



Institut de recherche
pour le développement

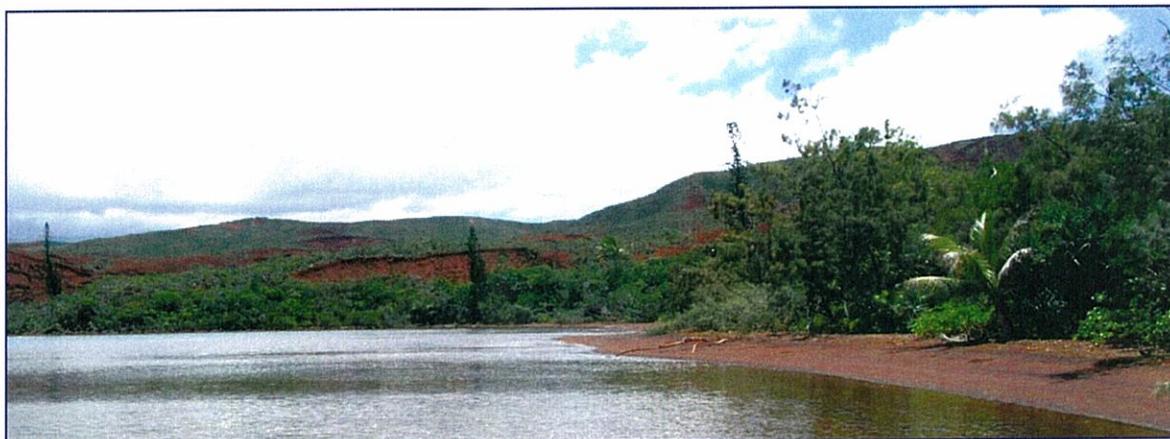


EXEMPLAIRE NOUMEA

CONTRAT DE CONSULTANCE IRD/GORO-NI

Convention n° 1230

**ETAT DE REFERENCE : DISTRIBUTION SUPERFICIELLE DES
SEDIMENTS, FLUX SEDIMENTAIRES ET TAUX D'ACCUMULATION DANS
LA BAIE DU PRONY (RADES NORD ET NORD-EST) ET DANS LA BAIE
KWE**



Rapport final
IRD-Nouméa, 10/09/07

Fernandez JM
Chevillon Ch, Dolbecq M, Legendre R, Belhandouz A, Lamoureux JP

UR-103 CAMELIA, IRD-Nouméa
Nouvelle-Calédonie

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
OBJECTIFS	3
METHODOLOGIE	3
Echantillonnage et conditionnement	3
Sédiments de surface	3
Extraction de carottes sédimentaires	6
Collecte des matières en suspension par piège à sédiments	7
Granulométrie laser	8
Principe de la mesure	9
Protocole	9
Classification acoustique	10
Système de discrimination acoustique des fonds	10
Performances du système de discrimination	10
Classification des fonds	12
Géochronologie	12
Météorologie	13
RESULTATS	14
Classification des fonds	14
Discrimination acoustique des sédiments	14
Etude sédimentologique	18
Interprétation	22
Evaluation des flux sédimentaires	23
Pluviométrie	23
Flux de particules en Rade Nord	24
Flux de particules en Rade Nord-Est	24
Flux de particules en Baie Kwé	25
Flux de particules dans le Canal de la Havannah	26
Interprétation	26
Evaluation des taux de sédimentation	27
Carotte PR-1	28
Carotte PR-2	29
Carotte KW-1	31
Interprétation	32
CONCLUSION	33
BIBLIOGRAPHIE	35
LISTE DES FIGURES	36
LISTE DES TABLEAUX	38
LISTE DES ANNEXES	39

INTRODUCTION

Ce document regroupe les résultats des études conduites dans le cadre de la définition de l'Etat de Référence Sédimentologique de la Baie du Prony (Rade du Nord, Rade du Nord-Est) et de la Baie Kwe du lagon sud de Nouvelle-Calédonie. Ces études font suite à une demande exprimée par la Société Goro-Ni dans le cadre des arrêtés d'autorisation d'exploitation minière et de traitement du minerai latéritique

L'arrêté ICPE contraint à conduire les études en particulier dans le secteur de la Baie du Prony où auront lieu les activités portuaires (Rades du Nord et du Nord-Est) et la Baie Kwe dont le bassin versant est directement connecté à la zone d'extraction minière des latérites.

OBJECTIFS

Dans les deux zones décrites (Figure 1), les objectifs sont :

- La cartographie sédimentaire des fonds des Rades Nord et Nord-Est (Baie du Prony) et de la Baie Kwé notamment en termes de composition pélotique, c'est-à-dire de particules fines de moins de 40µm de diamètre. Deux approches complémentaires, l'une faisant appel à la prospection acoustique (AGDS), l'autre à la sédimentologie classique ont été comparées en Baie du Prony;
- Le calcul des flux en matière particulaire en suspension qui alimente actuellement chacun des deux systèmes, cette évaluation étant réalisée pour chacune des deux saisons sèche et humide, par piégeage séquentiel des particules ;
- L'estimation de l'évolution historique des taux d'accumulation de particules qui permet remonter la chronologie des événements sédimentaires sur la dernière centaine d'années par datation au ²¹⁰Pb.

Cette étude sédimentologique constituera la base de référence pour la surveillance de l'impact industriel dans l'environnement, tant en Baie du Prony qu'en Baie Kwe.

Ce document présente les résultats détaillés de l'Etat de Référence sur les deux zones d'études.

METHODOLOGIE

Echantillonnage et conditionnement

Sédiments de surface

La collecte de sédiments superficiels pour la détermination des caractéristiques sédimentologiques a été réalisée dans les Baies du Prony et de Kwé (Figure 1 et 2), à bord du N/O CORIS de l'IRD.

Deux campagnes ont été nécessaires pour collecter les données:

- Campagne du 14 au 16 février 2007 : Les sédiments superficiels ont été prélevés dans 47 stations situées sur les Rades Nord et Nord-Est de Baie du Prony ainsi qu'en Baie Kwé.
- Campagne du 26 avril 2007 : Le prélèvement des sédiments superficiels a été réalisé sur 8 stations situées dans la Rade Nord afin de préciser certains secteurs.

Le positionnement des stations a été effectué par GPS (Global Positioning System) et rapporté au référentiel universel WGS 84, les coordonnées sont groupées dans le Tableau 1.

La collecte de sédiment a été effectuée avec une benne de type Van Veen en acier inoxydable de nuance 316 L. Les échantillons ont été conditionnés dans des sachets en vinyle à usage unique (Whirl-Pack) référencés. Les sédiments ont été conservés à 4°C, puis de retour au laboratoire, congelés et lyophilisés.

Tableau 1 : Coordonnées des stations de prélèvement des sédiments dans les Baie du Prony et de Kwé pour les missions de février et d'avril 2007. Les coordonnées sont exprimées en fraction de degrés.

Prony-Mission de Février			Prony-Mission de Février		
Station	Longitude Est	Latitude Sud	Station	Longitude Est	Latitude Sud
G18	166,886078	22,354145	G50	166,870229	22,333108
G19	166,897678	22,366348	G51	166,873188	22,335593
G20	166,895897	22,364671	G52	166,870598	22,338719
G21	166,890995	22,363370	G64	166,873801	22,334917
G22	166,885776	22,361690	G65	166,872844	22,334868
G23	166,884892	22,365607	G66	166,871237	22,336138
G24	166,880453	22,369949	G67	166,873537	22,336728
G25	166,878114	22,376271	G68	166,871869	22,338187
G26	166,871532	22,371634	G69	166,870087	22,337773
G27	166,872855	22,366536			
G28	166,878309	22,361521	Prony-Mission Avril		
G29	166,881804	22,358431	Station	Longitude E	Latitude S
G30	166,886429	22,358829	G71	166,866570	22,352753
G31	166,892925	22,359459	G72	166,867636	22,350029
G32	166,880466	22,352270	G73	166,880872	22,349241
G33	166,876561	22,357604	G74	166,881625	22,349228
G34	166,870122	22,360470	G75	166,875754	22,345386
G35	166,864782	22,367824	G76	166,871354	22,343369
G36	166,855789	22,362657	G77	166,864388	22,346334
G37	166,850542	22,358042	G78	166,861168	22,340890
G38	166,861158	22,359484			
G39	166,863492	22,355013	Kwé et Havannah-Mission Février		
G41	166,870940	22,353656	Station	Longitude E	Latitude S
G42	166,873274	22,350040	K2	166,982750	22,352033
G43	166,869751	22,347140	K3	166,982583	22,350233
G44	166,867265	22,343536	K4	166,982000	22,347900
G45	166,865632	22,337883	K5	166,981067	22,346667
G46	166,860648	22,337317	K6	166,979867	22,344917
G47	166,860812	22,333167	K7	166,980883	22,343400
G48	166,859801	22,328565	T4B	166,998000	22,360547
G49	166,870839	22,327002	T4C	166,979818	22,373426

Les pélites (particules < 40 µm) des dépôts de surface ont été séparées par tamisage à partir de 25 à 30 g de sédiment brut, homogénéisé dans 100 ml d'eau ultra-pure (milli-Q, 18,6 MΩ). Après une agitation mécanique d'au moins 4 heures, la solution de particules a ensuite été tamisée à 40 µm par lavage à l'eau ultra-pure. Chacune des deux fractions (>40µm et <40µm) est séchée à l'étuve à 40°C puis pesée.

Figure 1 : Carte de localisation des stations de carottage des sédiments et de mouillage des pièges à sédiments (en rouge) en Baie du Prony et en Baie Kwé. Les stations figurant en vert sont des points complémentaires, hors contrat)

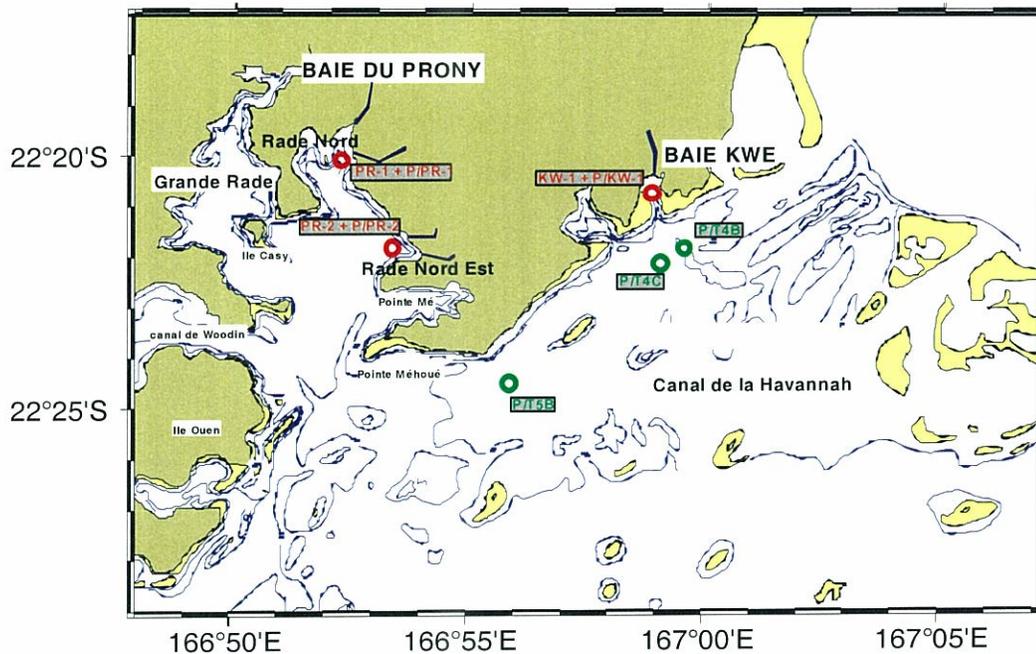
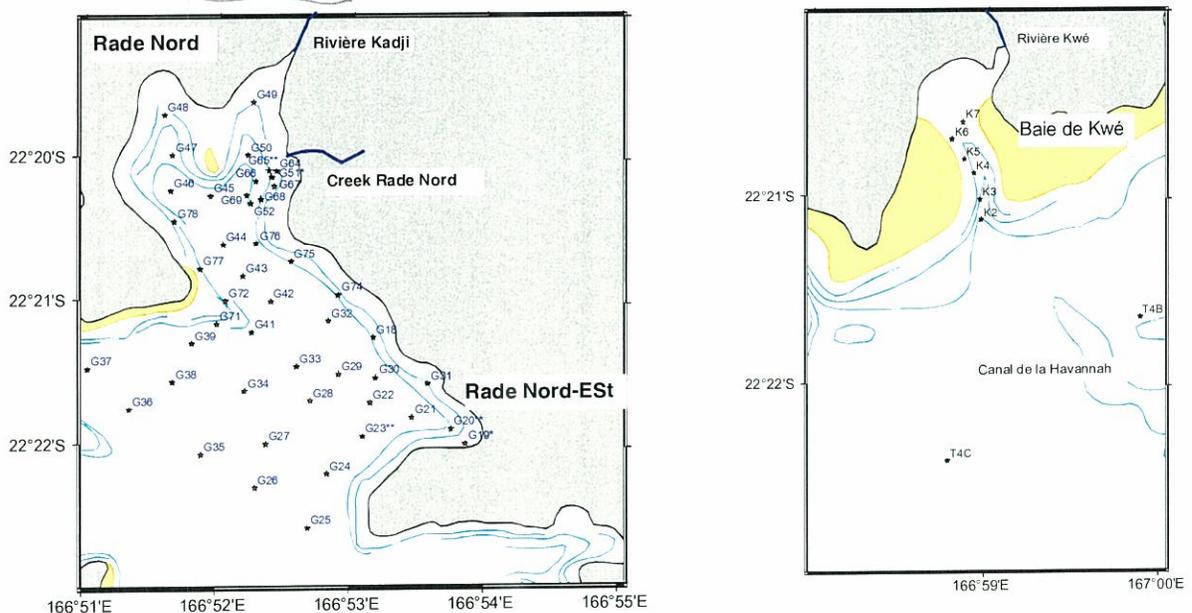


Figure 2 : Localisation des stations de prélèvement des sédiments de surface en Rades Nord et Nord-Est (Baie du Prony), en Baie Kwé et dans le Canal de la Havannah.



Extraction de carottes sédimentaires

Trois carottes sédimentaires ont été extraites puis échantillonnées pour la détermination des taux de sédimentation dans les Rades Nord et Nord-Est (Baie du Prony) et en Baie Kwé (Figure 3). Les coordonnées des points de carottage figurent dans le tableau 2.

La campagne de prélèvement a été effectuée avec le N/O DARMAD du Territoire de Nouvelle Calédonie. Les opérations de carottage ont nécessité l'utilisation d'un carottier conçu pour les faibles profondeurs (<40 m) afin que la mise en œuvre puisse s'effectuer en scaphandre autonome.

Long de 1m pour un diamètre externe de 25 cm, le carottier est formé de deux demi-coques en PVC haute densité.

Le carottier a été enfoncé manuellement dans le sédiment à l'aide d'une masse puis obturé hermétiquement aux deux extrémités. Le carottier a ensuite été dégagé du sédiment puis une fois à bord il a été transporté verticalement jusqu'au laboratoire, où il a été ouvert horizontalement en désolidarisant les deux demi-coques.

Le tableau 2 regroupe les principales caractéristiques des carottes PR-1, PR-2 et KW-1. Ces carottes ont été découpées en horizons d'une épaisseur égale à 2 cm, directement à bord du N/O DARMAD. Respectivement, 24, 24 et 22 niveaux ont ainsi été échantillonnés.

Une prise d'essai d'un volume de 10 ml exactement de sédiment a été effectuée dans chaque tranche pour la détermination des densités sèches et humides et de la porosité des sédiments après séchage à 110°C.

Les couches bi-centimétriques ont ensuite été conditionnées dans des sachets vinyles à usage unique (Whirl-Pack). Les sédiments ont été conservés à 4°C, puis de retour au laboratoire, congelés et lyophilisés.

Pour la métrologie nucléaire du ^{210}Pb , le sédiment est simplement séché à 40°C puis finement broyé afin de le conditionner de manière homogène dans des géométries de comptage adéquates d'un volume de 75 ml.

Tableau 2 : Positionnement des points de carottages effectués par plongeur et des lignes de mouillages (pièges à sédiments) installées dans les sites des Rades Nord et Nord-Est ainsi qu'en Baie Kwé. Les coordonnées sont exprimées en fraction de degrés.

Lieu	Référence carotte	Référence piège	Date	Longitude Est	Latitude Sud	Longueur (m)	Profondeur (m)
Rade Nord	PR-1	P/PR-1	17/10/06	166,872617	22,335233	0,48	28,1
Rade Nord-Est	PR-2	P/PR-2	17/10/06	166,895717	22,365583	0,48	24,0
Baie Kwé	KW-1	P/KW-1	18/10/06	166,982400	22,348667	0,44	18,2



Figure 3 : Carottes sédimentaires PR-1, PR-2 et KW-1 extraites du carottier pour le découpage en tranches bi-centimétrique à des fins de datation par la méthode du ^{210}Pb .

Collecte des matières en suspension par piège à sédiments

L'emploi des pièges à particules séquentiels (Figure 4) permet un suivi temporel des flux particulaires dans un secteur où les facteurs météorologiques (vent et surtout précipitations) jouent un rôle prépondérant sur le transport des MES.

Trois pièges à particules séquentiels (Technicap, Modèle PPS 4/3) ont été immergés dans le lagon sud de Nouvelle-Calédonie (Baie du Prony, Canal de la Havannah) respectivement placés, au pied du talus prodeltaïque du Creek de la Rade Nord (P/PR-1), au centre de la Rade Nord-Est (P/PR-2) et dans le canyon de la Baie Kwé (P/KW-1) (figure 1). Chaque piège à sédiment, d'une section de $0,05 \text{ m}^2$, permet d'échantillonner les particules qui sédimentent sur un cycle programmé de 48h. Un carrousel électroniquement asservi permet de présenter successivement 12 godets devant le collecteur du piège.

Les trois pièges ont été posés successivement :

- En saison sèche du 18 octobre au 12 novembre 2006 ;
- En saison humide du 15 mars au 11 avril 2007, avec le N/O DARMAD.

La configuration cylindro-conique des pièges permet la récolte des agrégats particulaires en sédimentation dans la colonne d'eau dans des godets en polypropylène (250 ml) qui équipent le carrousel. Les godets, avant immersion des pièges, ont été remplis d'une solution de formaldéhyde à 5% afin de préserver au maximum les particules collectées (Heussner *et al.*, 1989). Cette solution est un biocide efficace qui permet à faibles concentrations une excellente préservation des composés organiques qui peuvent se dégrader dans les godets. Lors de la récupération des échantillons, les godets ont été fermés hermétiquement et directement placés au réfrigérateur à $2-4^\circ\text{C}$ jusqu'à analyse ultérieure.

