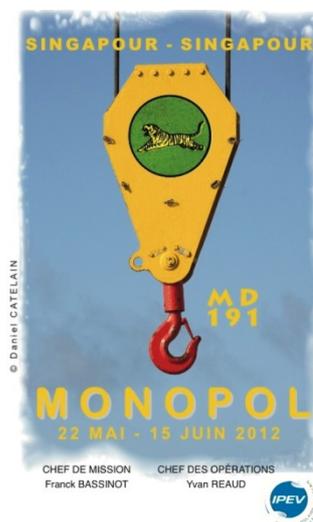


CASSE Marie
FOURNIER Léa
ZORZI Coralie
BONAFOS Oriane
RIEUX Aïssia

HERSERANT Willis
GUILLOU Efflam
PRET Carole
MARIE Lauriane



Rapport de l'Université flottante

Mission MONOPOL

Du 22 Mai au 15 Juin 2012

Directeur de l'Université flottante : Bruno MALAIZE



Sommaire

Introduction	3
I. La manutention sur le Marion Dufresne.....	4
1) Après un CALYPSO (CArottier Long d'Yvon pour Sédiment Océanique)	4
2) Après un CASQ (Carottier A Section Carré).....	6
II. Mesures MSCL (Multi-Sensor Core Logger).....	8
1) Photos des sections de carotte :	8
2) Gamma densité (rayonnement gamma) :	8
3) Vitesse par onde P – épaisseur du sédiment :	9
4) Susceptibilité magnétique :	10
5) Spectrophotométrie :	10
III. Exemples d'échantillonnages pratiqués sur le Marion Dufresne	11
1) la station MONO 0	11
2) la station MONO 07.....	14
3) Un exemple de CTD : le site MONO2.....	15

Introduction

La mission MONOPOL s'est déroulée du 22 mai au 15 juin 2012 sur le Marion Dufresne II, le plus grand navire de recherche océanographique européen. Ce projet a eu lieu dans le Golfe du Bengale situé dans le Nord-Est de l'océan Indien. Cette zone est particulièrement intéressante puisque elle permet de reconstituer le couplage océan-atmosphère dans le cadre de l'un des phénomènes tropicaux les plus spectaculaires : la mousson. La mousson régie l'ensemble des variations climatiques et météorologiques sur ce bassin. Ce processus fait l'objet de nombreuses recherches car il touche directement les populations humaines, ayant un impact climatique et économique majeur. Cette mission vise également à comprendre l'influence de l'Himalaya dans les dépôts sédimentaires marins profonds. Pour cela, l'étude s'est axée sur le canyon actif du Gange-Brahmapoutre qui concentre les produits d'érosion de la chaîne himalayenne. Les variations du phénomène de mousson dans le passé peuvent être perçues à partir d'archives marines dans lesquelles sont retrouvés des témoins des conditions atmosphériques et hydrologiques.

A son bord, le Marion Dufresne dispose de nombreux outils permettant l'étude des fonds marins. La mission MONOPOL se distingue par la diversité des activités scientifiques. L'ensemble de la sédimentation est étudié, depuis les phénomènes observés dans la colonne d'eau (prélèvements in situ), jusqu'aux dépôts au fond de l'océan, en incluant la diagénèse. Des carottages ont été réalisés de manière à recueillir des sédiments sur plusieurs dizaines de mètres (30 à 60 mètres environ). Auparavant, une surveillance des fonds marins (dit 'survey') est effectuée à partir d'un échosondeur pour déceler la densité des sédiments à prélever. Le carottier utilisé, prénommé Calypso, est de type Kullenberg et est régulièrement amélioré afin d'obtenir des archives marines particulièrement longues et de meilleures qualités. Pour améliorer la résolution des premiers mètres de sédiments, des carottiers plus courts, de section carrée, prénommés CASQ, viennent compléter les prélèvements au Calypso. D'autre part, des petites carottes de surface (quelques dizaine de centimètres) appelées multicores sont effectuées pour comprendre la dynamique des processus au niveau de l'interface eau-sédiment. En ce qui concerne la colonne d'eau, des filets à plancton et des sondes CTD sont utilisés dans le but d'étudier la chimie et la biodiversité des eaux.

Afin d'optimiser le temps de travail, des analyses sont réalisées directement sur le bateau : photographie, description, mesures physiques sur un 'Multi-Sensor Core Logger (dit MSCL), étude des coccolithes et des foraminifères... Le matériel prélevé sera ensuite ramené dans différents laboratoires de recherche où seront effectuées des analyses plus complètes. Dans ce rapport, l'aspect technique et l'ensemble des outils utilisés sur le bateau seront détaillés dans une première partie. S'en suivra une explication des mesures physiques réalisées ainsi qu'un exemple de traitement d'une carotte.

I. La manutention sur le Marion Dufresne

Deux types de carottier (CALYPSO et CASQ) sont utilisés afin de prélever des archives marines dans le but d'améliorer les connaissances actuelles sur le paléoclimat. Avant de pouvoir analyser les sédiments en laboratoire, il est nécessaire de réaliser plusieurs opérations lorsque le prélèvement est terminé et ramené sur le bateau. Voici ces deux méthodes :

1) Après un CALYPSO (CARottier Long d'Yvon Pour Sédiments Océaniques)

Le carottier est composé de deux tubes imbriqués l'un dans l'autre : le premier tube extérieur est métallique, et il contient un second tube en PVC, dit 'liner' (cf Figure 1).

