

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 13 pages numérotées de 1 à 13 et une annexe format A3 à rendre avec la copie.

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 des processus tsunamigènes et risque Tsunami

Ce sujet est constitué de deux thèmes principaux indépendants, eux mêmes organisés en sous parties indépendantes.

- 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] **Dziewonski et Anderson (1981)**
Preliminary reference Earth model– *Physics of the Earth and Planetary Interiors* (données : RockHound Python)
- [2] **Fei et Bertka (1999)**
Phase transitions in the Earth's mantle and mantle mineralogy– *Geochemical Society, Houston*
- [3] **Froger et al. (2015)**
Time-dependent displacements during and after the April 2007 eruption of Piton de la Fournaise, revealed by interferometric data– *Journal of Volcanology and Geothermal Research*
- [4] **Froger et al. (2016)**
The March–April 2007 Eruptions of Piton de la Fournaise as Recorded by Interferometric Data– *Active Volcanoes of the Southwest Indian Ocean : Piton de la Fournaise and Karthala*
- [5] **Hiratsuka et Sato (2011)**
Alteration of stress field brought about by the occurrence of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Mw 9.0)– *Earth, Planets and Space*
- [6] **Kelfoun et al. (2010)**
Landslide-generated tsunamis at Réunion Island– *Journal of Geophysical Research*
- [7] **Sato et al. (2013)**
Interplate coupling off northeastern Japan before the 2011 Tohoku-oki earthquake, inferred from seafloor geodetic data– *Journal of Geophysical Research : Solid Earth*
- [8] **Michon (2017)**
Dépôt d'avalanches de débris du Cap La Houssaye– *Rapport Technique, Université de La Réunion.*
- [9] **Obayashi et al. (2011)**
Finite frequency whole mantle P wave tomography : Improvement of subducted slab images.– *Geophysical Research Letters*
- [10] **Oehler (2005)**
Les déstabilisations de flanc des volcans de l'île de La Réunion (Océan Indien) : Mise en évidence, implications et origines– *Thèse de doctorat*
- [11] **Oehler et al. (2008)**
Growth and collapse of the Reunion Island volcanoes– *Bulletin of Volcanology*
- [12] **Paris (2015)**
Source mechanisms of volcanic tsunamis– *Philosophical Transactions of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences*
- [13] **GEO (2011)**
Event Supersite Sendai– www.earthobservations.org/gsnl_es_sendai.php

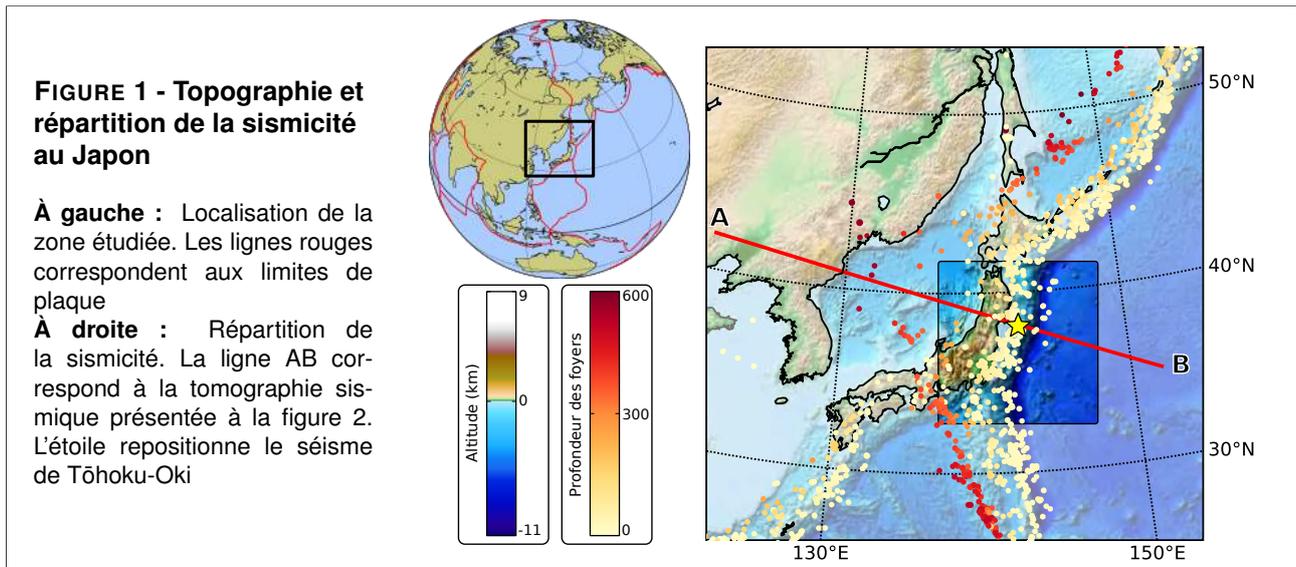
Thème 1 – Rebond élastique lors du séisme de Tōhoku-Oki

Le 8 mars 2011, le Japon a connu un séisme de magnitude 9, ayant généré un tsunami à l'origine de la catastrophe de la centrale nucléaire de Fukushima. On cherche à déterminer les causes de ce séisme et ses conséquences à court terme.

1.1 Contexte géologique du Japon

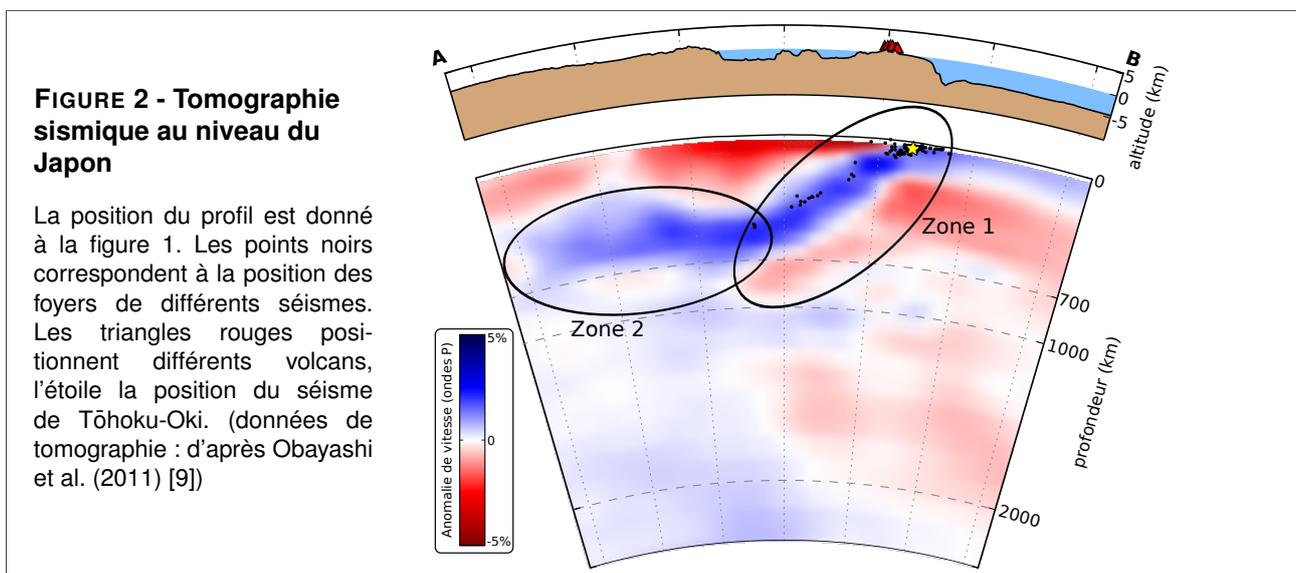
Question 1

- Donnez une définition brève de foyer et épicentre d'un séisme ;
- À partir d'arguments tirés de la figure 1, précisez quel est le contexte géodynamique du Japon.



