

Stage de fin d'année

Présenté par

Mathieu Dolbecq

Promotion Bombard 2004-2006

Acquisition et dépouillement de données physiques et physico-chimiques de trois baies impactées par l'apport minier en Nouvelle-Calédonie.

Institut National des Sciences et Techniques de la Mer
CNAM- Cherbourg

Pour l'obtention du :

DIPLOME DE TECHNICIEN SUPERIEUR DE LA MER (DTSM)

Délivré par:

Le Conservatoire national des arts et métiers (Cnam)

Stage placé sous la responsabilité de Jean Michel Fernandez, effectué du 24/04 au 31/08/2005 au Centre IRD de Nouméa BP A5 98848 Nouméa cédex Nouvelle Calédonie, tel: (687) 261000, fax: (687)264326. Institut de recherche pour le développement

REMERCIEMENTS

Je tiens d'abord à remercier tout particulièrement Jean Michel FERNANDEZ, Chargé de Recherche en Géochimie au centre IRD Nouméa, qui malgré une extrême sollicitation, a fait preuve durant ces quatre mois d'une grande sympathie et disponibilité en tant que maître de stage. Je lui suis également très reconnaissant pour le grand enthousiasme qu'il a su me faire partager en ce qui concerne l'océanographie, ainsi que les perspectives qu'il a pu m'offrir pour mon arrivée dans la vie active.

Je tiens également à remercier Ben MORETON, ingénieur de recherche en Géochimie pour son encadrement durant la première partie du stage, ses nombreux conseils et bien sur sa sympathie.

Merci également à Pascal DOUILLET, et à Aymerick JOUON, respectivement Chargé de Recherche et Doctorant en Océanographie physique côtière, pour leur aide précieuse en matière de traitement de données ainsi que leur disponibilité.

Sans oublier Robert LEBORGNE pour ses conseils divers et variés ainsi que l'accueil dont il m'a fait part dès mon arrivée sur le territoire calédonien et tout au long de ce stage.

Et merci à Alain BELANDHOUS et Jean Pierre LAMOUREUX, techniciens à l'IRD, pour leurs conseils et leur bonne humeur quotidienne.

Sommaire

I.	Contexte	1
A.	Présentation de l'IRD	1
A.1.	<i>L'IRD dans le monde</i>	1
A.2.	<i>L'IRD en Nouvelle-Calédonie</i>	1
B.	Nouvelle Calédonie	2
C.	L'Unité de recherche CAMELIA et le PNEC	3
II.	Objectifs du stage	4
III.	Présentation de la zone d'étude	5
IV.	Matériel et méthodes	7
A.	Lignes instrumentées	7
B.	Mesures en continu	8
B.1.	<i>Courantométrie à effet doppler</i>	8
B.1.a.	Principe de la mesure	8
B.1.b.	Appareillage	8
B.2.	<i>Données météorologiques</i>	9
B.3.	<i>Traitement des données</i>	9
C.	Mesures instantanées	10
C.1.	<i>Acquisition des paramètres physico-chimiques</i>	10
C.2.	<i>Granulométrie laser in situ</i>	11
C.2.a.	Principe de la mesure	11
C.2.b.	Utilisation	12
C.3.	<i>Traitement des données CTD et LISST</i>	12
D.	Prélèvement d'eau	13
D.1.	<i>Prélèvement d'eau destinée à l'analyse des métaux dissous</i>	13
D.2.	<i>Prélèvement d'eau destinée à la mesure de la charge en matières en suspension</i>	13
E.	Organisation des missions à la mer	13
E.1.	<i>Protocole de l'intervention</i>	13
E.2.	<i>Calendrier des sorties en mer</i>	15
V.	Résultats et discussion	16
A.	Baie de Boulari	16
A.1.	<i>Variations de la hauteur d'eau dues à la marée</i>	16
A.2.	<i>Vent et courant</i>	17