Une fois le carottier remonté à bord et la carotte déposée sur le pont, il faut sortir le liner en PVC de sa structure métallique. Cette opération est réalisée par l'équipage qui s'aide d'un câble de traction. Les carottes peuvent faire entre 20 et 60 m de longueur

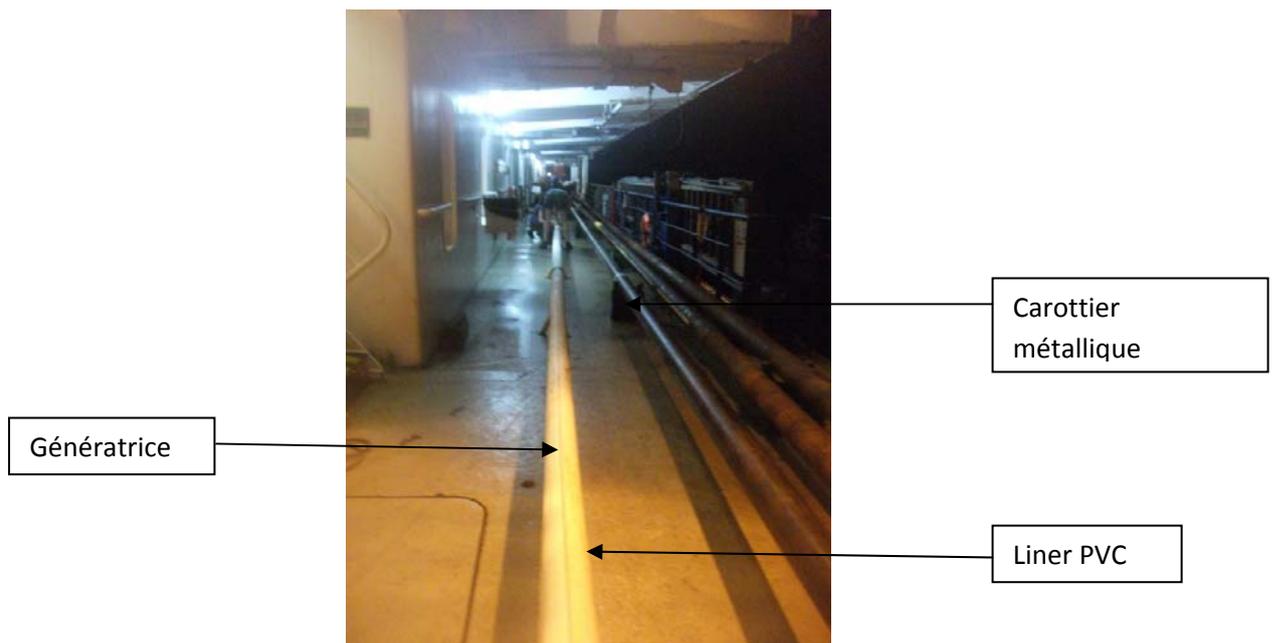


Figure 1 : Carotte de sédiment et carottier

Après cette première intervention, les scientifiques peuvent commencer à nettoyer le liner et le tourner afin que la génératrice soit visible au dessus de la carotte. Il est nécessaire de trouver le sommet des sédiments récupérés dans le but d'obtenir le plus grand enregistrement possible. Ce top est déterminé en tapotant à l'aide d'un objet le haut de la carotte, la différence de son émis nous indique si la section est vide ou pleine. On découpe alors au niveau du top, on ajoute un bouchon pour que le sédiment ne coule pas et on détermine la longueur exacte de cette nouvelle carotte à l'aide d'un décimètre.

Une fois propre et sèche, il faut séparer la carotte en tronçons de 1m50, puis labéliser toutes les sections. Cette étape est très importante et consiste à écrire sur chaque tronçon : les initiales du bateau, l'année en cours, le numéro de la carotte suivie du numéro de la section en chiffre romain, ainsi que la longueur correspondant au « top » et au « bottom » de chaque tronçon. Sur chacune d'elle le côté mer sera attribuée à l'archive et l'autre au « work », partie travail qui est étudié par la suite. (Par exemple : T0 MD12-3418-I-W B150). Parfois, il est nécessaire de percer le liner à différents endroits afin d'évacuer la présence de gaz hypothétiques.

Par la suite on doit découper les différents tronçons à l'aide d'un coupe tube qui va couper seulement le PVC sans toucher le sédiment. On sépare ensuite les tronçons à l'aide d'un fil à couper le beurre, et deux bouchons sont placés immédiatement sur les extrémités pour éviter les pertes.



Figure 2 : Découpage de la carotte

Des bandes métriques sont disposées au niveau de la génératrice et l'on y note les mesures tous les 50cm du top au bottom. Cela va permettre lors de son passage sur le « banc de découpe » de séparer chaque partie dans le sens de la longueur au centre de la bande métrique. Les fraises de cette machine ne découpent là aussi que le PVC pour ne pas contaminer le sédiment. Il est donc nécessaire de séparer la partie archive de la partie « work » grâce à un fil à couper le beurre.



Figure 3 : Banc de découpe

La partie archive est directement recouverte d'un film et d'une gaine en plastique et va être disposée dans un étui en PVC rectangulaire pour pouvoir la conserver dans un container réfrigérant à 4°C pour éviter toutes contaminations extérieures. La partie « work » va subir différentes analyses : Dans un premier temps il faut lisser cette demi-section qui va être prise en photo dans le banc MSCL (Multi Sensor Core Logger). Ce lissage permet une meilleure visibilité des structures au sein des sédiments. Dans un second temps, la section va être décrite par des sédimentologues. Ces chercheurs vont réaliser un log stratigraphique c'est-à-dire déterminer la nature des sédiments, les structures observées (bioturbation,...), les perturbations liées au carottage (déformation des couches, présence de vide, ...), les fossiles (foraminifères, coccolithophoridés,...), et la couleur des différentes couches.

Cette étape étant accomplie, la section va retourner au banc MSCL pour des mesures physiques : réflectance, susceptibilité magnétique, mesure de l'épaisseur et spectrophotométrie.

Il ne reste plus qu'à emballer la partie « work » et à la conserver dans le même container réfrigéré que la partie archive.