Question 2

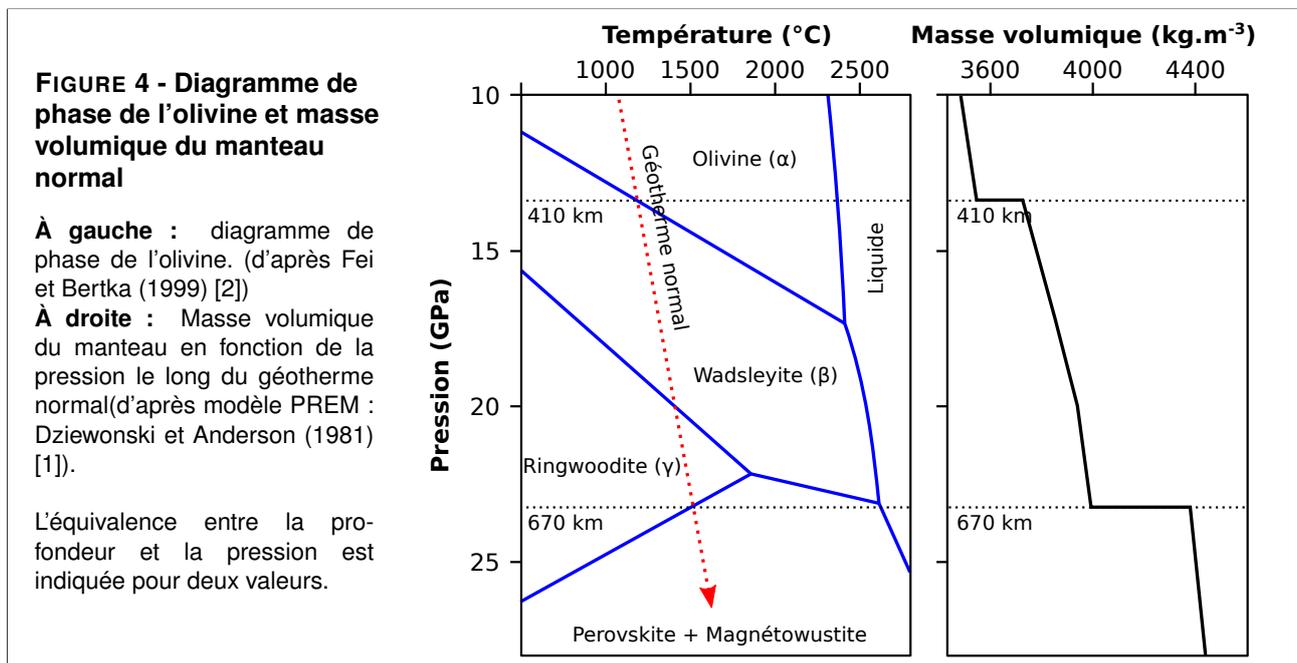
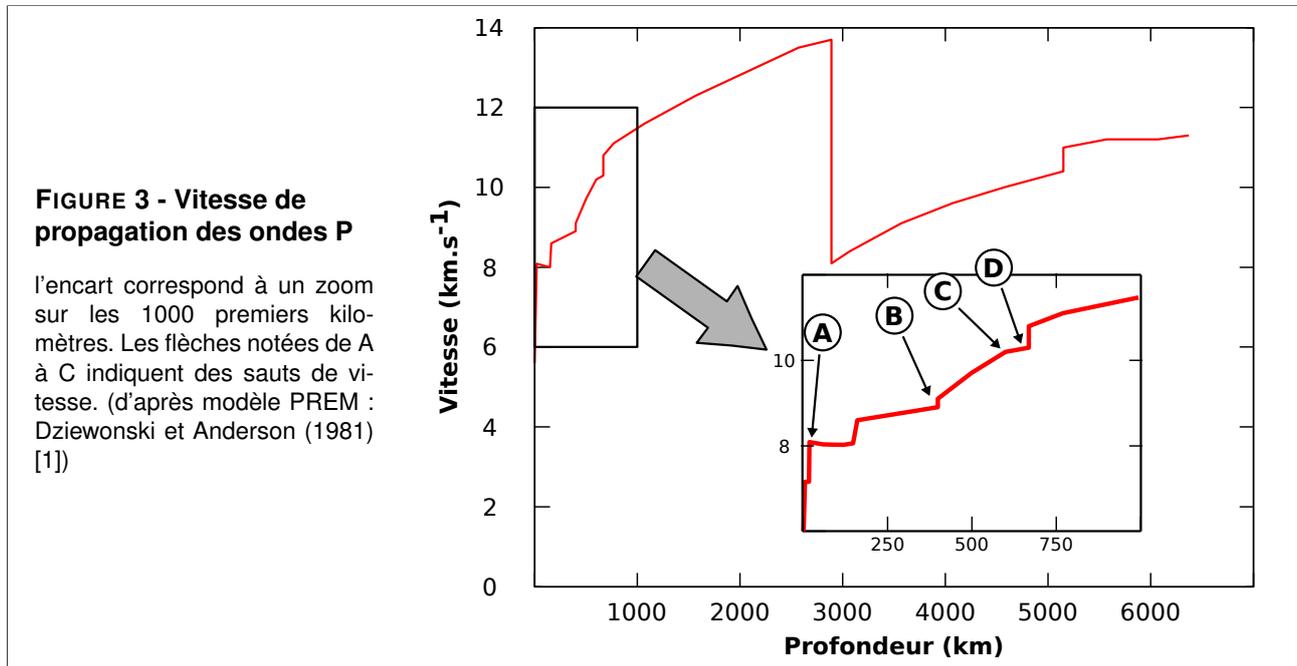
- Donnez le nom de l'alignement des foyers des séismes visibles sur la figure 2 ;
- En vous basant sur une présentation succincte des principes de la tomographie sismique, expliquez pourquoi les anomalies de vitesse sont exprimées en % ;
- Quelle interprétation thermique fait-on généralement d'une anomalie positive de vitesses ?
- Sur la figure 2, interprétez les anomalies de vitesse de la zone 1. (La zone 2 sera étudiée après)



La figure 3 montre un profil de vitesse de propagation des ondes P. Plusieurs discontinuités sont visibles sur ce profil de vitesse. La figure 4 donne le diagramme de phases de l'olivine.

Question 3

À partir de vos connaissances et de l'interprétation de la figure 4, expliquez la cause des sauts de vitesse **A**, **B**, **C** et **D** mis en évidence sur le profil de vitesse des ondes P de la figure 3.



Question 4

Sur la copie de la figure 4 donnée sur l'annexe A3 :

- dessinez approximativement le géotherme d'une lithosphère plongeante sur le diagramme de phase ;
- indiquez sous quelle phase doivent être les olivines de lithosphère plongeante à 410 km de profondeur et à 670 km de profondeur ;
- dessinez approximativement la courbe de la relation entre la pression et la masse volumique pour une lithosphère plongeante.

Question 5

À partir de vos conclusions précédentes, interprétez maintenant la zone 2 mise en évidence sur la tomographie de la figure 2.

1.2 Déformation de la lithosphère lors du séisme de Tōhoku-Oki

La déformation au cours du séisme de Tōhoku-Oki a été suivie de manière continue grâce au réseau de stations GNSS (GPS) déployé sur l'ensemble du territoire.

Question 6

À partir de l'analyse de la figure 5 :

- montrez que le Japon est mis en compression durant la période intersismique, et proposez une cause à cette mise en compression ;
- comparez et expliquez les déplacements durant les deux phases (inter et co-sismique).