<i>A.3. Précipitations</i>	19
<i>A.4. Température et salinité</i>	19
<i>A.5. Turbidité et granulométrie</i>	20
<i>A.6. Interprétations</i>	20
B. Baie de Dumbéa	22
<i>B.1. Vent et courant</i>	22
<i>B.2. Précipitations</i>	22
<i>B.3. Température et salinité</i>	24
<i>B.4. Turbidité et granulométrie</i>	24
<i>B.5. Interprétations</i>	24
C. Baie de St Vincent	26
<i>C.1. Vent et courant</i>	26
<i>C.2. Précipitations</i>	26
<i>C.3. Température et salinité</i>	26
<i>C.4. Turbidité et granulométrie</i>	28
<i>C.5. Interprétations</i>	28
Conclusion	30
Bibliographie	32
Liste des figures	33
Liste des annexes	34

I. Contexte :

A. Présentation de l'IRD :

A.1. L'IRD dans le monde :

L'Institut de recherche pour le Développement (IRD) est un établissement public à caractère scientifique et technique (EPST). Par décret ministériel en 1988, l'ORSTOM devient l'IRD. Cet institut est rattaché à la fois au Ministère de la recherche et à celui de la Coopération. Trois missions essentielles lui sont attribuées : la recherche, l'expertise et la formation.

L'institut compte 97 unités réparties dans le monde dont 82 sont des unités de recherches et 15 sont des unités de service. Des programmes de recherche scientifique, basés sur l'étude des relations entre l'homme et son environnement, sont menés en Afrique, en Amérique Latine, en Asie, dans l'Océan Indien et dans le Pacifique. Ils visent à aider au développement durable dans ces parties du monde. Ces travaux sont menés en collaboration avec des institutions de recherche et d'enseignement supérieur françaises ainsi que des partenaires étrangers.

A.2. L'IRD en Nouvelle –Calédonie :

Le centre IRD de Nouméa a été créé le 2 Août 1946 sous l'appellation d'Institut Français d'Océanie. Le site de Nouméa comporte 5 unités de service et 13 de recherche qui travaillent sur des sujets variés : océanographie, écologie marine, géologie, géophysique, pharmacologie, agronomie, botanique, entomologie, archéologie, etc. Elles sont rattachées à 47,5% au Département Ressources Vivantes (DRV), à 43% au Département Milieux et Environnements (DME) et à 9,5% au Département Santé et Sociétés (DSS). Les unes ont pour finalité d'accroître les connaissances scientifiques de la zone intertropicale tandis que les autres ont pour mission de valoriser les résultats de la recherche en répondant aux demandes d'expertise des partenaires locaux.



C. L'Unité de recherche CAMELIA et le PNEC :

L'Unité de Recherche UR103 CAMÉLIA s'intéresse aux mécanismes de transport et de transformation des apports en particules responsables de l'hypersédimentation, des apports organiques et inorganiques responsables de l'eutrophisation et des apports en métaux potentiellement toxiques.

Tout en identifiant des questions scientifiques actualisées, Camélia s'inscrit dans le prolongement de la dynamique de recherche mise en œuvre depuis 1996 sur le thème général de l'influence des activités humaines sur les écosystèmes côtiers et tropicaux.

En effet, les états insulaires du Pacifique sont soumis à de profondes mutations économiques qui ont de fortes implications sur l'équilibre de l'environnement côtier.

Comme de nombreuses zones côtières tropicales, le lagon de Nouvelle-Calédonie, subit des perturbations environnementales d'origine anthropique qui sont principalement liées à l'urbanisation de la presqu'île de Nouméa et à l'exploitation minière (nickel essentiellement) à ciel ouvert (Labrosse et al., 2000). Le développement économique de l'île s'appuie en particulier sur la mise en place de projets miniers.

L'exploitation des latérites dans le Sud de la Nouvelle-Calédonie par la société GoroNickel fera l'objet d'un nouveau procédé d'extraction par lixiviation acide dont les implications environnementales sont encore mal cernées. Le lagon de Nouméa se présente donc comme un site d'étude particulièrement intéressant, caractérisé par un écosystème tropical oligotrophe soumis à des pressions anthropiques croissantes dans une zone délimitée par le récif barrière, l'isolant en grande partie du large.