L'élimination des organismes planctoniques « actifs » (swimmers) et des débris divers a été réalisée par tamisage à $40 \mu\text{m}$ suivant une procédure par voie humide.

Les échantillons de matière en suspension ont ensuite été centrifugés et abondamment rincés à l'eau ultra-pure milli-Q, afin d'éliminer au maximum le sel marin et la solution de formaldéhyde 5%. Afin de ne prendre en compte que la masse des particules strictement minérales, les sédiments ont été attaqués avec une solution de peroxyde d'hydrogène à 30% et exposés à une sonification par ultrasons pendant quelques minutes. Cette opération destinée à l'élimination de la matière organique, a été renouvelée jusqu'à disparition de l'effervescence dans l'échantillon. Le matériel particulaire a ensuite été séché à l'étuve à 60°C pendant 72

heures puis pesé pour la détermination des flux de masse minérale. Pour certains échantillons une évaluation de la masse de carbonates dans les suspensions collectées a été réalisée pour ne comptabiliser que la fraction strictement terrigène. Les masses de carbonates ont été déterminées par pesée avant et après attaque chimique des particules avec un tampon acide acétique/acétate de Na à pH=5.

Les flux verticaux ont été estimés à partir des masses de matériel ainsi conditionné et ont été calculés en fonction de la surface des pièges et du nombre de jours de collecte par godet, selon l'expression :

$$\text{Flux (mg/m}^2\text{/j)} = \text{Masse (mg)} / (\text{Surface ouverture (m}^2\text{)} * \text{Temps collecte (j) par godets})$$



Figure 4 : Pièges à sédiments déployés en Rade Nord, Rade Nord-Est et Baie Kwé pour la détermination des flux de matières minérale et terrigène exportées.

Remarque : Une étude complémentaire, hors contrat de consultance, a été conduite dans le Canal de la Havannah pour déterminer les quantités de matière particulaire qui transitent entre la Passe de la Havannah et le Cap N'Doua. Trois pièges, T4B, T4C et T5B (Figure 1), ont été mouillés par des profondeurs respectivement de 62 m, 38 m et 39 m, avec le N/O ALIS de l'IRD. Cette campagne a été programmée sur un mois et demi (31/01/07 - 08/03/07, pendant la mission ECHOLAG. Les pièges T4B et T4C ont été placés de telle sorte à encadrer la position du futur émissaire, le troisième piège (T5B) étant pris comme référence.

Granulométrie laser

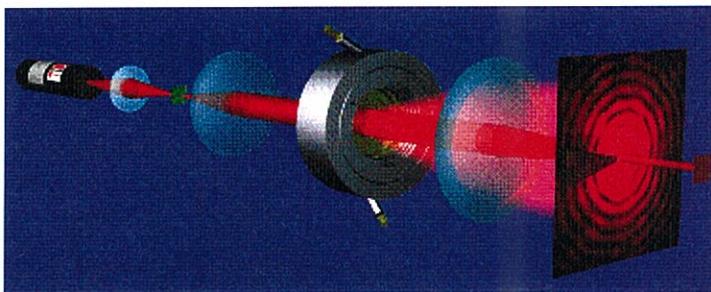
Cette technique permet de connaître la distribution granulométrique des particules d'un sédiment, c'est à dire de déterminer la taille des particules qui constituent des ensembles de grains ainsi que la quantité de particules à l'intérieur de plusieurs classes de tailles. La taille des particules est une caractéristique fondamentale qui affecte leur capacité à la mise en suspension, leur transport, leur dépôt et enfin leurs propriétés chimiques.

Principe de la mesure

Ce type de mesure est basé sur la diffraction d'un faisceau laser par des particules selon la théorie de Mie.

Les particules présentes dans un faisceau laser parallèle diffractent la lumière selon des angles fixes en fonction du diamètre de ces particules (figure 5). Une lentille convergente restitue l'image du faisceau diffracté en forme d'anneaux sur un détecteur dans le plan focal. L'intensité de la lumière varie selon la nature des particules traversées, la lumière non diffractée (transmise) est toujours focalisée dans le foyer sur l'axe optique et peut être mesurée.

Un traitement mathématique complexe permet de calculer la distribution en tailles des particules à partir des intensités de la lumière diffractée aux différents endroits du motif de diffraction. Le résultat du calcul donne un diamètre de particule équivalent à celui d'une sphère qui diffracterait la lumière selon le même spectre. Le calcul donne un diamètre moyen et la distribution en tailles des particules est exprimée sous forme de distribution en volumes.



Mise en évidence
des différents
anneaux de

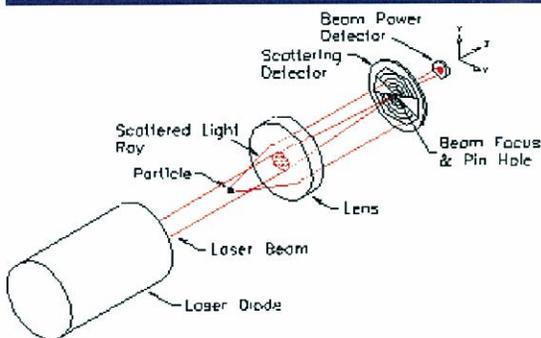


Figure 5 : Schémas du système interne du granulomètre laser.

L'appareil utilisé est un granulomètre de marque SEQUOIA (Model LISST 100X). Il se caractérise par un détecteur qui trie les signaux en 32 raies différentes correspondant à 32 classes granulométriques normalisées comme celles des tamis de granulométrie classique.

Protocole

Les sédiments secs sont émottés et une petite fraction, environ 100 mg, sont placés dans la cuve à ultrasons du circuit pour dissociation des particules à l'aide d'un défloculant (Pyrophosphate-Na).

L'acquisition des données granulométriques est alors lancée et les résultats sont fournis sous la forme de graphiques.

Classification acoustique

Système de discrimination acoustique des fonds

Le traitement numérique des échos multiples reçus par les sondeurs bathymétriques permet de déterminer la nature du sédiment sur lequel l'onde incidente s'est réfléchi. Un transducteur reçoit un 1^{er} signal (E1) issu de la 1^{ère} réflexion sur le fond et un second (E2) qui résulte de la succession de trois réflexions de l'onde, d'abord sur le fond puis sous la surface de l'océan avant d'être réfléchi une dernière fois. Les informations fournies correspondent à des coefficients de rugosité (E1) et de dureté (E2) qui, après calibrage, peuvent être traduites en nature de sédiments ou d'habitats. E1 et E2 sont exprimés en volts, tandis que la profondeur est exprimée en millisecondes. C'est ce principe qui permet la discrimination acoustique des fonds.

Le système complet de discrimination embarqué est un AGDS ou Acoustic Ground Discrimination System. Ce dispositif comprend un classificateur (modèle RoxAnn, marque SonaVision Ltd), un GPS, un écho-sondeur et son transducteur, l'ensemble étant géré un logiciel (RoxMap) qui permet l'acquisition, le traitement et la représentation des données (Figure 6 et 7).

Ce type de dispositif été embarqué à bord du N/O CORIS pour une campagne de prospection du 17 au 18 octobre 2006. Seules les Rades Nord et Nord-Est ont été explorées, la surface réduite et la bathymétrie accidentée combinées à l'état de mer à l'entrée de la Baie Kwé n'ont pas permis d'évoluer normalement avec une embarcation de cette taille.

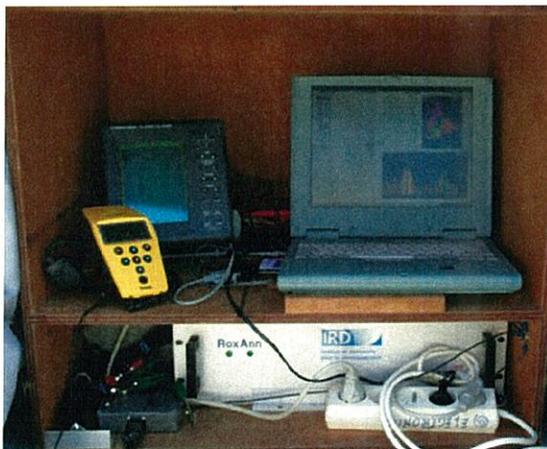


Figure 6 : Eléments constitutifs du système de discrimination des sédiments (GPS, sondeur, micro-ordinateur et boîtier classificateur RoxAnn®).

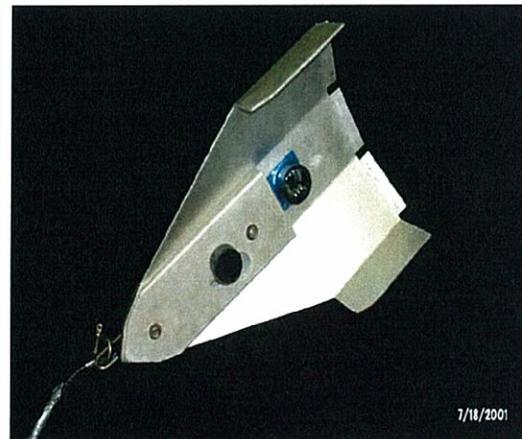


Figure 7 : Vue de la paravane remorquée avec le transducteur au 1^{er} plan.

Performances du système de discrimination

Le transducteur, qui est caractérisé par sa fréquence de transmission de 200 kHz, a permis d'émettre avec un angle de faisceau d'environ 10° qui couvre 17% de la profondeur (soit un disque de 2,5 m de Ø pour des fonds de 15 m ou de 5 m de Ø pour des fonds de 30 m) (Figure 8).

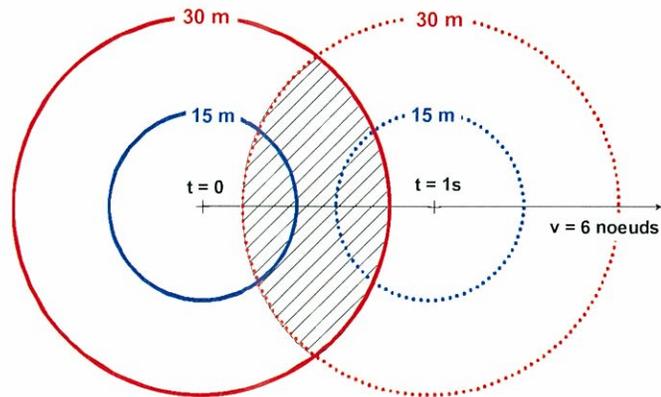


Figure 8 : Empreinte théorique du faisceau sur le fond pour des profondeurs de 15 et 30m. A une vitesse de déplacement de 3 m/s (6 noeuds) et une fréquence d'acquisition de 1 Hz, les empreintes se recoupent pour les fonds de 30 m seulement.

Avec la progression du navire, l'information qui est fournie simultanément et en temps réel comprend : le tracé de la route, un profil bathymétrique précis et les couples de valeurs (E1, E2). Ces derniers sont représentés dans un diagramme bivarié (« RoxAnn Square ») qui fixe E2 en abscisse et E1 en ordonnée ; les variations de couleurs correspondant aux types de fonds traversés (Figure 9).

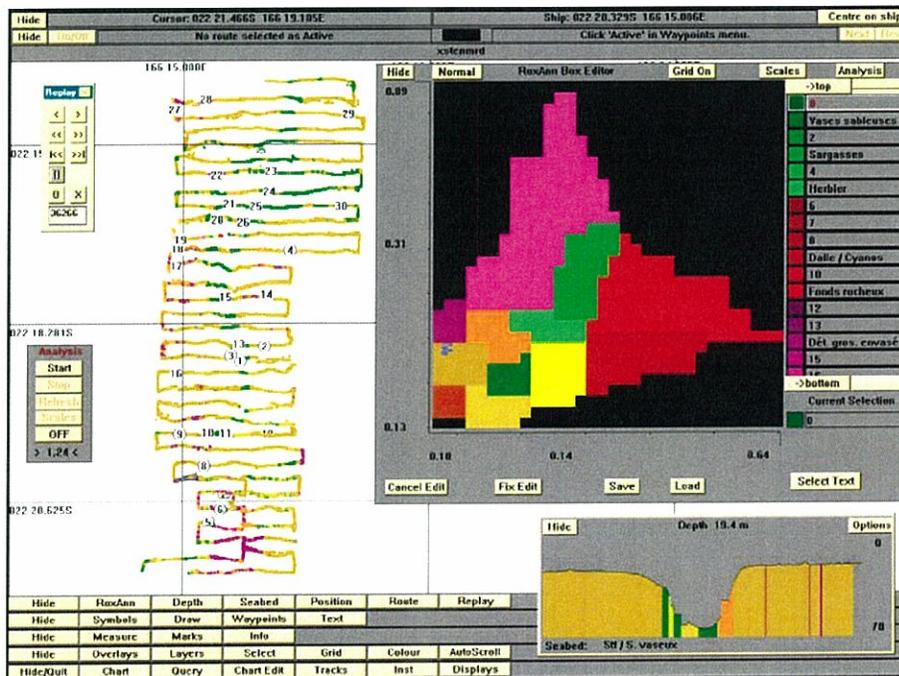


Figure 9 : Exemple d'écran « RoxMap » avec le tracé de la route, le profil bathymétrique et le diagramme bivarié dont l'affichage s'effectue en temps réel.

Les données brutes ont subi un post-traitement au laboratoire afin d'éliminer toutes les données suspectes, directement sous RoxMap en rejouant les séries de données ou bien sous Excel

(Microsoft) grâce aux fonctions de tri des données qui permet de localiser les valeurs aberrantes.

Classification des fonds

Les données post-traitées ont été rejouées et lorsque la signature acoustique est apparue homogène dans le diagramme bivariée, une classe a été définie en délimitant la zone de réponse et en lui attribuant une couleur donnée. L'opération est répétées pour toutes les zones homogènes et les limites de classes ont été précisées et affinées au fur et à mesure.

La caractérisation et la validation de ces classes acoustiques d'un point de vue sédimentaire (type de sédiment, granulométrie) ou habitats (biotopes) passe par une phase incontournable de vérité terrain. Cette phase a été conduite, d'une part à travers des observations *in situ* en plongée libre ou plongée autonome et d'autre part à l'aide de prélèvements de sédiment à la benne Van-Veen pour analyses au laboratoire.

Les échantillons ont été traités selon les méthodes sédimentologiques classiques utilisées et décrites par Buchanan (1984). Le protocole est le suivant :

- Séchage des échantillons à l'étuve à 60°C pendant 3 jours et pesées des masses brutes ;
- Séparation des fractions inférieures à 63 µm (limons & argiles ou fraction fine ou vase) par tamisage humide ;
- Séchage des refus, c'est à dire les sables et les graviers, et détermination des masses ;
- Granulométrie des refus sur une colonne vibrante constituée des tamis de diamètres suivants : -4.32, -4, -3.32, -3, -2.32, -2, -1.32, -1, 0, 1, 2, 3 et 4 φ (mailles phi).

Les 13 refus de tamis obtenus ont été exprimés en pourcentage du poids de l'échantillon brut initial.

Les données permettent de déterminer le groupe textural (% graviers vs ratio sable : vase, dans un diagramme triangulaire) selon la classification texturale de Folk (1954) et l'échelle des classes de taille de Wentworth (1922). Les courbes cumulatives semi-logarithmiques de distribution de tailles des grains permettent, le cas échéant, de calculer les indices classiques, comme la taille moyenne (Mz), le triage (σ_i), le skewness (Ski) et le kurtosis (Kg). La teneur en carbonates est analysée par calcimétrie (Bonneau & Souchier, 1979) sur la fraction <63 µm ou par attaque au tampon acétique à pH=5.

Géochronologie

La datation des horizons sédimentaires nécessaire à l'évaluation des taux d'accumulation, a été obtenue par l'analyse de la radioactivité d'un radioisotope, le ^{210}Pb , naturellement présent dans les sédiments. La technique consiste à déterminer :

- le ^{210}Pb « atmosphérique », dit « en excès » qui provient indirectement de la désintégration du ^{222}Rn , descendant gazeux du ^{226}Ra contenu dans les roches qui se dégage dans l'atmosphère. Intégré aux aérosols, en quantités importantes selon un flux supposé constant (Goldberg, 1963), le ^{210}Pb est d'abord entraînés

par les pluies, puis transporté par les rivières jusqu'à la mer, où il va sédimenter avec les particules.

- le ^{210}Pb « supporté » qui apparaît au sein même de la roche (ou du sédiment) et ne subit donc pas le cycle atmosphérique. Son apport aux sédiments découle de l'érosion des sols et de son transport fluvial vers le bassin de sédimentation.

Le ^{210}Pb constitue un excellent outil permettant la datation des carottes sédimentaires sur une échelle de temps de l'ordre de 100 ans. Cependant, certaines conditions du milieu sont nécessaires pour obtenir une bonne datation (He & Walling, 1996 ; Valette-Silver, 1993).

Dans les couches sédimentaires, la radioactivité du ^{210}Pb d'origine atmosphérique décroît de manière exponentielle en fonction du temps à un taux fixé par sa période de demi-vie ($T_{1/2} = 22,26$ ans). A une profondeur donnée sous l'interface eau-sédiment, la radioactivité du ^{210}Pb dépend donc de la durée écoulée depuis sa déposition et du taux d'accumulation. La radioactivité propre du ^{210}Pb en excès est calculée en soustrayant à la radioactivité totale du ^{210}Pb celle du ^{210}Pb « supporté », mesurée dans les niveaux les plus profonds, où la contribution atmosphérique est négligeable.

L'âge t du sédiment A est alors obtenu selon l'équation suivante :

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{{}^{210}\text{Pb}^0}{{}^{210}\text{Pb}} \right)_A$$

Avec

$$\lambda = 3,11 \cdot 10^{-2} \text{ an}^{-1};$$

$({}^{210}\text{Pb}^0)_A$ = la radioactivité dans le niveau de surface ($h = 0$) ;

$({}^{210}\text{Pb})_A$ = la radioactivité à la profondeur h .

Le taux d'accumulation « a » ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) est alors : $a = h/t$

La radioactivité du ^{210}Pb a été déterminée par spectrométrie gamma basse énergie à 46.54 keV. La chaîne de mesures utilisée est composée d'un spectromètre ORTEC X et d'un détecteur au béryllium de 80 % de rendement.