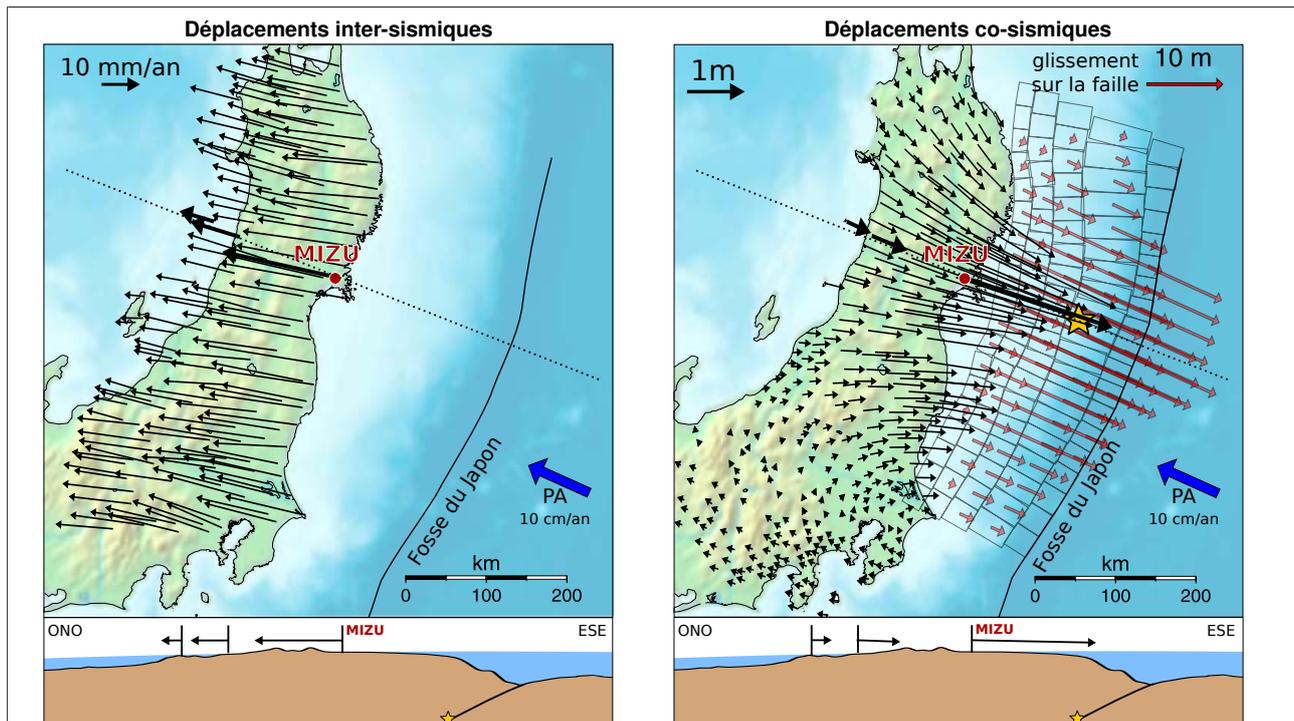


FIGURE 5 - Déplacements horizontaux inter et cosismiques lors du séisme du 8 mars 2011 (données GPS)

À gauche : Déplacements intersismiques de mars 2001 à février 2011. Les vecteurs indiquent la vitesse moyennée sur 10 ans pour les stations GPS, durant les périodes entre les séismes. (d'après Sato et al. (2013) [7])

À droite : Déplacements dus au séisme de Tōhoku-Oki du 8 mars 2011. Les vecteurs en noir représentent les déplacements cumulés de chaque station GPS du 8 mars 2011 au 11 mars 2011. Les vecteurs en rouge représentent le glissement de la lithosphère continentale le long de la faille, déduit à partir des données GPS, en utilisant un modèle de déformation. Ce modèle discrétise le plan de glissement en rectangles unitaires (en noir) et calcule pour chaque rectangle la direction et la quantité de glissement permettant d'expliquer les données. (d'après Hiratsuka et Sato (2011) [5])

À gauche et à droite : 3 vecteurs sont mis en évidence et sont projetés le long d'un profil orienté ONO/ESE passant par le foyer du séisme. La flèche bleue indique le mouvement absolu de la plaque pacifique.

Question 7

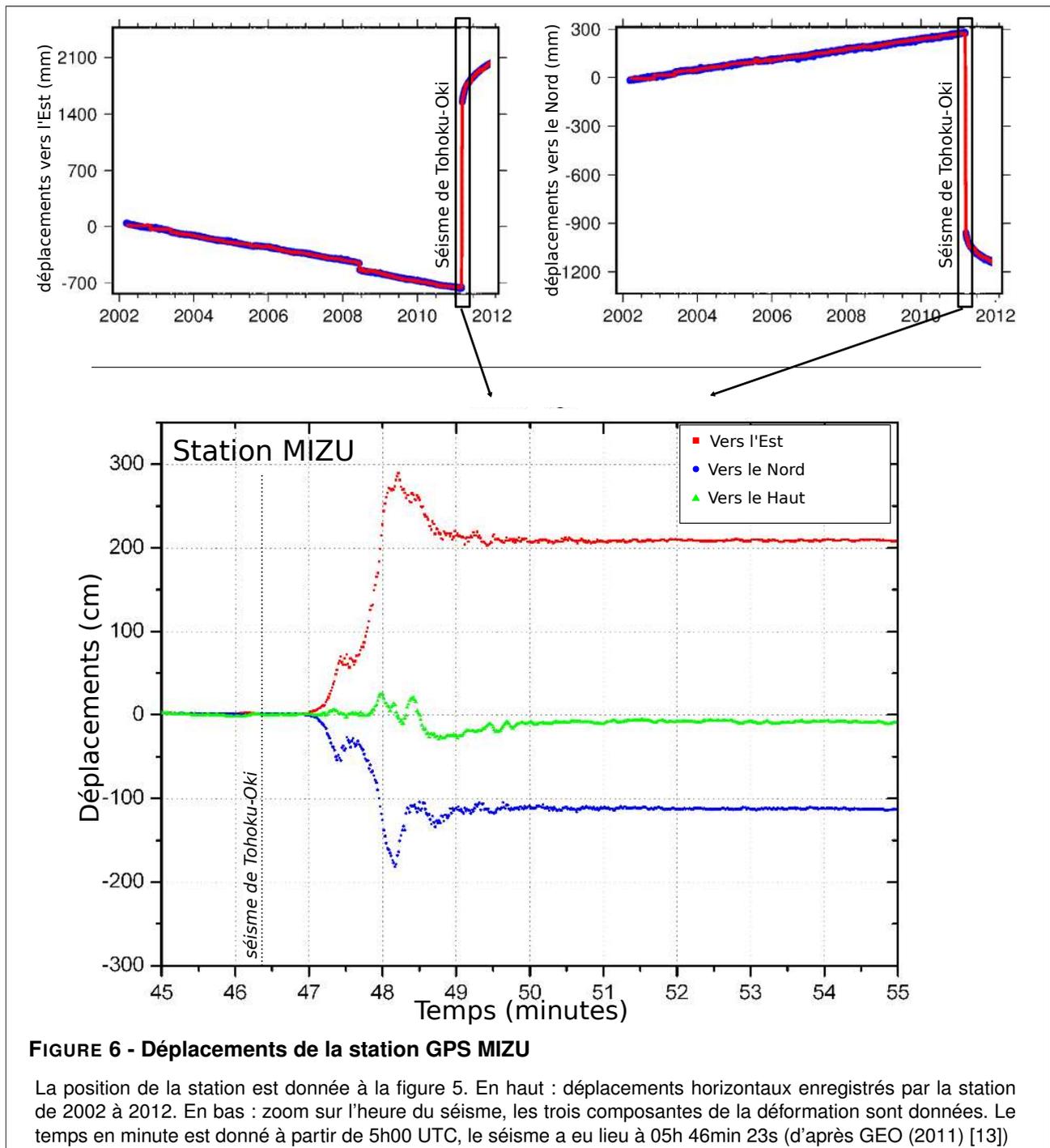
On met une éprouvette de roche sous contrainte, puis on relache les contraintes. Sur le diagramme contrainte / déformation donné sur l'**annexe A3** :

- représentez le trajet suivi par une roche ayant un comportement purement élastique ;
- représentez le trajet suivi par une roche ayant un comportement élasto-plastique.

Question 8

En vous basant sur les figures 5 et 6 :

- expliquez pourquoi les séismes du type de ceux de Tōhoku-Oki sont parfois qualifiés de "Rebond élastique" ;
- expliquez en quoi ce modèle peut être abusif.



1.3 Conséquences du séisme de Tōhoku-Oki

Le séisme de Tōhoku-Oki a été suivi de nombreuses répliques, dont les mécanismes au foyer, la répartition et les profondeurs sont présentés à la figure 7.