Il a été proposé dans le cadre du Programme National Environnement Côtier (PNEC-Chantier Nouvelle-Calédonie) de développer une approche de modélisation du fonctionnement de l'écosystème lagunaire d'un point de vue géochimique, sédimentologique et hydrodynamique.

II. Objectifs du stage:

Un axe de recherches mené dans le cadre du PNEC est orienté de manière à former un CONTINUUM dans l'étude de la géochimie des métaux, entre le milieu terrestre et lagunaire. Par ailleurs, cette étude qui combine des expériences *in-vitro et in-situ*, intègre la variabilité temporelle liée aux conditions météorologiques qui régissent l'intensité du lessivage des sols tropicaux afin de pouvoir :

- Evaluer les quantités totales et les variations de flux en éléments métalliques issus de bassins versants différents ;
- Comparer les apports (nature des particules et quantités de métaux) ;
- Estimer la disponibilité des métaux véhiculés par les particules terrigènes.

Les couches néphéloïdes (surface et/ou fond) qui prennent naissance au droit des embouchures, facilitent le transport des métaux (formes particulières, complexées ou dissoutes) à la faveur de l'hydrodynamisme général et des conditions météorologiques locales. Une fraction du matériel particulaire sédimente et contribue à la construction des prismes pro-deltaïques qui constituent un « système puits » temporaire pour les métaux, système pouvant se convertir en terme source secondaire en fonction d'un certain nombre de facteurs d'influence.

Dans les lagons des régions tropicales soumis à des précipitations atmosphériques de type cyclonique, d'importantes quantités de matériel terrigène sont introduites de manière pulsée. Cette particularité conduit à proposer un programme qui tienne compte des phénomènes liés aux conditions météorologiques (saisonnalité des épisodes pluvieux).

Des réponses apportées, on pourra tenter de conclure sur l'efficacité potentielle des ouvrages tels que les barrages filtrants et décanteurs destinés à la rétention d'une fraction plus ou moins grossière des stériles de mines, mis en place pendant ou après l'exploitation.

Le travail effectué durant ce stage s'est porté d'une part sur la compréhension des interactions entre les paramètres dynamiques (météorologie, courantologie), physico-chimiques (température, salinité, turbidité, transmissométrie) et granulométriques régissant les trois baies d'études. D'autre part il s'agit de tenter de trouver des relations simples pour expliquer les variabilités observées.

Pour le besoin de l'étude, deux campagnes de prélèvements et de mesures physico-chimiques ont été mises en œuvre, sur deux périodes correspondant à des situations climatiques distinctes des zones tropicales. L'une a été programmée du 18 novembre au 16 décembre 2005 et correspond à la saison sèche, avec un ensoleillement important ; l'autre pendant la période du 24 avril au 17 mai 2006, correspondant statistiquement à la fin de la saison des pluies.

Le travail présenté dans ce rapport correspond au traitement des données de la campagne de novembre/décembre 2005, bien qu'ayant participé à la collecte de toutes les données de la campagne suivante.

Remarque :

Cet objectif principal m'a également conduit à effectuer, sur une courte période, un travail de mise au point de technique analytique en laboratoire pour doser les métaux dissous, qui ne figure pas dans ce rapport. Les détails techniques concernant cette partie de mon stage sont présentés dans le rapport de M.Ardyna.

III. Présentation de la zone d'étude :

Ce travail a été développé autour de 3 systèmes estuariens du lagon sud-ouest calédonien, caractérisés par des apports terrigènes de nature différente :

- La baie de **St Vincent** dans laquelle se déverse la rivière La Tontouta. Son bassin versant accueillant une exploitation minière en activité (**bassin de la Tontouta**) ;
- La baie de **Boulari** dans laquelle se jette la rivière La Coulée. Son bassin versant a fait l'objet d'une intense extraction du nickel et les gisements sont désaffectés de longue date. Les sols sont encore aujourd'hui dévégétalisés et subissent une importante lixiviation (**bassin de la Coulée**).
- La baie de **Dumbéa** dans laquelle aboutit la rivière Karikouïé. Ce système estuarien est exempt de toute activité minière en amont, présente ou passée, et donc servira de référence à l'étude (**bassin de Karikouïé**).