Si jamais la carotte se retrouve tordue, l'étape de découpage est plus complexe étant donné qu'il faut couper au niveau de la courbure. Des sections peuvent mesurer plus ou moins 1m50 et être plus ou moins remplies.

2) Après un CASQ (Carottier A Section Carré)

Contrairement au CALYPSO, ce carottier n'est composé que d'un étui en acier à large section (pas de PVC). L'intérêt est de perturber au minimum la surface du sédiment lors de la pénétration dans le sédiment.

Une fois le CASQ remonté sur le pont et ouvert, il faut nettoyer la partie où l'on dépose le décimètre et la mesurer. Un lissage est effectué au niveau de la première couche et deux rangées de D-tubes (gaine en PVC de sections carrés de 1M50) sont déposés en parallèle et enfoncés dans le sédiment les uns à la suite des autres tout le long du CASQ (cf Figure 4). Il faudra alors, comme pour le CALYPSO, labéliser chaque section (exemple T0-MD12-3419-CQ-IA-B150).

Il est nécessaire de renverser le CASQ sur le côté pour pouvoir séparer chaque section avec un fil à couper le beurre.



Figure 4 : D-Tube dans le CASQ

Deux à trois couches peuvent être prélevées dans le sédiment avec plusieurs rangées de D-tubes. Ceux de diamètre plus important sont directement nettoyés et emballés car trop gros pour une analyse sur le bateau. Seul une rangée de D-tubes plus petits va être étudiée à bord de la même manière que le CALYPSO (lissage, photo, description, mesures physiques, emballage). Les autres sont également emballés et stockés.

On peut également placer des U-channels (gaine transparente en PVC de faible largeur) pour certains laboratoires afin de mesurer, par exemple, la susceptibilité magnétique.

Les différentes carottes récupérées sont nommées par une lettre : A, B, C, D... afin de différencier leur emplacement.

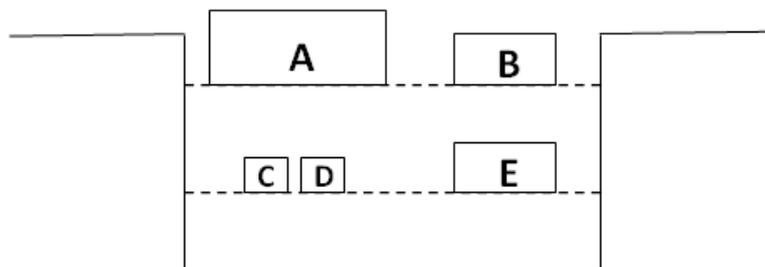


Figure 5 : Positionnement de la goulotte (A), des D-Tubes (B,E) et U-Channel (C,D) dans le CASQ.

Tout le sédiment n'est pas récupéré et le reste est rejeté à la mer.

En plus des opérations de carottages, d'autres opérations ont été effectuées comme la CTD (prélèvement d'eau dans des bouteilles Niskin à différentes profondeurs), le multitubes (prélèvement de l'interface eau-sédiment) et les filets à planctons.

Certaines de ces méthodes seront présentées brièvement dans l'un des exemples choisis en dernière partie de ce rapport

II. Mesures MSCL (Multi-Sensor Core Logger)

Les mesures physiques sont effectuées directement après la découpe et la description des sections « Travail », au niveau du banc de mesure doté d'un Geotek **Multi-Sensor-Core-Logger**, muni d'un appareil photo qui numérise la carotte à haute résolution, d'un gamma-ray système, d'un appareil de mesure de vélocité des ondes P, d'un appareil de mesure de la susceptibilité magnétique et d'un spectrophotomètre.

Ces outils sont montés et alignés verticalement afin de mesurer des demi-carottes horizontales. Les demies carottes sont poussées par un moteur « pas-à-pas » sur un rail pendant que les outils de mesure s'abaissent tout les 2cm pour effectuer les mesures respective de chaque appareil (Figure 6). Afin que les outils ne soient pas contaminés par les sédiments des demi-carottes, un film plastique fin et transparent recouvre ces dernières.

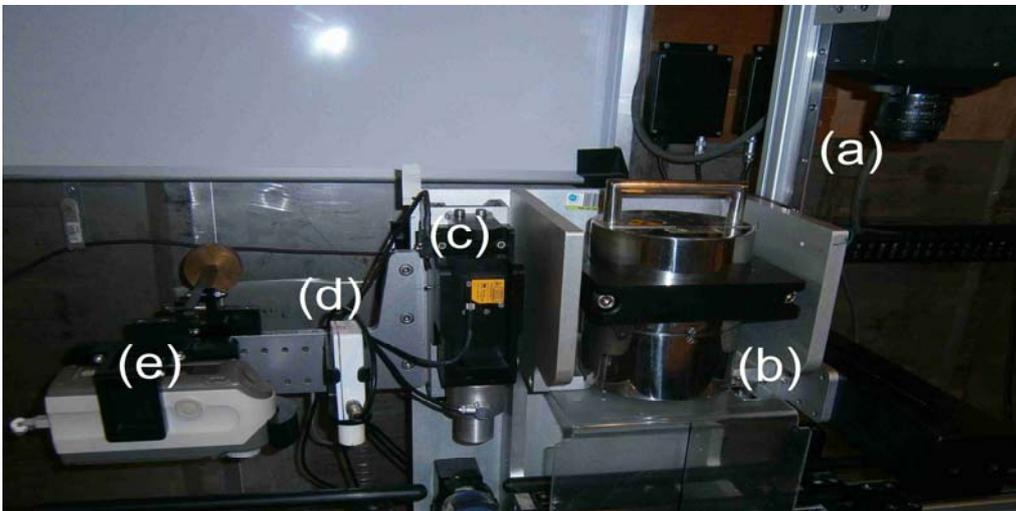


Figure 6 : Photo des appareils de mesure du banc MSCL : (a) appareil photo (b) gamma ray système (c) vélocité des ondesP (d) susceptibilité magnétique et (e) spectrophotomètre

1) Photos des sections de carotte :

Pour chaque section de carotte, 3 photos de 50 cm sont prises automatiquement avec un appareil photo AGFA, dans le banc MSCL, après calibration du blanc et du noir. Ces 3 photos sont combinées pour former une seule et unique photo par section, sans qu'il n'y ait de perte de résolution. Enfin, les photos des différentes sections sont rassemblées dans un tableau et subissent une baisse de résolution afin d'optimiser la taille du fichier.