Météorologie

Les données météorologiques considérées dans le cadre de cette étude ont été la pluviométrie quotidienne (et le vent à titre d'information).

Les données ont été fournies d'une part Météo-France, NC en ce qui concerne la station du Cap Ndoua et d'autre part par la Société Goro-Ni en ce qui concerne les 3 stations suivantes : « la pépinière (station A) », « l'usine pilote (station B) » et « la Kwé ouest (station C) ». Les données brutes, exprimées en millimètres/jour/m², sont regroupées dans les tableaux A et B de l'annexe I.

RESULTATS

Classification des fonds

Discrimination acoustique des sédiments

Données brutes et post-traitements

Ce sont près de 40 km de traces acoustiques qui ont été réalisées dans un couloir d'environ de 2 km, entre les Rades Nord et Nord-Est de la Baie du Prony, soit environ une surface de 14 km² autour de la zone portuaire.

Chaque trace a été espacée de 300 m et a permis d'explorer des profondeurs comprises entre -1,20 m et -50 m \pm 1,5 m (Profondeur du transducteur), hors corrections de marée. Ces levés acoustiques représentent quelques 77.500 données en 9.688 lignes d'enregistrements

Les traces réalisées (figures 10, 11 et 12) sont exprimées en données brutes non corrigées et représentent respectivement, la nature de la couverture sédimentologique (et des habitats) et l'information bathymétrique recueillie simultanément.

Dans un tout premier temps, les nombreux tracés de couleur verte ont permis de mettre en évidence, au centre de la structure, une très vaste couverture de sédiments fins de nature vaseuse et plus ou moins compactés ; les dépôts devenant plus fluides vers la périphérie de la Baie. Les tracés de couleurs sombres (violet à rouge) suggèrent des substrats probablement constitués de matériaux denses.

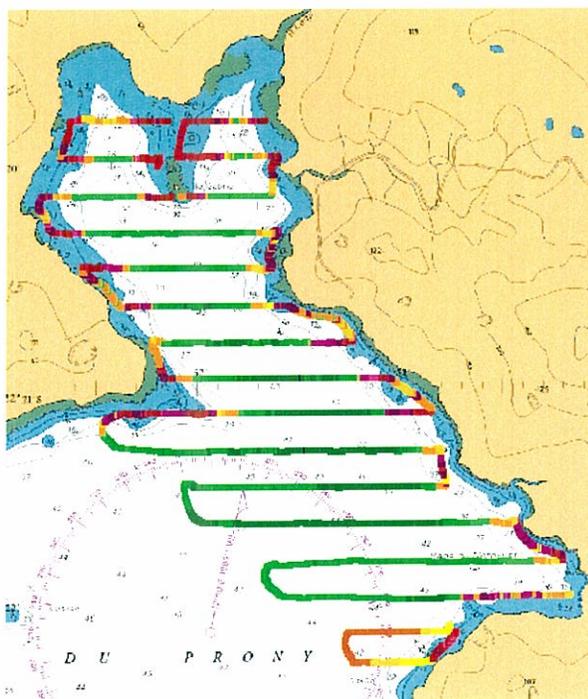


Figure 10 : Levés acoustiques réalisés en Baie du Prony (Rade du Nord-Est et Rade du Nord) avec représentation (couleurs) de l'information sédimentaire.

Une opération « vérité-terrain », par plongée, (12 et 13 juin 2007) a permis de caractériser les classes acoustiques obtenues avec la classification préliminaire le long de la côte. Des transects ont donc été effectués le long des côtes de la Baie du Prony et 7 classes ont ainsi pu être déterminées : 2, 4, 8, 9, 10, 11 et 13 ; les classes 5, 6 et 7 ayant été définies auparavant comme des vases compactes. Il manque des informations pour les classes 1, 3 et 12 mais celles-ci ont été déterminées par déduction de leur position sur le diagramme bivarié.

Au total, le diagramme bivarié final représente 13 classes acoustiques différentes (Figure 11).

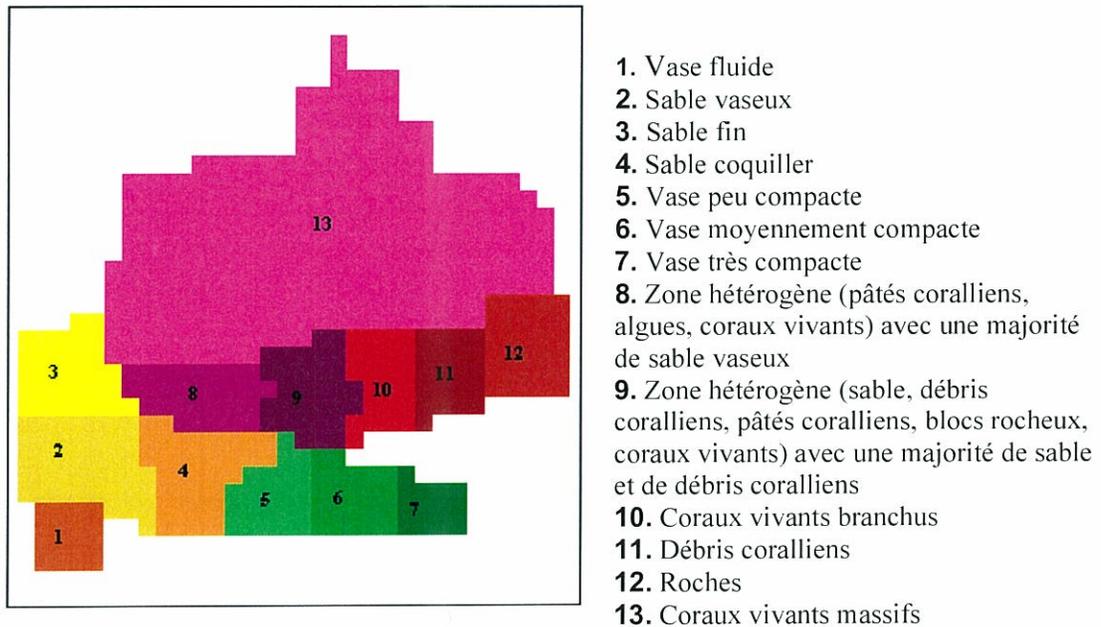


Figure 11 : Classification finale des fonds et des habitats de la baie du Prony

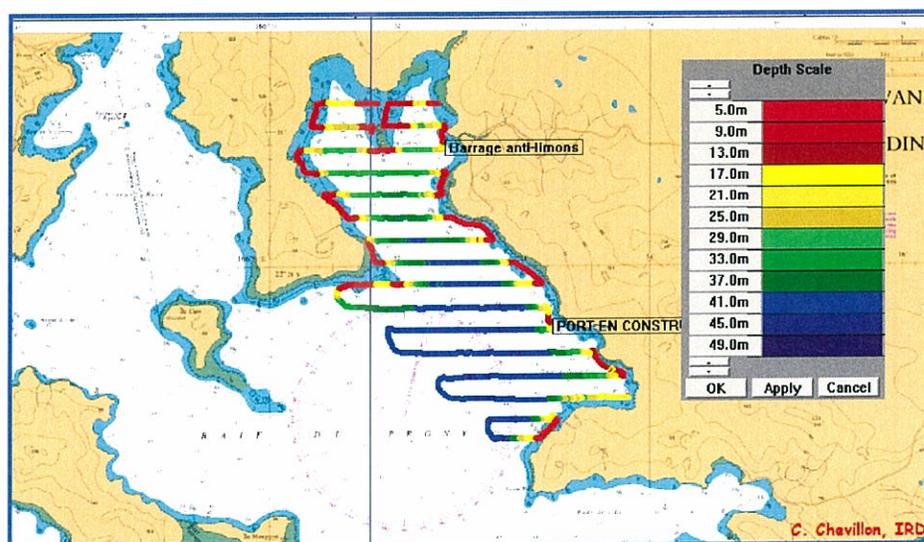


Figure 12 : Levés acoustiques réalisés en Baie du Prony (Rade du Nord-Est et Rade du Nord) avec représentation (couleurs) de l'information bathymétrique.

Le post-traitement des données de rugosité (E1) et dureté (E2) des fonds (Figures 13 et 14) a permis de fournir une première classification des habitats et des sédiments avec une attention particulière pour les zones périphériques peu profondes (<-20 m) en raison de l'hétérogénéité manifeste des substrats.

Comme on peut s'y attendre, la rugosité (Figure 13) est globalement maximale sur les zones périphériques peu profondes et minimale pour les fonds de plus de 35-40 m. Dans ces parties profondes, la rugosité diminue en direction du sud/sud-est de la zone étudiée et l'aire de rugosité minimale est localisée au large de la pointe Mé, sur des fonds de plus de 43 m.

Il est à remarquer une atténuation anormale, mais très nette, de la rugosité littorale dans la partie nord-est c'est-à-dire au droit de l'estuaire du Creek de la Rade du Nord. Ces faibles valeurs de rugosité sont probablement à relier aux apports (naturels et/ou accidentels) de matériel fin terrigène véhiculés par le Creek de Rade du Nord.

A l'inverse de la rugosité, la dureté des fonds (Figure 14) est maximale dans la zone centrale dont la profondeur est supérieure à 40 m. Elle est minimale à l'ouest de la presqu'île de la pointe Mé sur des fonds de plus de 43m. Le long des parties littorales périphériques peu profondes caractérisées par de fortes valeurs de la rugosité, la dureté est extrêmement variable. Ainsi à l'est, le long du trait de côte plusieurs aires sont caractérisables par une dureté importante, voire très importante ; elles correspondent aux secteurs nord de la Point Mé, nord-ouest de la Rade du Nord et à la périphérie de l'îlot Gabriel. Ces secteurs de forte dureté se caractérisent également par des valeurs très élevées de la rugosité.

Au voisinage du Creek de la Rade du Nord, tout comme pour la rugosité, la dureté est paradoxalement faible. Cette valeur est probablement à mettre également en relation avec les apports de cette rivière.

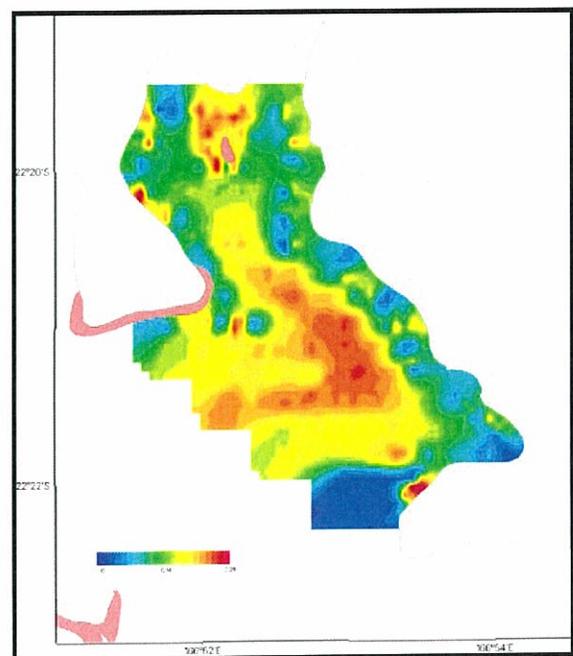
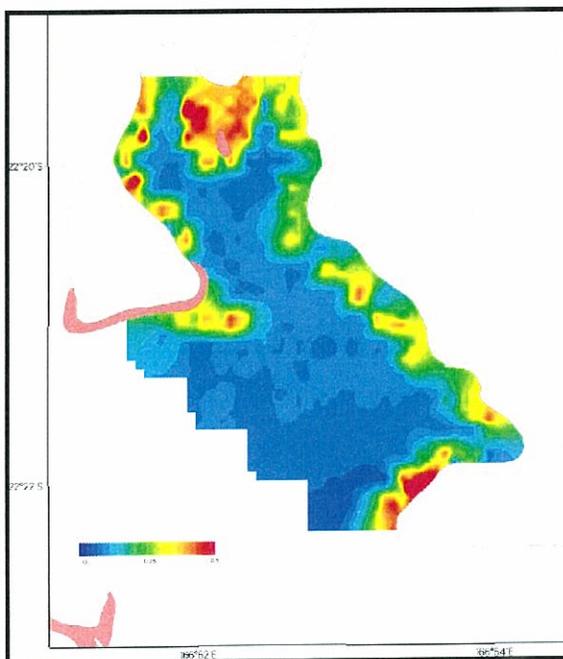


Figure 13 : Cartographie interpolée de la rugosité des fonds **Figure 14** : Cartographie interpolée de la dureté des fonds

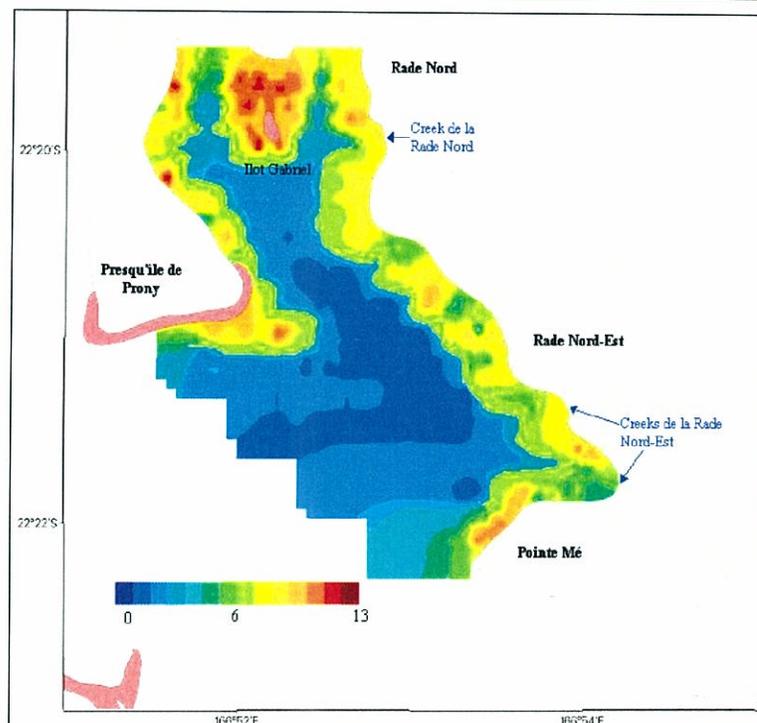
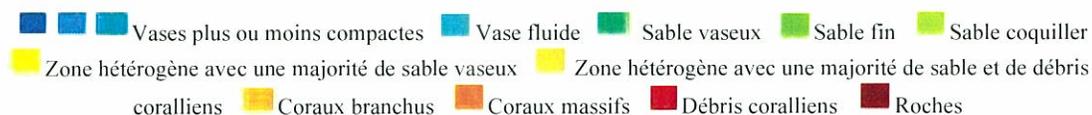
fonds en Baie du Prony (Baie du Nord et zone du port)

fonds en Baie du Prony (Baie du Nord et zone du port)

Cartographie des fonds

En ce qui concerne les faciès et les habitats, la baie du Prony est majoritairement constituée de vases compactes qui occupent une surface d'environ 6,5 km², 46% de la surface, avec une bathymétrie moyenne d'environ 35m. Ces vases deviennent de plus en plus compactes vers le sud de la Baie. En périphérie de la Baie, la nature des fonds devient plus complexe à décrire, ainsi :

- Au niveau de la Rade Nord de la Baie du Prony, le nord de l'île Gabriel, entre 0 et 20 mètres de profondeur, est essentiellement composé de coraux branchus et parsemé de quelques débris coralliens. Dans cette même zone, mais au nord-ouest de l'île et plus précisément entre 15 et 25 mètres de profondeur, une petite poche de sable vaseux constitue le fond ; les particules fines sont probablement apportées par les deux Creek : Kadji et Creek de la Rade Nord. Au droit de ce dernier, une deuxième poche vaseuse a d'ailleurs été localisée ;
- Au sud-ouest de l'île Gabriel, le long de la côte ouest de la Baie, entre 0 et 10 mètres de profondeur, le fond est hétérogène (sable vaseux, coraux, débris coralliens..) et majoritairement sablo-vaseux ;
- Au sud-est de l'île, entre 0 et 10 mètres de profondeur, le fond présente une hétérogénéité encore plus importante que précédemment puisqu'il est composé essentiellement de sable parsemé de débris coralliens, de quelques pâtés coralliens et de coraux vivants ;
- Dans la partie médiane de la baie du Prony, sur les côtes ouest et est, entre 0 et 10 mètres de profondeur, le fond est constitué de sable coquiller. A mesure que l'on s'éloigne de ces côtes, le fond devient un peu plus hétérogène mais il reste toujours dominé par la présence de sable ;
- Au sud de la presqu'île centrale, entre 0 et 20 mètres de profondeur, le fond alterne les zones de débris grossiers et les zones corail branchu ;
- Le long de la côte est de la Rade Nord Est, pour des bathymétries comprises entre 0 et 20 mètres de profondeur, le fond est composé majoritairement de sable vaseux avec des alternances de débris grossiers ;
- Enfin, au sud de la Rade du Nord Est, entre 0 et 10 mètres de profondeur, le fond est corallien de type massif au nord et branchu au sud. Plus profond, entre 10 et 20 mètres, le fond est constitué de sable fin, puis au delà de 20 mètres de profondeur, le fond est composé de vase sableuse passant à de la vase fluide.


Légende :

Figure 15 : Cartographie interpolée de la nature des fonds

Etude sédimentologique

Répartition des pélites

Les pélites sont communément définies en sédimentologie, comme étant la fraction sédimentaire inférieure à 40 μm (ou 63 μm). Compte tenu de leur faible taille, les pélites sont facilement mobilisées et transportées loin des termes sources, les grosses particules sablonneuses ou graveleuses se déposant aux abords immédiats des embouchures. La répartition des pélites, fournit donc une vision de l'intensité de l'hydrodynamisme local (et de par leurs propriétés chimiques, des zones potentielles d'accumulation des métaux).

La répartition des pélites dans les Rades du Nord et du N-E et la Baie Kwé sont données dans les figures 16 et 17 ainsi que dans les tableaux A et B (Annexe 2).

