



Préparation française des Olympiades Internationales de Géosciences
Test de validation de la formation
8 - 12 avril 2013

- Le test comprend 34 questions, sur 21 pages. La durée du test est de 1 heure 50 ; il faut prévoir dix minutes à la fin des deux heures pour saisir vos réponses sur le formulaire (feuille de tableur). Le temps conseillé est de trois minutes par question. **Ne traînez pas !**
- Vous rendrez la version imprimée du test à votre enseignant, après avoir inscrit votre nom, prénom, date de naissance, classe et établissement. L'enseignant conservera les copies.
- Pour chaque question, 3, 4, 5 ou 6 réponses sont proposées, notées A à F. Certaines questions sont des questions à choix simple (une seule bonne réponse), d'autres à choix multiple (une ou plusieurs bonnes réponses) : ceci est indiqué chaque fois. **Vous entourerez au stylo la ou les lettres correspondant à la réponse de votre choix.** Si les réponses sont proposées sous forme de schémas, entourez la ou les lettres sur le schéma.
- **Il y a toujours au moins une réponse juste** : si vous ne cochez aucune lettre, ou si vous les cochez toutes, la question ne sera pas notée.
- Toutes les questions sont sur 1 point, sauf les questions indiquées par **, sur 3 points. Ces questions sont plus difficiles ou plus longues à traiter, attention à ne pas prendre trop de retard en les traitant.
- Attention aux pièges et aux trompe-l'œil ! Aux IESO, cela fait partie du jeu.
- Matériel requis : règle graduée, calculatrice scientifique non programmable
- Il est préférable de travailler sur une impression couleur, mais le noir et blanc convient.
- Bon courage ! ne vous découragez pas si des questions vous résistent ou si vous n'avez pas le temps de tout faire : c'est un concours, pas un examen ; et n'oubliez pas que c'est un jeu !

खुशनसीबी 1

Nom : Prénom :

Date de naissance : Classe : Etablissement :

Je m'engage sur l'honneur à ne pas diffuser le contenu de ce test avant l'annonce des résultats.
Signature :

1 : « Chance »

Apophis

Au début de l'année 2013, Apophis (nommé d'après un dieu des ténèbres égyptien) a beaucoup fait parler de lui dans les médias... et a causé aux terriens une belle frayeur.

Apophis est un astéroïde « géocroiseur » : un corps dont l'orbite est suffisamment proche de celle de la Terre pour qu'un risque de collision doive être considéré. Le 10 janvier 2013, l'astéroïde s'est approché à « seulement » 36 fois la distance Terre-Lune. Des premiers calculs avaient laissé craindre qu'il passe beaucoup plus près ! On supposera, pour simplifier, que l'orbite d'Apophis est comprise dans le plan de l'écliptique.



On donne pour Apophis :

- Période de révolution : 325,07 jours (0,89 an)
- Excentricité : 0,19
- Périhélie : (à calculer)
- Aphélie : (à calculer)
- Albédo : 0,23 ($\pm$ 0,04)
- Magnitude absolue : 19,7 ($\pm$ 0,2)
- Taille : environ 300 m ?

L'astéroïde *Ida*, approché en 1993 par la sonde *Galileo*, donne une idée de l'aspect d'Apophis. *Ida* mesure 56 km dans sa plus grande dimension et possède un petit satellite, *Dactyl*.

AP1. De temps à autre, un géocroiseur nous rappelle que l'espace n'est pas vide entre les planètes. Où trouve-t-on le plus de corps comme Apophis dans le système solaire ? Indiquez la bonne réponse :

- A. Entre Mars et Jupiter, et au-delà de l'orbite de Neptune.
- B. Entre Jupiter et Saturne, captifs du champ de gravité de ces planètes géantes.
- C. A l'intérieur de l'orbite de Mercure, assez près du Soleil pour que son influence gravitationnelle empêche l'accrétion.
- D. Dans une ceinture autour de chaque planète.
- E. Dans les anneaux de Saturne.

AP2. La magnitude absolue d'un corps éclairé par le Soleil est la magnitude qu'aurait ce corps, placé à une unité astronomique du Soleil, et vu depuis la position du Soleil ! Différentes mesures ont permis d'estimer la magnitude absolue d'Apophis, ainsi que son albédo (voir l'encadré). Avec ces deux paramètres, on peut estimer le diamètre D d'un corps du système solaire grâce à la relation suivante (avec H la magnitude absolue et p l'albédo) :

$$D = (1329 \times 10^{-0,2 H}) / \sqrt{p}$$

Pour Apophis, on trouve $D = 318 \pm 50$ m. En étudiant cette relation, et à partir de vos connaissances, indiquez la ou les proposition(s) correcte(s) :

- A. Plus la magnitude absolue de l'objet est grande, plus il est lumineux
- B. Plus l'albédo d'un corps est élevé, plus il absorbe la lumière, et donc, moins il réfléchit de lumière.
- C. Pour une taille donnée, plus l'albédo de l'objet est grand, plus sa magnitude absolue est petite.
- D. Pour une magnitude absolue donnée, plus l'albédo de l'objet est grand, plus son diamètre est petit.

AP3. Même au plus près de la Terre, Apophis est délicat à observer. S'il s'était agi d'une comète, vous l'auriez vu dans le ciel nocturne sans peine ! Indiquez la raison (entourez la bonne réponse) :

- A. La surface d'une comète est très lisse et réfléchissante.
- B. Le noyau des comètes est riche en glaces, qui sont sublimées à l'approche du Soleil. Ceci engendre une chevelure et une queue de poussières brillantes.
- C. Les comètes sont riches en métal et s'échauffent jusqu'à l'incandescence en traversant les nuages de gaz du milieu interplanétaire.
- D. Les réactions thermonucléaires s'allument au sein d'un noyau cométaire.

AP4. En quelle année Apophis repassera-t-il près de la Terre ? Indiquez la bonne réponse :

- A. En 2021
- B. En 2028
- C. En 3015
- D. En 4032

Pour trouver la période synodique S , Apophis étant sur une orbite inférieure, on a la relation :
 $1/S = 1/P_{\text{Apophis}} - 1/P_{\text{Terre}} = 1/0,89 - 1$ d'où $S = 8$ ans ! Donc Apophis repassera au début de l'année 2021.

AP5. Le 8 janvier 2013, deux enseignants allemands et leurs élèves ont opéré à distance des télescopes de 2 mètres, en Australie et à Hawaï (télescopes Faulkes), pour pointer Apophis. Le résultat de leurs observations est présenté page suivante. Indiquez la ou les bonne(s) réponse(s) :

- A. Vu depuis un même lieu, en 10 mn, Apophis s'est déplacé par rapport aux étoiles en raison de sa seule vitesse propre.
- B. Vu depuis un même lieu, en 10 mn, Apophis s'est déplacé par rapport aux étoiles car la rotation de la Terre change la direction de visée.
- C. De l'Australie à Hawaï, au même instant, la position différente d'Apophis sur la voûte céleste s'explique par le fait qu'Apophis s'éloigne de l'Australie et se rapproche d'Hawaï.
- D. De l'Australie à Hawaï, au même instant, la position différente d'Apophis sur la voûte céleste s'explique par le fait que les étoiles sont beaucoup plus distantes.

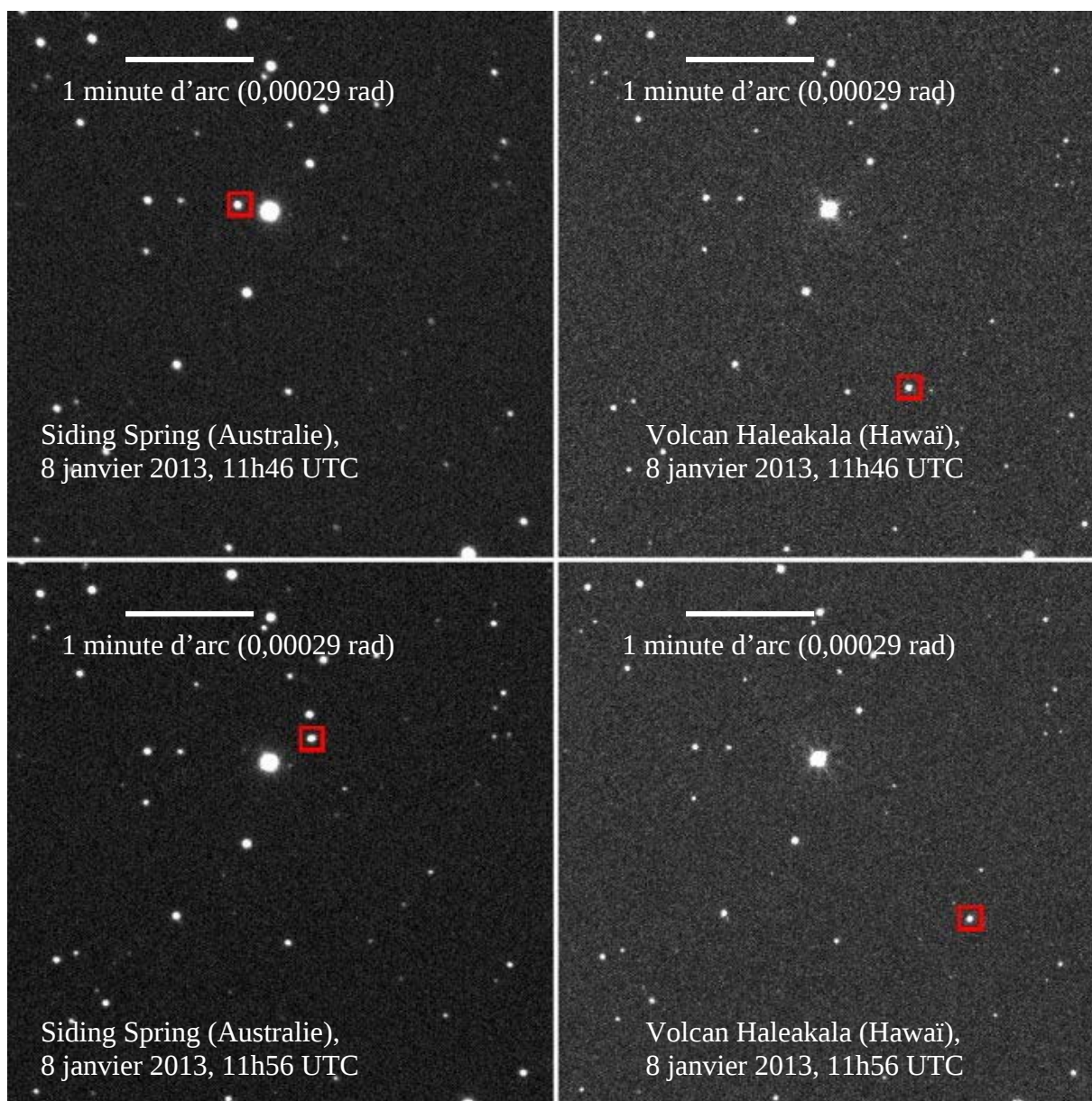
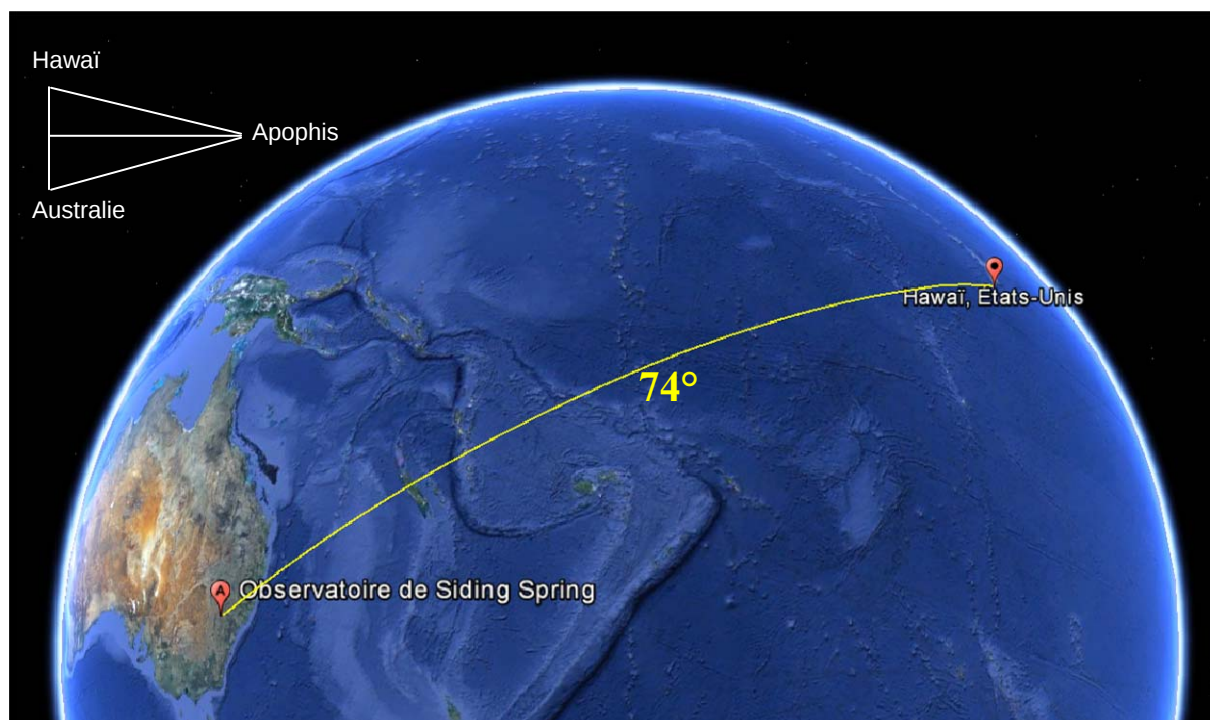
AP6. A partir de cette mesure de parallaxe, et en supposant l'axe de visée à peu près perpendiculaire à la corde Australie-Hawaï, calculez un ordre de grandeur pour la distance Terre-Apophis à cette date. Indiquez la bonne réponse :

