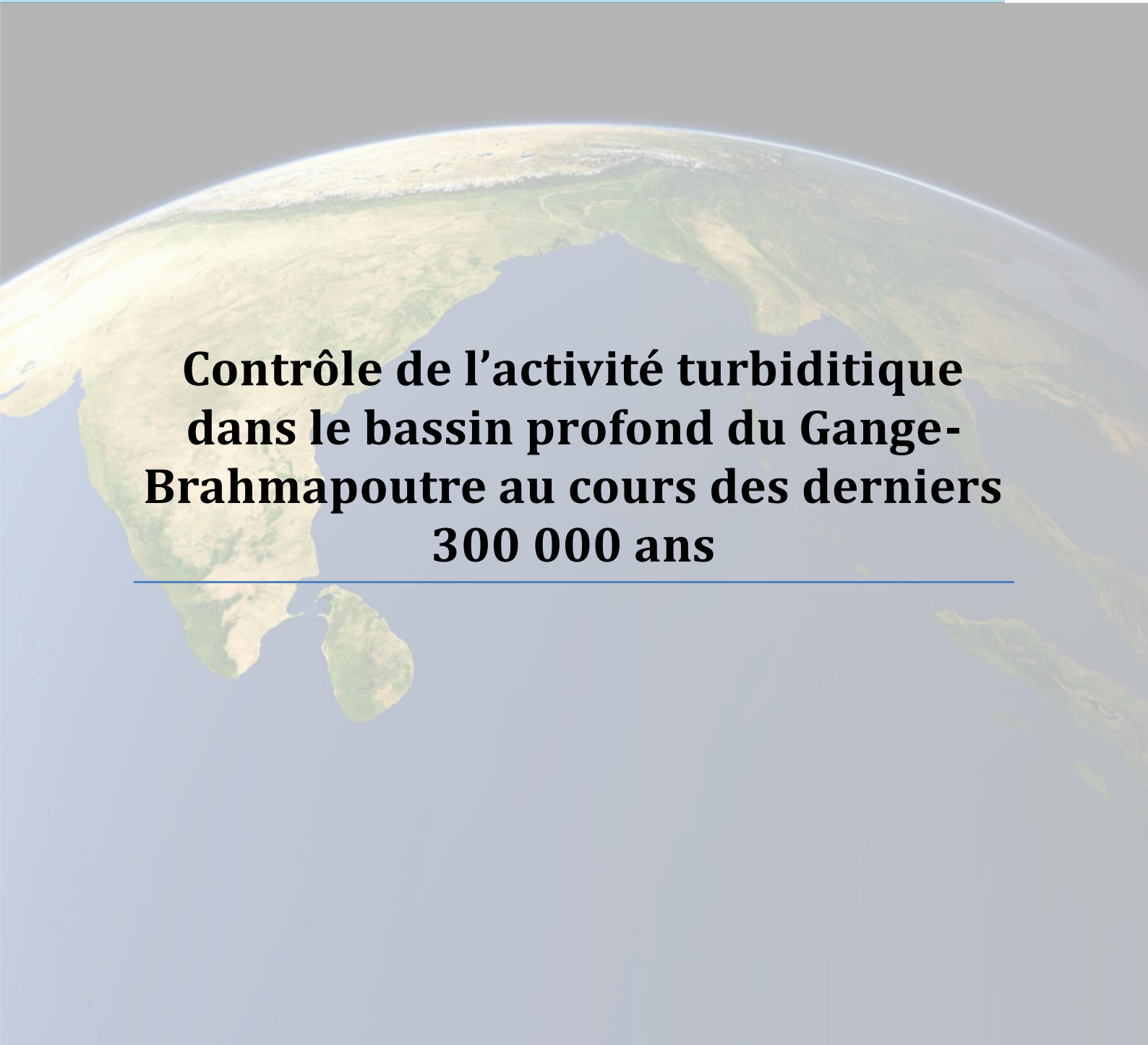
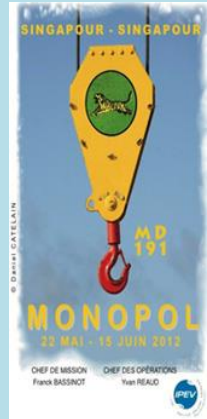




FAUQUEMBERGUE Kelly
Master 2 Recherche Sciences de la Terre et de
l'Environnement, 2013/2014
Mention Océanographie
Spécialités Environnements sédimentaires marins profonds et
paléoclimats



**Contrôle de l'activité turbiditique
dans le bassin profond du Gange-
Brahmapoutre au cours des derniers
300 000 ans**

Remerciements

Je souhaite avant tout remercier Sébastien Zaragosi qui a accepté de me prendre en stage de fin d'étude sous sa direction et qui a été un maître de stage plus que présent, à l'écoute, et qui m'a permis de participer à mes premiers échanges scientifiques. Je remercie également Léa Fournier qui m'a également encadrée lors de ce stage et qui m'a autorisé à travailler sur les données de sa propre thèse.

Tout ça n'aurait jamais été possible sans toute l'équipe de la mission MONOPOL qui s'est montré très présente, en particulier Franck Bassinot, Catherine Kissel, Eva Moreno, Thibault De Garidel-Thoron qui ont accepté de partager leurs données, et de m'aider durant ces 6 derniers mois.

Je remercie également les personnes qui ont travaillé sur l'acquisition et le traitement des données avec moi au sein du labo, tel que Béatrice Cosson, Vincent Marieu, Bernard Martin, Olivier Ther, Pascal Lebleu et Isabelle Billy.

Pour finir, je tiens à remercier cette promotion de master 2 exceptionnelle, dont chaque personne m'a permis, à sa manière, de me sentir bien et écoutée cette année dans les moments difficiles. Je tiens particulièrement à remercier Camille Bréant qui m'a parfois portée à bout de bras dans les périodes de faiblesse, son oreille attentive, sa gentillesse, son sale caractère au volant et l'amitié qui est née de tout ça m'ont permis rester debout dans des moments où plus rien ne tenait.

Arriver en stage de Master 2 Paléoclimats et Sédimentation profonde n'est pas une mince affaire. Pour ça, il a fallu choisir une voix que même les conseillères d'orientation ne connaissent pas « Non franchement, je te vois pas dans des longues études de toutes façons. ». Il a fallu affronter le regard dévalorisant de ses amis : « Oui, enfin tu veux faire un Bac+8 pour regarder des cailloux quoi. ».

Ce n'est d'ailleurs facile ni pour vous, ni pour les personnes qui vous soutiennent au quotidien. Il a fallu convaincre sa sœur que l'étude des océans ne se passe pas forcément à bord de sous-marins : « J'ai voulu expliquer à mes collègues mais j'ai pas du tout compris. ». Vos parents doivent apprendre l'intitulé de votre master : « Moi je dis qu'avec un post-it dans les toilettes on finira par faire un malheur au Scrabbles. ».

C'est donc également ces personnes que je souhaite remercier pour m'avoir amené, avec ou sans le vouloir, à ce stage qui m'a conforté dans les choix que j'ai fait au cours de ma vie et qui m'ont fait atterrir par hasard dans ce monde auquel je souhaite un jour appartenir. Merci à ceux qui m'ont soutenu mais également à ceux qui ne l'ont pas fait.

Table des Matières

Remerciements	1
Table des Matières.....	2
Table des illustrations.....	3
Abstract	Erreur ! Signet non défini.
Introduction	6
Cadre de l'étude.....	6
1. Contexte géologique.....	6
Présentation	6
Alimentation du système turbiditique	8
2. Contextes météorologique	10
La mousson	10
3. Etudes antérieures.....	10
Matériel et Méthode	11
1. Carottes sédimentaires.....	11
2. Stratigraphie et datations	12
3. Analyses sédimentologiques	13
Radioscopie X (rX)	13
X-Ray Fluorescence (XRF).....	13
Lavages.....	13
Lames minces	13
Taille des grains	13
Sondeur de sédiments.....	14
4. Cartographie	14
Résultats	14
1. MD12-3412	14
Profils sismiques	14
Corrélation sismique-carotte	15
Stratigraphie	16
Taille des grains	18
Nature turbiditique	20
Epaisseurs.....	21
Fréquences.....	21
2. MD12-3417	22

Environnement de dépôt.....	22
Stratigraphie	23
Taille des grains	24
Nature turbiditique	24
Epaisseur	25
Fréquence	25
Discussion	26
1. Influence du niveau marin sur l'activité turbiditique	26
Sur le chenal E4.....	26
Sur le chenal principal.....	27
2. Influence des moussons sur l'activité turbiditique	27
3. Influence de la position du delta sur l'activité turbiditique.....	28
Conclusion.....	30
Bibliographie.....	31

Table des illustrations

Figure 1: Carte synthétique des bassins versants, talwegs et lobes de la baie du Bengale, avec échelle de précision des données cartographiques	7
Figure 2: Carte schématique du Swatch of No Ground	8
Figure 3: Résultats des profils sismiques du delta de Hubscher et al. (2005), (position en Figure 2). FRST: forced regression systems tract, LST: lowstand systems tract, TD: transgression deposits, TST: transgressive systems tract.....	8
Figure 4: Exemple de profil sismique de la active valley (Hübscher, 1997)	9
Figure 5 : Représentation des précipitations annuelles moyennes actuelles (1979-2011) dans l'Océan Indien (Saraswat et al., 2014)	10
Figure 6: Calcul des cotes composites de la MD12-3412	12
Figure 7: Calcul des cotes composites de la MD12-3417	12
Figure 8: Profil sismique Est-West sur le site de la MD12-3412, avec une taille de carotte moyennée à 1500m/s.....	15
Figure 9: Indice de présence de gaz dans le sédiment, MD12-3412.....	16
Figure 10: Corrélation entre la stack-LR04 (Lisiecki et Raymo, 2005) et le $\delta^{18}\text{O}$ des G. ruber de la MD12-3412	17
Figure 11:Modèle d'âge et taux de sédimentation de la MD12-3412	18
Figure 12: Exemple de repérage d'excursions granulométriques calcitiques et détritiques à l'aide des données XRF, du décile 50 (D50), et de la cartographie granulométrique (Grain size) (MD12-3412, tronçon 15).....	18
Figure 13: Comparaison des analyses géochimiques, du log lithologique illustrant la position des calciturbidites et des turbidites détritiques, des unités sismiques, du décile 50 (D50) de la	

MD12-3412. Illustration de la granodécroissance sur la cartographie granulométrique (--). Reconnaissance des Marine Isotopic Stage (MIS, Lisiecki et Raymo, 2005) et positions des datations des âges ¹⁴ C calibrés(×).	19
Figure 14:Exemple de lame mince d'une calciturbidite et des propriétés associées, MD12- 3412	20
Figure 15: Résultats des lavages des turbidites détritiques, MD12-3412	21
Figure 16:Résultats des lavages des calciturbidites, MD12-3412	21
Figure 17:Épaisseurs moyennes et fréquences des turbidites de la MD12-3412 comparées au niveau marin relatif à l'actuel (Waelbroeck et al., 2002), et à l'index des moussons indiennes (Caley et al., 2011). Illustrations des MIS (Lisiecki et Raymo, 2005) et des Forced Regression Systems Tract (FRST) et Lowstand Systems Tracts (LST) de Hubscher et al. (2005)	22
Figure 18: position de la MD12-3417 par rapport au chenal principal	23
Figure 19 : Modèle d'âge et taux de sédimentation de la MD12-3417	23
Figure 20: Comparaison de la géochimie et de la granularité des turbidites de la partie inférieure	24
Figure 21 : Comparaison de la géochimie et de la granularité de la turbidite supérieure	24
Figure 22: Comparaisons des analyses géochimiques, de la cartographie granulométrique, du log et du décile 50 (D50) de la MD12-3417. Illustration de la calciturbidite et des turbidites détritiques. Positions des datations des âges ¹⁴ C calibrés (×).	25
Figure 23: Schéma de fonctionnement du chenal E4	27
Figure 24: intensité des moussons indiennes durant les derniers 10 ka (Fleitmann et al., 2003)	28
Figure 25:Impact des variations du niveau marin sur la position du delta Nord-Bengale	29

Résumé

Contrôle de l'activité turbiditique dans le bassin profond du Gange-Brahmapoutre au cours des derniers 300 000 ans.

Le plus grand système turbiditique du Monde se situe dans la Baie du Bengale. Les sédiments qui l'alimentent au Nord sont issus des fleuves Gange et Brahmapoutre, qui drainent les plus hauts massifs himalayens. Les transferts sédimentaires se font principalement sous forme de courants de turbidité, dont la fréquence augmente lors des grands épisodes de mousson (Goodbred et Kuehl, 2000). Les études antérieures ont montré qu'en haut niveau marin, les sédiments se stockent sur le delta du Ganges-Brahmapoutre, et seul le chenal principal reste actif (Curry et al., 2003).

En 2012, la mission MONOPOL s'est intéressée aux décharges sédimentaires qui empruntent ces chenaux. Des carottages ont été réalisés sur la levée bordant le chenal principal (MD12-3417), et sur la levée d'un chenal actuellement inactif (MD12-3412).

La MD12-3412 couvre un enregistrement sédimentaire de 300 000 ans, tandis que la MD12-3417 couvre les derniers 10 000 ans. Cette différence de résolution a permis d'étudier les variations de sédimentation turbiditique à différentes échelles de temps. Afin de connaître l'évolution des décharges sédimentaires, une étude de fréquences et d'épaisseurs des séquences turbiditiques a été menée.

Sur le bord du chenal principal, seul la période entre 9 500 calBP et 10 000 calBP présente une activité turbiditique intense. Cette période est caractérisée par un changement d'alimentation majeur au sein du chenal principal.

Sur le site de la MD12-3412, l'alimentation du chenal se fait uniquement lors des stades isotopiques 2, 4 et 6. A cette échelle, l'activité turbiditique semble conditionnée par les variations du niveau marin. Une baisse du niveau marin pourrait entraîner un déplacement vers le rebord de pente des édifices deltaïques, permettant ainsi une alimentation plus linéaire de la marge.

Abstract

Controls of activities in the deep Ganges-Brahmaputra basin during the last 300,000 years.

The biggest turbiditic system of the world is located in the Bay of Bengal. Sediments that form this system mainly come from the Ganges and Brahmaputra Rivers, which drain high Himalayan massif. Sedimentary transfers occur as turbidity currents, which increase in frequency during monsoons (Goodbred et Kuehl, 2000). Previous studies have shown that, during high sea level periods, sediments are stored on the Ganges-Brahmaputra delta, and only the active valley works (Curry et al, 2003).

In 2012, mission MONOPOL aim was to study sedimentary discharges that use the channels. The mission enabled the collection of long cores on the active valley (MD12-3417) and on an actual non-active channel (MD12-3412). The MD12-3412 covers a 300,000 year period, whilst the MD12-3417 covers the last 10,000 years. This difference in resolution allows study of the evolution of turbiditic sedimentation along different timescales. A turbiditic frequency and thickness study was carried out, to study the evolution of sedimentary discharges.

Along the active valley, only the periode between 9 500 and 10 000 calBP shows high activity. This period is characterized by a major shift in sediments supply on the main channel.

At the MD12-3412 site, sediment supply on channel E4 happens only during marine regression phases. At this scale, turbidites activities seem to be affected by sea level fluctuations. A sea level decrease could lead to a shift of deltaic edifice to the slope edge, allowing a linear sedimentary supply of the margin.

Mots clefs: Bengal, turbidites, moussons, niveau marin, chenaux, Quaternaire

Introduction

Le système fluvial du Bengale est composé des fleuves dont les décharges sédimentaires font parties des plus conséquentes du monde, le Gange et le Brahmapoutre (Hubscher et al., 2005). Cette région est soumise à un phénomène climatique particulier : les moussons. Lors des fortes périodes de moussons, les sédiments himalayens sont drainés sur le delta Nord-Bengale.