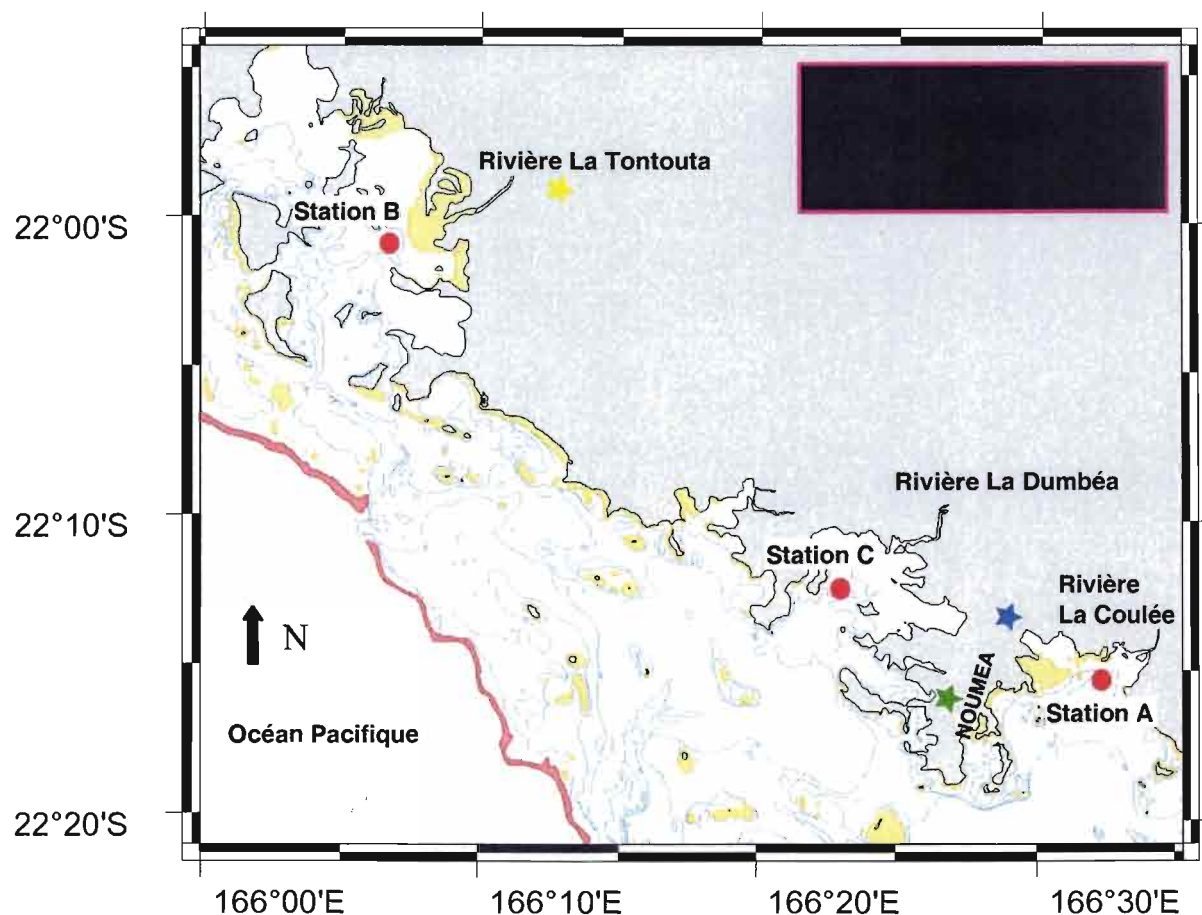


Figure 2 : Carte de la zone d'étude.

