

SESSION 2009

2nd concours

GÉOSCIENCES

École normale supérieure de Lyon

Durée : 3 heures

Ce livret comprend 9 pages numérotées de 1 à 9

L'usage de calculatrices électroniques de poche à alimentation autonome, non imprimantes et sans document d'accompagnement, est autorisé. Cependant, une seule calculatrice à la fois est admise sur la table ou le poste de travail, et aucun échange n'est autorisé entre les candidats.

Origine, dynamique et implications de l'orogénèse himalayenne

Note : les différentes parties sont indépendantes

1. Géodynamique

1.1 : A partir de la carte des anomalies magnétiques de l'Océan Indien (figure 1) tracez sur un graphe le trajet effectué par l'Inde par rapport à la ride indienne.

1.2 : Calculez la vitesse moyenne entre chacune des anomalies magnétiques successives et reportez ces vitesses en fonction de la moyenne de l'âge des 2 anomalies utilisées.

1.3 : Quelles sont les grandes périodes que vous pouvez distinguer ? Comment expliquer les changements de vitesse et de direction de convergence observés ?

2. Tectonique

2.1 : A partir de la coupe de la figure 2, décrivez la structure la chaîne.

2.2 : En vous basant sur l'âge des principaux épisodes de déformation des zones tectoniques délimitées sur la figure 2 proposez un modèle de formation de la chaîne.

2.3 : A partir des données GPS (figure 3) déterminez la nature et le sens des failles suivantes : MBT, Suture Inde Asie, faille du Fleuve Rouge, faille du Kunlun et est de la faille de l'Altn Tagh.

2.4 : Calculez les vitesses de glissement le long de ces plans de failles.

2.5 : Faites un schéma interprétatif de la photo de la figure 4 (zone de faille de l'Altn Tagh).

2.6 : Le lit de la rivière A (figure 4) correspond à une terrasse alluviale formée il y a 2200 ans. A partir de la géométrie du lit de cette rivière et de cet âge déduisez la vitesse de coulissage moyenne le long de la faille de l'Altn Tagh depuis 2200 ans (en mm/an).

2.7 : Comparez et discutez les vitesses de coulissage le long de la faille de l'Altn Tagh obtenue par GPS ou par datation de lit de rivière.

3. Evolution thermique

3.1 : Décrivez la minéralogie et la structure de la lame mince de la figure 5.

3.2 : Déterminez sur la grille pétrogénétique de la figure 6 la gamme de conditions Pression - Température correspondant à la minéralogie observée.

3.3 : Afin de préciser les conditions Pression Température (PT) subies par l'échantillon de la figure 5 la chimie du cœur et de la bordure des grenats a été obtenue (table 1). Sachant que la formule structurale des grenats est de la forme $Fe_{6-n}Mg_nSi_6Al_4O_{24}$ calculez la formule structurale des zones du grenat analysées à partir des compositions exprimées en pourcentage de poids d'oxyde données dans la table 1. Vous calculerez dans un premier temps les proportions en mol de chaque atome, Fe^{2+} , Mg^{2+} , Si^{4+} et Al^{3+} . On donne les masses atomiques : $M_{Fe}=56$ g/mol ; $M_{Mg}=24$ g/mol ; $M_{Al}=27$ g/mol ; $M_{Si}=28$ g/mol ; $M_{O}=16$ g/mol.

3.4 : A partir des formules structurales obtenues calculez les rapports $Fe/(Fe+Mg)$ de chaque zone du grenat. Ce rapport est fonction de la température subie par les grenats. Dans la grille pétrogénétique de la figure 6, les lignes pointillées correspondent chacune à une valeur du rapport $Fe/(Fe+Mg)$. Les valeurs des rapports sont reportées sur les lignes correspondantes. A partir de vos calculs et de la figure 6 affinez les conditions PT enregistrées par l'échantillon étudié.

3.5 : Expliquez la différence entre le cœur et la bordure du grenat et en déduire une évolution PT.

3.6 : Sachant que la composition chimique de la bordure du grenat est à l'équilibre avec une pression de 5 kbar, calculez les gradients géothermiques (évolution de T avec la profondeur) enregistré par le cœur et la bordure du grenat. Expliquez la différence observée.

3.7 : L'effet de l'épaississement sur l'évolution thermique de la croûte est testé par modélisation numérique dans laquelle deux croûtes continentales sont superposées instantanément. Le modèle donne alors l'évolution du gradient géothermique au cours du temps. Les résultats de cette modélisation sont présentés dans la figure 7. Donnez dans un premier temps les différents paramètres contrôlant le gradient géothermique dans une croûte continentale). Comment expliquer le gradient géothermique final de la modélisation figure 7?

4. Morphologie

4.1 : Sur le modèle numérique de terrain de la figure 8, distinguez les grands ensembles morphologiques continentaux de l'ensemble Inde - Tibet.