- A. 150 000 kilomètres
- B. 1,5 million de kilomètres
- C. 15 millions de kilomètres
- D. 150 millions de kilomètres

AP7. (3 pts)** Une collision entre Apophis et Vénus est elle possible ? (on donne Périhélie de Vénus = 0,718 UA et Aphélie de Vénus = 0,728 UA) (UA : unité astronomique). Indiquez la bonne réponse :

- A. Apophis ne s'approche jamais à moins de 0,27 UA de Vénus
- B. Apophis ne s'approche jamais à moins de 0,09 UA de Vénus
- C. Apophis ne s'approche jamais à moins de 0,02 UA de Vénus
- D. Apophis passe plus près du Soleil que Vénus

Correction : On a la relation $P_{\text{Apophis}}^2 = a_{\text{Apophis}}^3$ avec P en années terrestres et le demi grand-axe a en UA. On a $P_{\text{Apophis}} = 325,07/365,24 = 0,89$ an donc $a_{\text{Apophis}} = 0,925$ UA. Avec une excentricité de 0,19, on trouve le périhélie d'Apophis qui vaut $a(1 - e) = 0,749$ UA (attention, erreur sur la page wikipedia française) donc Apophis passe au plus près à 0,021 UA de Vénus.



Apophis est encadré en rouge (© Faulkes Telescope Project / Matthias Penselin et Martin Metzdorf)

AP8. Si Apophis entrait en collision avec la Terre, il créerait un cratère de plusieurs kilomètres (ou un tsunami géant, s'il tombait dans l'océan). Par rapport à une planète comme Mercure, la Terre présente très peu de grands cratères. Quel(s) peu(ven)t être le(s) facteur(s) de cette rareté ? Indiquez la ou les proposition(s) vraisemblable(s) :

- A. La présence de la Lune, qui fait écran pour la plupart des impacteurs.
- B. La tectonique des plaques, qui renouvelle les surfaces.
- C. Le champ magnétique terrestre, qui dévie les astéroïdes, en partie métalliques.
- D. La présence d'eau liquide, agent d'érosion et milieu de sédimentation, qui efface les reliefs.
- E. L'atmosphère, où la vitesse et la masse des impacteurs diminuent, et où les plus petits se désintègrent.



Vue d'artiste de la collision d'un planétoïde (bien plus gros qu'Apophis !) avec la Terre (Donald Davis)



Meteor Crater, dans l'Arizona : ce cratère de 1,4 km de diamètre aurait été engendré par l'impact d'une météorite de 50m de diamètre.

Un tour dans l'océan Indien

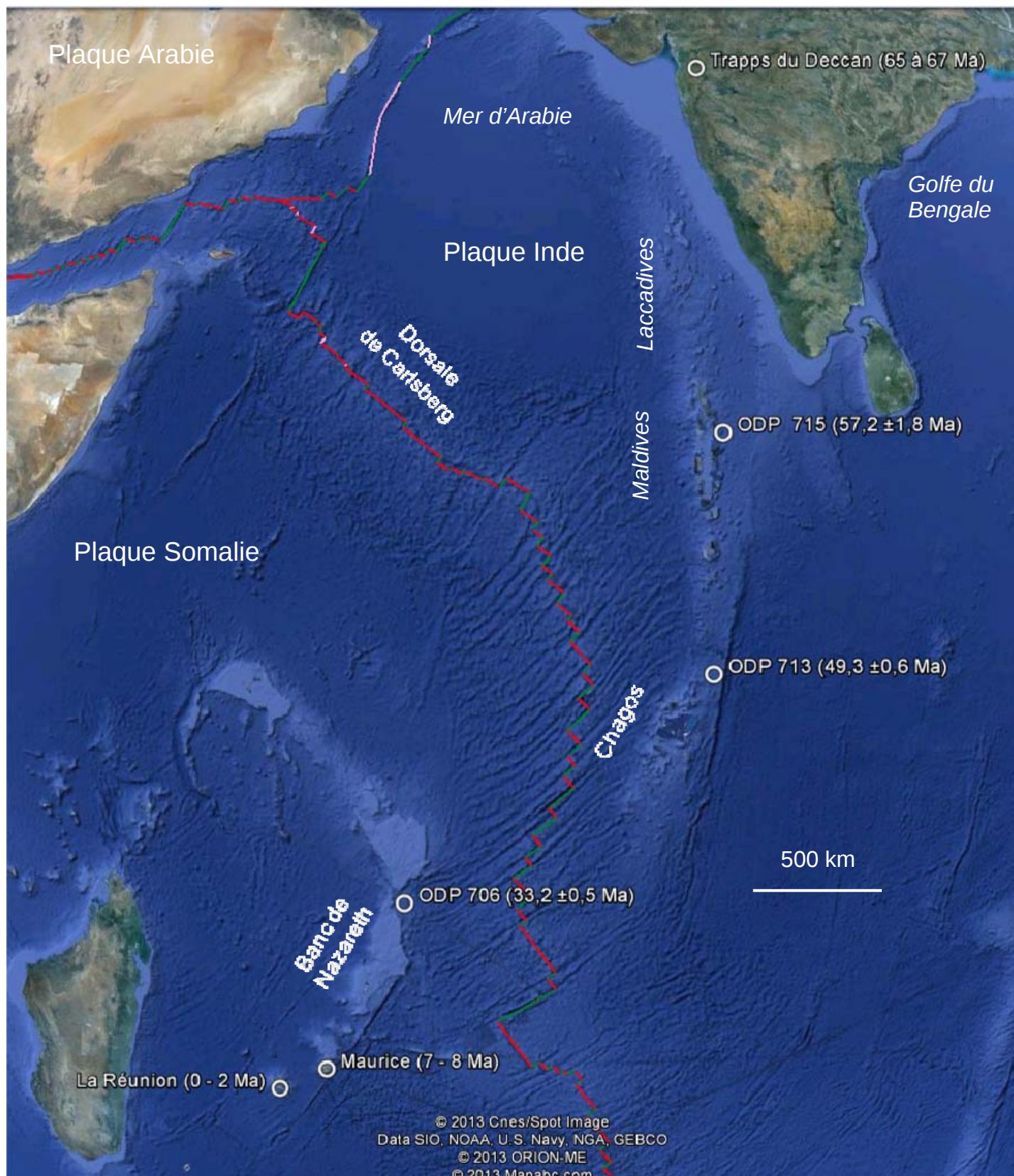


Figure 1 : Les reliefs sous-marins dans l'Ouest de l'océan Indien. Limites de plaques et âges des roches volcaniques de quelques îles et plateaux sous-marins (forages de l'Ocean Drilling Project). (vue Google Earth) **Légende : rouge : zone d'accrétion ; vert : faille transformante ; mauve : zone de convergence**

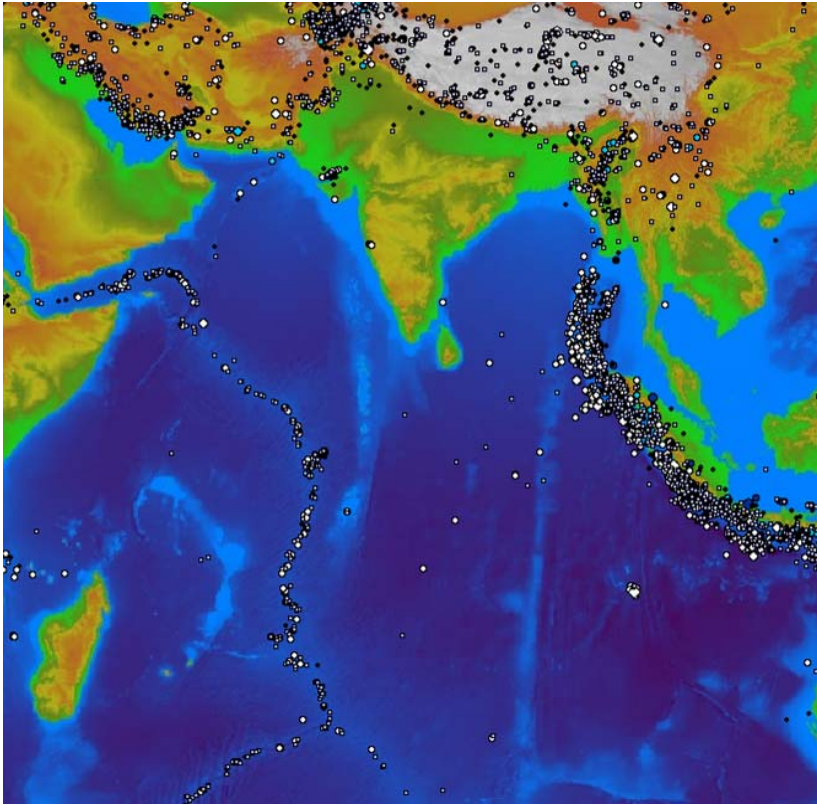
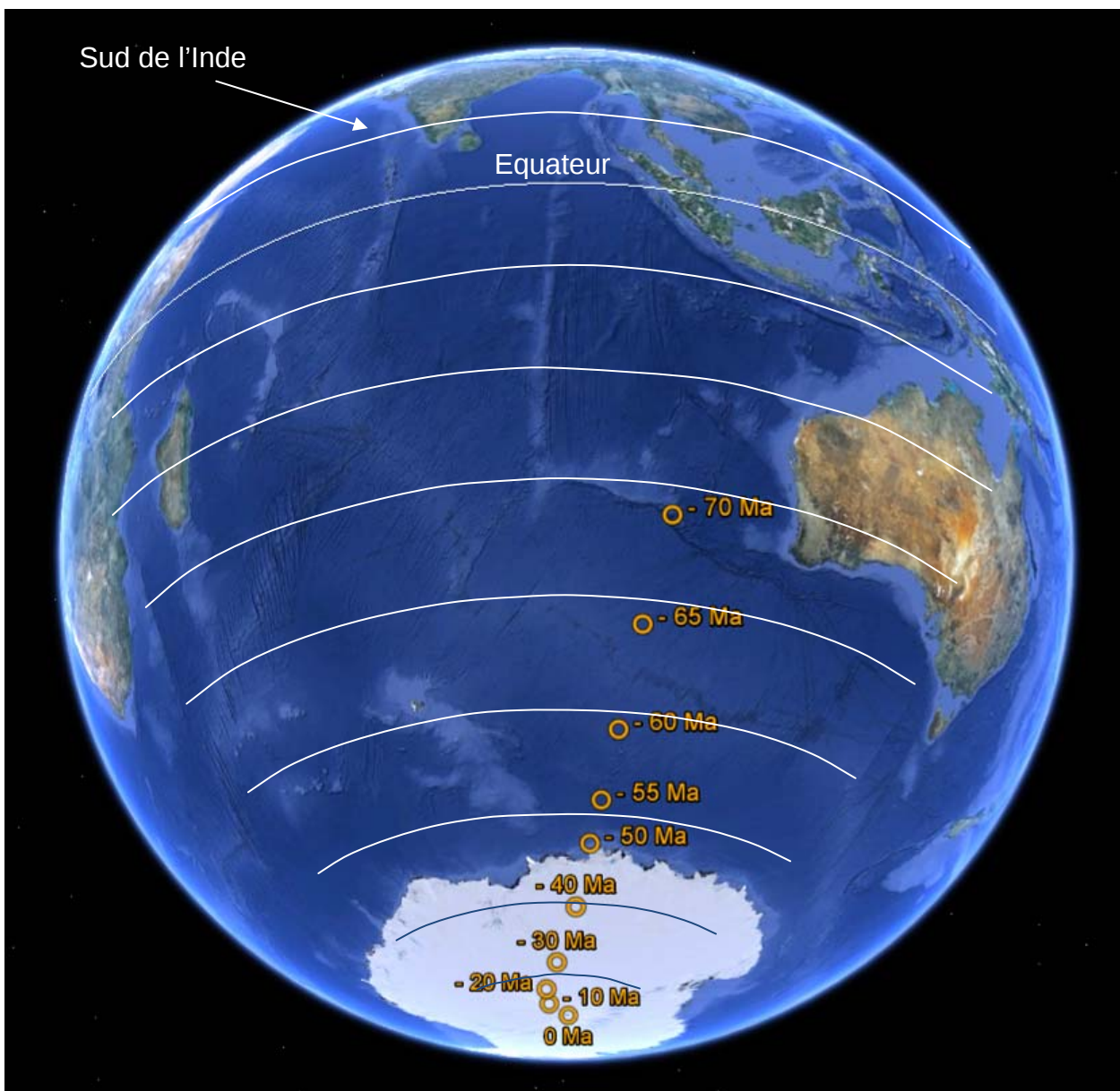