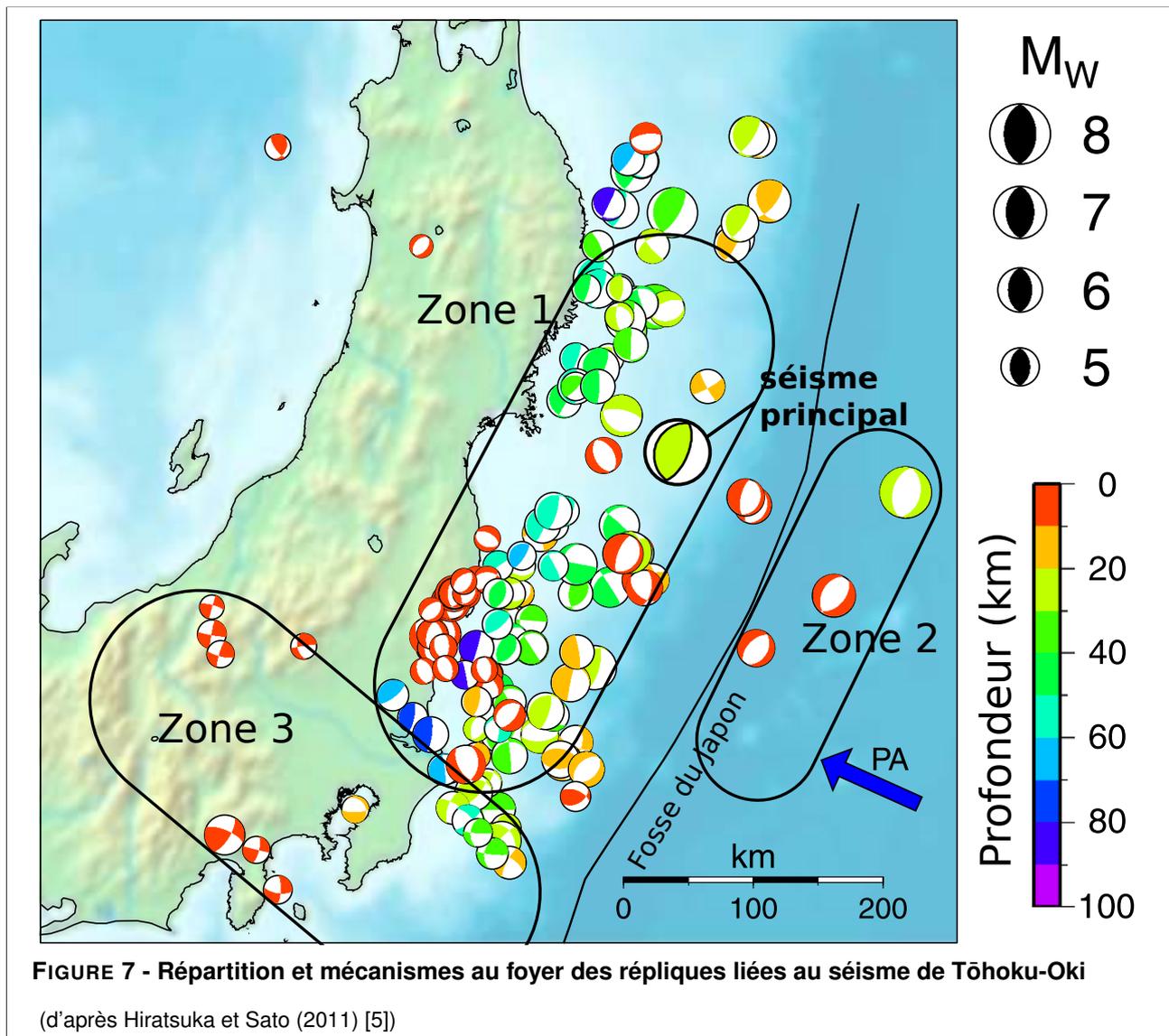
Question 9

À partir de la figure 7, reportez de manière schématique sur la figure prévue à cet effet en annexe A3, la localisation des séisme à jeu normal et à jeu inverse, présents dans les zones 1 et 2. Vous utiliserez deux couleurs différentes.

Question 10

À partir de l'analyse de la figure 7 et d'arguments tirés de la figure 5 :

- expliquez la répartition du jeu des séismes dans les zones 1 et 2 ;
- proposez une explication au jeu des séismes de la zone 3.

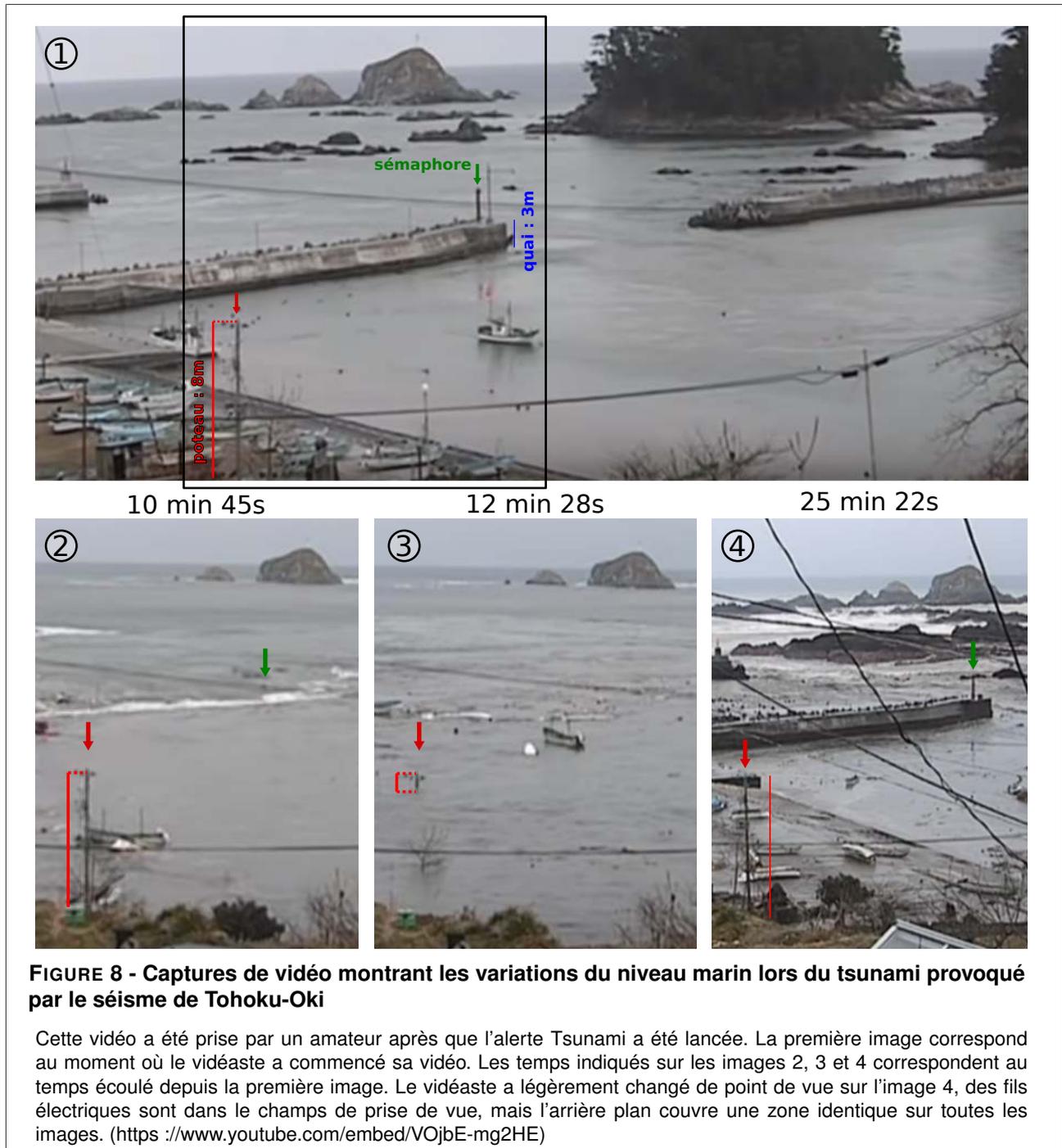


1.4 Tsunami de Tōhoku-Oki

Question 11

La figure 8 donne une série d'images prises lors du Tsunami :

- estimez la hauteur de la vague lors du tsunami ;
- lors de tempêtes, les vagues peuvent atteindre plus de 10 mètres de haut sans pour autant provoquer de tsunamis. Indiquez quelle autre propriété de l'onde du tsunami doit être prise en compte pour estimer l'impact d'un tsunami.



