

**ÉCOLES NORMALES SUPÉRIEURES
ÉCOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSÉES**

CONCOURS D'ADMISSION SESSION 2016

FILIÈRE BCPST

COMPOSITION DE SCIENCES DE LA TERRE

Épreuve commune aux ENS de Cachan, Lyon, Paris et à l'ENPC

Durée : 4 heures

L'épreuve est composée de 2 parties totalement indépendantes. Dans chaque partie, de nombreuses questions sont indépendantes les unes des autres. La qualité de la rédaction, la précision des schémas et la concision des réponses seront prises en compte dans l'évaluation. L'usage de la calculatrice est autorisé.

Partie 1: Dynamique du carbone dans les sols

C'est vers le carbone, élément de la vie, que se tournait mon premier rêve littéraire, un rêve insistant à une heure et en un lieu où ma vie ne valait pas grand-chose : oui, je voulais raconter l'histoire d'un atome de carbone.

Primo Levi, Le système périodique

Dans cette partie nous nous intéresserons au stock de carbone organique (C) des sols et à sa dynamique. Les sols sont entendus comme étant le volume compris entre la surface de la Terre et la roche non altérée (typiquement entre la surface et une profondeur comprise entre 20 cm à 3 m).

1.1. Formation du sol et présence de carbone organique dans les sols

1.1.a. Quelle est la roche contenant du quartz dont une lame mince est présentée figure 1 ? Comment se forme-t-elle ? Donnez le nom de quelques minéraux constitutifs de cette roche ainsi que la manière dont vous avez pu les identifier à partir des photos prises au microscope pétrographique.

1.1.b. Les minéraux de la roche présentée ci-dessus s'altèrent en présence d'eau et de gaz carbonique à la surface de la Terre. Par exemple, l'orthose, $(\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{K})$ peut s'altérer et entraîner la formation d'illite $(\text{K}_{0,5}\text{Al}_2[\text{Si}_{3,5}\text{Al}_{0,5}]\text{O}_{10}(\text{OH})_2)$ ou de kaolinite $(\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_5(\text{OH})_4)$, de silice dissoute (H_4SiO_4) et libérer des ions. Ecrire les réactions d'altération de l'orthose en illite et en kaolinite. Quels minéraux sont préférentiellement altérés et quels éléments sont préférentiellement perdus lors de l'interaction eau-roche en surface ? Pourquoi ?

1.1.c. Les sols contiennent des minéraux de différentes tailles avec différentes propriétés de surface. Dans de nombreuses études, les minéraux du sol sont triés par taille, par sédimentation dans l'eau à 20°C en considérant que tous les minéraux sont sphériques avec une même densité égale à 2,6 g cm⁻³.

Suivant la loi de Stokes, la sédimentation peut être décrite par l'équation (1) suivante :

$$v = (2 r^2 g \Delta\rho)/(9 \eta) \quad (1)$$

v étant la vitesse de sédimentation dans l'eau (m s⁻¹);

r étant le rayon de la particule (m);

g valant 9.81 m.s⁻²;

$\Delta\rho$ est la différence entre la masse volumique des minéraux et celle de l'eau (kg m⁻³)

η est la viscosité dynamique de l'eau (0,001USI ou unité SI)

Quelle est l'unité de η dans le système d'unité (SI) ? Donner l'unité usuelle de η . Combien de temps faut-il attendre pour que toutes les particules de la taille des limons (**diamètre** compris entre 2 et 50 μm) aient sédimenté dans une colonne d'eau de 10 cm ? Comment peut-on récupérer les particules de la taille des argiles (**diamètre** inférieur à 2 μm) ?

1.1.d. Pour accélérer le processus de sédimentation, la suspension peut-être centrifugée (voir le schéma figure 2).

Dans ce cas, la vitesse d'une particule (dx/dt) dépendra de sa distance à l'axe de la centrifugeuse (x) et sera donnée par l'équation (2) suivante:

$$dx/dt = (2 \Delta\rho \omega^2 x r^2)/(9 \eta) \quad (2)$$

avec r étant le rayon de la particule

$\Delta\rho$ est la différence entre la masse volumique des minéraux et celle de l'eau (kg m^{-3})

η est la viscosité dynamique de l'eau

ω est la vitesse angulaire de la centrifugeuse (rad s^{-1})

En utilisant l'équation (2), déterminer le temps (t_1) nécessaire pour qu'une particule se déplace de la distance x_0 à $t_0=0$ à une distance x_1 dans le tube de centrifugation.

Etant donné que la vitesse de la centrifugeuse est de 2500 tours min^{-1} , que x_0 et x_1 valent 5 cm et 15 cm respectivement, déterminez le temps nécessaire pour faire sédimenter des particules ayant un **diamètre** égal à 0,2 μm . Comparez ce résultat au temps nécessaire pour faire sédimenter sans centrifugeuse des particules de diamètre inférieur à 0,2 μm .

1.1.e. La loi de Stokes est respectée pour les objets sphériques. Cette hypothèse vous semble-t-elle correcte pour les minéraux du sol, en particulier l'illite ou la kaolinite ?

1.1.f. La majeure partie du carbone organique du sol provient de la décomposition de la matière organique produite par les végétaux (feuilles, tiges, racines...) se développant sur ce sol. Le tableau 1 présente la teneur en carbone organique dans les différentes classes de taille de particules dans un sol de surface (0-25 cm) et en profondeur (45-60 cm). Décrire et expliquer le tableau 1.

Taille de particule (μm)	Teneur en carbone organique (mgC g^{-1} sol)	
	Surface (0-25 cm)	Profondeur (45-60 cm)
>50 μm	10	5
2-50 μm	15	7
<2 μm	40	10

Tableau 1: Teneur en carbone organique dans les fractions sables (>50 μm), limons (2-50 μm) et argiles (>2 μm) dans des échantillons de sol prélevés en surface (0-25 cm) et en profondeur (45-60 cm).

1.2. Temps de résidence du carbone organique dans un sol

1.2.a. L'évolution du stock en carbone organique du sol $C(t)$, en kgC m^{-2} , peut être modélisée par l'équation (3) :

$$dC/dt = -(C/\tau) + I \quad (3)$$

τ étant le temps de résidence du carbone organique du sol et I les entrées annuelles de carbone dans le sol. Quelle est l'unité de τ ?

Le but de la partie 1.2. est de mesurer τ pour un sol français typique.

1.2.b. Rappelez brièvement ce qui distingue la photosynthèse de type C3 et la photosynthèse de type C4.