Figure 2 : Sismicité dans l'océan indien (logiciel *Educarte*, © A. Lomax / Sismos à l'Ecole) : on a représenté par des cercles les épicentres de tous les séismes de magnitude supérieure à 2 survenus entre 2000 et 2008.

Figure 3 : Chemin apparent du pôle Sud, par rapport à l'Inde. Les roches magmatiques enregistrent le champ magnétique au moment de leur refroidissement. A partir de ces données et des modèles de tectonique des plaques, on peut reconstituer, pour une plaque donnée (ici, la plaque Indienne), la direction et la distance du pôle sud à différentes époques.



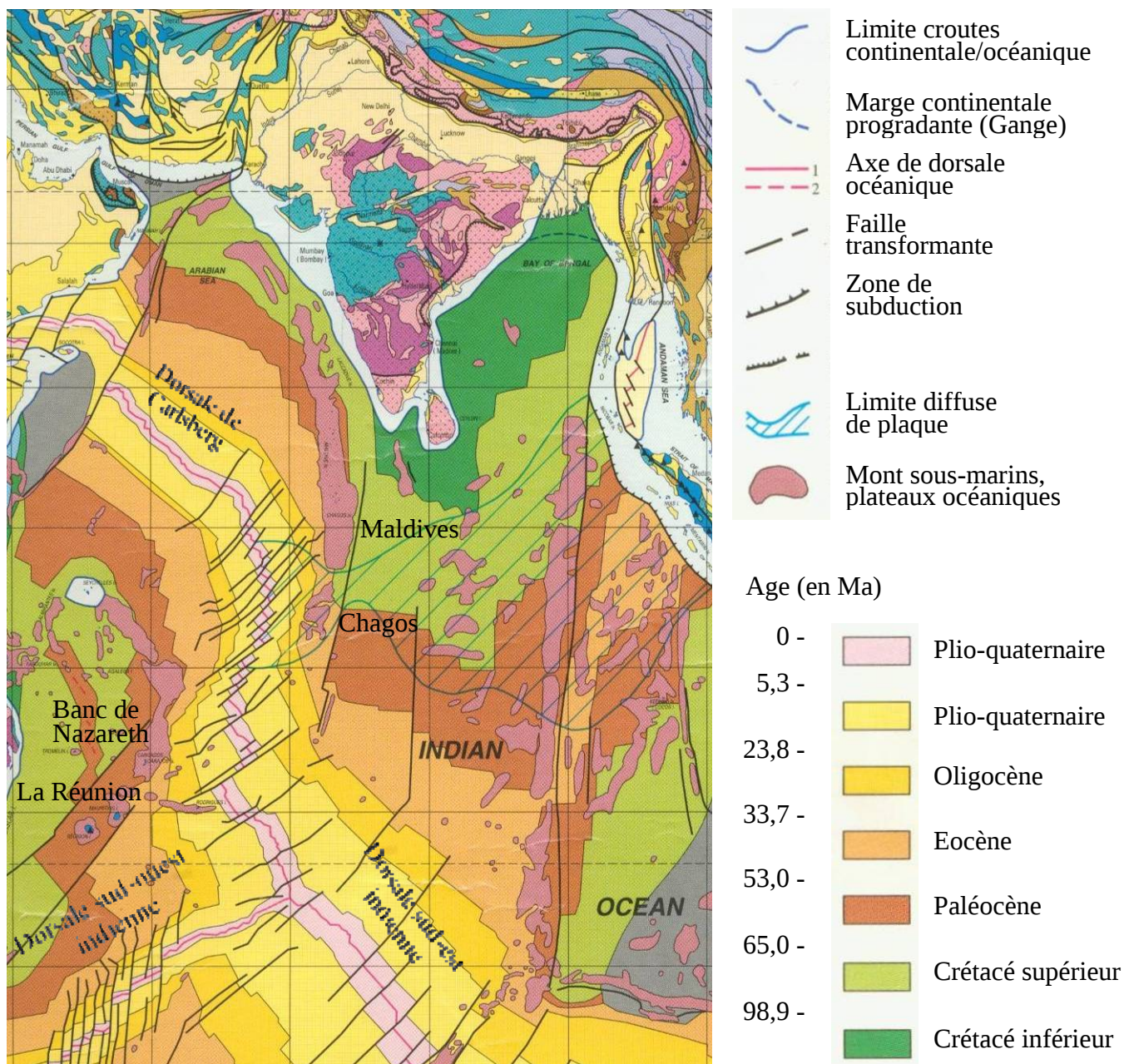


Figure 4 : Age des fonds marins dans l'océan Indien (carte géologique du Monde ©CGMW/Unesco 2000).

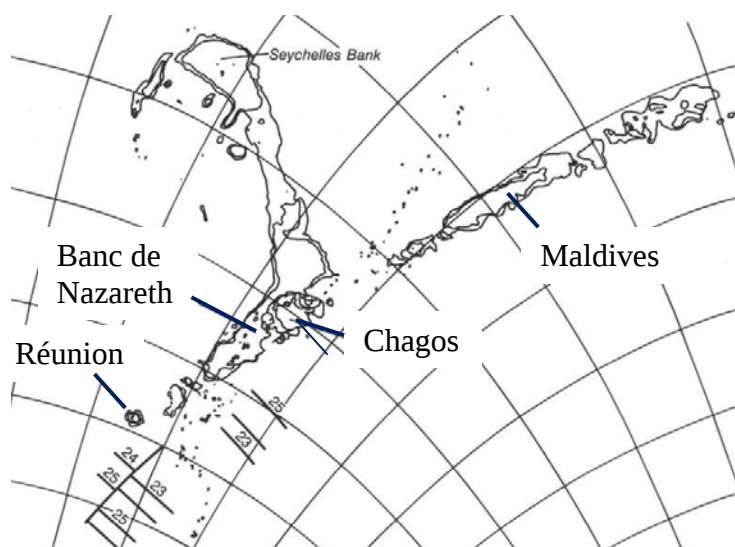


Figure 5 : Figure obtenue en faisant « disparaître » tous les fonds océaniques plus récents que 34 Ma.

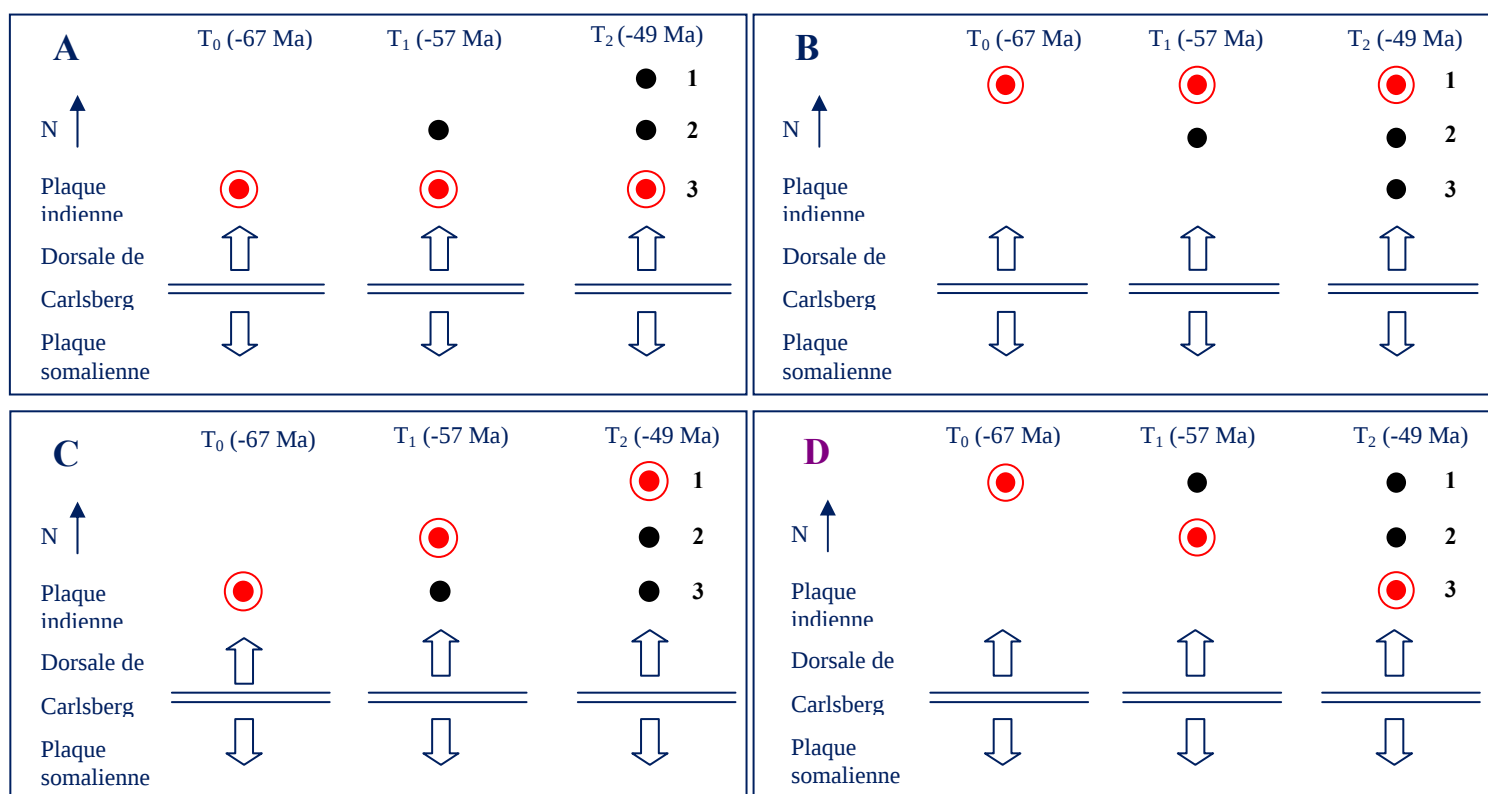
Figure 6 : Dimensions du volcan martien Olympus Mons comparées à celles de la France.