Thème 2 – Risque Tsunami dans la partie sud de l’Océan Indien

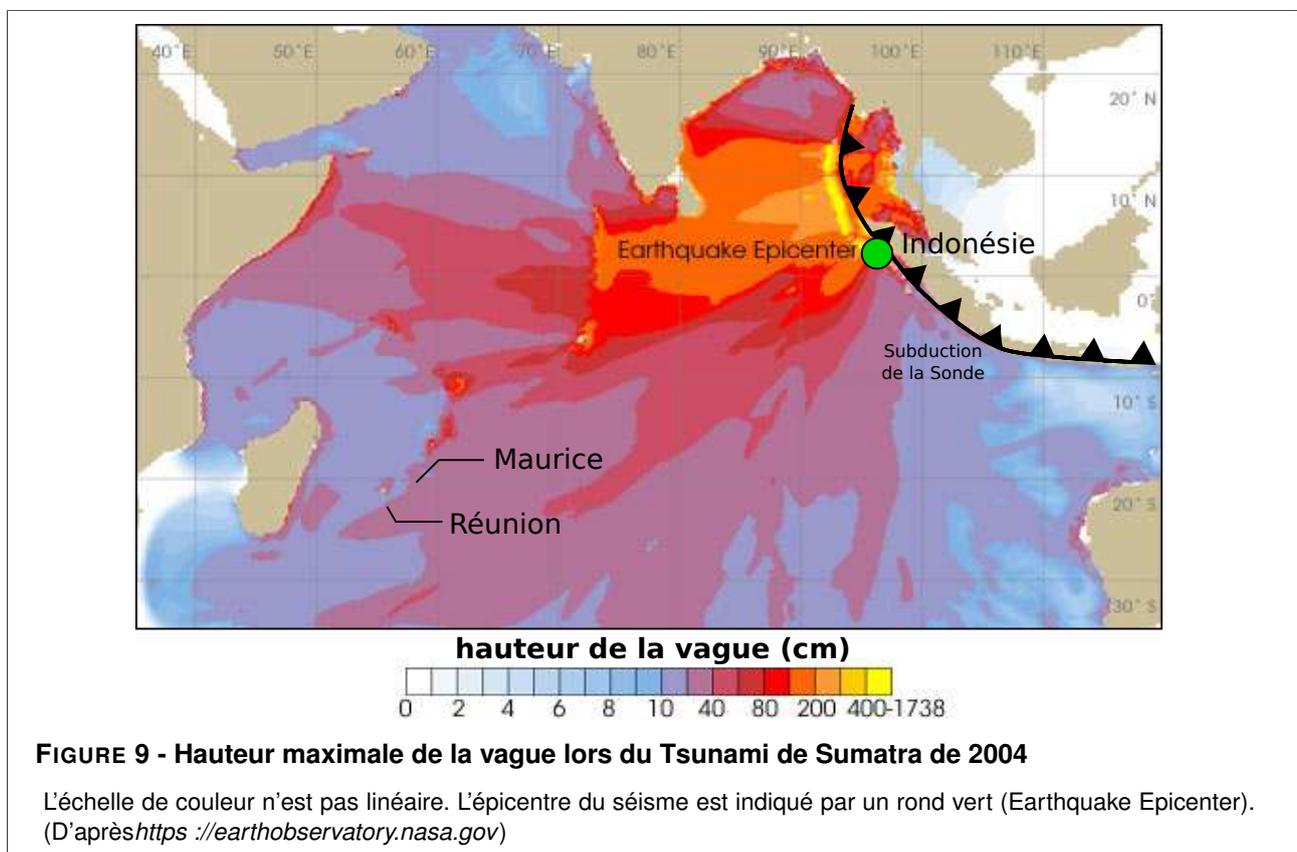
2.1 Tsunamis d’origine tectonique

En décembre 2004, un séisme de magnitude 9 a affecté la partie ouest de l’arc de la Sonde. l’île de Sumatra a été victime d’un Tsunami responsable d’environ 220000 morts, dont beaucoup de touristes occidentaux, ce qui a permis une médiatisation mondiale de cette catastrophe et a mené à une prise de conscience internationale du risque Tsunami par les pays côtiers de l’Océan Indien. La France, pays côtier de l’Océan Indien avec l’île de la Réunion, participe depuis à un programme international d’évaluation du risque Tsunami dans l’Océan Indien.

Question 12

Les séismes de magnitude supérieure ou égale à 9 sont rares. À partir de la figure 9 ainsi que de vos connaissances, estimez qualitativement la probabilité qu’un tsunami de 10 mètres d’origine tectonique touche les côtes :

- de l’Indonésie ;
- de l’île de la Réunion et de l’île Maurice.



2.2 Caractéristiques des Tsunamites de l’île Maurice

La figure 10 montre un dépôt de tsunamites, conglomérat constitué de calcaires récifaux et attribué à un tsunami, dans la partie sud de l’île Maurice à une centaine de mètres du rivage et à une altitude d’environ 10 mètres.

3 hypothèses peuvent être proposées pour expliquer la présence de ces dépôts :

- **hypothèse 1** : peuvent avoir été construits *in-situ* par d’anciens coraux ;
- **hypothèse 2** : peuvent être la conséquence d’un tsunami provoqué par un séisme équivalent à celui de 2004 au niveau de l’arc de la Sonde (subduction la plus proche de l’île Maurice à environ 5000 km) ;
- **hypothèse 3** : peuvent être la conséquence d’un tsunami d’origine différente, généré par un grand glissement de flanc du Piton de la Fournaise, volcan actif voisin situé à l’est de l’île de la Réunion.

Question 13

- Rappelez dans quel environnement se développent les coraux tels que ceux visibles sur la figure 10.1 ;
- À partir d'arguments tirés de la figure 10 et de la figure 11, réfutez la première hypothèse.

Question 14

- À partir de la figure 10 et du diagramme de Hjulström (figure 12), estimez la vitesse du courant ayant permis le dépôt de la tsunamite (prendre pour référence le plus gros bloc identifiable dans le conglomérat), et le dépôt du bloc récifal ;
- Discutez maintenant les hypothèses 2 et 3.