Il a été démontré que l'accumulation de sédiments sur ce delta a été conditionnée par les variations dans l'intensité des moussons (Palamenghi et al., 2011) mais également par les cycles de transgression-régression liés aux cycles de Milankovitch (Hubscher et al., 2005). Cependant, la majeure partie de ces sédiments sont stockés sur le delta actuellement, et seulement 29% de la charge se répand dans le système turbiditique profond (Michels et al., 2003, Milliman and Syvitski, 1992).

Les systèmes turbiditiques profonds sont les ultimes lieux de dépôt des sédiments continentaux. La partie la plus fine des sédiments se déplaçant dans les chenaux se dépose sur les levées turbiditiques qui les longent. Ces levées sont ainsi un lieu privilégié où s'enregistre l'histoire de l'activité turbiditique du Bengale. Ces courants de gravité sont supposés être influencés à la fois par des facteurs climatiques et eustatiques (Jorry et al., 2012). En effet, il a par exemple été démontré que les phases de régressions marines étaient un facteur primordial influençant les décharges sédimentaires au sein du système turbiditique profond de l'Indus (Bourget et al., 2013).

En 2012, la mission MONOPOL à bord du Marion Dufresnes 2 avait pour but d'étudier les interactions entre le signal des moussons dans le Golfe du Bengale et l'enregistrement turbiditique profond. Des carottages longs ont été effectués sur les sites stratégiques d'un transect Nord-Sud du Golfe. Les levées du Nord du Golfe du Bengale sont des sites exceptionnels pour ce type d'étude. Jusqu'à présent, seules des études utilisant des données sismiques et des carottages courts y ont été menées.

Cette étude se concentre sur l'étude des signaux sédimentologiques et géochimiques de deux carottages longs prélevés sur les levées de deux chenaux situés dans la partie supérieure du système (Figure 1). Ces deux carottes ont des résolutions temporelles différentes et couvrent jusqu'aux derniers 300 ka. Elles permettront d'étudier l'historique de l'activité turbiditique au regard des forçages climatiques et eustatiques susceptibles de les influencer.

Cadre de l'étude

1. Contexte géologique

Présentation

Le système turbiditique du Bengale s'étale du Nord du Golfe du Bengale jusqu'à la plaine abyssale du Ceylon au Sud où se déposent les sédiments grossiers du système, formant les lobes du Bengale (Figure 1). Il est limité au Nord-Est par la fosse de Java et au Sud-Est par Ride 90°E. Le fond du Golfe est tapissé de chenaux d'axe Nord-Sud qui peuvent mesurer jusqu'à 2 500 km de long. La nomenclature de ses chenaux a été choisie par Curray et al. (2003) en fonction de leur position par rapport au seul chenal supposé actif actuellement : le chenal principal, dit Active Valley (AV, Figure 1).

La dynamique sédimentaire du Golfe est conditionnée par le contexte tectonique de la région. Au Crétacé, l'Inde se sépare du Gondwana (Curray et al., 2014) et entame une

remontée rapide vers le Nord-Est. A son tour, Madagascar se sépare de l'Inde. Ce rift est à l'origine des escarpements des Ghâts Occidentaux (Figure 1). La surrection des Ghâts fait du Golfe du Bengale l'exutoire de la majorité des bassins versants indiens (Subrahmanya, 1998) (Figure 1).

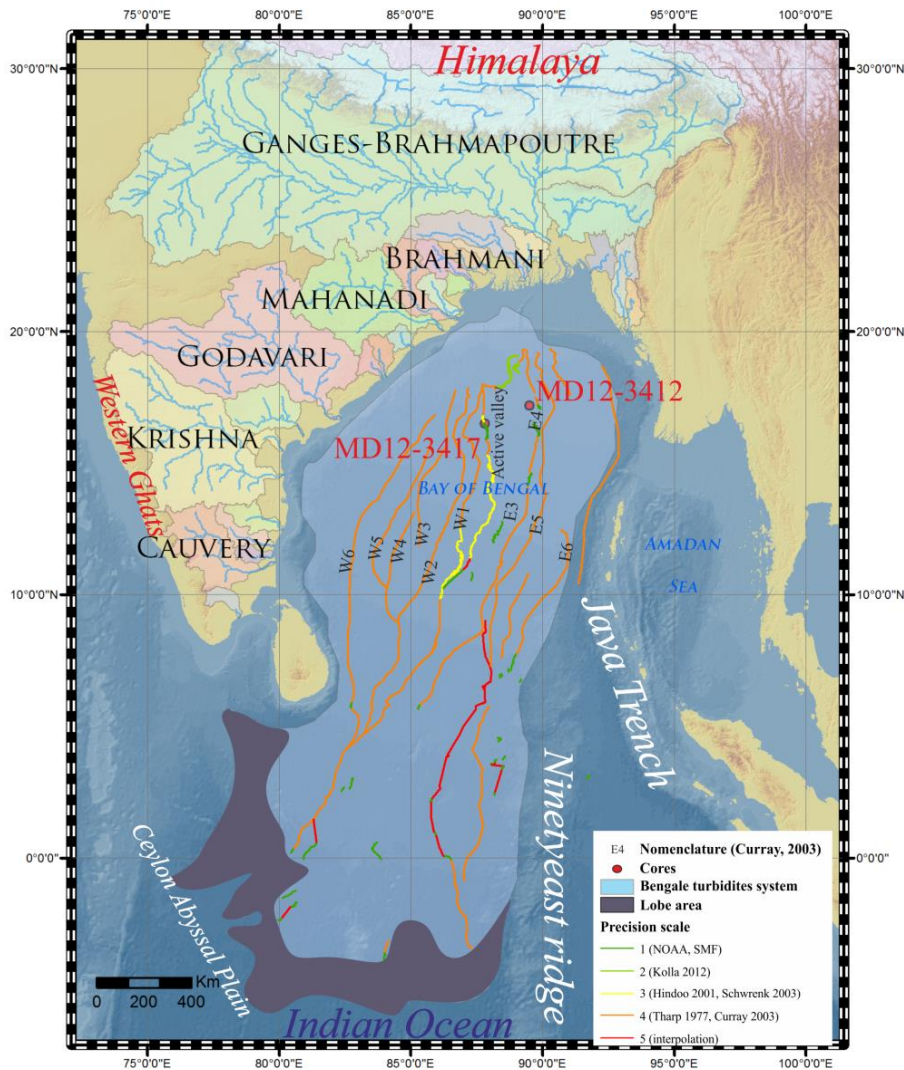


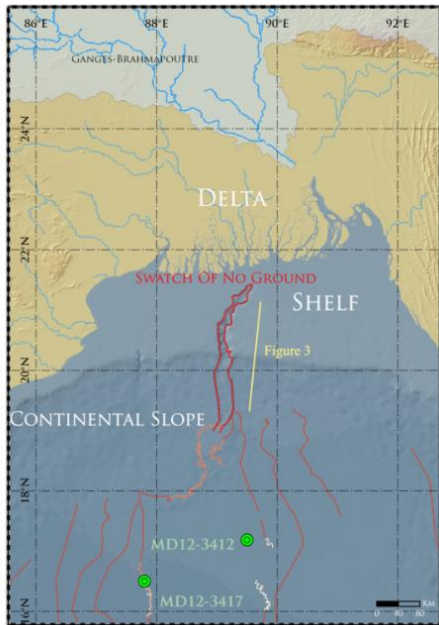
Figure 1: Carte synthétique des bassins versants, talwegs et lobes de la baie du Bengale, avec échelle de précision des données cartographiques

A l'Eocène Moyen, la collision continentale entre l'Inde et la future-Asie provoque le soulèvement du Tibet, ainsi qu'un épaissement crustal sous l'Himalaya. Cette surrection fera également du Golfe l'exutoire sédimentaire du Sud himalayaen dès l'Eocène Supérieur (Curry et al., 2014). Les premiers enregistrements turbiditiques au sein du Golfe sont datés de l'Oligocène supérieur (P.M. Kessarkar et al., 2005).

Depuis le Tertiaire, la principale source sédimentaire qui alimente le système correspond au système fluvial du Ganges-Brahmapoutre (Figure 1), expliquant la direction Nord-Sud des chenaux du Golfe : les apports des autres rivières du Bangladesh et d'Inde sont minoritaires dans le Golfe (Curry et al., 2003). Les apports importants ont permis la formation sur la plateforme d'un delta progradant au Nord du Golfe du Bengale (Figure 2). Ces apports se font principalement de juin à septembre durant la période des moussons estivales (Figure 5), période d'érosion intense de l'Himalaya (Galy et France-Lanord, 2001).

Le système sédimentaire du Bengale englobe à la fois les systèmes fluviaux et lacustres du Ganges-Brahmapoutre, leur traversée du delta, de la plate-forme continentale, du talus et les dépôts profonds (Curry, 2014). Ce système forme à l'heure actuelle le plus grand complexe d'accumulation sédimentaire du monde. Il s'étend sur 3 000 km de long, 1 000 km de large sur une épaisseur de 16.5km en moyenne. (Curry et al., 2003). Il s'élève donc de 7 800 m d'altitude à 5 000 m de profondeur.

Alimentation du système turbiditique



Le Gange draine la pente méridionale externe de l'Himalaya. Le Brahmapoutre draine quant à lui sa pente méridionale interne. Les sédiments délivrés à l'embouchure sont majoritairement des silts et des argiles, avec seulement 15 à 20% de sables fins à très fins (Michels, 1998).

Une fois les décharges sédimentaires arrivées sur le delta, les sédiments se déposent sur la plate-forme en cliniformes caractéristiques des plus grands deltas progradants (Palamenghi et al., 2011). Les variations du niveau marins ont été illustrées dans les profils sismiques de la plate-forme (Figure 3, Hubscher et al., 2005). Ces profils ont également permis d'étudier l'évolution du trait de côte depuis le dernier maximum glaciaire et de conclure à une subsidence d'approximativement 4m depuis les derniers 20 ka.

Figure 2: Carte schématique du Swatch of No Ground

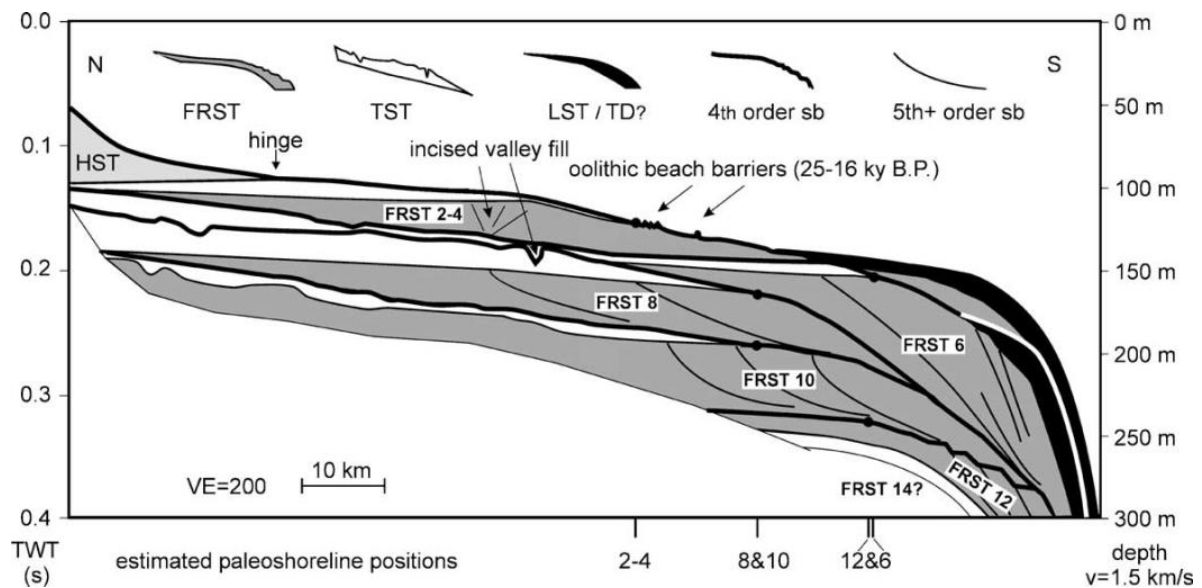


Figure 3: Résultats des profils sismiques du delta de Hubscher et al. (2005), (position en Figure 2). FRST: forced regression systems tract, LST: lowstand systems tract, TD: transgression deposits, TST: transgressive systems tract

Cette plate-forme s'étend sur 200 km de long. Le rebord de pente se trouve à 120 m de profondeur mais peut atteindre 170 m de profondeur sur les bords de son principal canyon : le Swatch Of No Ground (Figure 2).

Au niveau de la tête de ce canyon, les taux de sédimentation actuels atteignent 50 cm/an (Michels et al., 2003). Situé à 100 km de la confluence du Ganges-Brahmapoutre, ce canyon détient le rôle-clef de canal transitaire des sédiments d'origine continentale vers les grands fonds. Actuellement, seulement 20 à 29% des sédiments du Ganges-Brahmapoutre drainés sur la plate-forme l'empruntent. (Michels et al., 2003, Milliman and Syvitski, 1992).

Dans le canyon les transferts sédimentaires vont majoritairement se faire sous la forme d'écoulements turbiditiques (Kottke, 2003). Une fois passé ce canyon, ces courants de turbidité vont se diriger vers le ou les chenaux actifs.

Au fur et à mesure que l'écoulement progresse, la partie sédimentaire la plus fine du courant turbide se dépose sur les bords du chenal, formant ainsi des levées turbiditiques (Figure 4) qui enregistrent les passages successifs des sédiments au sein du chenal. Ainsi, le courant perd peu à peu de sa charge sédimentaire fine avec la profondeur et la distance au canyon, et les taux de sédimentation diminuent sur le long des levées. La charge grossière se retrouve donc dans la partie finale du système de dépôts : les lobes du Golfe du Bengale (Curry et al., 2003). En accord avec la faible quantité de charge grossière, ces lobes semblent relativement réduits aux vues de la taille des chenaux (Figure 1).