Le carbone possède deux isotopes stables, le ^{12}C majoritaire et le ^{13}C . Dans le cas du C, les mesures des rapports isotopiques des échantillons (rapport $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) sont habituellement rapportées à celles d'un standard et indiquées à l'aide de la notation delta ($\delta^{13}\text{C}$). Le $\delta^{13}\text{C}$ d'un échantillon se calcule suivant l'équation (4) et s'exprime généralement en ‰:

$$\delta^{13}\text{C} = [(R_{ech}/R_{standard}) - 1] \quad (4)$$

R_{ech} étant le rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de l'échantillon considéré et $R_{standard}$ étant le rapport isotopique du standard (un rostre de Bélemnite d'une formation Crétacée de Caroline du Nord).

La différence de signature isotopique entre le carbone fixé par la photosynthèse de type C3 (typiquement -28‰) et C4 (typiquement -12‰) peut-être utilisée pour estimer le temps de résidence du carbone dans un sol. Pour cela des expériences agronomiques ont été mises en place. Nous allons utiliser, dans les questions suivantes, les résultats d'une « chronoséquence » Blé/Maïs. Dans cette « chronoséquence », un sol agricole n'ayant jamais accueilli de plantes de type photosynthétique C4 se trouve cultivé en maïs (plante C4) de manière continue à partir d'un temps t_0 . Au fil des ans, la quantité de carbone organique du sol provenant de la décomposition des végétaux de type photosynthétique C3 diminue (C_w de signature isotopique $\delta^{13}C_w$) et est graduellement remplacée par du carbone organique provenant de la décomposition du maïs de signature isotopique différente (C_M de signature isotopique $\delta^{13}C_M$). Ceci est illustré par la figure 3.

1.2.c.α. Ecrire l'équation reliant $C(t)$, le stock de carbone organique dans le sol à un instant t , $C_M(t)$ et $C_w(t)$.

1.2.c.β. Exprimer $C(t) * \delta^{13}C(t)$ en fonction de $C_M(t)$, $C_w(t)$, $\delta^{13}C_M(t)$ et $\delta^{13}C_w(t)$.

1.2.c.γ. En considérant que $C(t)$, $\delta^{13}C_M(t)$ et $\delta^{13}C_w(t)$ sont constants, vérifiez que la fraction de carbone organique d'origine maïs dans le stock de carbone organique total du sol $F(t) = C_M(t)/C_0$ satisfait l'équation suivante (C_0 étant le stock de carbone organique à t_0):

$$F(t) = (\delta^{13}C(t) - \delta^{13}C_w) / (\delta^{13}C_M - \delta^{13}C_w)$$

1.2.d. Le tableau 2 indique l'évolution temporelle de la signature isotopique du C organique du sol ($\delta^{13}C(t)$) dans le sol de la chronoséquence Blé/Maïs. En supposant que la signature isotopique du C organique du sol garde la signature isotopique de la plante de laquelle il est issu, calculez $F(t)$ pour les valeurs du tableau 2 (utiliser les valeurs de $\delta^{13}C_M$ et $\delta^{13}C_W$ données dans la figure 3).

Temps écoulé depuis la conversion en Maïs (années)	Signature isotopique du carbone organique du sol (‰)
0	-28
3	-27,4
6	-27
9	-26,7
12	-26,4
15	-26,2

Tableau 2 : Evolution temporelle de la signature isotopique $\delta^{13}C$ du carbone organique du sol dans un sol n'ayant jamais accueilli de plantes de type photosynthétique C4 avant sa conversion en Maïs.

1.2.e. A l'aide des résultats de la question précédente, indiquez l'évolution de C_W avec le temps aux années 3, 6, 9, 12 et 15.

1.2.f. En vous aidant de l'équation (3), estimez τ , le temps de résidence du carbone organique d'origine C3.

1.2.f. Discutez la valeur de ce temps de résidence par rapport à ce que vous connaissez des valeurs de temps de résidence du C dans les autres compartiments du cycle du C.

1.2.g. En considérant que les entrées de carbone organique au sol sont de l'ordre de $1 \text{ kgC m}^{-2} \text{ an}^{-1}$, et que le temps de résidence est le même pour le carbone d'origine C4 et C3, calculez le stock de carbone à l'équilibre dans ce sol.

1.3. Influence de l'usage des sols sur le stock de carbone organique du sol

1.3.a. La figure 4 présente les valeurs de stocks de C organique mesurées à environ 2200 points répartis de manière régulière sur le territoire Français. Les 2200 sols échantillonnés ont été regroupés en 7 grands types : sols cultivés (1), prairie (2), forêt (3), vergers (4), tourbière (5), autres (6) et vignobles (7). Commentez et expliquez cette figure.

1.3.b. La figure 5 est une carte de France des stocks de carbone organique dans les 30 premiers cm du sol. Commentez cette carte. Comparer le stock de C du sol de la forêt des Landes avec des stocks de C d'autres forêts. Proposez une explication en vous aidant des données du tableau 1.

1.3.c. A partir des années 1990, un grand nombre de fermes collectives (kolkhozes) ont été abandonnées dans l'ancienne Union Soviétique. Les surfaces agricoles regagnées par la steppe depuis 1990 ont été estimées à 45.10^6 ha. L'augmentation du stock de C d'un sol

agricole regagné par la steppe a été estimée à $1 \text{ tC ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$. Calculez le stockage annuel de carbone organique dans les sols russes consécutif à l'effondrement du système kolkhozien. Chaque année, la Russie émet environ $1,6 \cdot 10^9 \text{ t}$ de CO_2 provenant de la combustion d'énergie fossile. Quel pourcentage des émissions russes de C dues à la combustion des énergies fossiles représente le stockage de C dans les sols des fermes collectives abandonnées ?

1.4. Les surfaces continentales, un puits de carbone

1.4.a. La figure 6 représente l'évolution des flux annuels de carbone vers l'atmosphère générés par la combustion des énergies fossiles et le changement d'usage des terres, principalement la déforestation. Décrire et commenter la figure 6. A l'aide de la figure 6, estimez (grossièrement) l'augmentation du stock de carbone atmosphérique, du stock de carbone océanique et du stock de carbone des surfaces continentales entre 1960 et 2010.

1.4.b. La minéralisation du carbone organique du sol peut être modélisée à l'aide du formalisme d'Arrhenius :

$$k = A \exp(-E_a/RT) \quad (5)$$

k étant le taux de minéralisation du carbone organique ($1/\tau$), A étant le facteur pré-exponentiel, E_a étant l'énergie d'activation de la réaction de minéralisation, R la constante des gaz parfaits et T la température.

En vous aidant de l'équation (5), montrez comment la minéralisation du carbone organique du sol va évoluer avec une augmentation de température. Pensez-vous que cette tendance sera vérifiée indéfiniment ou jusqu'à un certain seuil ? Pourquoi ?

1.4.c. En utilisant le résultat de la question précédente, discutez de l'évolution du puits « surfaces continentales » avec le changement climatique prévu. Peut-il y avoir une boucle de rétroaction entre le sol et le climat ?