4.2 : Comment expliquer la forte altitude de l'Himalaya. Illustrez votre réponse en calculant la différence d'altitude à l'équilibre isostatique entre une croûte d'épaisseur 35 km et une autre de 70 km d'épaisseur.

On prendra une densité de la croûte de $2,7 \text{ g/cm}^3$ et du manteau supérieur de $3,3 \text{ g/cm}^3$.

4.3 : Estimez qualitativement l'effet sur l'altitude maximale locale d'une érosion localisée par incision de rivière ou de glacier.

5. Sédimentologie

5.1 : Analysez la répartition des épaisseurs de sédiments terrigènes autour de l'Inde (Figure 9). Quelles structures sédimentaires contrôlent cette répartition et comment se sont elles formées ?

5.2 : L'évolution du taux d'accumulation des sédiments terrigènes autour de l'Inde et du Tibet est présentée dans la figure 10. Quels facteurs contrôlent cette évolution ? Faites le lien avec la formation de l'Himalaya.

6. Orogenèse et climat

6.1 : Analysez la courbe d'évolution de la production carbonatée globale (figure 11). En rappelant comment se forment les carbonates vous présenterez les facteurs qui contrôlent leur précipitation.

6.2 : Comparez les figures 11 et 10. Comment pouvez vous relier les deux évolutions observées ?

6.3 : Quelle est la conséquence climatique de l'évolution observée sur la figure 10? Quel impact sur la chaîne himalayenne ?

6.4 : Analysez la carte de répartition des précipitations de la figure 12. Expliquez la zonéographie observée.

Fin de l'épreuve.

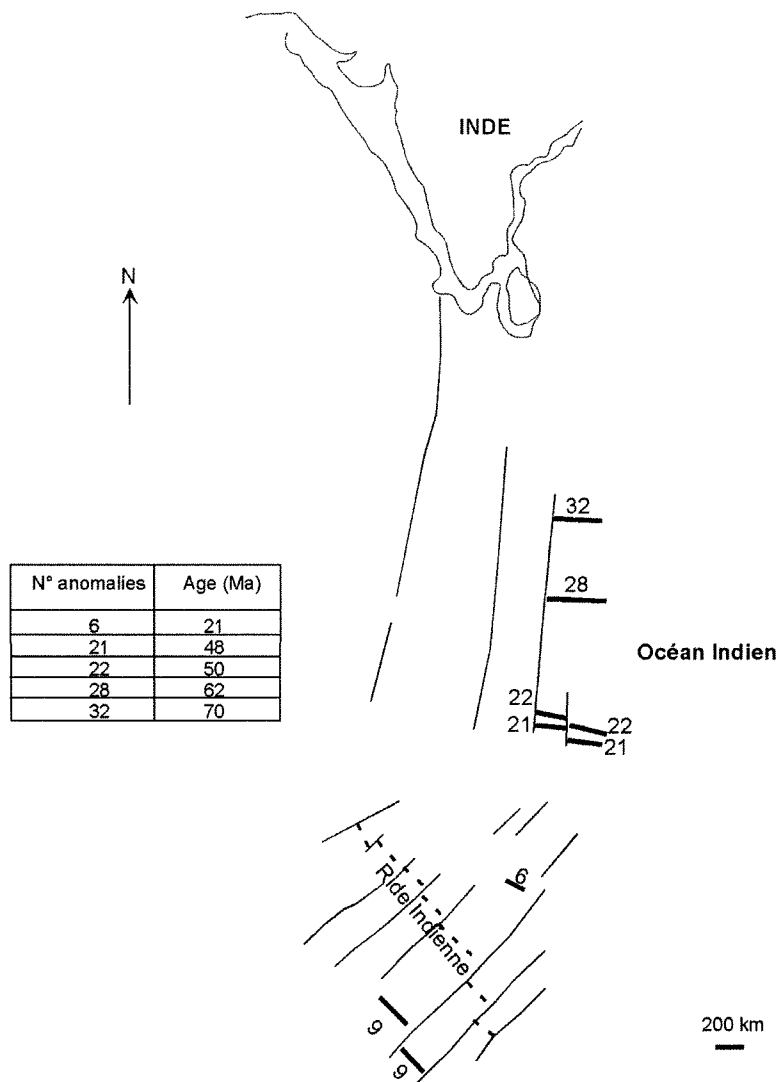


Figure 1: Carte simplifiée des anomalies magnétiques (avec les numéros d'anomalies reportées) de l'Océan Indien et table d'âge des anomalies magnétiques.