D'une façon globale, les pélites dominent largement les zones profondes de la Baie avec des valeurs généralement supérieures à 70%. La seule observation de la carte de répartition (Figure 16) permet de distinguer quatre zones :

1. Le nord de la Baie du Prony (Rade Nord) dont les sédiments contiennent jusqu'à plus de 90% de pélites, correspond à un ensemble en connexion avec les embouchures de la rivière Kadji et du Creek de la Rade Nord (CRN). Les valeurs près des embouchures des deux rivières sont moyennes, 70% près de l'embouchure de la rivière Kadji (G49) et 64% pour celle du CRN (G64) par rapport aux stations

- situées un peu plus au large. Cette zone estuarienne est peu profonde, seul le pied des talus excèdent ponctuellement les 30 m de profondeur ;
2. Une zone intermédiaire où les sédiments s'appauvrissent considérablement en pélites (valeurs les plus faibles de la zone étudiée), avec des taux compris entre 28 % et 52 %. En son centre, cette zone présente une profondeur moyenne de 40 m ;
 3. Le centre de la Baie du Prony, est caractérisé par les teneurs en pélites les plus importantes (94% à 98%). Cette région coïncide avec une vaste aire à l'intérieur de laquelle les profondeurs moyennes atteignent environ 45 mètres. De la même façon que pour la rivière Kadji ou le CRN, les stations les plus proches des embouchures des deux rivières de la Rade Nord-Est présentent des pourcentages de pélites plus faibles, respectivement 72% (G19) et 50% (G31).
 4. Vers le sud-ouest, la sortie de Baie présente une diminution des teneurs en pélites où exception faite de certains secteurs bien délimités près de la Pointe Méhoué, les profondeurs moyennes n'atteignent que rarement 45 m.

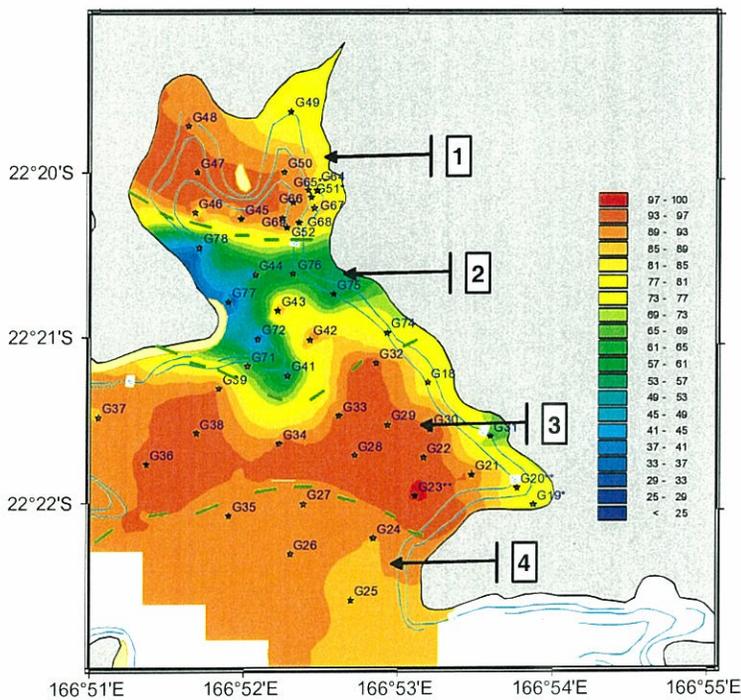


Figure 16 : Distribution des pélites (<40µm) contenues dans les sédiments superficiels en Rade Nord et Nord-Est, Baie du Prony (%).

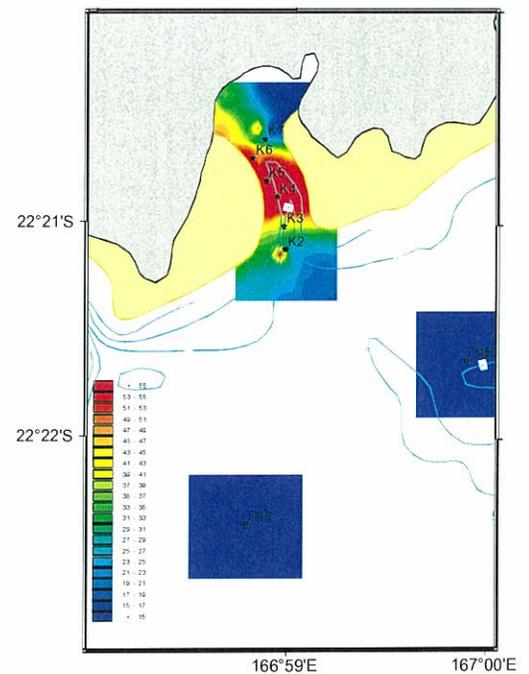


Figure 17 : Distribution des pélites (<40µm) contenues dans les sédiments superficiels dans la Baie de Kwé et le Canal de la Havannah (%).

Remarque : Les méthodes d'interpolation créent des artéfacts particulièrement visibles le long des côtes et notamment pour les bathymétries inférieures à 20 m qui n'ont pas été échantillonnées. En effet, lors des campagnes effectuées en février et avril, des observations in situ ont permis de constater ponctuellement que les zones périphériques de la côte est et de la côte nord (Îlot Gabriel) ainsi que la partie centrale de la côte ouest étaient parsemés de récifs coralliens et en débris coquilliers grossiers. La présence de pélites décrite sur les cartes au delà des isobathes des 15 m est par conséquent improbable exception faite de tous les secteurs estuariens décrits.

Ces informations viennent compléter les jeux de données fournies par des techniques de prospection acoustiques (RoxAnn) et permettent de valider la cartographie des fonds meubles notamment les plus profonds. Ailleurs, seules les données RoxAnn permettent de valider la généralisation des massifs coralliens ou d'amoncellements détritiques entre 5 et 20 m de profondeur le long du trait de côte.

En Baie de Kwé (Figure 17 et Tableaux A et B, Annexe 2), les sédiments contiennent de 38,8% de pélites près de la sortie de la Baie (K3) à 74,2% au centre du chenal (K5). Cependant, on observe en fond et en sortie de Baie Kwé des teneurs en pélites bien plus faibles, respectivement 14,9% (K7) et 22,9% (K2). Ces résultats sont en conformité avec des observations effectuées *in situ* qui témoignent de la présence d'une importante couche de matériel terrigène très fin en K5 et de la présence de graviers et sables peu vaseux en K7 et K2.

Dans le canal de la Havannah, les sédiments collectés présentent des teneurs en pélites très faibles (3%) et sont formés essentiellement de débris coquillers, de corail et de sable.

Répartition des fractions terrigènes

Une étude conduite la répartition des éléments métalliques par extraction séquentielle (Tolosa, 2007) a montré que les pélites sont constituées à plus de 70% de phase résiduelle d'origine purement terrigène près des embouchures, c'est-à-dire dans les zones d'influence des rivières (Rades du Nord et du Nord-Est). Cette proportion diminue fortement en direction du sud-ouest et du sud de la Baie du Prony (Figure 18) où les valeurs atteignent moins de 20% de la masse. L'empreinte des trois systèmes estuariens, notamment dans la Rade du Nord (rivière Kadji et CRN) est importante et leurs apports terrigènes masquent, sur une grande étendue, l'influence marine représentée par les carbonates.

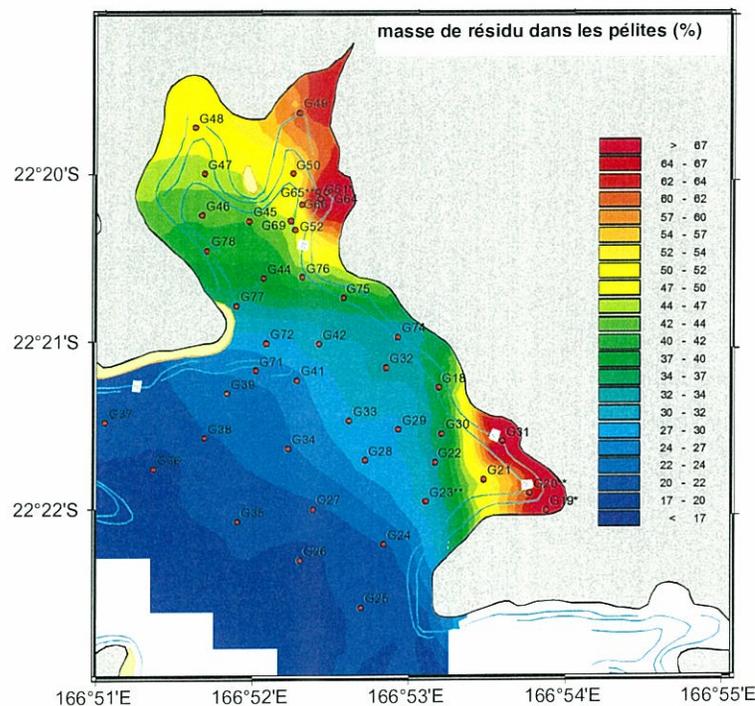


Figure 18 : Distribution de la fraction résiduelle dans les sédiments superficiels, Baie du Prony (%)

Pour la Baie Kwé, la répartition des phases résiduelles présente aussi une hausse des teneurs depuis la sortie de baie (15,7% en K2) vers le fond (63,2% en K7).

Les stations du canal de la Havannah montrent quant à elles, des valeurs inférieures à 6%, valeurs qui soulignent une influence terrigène minimale.

Répartition des carbonates

Les résultats concernant les phases carbonatée et résiduelle sont représentés dans les cartes de répartition (Figure 19 et Tableau A, Annexe 3) et sont exprimés en pourcentage de masse des pélites.

De façon globale, les teneurs en carbonate suivent un gradient croissant depuis les Rades du Nord et du Nord-Est vers le centre-sud de la Baie du Prony. Logiquement, les valeurs les plus faibles sont rencontrées près des embouchures des rivières Kadji et du CRN en Rade du Nord et des deux Creeks de la Rade du Nord-Est, avec des valeurs inférieures à 10% à l'intérieur des anses. Les teneurs les plus importantes en carbonates sont rencontrées au centre-sud de la Baie du Prony, avec un maximum de 73% en G36, loin des influences terrigènes.

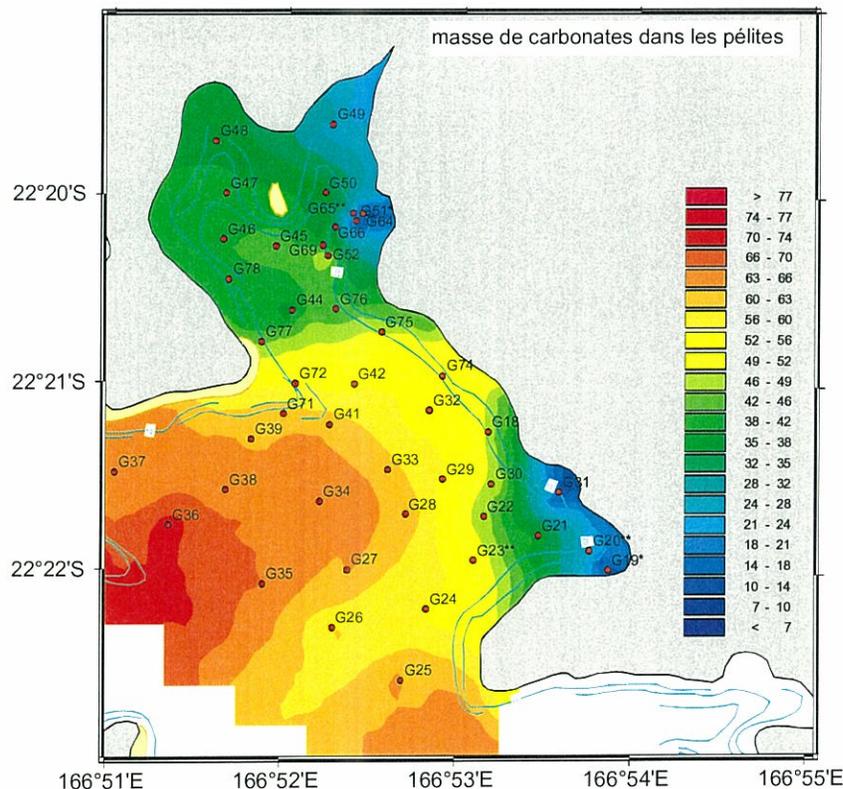


Figure 19 : Distribution de la fraction carbonatée dans les sédiments superficiels, Baie du Prony. Les résultats sont exprimés en % de carbonates dans les pélites.

En Baie de Kwé, on observe une distribution comparable, soit une diminution progressive des teneurs en carbonates depuis la sortie de la baie (68% en K2) vers le fond de la baie (20% en K7).

Les deux stations situées dans le canal de la Havannah présentent des valeurs du même ordre de grandeur que celles situées en sortie de Baie Kwé, avec 64 % pour T4B et 56 % pour T4C.

Interprétation

Notamment dans la Baie du Prony, du fait de la teneur extrêmement élevée en fraction fine (pélites) qui varie de 72,8 à 97,8% (exception faite de 3 stations), les autres fractions granulométriques (galets, granules, sables très grossiers, grossiers, moyens, fins et très fins) ne sont pas suffisamment représentées quantitativement pour qu'il soit possible d'établir de courbes de distribution des populations. Ainsi, les indices de taille moyenne (Mz), triage (σ_1), skewness (Ski) et kurtosis (Kg) n'ont pu être calculés. Par ailleurs, les courbes cumulatives semi-logarithmiques de distribution de tailles des grains sont toutes similaires, avec un mode unique dans les vases.

Baie du Prony

La présence importante de pélites dans les sédiments superficiels (environ 88 % en moyenne) suggère que l'hydrodynamisme général de la Baie est très faible et permet une bonne sédimentation des particules les plus fines. Par ailleurs, cette déposition semble se réaliser indépendamment de la profondeur. En effet, le nord et le centre de la Baie du Prony présentent toutes les deux des teneurs pélitiques supérieurs à 90% (cf. résultats) alors que les bathymétries sont respectivement de 25 m et 40 m en moyenne. Une diminution des profondeurs est souvent accompagnée d'une accélération des courants et d'une diminution conséquente de la sédimentation des particules les plus fines. Or, malgré des profondeurs plus faibles en Rade Nord, la présence d'une telle quantité de pélites montre bien que des conditions hydrodynamiques comparables à celle du centre de la Baie existent.

Cependant, l'origine des pélites qui sédimentent dans le centre et le nord de la zone étudiée est différente. En effet, les résultats concernant les teneurs en carbonates (signature marine) et en fraction résiduelle (signature terrigène) permettent de distinguer 2 sources distinctes d'alimentation de la Baie :

1. Les rivières, dont l'influence est matérialisée par des teneurs maximales en résidus terrigènes qui restent relativement localisées aux abords des embouchures. Depuis ces zones, l'exportation d'une fraction de ces particules fines vers le reste de la Baie est assurée par la courantologie locale.
2. Les entrées à caractère marin provenant du sud, matérialisées par les fortes concentrations en carbonates. En effet, en Nouvelle-Calédonie la formation de carbonates est assurée à 90% par des organismes marins tels les coraux ou bien les populations de foraminifères.

D'une façon globale, les pélites entrant dans la Baie du Prony par les différents mécanismes exposés précédemment seront ensuite véhiculées par les courants locaux. Ainsi, une fraction importante des apports pourra être transportée dans la Baie, se retrouver piégée dans les zones de plus faible intensité hydrodynamique puis enfin sédimenter ; le centre de la Baie pouvant certainement constituer une de ces aires de décantation favorable. Au-delà de cette aire de décantation, en direction des sorties est et ouest, les teneurs en fraction résiduelle dans les sédiments deviennent très faibles, et celles des carbonates augmentent démontrant ainsi l'existence d'une zone de transition vers le domaine marin du canal de la Havannah.

Baie de Kwé

Les teneurs en carbonates et fraction résiduelles se comportent de la même façon qu'en Baie du Prony et témoignent d'une diminution de l'influence marine accompagnée d'une augmentation de l'impact terrigène lorsqu'on pénètre dans la baie.

L'intensité des courants n'est pas connue à l'intérieur de cette Baie, mais la présence d'un gradient croissant de pélites depuis la sortie de la baie (K2) vers le fond suggère que les courants sont faibles. L'évolution conjointe des carbonates et des résidus souligne, de la même façon qu'en Baie du Prony, une transition progressive vers le domaine marin représenté par le Canal de la Havannah, où peu de particules fines peuvent sédimenter compte tenu de la très forte intensité du courant qui peuvent dépasser 1,5 m/s.

Evaluation des flux sédimentaires

L'ensemble des données de météorologie et de collecte des particules sont regroupées dans les annexes 1 et 4.

Pluviométrie

La figure 20 montre l'évolution des précipitations pour les 3 stations du site de Goro-Ni, à savoir : La pépinière (Station A), l'usine pilote (Station B) et la Kwé ouest (Station C). Les mesures représentées couvrent deux périodes d'environ 24 jours, l'une en saison sèche du 19/10/06 au 12/11/06 et l'autre en saisons dite humide du 16/03/07 au 09/04/07.

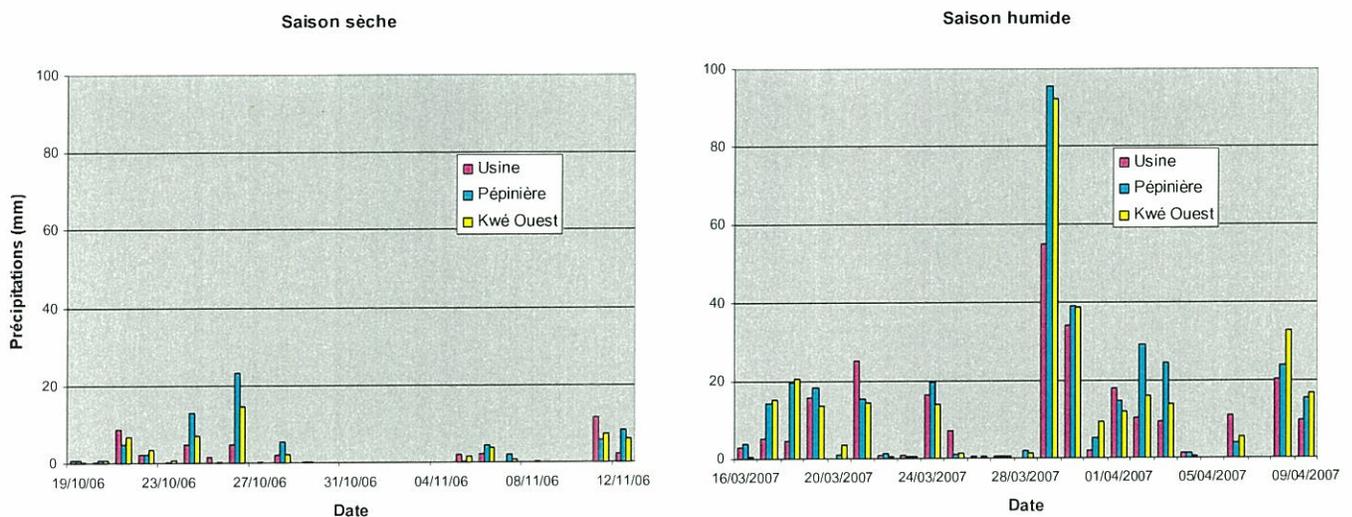


Figure 20 : Graphiques des précipitations recueillies sur les trois stations du site de Goro-Ni, la Pépinière (station A), l'usine pilote (station B) et le Kwé ouest (station C). Mesures effectuées en saisons sèche (19/10/06 au 12/11/06) et en saison humide (16/03/07 au 09/04/07).