1.4.d. La figure 7 présente les prévisions de l'évolution du stock de C organique des sols fournies par les principaux modèles de surface continentale mondiaux. Commentez cette figure. En vous aidant des questions précédentes, quels facteurs vont influencer l'évolution des stocks de C au 21^e siècle ? Ceci explique-t-il la variété des prévisions ?

1.5. Cycle du carbone du sol et changement climatique

1.5.a. En considérant que la surface d'interception du rayonnement solaire incident par la Terre est un disque de rayon égal au rayon de la Terre (R_T), exprimez P , le flux énergétique moyen reçue par la Terre en fonction de R_T et de la constante solaire, S_0 (flux d'énergie solaire à l'endroit de l'orbite terrestre en W m^{-2}).

En considérant que la puissance du rayonnement solaire arrivant à la surface de la Terre est égale en tout point à tout instant et que l'albédo terrestre (α) a une valeur constante en tout point et à tout instant, déduisez-en le flux moyen d'énergie solaire incident (en W m^{-2}) de la surface terrestre (F_{inc}) en fonction de S_0 et α .

En considérant une valeur moyenne de 0,3 pour l'albédo terrestre et une valeur de 1368 W m^{-2} pour la constante solaire, calculez le flux moyen d'énergie solaire incident (en W m^{-2}).

1.5.b. Le flux d'énergie émis par un corps noir est donné par la loi de Stephan-Boltzmann (6) :

$$E = \sigma T^4 \quad (6)$$

Avec $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

En considérant que la Terre est à l'équilibre radiatif et se comporte comme un corps noir parfait, calculez la température d'équilibre de la surface de la Terre si le seul rayonnement absorbé venait du rayonnement solaire incident. Qu'en pensez-vous ?

1.5.c. La loi de Wien relie température du corps noir à la longueur d'onde λ_{\max} en μm , pour laquelle le rayonnement émis est maximal. Une version simplifiée de la loi de Wien est donnée ci-dessous :

$$\lambda_{\max} = 3000/T \quad (7)$$

En vous aidant de la loi de Wien et de la figure 8, expliquez comment la présence de l'atmosphère terrestre contribue à l'augmentation de la température de surface. Discutez de l'importance du CO_2 dans ce phénomène, notamment en regard d'autres gaz à effet de serre.

Partie 2 : Les séismes du 11 avril 2012 au Nord de Sumatra

2.1. Etude des limites de la plaque Indo-Australienne avec la plaque Eurasie et la plaque Sonde.

La figure 9 présente les plaques lithosphériques dans la région d'intérêt pour l'étude. La figure 10 présente des images de tomographie sismique des frontières de plaque entre la plaque Indo-Australienne et la plaque Sonde et entre la plaque Indo-Australienne et la plaque Eurasie.

2.1.a. Comment ont été obtenues les données présentées figure 10. A quoi correspondent les couleurs et quelle est leur interprétation usuelle ?

2.1.b. En vous aidant de vos connaissances et de la figure 10, décrivez et comparez les limites de la plaque Indo-Australienne avec la plaque Eurasie et la plaque Sonde.

2.2. Calcul de la position de l'épicentre du séisme M8.7 du Nord de Sumatra.

2.2.a. Quelles sont les ondes, qui suite à un séisme, se propagent à l'intérieur de la Terre ? On précisera la formule qui donne leur vitesse de propagation, en explicitant les paramètres et leurs unités, et leurs sens de polarisation et de mouvement. Laquelle de ces ondes ne se propage pas dans les liquides, et pourquoi ?

2.2.b. En admettant que le module de cisaillement (μ) est égal au premier coefficient de Lamé (λ) et que le module d'incompressibilité (K) vaut $\lambda + 2\mu/3$, trouvez une relation simple entre V_p et V_s .

2.2.c. En vous aidant de la question précédente, montrez que la distance de la station sismique à l'épicentre du séisme (D) peut s'écrire sous la forme suivante :

$$D = A (t_s - t_p)$$

A ne dépendant que de V_s , t_p et t_s correspondant respectivement aux temps d'arrivée des ondes P et S à la station sismique.

2.2.d. En vous aidant des données du tableau 3 et de la figure 11, et en considérant que A vaut $8,1 \text{ km s}^{-1}$, discutez à l'aide d'un schéma de la position de l'épicentre du séisme M8.7 du 11 avril 2012. Expliquez brièvement le mode de localisation de l'épicentre et la nécessité de disposer de 3 stations au minimum.

Station	Latitude	Longitude	retard ondes S sur ondes P (s)
IPM	4°28' N	101°1' E	112
MNAI	4°21'S	102°57 E	164
PALK	7°16 N	80°42' E	183

Tableau 3 : Positions des stations sismiques utilisées pour localiser l'épicentre du séisme Mw8.7

2.3. Contexte tectonique des séismes de Sumatra

Le 11 avril 2012, deux séismes de magnitudes $M_w 8.7$ et $M_w 8.2$ se sont succédés au large des côtes de Sumatra.

2.3.a. Que représentent les cercles avec des quartiers colorés en blanc et en noir dans la figure 12 ? Comment ont-ils été obtenus ?

2.3.b. A l'aide de ces cercles, déterminez le contexte tectonique dans lequel se sont déroulés ces séismes. Comment qualifieriez-vous le séisme $M 8.7$ du Nord de Sumatra ?

2.3.c. Discutez de la magnitude de ces séismes.

2.4. Analyse cinématique de la plaque Indo-Australienne

Le tableau 4 présente les vitesses GPS de 6 stations fixes positionnées sur la plaque Indo-Australienne.

Stations	Latitude	Longitude	V_E (mm.an ⁻¹)	V_N (mm.an ⁻¹)
COCO	12°11' S	96°49' E	41,5	47,2
DARW	12°50' S	131°7' E	35,7	56,9
KARR	20°58' S	117° 5' E	37,8	56,6
YAR1	29° 3' S	115° 20' E	38,6	56,1
IISC	13°1' N	77°34' E	40	33,3
SIMR	27°10'N	84°58' E	40,6	32,6

Tableau 4 : Vitesses GPS (ITRF2000) de 6 stations fixes positionnées sur la plaque Indo-Australienne. V_E et V_N représentent la vitesse de déplacement vers l'Est et le Nord respectivement.

2.4.a. En vous aidant de la figure 13, faites une carte en positionnant les 6 stations fixes. Déterminez la norme de chaque vecteur de déplacement total et sa direction par rapport au Nord. Représentez-les sur la carte. Calculez les vitesses de déplacement en latitude et en longitude des 5 autres stations par rapport à la station DARW.

2.4.b. A partir des résultats précédents, discutez de la notion de plaque Indo-Australienne.

2.4.c. Pouvez-vous relier ces données géodésiques au contexte tectonique du séisme de Sumatra ? Permettent-elles de lever l'indétermination concernant le mécanisme au foyer de ce séisme ?