2) Gamma densité (rayonnement gamma) :

Un faisceau de rayonnements gamma est émis sur chaque tronçon de carotte analysée avec un pas de 5mm). Le rayonnement d'énergie 0,662 MeV, obtenue par désintégration d'une source de Césium 137, est envoyé depuis une capsule de plomb de 150 mm placée au dessus du tronçon (Figure 6). Les photons traversent le tronçon et sont détectés par le récepteur placé de

l'autre côté de la carotte. Ce rayonnement gamma permet, en prenant en compte l'épaisseur de la demi-carotte, d'avoir des informations sur la densité du matériel traversé grâce à l'équation :

$$\rho = \left(\frac{I_0}{\mu d I} \right) \ln \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

Avec :

- ρ = densité du sédiment
- d = épaisseur du sédiment
- μ = coefficient d'atténuation
- I_0 = intensité de la source gamma
- I = intensité mesuré à travers l'échantillon.

Il est possible de déterminer la porosité du sédiment (Fractional Porosity ; FP) à partir de la densité gamma ρ calculée précédemment. Il faut pour cela considérer une saturation complète du sédiment et définir les valeurs de la densité du grain (Mineral Grain Density ; MGD) et de la densité du fluide (Water Density ; WD). La porosité est finalement obtenue à partir de la relation suivante :

$$FP = \frac{(MGD - \rho)}{(MGD - WD)}$$

3) Vitesse par onde P – épaisseur du sédiment :

Des ondes sismiques compressives (ondes P) sont générées et envoyées à travers le sédiment. Leur temps de parcours à travers le sédiment est alors mesuré avec une précision de 1,5 m/s. Quelques gouttes d'eau sont préalablement répandues sur la surface du film protecteur du demi-tronçon de carotte, afin d'améliorer le contact acoustique entre le sédiment et l'émetteur d'ondes P. Comme pour l'analyse en rayonnement gamma, l'épaisseur du sédiment est prise en compte et est mesurée automatiquement. Les changements fréquents de l'épaisseur du sédiment dans les demis tronçons peuvent effectivement biaiser les résultats de la densité obtenues au rayonnement gamma ainsi que ceux et de la vitesse déterminé par ces ondes P. Enfin, il est important de noter que la température du sédiment est importante pour le calcul de la vitesse. Pour que la température reste stable lors des mesures, le conteneur dans lequel se trouve le banc MSCL est climatisé.

La vitesse V des ondes P est donnée par l'équation :

$$V = \frac{H}{TT}$$

Avec :

- H = épaisseur du sédiment
- d = temps de parcours de l'onde dans le sédiment

La densité et la vitesse sont des indicateurs qui varient en fonction de la granulométrie (et donc de la porosité) des sédiments et des fluides qui remplissent les pores, ils augmentent conjointement avec l'augmentation de la taille des grains : plus les grains sont gros plus il y a de contacts entre eux, l'air et l'eau dans les pores freinent les ondes P et font baisser la densité.

4) Susceptibilité magnétique :

La susceptibilité magnétique représente le degré de magnétisation d'un matériau en réponse à l'application d'un champ magnétique. Si sa valeur est positive alors le matériaux peut être paramagnétique, ferromagnétique, ferrimagnétique ou anti-ferromagnétique et peut montrer une organisation magnétique existant sur une longue distance à l'échelle atomique (plus d'un millier d'atome). Dans ce cas, le champ magnétique est renforcé par la présence du matériau. En revanche, si la susceptibilité magnétique est négative, le matériau est diamagnétique (Propriété naturelle qu'ont les éléments métalliques à se placer perpendiculairement au champ magnétique terrestre).

Sa valeur est mesurée automatiquement à l'aide d'un appareil dit 'Bartington', et elle est sensible au diamagnétisme, ainsi qu'au paramagnétisme. L'appareil de mesure est très sensible aux métaux, et aux variations de températures. Il est donc préférable qu'il n'y ai pas ou peu d'objet métallique à proximité de l'appareil.

5) Spectrophotométrie :

Le spectrophotomètre Konica-Minolta CM26000d envoie, après calibration du blanc et du noir, un flash lumineux à la surface du sédiment. Afin d'obtenir un signal à haute résolution, le flash lumineux est appliqué tous les 2 cm. L'analyse spectrophotométrique permet de connaître la réflectance totale, par analyse de l'onde réfléchie, ainsi que l'absorption du flash lumineux émis par le sédiment. Cette dernière analyse calcule les absorbances dans différentes longueurs d'ondes (bleu, rouge, vert). Le spectrophotomètre calcul alors 5 paramètres automatiquement :

- L* : la réflectance totale
- a* : le ratio rouge/vert
- b* : le ratio jaune/bleu
- C* : le ratio chroma/saturation
- h: Hue-angle

La réflectance total L* diminue dans les sédiments sombres terrigènes et augmente dans les niveaux riches en carbonates.

Les données de réflectance sont utiles pour la reconstitution des changements dans la sédimentation (surtout carbonatées). Ainsi les courbes de réflectance obtenues donnent dans le meilleur des cas une première idée chronologique au sein de la carotte, dès son ouverture à bord du bateau, avant toute autre datation (voir chapitre suivant).