Il apparaît clairement qu'en saison sèche, rares sont les journées de pluies qui totalisent plus de 20 mm de précipitations qui d'ailleurs tombent sous formes d'averses sporadiques. En saison humide, la lame d'eau est bien plus importante et les 20 mm sont cycliquement enregistrés un jour sur trois. Le passage des dépressions durant cette période apportent des quantités de pluies très importantes qui peuvent atteindre régulièrement les 100 mm/jour (29/03/07).

Les mesures effectuées simultanément sur les trois pluviomètres (Stations A, B, et C) montrent que d'une manière quasi systématique, la quantité d'eau recueillie sur le site de l'usine pilote est inférieure aux deux autres points de mesures ; la pluviométrie est souvent maximale à la station de la Pépinière.

Par ailleurs, une comparaison avec les précipitations mesurées à la station Météo-France du Cap N'Doua a montré que cette dernière reçoit jusqu'à environ 10 fois moins d'eau que les trois autres sites (Tableau A, Annexe 1).

Flux de particules en Rade Nord

Exception faite de quelques journées de collecte étalées sur les deux périodes de piègeage, les flux de particules mesurés à la station P/PR-1 sont du même ordre de grandeur en saison sèche et en humide avec de faibles valeurs de flux qui ne dépassent pas généralement 1,5 g/m²/j (Figure 21). En saison sèche, seule une masse supérieure à cette moyenne (2,766 g/m²/j) a été mesurée alors que durant la saison humide plus de 2 g/m²/j sont atteints à quatre reprises, voire nettement dépassée (5,035 g/m²/j) en fin de période de collecte (04/04/07).

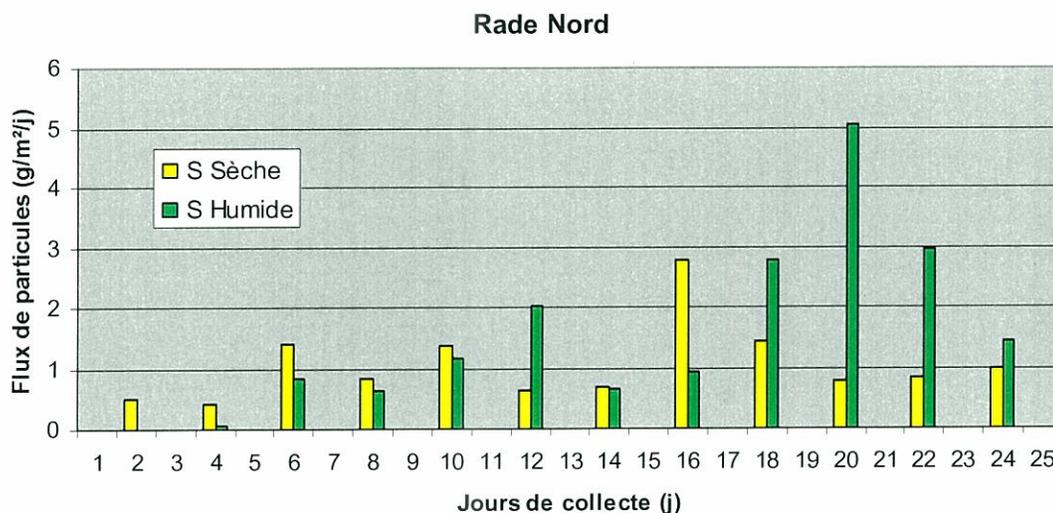


Figure 21 : Représentation graphique des flux de particules collectées en saison sèche (20/10/06 au 11/11/06) et saison humide (17/03/07 au 08/04/07) à la station P/PR-1.

Flux de particules en Rade Nord-Est

D'une manière générale les flux de particules semblent plus élevés sur le site de la Rade du Nord-Est (P/PR-2) qu'en Rade du Nord (P/PR-1). Par ailleurs, sur le site P/PR-2, la quantité de matériel collecté est plus importante durant la saison humide que pendant la saison sèche. En effet, en saison sèche, la masse moyenne mesurée est de $1,19 \pm 1,050$ g/m²/j et seulement 3 prélèvements avoisinent les 4 g/m²/j (Figure 22). En saison humide, la valeur moyenne enregistrée pour les 20 premiers jours de collecte est deux fois plus élevée puisqu'elle oscille autour de $2,360 \pm 1,134$ g/m²/j. De plus, les 4 derniers jours de collecte de cette série temporelle, sont caractérisés par des apports en matière particulaire en quantité relativement importante, respectivement 10,845 et 17,668 g/m²/j ce qui multiplie quasiment par 10 le flux moyen en saison humide.

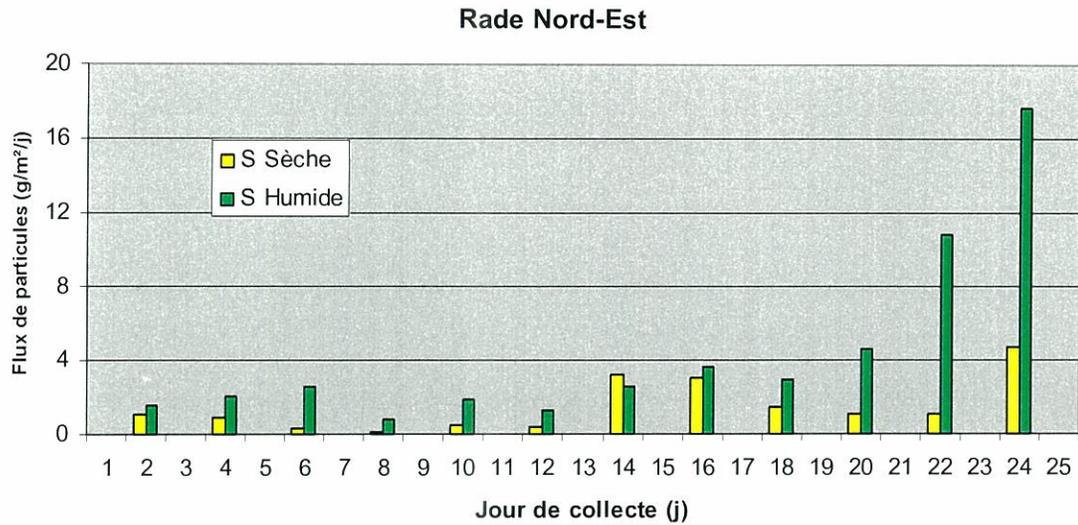


Figure 22 : Représentation graphique des flux de particules collectées en saison sèche (20/10/06 au 11/11/06) et saison humide (17/03/07 au 08/04/07) à la station P/PR-2.

Flux de particules en Baie Kwé

La Baie Kwé se différencie des deux autres unités par les valeurs de flux qui sont de 10 à 30 fois plus élevées qu'en Rade du Nord et Rade du Nord-Est (Figure 23).

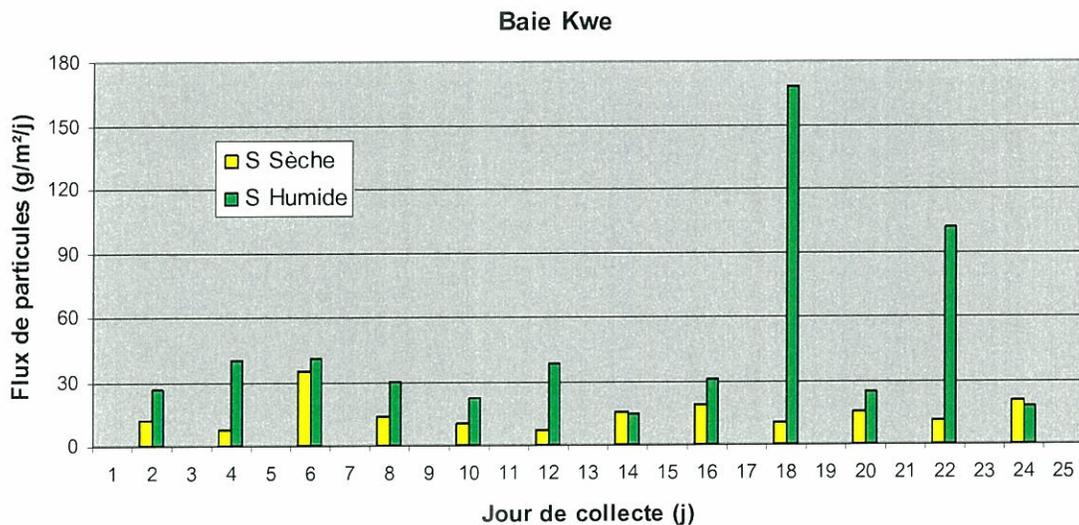


Figure 23 : Représentation graphique des flux de particules collectées en saison sèche (20/10/06 au 11/11/06) et saison humide (17/03/07 au 08/04/07) à la station P/KW-1.

Les masses collectées sont en moyenne 2 fois plus faibles en saison sèche ($12,774 \pm 4,218$ g/m²/j) qu'en saison humide ($28,298 \pm 9,196$ g/m²/j). Les valeurs de flux mesurées sont comprises entre 6,863 et 34,457 g/m²/j en saison sèche et entre 14,511 et 168,402 g/m²/j en

saison humide. La fin de collecte en saison humide est marquée par les deux valeurs maximales qui correspondent respectivement à 6 fois (prélèvement du 02/04/07) et à 3 fois (prélèvement du 06/04/07) les masses moyennes mesurées pour l'ensemble de la période.

Flux de particules dans le Canal de la Havannah

La campagne de mesures complémentaires effectuée dans le Canal de la Havannah montre que, pour les trois stations (P/T4B, P/T4C et P/T5B), les flux de matière en suspension sont très comparables d'un site à l'autre mais extrêmement variables à l'intérieur de la période de collecte (Figure 24). Les valeurs qui oscillent de 0,66 à 126,34 g/m²/j en P/T4B, de 1,52 à 93,16 g/m²/j en P/T4C et de 1,31 à 104,52 g/m²/j, présentent des valeurs maximales en milieu et fin de période de collecte, respectivement du 18 au 23/02/07 et à partir du 03/03/07.

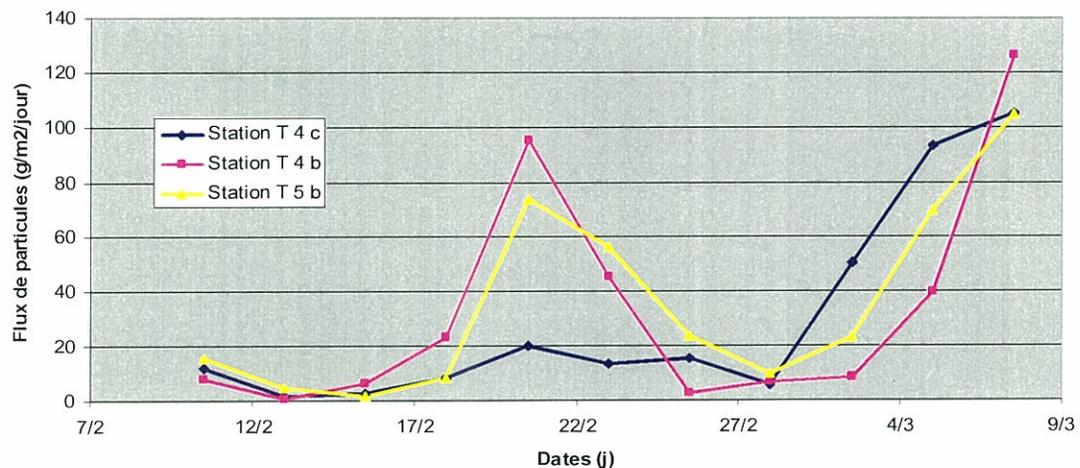


Figure 24 : Evolution comparative des flux de particules aux 3 stations du Canal de la Havannah.

Interprétation

Le croisement des données de précipitations atmosphériques et de flux de particules permet de conclure que pendant la saison sèche la matière particulaire qui sédimente est en concentration sensiblement constante quelque soit le site. Cette quantité constitue un « bruit de fond sédimentaire » et la matière particulaire qui se dépose ne semble pas pouvoir être directement reliée aux conséquences des phénomènes de lessivage des sols, c'est-à-dire aux quelques événements pluvieux de la saison sèche. Toutefois, ce « bruit de fond » est inégal selon l'unité physiographique et peut être estimé autour de 10 g/m²/j pour la station de la Baie Kwé et dix fois plus faible, entre 1 et 2 g/m²/j, pour les stations des Rades Nord et Nord-Est. Les épisodes de collecte qui dépassent ces valeurs moyennes sont à relier à des probables phénomènes de remise en suspension des sédiments en fonction notamment des régimes des vents. Ainsi, en Baie Kwé, les vents de sud sont vraisemblablement le moteur d'un mécanisme de remise en suspension qui est à l'origine des masses relativement importantes de particules qui ont été collectées le 25/10/07 (Annexe 4).

En saison humide, le niveau et l'occurrence des précipitations dictent la quantité de matière en suspension présente dans l'eau mer. Ainsi, pour les deux sites des Rades du Nord et du Nord-Est, tant que les précipitations n'excèdent pas les 20 mm/j, le flux de matière particulaire qui sédimente se maintient à des niveaux comparables à ceux de la saison sèche c'est-à-dire environ 1 à 3 g/m²/j. En dehors de ces conditions météorologiques modélées, l'augmentation des flux de matière en suspension est sans doute liée à l'action combinée des phénomènes de lixiviation des sols par les fortes pluies (> 60 mm/j, 29-30/03/07) et de l'hydrodynamique local. Les phénomènes de remise en suspension des particules sous l'action des régimes de vents sont d'intensité moindre en saison humide.

Pour la Baie Kwé, les très fortes concentrations de matière particulaire (> 150 g/m²/j) sont peut être à relier, au moins en partie, à des phénomènes différents comme par exemple le remaniement des sols qui affectent actuellement le bassin versant du Creek Kwé en raison des travaux miniers. Ces travaux de terrassement peuvent être à l'origine des flux important collectés après les épisodes pluvieux du 29-30/03/07 et du 1-3/04/07.

En ce qui concerne le Canal de la Havannah, les fortes augmentations constatées en fin de période de collecte sont à mettre en correspondance avec les quantités très importantes d'eau météoritique tombée au début du mois de mars : 185 à 363 mm/5 jours en fonction du site (3-7/03/07). Dans les trois sites, ces précipitations atmosphériques ont conditionné les flux de particules qui augmentent en réponse au lessivage des bassins versants de la Kwé, avec un léger effet retard. Cette charge particulaire semble demeurer en suspension plusieurs jours dans les eaux du Canal avant de pouvoir être évacuée et/ou sédimentée.

Les quantités de MES piégées en milieu de période de collecte (18-23/03/07) ne peuvent être reliées à des épisodes pluvieux de grande intensité comme au début mars, mais sont à envisager avec d'autres mécanismes non encore élucidés à cet instant. Cependant, la Kwé étant le seul creek significatif dans le secteur du Canal de la Havannah, on peut avancer des hypothèses de remaniement des terrains du bassin versant de la Kwé que les faibles précipitations de la mi-février ont pu tout de même lessiver. Des analyses complémentaires (métaux, carbonates) sont nécessaires pour permettre de vérifier cette hypothèse.

Evaluation des taux de sédimentation

Tracer de manière correcte les événements sédimentaires avec une relative précision nécessite de travailler avec plusieurs marqueurs radioactifs. Toutefois, il n'est pas toujours possible d'utiliser les radioéléments adéquats pour obtenir des mesures fiables. En effet, le ¹³⁷Cs est un radiotraceur d'origine artificielle dont l'utilité n'est plus à démontrer cependant, sa radioactivité n'est pas aisément mesurable dans l'hémisphère sud.

Une alternative consiste à se tourner vers des paramètres physiques et/ou géochimiques qui peuvent permettre de caractériser les événements sédimentaires pour procéder ensuite à des recoupements successifs et s'assurer de la validité des calculs de datations.

Dans cet objectif, des échantillons de chacun des horizons sédimentaires échantillonnés dans les trois carottes ont été traités pour estimer les fractions pélitiques (Particules < 40µm) ainsi que les densités humiques et sèches des dépôts, les porosités et quelques granulométries.

L'ensemble des données de métrologie nucléaire et de sédimentologie sont regroupées dans les tableaux A, B et C des Annexe 5 et 6.

Carotte PR-1

Paramètres sédimentologiques

L'examen visuel des sédiments suggère que 2 strates peu différentes composent cette carotte : Une première couche qui contient des vases rouge-bruns très fluides et couvrent les 20 premiers centimètres. En dessous, la deuxième est une vase qui devient progressivement compacte.

Cependant, à cette une apparente homogénéité la granulométrie des sédiments montre une évolution progressive des populations de particules le long de la carotte, c'est-à-dire des niveaux les plus anciens aux plus récents. En effet, des fractions de silts grossiers, voire de sables moyens ($160 < d < 250 \mu\text{m}$), bien qu'en faibles proportions, ont été mises en évidence uniquement dans le bas de la carotte (Figure 25).

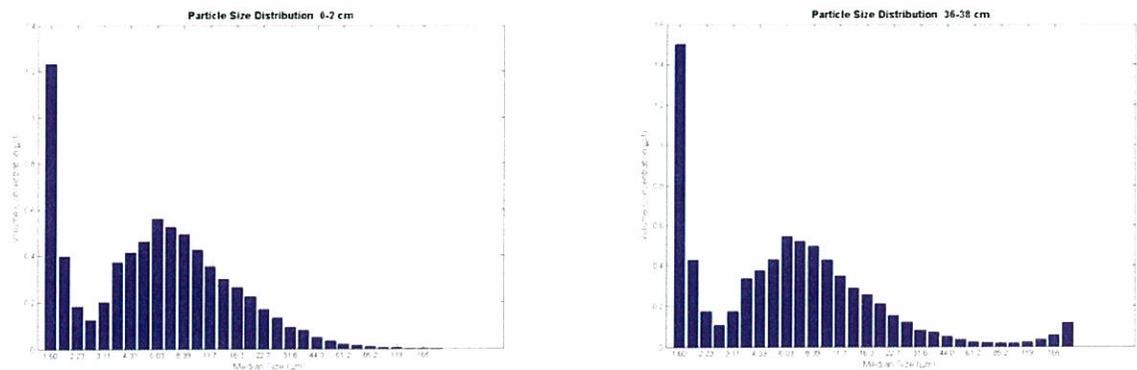


Figure 25 : Courbes de distributions granulométriques des niveaux de surface (0-2 cm) et de fond (36-38 cm) de la carotte PR-1.