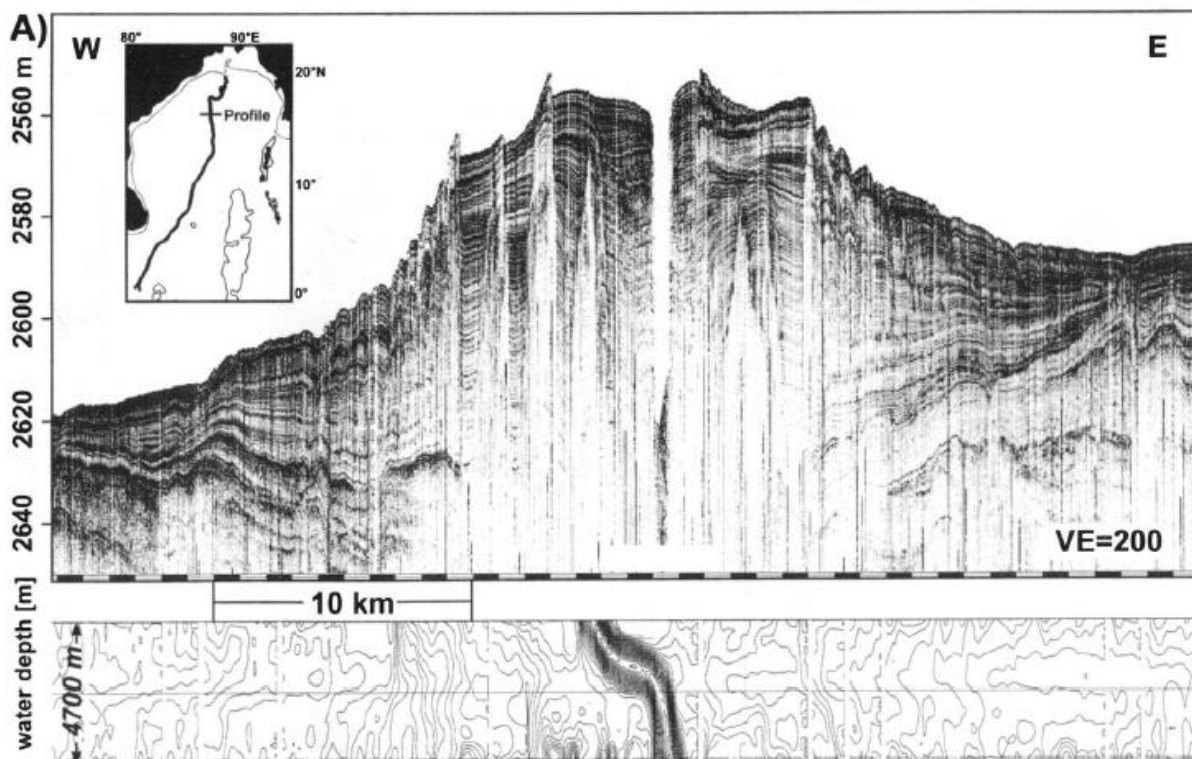


Figure 4: Exemple de profil sismique de la active valley (Hübscher, 1997)

2. Contextes météorologique

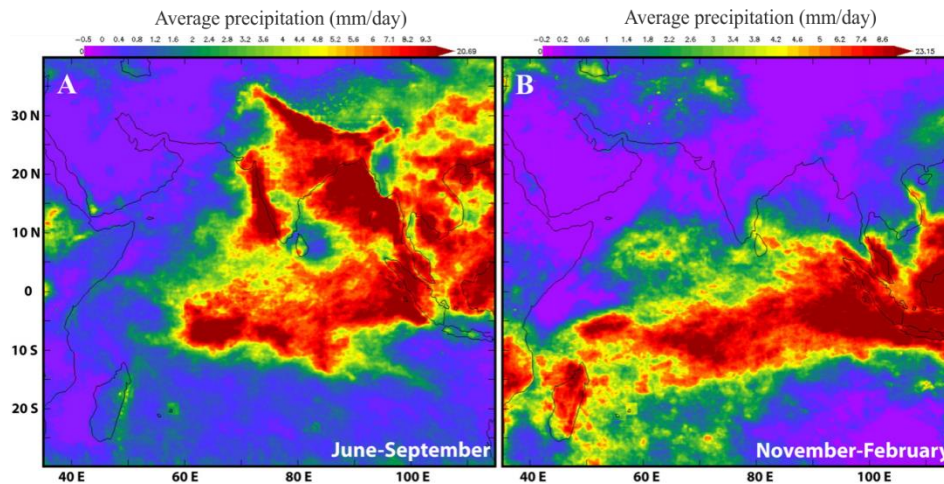


Figure 5 : Représentation des précipitations annuelles moyennes actuelles (1979-2011) dans l'Océan Indien (Saraswat et al., 2014)

La mousson

Le bassin du Ganges-Brahmapoutre se situe en zone tropicale soumise aux événements saisonniers de moussons. La mousson est un phénomène de renversement des vents au-dessus des régions intertropicales, associée à un contraste de précipitations entre le continent et l'océan. Cette région présente deux saisons principales : la saison sèche continentale de novembre à février, et la saison humide continentale de juin à septembre, durant laquelle d'importantes crues se mettent en place sur le continent (Saraswat et al., 2014). De juin à septembre, 90% des apports sédimentaires annuels du système sont drainés sur la plate-forme. (Chakrapani and Subramanian, 1990). (Figure 5)

L'intensité des moussons n'a pas été constante au cours des temps géologiques. En effet, à l'échelle des millénaires, l'apport moyen en sédiments sur la marge continentale serait passée d'une moyenne de 2.3×10^9 t/an durant l'Holocène inférieur à 10^9 t/an actuellement, probablement à cause d'une intensification du phénomène de moussons entre 11 000 et 7 000 ans BP. Les raisons de ces variations sont expliquées par une influence plus ou moins marquée des moussons asiatiques qui se seraient superposés moussons indiennes pour cette période (Goodbred et Kuehl, 2000).

À l'échelle des derniers 300 000 ans, les cycles astronomiques de Milankovitch vont influencer l'intensité des moussons. Ces cycles vont conditionner la répartition de l'insolation à la surface de la Terre, influencer la quantité de chaleur reçue par l'océan et le continent, et donc réguler la quantité de précipitations sur la zone. Les variations d'intensité des moussons indiennes semblent suivre un cycle de 40 000 ans (6^e ordre des cycles de Milankovitch). (Calley et al., 2011)

En plus d'augmenter les apports sédimentaires, les périodes de fortes moussons entraînent des houles importantes et des tempêtes fréquentes dans la région. Ces phénomènes vont déstabiliser la pile sédimentaire accumulée aux abords du Swatch Of No Ground. Les courants de turbidité qui en résultent peuvent donc avoir comme origine un remaniement des sédiments drainés antérieurement (Michels et al., 2003).

3. Etudes antérieures

Le Golfe du Bengale couvre $2,17.10^6$ km². Sa bathymétrie ainsi que le fonctionnement de ses chenaux turbiditiques sont encore mal connus. Les périodes d'activités au sein du

chenal principal sont encore débattus à l'heure actuelle. D'un côté, plusieurs auteurs (Curray, 1994. Goodbred et Kuehl 1999) affirment que l'espace disponible sur la plaine deltaïque et la plate-forme est suffisant pour stocker les sédiments du Ganges-Brahmapoutres depuis la dernière transgression marine (22 000 cal BP d'après Yokoyama et al., 2000). D'autres auteurs prouvent cependant une alimentation du Swatch Of No Ground durant cette période. (Kuelh et al., 1989). Ces études sont principalement basées sur des analyses de profils sismiques.

De plus, très peu d'études ont visé à décrire l'activité des autres chenaux que le chenal principal. D'après Kessarkar et al. (2005), la plupart des autres chenaux sont supposés inactifs depuis environ 300 000 ans. Pour Curray et al.(2003), le chenal E4 a été le chenal principal il y a plus de 125 000 ans. Il est supposé avulsé et donc totalement abandonné à l'heure actuelle.

En 2003, Weber et al proposent une étude multi-temporelle se basant sur les propriétés physiques des carottes sédimentaires pour étudier leur granulométrie. Ils suggèrent un lien étroit entre les variations climatiques Nord-Atlantique (événements de Dansgaard-Oeschger) et l'activité turbiditique du Golfe aux vues des données de susceptibilités magnétiques des carottes prélevées sur l'ensemble de la baie.

Beaucoup d'auteurs ont travaillé sur la géochimie des argiles (Bhuiyan et al., 2011, Galy et al., 1996, Galy et al., 1999, Colin et al., 1998). Très peu d'études traitent de la granulométrie de sédiments et de l'étude de l'activité turbiditique.

Le travail qui vous est présenté cherche à retracer les périodes d'activités du chenal principal et du chenal E4. La méthode utilisée repose sur une étude sédimentologique multi-proxies (taille des grains, XRF, rX, lames minces) combinée à une étude stratigraphie détaillées ($\delta^{18}\text{O}$ et ^{14}C) des dépôts de débordements. Cette méthode a déjà appliquée avec succès pour reconstruire l'histoire des fleuves Var et Manche (Jorry et al., 2011. Toucanne et al.,).

Matériel et Méthode

Les données traitées ont été recueillies lors de la Mission MONOPOL 2012 (LSCE, CEREGE, UMR EPOC, UMR IDS, IPGP, MHNP), à bord du n. o. *Marion Dufresne II*.

1. Carottes sédimentaires

Deux carottes sédimentaires principales ont été utilisées lors de cette étude :

- La première est la MD12-3412 (carottier CALYPSO, Figure 1), prélevée dans le Nord du Golfe du Bengale aux abords du chenal E4 ($18^{\circ}18.62'\text{N}$; $89^{\circ}34.26'\text{E}$), à 2367m de profondeur. Elle mesure initialement 32m.

- La deuxième est la MD12-3417 (carottier CALYPSO, Figure 1), prélevée également dans le Nord du Golfe du Bengale ($89^{\circ}34.26'\text{N}$; $87^{\circ}47.80'\text{E}$) à 2556m de profondeur sur une levée turbiditique bordant le chenal principal. Elle mesure initialement 40m.

Ces carottes ont subi un sur-échantillonnage de leurs parties supérieures par effet de pistonage (Skinner et McCave, 2003). Afin de corriger cet effet, la MD12-3412 est associée à une seconde carotte sédimentaire, la MD12-3411Q (carottier CASQ) prélevée sur le même site, qui elle n'a pas subi d'effet de pistonage. Les données de susceptibilité magnétique corrélées entre ces deux carottes par Catherine Kissel (LSCE) ont permis de recalculer les cotes théoriques (dites « composites ») de la MD12-3412 (Figure 6).

Correlations MD12-2412 and MD12-3411 (volumic suceptibility)

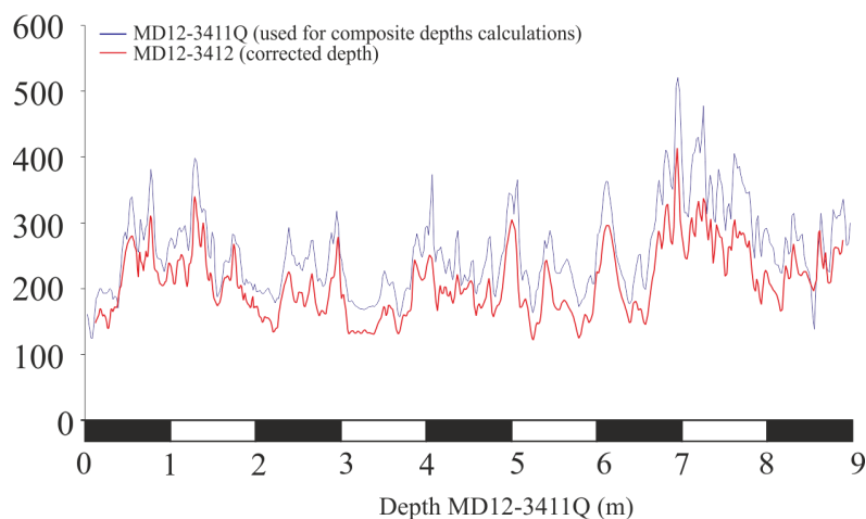


Figure 6: Calcul des cotes composites de la MD12-3412

La MD12-3417 est également associée à une carotte CASQ, la MD12-3418Q prélevée sur le même site (Figure 7). Les profondeurs composites sont calculées par corrélation entre les valeurs XRF du rapport Ti/Ca des deux carottes. Les 5 premiers mètres de la MD12-3417 n'ont pas été échantillonnés car ils correspondent aux deux premiers mètres de la MD12-3418Q. Les analyses ont donc été réalisées sur une carotte composite constituée de la MD12-3418Q pour le sommet et de la MD12-3417 pour la base.

Correlations MD12-2417 and MD12-3418Q (Ti/Ca)

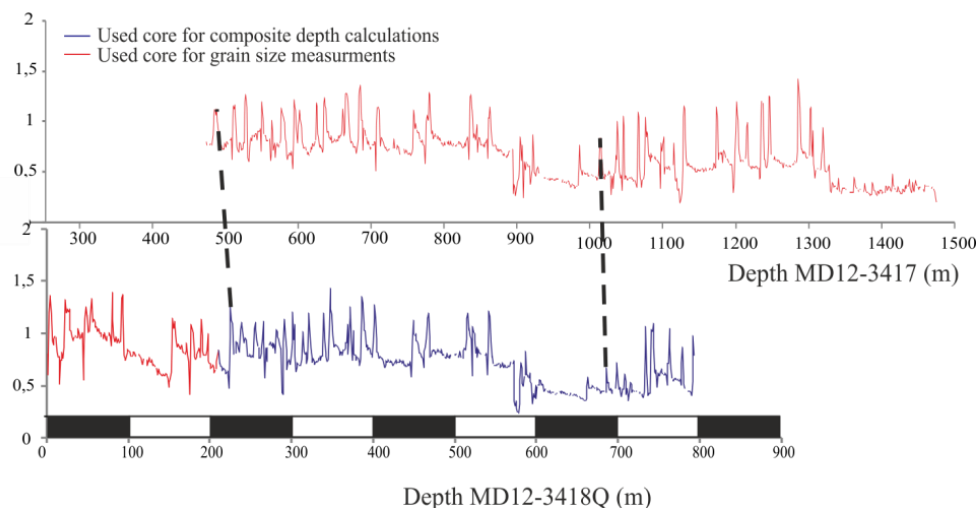


Figure 7: Calcul des cotes composites de la MD12-3417

Toutes les profondeurs évoquées dans ce rapport correspondront donc aux cotes composites recalculées.

2. Stratigraphie et datations

Afin de créer un modèle d'âge sur la MD12-3412, 3 méthodes ont été utilisées :

- La datation radiocarbone sur les deux carottes. Neuf âges ^{14}C ont été obtenus sur la MD12-3412, et six sur la MD12-3417. Ces âges ont été obtenus sur des tests provenant

de foraminifères planctoniques (bulk) sur des intervalles argileux hémipélagiques. Les datations ont été acquises sur l'accélérateur ARTEMIS au CEA de Gif-sur-Yvette. Ces âges ont été corrigés de l'effet réservoir et calibrés en âges calendaires grâce au logiciel Calib 7.0 (Stuiver et al., 1998) avec la courbe de calibration Marine09 (Reimer et al., 2009). Tous les âges utilisés seront donc calibrés de cette manière.

- Le $\delta^{18}\text{O}$ de la MD12-3412. Les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ PDB des foraminifères planctonique *Globigerina ruber* prélevés tous les 10 cm jusqu'à 22m ont été corrélées aux valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ PDB benthique de la stack-LR04 (Lisiecki et Raymo, 2005). La quantité de foraminifères benthiques dans la MD12-3412 est trop faible pour effectuer une stratigraphie isotopique dessus. Ce calage a été réalisé avec le logiciel AnalyseSeries®.
- La tephrochronologie. Un niveau de tephra a été repéré à 508cm de profondeur sur la MD12-3412. Des analyses microsondes de la composition en oxydes ont été réalisées sur ces échantillons à Clermont-Ferrand par Patrick Bachelery et Alexandre Jannic afin de retrouver l'éruption à l'origine de ce dépôt.

3. Analyses sédimentologiques

Radioscopie X (rX)

Chaque tronçon de carotte étudié a été imagé par radiographie X SCOPIX. Cette radiographie a permis de mettre en évidence les séquences plus sombres (hétérogènes et finement stratifiées) et plus claires (homogènes) qui se succèdent au sein des carottes.

X-Ray Fluorescence (XRF)

Les analyses semi-quantitatives de certains éléments chimiques contenus dans les carottes ont été réalisées avec le XRF Core Scanner – AVAATECH de la plateforme « PACS » d'EPOC. Une résolution de 1cm a été choisie afin d'avoir une mesure continue sur l'ensemble de la carotte. Les éléments chimiques sur lesquels nous approfondiront ici sont le Titane (Ti), le Calcium (Ca), le Silicium (Si) et l'Aluminium (Al). Le choix de ces éléments repose sur les méthodes de :

- Bourget et al. (2013) pour qui le rapport Ti/Ca permet de savoir si l'apport est plutôt calcitique (diminution du rapport) ou détritique (augmentation du rapport).
- Wien (2006), pour qui le rapport Si/Al permet de repérer les apports détritiques (augmentation du rapport) d'une carotte mauritanienne.

Lavages

Des lavages d'échantillons ont été réalisés sur des endroits stratégiques de la MD12-3412 afin d'étudier les différentes séquences des carottes plus en détails (tamisage à 150 μm et 63 μm) et d'expliquer les résultats XRF obtenus.