O11. Comment interpréter la sismicité au niveau de la dorsale de Carlsberg (figures 1 et 2) ? Indiquez la bonne réponse :

- A. Elle est liée à une subduction.
- B. Elle est liée exclusivement à un mécanisme de coulissage.
- C. Elle est liée exclusivement à un mécanisme d'extension.
- D. Elle est liée à des mécanismes de coulissage et d'extension.

O12. De l'île de la Réunion aux trapps du Deccan, en Inde, s'étend un alignement remarquable d'îles et de reliefs sous-marins volcaniques (île Maurice, banc de Nazareth, Chagos, Maldives, Laccadives : voir la figure 1). Seule la Réunion présente encore un volcanisme actif (piton de la Fournaise). Les géologues interprètent cet alignement comme la trace du déplacement de la plaque indienne puis de la plaque somalienne au dessus d'un point chaud considéré comme fixe par rapport à l'axe du Globe. Ce point chaud serait né il y a 67 Ma, en donnant l'épanchement volcanique des trapps du Deccan, et il est actuellement sous l'île de la Réunion.

Sur les schémas ci-dessous, le point rouge correspond à la position du point chaud, les points noirs aux traces (îles ou plateaux sous-marins) laissées sur la plaque. Indiquez le schéma qui rend le mieux compte des événements entre -65 et -49 Ma (entourez la bonne réponse) :



O13. Sur le schéma que vous avez sélectionné à la question précédentes, que signifient les chiffres 1, 2, 3 ? Indiquez la bonne réponse.

- A. 1 : Deccan ; 2 : Maldives ; 3 : Chagas
- B. 1 : La Réunion ; 2 : Maurice ; 3 : Nazareth
- C. 1 : Chagas ; 2 : Deccan ; 3 : Maldives
- D. 1 : Nazareth ; 2 : Maurice ; 3 : La Réunion
- E. 1 : Deccan ; 2 : Chagas ; 3 : La Réunion

O14. Entre le plateau des îles Chagos, sur la plaque indienne, et le banc de Nazareth, sur la plaque somalienne, l'alignement est interrompu (figures 1, 4, 5). Comment interpréter cette discontinuité ? Indiquez la proposition la plus vraisemblable :

- A. Il y a environ 35 Ma, le point chaud a brusquement sauté de la plaque indienne à la plaque somalienne, 1000 km plus au Sud.
- B. Il y a environ 35 Ma, la dorsale de Carlsberg, animée d'un mouvement vers le nord-est, a fini par passer au nord du point chaud ; les fonds accrétés depuis cette époque n'ont donc pas enregistré la trace du point chaud, qui crée désormais des reliefs sur la plaque somalienne.
- C. Il y a environ 35 Ma, l'ouverture de la dorsale de Carlsberg a séparé les traces du point chaud sur la plaque indienne de celles qui étaient sur la plaque somalienne.
- D. Depuis 35 Ma, le volcanisme sous-marin de la dorsale de Carlsberg a effacé les traces du point chaud qui s'étendaient entre les Chagos et le banc de Nazareth.

O15. Quelles informations peut-on tirer du chemin apparent du pôle sud relatif à l'Inde (figure 3) ? Indiquez la ou les proposition(s) vraisemblable(s) :

- A. Le sud de l'Inde était à une latitude d'environ 40° Sud il y a 70 millions d'années.
- B. Le pôle Sud était plus proche de l'équateur il y a 70 millions d'années.
- C. L'Inde s'est déplacée vers le Sud depuis 70 millions d'années.
- D. Le mouvement de l'Inde s'est ralenti il y a environ 55 Ma (date possible de sa collision avec l'Asie)

O16. Les deux fossiles ci-dessous, qui datent de Permien, ont été retrouvés en Inde, mais aussi à Madagascar. Que pouvez-vous affirmer à leur sujet ? Indiquez la ou les proposition(s) vraisemblable(s) :



A gauche, feuilles de *Glossopteris* sp. (Cal. Acad. Sci.) et reconstitution de l'organisme (Rose Prevec). A droite, *Cyclolobus walkeri* (*Hectonichus*) et reconstitution de l'organisme.

- A. Le mode de vie et de fossilisation de *Cyclolobus walkeri* ne permet pas de l'utiliser pour tirer des conclusions sur la géographie de l'époque.
- B. La répartition de l'un de ces fossiles est un indice que l'Inde et Madagascar faisaient partie, au Permien, d'un même bloc continental.
- C. La répartition de l'un de ces fossiles est un indice que l'Inde et Madagascar étaient reliés, au Permien, par une longue et étroite bande de terre aujourd'hui disparue.
- D. *Cyclolobus walkeri* est un mollusque.

O17. Ces plateaux basaltiques sous-marins de l'Océan Indien ont été étudiés par les forages du programme *Ocean Drilling Project* (ODP, figure 1 et tableau ci-dessous). Le toit des roches magmatiques atteint montre qu'elles ont été mises en place à l'air libre ou en eaux très peu profondes. Comment expliquer leur situation actuelle ? Indiquez la ou les proposition(s) vraisemblable(s) :

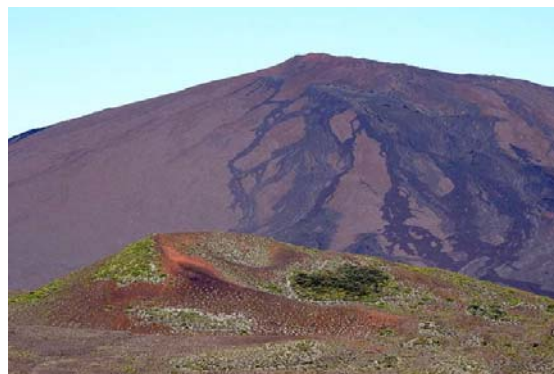
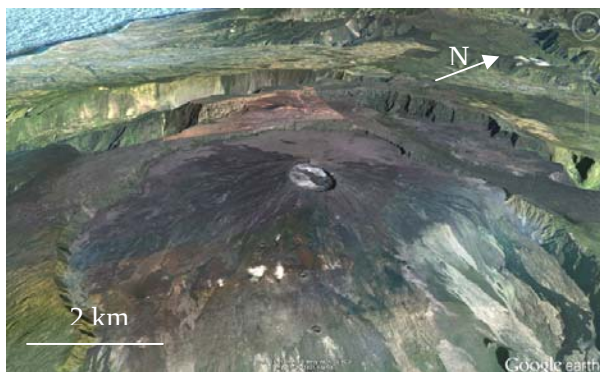
Forages	Profondeur d'eau (mètres)	Epaisseur de sédiments traversés (mètres)	Epaisseur de roche volcanique forée (mètres)	Age de la roche volcanique forée (Ma)
ODP 706	2 320	47	77	33,2 ± 0,5
ODP 713	2 915	155	85	49,3 ± 0,6

- A. Au cours des millions d'années, l'érosion a enlevé plus de 2000 mètres d'épaisseur de roche.
- B. A mesure que le soubassement du plateau volcanique s'est refroidi, il est devenu plus dense et s'est enfoncé, comme un navire que l'on charge.
- C. A mesure que le plancher océanique s'est écarté de l'axe de la dorsale, il s'est refroidi, est devenu plus dense et s'est enfoncé.
- D. Depuis la mise en place de ces plateaux volcaniques, le niveau marin s'est élevé de près de 3000 mètres.

O18. L'île de la Réunion culmine à 3070 m, et constitue le sommet d'un immense édifice volcanique qui repose sur le plancher océanique à 4 km de profondeur. Avec 7 km d'élévation, c'est l'un des plus grands reliefs terrestres, avec l'île d'Hawaï. Le volcan martien **Olympus Mons** (figure 6) mesure 21 km de hauteur et 600 km de diamètre. Comme les volcans de l'île de la Réunion, il a été engendré par un point chaud. Un volcan terrestre pourrait-il atteindre de telles dimensions ? Indiquez la ou les proposition(s) vraisemblable(s) :

- A. Non, car la lithosphère terrestre, à la différence de celle de Mars, est divisée en plaques qui se déplacent par rapport aux points chauds : au cours du temps géologique, le magma n'émerge pas au même point.
- B. Non, car la gravité terrestre est plus forte que celle de Mars et Olympus Mons pèserait plus lourd : une montagne si haute s'affaisserait sous son propre poids, refluant dans les zones profondes de la croûte où les roches sont moins résistantes.
- C. Non, car le flux de chaleur sur Terre est plus important : on atteint plus vite en profondeur la zone où les roches de la croûte deviennent moins résistantes. Cela limite la profondeur maximale des racines des montagnes.
- D. Non, car sur Terre l'érosion est plus intense : l'eau liquide est un agent d'érosion puissant et la forte gravité lui donne encore plus d'efficacité. Les reliefs sont érodés à mesure qu'ils s'élèvent.
- E. Non, car la pression atmosphérique terrestre est 100 fois plus élevée que celle de Mars, et s'opposerait à l'édification d'un tel relief.

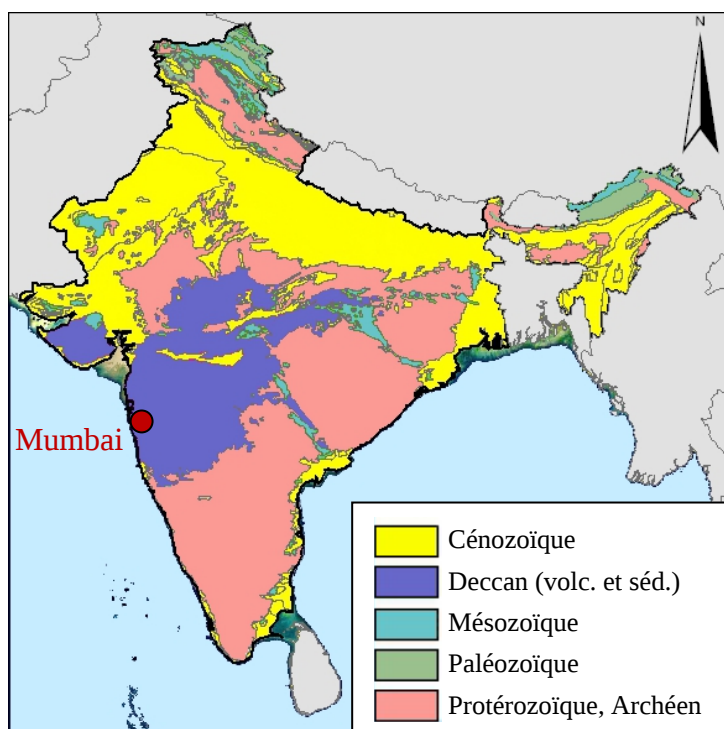
O19. Le piton de la fournaise est le volcan actif de la Réunion. De quel type d'édifice volcanique s'agit-il ? (indiquez la bonne réponse) :



Le piton de la fournaise, à la Réunion : à gauche, vue Google Earth ; à droite, vue depuis le Morne Langevin (B. Navez)

- A. Un dôme, caractérisé par ses laves fluides
- B. Un dôme, caractérisé par ses laves visqueuses
- C. Un volcan-bouclier, caractérisé par ses laves fluides
- D. Un volcan-bouclier, caractérisé par ses laves visqueuses

Les trapps du Deccan



Imaginez la surface de la France, couverte d'un empilement de coulées de lave de 2000 m d'épaisseur ! C'est ce que représentent les « trapps » de la région indienne du Deccan (la majeure partie de l'Inde, au sud de l'Indus et du Gange). Avant d'être réduits par l'érosion et la dérive des continents, ils étaient plus étendus encore : peut être 750 000 km² il y a 65 Ma, à la fin de leur mise en place. Cela ne s'est pas fait en un jour : les éruptions se seraient succédé sur deux millions d'années ; mais chaque grand épisode éruptif pourrait avoir duré moins d'un siècle ! La lave n'a pas construit de volcan, elle se serait épanchée à partir de grandes fissures.

Les IESO 2013 se dérouleront dans l'état du Karnataka, à la limite sud des trapps. Nous allons donc partir à leur découverte.

Figure 1 : Carte géologique de l'Inde (n'est-il pas absurde d'arrêter les informations géologiques ou climatologiques aux frontières...). Les roches volcaniques et sédimentaires des trapps du Deccan sont en mauve.