La composition en pélites (Figure 26) montre que si les variations sont relativement faibles sur toute la longueur de la carotte ($90,5 \pm 1,8 \%$), dans les quinze premiers centimètres le pourcentage de population fine augmente et atteint même plus de 96 % dans les 4 cm sous l'interface : Un enrichissement sensible en fraction pélitique est ainsi mis en évidence dans les horizons les plus récents.

Les valeurs des densités humides et sèches évoluent de manière analogue. En effet, dans les 15 premiers centimètres de la carotte, la densité sèche passe de $2,53 \pm 0,09$ à environ 2,34 vers la surface. Cette décroissance traduit l'augmentation des proportions de matériel particulaire fin dans les apports. Cette modification est encore bien plus marquée lorsqu'on s'intéresse à la densité humide. En effet, dans la même couche sédimentaire la densité humide diminue de $1,51 \pm 0,04$ à environ 1,31 en surface.

Détermination du ^{210}Pb

La radioactivité du ^{210}Pb est d'environ 75,7 mBq/g dans les sédiments de surface et décroît progressivement avec la profondeur où elle atteint un minimum de 6 mBq/g (Figure 26). La radioactivité du ^{226}Ra est normalement constante pour tous les échantillons ($1,4 \pm 0,9$ mBq/g), pour le ^{137}Cs elle est inférieure au seuil de détection dans la plupart des cas.

Toutes les valeurs brutes résultant de la métrologie nucléaire du ^{210}Pb , ^{226}Ra et ^{137}Cs sont regroupées dans le tableau A de l'annexe 5.

La courbe semi-logarithmique qui représente l'évolution de la radioactivité du ^{210}Pb avec la profondeur (Figure 26), permet de distinguer clairement deux épisodes sédimentaires matérialisés par les droites de régression dont des coefficients de détermination sont hautement significatifs ($R^2_1 = 0,953$ et $R^2_2 = 0,918$). Les deux épisodes sont délimités par l'intersection des droites dont les pentes respectives sont le reflet des conditions de sédimentation qui ont prévalu

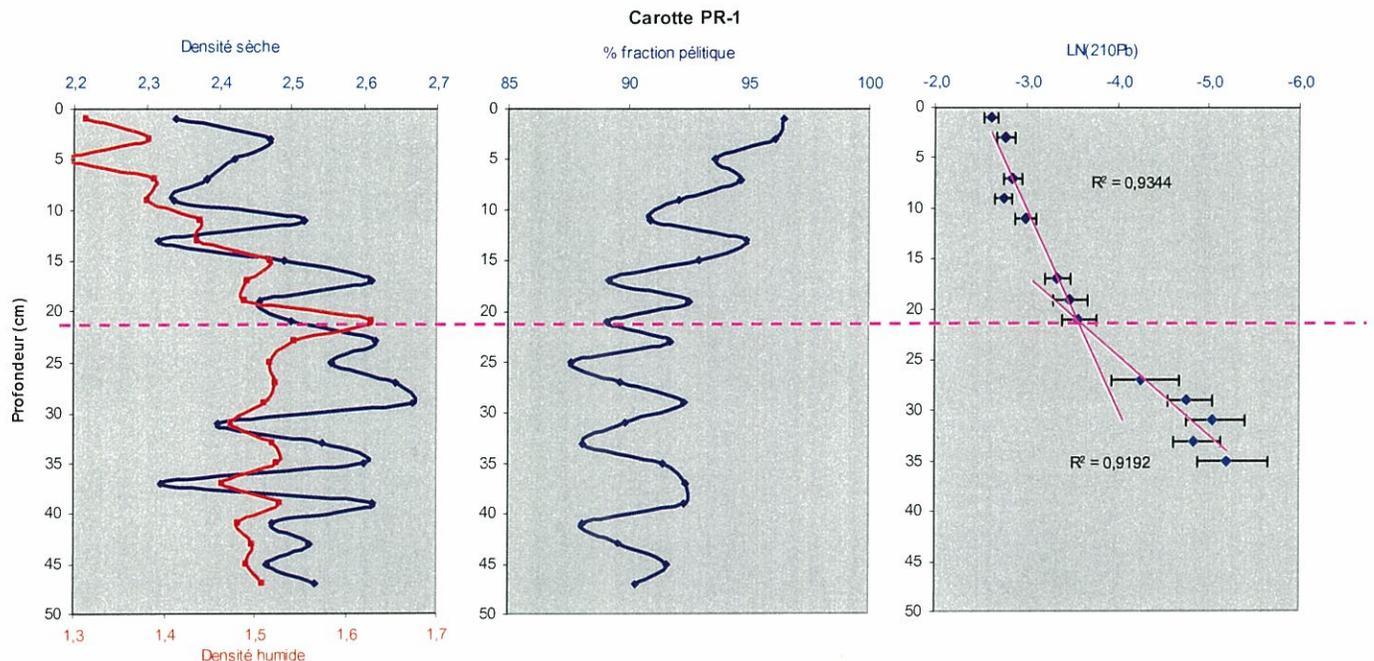


Figure 26 : Profils de densités sèche et humide, pourcentage en fraction péltique et radioactivité du ^{210}Pb dans les sédiments de la carotte PR-1.

pendant la mise en place des dépôts. Ainsi, les sédiments les plus récents, compris entre la surface et la vingtaine de centimètres de profondeur, sont caractérisés par des taux d'accumulation moyens deux fois plus importants que dans la couche inférieure : Les taux d'accumulation sont estimés respectivement à $0,210 \text{ g/cm}^2/\text{an}$ dans les dépôts les plus vieux, et à $0,460 \text{ g/cm}^2/\text{an}$ dans les horizons supérieurs plus récents.

Le changement de régime sédimentaire peut être daté au environ de 1975, moyennant un certain nombre de précautions compte tenu du manque de radio-chronomètres complémentaires.

Carotte PR-2

Paramètres sédimentologiques

La carotte PR-2 est composée de 3 couches successives : Une vase rouge, fluide occupe les 10 premiers centimètres de la carotte, puis entre 10 et 20 cm la vase devient grumeleuse et enfin compacte et collante en dessous. C'est la carotte qui présente l'hétérogénéité relative apparente la plus élevée des trois.

Comme pour la première carotte extraite (PR-1), les dépôts sont constitués de pélites dont les proportions ne varient que de 5% d'un extrême à l'autre ; les 25 premiers centimètres du dépôt en contiennent $94,1 \pm 1,4$ % contre $90,1 \pm 1,4$ % dans le reste de la carotte (Figure 27).

Les profils des densités humide et sèche reflètent également un léger changement sédimentologique. En effet, dans les 25 cm superficiels les valeurs sont plus faibles (respectivement $1,48 \pm 0,08$ et $2,46 \pm 0,37$) que dans les states inférieures (respectivement $1,55 \pm 0,04$ et $2,68 \pm 0,19$). Seuls les tous premiers centimètres de la carotte révèlent curieusement des valeurs très hautes de la densité sèche qui dépasse $d = 3$.

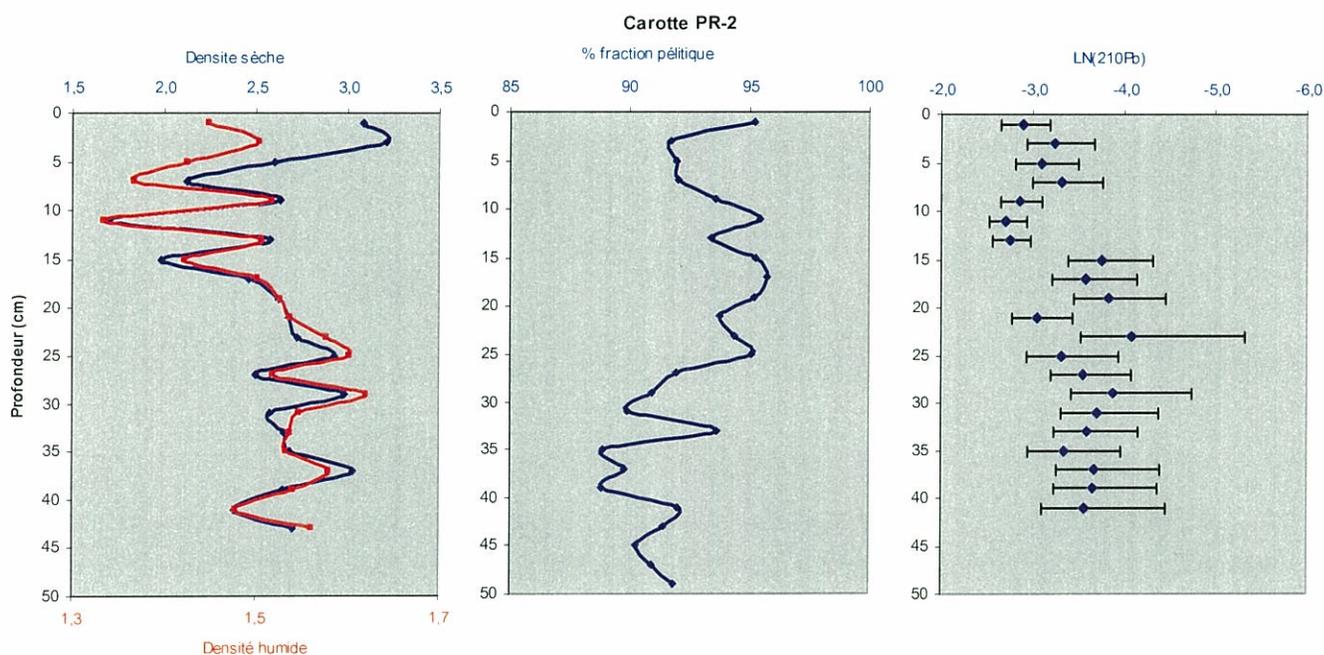


Figure 27 : Profils de densités sèche et humide, pourcentage en fraction pélitique et radioactivité du ^{210}Pb dans les sédiments de la carotte PR-2.

Détermination du ^{210}Pb

La radioactivité du ^{210}Pb est comprise entre 22,2 et 68,8 mBq/g mais ne suit pas de tendance bien définie le long de la carotte (Figure 27). Comme pour la carotte PR-1, la radioactivité du ^{226}Ra est du même ordre de grandeur ($3,2 \pm 1,0$ mBq/g) et les valeurs du ^{137}Cs demeurent inférieures au seuil de détection pour le dans la plupart des échantillons mesurés.

Toutes les valeurs brutes résultant de la métrologie nucléaire du ^{210}Pb , ^{226}Ra et ^{137}Cs sont regroupées dans le tableau B de l'annexe 5.

La représentation semi-logarithmique des mesures de ^{210}Pb ne permet pas de dégager nettement un gradient de décroissance radioactive linéaire en fonction de la profondeur. En effet, la décroissance globale observée est relativement désordonnée et ne semble pas correspondre au phénomène d'enfouissement naturel des retombées atmosphériques du ^{210}Pb , un certain nombre de valeurs mesurées dans les niveaux profonds de la carotte dépassant la radioactivité du niveau de surface.

Carotte KW-1

Paramètres sédimentologiques

La description visuelle de la carotte a permis de distinguer deux strates apparemment bien plus carbonatées que dans les deux cas précédents : la première, entre 0 et 10 cm, composée de vase sableuse puis la deuxième, en dessous, constituée de vases sableuses devenant progressivement plus riches en sables (Figure 28).

Les analyses plus fines montrent que cette carotte se différencie également par la proportion de pélites, nettement inférieure, qu'elle renferme ($66,6 \pm 4,7$ %) et par sa relative hétérogénéité, les valeurs étant comprises entre environ 57 et 74 %.

Les mesures des densités sèches ne montrent pas de tendance bien définie ni une grande dispersion puisque les valeurs sont de $2,5 \pm 0,1$. Les densités humides des 10 premiers centimètres du dépôt semblent suivre un infléchissement.

Détermination du ^{210}Pb

Les niveaux de radioactivité de cette carotte sont les plus élevés mesurés dans les sédiments. La radioactivité maximale du ^{210}Pb est de 157,5 mBq/g et tend à décroître de manière globalement régulière vers le bas de la carotte. (Figure 28). Comme pour les carottes PR-1 et PR-2, la radioactivité du ^{226}Ra est du même ordre de grandeur ($2,7 \pm 0,6$ mBq/g) et les valeurs du ^{137}Cs demeurent inférieures au seuil de détection à de très rares exceptions.

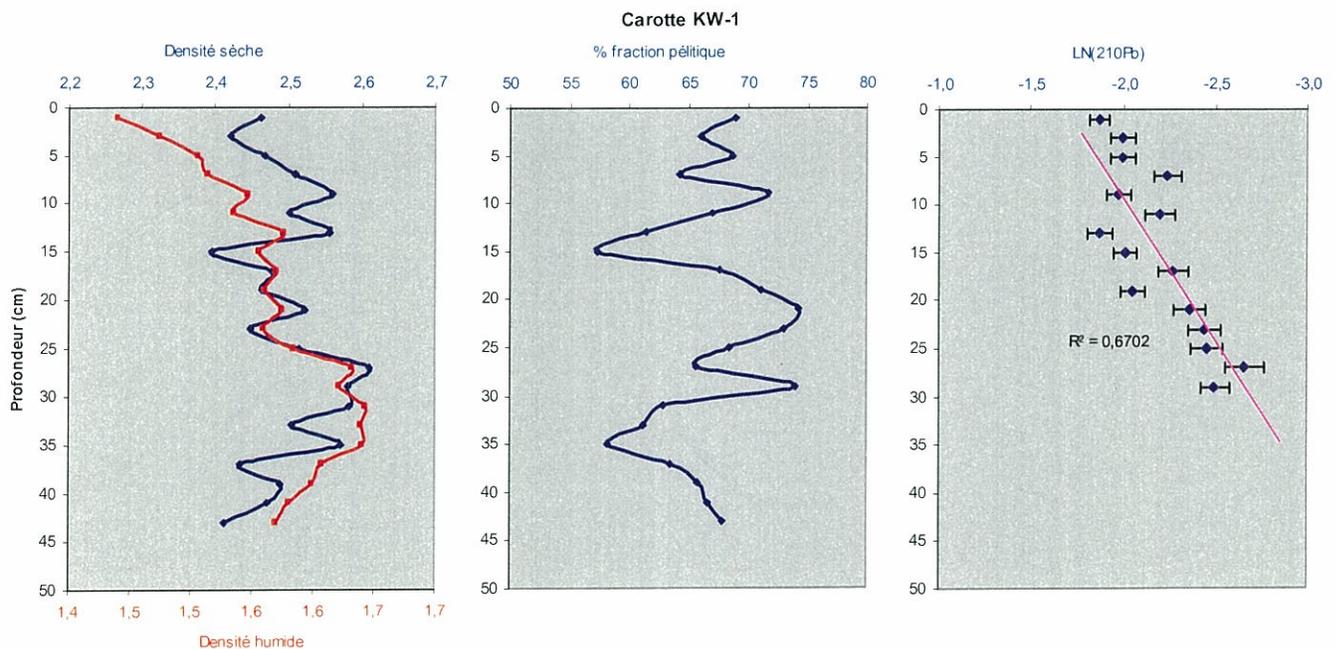


Figure 28 : Profils de densités sèche et humide, pourcentage en fraction pélitique et radioactivité du ^{210}Pb dans les sédiments de la carotte KW-1.

Toutes les valeurs brutes résultant de la métrologie nucléaire du ^{210}Pb , ^{226}Ra et ^{137}Cs sont regroupées dans le tableau C de l'annexe 5.

La représentation semi-logarithmique des mesures de ^{210}Pb permet de mettre en évidence un gradient de décroissance radioactive linéaire relativement net en fonction de la profondeur. En effet, la radioactivité du ^{210}Pb décroît régulièrement avec toutefois des valeurs élevées en milieu de carotte qui laissent supposer que des phénomènes catastrophiques se sont produits. Il est cependant possible d'extraire une courbe de tendance dont le coefficient de détermination est encore significatif ($R^2=0,670$). Les paramètres de cette régression linéaire permettent de calculer un taux d'accumulation dont la valeur ($1,2 \text{ g/cm}^2/\text{an}$) est très élevée.

Interprétation

Les analyses réalisées sur la carotte PR-1 montrent que la sédimentation des particules s'est effectuée à un rythme relativement lent jusqu'au milieu des années 70, époque à partir de laquelle le taux d'accumulation des particules double dans les dépôts. Cette augmentation s'accompagne d'une modification des caractéristiques de la matière déposée puisque dans les sédiments les plus récents les densités sèche et humide diminuent et la fraction pélitique augmente de manières considérables. Ces changements dans les rythmes sédimentaires sont probablement à imputer, au moins en grande partie, au défrichage des terrains consécutif à l'ouverture de pistes et aux opérations de prospection minière dont les autorisations ont été accordées de mai 1970 à mars 1971 dans le secteur du bassin versant du Creek de la Rade du Nord. Les conséquences de ces remaniements de terrains pouvant perdurer voire être amplifiées au cours du temps compte tenu de la déstabilisation des terrains comme conséquence de la dévégétalisation. Par ailleurs, une légère accélération des taux d'accumulation semble se dessiner dans les tout premiers centimètres de la carotte mettant en cause probablement des remaniements plus importants à relier avec la mise en place du site industriel actuel.

En Rade du Nord-Est, le carottage montre que les phénomènes sédimentaires sont difficilement déchiffrables. En effet, il ne se dégage pas de tendances évidentes ni en terme de caractérisation sédimentologique (densités, % pélites), ni dans l'évolution des radiotraceurs. Bien que des travaux complémentaires, comme l'étude des profils de concentrations de certains métaux, puissent apporter des informations pour une interprétation, il semble évident que, d'une part les sédiments sont l'objet de remaniements fréquents et que d'autre part, les apports ne se produisent pas de manière constante mais pulsée; le site est donc peu propice aux études des taux d'accumulation.

