) de l'eau de mer.

Modèle CMEN-DR v2 ©EXATECH

Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro d'inscription : Né(e) le : / /

(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)

(Remplir cette partie à l'aide de la notice)

Concours / Examen : Section/S spécialité/Série :

Epreuve : Matière : Session :

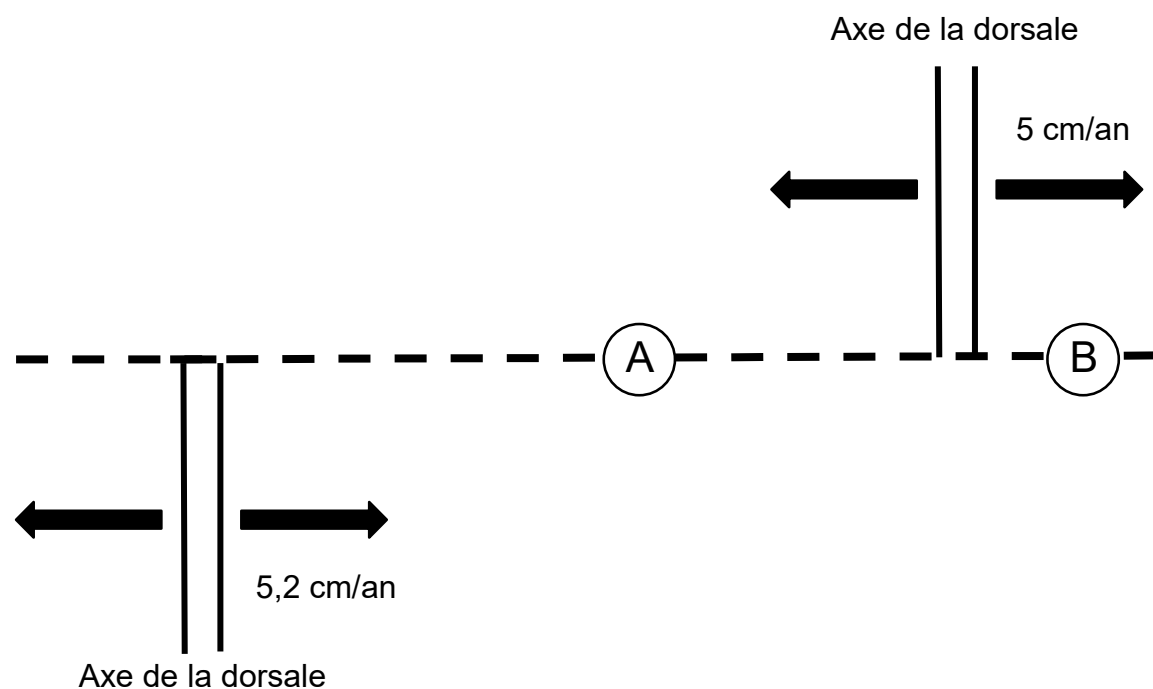
- CONSIGNES**
- Remplir soigneusement, sur CHAQUE feuille officielle, la zone d'identification en MAJUSCULES.
 - Ne pas signer la composition et ne pas y apporter de signe distinctif pouvant indiquer sa provenance.
 - Numéroté chaque PAGE (cadre en bas à droite de la page) et placer les feuilles dans le bon sens et dans l'ordre.
 - Rédiger avec un stylo à encre foncée (bleue ou noire) et ne pas utiliser de stylo plume à encre claire.
 - N'effectuer aucun collage ou découpage de sujets ou de feuille officielle. Ne joindre aucun brouillon.

**ANNEXE A RENDRE AVEC VOTRE COPIE SANS DECOUPAGE NI COLLAGE.
UTILISER DES COULEURS VIVES ET CONTRASTÉES.
NE PAS UTILISER DE BLANC CORRECTEUR.**



Figure 2. Limite des continents bordant l'océan Indien.