Composition de 6 roches des trapps du Deccan (% du poids d'oxydes)												AFM		
Nom	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	FeO	H ₂ O	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	A (% Alc.)	F (% Fer)	M (% Mg)
AL 1	13,0	8,8	4,3	7,1	3	0,6	5,6	3,3	0,2	51,4	1,6	18,5	54,8	26,7
AL 2	16,5	7,2	2,6	8,6	1,1	0,5	6,2	3,5	0,3	52,0	2	18,8	52,2	29,0
AL 3	15	10	8,4	3	3	0,5	6,7	2,8	0,4	47,4	1,9	15,8	53,1	31,1
AL 4	15	9,4	5,4	5	2,6	0,4	12,5	2,7	0,3	45,2	1,7	12,2	39,8	48,0
AL 5	16,5	9,1	4,4	4,5	2	0,3	6,1	2,9	0,2	51,7	2,0	17,6	48,7	33,7
AL 6	15	9,1	4,7	4,8	2,9	0,3	10,1	2,6	0,3	47,8	1,9	13,2	42,1	44,7

Table 1 : Composition chimique de 6 roches volcaniques du Deccan (en % pondéral d'oxydes).



Figure 2 (à gauche) : ces collines des Ghats occidentaux, près de Mumbai, font partie des trapps du Deccan. Notez les coulées volcaniques quasi-horizontales qui constituent les plateaux (©Nichalp).

Figure 3 (droite) : une roche avec des phénocristaux géants à Thalghat (100 km au Nord-Est de Mumbai).

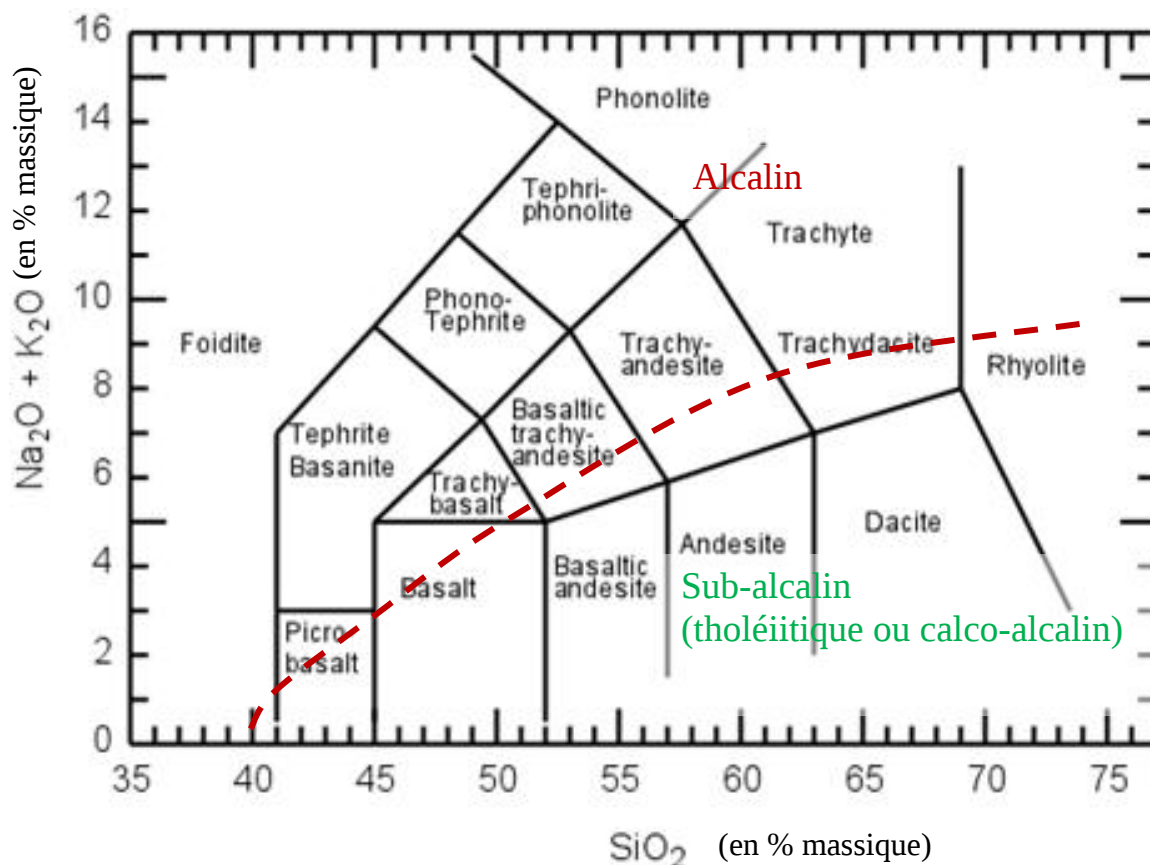


Figure 4 : Diagramme alcalins-silice pour la classification des roches volcaniques : il permet de distinguer les roches des lignées alcalines et sub-alcalines. Ces dernières peuvent correspondre aux lignées calco-alcaline ou tholéiitique : le diagramme AFM est nécessaire pour les différencier.

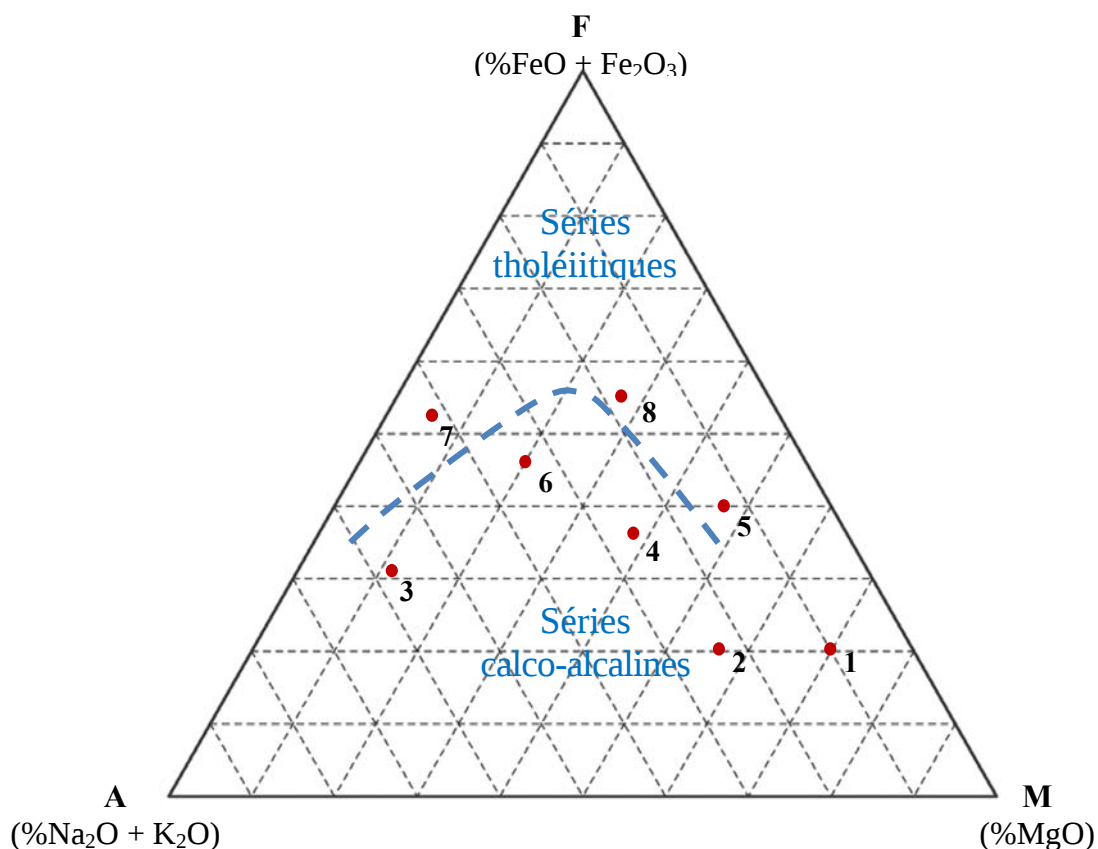


Figure 5 : diagramme AFM : il permet de distinguer les roches volcaniques des lignées tholéiitiques et calco-alcalines, parmi les roches subalcalines.

TD1. Comment interpréter la zone de roches cénozoïques au nord de l'Inde (en jaune sur la figure 1) ? Indiquez la réponse la plus vraisemblable :

- A. Pendant que des sédiments cénozoïques se déposaient au nord de l'Inde, des sédiments protérozoïques se déposaient au sud de l'Inde.
- B. La partie nord de l'Inde s'est soulevée, et l'érosion a fait disparaître la couverture sédimentaire protérozoïque.
- C. Dans la partie sud de l'Inde, les roches du Cénozoïque ont été recouvertes par des dépôts marins du Protérozoïque et de l'Archéen.
- D. La chaîne de l'Himalaya s'est formée au Cénozoïque, et les sédiments arrachés aux montagnes se sont accumulés dans un bassin d'avant-pays au nord.

TD2. (3 pts)** Des roches volcaniques ont été prélevées dans le sud des trapps du Deccan, au sud de Mumbai (figures 1 et 2). Elles sont représentatives des roches majoritaires dans les trapps. La Table 1 donne leur composition chimique. A l'aide du diagramme alcalins-silice (figure 4) et du diagramme AFM (figure 5), identifiez la nature de ces roches. Indiquez la bonne réponse :

- A. Trachy-andésites calco-alcalines
- B. Andésites calco-alcalines
- C. Basaltes tholéitiques
- D. Basaltes calco-alcalins
- E. Andésites basaltiques tholéitiques

TD3. Indiquez si les points suivants, sur la figure 5, comptent parmi ceux qui vous ont permis de répondre à la question précédente (indiquez la bonne réponse) :

- A. Points 2 et 4
- B. Points 4 et 6
- C. Points 3 et 6
- D. Points 1 et 5
- E. Points 5 et 8
- F. Points 7 et 8

TD4. La roche de la figure 3 se rencontre en de rares endroits des trapps. Que pouvez-vous affirmer à son sujet (indiquez la ou les proposition(s) vraisemblable(s)) :

- A. Les cristaux visibles sur l'image ont crû lentement, dans une chambre magmatique en profondeur, avant d'être apportés en surface par une éruption.
- B. Ces cristaux et la pâte qui les entoure doivent avoir la même composition chimique.
- C. Il peut s'agir de cristaux d'un minéral ferro-magnésien (pyroxène).
- D. Il peut s'agir de cristaux de feldspaths (plagioclases).
- E. Cette roche est une roche plutonique.

TD5. Exposées aux précipitations intenses (voir la figure 1 page 18), et sous un climat chaud, ces roches volcaniques vont s'altérer. Leurs minéraux silicatés sont hydrolysés plus ou moins complètement. L'anorthite ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) est l'un des minéraux des roches du tableau 1. Son hydrolyse complète donne :



L'ion bicarbonate HCO_3^- produit par l'hydrolyse se retrouve dans l'eau des rivières qui drainent les trapps. On l'a dosé dans le haut cours de la rivière Tapti, où toutes les roches ont la composition du tableau 1. Calculez la quantité de CO_2 atmosphérique que l'altération des silicates « pompe » chaque année par mètre carré de roche exposée dans le bassin versant du Tapti. Indiquez la ou les bonne(s) réponse(s) :

A. $6,149 \text{ mol.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$

B. $1,318 \text{ mol.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$

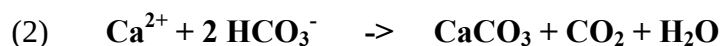
C. $2,847 \cdot 10^{10} \text{ mol.m}^{-1}$

D. $0,162 \text{ m}^2.\text{mol}^{-1}$

E. Avec cette valeur calculée, on surestime la valeur réelle, car une partie du carbone des ions HCO_3^- provient de la roche elle-même.