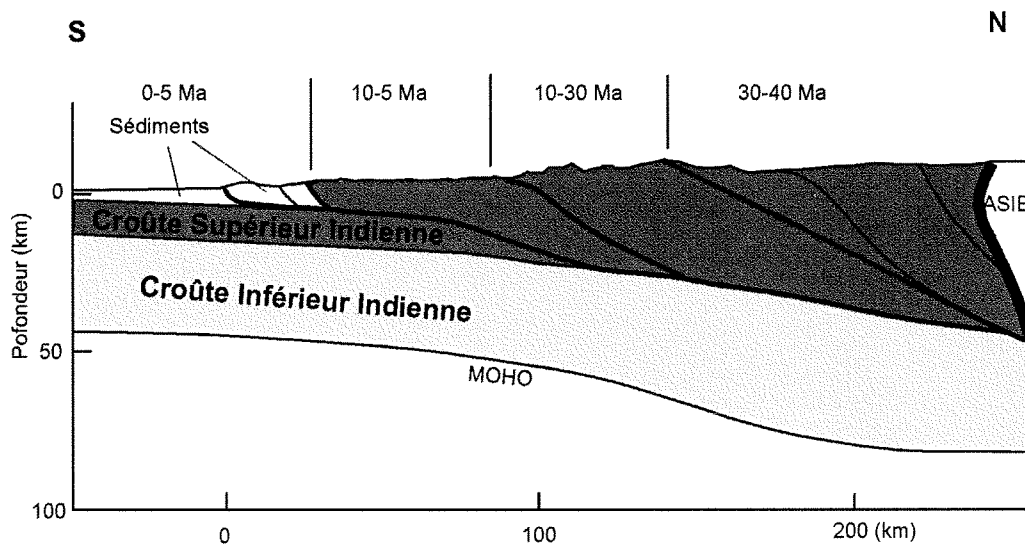


Figure 2: Coupe schématique de l'Himalaya et âge des principaux épisodes de déformations des différentes zones tectoniques.

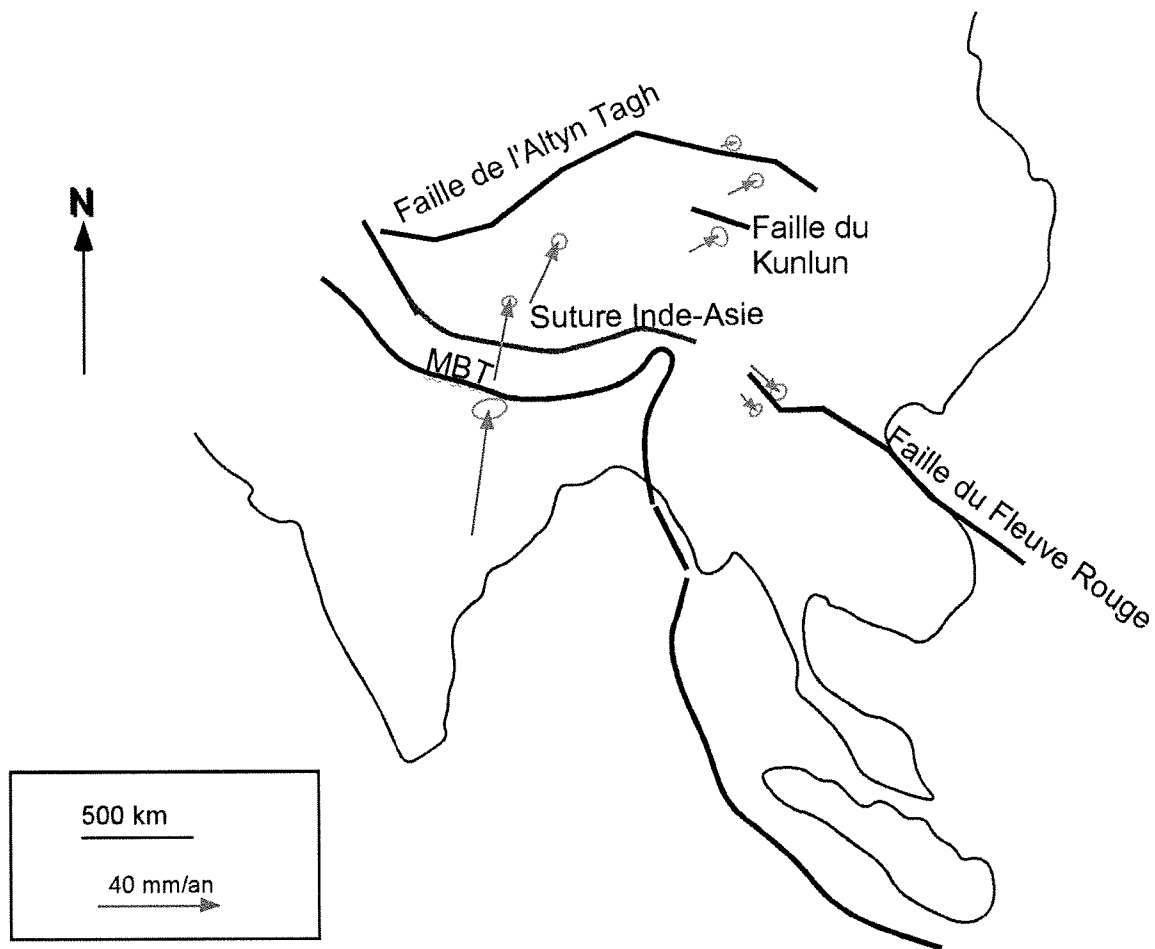


Figure 3 : Données GPS enregistrées en Asie du Sud Est entre 1998 et 2002 (d'après Zhang et al., 2004, *Geology*, 32(9), 809-812).
 Les vecteurs déplacement sont calculés par rapport à l'Eurasie stable. Les ellipses aux extrémités des vecteurs sont les incertitudes à 1σ .