2.5. Comparaison des séismes de Sumatra 2012 avec celui de Banda Aceh 2004

En décembre 2004, le séisme de Banda Aceh avait eu lieu environ 300 km au Nord-Est des séismes de Sumatra. Ce séisme particulièrement meurtrier, dont l'épicentre est indiqué figure 12 était de magnitude $M_w = 9,2$.

2.5.a. Comment expliquez-vous la présence et la répartition des nombreux volcans visibles figure 12 ? De quel type de volcanisme peut-il s'agir ? A quel objet géologique peuvent correspondre les îles Mentawai situées au large de Sumatra (Siberut étant la plus visible sur la

figure 12) ? Réalisez un schéma détaillé de la limite entre les 2 plaques tectoniques considérées dans cette question (transect A-B sur la figure 12).

2.5.b. Le contexte tectonique du séisme de Banda Aceh est-il le même que celui des séismes de Sumatra en 2012 ? Proposez une représentation du mécanisme au foyer du séisme de Banda Aceh.

La magnitude d'un séisme (M_w), quantité d'énergie libérée au foyer, est calculée de la manière suivante : $M_w = (2/3) \log_{10}(M_0) - 6$; M_0 étant le moment sismique.

Le moment sismique est défini comme suit : $M_0 = \mu S d$, où μ est le module élastique de cisaillement (30 GPa), S la surface du plan de faille ayant rompu (en m^2) et d le déplacement le long de ce plan (en m) la magnitude du glissement (m).

2.5.c. Quelle est l'unité du moment sismique ? Comment appelle-t-on plus communément ce type d'unité en physique ? Calculez le moment sismique du séisme de Banda Aceh.

2.5.d. En considérant que la surface du plan de faille ayant rompu était environ de 1000 km par 100 km, calculez le déplacement le long de ce plan généré par ce séisme.

2.5.e. Le séisme de 2004 a généré un tsunami particulièrement meurtrier alors que le séisme de 2012 n'a pas provoqué de tsunami important. Quelle est l'hypothèse la plus probable pour expliquer cela ?

2.5.f. Les travaux les plus récents suggèrent que le séisme de 2004 a déclenché les séismes de 2012. Discutez cette affirmation en vous aidant des questions précédentes.

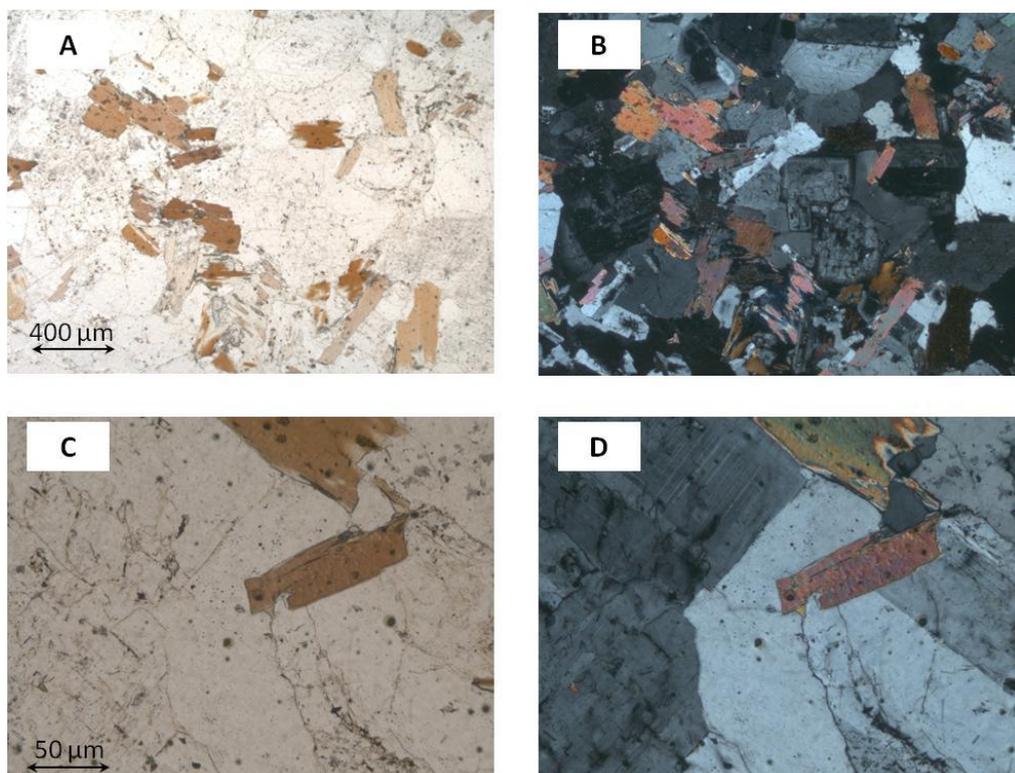


Figure 1: Images au microscope pétrographique d'une lame mince issue d'un échantillon de roche. Les images A et B correspondent à la même zone observée en lumière naturelle (A) et en lumière polarisée analysée (B). Les images C et D correspondent à un agrandissement d'une zone des images précédentes observé en lumière naturelle (C) et en lumière polarisée analysée (D). (Source : C. Chopin)

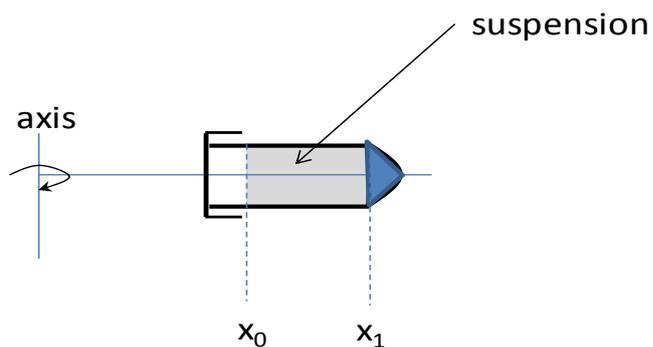


Figure 2: Représentation schématique de la centrifugation d'une suspension contenant des minéraux.