Tableau 2 : Le Tapti (confluent Purna)	
Débit de la rivière Tapti	$4,63 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{an}$
Surface du bassin versant	10^{10} m^2
$[\text{HCO}_3^-]$	$2,847 \text{ mol/m}^3$

TD6. Les eaux qui drainent les trapps du Deccan se déversent dans le golfe du Bengale ou en mer d'Arabie. Là, les ions Ca^{2+} et HCO_3^- apportés par les fleuves peuvent donner une sédimentation carbonatée :



Quel est le bilan de cet ensemble de réactions ? Indiquez la bonne réponse :

A. Le bilan d'une mole d'anorthite hydrolysée et d'une mole de carbonate de calcium précipitée dans l'océan est : une mole de CO_2 atmosphérique pompée.

B. Le bilan d'une mole d'anorthite hydrolysée et d'une mole de carbonate de calcium précipitée dans l'océan est : deux moles de CO_2 atmosphérique pompées.

C. Le bilan d'une mole d'anorthite hydrolysée et d'une mole de carbonate de calcium précipitée dans l'océan est : une mole de CO_2 atmosphérique libérée.

D. Le bilan de l'hydrolyse de l'anorthite et de la précipitation du carbonate de calcium est nul pour le CO_2 atmosphérique

TD7. Les éruptions qui ont donné naissance aux trapps du Deccan pourraient avoir eu d'importants effets sur le climat. Quels ont pu être ces effets ? (tableau 3 et figure 6 page suivante) Indiquez la ou les proposition(s) vraisemblable(s) :

A. A très court terme (siècle), refroidissement de quelques dixièmes de degrés en raison du SO_2 libéré (les aérosols de H_2SO_4 dans la stratosphère diminuent l'albédo).

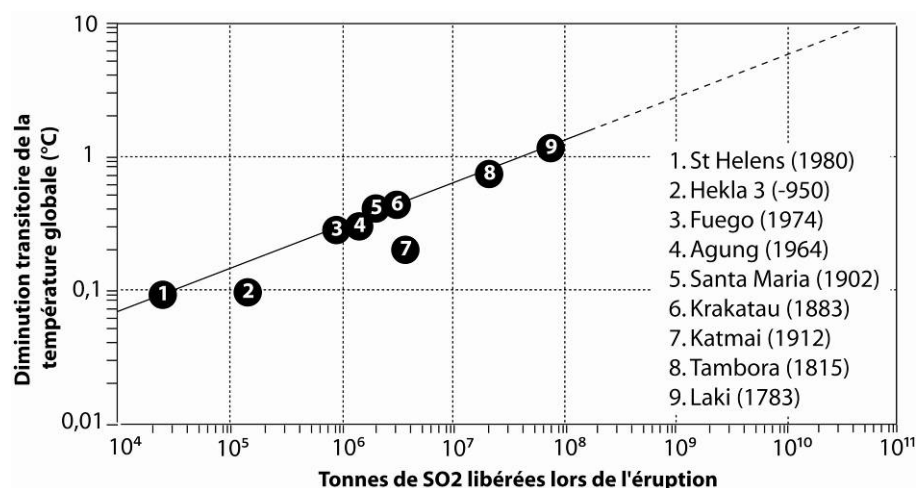
B. A très court terme (siècle), refroidissement de quelques degrés en raison du SO_2 libéré (les aérosols de H_2SO_4 dans la stratosphère augmentent l'albédo).

C. A court terme (dizaines à centaines de milliers d'années), réchauffement par augmentation de l'effet de serre due à la quantité importante de SO_2 libérée dans l'atmosphère.

D. A court terme (dizaines à centaines de milliers d'années), réchauffement par augmentation de l'effet de serre due à la quantité importante de CO_2 libérée dans l'atmosphère.

E. A plus long terme (quelques millions d'années), diminution de l'effet de serre : l'altération des roches volcaniques exposées sur l'immense surface des Trapps pompe du CO_2 .

F. Aucun effet : chaque mole de CO_2 libérée par une éruption est immédiatement pompée par l'altération des laves fraîchement émises.



Gaz	Quantité de gaz émis (gigatonnes)	
	Par éruption	Total
SO ₂	20 (5 à 110)	812
CO ₂	41 (11 à 220)	1691

Figure 6 : Relation entre la masse de dioxyde de soufre libérée par différentes éruptions volcaniques historiques et les variations transitoires de la température globale (sans les barres d'erreur !).

Tableau 3 : Estimation des masses de gaz émis lors des éruptions des trapps du Deccan (Chenet *et al.*, 2009)

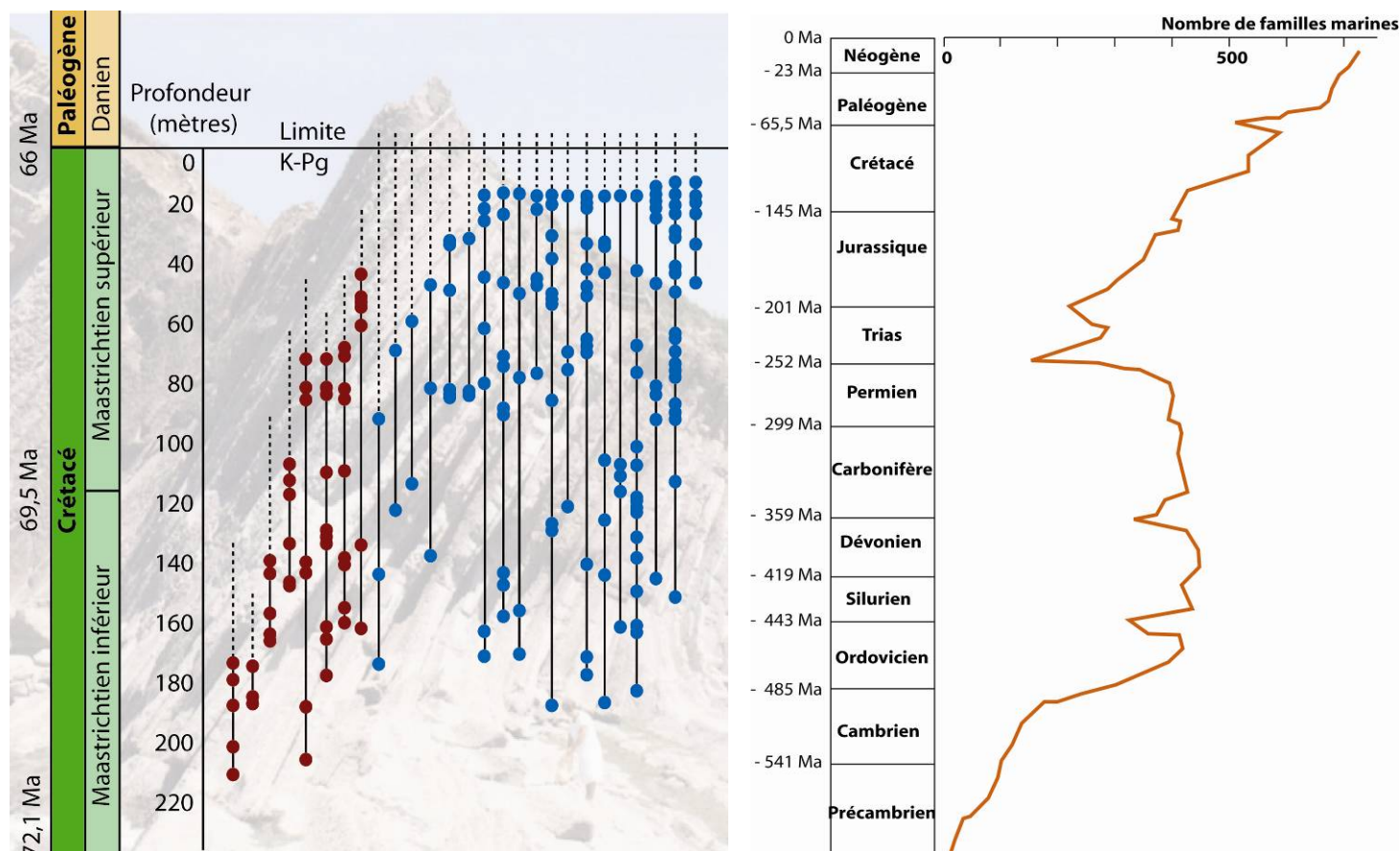


Figure 7 (à gauche) : Biostratigraphie des ammonites de la fin du Crétacé dans la falaise de Zumaia, au pays basque espagnol. Chaque colonne représente une espèce, chaque point un fossile. La fossilisation est un événement rare, ce qui limite notre connaissance de la durée d'existence des espèces. Il est très peu probable que le fossile le plus récent que l'on découvre soit le dernier représentant de l'espèce ! Les paléontologues doivent donc estimer la durée d'existence de l'espèce après le dernier fossile découvert (en pointillés). En rouge, les espèces d'ammonites dont les paléontologues estiment qu'elles se seraient éteintes avant la limite K-Pg.

Figure 8 (à droite) : Evolution de nombre de familles d'animaux marins connus par des fossiles au cours des temps géologiques.

TD8. Il y a 66 Ma, à la limite entre le Crétacé (K) et l'ère Tertiaire (T) (aujourd'hui : Crétacé-Paléogène, K-Pg), la biosphère a subi une extinction en masse (figures 7 et 8, page précédente). Parmi les victimes les plus connues figurent les dinosaures (à l'exception des oiseaux...), les ammonites et de nombreuses espèces planctoniques dont la disparition des microfossiles, partout dans le monde, marque la limite K-T. Parmi les affirmations suivantes au sujet de cette crise K-T, indiquez la ou les proposition(s) correcte(s) :

- A. Les trilobites figurent aussi parmi les victimes de la crise K-T.
- B. La crise K-T est la plus sévère des extinctions en masse (en proportion de familles disparues)
- C. Pour les groupes affectés, la crise est soudaine : les extinctions d'espèces sont simultanées à l'échelle des temps géologiques.
- D. Comme le registre fossile est incomplet, une extinction soudaine peut sembler graduelle.

TD9. On a découvert un peu partout dans le monde, dans la couche marquant la limite K-T, une teneur anormalement élevée en iridium, un métal très rare dans la croûte terrestre. Ceci a constitué un argument pour attribuer la crise K-T à l'impact d'une météorite géante. On a découvert par la suite à Chicxulub (péninsule du Yucatan, Mexique) un cratère de 180 km de diamètre, formé par l'impact d'un corps d'au moins 10 km de diamètre. L'impact est contemporain de la limite K-T, à 30 000 ans près.

Parmi les affirmations suivantes, indiquez la ou les proposition(s) vraisemblable(s) :

- A. La teneur en iridium dans la couche de transition K-T ne s'explique de façon satisfaisante que par une origine extraterrestre : elle ne peut avoir une origine volcanique.
- B. L'extinction en masse a été causée, soit par le volcanisme du Deccan, soit par un impact de météorite.
- C. Les effets du volcanisme du Deccan et de l'impact d'une météorite se seraient conjugués, avec d'autres facteurs comme une forte régression marine, sur des échelles de temps différentes.
- D. Un impact de météorite n'aurait pas eu d'impact climatique.
- E. Du fait de la disparition de nombreuses espèces planctoniques au test carbonaté, on s'attend à trouver, à la limite K-T, une couche plus argileuse que marneuse.
- F. Du fait de la disparition de nombreuses espèces planctoniques au test carbonaté, on s'attend à trouver, à la limite K-T, une couche plus marneuse qu'argileuse.