C'est également un moyen rapide et non invasif pour établir une première stratigraphie et aussi estimer la composition sédimentaire d'une carotte en carbonates, carbone organique, concentration en opale, qui sont des informations essentielles pour les recherches paléo-océanographiques de haute résolution.

III. Exemples d'échantillonnages pratiqués sur le Marion Dufresne

1) La station MONO 0

Date, heure d'arrivée sur site et durée	10/5/2012 – 1:30 (TU) – 5h	
Information sur le site de carottage	Latitude (°N):	1°06.07' S
	Longitude (°E):	89°16.12' E
	Profondeur de l'eau (m):	2429

La carotte MD12-3409 a été réalisée peu avant la mission Monopole sur le transit VT-Rama 122 en direction de Singapour, sur la ride sud du 90^{ème} méridien (voir le tableau de positionnement ci-dessus).

Le site a été choisi selon des critères de densité du sédiment. Pour évaluer cette densité, une surveillance des zones de carottage est toujours réalisée en amont, à l'aide d'un sondeur multifaisceaux. Celui-ci nous donne une image des sédiments de fond (cf Figure 7

La carotte CALYPSO de 29,42 mètres n'a pas pénétrée complètement, environ 5 mètres sont restés hors du sédiment. L'échantillon de sédiment récupéré mesure 23.63 mètres (ce qui représente 16 tronçons).

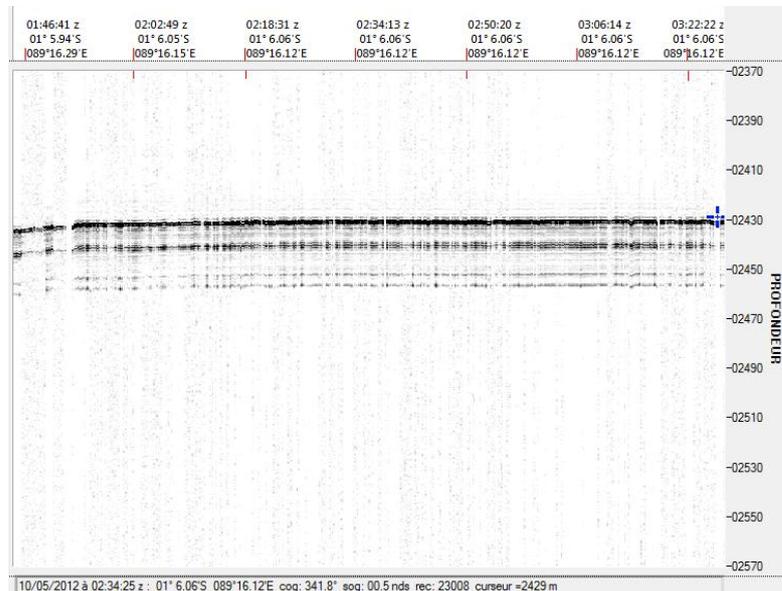


Figure 7: Profil de la station MONO 0 à 3.5 kHz. Plus les bandes sont foncées plus les couches de sédiment sont denses.