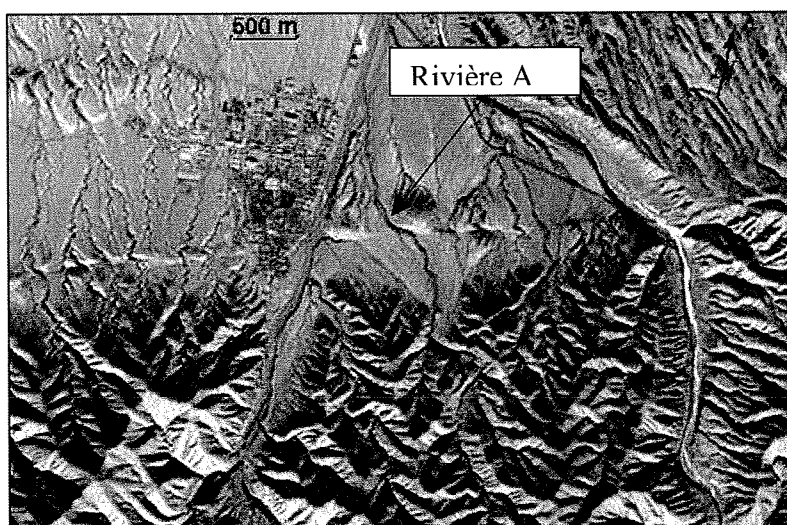
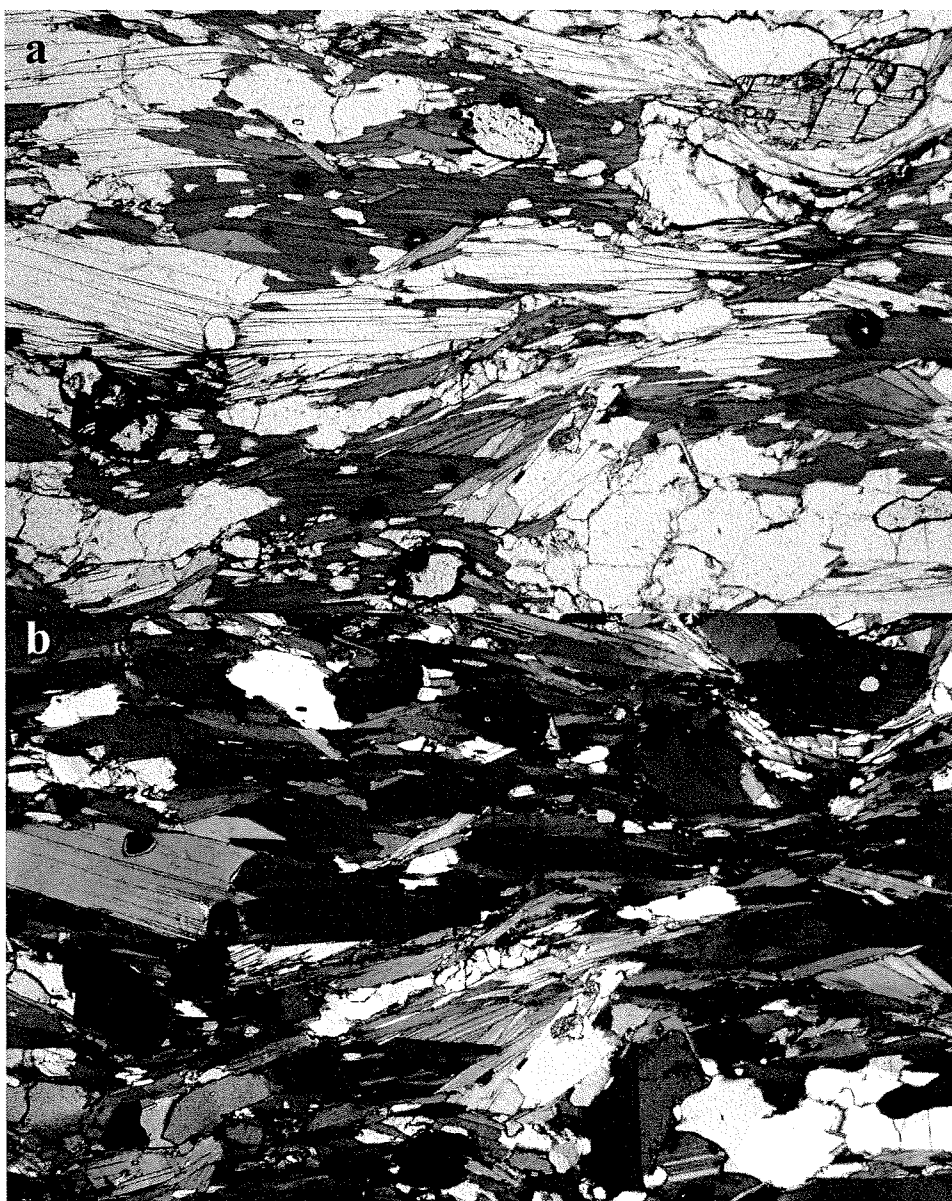