Pour la Baie Kwé, l'ensemble des données montrent que les phénomènes d'accumulation sédimentaire sont importants dans cette baie semi-fermée. Si les quantités de particules ne semblent avoir beaucoup évolué avec le temps, en revanche la nature des apports a fortement varié et les fractions vaso-sableuses ont progressivement été remplacées par des fractions pélitiques plus homogènes, en surface. Toutefois, les pélites de surfaces (site KW-1) contiennent une forte proportion de carbonates ($\approx 60\%$) ce qui leur confère une origine à dominante marine. Une analyse des métaux (Ni, Cr et Co) le long de la carotte sédimentaires apporterait dans nul doute des informations sur le degré d'influence des travaux effectués sur le bassin versant de la rivière Kwé.

CONCLUSION

Dans la Baie du Prony, les zones de déposition préférentielle des pélites se situent au nord et au centre de la Baie du Prony (Figure 29). Toutefois, dans ces zones préférentielles pour le dépôt de la fraction pélitique, l'empreinte terrigène reste faible dans un système global à faible hydrodynamique.

Inversement, dans les Rades du Nord et du Nord-Est la signature terrigène est évidente et les apports en particules latéritiques, dans une proportion importante, sédimentent rapidement dans des aires d'influence relativement restreintes aux proches embouchures. Ces phénomènes conduisent à l'apparition de « hot-spots » bien délimités dans l'espace.

L'alimentation en particules est relativement faible au droit du Creek de la Rade du Nord bien qu'il ait augmenté depuis quelques dizaines d'années en raison du remaniement des terrains et plus ponctuellement, de la rupture d'une digue de rétention (cf Convention IRD/Goro-Ni 1229).

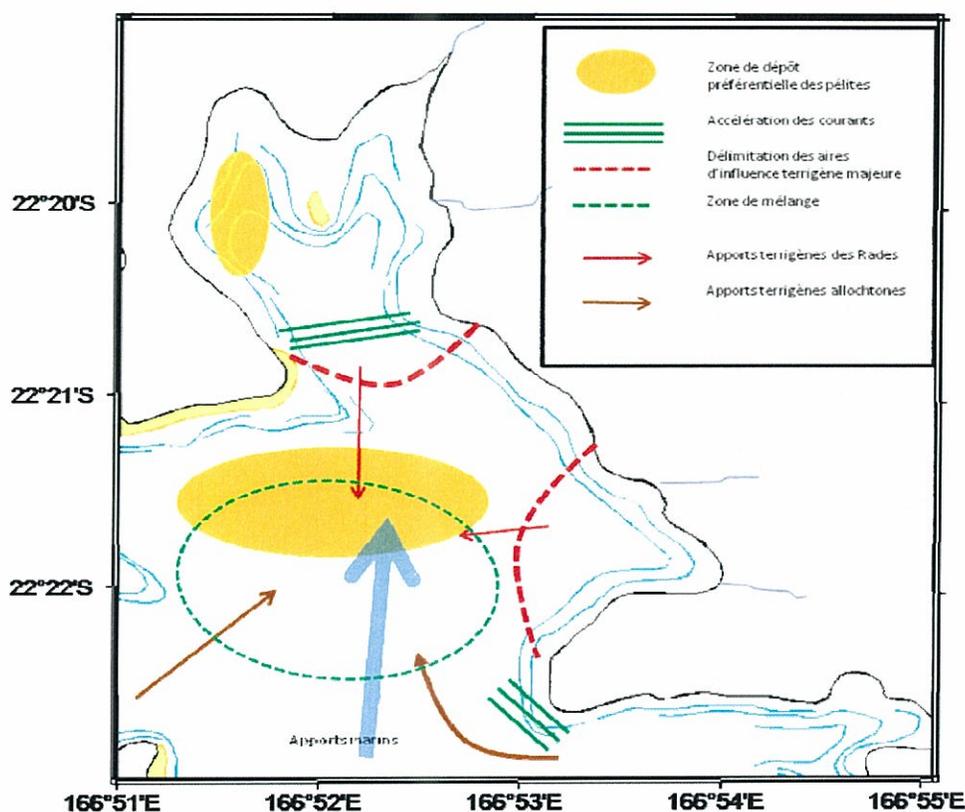


Figure 29 : Schéma conceptuel des principaux axes de transit des particules dans la Rade du Nord et du Nord-Est de la Baie du Prony

En ce qui concerne la Rade du Nord-Est, celle-ci semble peu propice aux études sédimentologiques en raison d'événements et/ou phénomènes qui parasitent les mécanismes d'une sédimentation continue et homogène.

La Baie Kwé et le Canal de la Havannah paradoxalement se distinguent par leur sensibilité aux événements pluvieux. En effet, les forts taux de sédimentations et les mesures élevées de flux expriment des phénomènes de transport de matière plus importants. Si une fraction de ces particules en suspension est carbonatée, c'est-à-dire d'origine marine, la fraction terrigène est cependant conséquente puisque elle est proche des 20% en masse dans les deux stations éloignées du rivage dans le Canal de Havannah (et 30 % dans la Baie Kwé). Dans ce secteur, la quantité de particules produite forme une couche turbide qui oscille plusieurs jours le long de la côte au gré des marées jusqu'à la sédimentation ou l'évacuation du matériel particulaire.

A ce stade des études, il semble judicieux de mettre en place un complément analytique pour préciser le « degré d'anthropisation » des sédiments déposés et des matières en suspension collectées. Ces analyses devront être basées sur les déterminations de traceurs chimiques terrigènes (métaux) et marins (carbonates).

Dans le cadre de la mise en place d'un réseau de suivi environnemental, il sera nécessaire de prendre en considération les zones de dépôt préférentiel des particules fines, mais également les aires de sédimentation spécifiquement terrigène (proches embouchures). En effet, l'extension et/ou l'intensification des dépôts et/ou les flux particuliers constitueront autant d'indicateurs pertinents pour juger de l'impact de l'ensemble des activités minières.

BIBLIOGRAPHIE

- Bonneau, M. and Souchier, B. 1979. Pédologie 2: Constituants et propriétés du sol. *Masson, Paris*, 459 p.
- Buchanan, JB. 1984. Sediment Analysis. In: *Holme, N.A., McIntyre, A.D. (Eds.), Methods for the study of marine benthos, 2nd ed. Blackwell scientific publications, Oxford*, pp 41-65.
- Folk, R.L. and Ward, WC., 1957. Brazos River bar: a study of significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, pp 3-26.
- He, Q., Walling, D.E., 1996. Interpreting particle size effects in the adsorption of Cs-137 and unsupported Pb-210 by mineral soils and sediments. *J. Environ. Radioac.*, 30 (2), pp 117-137.
- Heussner S., Ratti C. and Carbonne J., 1989. The PPS3 times series sediment trap and the trap sample processing techniques used during the ECOMARGE experiment. *Continental Shelf Research*, Vol 10, pp 943-958.
- Valette-Silver N.J., 1993. The use of sediments cores to reconstruct Historical trends in contamination of estuarine and coastal sediments, *Estuaries*, Vol. 16, n°38, pp 577-588.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation des stations de carottage des sédiments et de mouillage des pièges à sédiments (en rouge) en Baie du Prony et en Baie Kwé. Les stations figurant en vert sont des points complémentaires, hors contrat).....	5
Figure 2 : Localisation des stations de prélèvement des sédiments de surface en Rades Nord et Nord-Est (Baie du Prony), en Baie Kwé et dans le Canal de la Havannah.	5
Figure 3 : Carottes sédimentaires PR-1, PR-2 et KW-1 extraites du carottier pour le découpage en tranches bi-centimétrique à des fins de datation par la méthode du ²¹⁰ Pb.....	7
Figure 4 : Pièges à sédiments déployés en Rade Nord, Rade Nord-Est et Baie Kwé pour la détermination des flux de matières minérale et terrigène exportées.	8
Figure 6 : Eléments constitutifs du système de discrimination des sédiments (GPS, sondeur, micro-ordinateur et boîtier classificateur RoxAnn®).....	10
Figure 7 : Vue de la paravane remorquée avec le transducteur au 1 ^{er} plan.	10
Figure 8 : Empreinte théorique du faisceau sur le fond pour des profondeurs de 15 et 30m. A une vitesse de déplacement de 3 m/s (6 nœuds) et une fréquence d'acquisition de 1 Hz, les empreintes se recoupent pour les fonds de 30 m seulement.	11
Figure 9 : Exemple d'écran « RoxMap » avec le tracé de la route, le profil bathymétrique et le diagramme bivarié dont l'affichage s'effectue en temps réel.....	11
Figure 10 : Levés acoustiques réalisés en Baie du Prony (Rade du Nord-Est et Rade du Nord) avec représentation (couleurs) de l'information sédimentaire.....	15
Figure 11 : Classification finale des fonds et des habitats de la baie du Prony	15
Figure 12 : Levés acoustiques réalisés en Baie du Prony (Rade du Nord-Est et Rade du Nord) avec représentation (couleurs) de l'information bathymétrique.	16
Figure 13 : Cartographie interpolée de la rugosité des fonds en Baie du Prony (Baie du Nord et zone du port).....	16
Figure 14 : Cartographie interpolée de la dureté des fonds en Baie du Prony (Baie du Nord et zone du port).....	16
Figure 15 : Cartographie interpolée de la nature des fonds.....	18
Figure 16 : Distribution des pélites (<40µm) contenues dans les sédiments superficiels en Rade Nord et Nord-Est, Baie du Prony (%).	19
Figure 17 : Distribution des pélites (<40µm) contenues dans les sédiments superficiels dans la Baie de Kwé et le Canal de la Havannah (%).	19
Figure 18 : Distribution de la fraction résiduelle dans les sédiments superficiels, Baie du Prony (%).	20
Figure 19 : Distribution de la fraction carbonatée dans les sédiments superficiels, Baie du Prony. Les résultats sont exprimés en % de carbonates dans les pélites.	21
Figure 20 : Graphiques des précipitations recueillies sur les trois stations du site de Goro-Ni, la Pépinière (station A), l'usine pilote (station B) et le Kwé ouest (station C). Mesures effectuées en saison sèche (19/10/06 au 12/11/06) et en saison humide (16/03/07 au 09/04/07).	23
Figure 21 : Représentation graphique des flux de particules collectées en saison sèche (20/10/06 au 11/11/06) et saison humide (17/03/07 au 08/04/07) à la station P/PR-1.....	24

Figure 22 : Représentation graphique des flux de particules collectées en saison sèche (20/10/06 au 11/11/06) et saison humide (17/03/07 au 08/04/07) à la station P/PR-2.....	25
Figure 23 : Représentation graphique des flux de particules collectées en saison sèche (20/10/06 au 11/11/06) et saison humide (17/03/07 au 08/04/07) à la station P/KW-1.	25
Figure 24 : Evolution comparative des flux de particules aux 3 stations du Canal de la Havannah.	26
Figure 25 : Courbes de distributions granulométriques des niveaux de surface (0-2 cm) et de fond (36-38 cm) de la carotte PR-1.	28
Figure 26 : Profils de densités sèche et humide, pourcentage en fraction pélitique et radioactivité du 210Pb dans les sédiments de la carotte PR-1.....	29
Figure 27 : Profils de densités sèche et humide, pourcentage en fraction pélitique et radioactivité du 210Pb dans les sédiments de la carotte PR-2.....	30
Figure 28 : Profils de densités sèche et humide, pourcentage en fraction pélitique et radioactivité du 210Pb dans les sédiments de la carotte KW-1.....	31
Figure 29 : Schéma conceptuel des principaux axes de transit des particules dans la Rade du Nord et du Nord-Est de la Baie du Prony	33

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Coordonnées des stations de prélèvement des sédiments dans les Baie du Prony et de Kwé pour les missions de février et d'avril 2007. Les coordonnées sont exprimées en fraction de degrés. 4
- Tableau 2 : Positionnement des points de carottages effectués par plongeur et des lignes de mouillages (pièges à sédiments) dans les sites des Rades Nord et Nord-Est ainsi qu'en Baie Kwé. Les coordonnées sont exprimées en fraction de degrés. 6

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1

Précipitations atmosphériques recueillies au Cap N'Doua (Météo-France) et aux stations dites de la Pépinière, l'Usine pilote et de la Kwé ouest (Goro-Ni)

Annexe 2

Pourcentages en pélites et bathymétrie dans les Rades Nord et Nord-Est de la Baie de Prony, dans la Baie Kwé et dans le Canal de la Havannah.

Annexe 3

Masses des phases géochimiques exprimées en pourcentage par rapport au sédiment pélitique initial, déterminées lors des extractions séquentielles pour l'ensemble de la zone étudiées comprenant les Baies du Prony, Kwé et le canal de la Havannah.

Annexe 4

Flux de particules estimés dans les Rades du Nord et du Nord-Est (Baie du Prony), en Baie Kwé pendant la saison sèche et humide. Estimation des flux de particules dans le Canal de la Havannah en saison humide.

Annexe 5

Paramètres sédimentologiques des carottes PR-1 (A), PR-2 (B) et KW-1 (C) prélevées respectivement dans les Rades du Nord et du Nord-Est (Baie du Prony) et en Baie Kwé.

Annexe 6

Spectrométrie gamma des niveaux sédimentaires des carottes PR-1, PR-2 et KW-1 prélevées respectivement dans les Rades du Nord et du Nord-Est (Baie du Prony) et en Baie Kwé.

ANNEXE 1

Tableau A : Précipitations atmosphériques recueillies au Cap N'Doua (Météo-France) et aux stations dites de la Pépinière, l'Usine pilote et de la Kwé ouest (Goro-Ni) en saison humide.

Date	Cap Ndua (mm/j)	Pépinière (mm/j)	Usine pilote (mm/j)	West Kwé (mm/j)
01/02/2007	0,4	13,4	0,0	6,2
02/02/2007	6	14,8	6,8	8,6
03/02/2007	3,8	9,4	10,0	4,0
04/02/2007	0	0,0	0,0	0,0
05/02/2007	0	0,0	0,0	0,0
06/02/2007	3,6	0,6	0,6	0,2
07/02/2007	0	0,0	0,0	0,0
08/02/2007	0,2	0,2	0,2	0,0
09/02/2007	2,4	13,8	2,6	7,4
10/02/2007	15,8	15,6	5,4	6,8
11/02/2007	2	1,8	3,4	2,4
12/02/2007	0	0,2	0,6	0,2
13/02/2007	0,4	0,0	0,0	0,0
14/02/2007	0	1,2	5,8	1,0
15/02/2007	0,6	11,0	7,2	16,2
16/02/2007	0	1,6	2,2	1,4
17/02/2007	2	16,2	13,0	9,0
18/02/2007	0	5,0	3,2	1,4
19/02/2007	0	1,8	0,2	0,2
20/02/2007	0,6	0,0	0,2	0,4
21/02/2007	9	15,8	9,2	10,0
22/02/2007	3,6	11,2	5,4	4,2
23/02/2007	11,2	10,4	8,6	4,2
24/02/2007	7,6	4,2	1,0	2,8
25/02/2007	0,4	8,6	11,6	12,0
26/02/2007	0,2	2,0	0,6	5,4
27/02/2007	0	0,2	0,2	0,2
28/02/2007	0,4	1,6	4,4	5,6
01/03/2007	1,8	7,0	1,8	3,2
02/03/2007	0,2	0,0	0,2	0,6
03/03/2007	15,4	62,0	39,0	48,2
04/03/2007	7	75,2	45,2	66,6
05/03/2007	7,4	95,8	48,8	86,8
06/03/2007	7,6	81,6	42,0	68,6
07/03/2007	0,2	48,2	10,4	28,0
08/03/2007	0,4	16,0	4,6	9,4
09/03/2007	0,2	2,6	1,0	2,4
10/03/2007	0,2	0,4	0,0	0,2
11/03/2007	0,4	0,0	0,0	0,0
12/03/2007	0	0,0	0,0	0,0
13/03/2007	0	0,2	2,6	2,8
14/03/2007	0,2	6,8	14,6	9,4
15/03/2007	0,6	0,4	0,0	0,0
16/03/2007	2,8	3,8	3,0	0,2
17/03/2007	3	14,2	5,2	15,2

18/03/2007	12,2	19,8	4,4	20,8
19/03/2007	1,6	18,4	15,8	13,4
20/03/2007	0	1,0	0,0	3,4
21/03/2007	7,8	15,4	25,2	14,6
22/03/2007	0	1,4	0,6	0,2
23/03/2007	0,8	0,4	0,6	0,2
24/03/2007	8,6	19,8	16,4	14,0
25/03/2007	0	1,0	7,2	1,4
26/03/2007	0,2	0,0	0,2	0,2
27/03/2007	0,2	0,2	0,2	0,2
28/03/2007	0,2	1,8	0,0	1,2
29/03/2007	25,6	95,4	55,0	92,2
30/03/2007	5	39,0	34,2	38,6
31/03/2007	0,4	5,2	1,8	9,4
01/04/2007	1,8	14,8	18,2	12,0
02/04/2007	1	29,2	10,4	16,2
03/04/2007	0	24,4	9,4	13,8
04/04/2007	0	1,4	1,2	0,4
05/04/2007	3	0,0	0,0	0,0
06/04/2007	0	3,8	11,0	5,6
07/04/2007	0	0,0	0,0	0,0
08/04/2007	5	24,0	20,2	32,8
09/04/2007	2	15,4	9,8	16,8

Tableau B : Précipitations atmosphériques recueillies aux stations dites de la Pépinière, l'Usine pilote et de la Kwé ouest (Goro-Ni) en saison sèche.