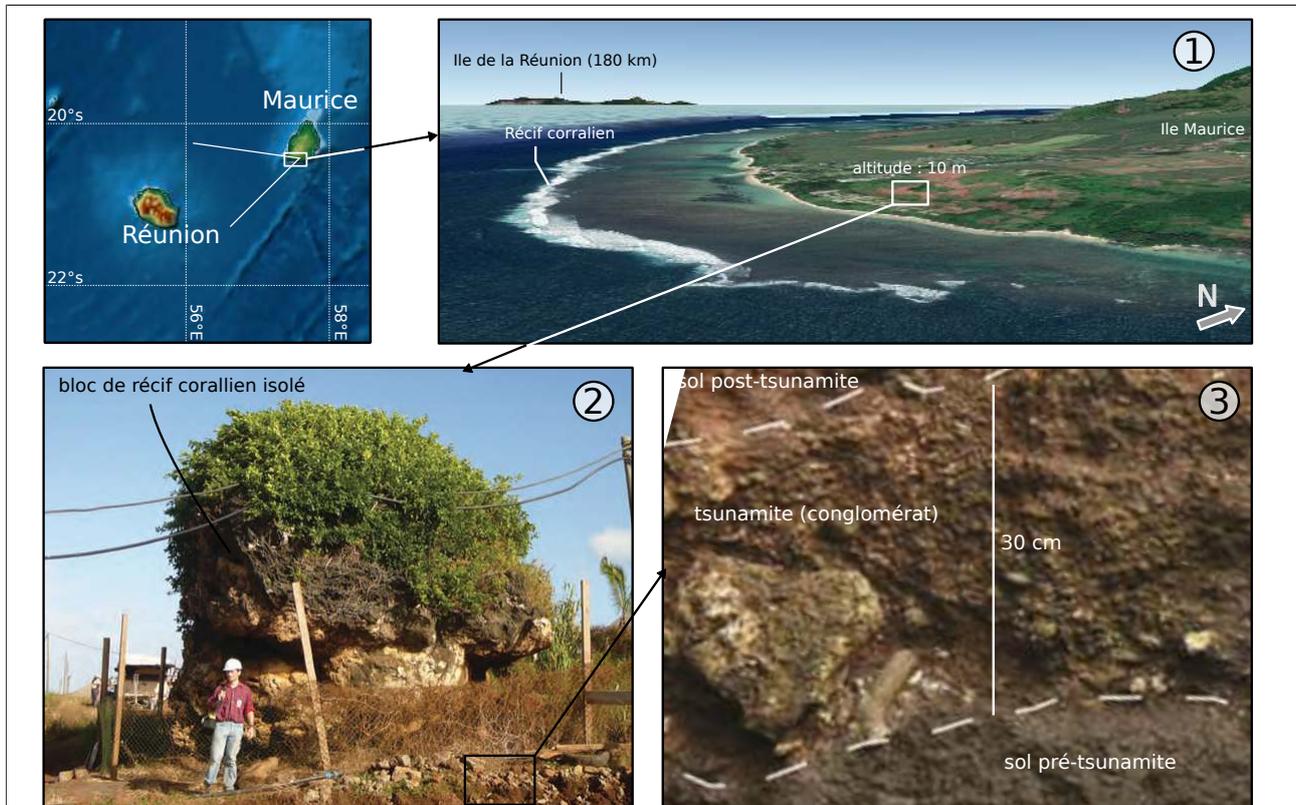


FIGURE 10 - Tsunamite sur l'île Maurice

10.1 : Vue Google Earth oblique de la partie sud de l'île Maurice. La position des tsunamites étudiées est indiquée dans le cadre blanc. **10.2 :** Le bloc de gauche est un bloc récifal isolé. La datation au carbone 14 de résidus de matière organique prélevée dans les restes de coraux donne un âge minimal d'environ 4425 ± 35 ans.

10.3 : Ce bloc repose sur un dépôt interprété comme un paléosol et émerge d'un dépôt de conglomérat principalement constitué de blocs de calcaire récifal dont certains éléments ont une taille décimétrique. Au dessus de ce dépôt se trouve le sol actuel. (d'après Paris (2015) [12])

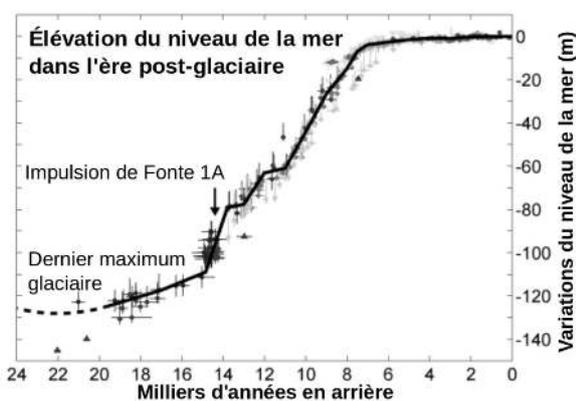


FIGURE 11 - Niveau moyen des océans

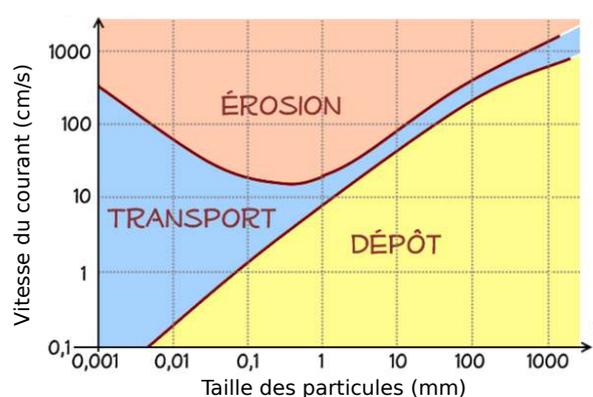


FIGURE 12 - Diagramme de Hjulström

2.3 Mise en évidence de grands glissements de flanc sur l'île de la Réunion

On cherche maintenant à vérifier l'hypothèse selon laquelle de grands glissements des flancs de l'île de la Réunion peuvent être à l'origine d'un tsunami. L'île de la Réunion est localisée à environ 200 km au sud-ouest de l'île Maurice.

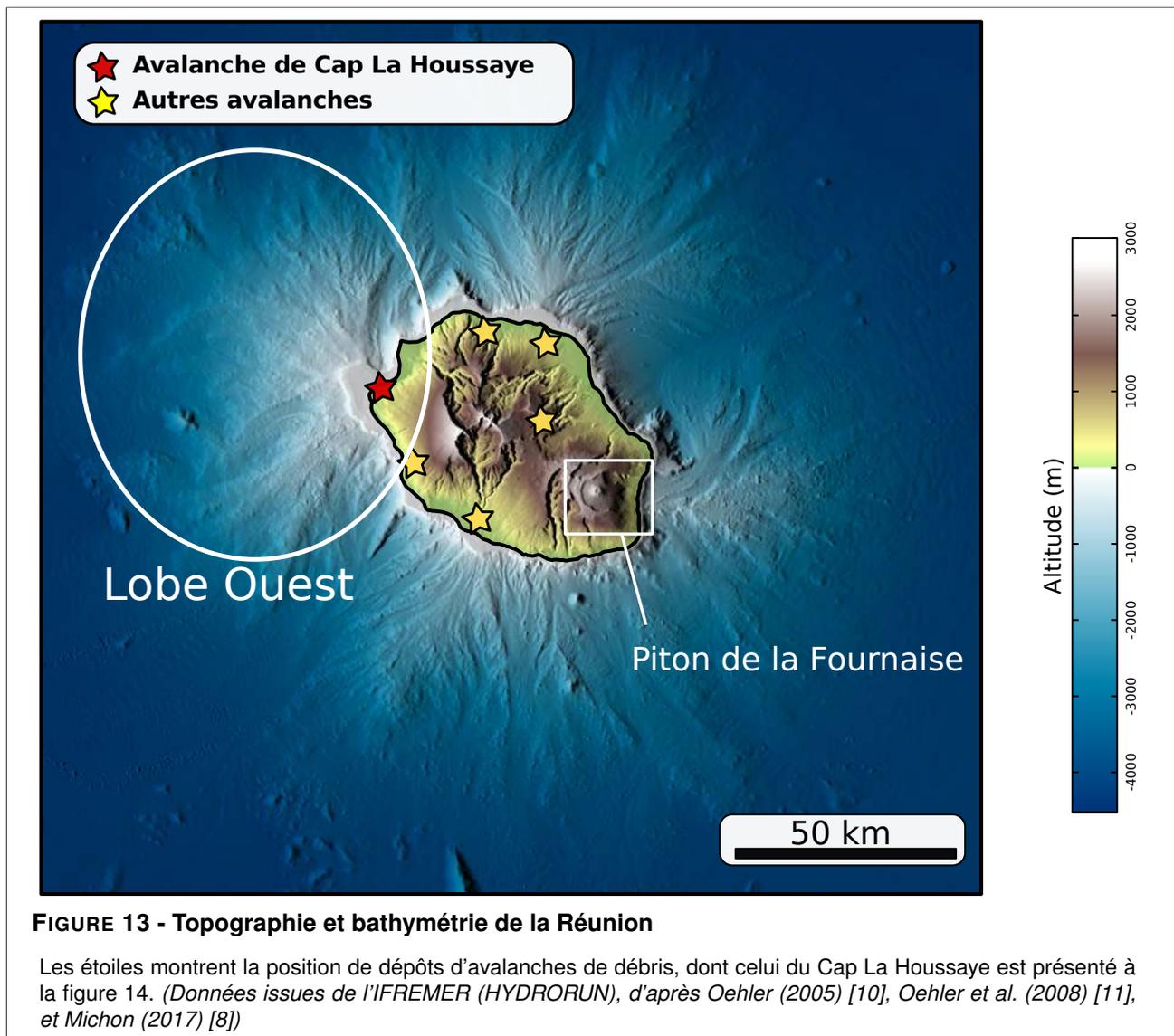
La figure 13 montre la topographie et la bathymétrie de l'île de la Réunion, et localise certains types de dépôts, dont une vue détaillée est donnée à la figure 14 pour le Cap La Houssaye.

Question 15

À partir de la figure 14, donnez les arguments permettant d'interpréter la falaise comme un dépôt d'avalanche de débris résultant d'un glissement de terrain de grand volume, puis estimez la direction ainsi que le sens de l'écoulement.

Question 16

- À partir de vos conclusions précédentes, interprétez la forme notée "Lobe Ouest" sur la bathymétrie de l'île donnée à la figure 13 ;
- À partir de la figure 13 dans son ensemble, conclure sur l'aspect exceptionnel ou non de ce type de glissement de terrain à la Réunion.