Lames minces

Des lames minces et des frottis ont également été réalisées sur l'ensemble des carottes afin d'étudier les éléments dont la granularité est inférieure à 63 μm .

Taille des grains

Pour étudier la granularité des carottes, 1825 échantillons ont été prélevées sur la carotte MD12-3412, et 1883 sur les MD12-3417 et MD123418Q. Le choix de positionnement des échantillons est basé sur les données XRF et rX: les pas d'échantillonnage varient de

0.5cm dans les niveaux sombres stratifiés afin d'augmenter leur résolution, à 5 cm dans les parties claires. Les grains prélevés ont été mesurés dans un granulomètre à diffraction Lazer MALVERN MasterSizer®.

Les données granulométriques ainsi obtenues ont été traitées avec une routine MatLAB élaborée par V. Marieu et S. Zaragosi. Celle-ci permet de cartographier la granularité des sédiments sur l'ensemble des carottes :

- l'axe des abscisses nous donne la taille des grains en unité Φ et en μm ,
- l'axe des ordonnées représente les cotes de la carotte étudiée,
- l'échelle de couleur utilisée représente le pourcentage de refus des tamis numérique (de $0.06\mu\text{m}$ à $878.67\mu\text{m}$). Le refus est important dans les couleurs chaudes, et faible dans les couleurs froides.

La cartographie granulométrique nous permet de visualiser rapidement la granularité précise de la carotte. L'échelle de couleur illustre un bon (rouge sur une petite gamme de tailles) ou mauvais (bleu clair sur une large gamme de tailles) classement des éléments, ainsi que la position et l'évolution distincte des modes, ce que ne permet pas l'étude des déciles.

Sondeur de sédiments

Les profils de sismique-réflexion utilisés lors de cette étude ont été acquis à l'aide du sondeur de sédiment Thalès, puis traités avec les logiciels SeiSee® et Kogeo® et analysés sur le logiciel Kingdom®. Une vitesse constante d'ondes P de 1500 m/s dans le sédiment a été utilisée pour transformer les temps doubles en profondeur.

4. Cartographie

Dans le but réaliser une carte de synthèse regroupant l'ensemble du système sédimentaire du Bengale, il fut nécessaire de:

- reconstituer une carte des bassins versants de la région avec les outils de modélisation hydrologique d'ArcGis,
- géoréférencer des cartes bibliographiques de différentes études,
- synthétiser des données bathymétriques disponibles : des données GeBCO, des données multifaisceaux de la mission MONOPOL, ainsi que des données multifaisceaux disponibles sur le serveur de la NOAA.

Cette combinaison de données de différentes origines amène donc à des niveaux de précisions différents pour chaque site. Ainsi, la morphologie de certains talwegs est considérée comme précise (Figure 1, valeur « 1 » sur l'échelle de précision), tandis que d'autres sont très approximatifs (Figure 1, valeur « 5 » sur l'échelle de précision).

Résultats

1. MD12-3412

Profils sismiques

Les profils de sondeur de sédiment recueillis sur le site de la MD12-3412 ont permis d'apporter des informations sur son environnement de dépôt (Figure 8). Les profils montrent des horizons lités et discontinus, ainsi que des tronçatures d'érosion et des biseaux, surtout dans la partie Ouest plus épaisse. Des surfaces ondulées, pouvant s'assimiler à des *sediments waves*, sont reconnaissables. Ces profils sont typiques des profils de levées turbiditiques

comme le présentent les levées du Zaïre (Gervais et al., 2001). Ce profil confirme que la position de la carotte MD12-3412 sur la levée droite du chenal E4.

Quatre unités sont identifiables sur ce profil. L'unité 1, sommitale, est une unité légèrement stratifiées. L'unité 2 est une unité plus homogène présentant une stratification fruste. L'unité 3 est une unité à stratifications bien marquées avec la présence de biseaux. Les horizons y sont clairement discontinus. Le toit de cette unité présente une profondeur variant entre 18 m et 20 m.

Pour finir, l'unité 4, basale, présente un faciès acoustique sourd homogène. Quelques légères stratifications apparaissent au toit de cette unité, la stratification y est parfois profonde (Figure 8, entre 5 et 10 km et après 35 km sur l'échelle horizontale). La transition entre unités 4 et 3 semble se faire progressivement.

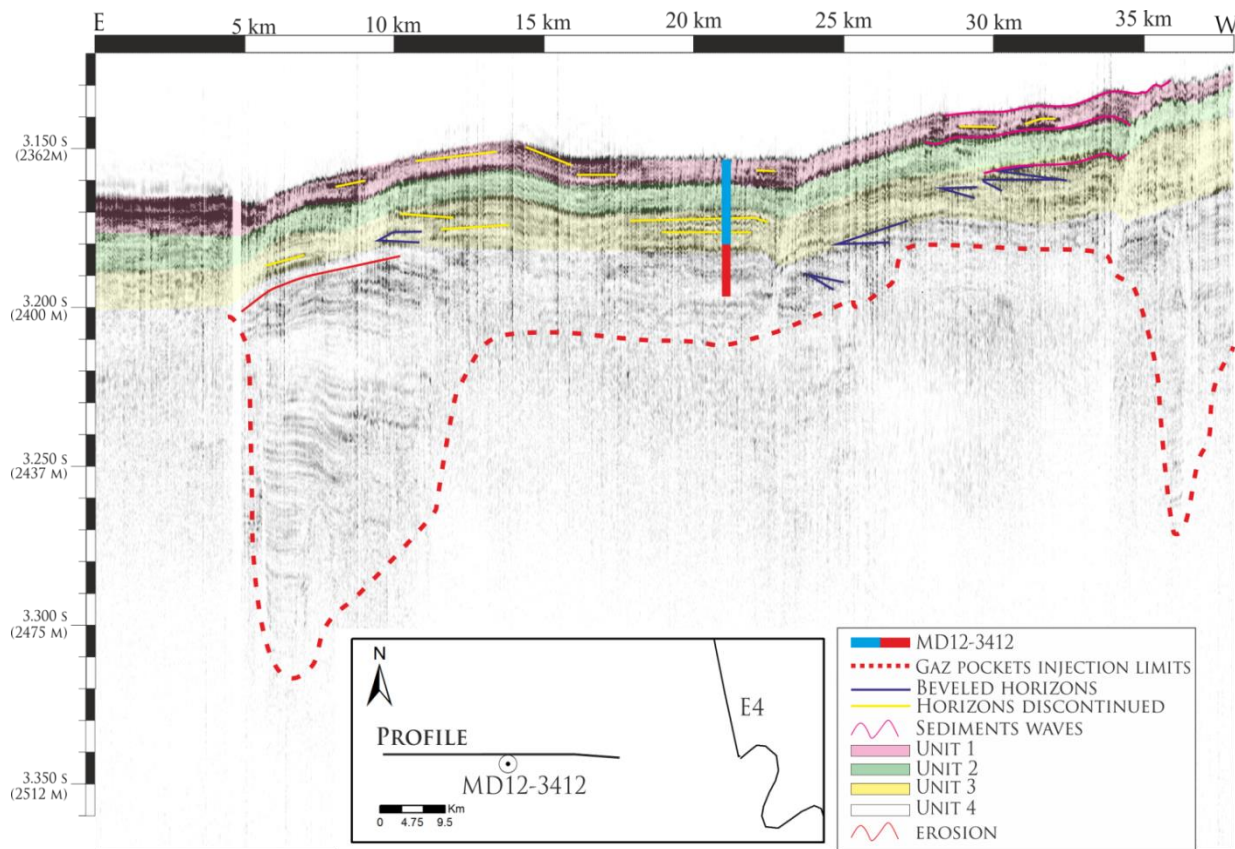


Figure 8: Profil sismique Est-West sur le site de la MD12-3412, avec une taille de carotte moyennée à 1500m/s.

Corrélation sismique-carotte

La comparaison entre carottes sédimentaires et profils sondeur de sédiment demande une mise en adéquation entre profondeurs exprimés en mètres (carottes) et en temps doubles (sismique). Nous avons exprimé les profondeurs carotte en temps double en utilisant une vitesse du son de 1 500 m/s.

La carotte MD12-3412 a été positionnée sur le profil en cotes corrigées. Le carottage semble avoir prélevé les unités 1, 2, 3 ainsi que la transition entre unités 3 et 4 (Figure 8).

Le passage dans le faciès acoustique sourd de l'unité 4 se traduit également dans le carottage par des propriétés particulières du sédiment. Ainsi à partir de 19m de profondeur le sédiment présente (Figure 9):

- des valeurs extrêmement basses (inférieures à -5 ‰) des mesures de $\delta^{13}\text{C}$ réalisées sur les foraminifères planctoniques. Ces valeurs ne peuvent être expliquées que par deux raisons dans cette région du monde (DeGaridel-Thoron et al., 2004) : soit une décharge exceptionnellement pauvre en carbone inorganique dissout (non-retrouvé dans la littérature), soit par un relâchement en hydrates de méthane modifiant la composition isotopiques des tests de foraminifères.
- Des valeurs de célérité des ondes p dans le sédiment particulièrement faibles (600m/s), plus proches des vitesses conventionnelles du son dans l'air (340m/s) que dans l'eau et les sédiments (1500m/s).
- La densité du sédiment augmente avec la profondeur jusqu'à 19 m ce qui correspond à la compaction de la pile sédimentaire. Mais ces valeurs décroissent entre 19m et la base de la carotte.

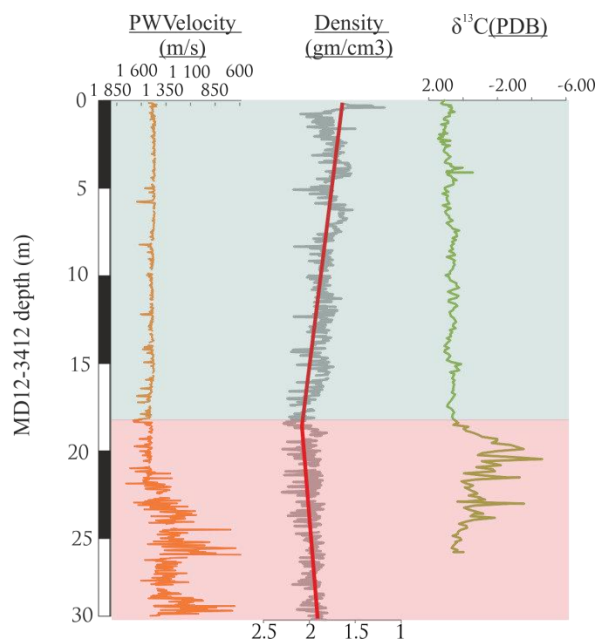


Figure 9: Indice de présence de gaz dans le sédiment, MD12-3412

L'ensemble de ces indices dans la carotte ainsi que le faciès acoustique sourd de l'Unité 4 ont été interprétés par la présence de gaz dans le sédiment. Ce gaz viendrait ainsi masquer certaines parties du profil du sondeur de sédiment.

Stratigraphie

- La comparaison entre les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ des *G. ruber* et la courbe isotopique de référence LR04 (Lisiecki et Raymo, 2005) a permis d'effectuer la stratigraphie des derniers 300 000 ans pour les 22 premiers mètres de carotte (Figure 10). La stratigraphie de la base de la carotte n'a donc pas pu être réalisée. Les interprétations se limiteront donc aux 22 premiers mètres.
- Les six datations radiocarbone ont permis de dater précisément les 205 premiers centimètres de la carotte. (Tableau 1: Conversion des âges ^{14}C de la MD12-3417 en âges calendaires)
- Le tephra identifié à 508cm de profondeur a la signature géochimique de l'éruption du Toba (Tableau 2) et la taille théorique de son niveau de cendre pour cette région

(Matthews et al., 2012). De plus, ce niveau correspond à son âge théorique d'après le modèle d'âge établi par le $\delta^{18}\text{O}$ PDB, à savoir 74 000 ans BP (Petraglia et al., 2007) (Tableau 2).

Tableau 1: Conversion des âges ^{14}C de la MD12-3417 en âges calendaires

Profondeur composite (cm)	Âges ^{14}C (yBP)	Âges calibrés (calBP)	Erreur (+/- calBP)
398	3290	3118	108
460	3390	3255.5	92.5
662	5335	5695	100
732	5955	6362.5	76.5
2380	9030	9715.5	142.5
3430	9105	9823.5	359.25

Tableau 2: comparaison des données géochimique du Toba avec les échantillons MD12-3412

(% du poids total)	SiO ₂	K ₂ O	N ₂ O	CaO	TiO ₂	Taille de séquence estimée (cm)
Analyses de Matthews et al., 2012)	72.4 à 77.4	4.8 à 5.3	2.9 à 3.2	0.7 à 0.9	0.02 à 0.08	9
Analyses de l'échantillon	77.04	5.08	3.28	0.77	0.05	8

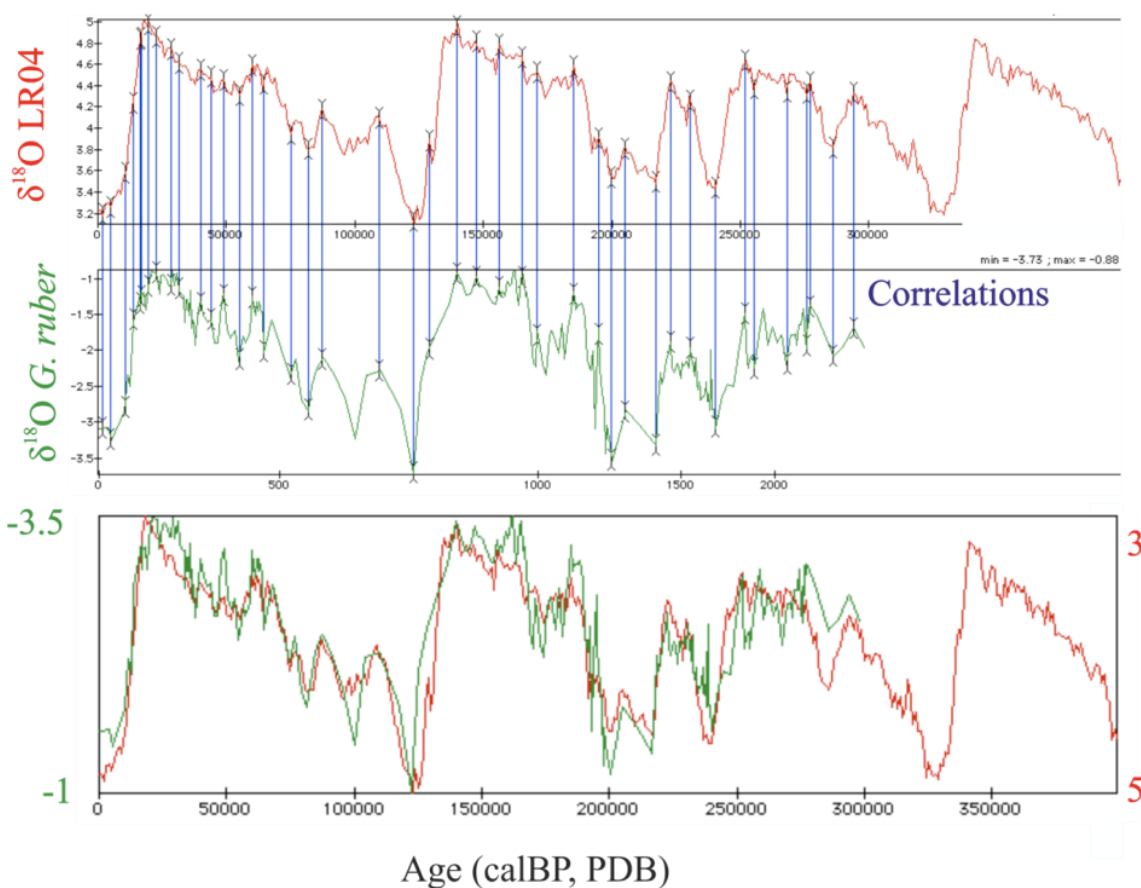


Figure 10: Corrélation entre la stack-LR04 (Lisiecki et Raymo, 2005) et le $\delta^{18}\text{O}$ des *G. ruber* de la MD12-3412

Comme il le sera démontré par la suite, cette carotte présente

de nombreuses séquences turbiditiques, l'enregistrement du temps dans ce genre d'environnement est donc très particulier : une séquence turbiditique se dépose de manière excessivement rapide comparée à une séquence hémipélagique de même taille. Cette caractéristique a été prise en compte. Les cotes des séquences turbiditiques ont été isolées, seules les parties hémipélagiques ont été prises en compte pour l'établissement du modèle d'âge. Les séquences turbidites ont été réintégrées au modèle d'âge final. Ce traitement a été utilisé pour l'ensemble des datations de cette étude.