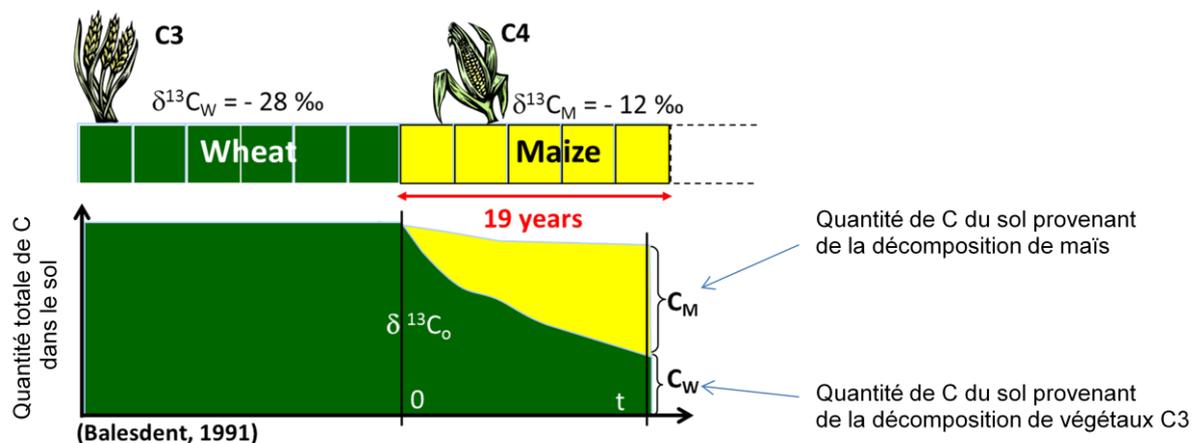


Figure 3 : Représentation schématique du remplacement graduel du C organique d'origine C3 par du C organique d'origine C4 dans une chronoséquence Blé/Maïs.

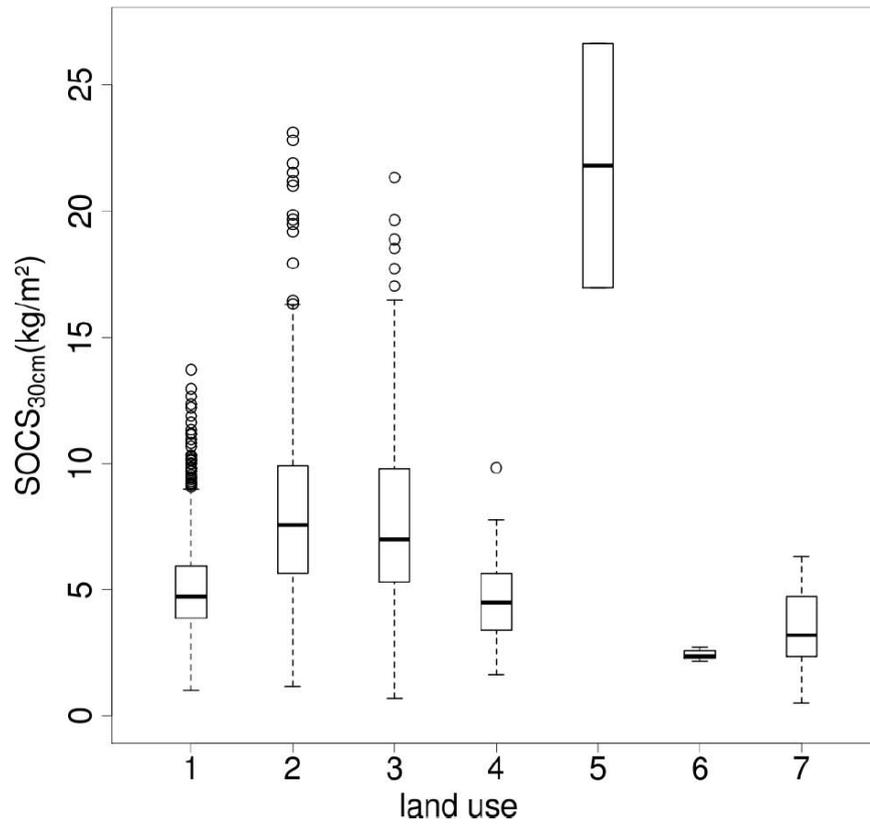


Figure 4 : Stocks de carbone organique dans les 30 premiers centimètres du sol (horizon 0-30 cm) en fonction de différents usages des terres (1 = sols cultivés, 2 = prairie, 3 = forêt, 4 = vergers, 5 = tourbière, 6 = autres, 7 = vignobles). (issue de Martin et al., 2011)



Source : Gis Sol, 2013 – d'après Meersmans *et al.*, 2012. Traitements : SOeS, 2013.

Figure 5 : Les stocks de carbone organique dans la partie superficielle (0-30 cm) du sol en France

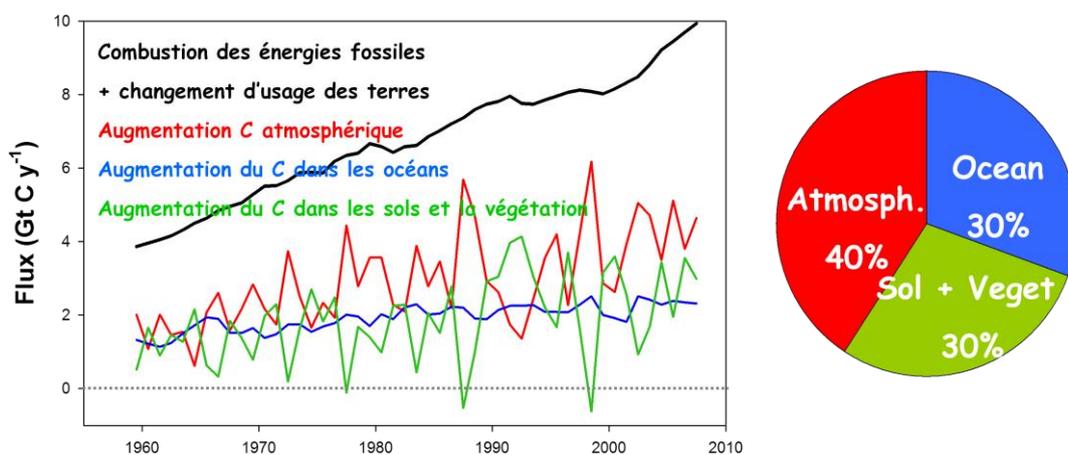


Figure 6 : Evolution des flux annuels de carbone vers l'atmosphère générés par la combustion des énergies fossiles et le changement d'usage des terres. Répartition de ce flux entre les 3 principaux compartiments du cycle « court » du carbone (issu de Le Quéré *et al.*, 2009).