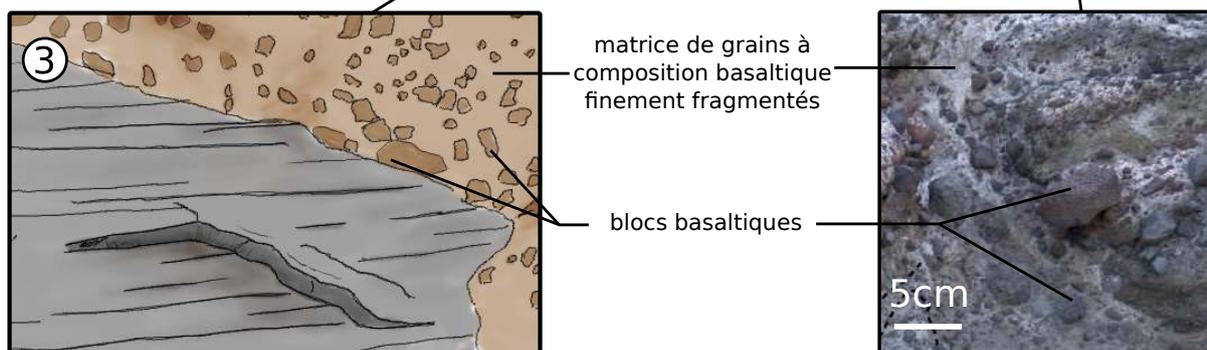
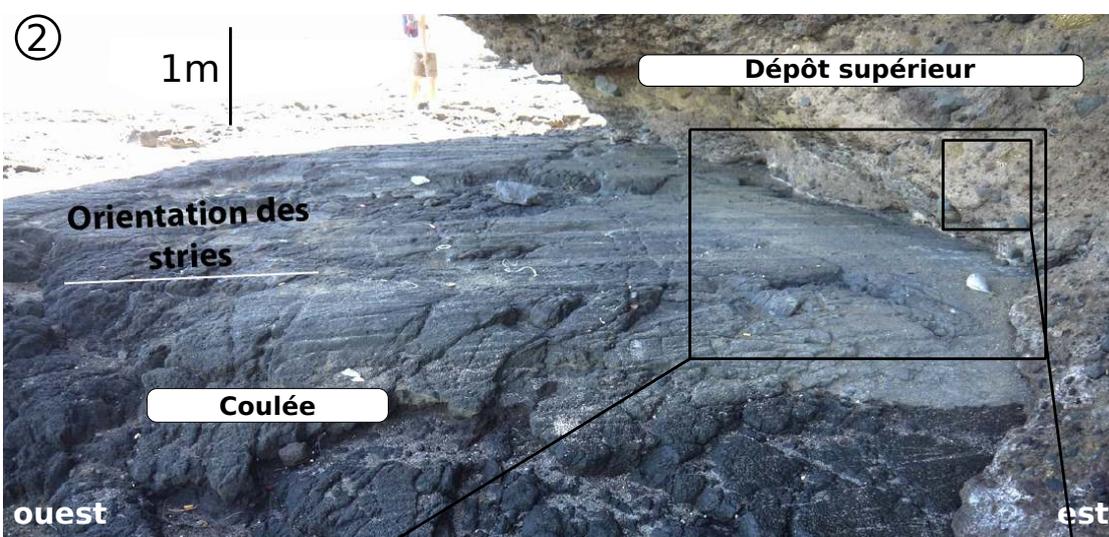
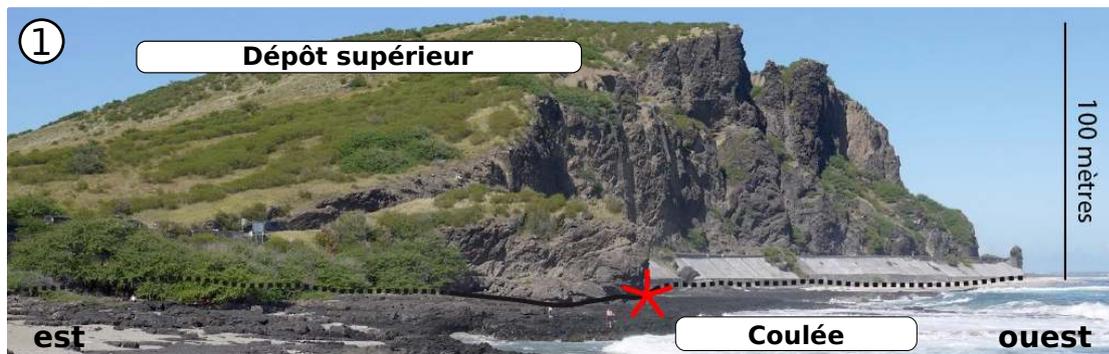


FIGURE 14 - Dépôt d'avalanche de débris du Cap La Houssaye

La position de l'affleurement est présentée à la figure 13

L'étoile rouge sur la figure 14.1 montre la position des figures 14.2 et 14.3.

La coulée de base a une nature basaltique. Sa surface est striée.

Le dépôt supérieur est constitué de blocs plus ou moins anguleux de taille variée et de composition basaltique, liés entre eux par une matrice de particules plus fines, de nature aussi basaltique. (d'après Michon (2017) [8])

2.4 Glissement actuel au Piton de la Fournaise

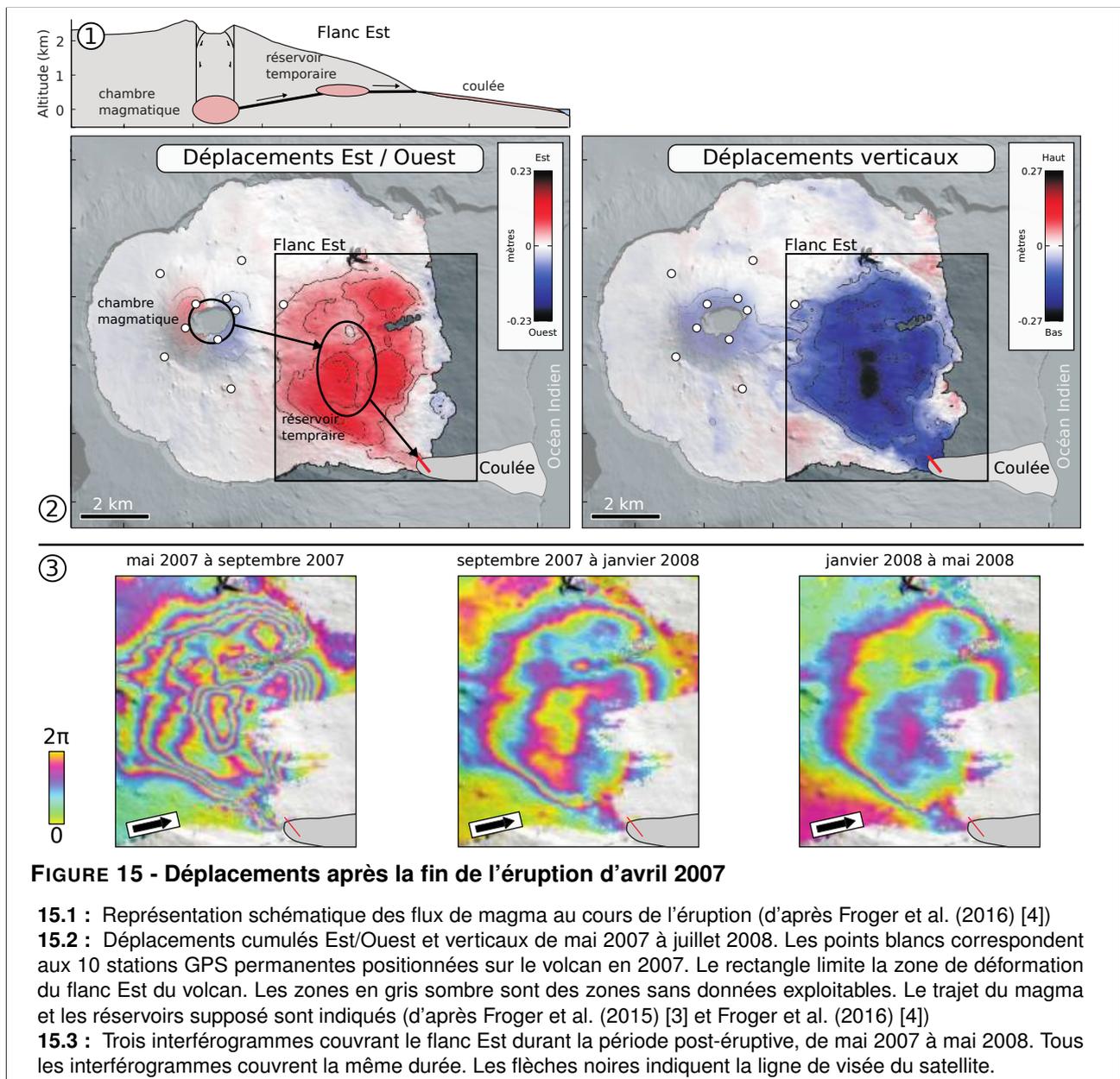
En avril 2007, le Piton de la Fournaise, dont la localisation est donnée figure 13, a connu une éruption exceptionnelle, marquée par les plus gros volumes de lave émis depuis que le volcan est étudié, par l'effondrement du cratère sommital sur une hauteur de plus de 300 mètres, ainsi que par une déformation post-éruptive atypique.