Les taux de sédimentation moyens (Figure 11) entre les points de corrélation (○) ont varié. Ces taux chutent considérablement à la fin du stade 8, ainsi que lors de la transition entre les stades isotopiques MIS 7/8, et à la fin du MIS 7. Ils restent relativement peu élevés (5 à 10 cm/kyr) jusqu'à l'actuel avec un pic de diminution au MIS 5 (1cm/kyr).

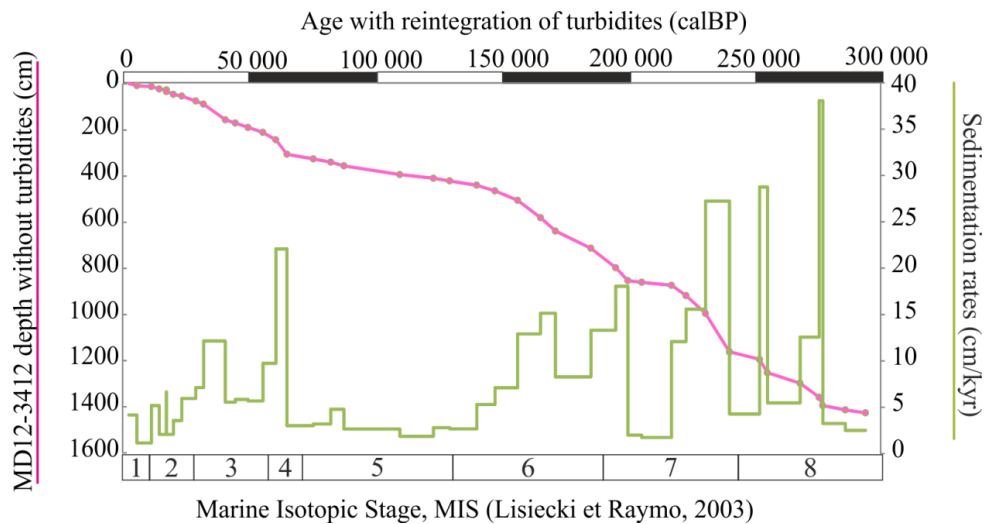


Figure 11: Modèle d'âge et taux de sédimentation de la MD12-3412

Taille des grains

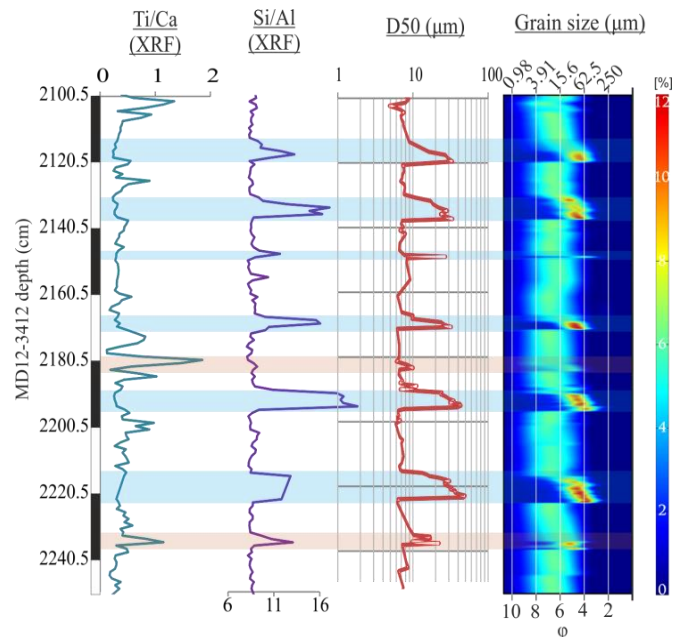


Figure 12: Exemple de repérage d'excursions granulométriques calcitiques et détritiques à l'aide des données XRF, du décile 50 (D50), et de la cartographie granulométrique (Grain size) (MD12-3412, tronçon 15).

La carotte présente une granodécroissance globale de la base au sommet (Figure 13), ainsi que lors de la transition entre le MIS 5 et le MIS 4 : les séquences présentes dans la partie inférieure de la carotte semblent plus grossières que les séquences contenues dans la partie supérieure.

La granularité de la carotte se situe dans la gamme des silts fins mais présente 112 excursions des tailles de grains dans la gamme des silts grossiers à sables fins (Figure 12).

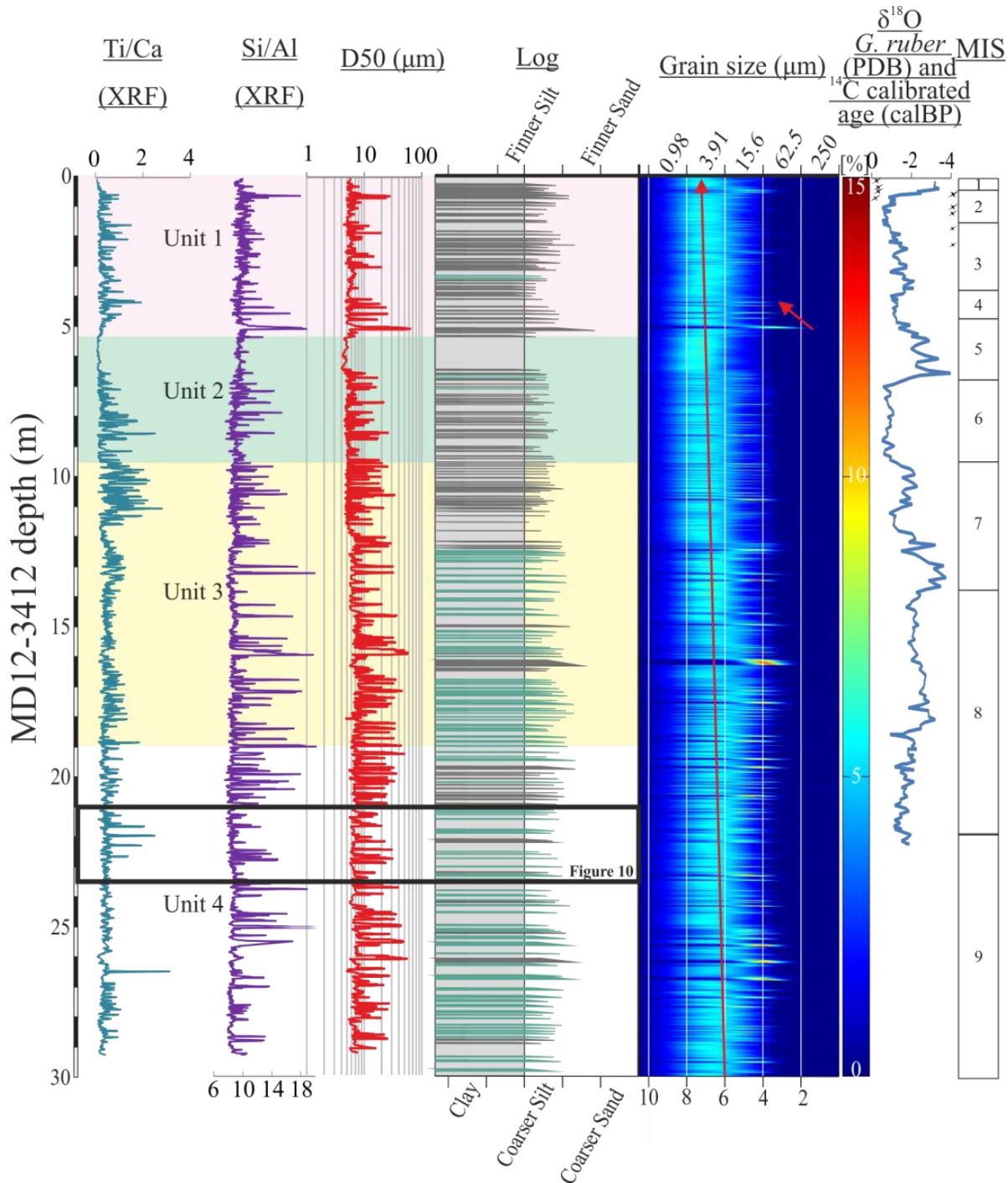


Figure 13: Comparaison des analyses géochimiques, du log lithologique illustrant la position des calciturbidites et des turbidites détritiques, des unités sismiques, du décile 50 (D50) de la MD12-3412. Illustration de la granodécroissance sur la cartographie granulométrique (---). Reconnaissance des Marine Isotopic Stage (MIS, Lisiecki et Raymo, 2005) et positions des datations des âges ¹⁴C calibrés (x).

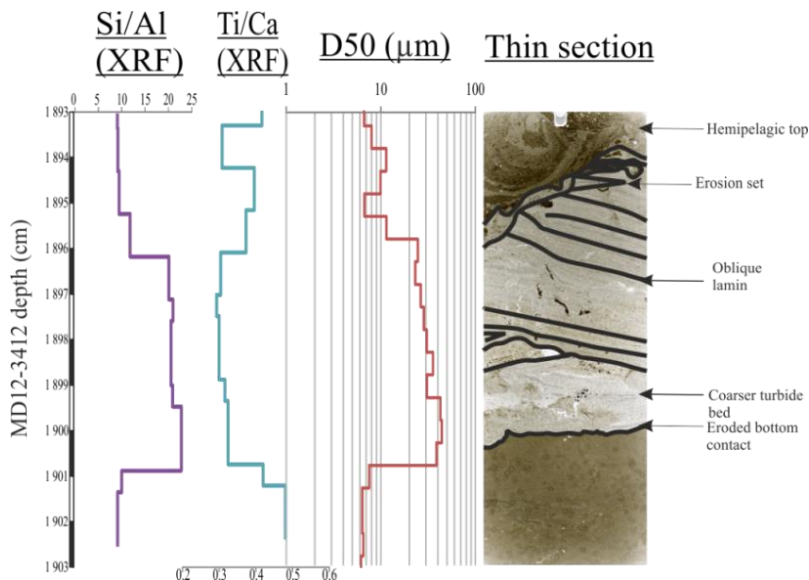


Figure 14: Exemple de lame mince d'une calciturbidite et des propriétés associées, MD12-3412

L'observation en lames minces des excursions (Figure 14) indique que ces séquences grossières possèdent une base érosive surmontée d'une partie grossière ponctuée de laminations obliques et de surfaces d'érosion intraséquentielles. Les séquences sont granodécroissantes de la base au sommet, et finissent par une partie fine. Ces particularités sont typiques des séquences turbiditiques de débordement. Les 112 excursions granulométriques sont donc interprétées comme 112 séquences turbiditiques.

Nature turbiditique

Les rapports XRF Ti/Ca et Si/Al ont été utilisés afin de distinguer deux types de séquences turbiditiques : des séquences turbiditiques détritiques et des séquences turbiditiques calcitiques, des calciturbidites. Au cours des derniers 220 ka (soit du sous-stade 7.b à l'actuel) la majorité des turbidites sont détritiques. Les calciturbidites dominaient auparavant (de la base de la carotte au sous-stade 7.b) (Figure 13). Dans les calciturbidites, le rapport Ti/Ca augmente de la base au sommet et le Si/Al diminue, tandis que pour les turbidites détritiques ces deux rapports diminuent de la base au sommet. Ces variations sont dues aux éléments qui composent le sédiment.

Les lavages ont permis de démontrer que les bases des turbidites détritiques (Figure 15) sont composées de quartz, de micas blancs et noirs, ainsi que de quelques coquilles de foraminifères cassées (5% des échantillons, *Globorotalia menardii*, *Orbulina universa* identifiables). Les lames minces montrent également la présence d'épidote en abondance, qui est un minéral dur issu de l'altération des plagioclases, provenant de la charge du Brahmapoutre (Bhuiyan et al., 2011). Les sommets des turbidites détritiques sont composés de terriers pyritisés et de coquilles de foraminifères (70% de l'échantillon, *Globorotalia menardii*, *Globorotalia ruber rosea*, *Neogloboquadrina dutertrei*, *Orbulina universa*, *Globigerinoides sacculifer*). Ces turbidites correspondent donc à des décharges d'origine continentale (quartz, micas, épidote) qui se déposent sur les levées, avec au sommet des séquences une reprise progressive de la sédimentation hémipelagique (foraminifères planctoniques).

La base des calciturbidites (Figure 16) se compose de foraminifères planctoniques (60% de l'échantillon, *Globorotalia menardii*, *Globorotalia ruber rosea*, *Neogloboquadrina dutertrei*, *Orbulina universa*, *Globigerinoides sacculifer*), de quartz, micas blancs et noirs, d'épidote et de pyrite, tandis que les sommets se composent des mêmes foraminifères (90%

des échantillons) et de micas blancs et noirs. La concentration importante en foraminifères à la base de ces turbidites atteste d'une source sédimentaire riche en foraminifères.

Ces changements en éléments attestent d'un changement majeur de la source turbiditique vers 12m de profondeur, soit lors du MIS7.

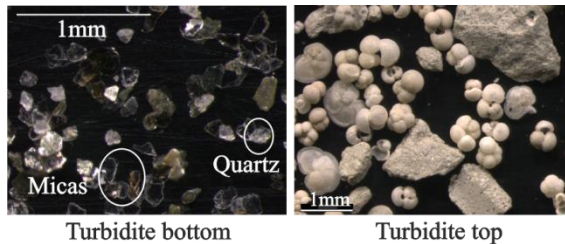


Figure 15: Résultats des lavages des turbidites détritiques, MD12-3412

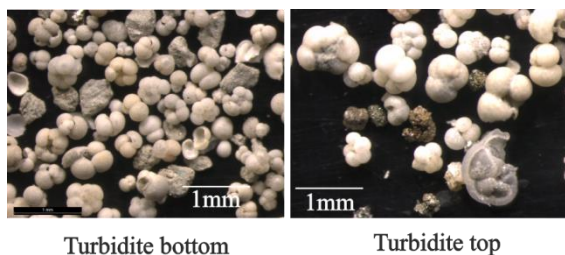


Figure 16: Résultats des lavages des calciturbidites, MD12-3412

Épaisseurs

Les turbidites de la MD12-3412 mesurent en moyenne entre 4 et 8cm d'épaisseur (Figure 17). Leurs épaisseurs augmentent lors des transitions entre MIS 8 et 7 (17 cm), MIS 6 et 5 (9 cm) et MIS 5 et 4 (12 cm). Les augmentations des tailles moyennes de séquences turbiditiques ont donc lieu lors de phases de transition climatiques et/ou eustatiques (Figure 17).

L'évolution de ces épaisseurs semble progressive, à l'exception des tailles de séquence moyenne lors de la transition MIS 5-4 qui semblent augmenter brutalement.