Figure 4: Image SPOT de la faille de l'Altyn Tagh (Mériaux et al., 2005, *J. Geophys. Res.*, 110, B04404)



1 mm

Figure 5: microphotographie d'une lame mince de roche, (a) en lumière polarisée non analysée et (b) en lumière polarisée et analysée.

	Cœur de grenat (poids %)	Bordure de grenat (poids %)
SiO ₂	37	40
Al ₂ O ₃	21	22.5
MgO	2.5	13.5
FeO	39.5	24

Table 1: Composition chimique en pourcentage de poids d'oxyde mesurée sur un grenat de l'échantillon de la figure 5.

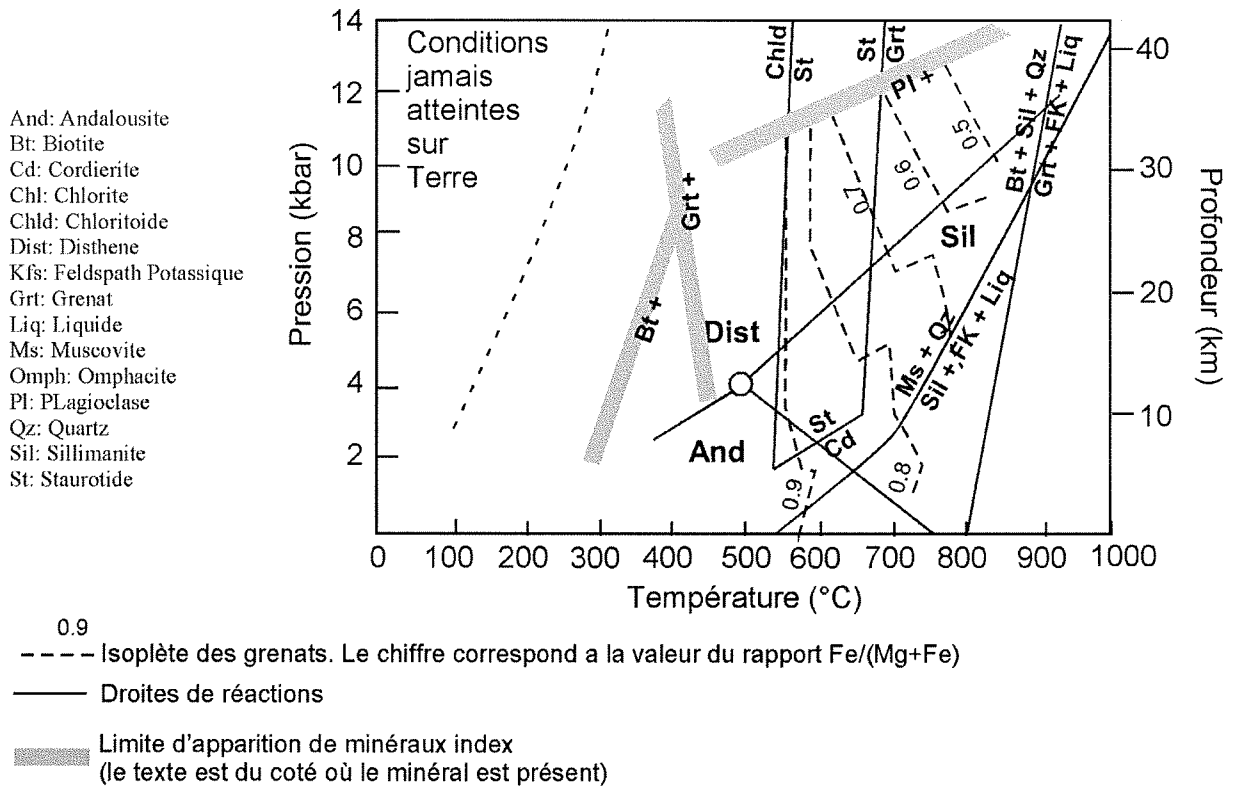


Figure 6: Grille pétrogénétique des métapelites et des métagranites

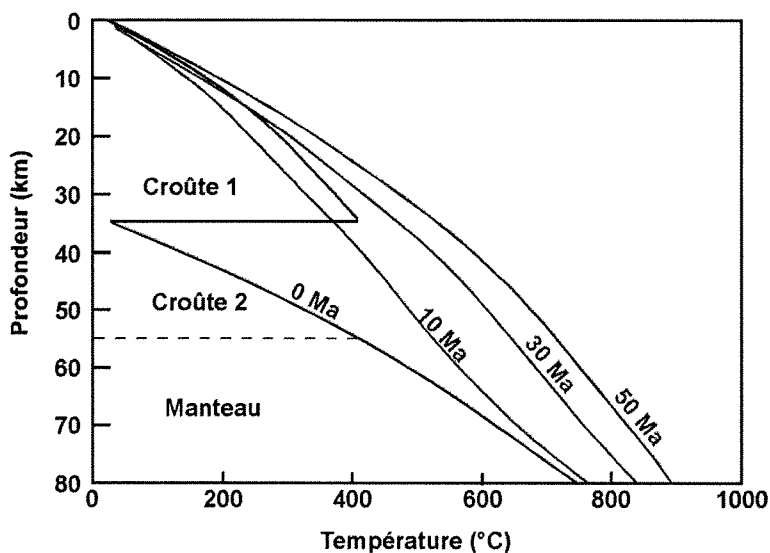


Figure 7: Résultat d'une simulation numérique de l'effet de la superposition instantanée d'une croûte continentale de 35 km d'épaisseur (croûte 1) sur une autre croûte continentale de 20 km d'épaisseur (croûte 2). En bleu la structure thermique initiale, en rouge l'évolution de cette structure thermique au cours du temps. Les chiffres sur ces courbes correspondent au

temps écoulé depuis le début de la superposition des deux croûtes continentales (d'après Nabelek & Liu, 2004, *Trans. R. Soc. Ed.*, 95, 73-85).