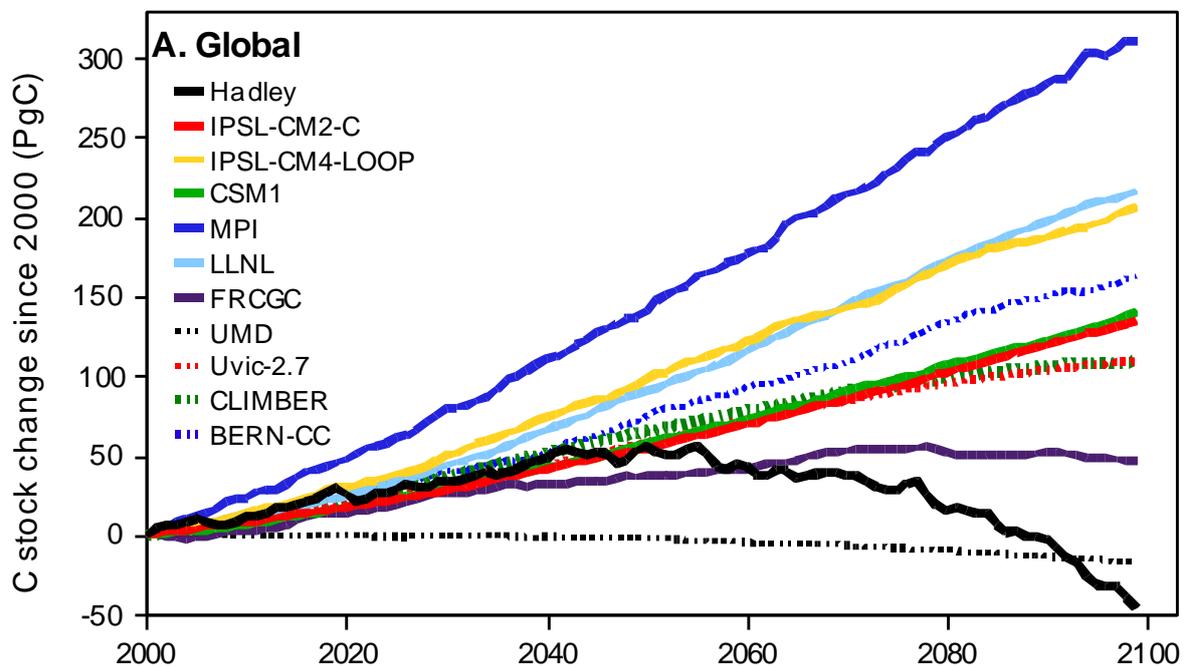


Figure 7 : Prévisions d'évolution des stocks de C organique des sols au 21^e siècle fournies par les principaux modèles de surface continentale (d'après Eglin et al., 2010). NB : Pg = Gt.

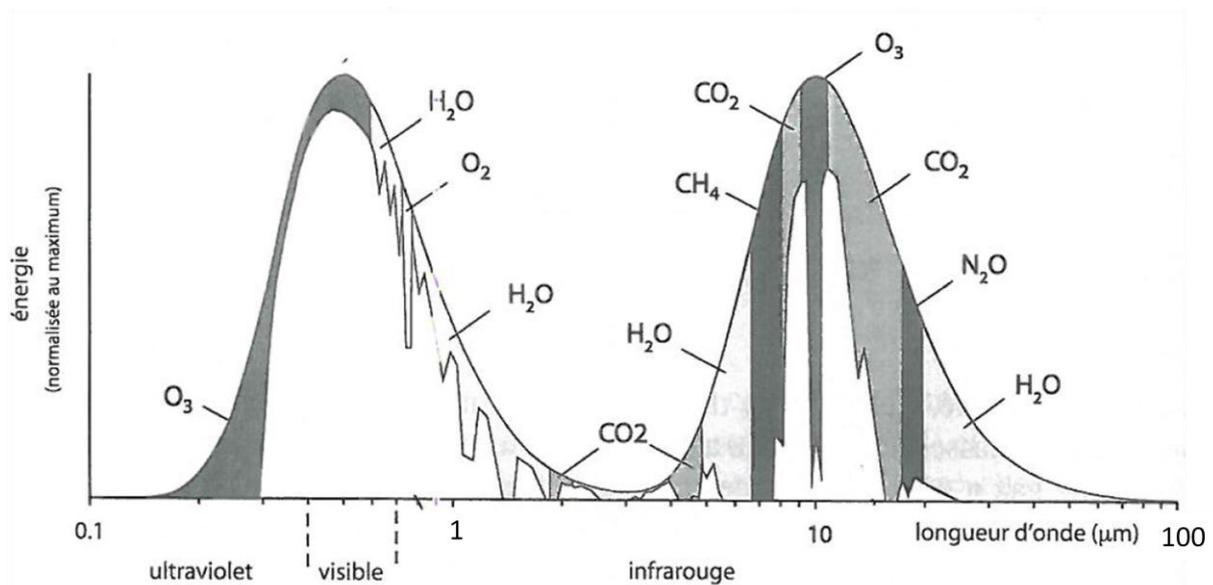
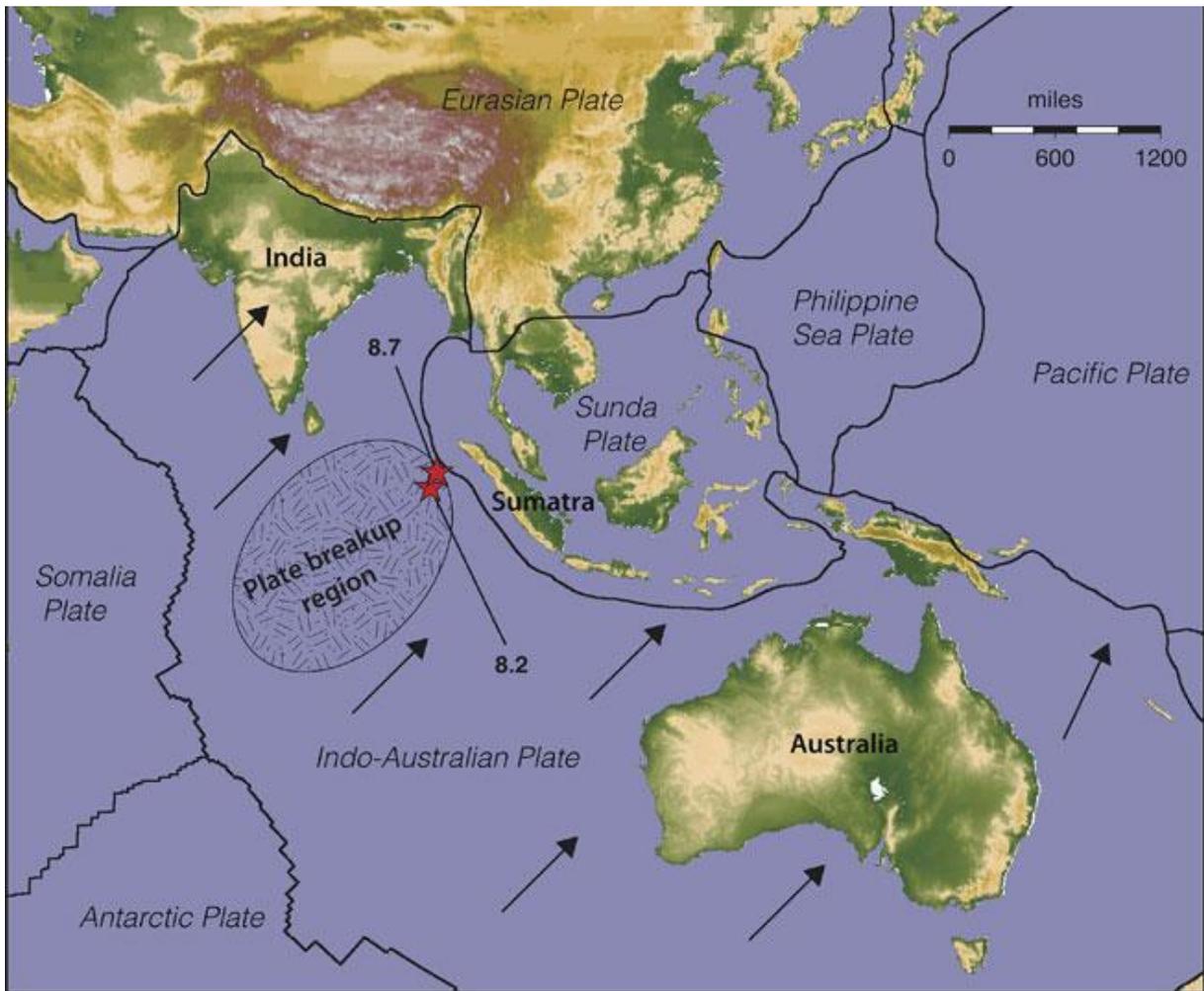