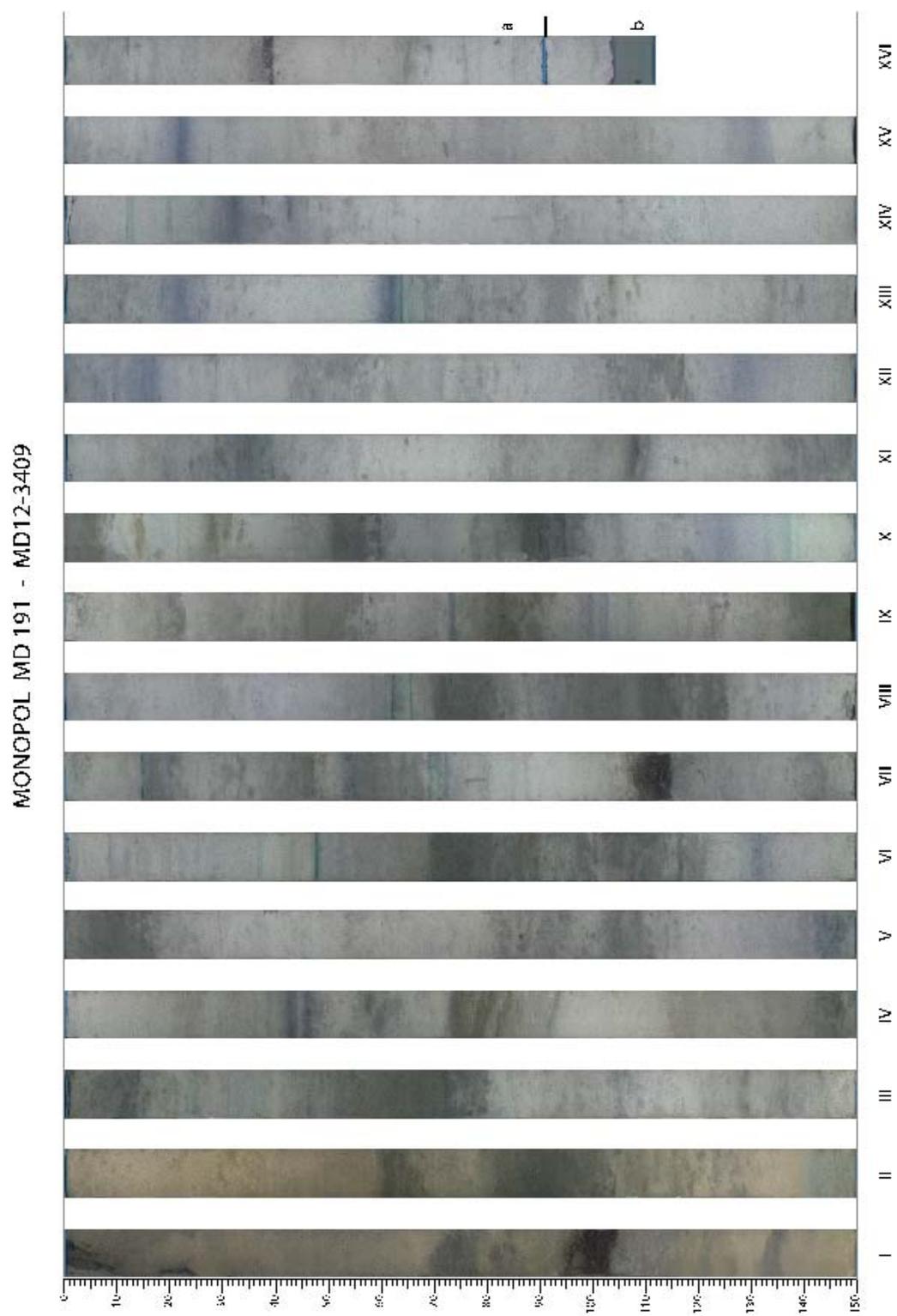


Figure 8 : photographies des tronçons de la carotte MD12-3409

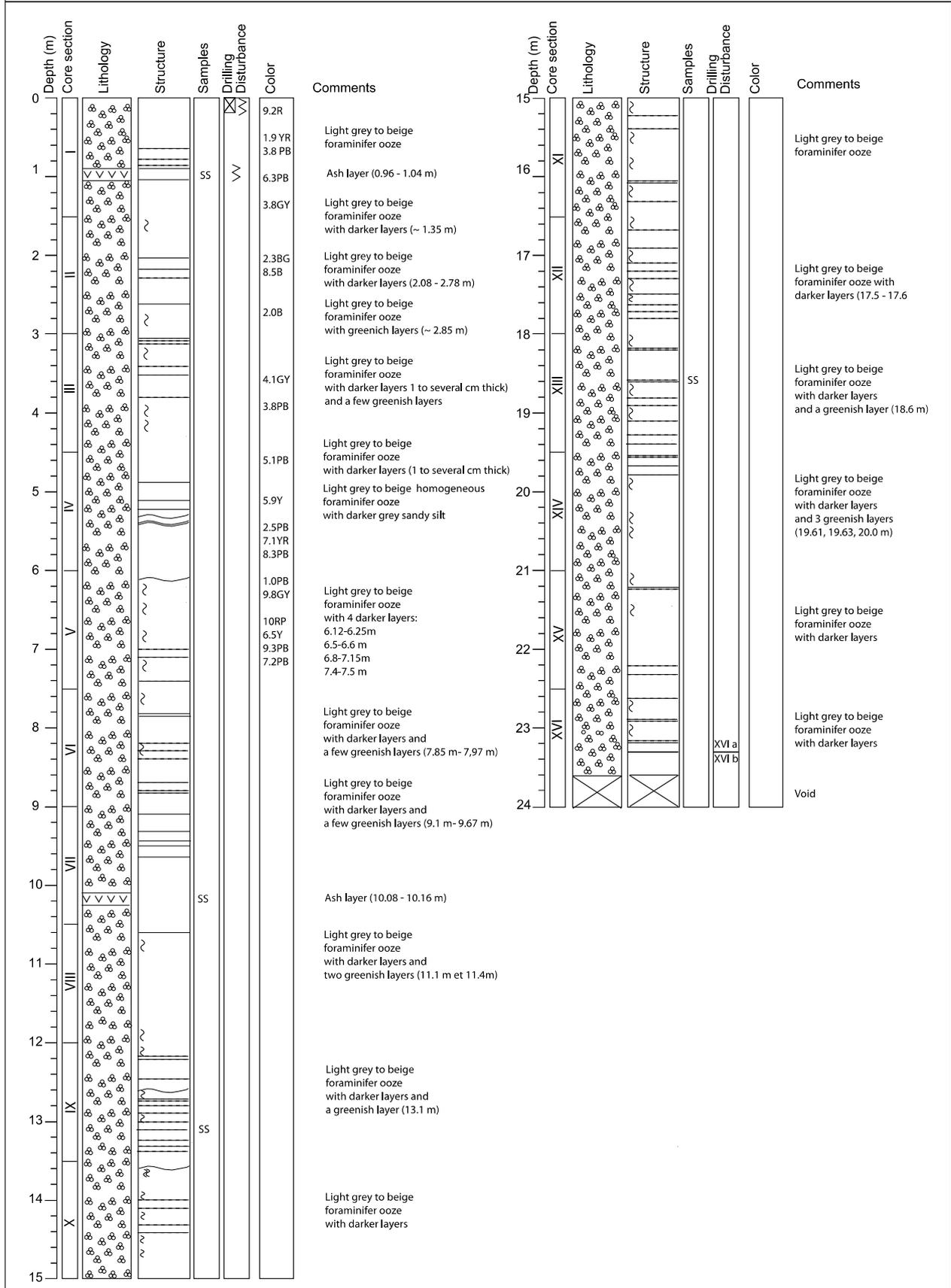


Figure 9: Fiche descriptive de l'échantillon.

Des couches claires et foncées ont été mises en évidence sur les photographies réalisées sur le banc MSCL (cf Figure 8). Ces changements de couleurs sont associés au pourcentage de carbonate présent dans le sédiment, pourcentage lié aux périodes plus ou moins chaudes. Les couches plutôt claires sont souvent associées à des périodes interglaciaires et les couches plus foncées à des périodes glaciaires.

On observe la présence de foraminifères sur tout l'étagement sédimentaire. Des frottis devront être effectués afin de mieux connaître la composition de ces différentes couches sédimentaires. Une analyse isotopique des foraminifères permettrait de mieux dater l'ensemble de la carotte.