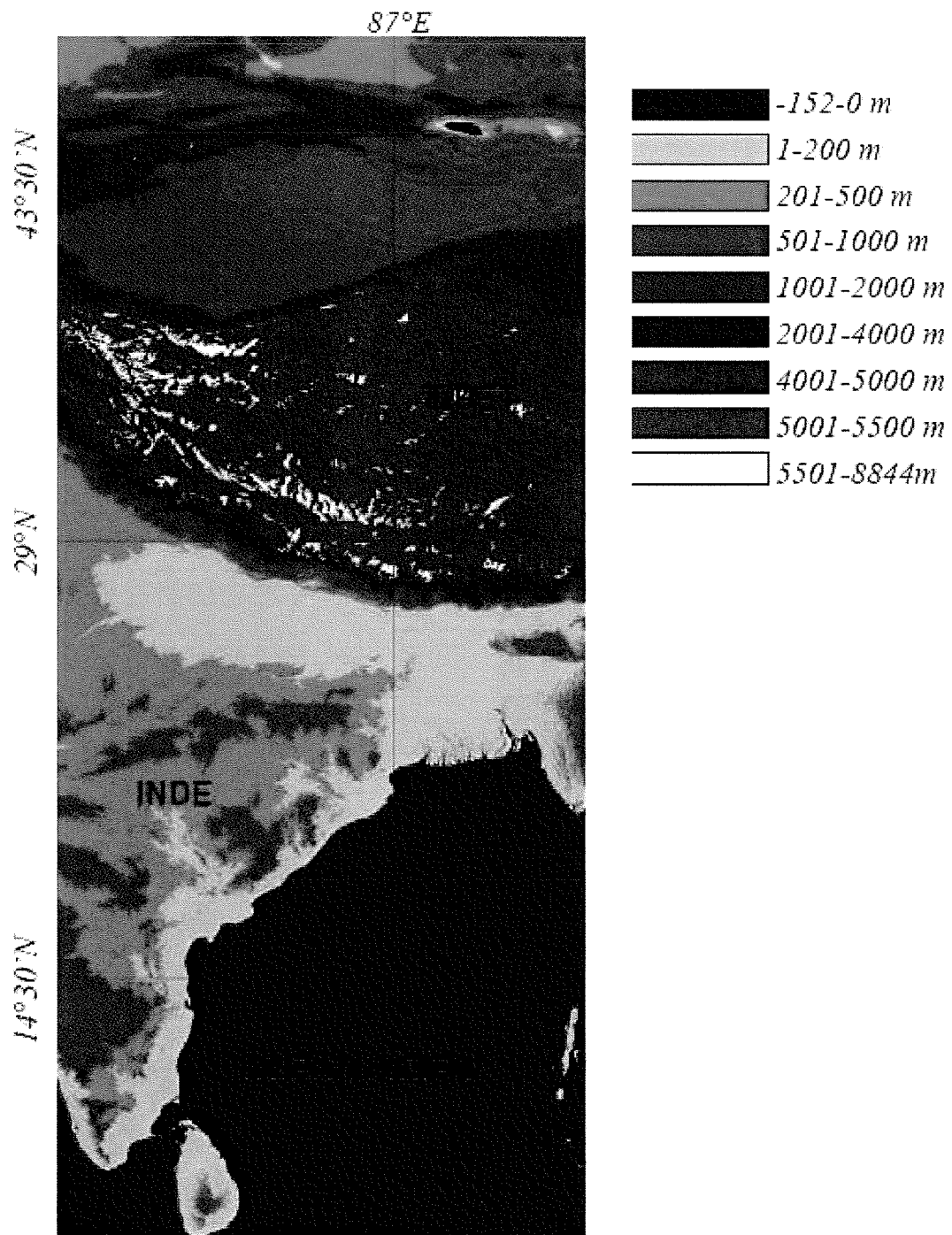


Figure 8: Modèle topographique de l'Inde et du Tibet

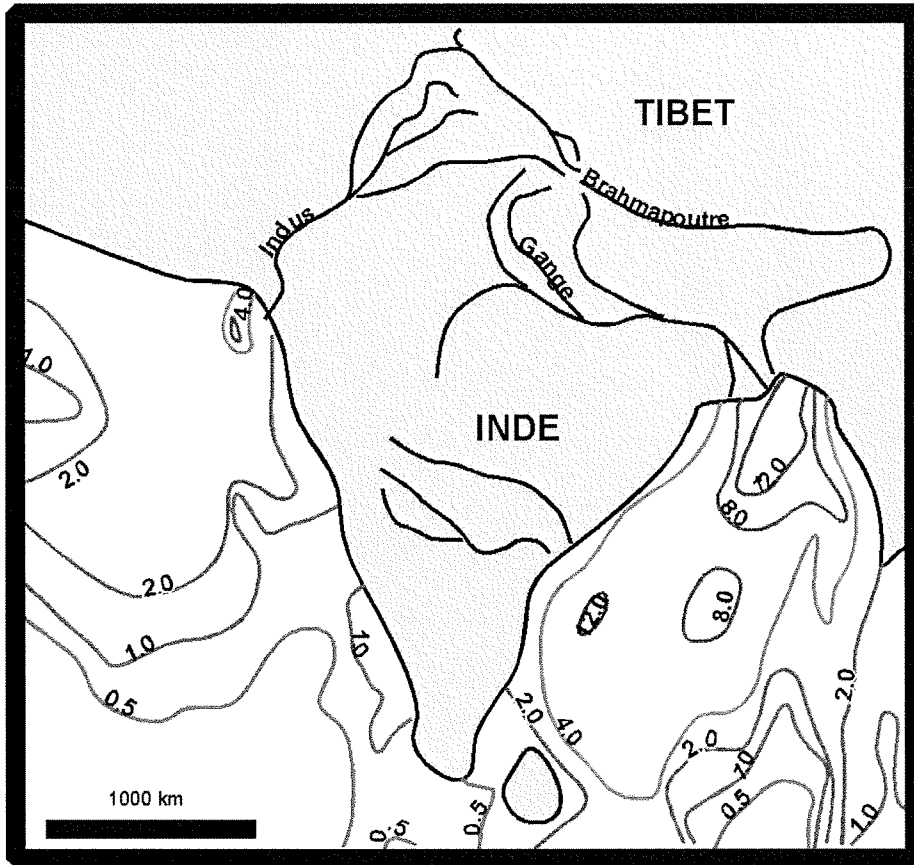


Figure 9: Carte d'iso épaisseur des sédiments terrigènes dans l'océan Indien autour de l'Inde (d'après Avouac & De Wever, Himalaya – Tibet, le choc des continents, CNRS