Figure 8 : Spectres d'émission de la lumière solaire et du rayonnement terrestre, et d'absorptions des gaz par l'atmosphère (d'après Sadourny, 1994 dans Jambon et Thomas, 2009)



© Keith Koper, University of Utah Seismograph Stations

Figure 9 : Représentation des plaques lithosphériques dans la zone d'intérêt pour l'exercice

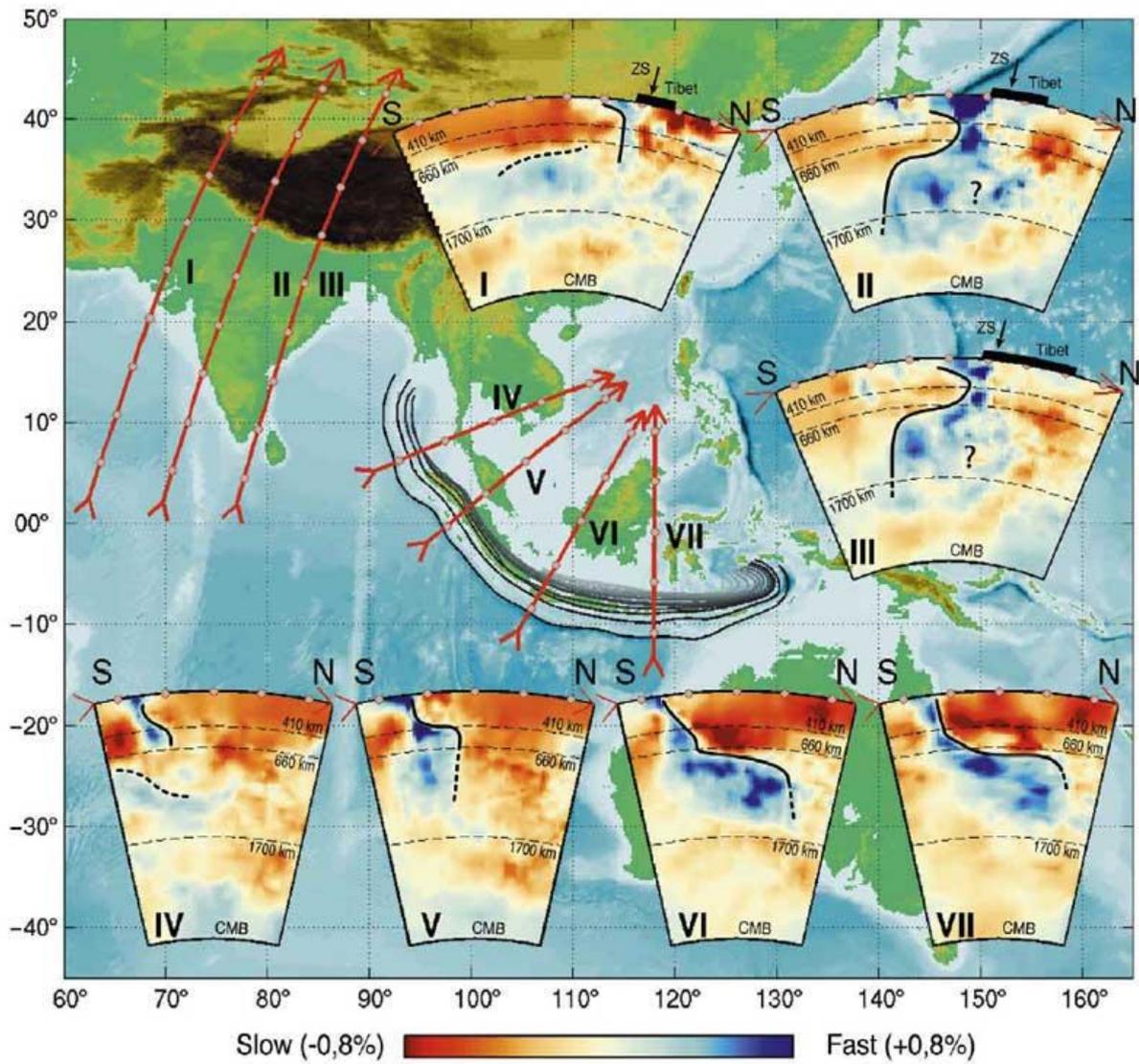


Figure 10 : Images de tomographie sismique des frontières de plaque entre la plaque Indo-Australienne et la plaque Sonde et entre la plaque Indo-Australienne et la plaque Eurasie.



Figure 11 : Localisation des 3 stations sismiques permettant de localiser l'épicentre du séisme Mw8.7 du 11 avril 2012