Date	Cap Ndua (mm/j)	Pépinière (mm/j)	Usine pilote (mm/j)	West Kwé (mm/j)
19/10/06		0,6	0,8	0,4
20/10/06		0,6	0,4	0,8
21/10/06		5,0	8,8	6,8
22/10/06		2,2	2,4	3,6
23/10/06		0,4	0,0	0,8
24/10/06		13,0	5,0	7,2
25/10/06		0,0	1,6	0,4
26/10/06		23,4	5,0	14,6
27/10/06		0,2	0,0	0,0
28/10/06		5,6	2,0	2,4
29/10/06		0,2	0,0	0,2
30/10/06		0,0	0,0	0,0
31/10/06		0,0	0,0	0,0
01/11/06		0,0	0	0,0
02/11/06		0,0	0,0	0,0
03/11/06		0,0	0,0	0,0
04/11/06		0,0	0,0	0,0
05/11/06		0,2	1,8	1,6
06/11/06		4,6	2,4	4,0
07/11/06		1,8	0,0	0,6
08/11/06		0,0	0,0	0,2
09/11/06		0,0	0,0	0,0
10/11/06		0,0	0,0	0,0
11/11/06		6,0	11,6	7,4
12/11/06		8,4	2,2	6,2

ANNEXE 2

Tableau A : Pourcentages en pélites et bathymétrie dans les Rades Nord et Nord-Est de la Baie de Prony

Station	Pélites (%)	Profondeur (m)	Station	Pélites (%)	Profondeur (m)
G18	76.1	24.3	G43	97.5	41.1
G19	72.6	10.5	G44	57.9	39.5
G20	80.88	29.2	G45	95.8	34.4
G21	96.3	37.5	G46	94.7	33.4
G22	96.9	42	G47	95.3	29.8
G23	97.8	42.9	G48	92.9	20
G24	88.2	42	G49	75.3	17.1
G25	88.3	43.6	G50	93.7	29.8
G26	90.8	42	G51	89.7	25.6
G27	91.3	42.3	G52	92.1	30.6
G28	96.1	43.3	G64	63.8	12.1
G29	96.4	44.3	G65	92.7	26.1
G30	95.3	39.9	G66	91.5	31.1
G31	60.4	14.9	G67	90.7	24.6
G32	96.6	42.3	G68	89.56	27.6
G33	96.7	43.2	G69	93.2	32.8
G34	94	42.8	G71	69.5	29
G35	90.8	42.6	G72	28.1	29.9
G36	94.2	43.3	G74	74.8	20
G37	88.9	35.5	G75	52.1	32
G38	95.6	42.9	G76	43.1	29
G39	93.11	39.2	G77	29	30
G41	46.1	34.5	G78	32.2	28.5
G42	96.6	41.2			

Tableau B : Pourcentages en pélites et bathymétrie dans la Baie de Kwé et le Canal de la Havannah

Station	Pélites (%)	Profondeur (m)
K2	22.9	30.5
K3	38.8	27.9
K4	73.8	20
K5	74.2	12.8
K6	72.8	8.4
K7	14.9	1.3
T4B	3.3	62
T4C	3	38

ANNEXE 3

Tableau A : Masses des phases géochimiques exprimées en pourcentage par rapport au sédiment pélagique initial, déterminées lors des extractions séquentielles pour l'ensemble de la zone étudiées comprenant les Baies du Prony, Kwé et le canal de la Havannah.

Station	Masse Carbonates (%)	Masse Résidus (%)	Station	Masse Carbonates (%)	Masse Résidus (%)
G19	12.2	74.9	G41	62.7	24.9
G20	25.6	61.5	G42	54.6	32.2
G21	39.8	47.8	G44	36.0	36.5
G22	45.0	31.2	G45	43.7	41.7
G23	51.6	31.4	G46	41.5	42.5
G24	54.5	20.8	G47	40.3	45.3
G25	64.7	19.9	G48	36.7	50.3
G26	55.2	17.9	G49	24.9	62.0
G27	63.9	21.3	G50	38.4	48.8
G28	63.2	27.9	G51	11.3	75.4
G29	55.2	28.9	G52	49.3	46.8
G30	47.8	37.6	G64	8.5	82.0
G31	7.0	81.1	G65	28.9	65.3
G32	53.7	33.3	G66	30.5	57.0
G33	61.1	29.6	G69	41.5	44.9
G34	66.8	23.9	K2	68.1	15.7
G35	66.7	20.1	K4	59.2	30.1
G36	73.1	16.4	K7	20.4	63.2
G37	63.3	20.6	T4B	64.5	6.0
G38	64.6	21.8	T4C	56.1	6.3
G39	62.0	23.9			

ANNEXE 4

Tableau A : Flux de particules estimés dans les Rades du Nord et du Nord-Est (Baie du Prony), en Baie Kwé pendant la saison sèche.

Date	Baie Kwé (g/m ² /j)	rade Nord (g/m ² /j)	Rade Nord Est (g/m ² /j)
10/19/2006			
10/20/2006	11,798	0,497	1,052
10/21/2006			
10/22/2006	7,955	0,419	0,907
10/23/2006			
10/24/2006	34,457	1,404	0,283
10/25/2006			
10/26/2006	13,215	0,824	0,063
10/27/2006			
10/28/2006	9,768	1,373	0,451
10/29/2006			
10/30/2006	6,863	0,627	0,422
10/31/2006			
11/1/2006	15,183	0,694	3,226
11/2/2006			
11/3/2006	18,183	2,766	3,049
11/4/2006			
11/5/2006	10,28	1,421	1,466
11/6/2006			
11/7/2006	15,436	0,762	1,112
11/8/2006			
11/9/2006	11,366	0,825	1,063
11/10/2006			
11/11/2006	20,467	0,972	4,649
11/12/2006			

Tableau B : Flux de particules estimés dans les Rades du Nord et du Nord-Est (Baie du Prony), en Baie Kwé pendant la saison humide.

Date	Kwé (g/m ² /j)	rade Nord (g/m ² /j)	Rade Nord Est (g/m ² /j)
16/03/2007			
17/03/2007	25,791	0,004	1,523
18/03/2007			
19/03/2007	39,951	0,067	2,083
20/03/2007			
21/03/2007	40,869	0,846	2,493
22/03/2007			
23/03/2007	29,679	0,636	0,782
24/03/2007			
25/03/2007	21,908	1,179	1,861
26/03/2007			
27/03/2007	37,864	2,023	1,253

28/03/2007			
29/03/2007	14,511	0,651	2,514
30/03/2007			
31/03/2007	30,471	0,933	3,588
01/04/2007			
02/04/2007	168,402	2,785	2,922
03/04/2007			
04/04/2007	24,474	5,035	4,59
05/04/2007			
06/04/2007	101,382	2,955	10,845
07/04/2007			
08/04/2007	17,464	1,441	17,668
09/04/2007			

Tableau C : Flux de particules estimés dans le Canal de la Havannah pendant la saison humide.

Date	Station T 4 c (g/m ² /j)	Station T 4 b (g/m ² /j)	Station T 5 b (g/m ² /j)
7/2/07 0:00			
7/2/07 12:00			
8/2/07 0:00			
8/2/07 12:00	16,6264	18,0096	21,1824
9/2/07 0:00			
9/2/07 12:00			
10/2/07 0:00			
10/2/07 12:00			
11/2/07 0:00	11,9896	7,868	15,472
11/2/07 12:00			
12/2/07 0:00			
12/2/07 12:00			
13/2/07 0:00			
13/2/07 12:00	1,5208	0,6576	4,6992
14/2/07 0:00			
14/2/07 12:00			
15/2/07 0:00			
15/2/07 12:00			
16/2/07 0:00	2,3424	5,9328	1,3088
16/2/07 12:00			
17/2/07 0:00			
17/2/07 12:00			
18/2/07 0:00			
18/2/07 12:00	8,176	23,0392	8,3928
19/2/07 0:00			
19/2/07 12:00			
20/2/07 0:00			
20/2/07 12:00			
21/2/07 0:00	20,0272	95,272	73,6016
21/2/07 12:00			
22/2/07 0:00			
22/2/07 12:00			
23/2/07 0:00			
23/2/07 12:00	13,1792	45,0648	56,3048
24/2/07 0:00			
24/2/07 12:00			

25/2/07 0:00			
25/2/07 12:00			
26/2/07 0:00	15,368	2,708	23,5592
26/2/07 12:00			
27/2/07 0:00			
27/2/07 12:00			
28/2/07 0:00			
28/2/07 12:00	5,4296	6,8312	9,8288
1/3/07 0:00			
1/3/07 12:00			
2/3/07 0:00			
2/3/07 12:00			
3/3/07 0:00	50,336	8,204	22,936
3/3/07 12:00			
4/3/07 0:00			
4/3/07 12:00			
5/3/07 0:00			
5/3/07 12:00	93,1616	39,5824	69,6952
6/3/07 0:00			
6/3/07 12:00			
7/3/07 0:00			
7/3/07 12:00			
8/3/07 0:00	105,253	126,3448	104,516

ANNEXE 5

Tableau A, B et C : Paramètres sédimentologiques des carottes PR-1 (A), PR-2 (B) et KW-1 (C) prélevées respectivement dans les Rades du Nord et du Nord-Est (Baie du Prony) et en Baie Kwé.

Profondeur (cm)	PR-1			PR-2			KW-1				
	Densité humide	Densité sèche	Pélites (%)	Profondeur (cm)	Densité humide	Densité sèche	Pélites (%)	Profondeur (cm)	Densité humide	Densité sèche	Pélites (%)
1	1,31	2,34	96,4	1	1,45	3,08	95,2	1	1,44	2,46	68,9
3	1,38	2,47	96,1	3	1,50	3,21	91,7	3	1,47	2,42	66,1
5	1,29	2,42	93,6	5	1,43	2,60	91,9	5	1,51	2,47	68,6
7	1,39	2,38	94,6	7	1,37	2,12	92,0	7	1,51	2,51	64,2
9	1,38	2,34	92,1	9	1,52	2,63	93,6	9	1,55	2,56	71,7
11	1,44	2,52	89,3	11	1,34	1,69	95,5	11	1,54	2,50	66,9
13	1,44	2,32	94,9	13	1,51	2,58	93,4	13	1,58	2,55	61,4
15	1,52	2,49	92,9	15	1,42	1,99	95,3	15	1,56	2,40	57,4
17	1,49	2,61	89,2	17	1,50	2,46	95,7	17	1,57	2,48	67,6
19	1,49	2,46	94,1	19	1,53	2,63	95,2	19	1,56	2,46	71,1
21	1,63	2,50	89,1	21	1,54	2,68	93,7	21	1,58	2,52	74,2
23	1,54	2,61	93,2	23	1,58	2,73	94,4	23	1,56	2,45	73,1
25	1,52	2,55	84,1	25	1,60	2,93	95,1	25	1,58	2,51	68,4
27	1,52	2,64	89,7	27	1,52	2,50	91,9	27	1,63	2,61	65,7
29	1,51	2,67	92,3	29	1,62	2,98	91,0	29	1,62	2,58	74,0
31	1,47	2,40	89,9	31	1,55	2,58	89,9	31	1,64	2,58	62,8
33	1,52	2,54	88,1	33	1,54	2,65	93,6	33	1,64	2,50	61,2
35	1,52	2,60	91,4	35	1,53	2,69	88,9	35	1,64	2,57	58,2
37	1,46	2,32	93,5	37	1,58	3,03	89,8	37	1,61	2,43	63,5
39	1,53	2,61	93,3	39	1,54	2,65	88,8	39	1,60	2,49	65,8
41	1,48	2,47	84,1	41	1,48	2,38	92,0	41	1,58	2,47	66,6
43	1,50	2,53	89,6	43	1,56	2,70	91,4	43	1,57	2,41	67,8
45	1,49	2,47	91,6	45			90,3	45			
47	1,51	2,53	90,3	47			90,9	47			
				49			91,8				

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55

ANNEXE 6

Tableau A : Spectrométrie gamma des niveaux sédimentaires de la carotte PR-1 prélevée en Rade du Nord (Baie du Prony).

Sample	Mass (g)	Live time (s)	PR-1							
			Pb-210		Ra-226		Cs-137		K-40	
			Act. (Bq/kg)	Unc. (Bq/kg)						
PR1-1	44,2606	149493,11	75,7	5,8	2,1	0,4	1,7	0,3	17,4	7,1
PR1-2	46,1211	80799,12	64,6	6,4	2,0	0,5	<0,7	-	41,7	8,7
PR1-3	47,0119	159451,89	40,2	4,6	<1,1	-	<0,4	-	<12,0	-
PR1-4	48,8331	91319,40	59,7	5,9	1,9	0,5	<0,7	-	29,8	7,6
PR1-5	47,9479	88269,83	65,9	6,1	1,9	0,4	1,0	0,3	37,8	8,0
PR1-6	48,1824	87495,92	52,8	5,9	2,2	0,5	<0,6	-	40,8	8,3
PR1-7	46,4663	166685,63	27,1	4,3	1,1	0,3	0,5	0,2	<11,8	-
PR1-8	48,2402	118542,55	25,6	4,5	1,2	0,4	0,4	0,2	18,2	6,8
PR1-9	47,5414	140456,88	37,0	4,8	1,6	0,4	0,5	0,2	23,1	6,7
PR1-10	45,8352	95550,11	32,2	5,6	1,2	0,5	0,9	0,3	43,3	8,4
PR1-11	48,4192	86224,07	30,1	5,3	1,7	0,5	<0,7	-	32,5	8,0
PR1-12	49,0447	151668,68	<6,3	-	<0,9	-	<0,3	-	<11,5	-
PR1-13	49,3895	118079,39	<7,9	-	1,9	0,5	<0,5	-	<13,4	-
PR1-14	47,6711	81259,44	15,3	5,0	1,1	0,4	<0,7	-	15,9	7,7
PR1-15	47,7090	82383,20	<9,7	-	1,2	0,5	<0,6	-	11,0	7,5
PR1-16	49,8350	81611,73	<8,7	-	2,2	0,5	<0,5	-	<15,0	-
PR1-17	46,7120	84117,32	<9,4	-	<1,5	-	<0,6	-	<16,7	-
PR1-18	47,3593	153597,07	<6,7	-	1,2	0,3	<0,4	-	<11,0	-
PR1-19	48,6674	108094,70	<7,5	-	1,3	0,3	<0,4	-	<13,1	-
PR1-20	46,7284	157555,80	<6,6	-	<0,9	-	<0,4	-	<11,2	-
PR1-21	47,1234	157555,80	<6,5	-	<0,9	-	<0,4	-	<11,1	-
PR1-22	45,6151	75154,93	<9,7	-	<1,5	-	<0,6	-	<17,0	-

Tableau B : Spectrométrie gamma des niveaux sédimentaires de la carotte PR-2 prélevée en Rade du Nord-Est (Baie du Prony).

Sample	Mass (g)	Live time (s)	PR-2							
			Pb-210		Ra-226		Cs-137		K-40	
			Act. (Bq/kg)	Unc. (Bq/kg)						
PR2-1	45,1101	96493,57	58,1	14,4	2,7	0,8	<1,1	-	<43,0	-
PR2-2	47,5962	88110,55	41,6	13,5	2,7	0,9	<1,1	-	<42,5	-
PR2-4	43,7903	87055,70	46,9	14,9	2,0	0,9	<1,2	-	<46,5	-
PR2-5	48,6385	90712,58	39,9	13,2	3,8	0,9	1,4	0,6	<41,1	-
PR2-6	47,2982	133438,91	59,5	12,8	2,0	0,6	<0,9	-	<34,9	-
PR2-7	45,5866	117859,40	68,8	13,4	2,2	0,7	0,9	0,6	<38,3	-
PR2-8	44,9754	140541,55	67,4	13,3	3,5	0,7	<0,9	-	<35,8	-
PR2-9	45,3623	96207,01	<27,0	-	3,7	0,7	<1,1	-	<43,0	-
PR2-10	45,1359	151852,24	31,2	12,0	3,3	0,9	<0,9	-	<34,4	-
PR2-11	44,3859	118042,84	<23,9	-	<2,3	-	<1,1	-	<40,0	-
PR2-12	45,4891	81267,85	51,1	14,9	4,1	1,0	1,4	0,6	<46,5	-
PR2-13	44,5535	82424,94	22,2	14,3	5,3	2,0	<1,3	-	<47,0	-
PR2-14	39,0322	81597,56	41,2	16,7	5,0	0,9	<1,3	-	<54	-
PR2-15	39,6924	83808,06	<32,2	-	3,5	1,0	<1,3	-	<53,0	-
PR2-16	39,1690	152850,86	<24,2	-	3,5	0,7	<1,0	-	<39,1	-
PR2-17	37,8988	108157,82	<29,7	-	5,2	1,1	<1,3	-	<48,5	-
PR2-18	39,6443	92383,35	<30,4	-	<2,9	-	<1,3	-	<50,5	-
PR2-19	39,3093	80980,22	38,3	16,5	<3,1	-	<1,5	-	<54,1	-
PR2-20	42,1251	157618,59	27,2	12,8	<2,1	-	<0,9	-	<36,0	-
PR2-21	40,9404	157618,59	28,0	13,1	<2,2	-	<1,0	-	<37,0	-
PR2-22	40,0040	75163,94	31,0	16,4	3,0	0,9	<1,4	-	<54,8	-
PR2-23	40,0029	92082,60	<30,0	-	4,6	1,0	<1,4	-	<49,6	-
PR2-24	40,0004	144778,64	<24,1	-	3,3	0,9	<1,0	-	<39,6	-

Tableau C : Spectrométrie gamma des niveaux sédimentaires de la carotte KW-1 prélevée en Baie Kwé.

Sample	Mass (g)	Live time (s)	KW-1							
			Pb-210		Ra-226		Cs-137		K-40	
			Act. (Bq/kg)	Unc. (Bq/kg)						
PR1-1	40.0092	147786.01	157.5	8.5	3.7	0.5	0.4	0.2	26.3	7.4
PR1-2	40.0026	80595.32	138.9	9.0	3.2	0.6	<0.8	-	<19.0	-
PR1-3	40.0043	83076.45	138.2	8.9	2.4	0.6	<0.8	-	17.7	9.0
PR1-4	40.0054	88353.02	108.3	7.8	<1.8	-	<0.8	-	12.7	8.2
PR1-5	40.0002	71270.43	141.0	9.3	2.3	0.7	<0.8	-	<20.6	-
PR1-6	40.0003	67983.41	113.6	8.9	2.9	0.6	0.8	0.3	25.8	9.7
PR1-7	40.0020	62570.82	156.6	10.1	3.0	0.7	<1.0	-	34.3	10.0
PR1-8	40.0030	87325.44	136.6	8.7	2.4	0.5	<0.8	-	36.4	8.8
PR1-9	40.0025	79132.19	106.9	8.5	3.3	0.6	<0.8	-	23.0	8.9
PR1-10	40.0015	80793.73	132.5	8.7	4.0	0.6	<0.9	-	20.2	8.9
PR2-11	40.0023	84567.67	96.9	7.9	2.3	0.6	0.6	0.3	21.9	9.2
PR2-12	40.0009	85136.60	88.4	7.8	1.2	0.5	<0.8	-	20.2	8.9
PR2-13	40.0031	89621.79	88.5	7.4	2.6	0.5	<0.8	-	17.5	8.5
PR2-14	40.0035	78109.95	72.9	7.5	2.6	0.7	<0.9	-	23.2	9.1
PR2-15	40.0041	169659.58	85.3	6.3	3.0	0.4	0.8	0.2	29.9	7.2
PR2-16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR2-17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR2-18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR2-19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR2-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR2-21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR2-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PR2-25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-