Néanmoins, on remarque déjà deux couches de cendres, l'une sur le tronçon I et l'autre sur le VII. La première correspond probablement à l'éruption du Toba qui aurait eu lieu aux alentours de -80 000 ans.

Le banc MSCL a permis de mesurer la densité et la réflectance des sédiments (figure 10). Cette courbe peut être comparée à des courbes isotopiques déjà faites sur d'autres enregistrements sédimentaires de références, dont on connaît déjà les âges. Une telle comparaison permettra d'évaluer, en première approche, l'âge des couches de sédiments.

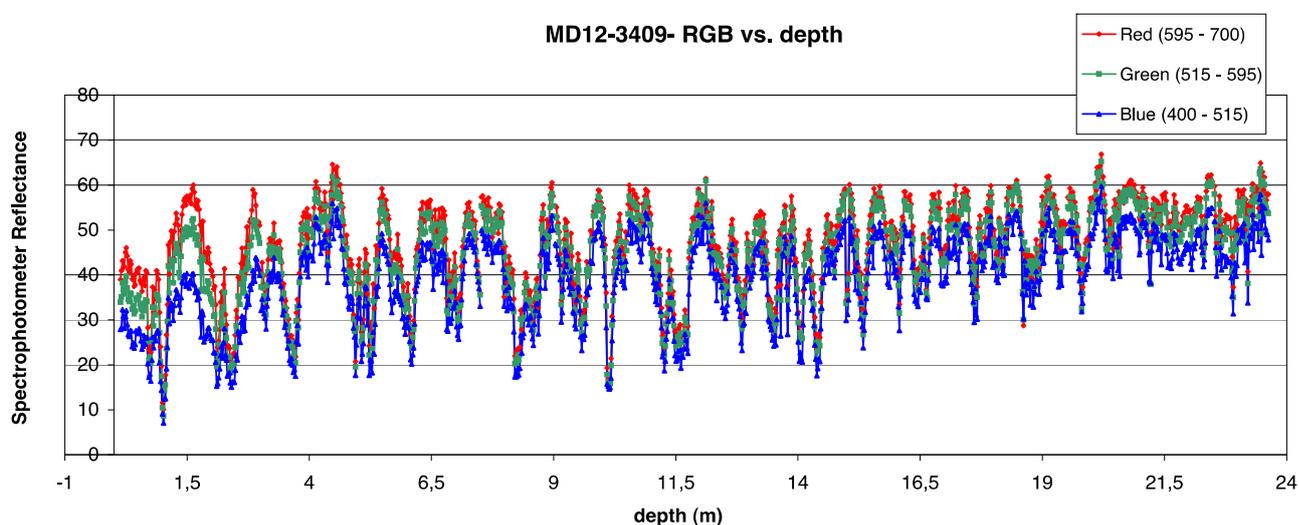


Figure 10: Courbe de réflectance

2) La station MONO 07

Date, heure d'arrivée sur site et durée	30/5/2012 – 20:34 (4h)	
Information sur le site de carottage	Latitude (°N):	17°10.94'N
	Longitude (°E):	89°28.92'E
	Profondeur de l'eau (m):	2368

Sur ce site, les deux types de carottage , CALYPSO et CASQ, ont été effectués.

La susceptibilité magnétique a pu être utilisée pour comparer les couches sédimentaires des deux carottes afin d'évaluer l'effet de piston potentiel imputable au carottage CALYPSO, comme le montre la figure 11).

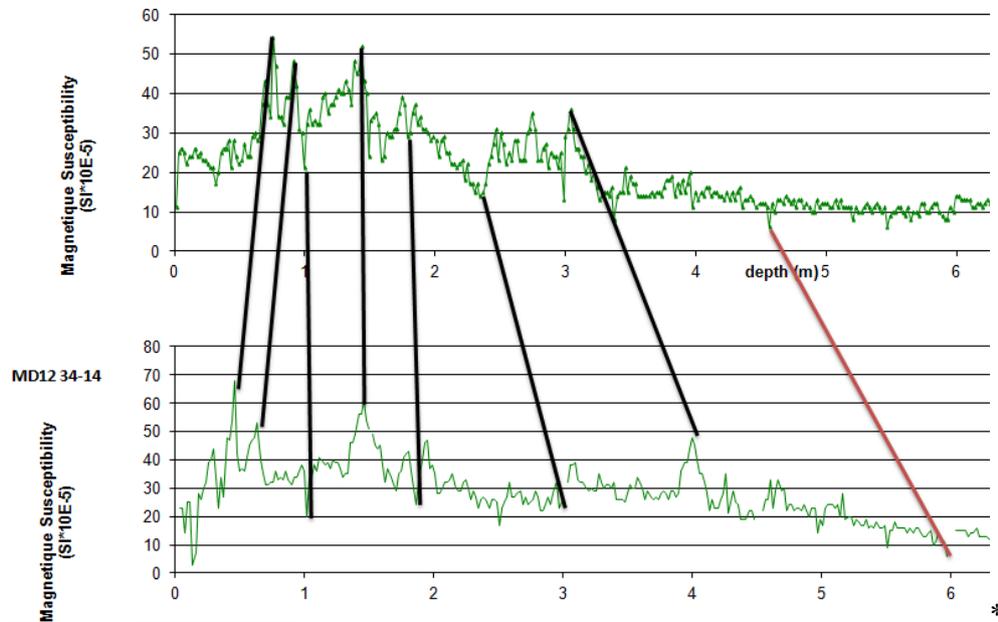


Figure 11 : Calage entre le CASQ MD 12-3413 et Calypso MD 12- 341. Il y a 50cm de pistonage, la Calypso est donc de bonne qualité. Le taux de sédimentation peut être évalué avec une marge d'erreur faible.