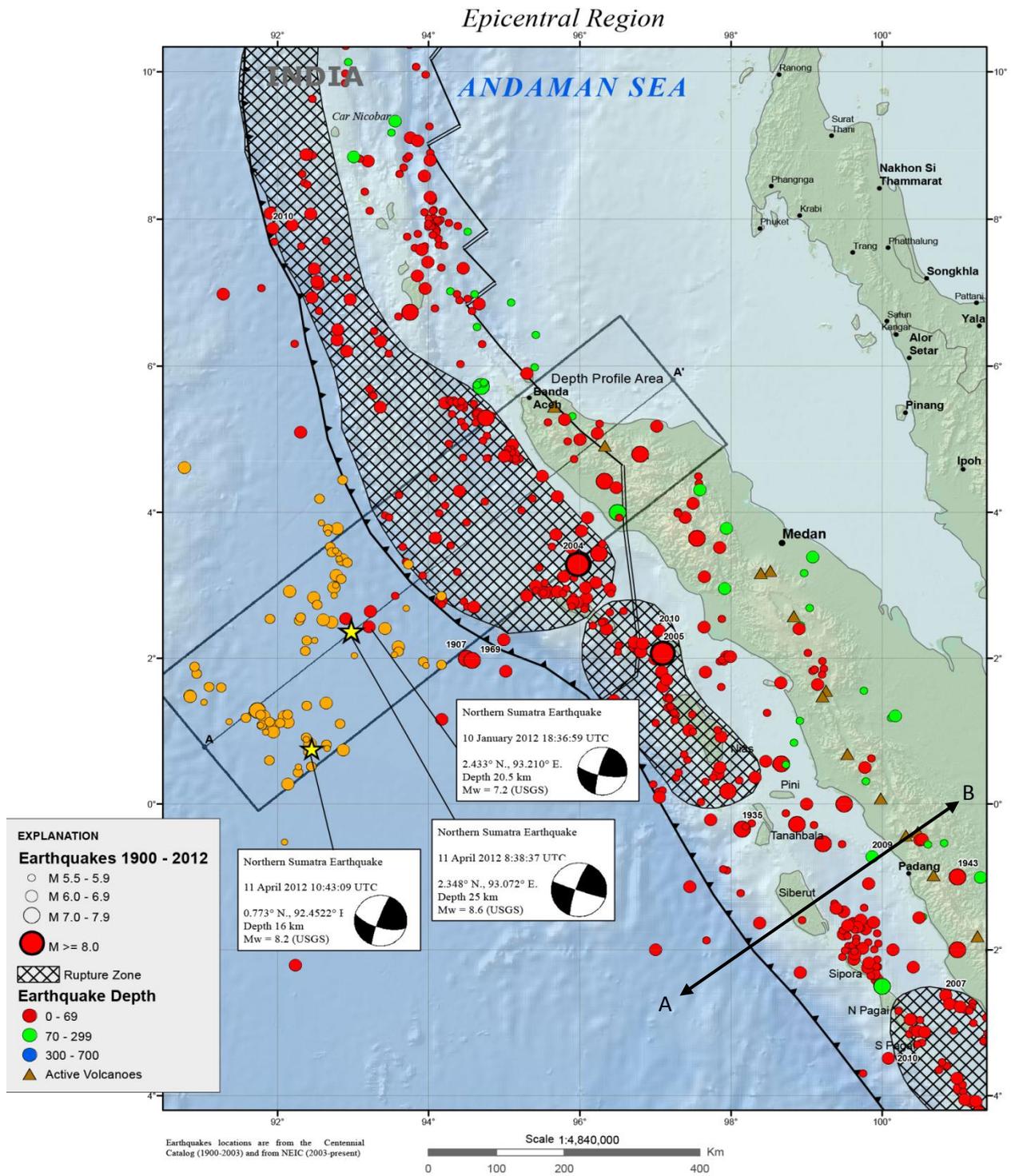


Figure 12 : Localisation des séismes du 11 avril 2012 au Nord de Sumatra (source USGS)

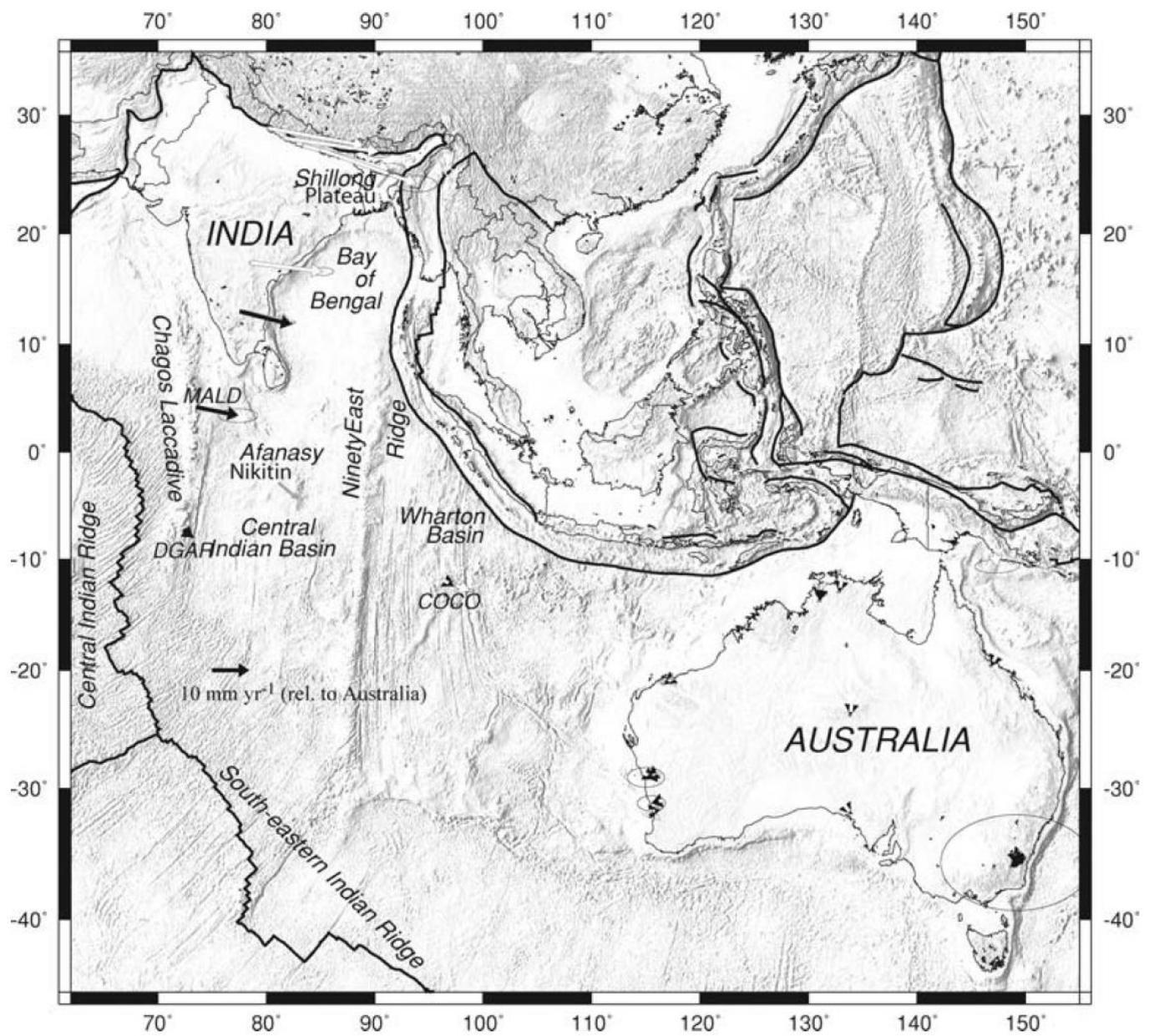


Figure 13 : Carte de la zone Indo-Australienne (Delescluse et Chamot-Rooke, 2007)