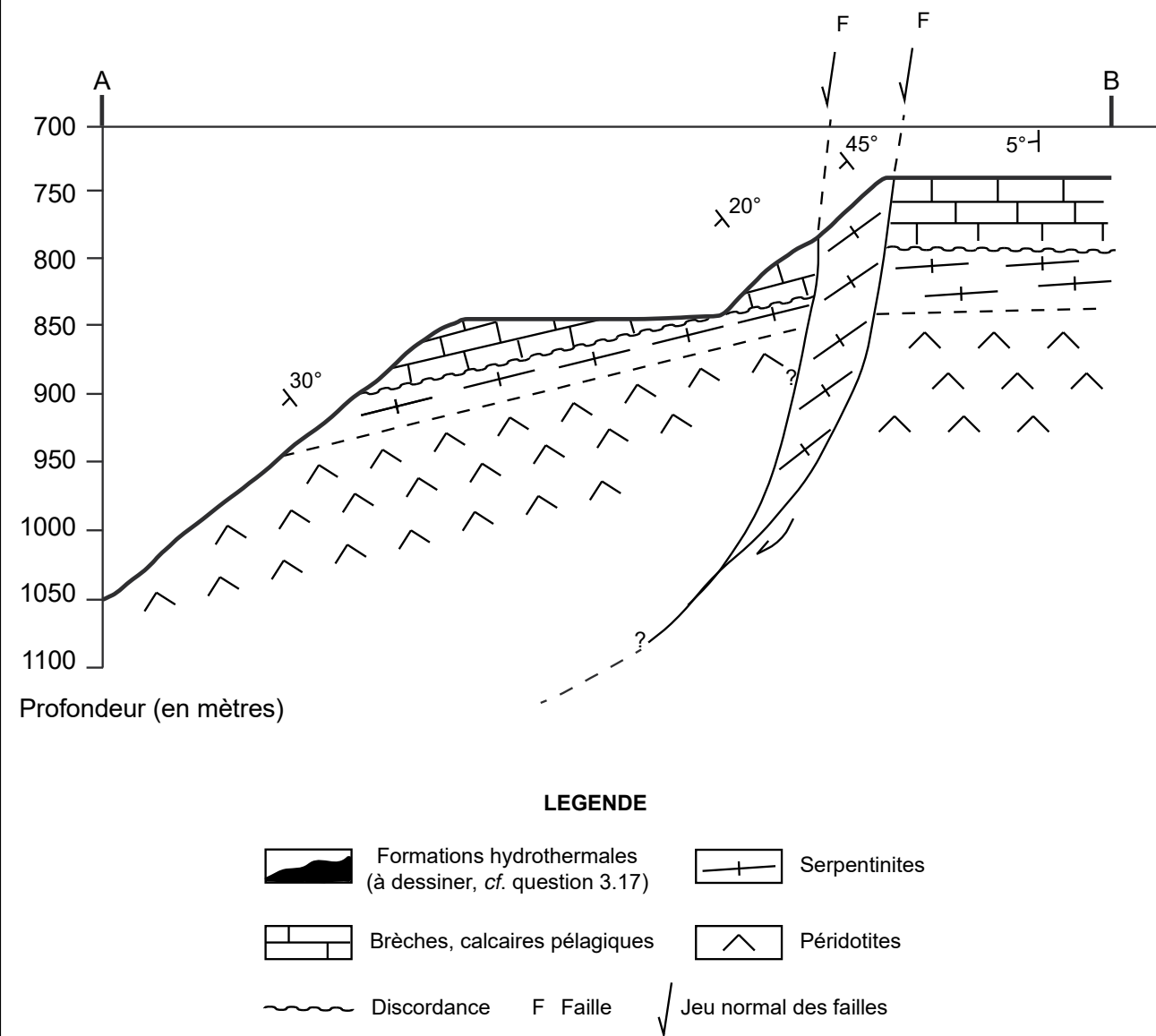
NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE



Site	Faille associée	σ 1 vertical	σ 1 horizontal			
			N-S	E-W	NW-SE	NE-SW
Dorsale		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Transformante		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bloc édit

Figure 13. Dorsale recoupée par une zone transformante.



LEGENDE

- Formations hydrothermales (à dessiner, cf. question 3.17)
- Serpentinites
- Brèches, calcaires pélagiques
- Péridotites
- Discordance
- F Faille
- Jeu normal des failles

Figure 14. Coupe géologique.

Le trait de la coupe géologique est localisé sur la figure 11d (segment A-B).
Le profil proposé est dilaté cinq fois en distance horizontale, et deux fois en bathymétrie.