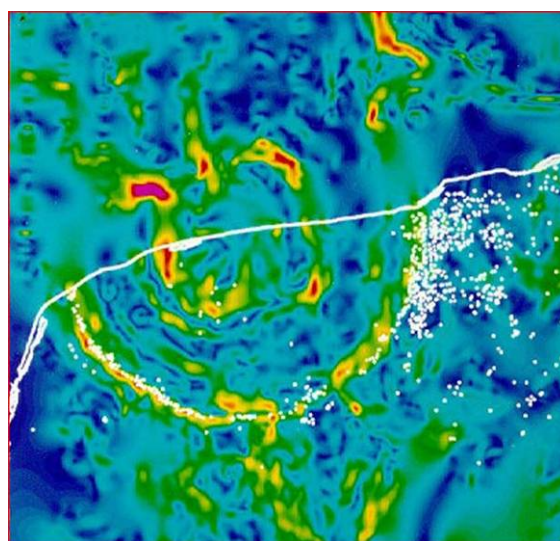
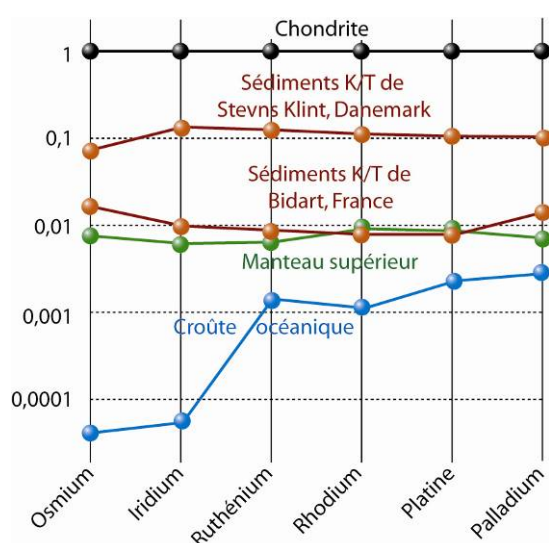


Figure 9 (à gauche) : Abondances relatives d'éléments métalliques rares pour deux couches K/T, ainsi que pour le manteau et la croûte océanique, par rapport à la composition d'une chondrite (abondances fixées à 1)

Figure 10 (à droite) : La carte des anomalies de gravité de la côte du Yucatan, au Mexique, révèle le cratère de Chicxulub, enfoui sous 1000 mètres de sédiments (180 km de diamètre).

La mousson

Chaque année, à partir de juin-juillet, un déluge s'abat sur l'Inde, après des mois de sécheresse. C'est la mousson d'été (mousson humide).

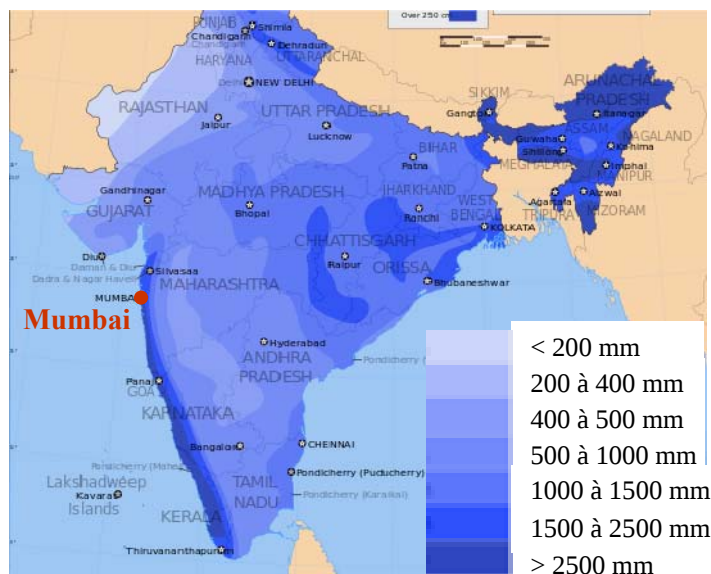


Figure 1 : Pluviométrie de l'Inde (cumul annuel moyen, en mm)

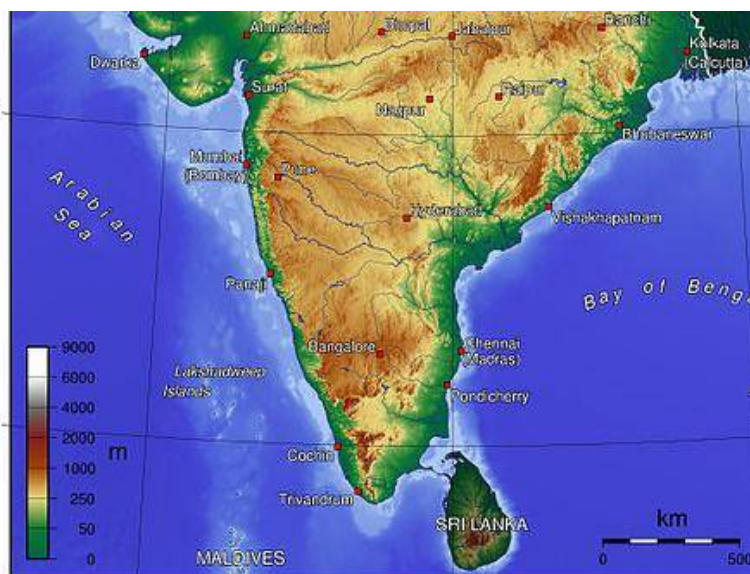


Figure 2 : Topographie de l'Inde. Sur les côtes, une ceinture de collines (les Ghats) borde le plateau central.

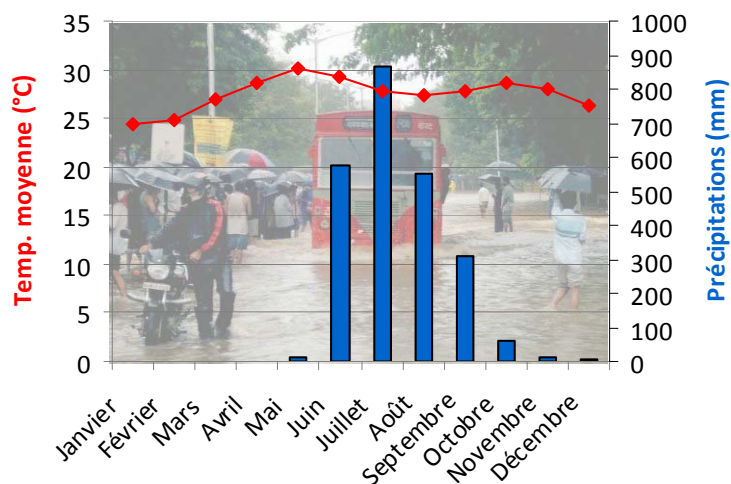


Figure 3 (ci-dessus) : Climat de Mumbai, sur la côte Ouest.

Figure 4 (ci-contre) : Réseau hydrographique de l'Inde.

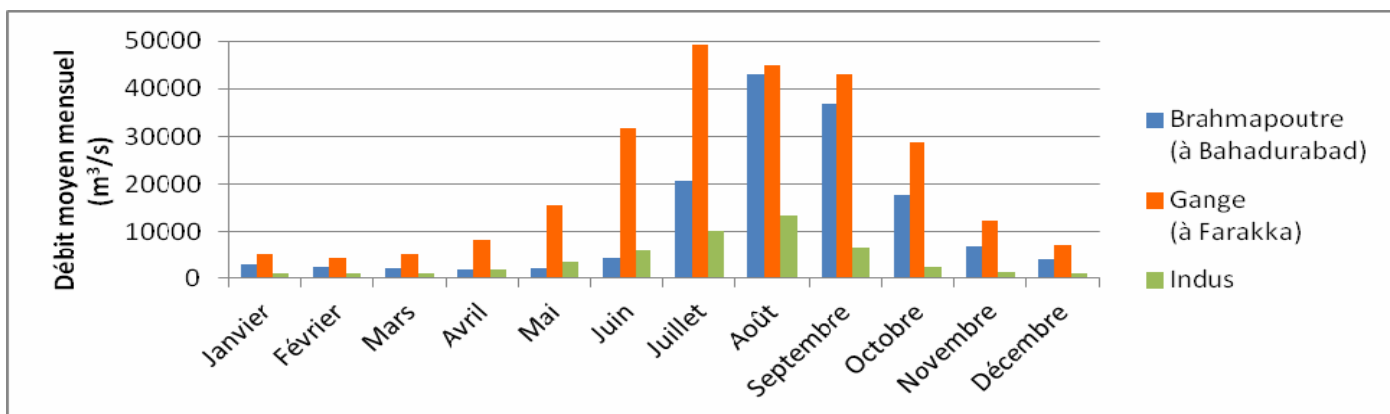
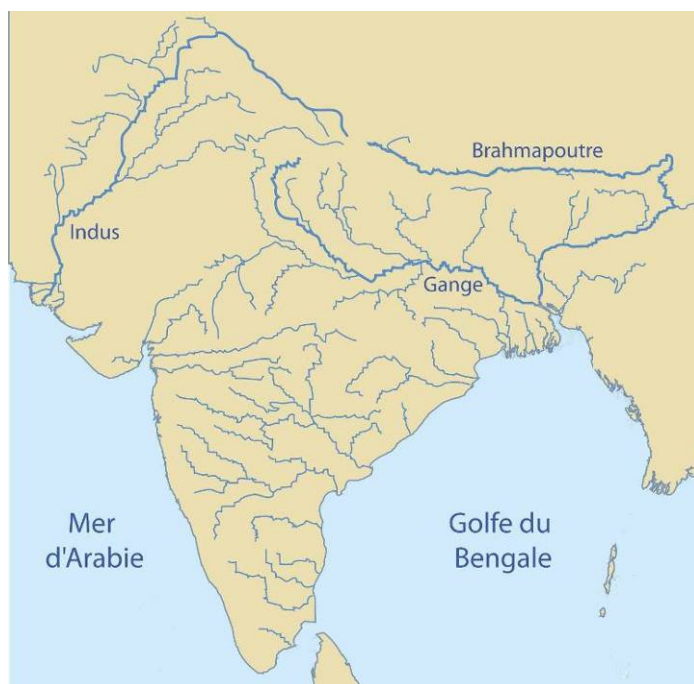
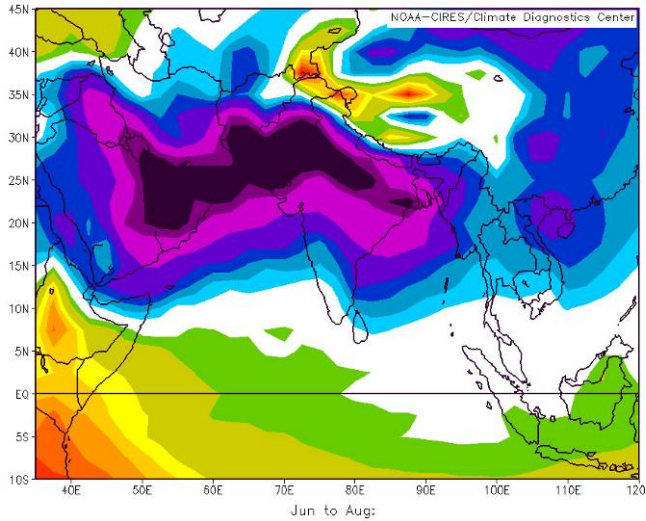


Figure 5 : Débits moyens mensuels du Brahmapoutre, du Gange (avant leur confluence) et de l'Indus.

Pression au niveau de la mer (mbar)



Température à 1000 mbar (°C)

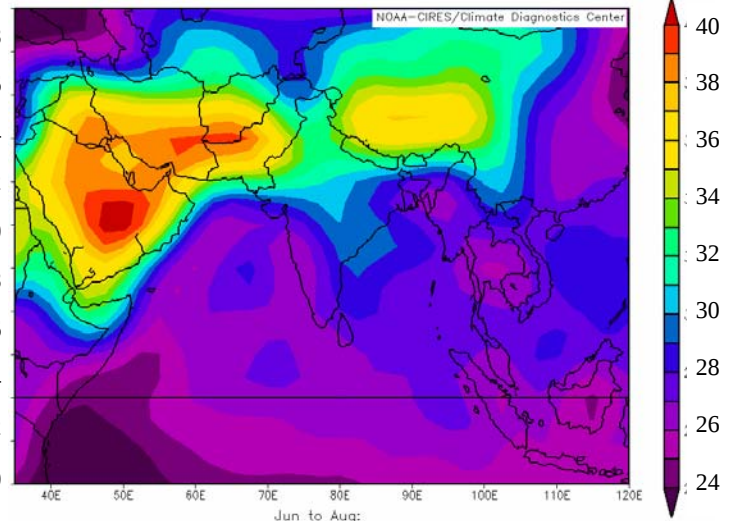


Figure 6 : Température et pression estivales (moyenne de juin à août) au niveau de la mer - moyennes sur 30 ans (source : NOAA).