Ed.). Les valeurs sur les lignes correspondent aux épaisseurs de sédiments en kilomètres.

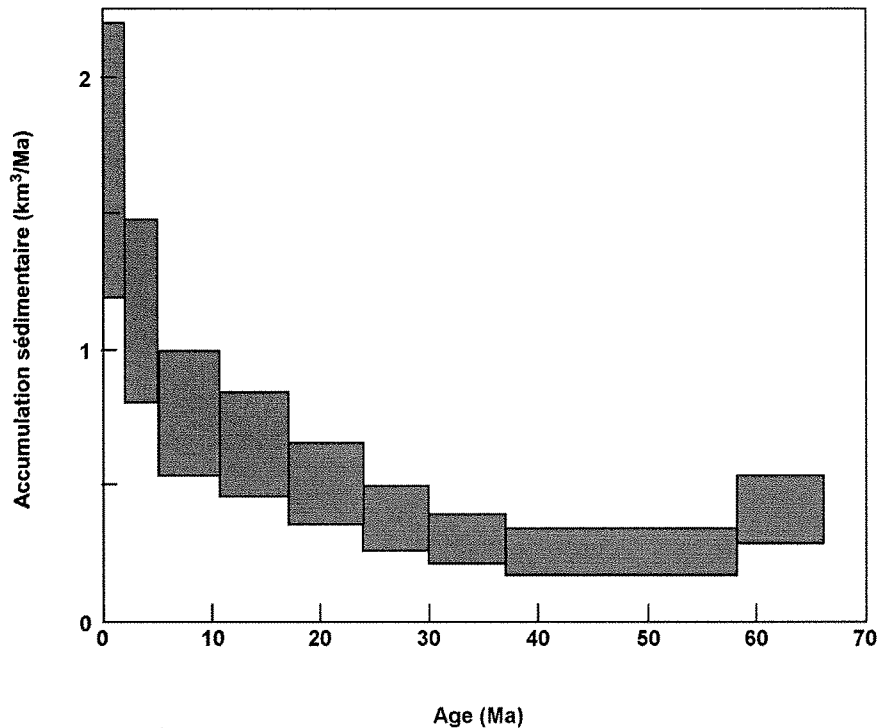


Figure 10: Évolution du taux de sédimentation terrigène autour de l'Inde et du Tibet (d'après Avouac & De Wever, Himalaya – Tibet, le choc des continents, CNRS Ed.).