Fréquences

Les fréquences turbiditiques semblent globalement diminuer de la base au sommet (Figure 17). Trois périodes présentent des fréquences élevées :

- La phase MIS 4-3-2, pour laquelle les fréquences augmentent progressivement (5 lors du MIS 4, et jusqu'à 3 turbidites/kyr lors du MIS 2). Elle correspond à une phase de régression marine et à une chute de l'intensité des moussons.
- Le stade MIS6, pour laquelle les fréquences diminuent également progressivement (10 à la fin du MIS 7 et jusqu'à 2 turbidites/kyr à la fin duc MIS 6). Elle correspond également à une phase de régression marine et à une diminution progressive des moussons.
- De la phase MIS 8 au milieu de la 7, pour laquelle les fréquences avoisinent les 5 turbidites/kyr avec un pic à 15 à la transition entre les deux stades. Cette phase se déroule également lors d'une période de régression marine, mais les moussons y ont connu d'importantes excursions.

De manière générale, les périodes de hautes fréquences turbiditiques correspondent à des périodes de faibles épaisseurs des séquences de débordement.

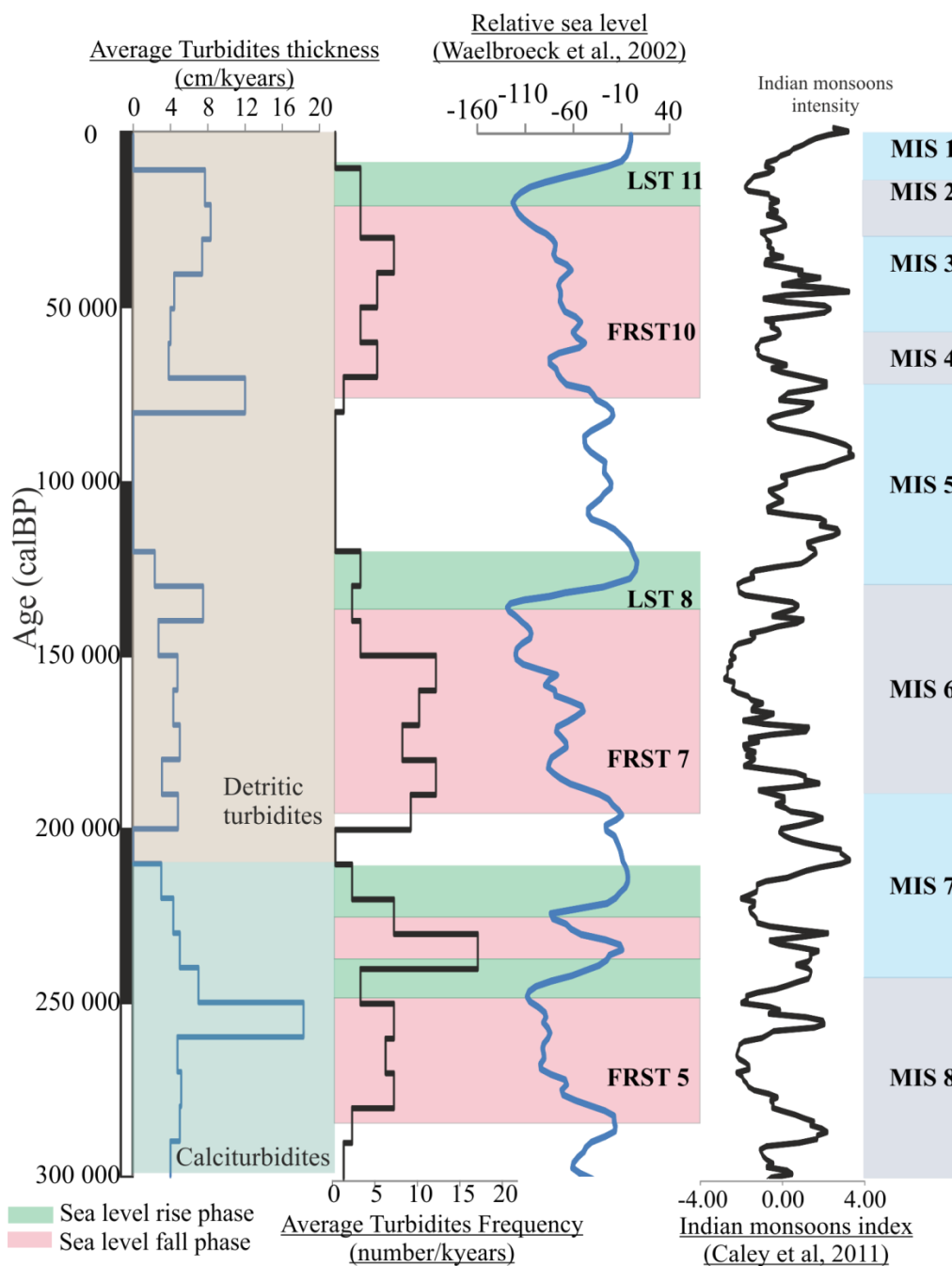


Figure 17: Epaisseurs moyennes et fréquences des turbidites de la MD12-3412 comparées au niveau marin relatif à l'actuel (Waelbroeck et al., 2002), et à l'index des moussons indiennes (Caley et al., 2011). Illustrations des MIS (Lisiecki et Raymo, 2005) et des Forced Regression Systems Tract (FRST) et Lowstand Systems Tracts (LST) de Hubscher et al. (2005)

2. MD12-3417

Environnement de dépôt

La carotte MD12-3417 a été prélevée sur la levée turbiditique gauche du chenal actif. Elle se situe à 2 km du talweg, sur une levée dont le sommet est à 45 m au-dessus du talweg (talweg = -2 600 m).



Figure 18: position de la MD12-3417 par rapport au chenal principal

Stratigraphie

Le modèle d'âge de la MD12-3417 repose sur 6 datations ^{14}C (Tableau 3), il couvre les derniers 10 000 ans (Figure 19).

Quatre datations ont été réalisées sur les 750 premiers cm de profondeur, et seulement deux sur les 2750 cm restant, les résolutions entre la base et le sommet de la carotte sont donc différentes. Cependant, les deux datations les plus basales, séparées de plus de 10 m, sont très proches comparées aux datations des 750 premiers cm. Les âges obtenus montrent une grande différence de taux de sédimentation entre le sommet et la base de la carotte (Tableau 3).

Cette carotte présente donc deux parties distinctes, présentant un changement majeur de taux de sédimentations à 11 m de profondeur et donc probablement deux processus d'alimentation différents. Il n'existe aucune datation du changement de faciès, dater cet âge par régression linéaire entre deux datations radiocarbone ne permettra pas d'obtenir l'âge de cette limite entre deux processus. Pour pallier à ce problème, les taux de sédimentation des deux unités ont été calculés et appliqués. Par cette méthode, l'âge entre les deux limites à 11 m de profondeur est estimé à 9 500 calBP.

Profondeur composite (cm)	Âges ^{14}C (yBP)	Âges calibrés (calBP)	Erreur (+/- calBP)
398	3290	3118	108
460	3390	3255,5	92,5
662	5335	5695	100
732	5955	6362,5	76,5
2380	9030	9715,5	142,5
3430	9105	9823,5	359,25

Tableau 3: Conversion des âges ^{14}C de la MD12-3417 en âges calendaires

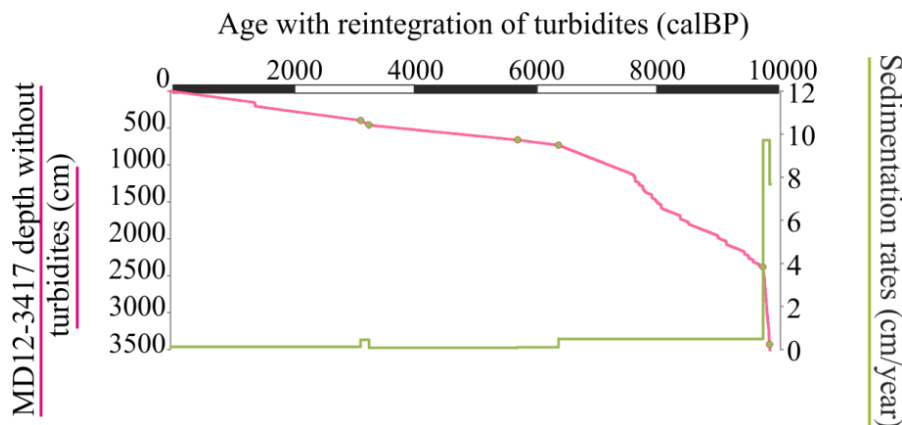


Figure 19 : Modèle d'âge et taux de sédimentation de la MD12-3417

Taille des grains

La carotte se compose de silts fins mais comporte deux parties distinctes (Figure 22) : une partie sommitale à granularité relativement homogène (seulement 1 excursion granulométrique) qui couvre les derniers 7 500 cal BP (de 0 à 11 m), et une partie basale principalement constituée de 43 séquences. Ces séquences, d'après les données XRF et granulométriques, correspondent à des turbidites de sables très fins. Cette activité turbiditique couvre la période de 10 000 à 7 500 calBP (11 à 36 m). Il y a donc une diminution majeure de l'activité turbiditique vers 7 500 calBP.

L'existence de ces deux unités, une supérieure à grains fins et une inférieure chargée de turbidites, pourrait expliquer le problème du modèle d'âge soulevé précédemment.

Nature turbiditique

Les turbidites de la partie inférieure sont caractérisées par des excursions du rapport XRF Si/Al (Figure 22). L'analyse des frottis montre qu'elles se composent de quartz et de micas, mais également, à leurs bases, d'épidote et de fragments calcaires. Le rapport Ti/Ca montre lui une diminution légère de la base (0.08) au sommet (0.05) (Figure 20). Ces diminutions peuvent être expliquées par une quantité faible d'épidote et de fragments calcaires. Ces excursions du rapport Ti/Ca, à l'échelle de la carotte sont infimes comparées aux excursions que peut connaître le rapport dans la partie supérieure. Leur caractère détritique est donc dominant.

La partie supérieure ne contient qu'une seule séquence turbiditique (111 à 168cm) pour laquelle le rapport Si/Al augmente et le rapport Ti/Ca diminue fortement de la base au sommet (Figure 21), elle présente une nature plutôt calcitique. La granularité du reste de la partie supérieure se situe dans les silts fins et varie peu (Figure 22).

Le rapport Ti/Ca connaît quant à lui d'importantes excursions sur les 8 premiers mètres avec des diminutions nettes surmontées d'augmentations diffuses (Figure 22). Ce changement de signal entre les deux unités atteste d'un arrêt de l'alimentation turbiditique du site et donc du chenal principal à 9 500 cal BP. L'origine de ces excursions pourrait s'expliquer par des variations climatiques, mais les taux de sédimentation de cette partie (0.1cm/an) restent très élevés par rapport aux taux de sédimentation de la MD12-3412 pour l'Holocène (0.003cm/an). Le chenal est donc toujours alimenté par des décharges sédimentaires mais la granularité de ces décharges est très fine.

Figure 20: Comparaison de la géochimie et de la granularité des turbidites de la partie inférieure

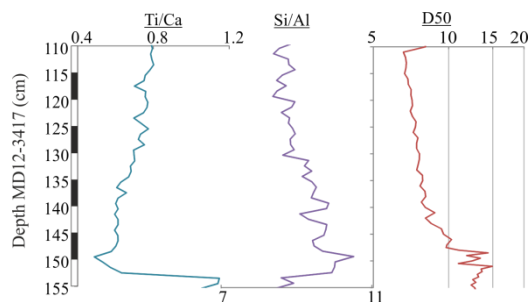
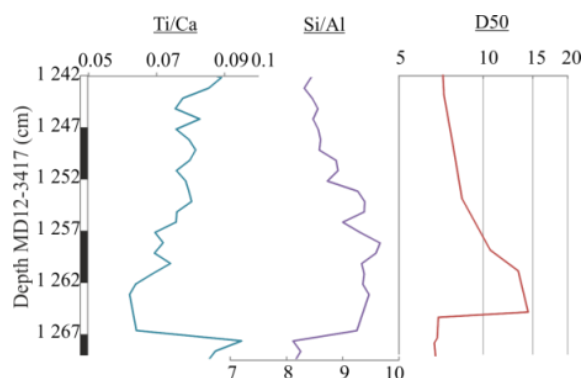


Figure 21 : Comparaison de la géochimie et de la granularité de la turbidite supérieure



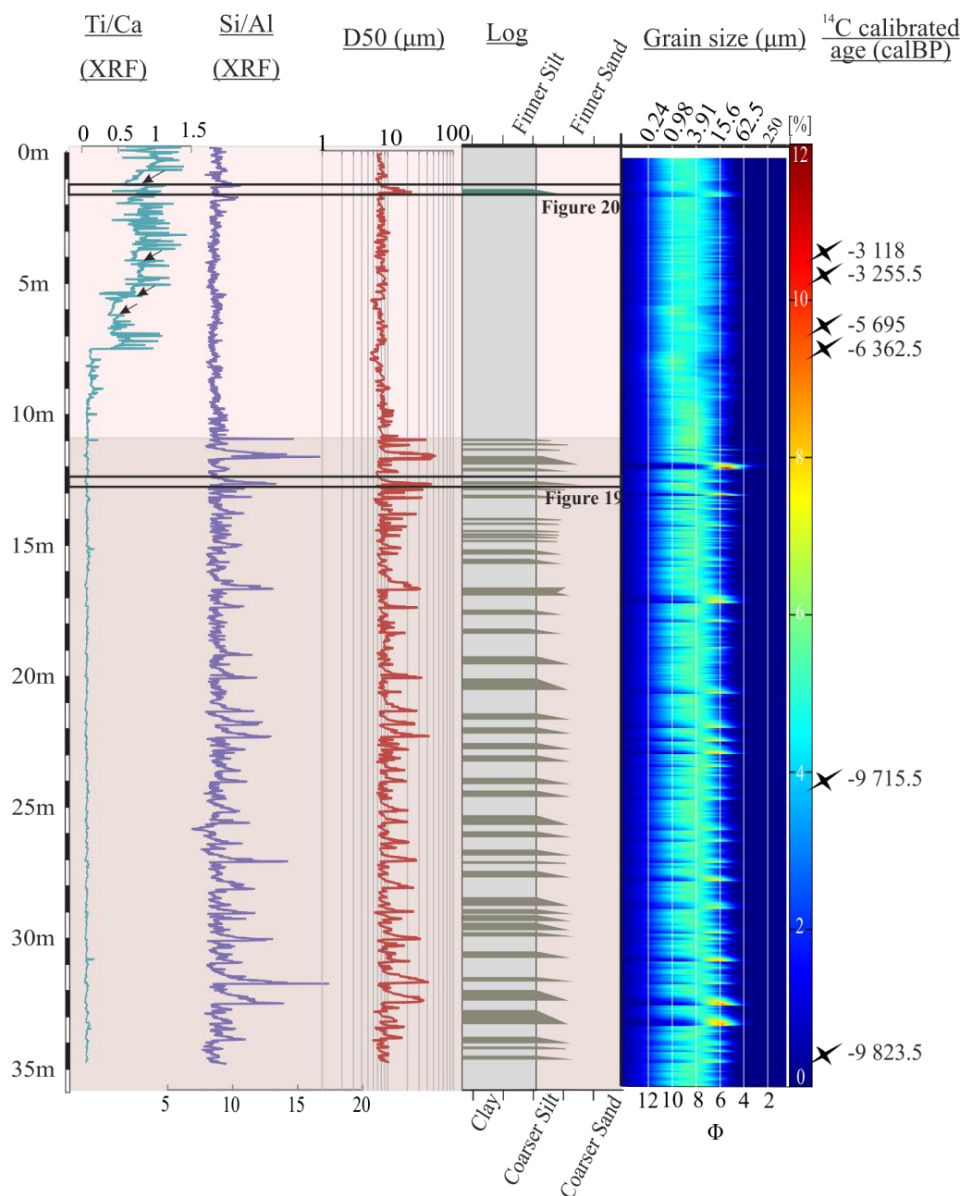


Figure 22: Comparaisons des analyses géochimiques, de la cartographie granulométrique, du log et du décile 50 (D50) de la MD12-3417. Illustration de la *calciturbidite* et des *turbidites détritiques*. Positions des datations des âges ^{14}C calibrés (×).