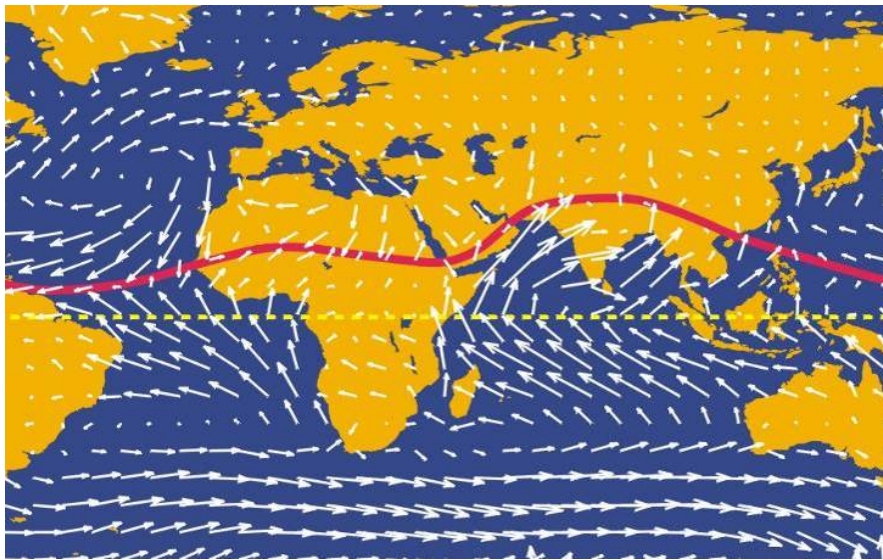


Figure 7 : Régime moyen des vents de surface au mois de juillet (moyenne sur 30 ans)



Figure 8 : Champ moyen de vent à 200 hPa, de juin à septembre. Les grandes barbulles représentent 10 nœuds (5,5 m/s), les petites 5 nœuds.

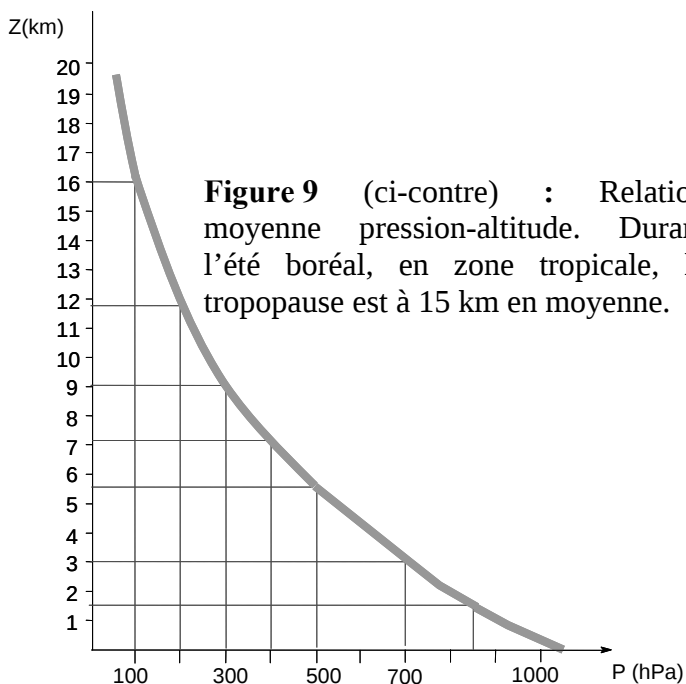


Figure 10 : Type de nuages observé pendant la mousson d'été au dessus de la côte ouest indienne.

MO1. Expliquez le régime des vents de surface sur la côte ouest indienne lors de la mousson d'été (figures 6 et 7). Entourez la ou les proposition(s) vraisemblable(s) :

- A. L'échauffement du continent asiatique en été, plus rapide que celui de l'océan, crée de l'air chaud ascendant, et donne une zone de basses pressions où l'air océanique est aspiré.
- B. En été, les alizés de l'hémisphère sud franchissent l'équateur pour rejoindre la zone de convergence intertropicale (ZCIT), qui a migré au nord. Déviés par la force de Coriolis, ils deviennent des vents de Sud-ouest.
- C. Les vents viennent du Sud-ouest en été, car ils sont issus de la zone de divergence intertropicale (ZDIT), centrée sur l'équateur, où l'air subsident diverge de part et d'autre de l'équateur.
- D. En été, les vents arrivent du Sud-ouest sur l'Inde, car ils s'enroulent dans le sens des aiguilles d'une montre autour d'un puissant anticyclone centré sur le sud de l'Inde.

MO2. La figure 8 représente le vent moyen à 200 hPa, de juin à septembre. Que pouvez-vous affirmer à propos de ce champ de vent (figures 8 et 9) ? Entourez la ou les proposition(s) vraisemblable(s) :

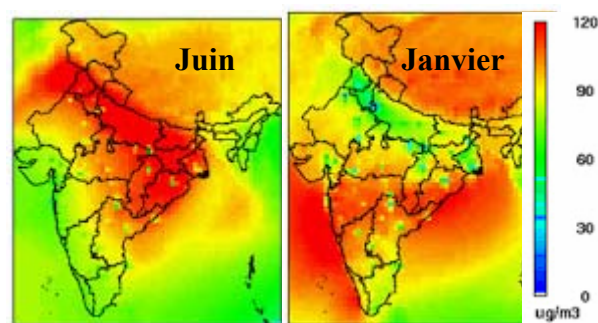
- A. Ce sont des vents d'Est au dessus de l'Inde du Sud.
- B. Les vents les plus forts atteignent 11 m/s.
- C. Ces vents soufflent dans la stratosphère.
- D. Cette circulation suppose l'existence d'un anticyclone d'altitude au nord-est de l'Inde.
- E. Cette circulation suppose l'existence d'une dépression d'altitude au nord-est de l'Inde.

MO3. Expliquez la pluviométrie de la côte Ouest indienne (figures 1 à 3, 7, 10). Indiquez la bonne réponse :

- A. En été, les neiges éternelles au sommet des reliefs côtiers refroidissent l'air océanique humide, faisant condenser la vapeur d'eau.
- B. En été, les vents d'Est en basse couche apportent de l'air froid de l'Himalaya sur la côte Ouest ; à son contact, l'air océanique humide précipite.
- C. Au contact de l'air océanique froid et sec, l'air chaud et humide formé au dessus des jungles indiennes plus à l'Est précipite.
- D. En été, le flux de sud-ouest d'air océanique humide s'élève au dessus des premiers reliefs côtiers (Ghats) : l'air se refroidit à mesure qu'il s'élève et son eau précipite.

MO4. Que pouvez-vous affirmer au sujet du nuage de la figure 10 ? Indiquez la ou les bonne(s) réponse(s) :

- A. Ce nuage est un stratus.
- B. Ce nuage est un cumulonimbus
- C. Ce nuage est un cirrus
- D. Ce nuage se forme par des mouvements verticaux de l'air.
- E. Le sommet de ce nuage peut atteindre la tropopause.
- F. Ce nuage ne peut pas donner de fortes précipitations



MO5. Les images ci-dessus présentent les résultats d'un modèle de prédiction de l'ozone troposphérique en Inde. Indiquez la ou les bonne(s) réponse(s) :

- A. Les niveaux d'ozone élevés protègent les indiens des ultraviolets.
- B. Les niveaux d'ozone sont plus forts en été car le rayonnement ultraviolet est plus intense.
- C. Les variations saisonnières de la répartition de l'ozone reflètent les déplacements des activités humaines.
- D. Les vents de sud-ouest chassent les oxydes nitreux à l'origine de l'ozone troposphérique en été et déplacent le maximum d'ozone vers le nord-ouest de l'Inde.
- E. Les maximums d'ozone sont forcément observés au dessus des grandes cités.

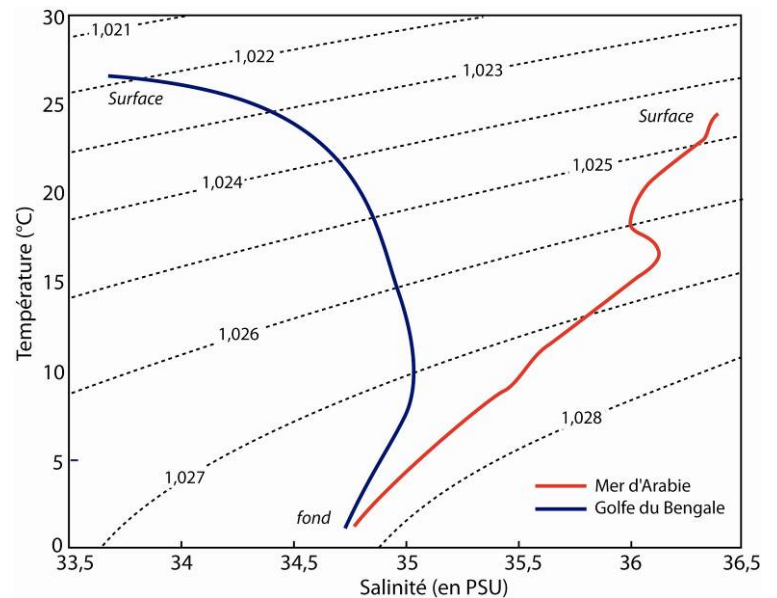
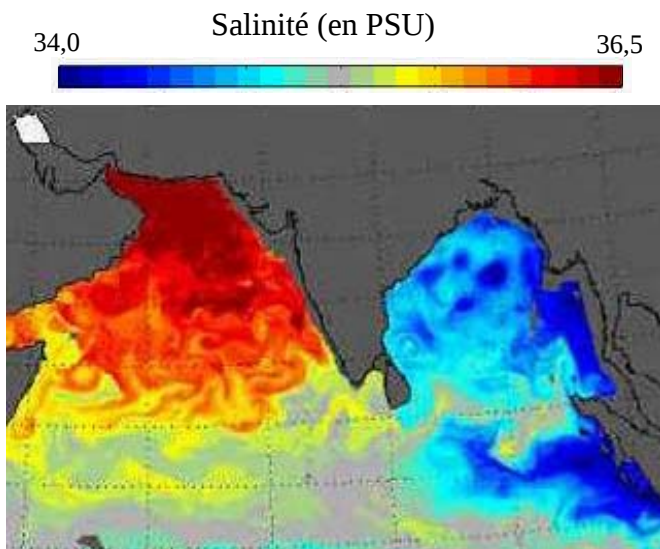


Figure 11 (à gauche) : Prédiction de salinité à 100m du modèle Mercator-Océan le 29 avril 2008.

Figure 12 (à droite) : 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.

MO6. La mer d'Arabie et le golfe du Bengale ne sont séparés que par l'Inde, et pourtant leurs salinités sont très différentes (figures 1 à 5 et figure 11) ! Indiquez la ou les proposition(s) vraisemblable(s) :

- A. Les pluies de mousson, qui arrivent par l'Ouest en Inde, enrichissent la mer d'Arabie en sels car les nuages se sont formés à partir d'eau de mer.
- B. La mer d'Arabie est bordée par des zones continentales très arides.
- C. La mer d'Arabie est alimentée par la mer rouge et le golfe persique, bassins fermés et étroits, aux rivages désertiques, où l'évaporation est intense et l'eau sursalée.
- D. La mer d'Arabie reçoit plus d'énergie solaire, en raison de sa latitude plus basse ; l'évaporation y est donc plus intense.
- E. Une grande partie de l'eau qui arrose l'Inde finit dans le golfe du Bengale, car la ligne de partage des eaux est très proche de la côte Ouest.
- F. Les grands fleuves du sous-continent indien apportent plus d'eau douce dans le golfe du Bengale qu'en mer d'Arabie.

MO7. Les profils moyens des eaux de la mer d'Arabie et du Golfe du Bengale sont reportés sur le diagramme Température – Salinité (figure 12). Que pouvez-vous affirmer ? Indiquez la ou les proposition(s) vraisemblable(s) :

- A. La densité de l'eau augmente avec la profondeur.
- B. Les eaux de surface de la mer d'Arabie sont moins denses que celles du Golfe du Bengale.
- C. A toutes les profondeurs, les eaux de la mer d'Arabie sont plus denses que celles du golfe du Bengale.
- D. A toutes les profondeurs, les eaux de la mer d'Arabie sont plus salées que celles du golfe du Bengale.
- E. Au sud de l'Inde, où les eaux de la mer d'Arabie et du golfe du Bengale se mélangent, les eaux de surface de la mer d'Arabie doivent plonger sous celles du golfe du Bengale.