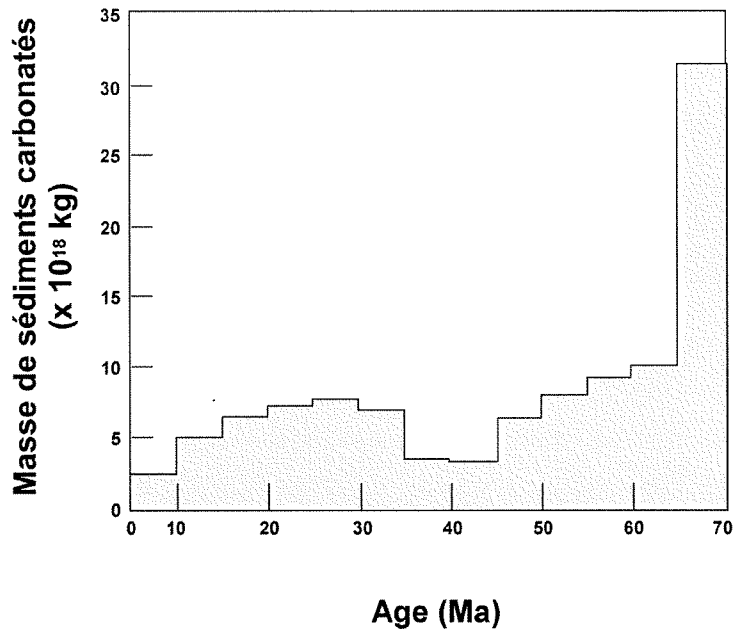


Figure 11: Évolution de la production carbonatée globale (d'après Hay et al., 1988, *J. Geophys. Res.* 93:14933-40)

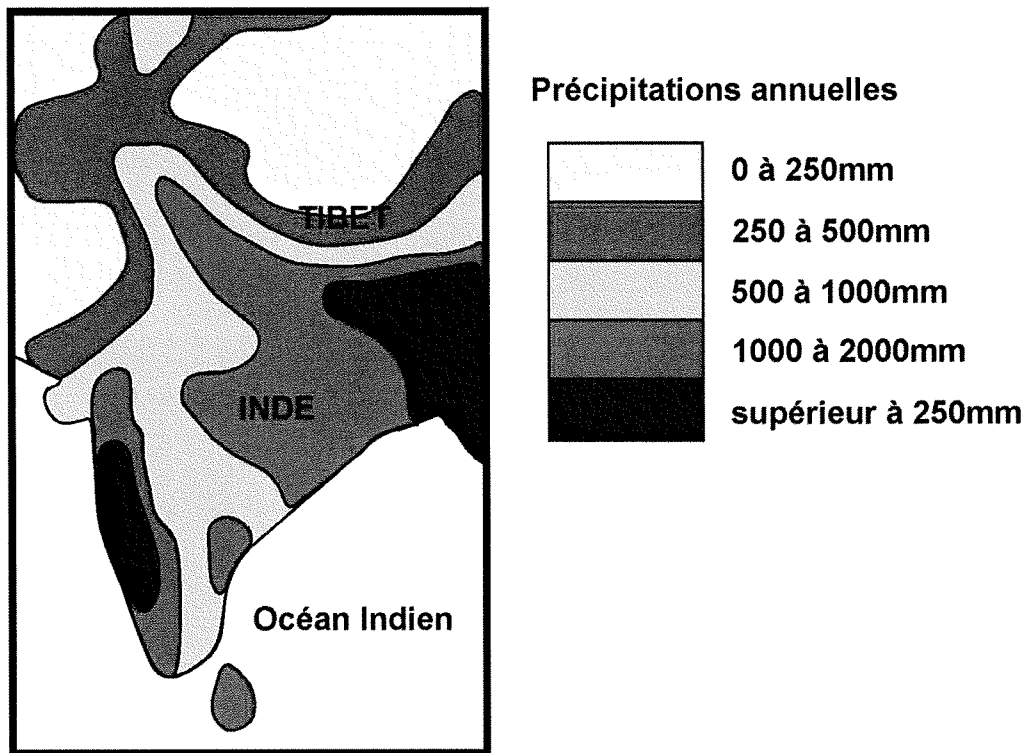


Figure 13: Carte des précipitations annuelles moyennes de l'Inde et du Tibet.