3) Un exemple de CTD : le site MONO2

CTD	Latitude (°N):	11°46.11' N
	Longitude (°E):	88°38.77' E

Sur ce site, un profil de CTD a été réalisé. Il s'agit d'un prélèvement d'eau, effectué à différentes profondeurs, par l'intermédiaire d'un portique circulaire, dit carrousel, supportant plusieurs bouteilles dites 'NISKIN'. Les bouteilles s'ouvrent aux profondeurs souhaitées.

De plus, des capteurs relèvent (aux mêmes profondeurs) des paramètres physiques de la colonne d'eau, tels que la température ou la salinité (cf Figure 12).

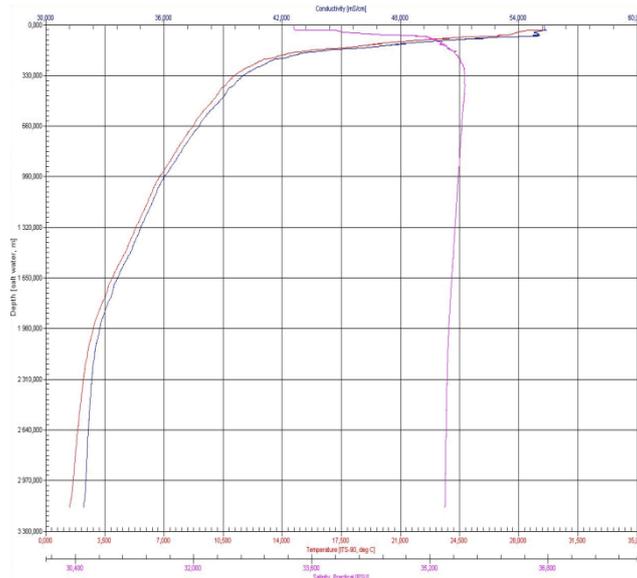


Figure 12 : Profils de température et de salinité

Sur ce profil de CTD, on observe, aux alentours de 65m, une brusque diminution de la température et une brusque augmentation de la salinité qui indiquent la présence d'une thermocline et d'une halocline. Ainsi, il y a un passage de 29°C en surface à 12°C vers 300m et concernant la salinité 33,2 en surface jusqu'à 35,5 vers 300m.

La couche euphotique est bénéfique pour le développement du phytoplancton dont la présence (figure 13) diminue brusquement avec la profondeur. L'oxygène, consommé par les phytoplanctons, suit la même tendance.

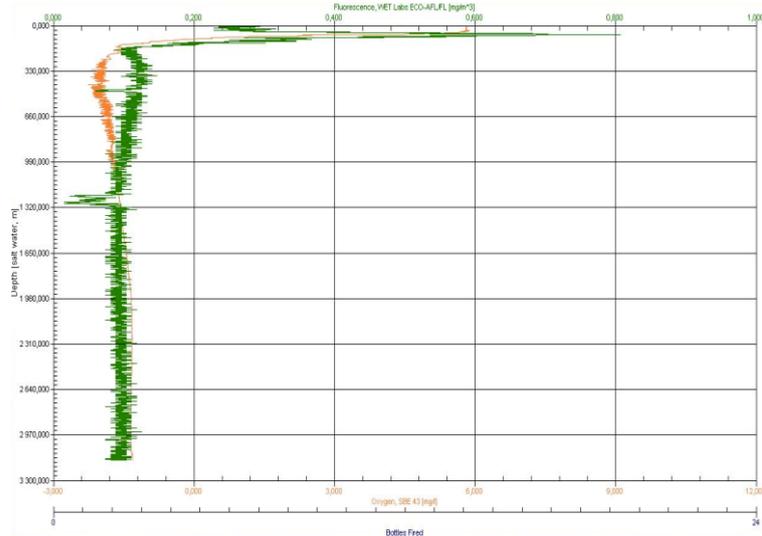


Figure 13 : Courbe de fluorescence caractérisant la production primaire

Conclusion

En définitive, les vingt-cinq jours passés sur le Marion Dufresne ont permis de récupérer des archives visant différents objectifs. Le travail réalisé sur le bateau permet un premier traitement du matériel obtenu. Les études préliminaires menées à bord ont permis de juger de la qualité des archives récupérées. Elles donnent également une idée relativement précise de plusieurs informations comme la stratigraphie, les organismes présents, l'aspect du sédiment... De la rigueur et une bonne communication parmi les membres de l'équipe scientifique et de l'équipage sont nécessaires. L'organisation du travail en système de quart sert à optimiser le temps de travail et son efficacité.

Si la mission a des objectifs ciblés, elle est néanmoins modulée par les différents aléas rencontrés. En effet, d'un point de vue scientifique cela se traduit parfois par des pertes de carottes et de carottiers, qui peuvent être également pliés et vides de sédiments. Parfois, le déclenchement du calypso ne fonctionne pas, et les études préalables ne montrent pas la présence de niveaux plus durs. La mission se plie également aux réalités de la vie en mer. Il y a par exemple des problèmes techniques comme des avaries machines ou une mauvaise résistance dans les câbles. D'autre part, les conditions météorologiques ne permettent pas toujours les manipulations.

Malgré cela, chacun s'investit au maximum pour faire en sorte que tout se passe au mieux durant la mission. En dépit du coût de celle-ci, elle reste un investissement judicieux car du matériel unique en son genre a pu être remonté. Il subira des études approfondies dans les différents laboratoires de recherche. Ainsi, il est attendu une meilleure compréhension des variations climatiques comme la mousson, et cela à grande échelle de temps.

Le principe de l'université flottante permettant d'embarquer de nombreux étudiants est avant tout une grande aventure humaine et professionnelle. L'expérience des missions à bord du Marion Dufresne s'inscrit dans la continuité des projets professionnels des étudiants de l'université flottante. La vie en communauté, l'apprentissage d'un point de vue technique donne à l'université flottante son caractère unique.