Épaisseur

Les turbidites de l'unité inférieure (de 10 000 à 9 500 calBP) mesurent entre 25 et 30 cm d'épaisseur en moyenne.

Fréquence

Les fréquences turbiditiques de la partie inférieures sont élevées à 10 000 calBP (43 turbidites/100 ans) et diminuent progressivement (15 turbidites/100 ans à 9 500 calBP) pour descendre à 0 turbidites/100 ans de 9 500 calBP à l'Actuel.

Discussion

1. Influence du niveau marin sur l'activité turbiditique

Sur le chenal E4

La carotte MD12-3412 a permis de reconstruire pour la première fois l'activité précise du chenal E4 sur les derniers 300 000 ans, c'est-à-dire jusqu'au MIS8.

L'activité turbiditique a connu des variations importantes durant cette période. Trois périodes d'activités ont été identifiées (Figure 17): la période MIS 4-3-2 (FRST 10), la période MIS 6 (FRST 7) et la période MIS 7-8 (FRST 5). Ces trois périodes d'activité sont identifiables à la fois sur les résultats granulométriques, les données géochimiques et les fréquences de turbidites. Ces trois périodes enregistrées dans la carotte semblent correspondre aux unités sismiques 1, 2 et 3 visibles dans la sismique THR (Figure 8). Sur la plate-forme les cycles de 100 ka s'enregistrent principalement par des cortèges régressifs (Figure 3). Ils correspondent aux phases de régressions forcées établies par Hubscher et al. (2005), considérées comme des séquences de 4^e ordre liées aux cycles de Milankovitch. Les trois derniers cortèges régressifs (FRST 5, 7 et 10 ; Figure 17) sont synchrones des trois dernières périodes d'activité du chenal E4.

Le forçage eustatique semble prépondérant sur l'activité du chenal E4, en effet, lorsque le niveau marin diminue à hauteur de -40 à -50 m, l'alimentation du chenal E4 reprend. Ce fonctionnement paraît semblable à celui du système turbiditique de l'Indus (Bourget et al., 2013) qui présente également une activité cyclique importante en phase de régression forcée plutôt qu'en phase de transgression.

D'après Curray et al., l'alimentation du chenal E4 s'est arrêtée il y a 125 000 yBP après une avulsion majeure vers l'Ouest des apports du canyon du Swatch Of No Ground. Ici, nous avons démontré que l'activité turbiditique ne s'est pas arrêtée après cette date pour ce chenal, et que cette phase ne correspond pas à une avulsion mais probablement d'un arrêt épisodique de fonctionnement du chenal liée à la dernière transgression.

Les épaisseurs des séquences turbiditiques semblent également augmenter lors des phases initiales de régression, en particulier lors de la fin du MIS 5. Cette particularité pourrait être l'expression de la réactivation progressive des canyons et chenaux en phase de début de régression. De plus, lors des phases de haut niveau marin l'espace d'accommodation est suffisant sur plateforme pour accumuler les sédiments (Stow et al., 1984). Les chenaux secondaires, tel que le E4, ne sont donc plus actifs durant ces périodes, comme lors du MIS5 (Curray et al., 2003). En période de baisse niveau marin, l'espace d'accommodation diminue cette fois-ci, le cortège régressif se met en place et le trait de côte s'approche du rebord de pente, ces chenaux sont réactivés. La pile de sédiments accumulée en amont se voit remaniée : les séquences épaisses de la fin du MIS5 témoignent du remaniement de ce stock et la grandécroissance marquée entre le MIS4 et le MIS5 (Figure 13) atteste d'une activité intense qui réactive des couches à la fois épaisses et grossières de haut niveau marin.

Lors des phases transgressives, l'activité turbiditique ne s'arrête pas brutalement. Elle passe automatiquement par une phase de transition durant laquelle les fréquences diminuent progressivement (milieu du MIS 7, transition MIS 6-5, MIS2). Cette phase pourrait correspondre à la phase de destruction des édifices deltaïques qui se trouvent ennoyés, d'ailleurs sur la plate-forme les cortèges transgressifs sont très limités comparés aux cortèges régressifs (Figure 3). Cette érosion alimente les chenaux jusqu'à ce que le niveau marin atteigne un seuil critique (-50m) au-delà duquel une déconnexion se produit entre la plate-forme et le chenal E4. (Figure 23)

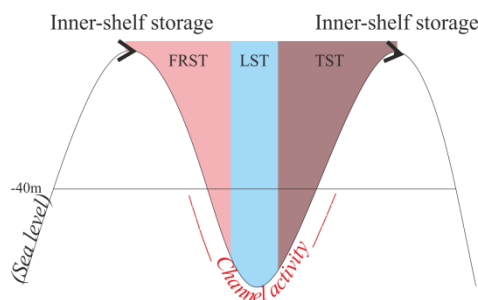


Figure 23: Schéma de fonctionnement du chenal E4

La granodécroissance sur la totalité de la MD12-3412 pourrait quant à elle être expliquée par un phénomène propre aux systèmes chenaux-levées : lors de la croissance des levées, seules les parties de plus en plus fines de l'écoulement peuvent se déposer au sommet, les sédiments qui s'y déposent sont donc au cours du temps de plus en plus fins, une granodécroissance autocyclique se met en place de la base au sommet.

Sur le chenal principal

Sur la carotte MD12-3417 qui recouvre l'enregistrement des derniers 10 000 ans sur le chenal principal, l'activité s'est arrêtée de manière brutale vers 9 500 calBP.

Cette période correspond à une élévation du niveau marin qui atteint -40 m (Fairbanks et al., 1989). Cette profondeur du niveau marin de -40 m à 9 500 calBP pourrait donc être à l'origine d'une déconnexion brutale en amont du chenal principal. Passée cette limite, les sédiments qui se déposent dans les levées sont fins et de la même gamme de taille que les parties hémipélagiques entre les turbidites antérieures (silts). L'alimentation du chenal change donc de source.

Ce niveau correspond également à celui de l'arrêt de l'alimentation du chenal E4 mais celui-ci se fait plus tardivement. Cependant, au sein du chenal principal, les taux de sédimentation au cours de l'Holocène restent plus élevés (0.1cm/an) que pour le chenal E4 (0.003cm/an), il est donc peu probable que ce changement de source soit lié à des raisons climatiques, car dans ce cas un changement aurait été noté sur toute la région. A partir de 9 500 calBP, l'alimentation fine pourrait être expliquée par des nuages néphéloïdes qui se déposent sur les levées, tels que ceux observés dans le canyon de Capbreton (Brocheray et al., 2014), ou alors par une alimentation turbiditique très fine. Les profils sismique montrent une structure typique des levées turbiditiques (Figure 4), mais pas de dépôts contouritiques, il est donc peu probable que l'alimentation du chenal principal durant l'Holocène se fasse par courants de contours, même si ces courants ont été observés à l'ouest de la zone (Kolla et al., 1976).

Il existe donc toujours une activité au sein du chenal principal, mais de nature différente depuis 9 500 calBP, alimentée par une source différente et probablement d'autres processus. Des analyses supplémentaires seront nécessaires pour connaître ce fonctionnement, notamment une instrumentation du canyon et du chenal.

2. Influence des moussons sur l'activité turbiditique

Sur les derniers 300 ka

Lors des derniers 300 calBP, les intensités des moussons ont varié. La période d'intensification des moussons à 240 000 ans correspond à une période de fréquence turbiditique très haute, mais d'autres pics de moussons, qu'ils soient en bas (MIS3) ou en haut

niveau marin (MIS4) ne correspondent pas à des fréquences turbiditiques élevées. Les changements dans le régime de moussons ne semblent pas influencer les apports turbiditiques du chenal E4 au moins lors des derniers 300 000 ka.

De plus, les moussons indiennes semblent présenter une cyclicité de 6^e ordre (40 000 ans) (Figure 17), tandis que l'activité turbiditique présente une cyclicité de 4^e ordre (100 000 ans, Hubscher et al, 2005), ces différences renforcent l'idée que l'intensité des moussons n'est pas le principal facteur de régulation de l'activité turbiditique dans le chenal E4.

Sur les derniers 10 ka

L'activité du chenal principal change brutalement à 9 500 calBP avec l'arrêt de l'activité turbiditique et une forte diminution des taux sédimentation. Pourtant cet âge, d'après Fleitman et al. (2003, Figure 24), correspond au début d'une période de 3 ka durant laquelle se mettent en place fortes précipitations (9.5 à 6.5 kyBP). Donc à cette échelle de temps, l'intensité moussons ne semble pas se corréliser avec l'activité turbiditique du chenal principal.

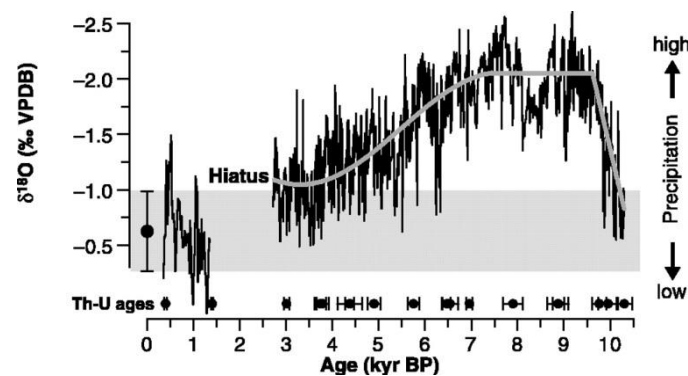


Figure 24: intensité des moussons indiennes durant les derniers 10 ka (Fleitmann et al., 2003)

De plus, l'arrêt de l'activité turbiditique est brutal, tandis que la diminution d'intensité des moussons semble progressive. Il est donc peu probable que le changement d'activité soit lié uniquement aux moussons.

Le lien, pour ces deux sites, entre l'activité turbiditique et l'intensité des moussons n'est donc pas évident, les moussons ne semblent pas être le facteur principal de la sédimentation turbiditique pour ces deux chenaux.

3. Influence de la position du delta sur l'activité turbiditique

Les deux chenaux étudiés ici ne sont plus alimentés depuis 9.5 ka. Comme évoqué précédemment, cet arrêt pourrait être lié à un processus d'avulsion (Curry et al., 2003), mais cette hypothèse semble peu probable car au moins un de ces chenaux est directement alimenté par le Swatch Of No Ground, qui est actuellement le canyon le plus incisé de la plate-forme. De plus fonctionnement cyclique d'ordre 4 est lié aux cortèges régressifs et donc plutôt aux variations du niveau marin.

Cependant, une des principales conséquences des variations eustatiques sera la position du delta du Nord-Bengale. Les profils sismiques de la plate-forme illustrent le lien entre la mise en place des cortèges régressifs (Hubscher et al., 2005) et les périodes d'activité turbiditiques sur le chenal E4. Alors que lors des phases de remontée et de haut du niveau marin, comme à l'actuel, la plate-forme se trouve immergée et se comble de sédiments. Elle

forme alors une zone tampon entre le Ganges-Brahmapoutre et la ou les têtes de canyons (Figure 25).

Lors des phases de chutes eustatiques, les édifices deltaïques se déplacent par régression forcée vers les rebords de pente et l'atteignent même lors des MIS 12 et 6 (Figure 3). Le front deltaïque s'élargit permettant ainsi une alimentation plus continue du rebord de pente. En plus du Swatch Of No Ground, d'autres canyons peuvent ainsi être alimentés à l'Est comme à l'Ouest. (Figure 25).

D'après Curry Les deux chenaux évoqués dans cette étude (le chenal actif et le E4) sont alimentés à la base du canyon du Swatch Of No Ground. Le chenal principal est probablement lié au Swatch Of No Ground, cependant aucune donnée bathymétrique n'est disponible sur le lien entre ce canyon et le chenal E4. La potentielle zone d'avulsion n'est donc pas reconnue, d'où l'hypothèse que le E4 pourrait être lié à un autre canyon parallèle à l'Est du Swatch Of No Ground. Des données sismiques et bathymétriques seront nécessaires afin de conclure à ce type de fonctionnement, qui semble similaire à celui de l'Indus (activation du canyon principal et de canyons secondaires en bas niveau marin).

En plus des phénomènes d'abandon et d'activation des canyons et chenaux, les sources sédimentaires ont également pu changer. Lors des MIS 8 et 7, la présence de calciturbidites témoigne d'une source plus marine à très forte productivité, probablement le delta. Depuis le MIS 7, les éléments continentaux contenus dans les bases de turbidites attestent d'une source continentale. Ce changement de source pourrait provenir d'un changement dans la morphologie du canyon, qui pourrait être plus incisé et recueillir les sédiments directement depuis l'embouchure du Ganges-Brahmapoutre avant de les déverser dans le E4. Le changement pourrait également être expliqué par l'existence d'une source d'alimentation différente en fonction du niveau eustatique atteint pour chaque régression. En effet, avant le MIS 7, les niveaux marins lors des transgressions atteignent, au maximum, -100 m, l'origine des turbidites pourrait donc être les sédiments de plate-forme ou de pente. Après les MIS 7, les phases de transgressions marines peuvent atteindre -120 m, ainsi, l'origine ne serait plus une déstabilisation de la plate-forme, mais bien une alimentation directe des sédiments du Ganges-Brahmapoutre.

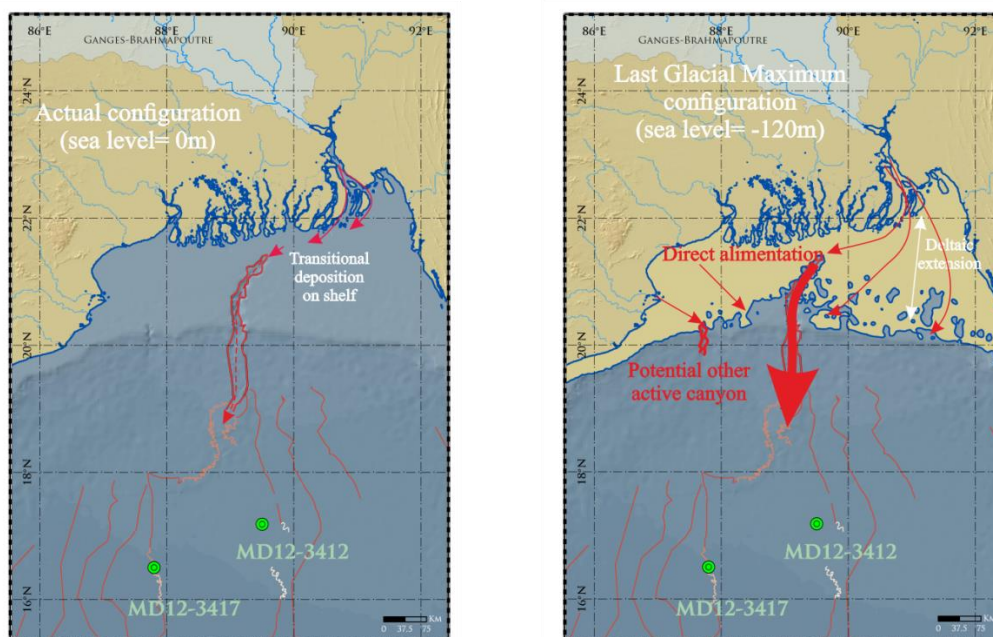


Figure 25: Impact des variations du niveau marin sur la position du delta Nord-Bengale

Conclusion

Les études granulométriques, sismiques et géochimiques des deux carottes sédimentaires ont permis de retracer les activités turbiditiques de chenal E4 et du chenal principal de la Baie du Bengale

Pour les derniers 300 ka, sur le bord du chenal E4, trois périodes d'activités ont été identifiées. Ces périodes correspondent à des périodes de régression. Contrairement à ce qui a été énoncé dans les études antérieures (Curry et al., 2003), ce chenal n'est probablement pas avulsé, mais ne serait pas actif en phase de transgression marine actuelle. Ces résultats obtenus sur les levées du chenal coïncident avec les faciès de dépôts observés sur la plate-forme lors des phases de régressions forcées (MIS8, MIS7-6 et MIS4-2, Hubscher et al., 2005), ce qui suggère un lien étroit entre les phases d'activités du chenal E4 et l'apport sédimentaire sur la plate-forme. Le lien entre ces deux sites pourrait être expliqué les variations du niveau marin, qui conditionne à la fois l'étendue du delta et donc la position des apports sur le rebord de plate-forme en phase de bas niveau marin. Ces apports sur le rebord de pente permettent d'alimenter des chenaux inactifs en phase de haut niveau marin. Un changement de source daté du MIS 7 a été identifié pour ce chenal, ce changement n'étant probablement pas liés à l'intensité des moussons, un changement morphologique du canyon pourrait expliquer le passage d'une alimentation calcitique à une alimentation détritique lors du MIS 7, ou encore la différence du niveau marin atteint avant et après le MIS 7.