La déformation du volcan au cours de l'éruption puis après la fin de l'éruption a été surveillée par Interférométrie RADAR et par GPS, ce qui a permis d'en inférer le trajet du magma au cours de l'éruption, ainsi que la présence d'un réservoir temporaire (voir schéma figure 15).

La déformation du volcan au cours de l'éruption n'est pas montrée, mais elle couvre les mêmes zones que la déformation post-éruptive, donnée à la figure 15.

Question 17

- À partir de la figure 15.2 : caractérisez le sens des déplacements du flanc Est après l'éruption ;
- À partir de la figure 15.3 : caractérisez qualitativement la dynamique des déplacements du flanc Est après l'éruption ;
- À partir de la figure 15 dans son ensemble, proposez une hypothèse pour expliquer cette déformation.



2.5 Bilan : Evaluation du risque Tsunami dans la partie Sud de l'Océan Indien

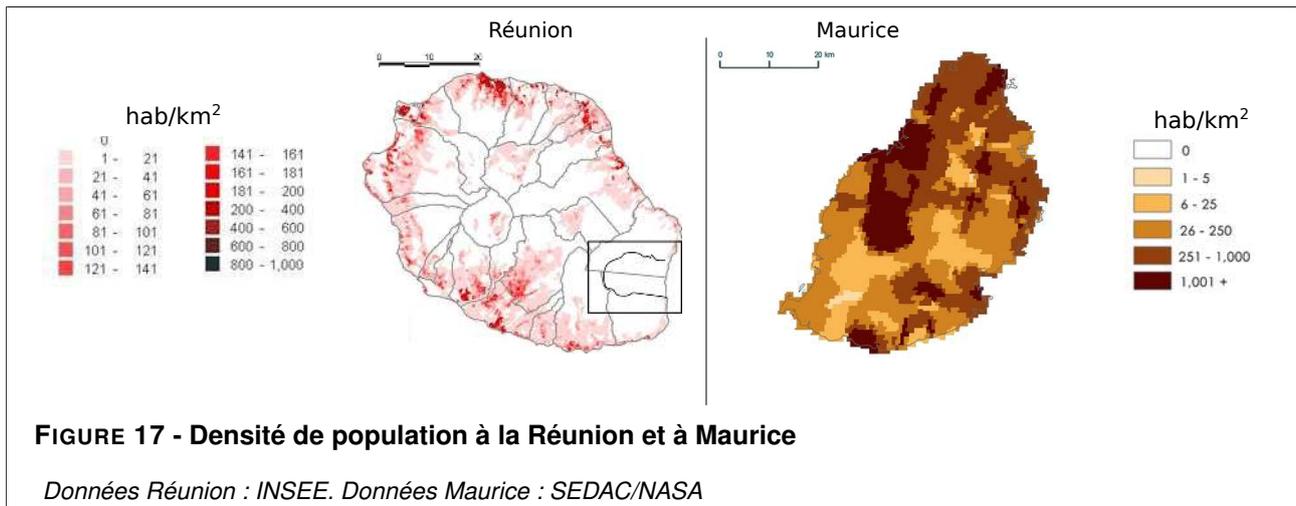
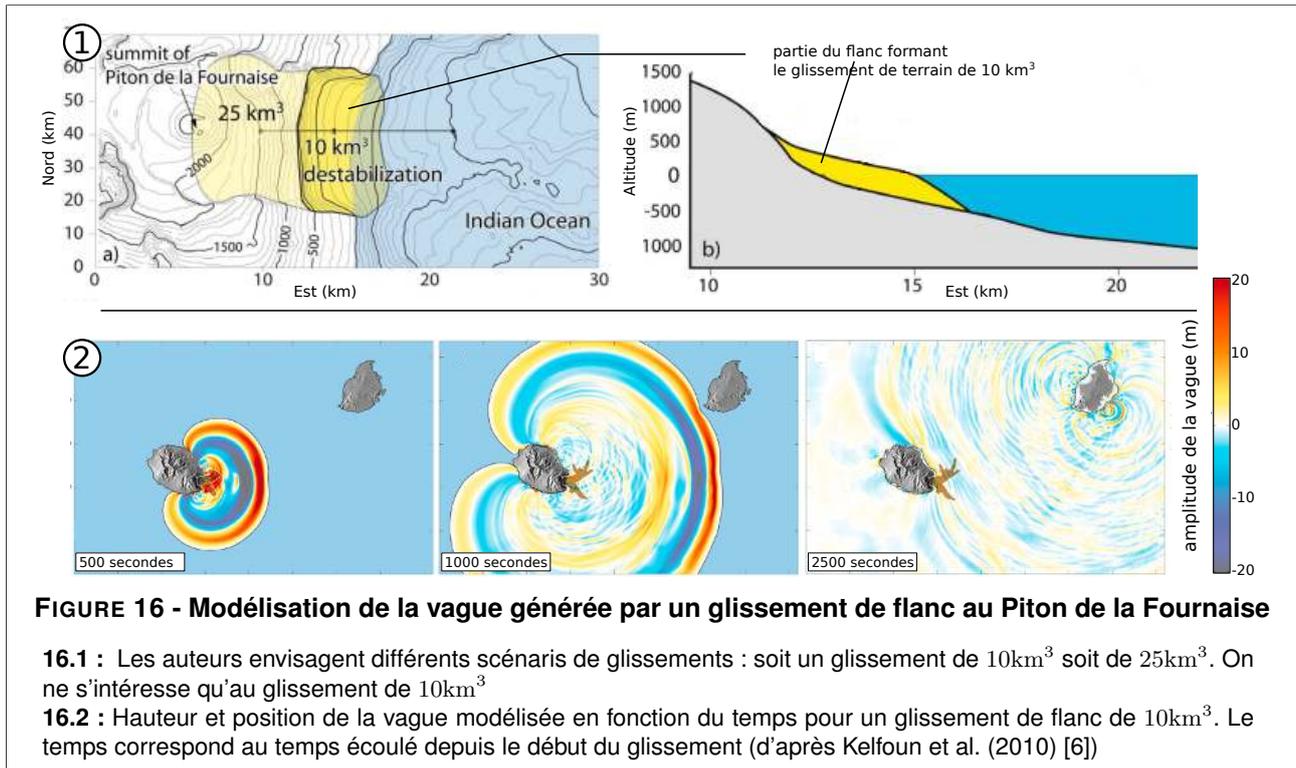
Question 18

Rappelez ce qu'est un risque géologique.

Question 19

Évaluez le risque tsunami dans cette partie de l'Océan Indien. Votre réponse :

- sera faite sous forme graphique sur l'annexe A3 (par exemple sous forme de carte mentale, mais toute autre forme de communication graphique est autorisée) ;
- inclura les conclusions faites sur l'ensemble de ce thème ;
- intégrera des éléments tirés des figures 16 et 17 ;
- inclura la succession de causes à effets à l'origine d'un tel tsunami.



Question 20

La figure 15 montre la répartition des stations GPS, en plus de la déformation post-éruptive de l'édifice. À partir de vos connaissances sur le fonctionnement du GPS, expliquez en quoi et comment un redéploiement du réseau de stations GPS permettrait de réduire le risque tsunami dans cette partie de l'Océan Indien.

FIN DU SUJET