Au cours de l'Holocène, le chenal principal supposé actif, connaît un changement radicale d'alimentation. Entre 10 000 calBP et 9 500 calBP, ce chenal est alimenté par des courants turbiditiques à hautes fréquences. Depuis 9 500 calBP, l'activité turbiditique a laissé place à une alimentation plus fine, et les taux de sédimentation ont diminué de manière drastique. Un changement de l'alimentation de ce chenal, probablement lié à la morphologie du chenal ou du canyon, s'est donc produit à 9 500 calBP

L'intensité des moussons va probablement influencer la quantité de sédiments drainés sur la plate-forme comme l'ont démontré Goodbred et Kuehl (2000), mais l'alimentation du système turbiditique du Bengale reste régulée par la relation entre l'embouchure du Ganges-Brahmapoutre et la tête de canyon, ainsi que par sa morphologie. L'âge de cette limite reste à définir avec des datations radiocarbone afin de pouvoir comparer précisément le signal des moussons et les variations eustatiques avec l'activité turbiditique de la MD12-3417.

Afin d'établir l'origine du changement de source turbiditiques des deux chenaux, la bathymétrie précise du Swatch Of No Ground ainsi que des profils sismiques de l'incision du chenal E4 sur la pente dans son intégralité seraient nécessaires. De cette manière, les changements morphologiques pourraient être comparés aux périodes d'activités, aux variations eustatiques et à l'intensité des moussons.

Une analyse géochimique de l'origine continentale des argiles déposées après cette date pourrait permettre de savoir si une autre source sédimentaire à granularité très fine, ne serait pas à l'origine des taux de sédimentation élevés sur les levées du chenal principal.

La Baie du Bengale est une vaste zone encore peu étudiée aux vues de son étendue. Très peu d'études précises ont été menées, amenant à des confusions et des erreurs potentielles d'interprétations. L'étude présentée ici a permis d'obtenir des résultats précis sur l'activité turbiditique de zone restreinte.

Bibliographie

- Best A.I., Gunn, D. E., 1999. Calibration of marine sediment core loggers for quantitative acoustic impedance studies. *Marine Geology* 160, 137–146.
- Bastia R., Das S., Radhakrishna M., 2010. Pre- and post-collisional depositional history in the upper and middle Bengal fan and evaluation of deepwater reservoir potential along the northeast continental margin of India. *Marine and petroleum geology* 27, 2051-2061.
- Bhuiyan M. et al., 2011. Provenance, tectonics and source weathering of modern fluvial sediments of the Brahmaputra–Jamuna River, Bangladesh: Inference from geochemistry. *Journal of geochemical exploration* 111, 113–137.
- Bourget, J., et al. 2010. Highstand vs. lowstand turbidite system growth in the Makran active margin: Imprints of high-frequency external controls on sediment delivery mechanisms to deep water systems. *Marine Geology* 274(1-4): 187-208.
- Bourget, J., Zaragosi, S., Rodriguez, M., Fournier, M., Garlan, T., Chamot-Rooke, N. 2013. Late Quaternary megaturbidites of the Indus fan: Origin and stratigraphic significance. *Marine Geology* 336, pp. 10-23.
- S. Brocheray, M. Cremer, S. Zaragosi, S. Schmidt, F. Eynaud, L. Rossignol, H. Gillet, 2000 years of frequent turbidite activity in the Capbreton Canyon (Bay of Biscay), *Marine Geology*, Volume 347, 1 January 2014, Pages 136-152.
- Caley, T., Zaragosi, S., Bourget, J., Martinez, P., Malaizé, B., Eynaud, F., Rossignol, L., Garlan, T., and Ellouz-Zimmermann, N. 2013. Southern Hemisphere imprint for Indo-Asian summer monsoons during the last glacial period as revealed by Arabian Sea productivity records, *Biogeosciences*, 10, 7347-7359, doi:10.5194/bg-10-7347-2013, 2013.
- Chakrapani G. J., Subramanian V., 1990. Preliminary studies on the geochemistry of the Mahanadi River basin, India. Volume 81, Issue 3, Pages 241–253.
- Clemens C., Prell, W. L., 2003. A 350,000 year summer-monsoon multi-proxy stack from the Owen Ridge, Northern Arabian Sea. *Marine Geology* 201, 35-51.
- Colin C., Kissel C., Blamart D., Turpin L., 1998. Magnetic properties of sediments in the Bay of Bengal and the Andaman Sea: impact of rapid North Atlantic Ocean climatic events on the strength of the Indian monsoon. Volume 160, Issues 3–4, Pages 623–635.
- Curry J. R., Moore D., 1971. Growth of the Bengal Deep-Sea Fan and Denudation in the Himalayas. *Geological Society of America Bulletin*, v. 82, no. 3, p. 563-572.
- Curry J. R., 1994. Sediment volume and mass beneath the Bay of Bengal. Volume 125, Issues 1–4, Pages 371–383.
- Curry, J. R., et al. 2002. The Bengal Fan: morphology, geometry, stratigraphy, history and processes. *Marine and Petroleum Geology* 19(10): 1191-1223.
- Curry J. R., Emmel F. J., Moore D.G., 2003. The Bengal Fan: morphology, geometry, stratigraphy, history and processes. *Marine and petroleum geology* 19, 1191-1223.
- Curry J. R., 2014. The Bengal Depositional System: From rift to orogeny. Article in Press, *Marine geology*.
- De Gabriel-Thoron T., Beaufort L., Bassinot F., 2004. Evidence for large methane releases to the atmosphere from deep-sea gas-hydrate dissociation during the last glacial episode. *PNAS* 101 No.25, 9187-9192.

- Fairbanks G., 1989. A 17,000-year glacio-eustatic sea level record/ influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature* 342: 637-642.
- Fleitmann D. et al., 2007. Holocene ITCZ and Indian monsoon dynamics recorded in stalagmites from Oman and Yemen (Socotra). *Quaternary Science Reviews*, volume 26, Issues 1–2, Pages 170–188.
- France-Lanord C. et al., 1993. Evolution of the Himalaya since Miocene time: isotopic and sedimentological evidence from the Bengal Fan. Geological Society, London, Special Publications 1993, v. 74, 603-621.
- Galy A., France-Lanord C., Derry L. A., 1996. The Late Oligocene-Early Miocene Himalayan belt Constraints deduced from isotopic compositions of Early Miocene turbidites in the Bengal Fan. *Tectonophysics* 260, 109-118.
- Galy A., France-Lanord C., Derry L. A., 1999. The strontium isotopic budget of Himalayan Rivers in Nepal and Bangladesh. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 63, No. 13/14, pp. 1905–1925.
- Galy A., France-Lanord C., 2001. Higher erosion rates in the Himalaya: Geochemical constraints on riverine fluxes. *Geology*, v. 29, no. 1, p. 23–26.
- Garzanti, E., et al., 2011. Mineralogical and chemical variability of fluvial sediments 2. Suspended-load silt (Ganga–Brahmaputra, Bangladesh). *Earth and Planetary Science Letters* 302(1-2): 107-120.
- Garzanti, E., et al., 2010. Mineralogical and chemical variability of fluvial sediments 1. Bedload sand (Ganga–Brahmaputra, Bangladesh). *Earth and Planetary Science Letters* 299(3-4): 368-381.
- Gervais A., Mulder T., Savoye B., Migeon S., Cremer M., 2001. Recent processes of levee formation on the Zaire deep-sea fan. *Earth and Planetary Science*, Volume 332, Issue 6, Pages 371–378.
- Goodbred S. L., Kuehl S. A., 1999. Holocene and modern sediment budgets for the Ganges-Brahmaputra river system: Evidence for highstand dispersal to flood-plain, shelf, and deep-sea depocenters. *Geology*, June, 1999, v. 27, p. 559-562.
- Goodbred S. L., Kuehl S. A., 2000. Enormous Ganges-Brahmaputra sediment discharge during strengthened early Holocene monsoon. *Geology* v. 28, no. 12, p. 1083–1086.
- Govil P., Naidu P. D., 2011. Variations of Indian monsoon precipitation during the last 32 kyr reflected in the surface hydrography of the Western Bay of Bengal. *Quaternary Science Reviews* 30, 3871-3879.
- Hemleben C., Spindler M., Anderson O. R., 1989. “Modern Planktonic Foraminifera”. Springer.
- Thu et al., 2001. HINDOO cruise deep-sea channel survey in the Bay of Bengal. *地質学雑誌*, vol 107, n 11.
- Hübsher C., V. Spieß, Breitz M., Weber M. E., 1997. The youngest channel-levee system of the Bengal Fan: results from digital sediment echosounder data. *Marine Geology* 141, 125-145.
- Hübsher, C. and V. Spieß, 2005. Forced regression systems tracts on the Bengal Shelf. *Marine Geology* 219(4): 207-218.

- Jorry, S. J., et al., 2011. Turbiditic levee deposition in response to climate changes: The Var Sedimentary Ridge (Ligurian Sea). *Marine Geology* 279(1-4): 148-161.
- Kessarkar, P. M., et al., 2005. Changing sedimentary environment during the Late Quaternary: Sedimentological and isotopic evidence from the distal Bengal Fan. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 52(9): 1591-1615.
- Kottke, B., et al., 2003. Acoustic facies and depositional processes in the upper submarine canyon Swatch of No Ground (Bay of Bengal). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 50(5): 979-1001.
- Kolla V. et al., 1976. Clay mineralogy and sedimentation in the western Indian ocean. Volume 23, Issue 10, Pages 949–961.
- Kolla V. et al., 2012. Morphology and internal structure of a recent upper Bengal fan valley complex. Application of the Principles of Seismic Geomorphology to Continental-Slope and Base-of-Slope Systems: Case Studies from Seafloor and Near-Seafloor Analogues Edited by Bradford E. Prather, Mark E. Deptuck, David Mohrig, Berend Van Hoorn, and Russell B. Wynn. Vol. 99. P.347-369.
- Kuehl S. A., Hariu T. M., Moore W. S., 1989. Shelf sedimentation off the Ganges-Brahmaputra river system: Evidence for sediment bypassing to the Bengal fan. *Geology*, December, v. 17, p. 1132-1135.
- Li H., Zhang S., Fang N., Wang H., 2006. Magnetic records of Core MD77-181 in the Bay of Bengal and their paleoenvironmental implications. *Chinese Science Bulletin* 51 No. 15, 1884—1893.
- Lisiecki L. E., Raymo M. E., 2005. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, Volume 20, Issue 1.
- Matthews N. E. et al, 2012. Ultra-distal tephra deposits from super-eruptions: Examples from Toba, Indonesia and Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Quaternary International*, volume 258, 1 May 2012, Pages 54–79.
- Michels K. H., Suckow A., Breitzke M., Kudrass H. R., Kottke B., 2003. Sediment transport in the shelf canyon “Swatch of No Ground” (Bay of Bengal). *Deep-Sea Research II* 50, 1003–1022.
- Michels, K. H., et al. 1998. The submarine delta of the Ganges-Brahmaputra: cyclone-dominated sedimentation patterns. *Marine Geology* 149(1-4): 133-154.
- Milliman J. D., Syvitski J. P. M., 1992. Geomorphic/Tectonic control of sediment discharge to the Ocean: The importance of Small Mountainous Rivers. *The Journal of Geology* Vol. 100, No. 5, pp. 525-544.
- Mukherjee, A., et al. , 2009. Geologic, geomorphic and hydrologic framework and evolution of the Bengal basin, India and Bangladesh. *Journal of Asian Earth Sciences* 34(3): 227-244.
- Mulder T., Syvitski J. P. M., 1996. Climatic and Morphologic Relationships of Rivers: implications of sea-level fluctuations on rivers loads. *The journal of Geology* Vol. 104, pp. 509-523.
- Nath, B. N., et al., 2005. Evidence of Himalayan erosional event at $\sim 0.5\text{Ma}$ from a sediment core from the equatorial Indian Ocean in the vicinity of ODP Leg 116 sites. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 52(14-15): 2061-2077.

- Onkar S. Chauhan , Ch. M. Rao, 1999. Influence of sedimentation on enrichment of manganese and growth of ferromanganese micronodules, Bengal Fan, India. *Marine Geology* 161, 39-47.
- Palamenghi L., Schwenk T., Spiess V., Kudrass H. R., 2011. Seismostratigraphic analysis with centennial to decadal time resolution of the sediment sink in the Ganges–Brahmaputra subaqueous delta. *Continental Shelf Research* 31, 712–730.
- Petraglia M. et al., 2007. Middle Paleolithic Assemblages from the Indian Subcontinent Before and After the Toba Super-Eruption. *Science* 317, 114.
- Plint A. G., Nummedal D., 2000. The falling stage systems tract: recognition and importance in sequence stratigraphic analysis. *Geological Society, London*, v. 172, p. 1-17.
- Reimer P. J. et al., 2009. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50.000years calBP. *Radiocarbon*, Vol 51, Nr 4, p 1111–1150.
- Saraswat, R., et al., 2014. A glimpse of the Quaternary monsoon history from India and adjoining seas. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology* 397: 1-6.
- Schwenk, T., et al., 2003. Frequent channel avulsions within the active channel–levee system of the middle Bengal Fan—an exceptional channel–levee development derived from Parasound and Hydrosweep data. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 50(5): 1023-104.
- Schwenk, T., et al., 2005. The architecture and evolution of the Middle Bengal Fan in vicinity of the active channel–levee system imaged by high-resolution seismic data. *Marine and Petroleum Geology* 22(5): 637-656.
- Skinner L. C., McCave I. N., 2003. Analysis and modelling of gravity- and piston coring based on soil mechanics. *Marine Geology* 199, 181-204.
- Stow D. A. V., Howell D. G., Nelson C. H., 1984. Sedimentary, Tectonic, and Sea-Level Controls on Submarine Fan and Slope-Apron Turbidite Systems. *Geo-Marine Letters*, Vol. 3:57-64.
- Stuiver, M., et al. (1998). "INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration, 24,000–0 cal BP." *Radiocarbon* 40(3): 1041-1083.
- Subrahmanya K. R., 1998. Tectono-magmatic evolution of the west coast of india. Volume 1, Issues 3–4, Pages 319–327.
- Syvitski, J. P. M., et al., 2003. Predicting the terrestrial flux of sediment to the global ocean: a planetary perspective. *Sedimentary Geology* 162(1-2): 5-24.