Hormis leur contexte minier, les caractéristiques hydrodynamiques et météorologiques de ces trois baies diffèrent sur plusieurs points. En effet, la Nouvelle-Calédonie s'étendant sur un axe N-W / S-E quasi-longitudinal à l'Alizé de Sud-Est (vent dominant), plus on va vers le nord, plus l'alizé est atténué par les effets de reliefs. Nos trois baies subissent donc des expositions au vent différentes de par leur emplacement géographique (figure 2).

- La baie de Boulari, la plus méridionale, est particulièrement exposée aux alizés d'autant plus qu'elle est très ouverte sur le lagon.
- La baie de Dumbéa est abritée par la presqu'île de Nouméa.
- La baie de St Vincent ne reçoit que des vents faibles car adossée à la chaîne de montagnes d'un côté, et de nombreux îlots la parsèment ce qui limite les échanges avec le lagon.

IV. Matériel et méthodes :

Cette partie présente le type d'appareillage utilisé, ainsi que le principe des différentes mesures et le traitement des données. Sont ici regroupées selon le type de traitement d'une part, les mesures effectuées en continu que l'on représentera par des évolutions temporelles, d'autre part les mesures instantanées que l'on représentera par des profils verticaux dans la colonne d'eau.

A. Lignes instrumentées :

Dans chaque baie, une ligne instrumentée a été mouillée et des mesures ponctuelles ainsi que des prélèvements ont été effectués. Ces points, ou stations (invariants d'une campagne à l'autre), ont été déterminés pour être le plus près possible des embouchures des rivières respectives tout en se situant à une bathymétrie d'environ -12 mètres.

Position des lignes instrumentées et des stations de mesures :

Station St Vincent	S 22°00.561
(B)	E 166°06.635
Station Dumbéa	S 22°12.291
(C)	E 166°23.243
Station Boulari	S 22°15.355
(A)	E 166°32.126

Chaque ligne de mouillage est équipée d'un piège à sédiment maintenu verticalement par des bouées. Un courantomètre à effet doppler solidaire d'une structure rigide indépendante est posé sur le fond. Un système de bouées permet à la ligne de se maintenir à la verticale.

Le piège à sédiment, d'une section de 0,05 m² (Marque Technicap, Module PPS 4/3), permet d'échantillonner les particules qui sédimentent sur un cycle de 48h. Un carrousel programmable permet de présenter successivement 12 godets devant le collecteur du piège.

B. Mesures en continu :

B.1. Courantométrie à effet doppler :

B.1.a. Principe de la mesure :

L'effet Doppler correspond à la variation apparente de la fréquence d'une onde émise par une source en mouvement par rapport à un observateur immobile.

Les courantomètres font office d'émetteur et de récepteur. Les transducteurs (émetteurs/récepteurs) des courantomètres émettent un signal acoustique. Cette onde est successivement réverbérée sur différentes couches d'eau contenant des micro-organismes (plancton) et des particules en suspension. Ces particules sont supposées sans mouvement propre et ne se meuvent qu'avec le courant qui les emporte. La vitesse de déplacement de ces particules est donc directement liée la vitesse du courant.

Le temps entre l'émission et la réception du signal permet de déterminer la distance de la tranche d'eau échantillonnée ; la variation de fréquence entre deux signaux permet de déterminer la vitesse de la tranche d'eau.

En général ce type d'appareil possède trois ou quatre transducteurs qui émettent et reçoivent dans différentes directions, ce qui permet d'avoir une vitesse pour chaque dimension.

B.1.b. Appareillage :

-ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) :

Cet appareil mesure, tous les mètres, des vitesses dans les trois dimensions : une vitesse horizontale par rapport à l'Est, une vitesse horizontale par rapport au Nord et une vitesse verticale. Nous avons utilisé deux ADCP , l'un mouillé à la station de St Vincent (B) et l'autre mouillé à la station de Dumbéa (C). Ces appareils étaient fixés directement sur le fond à l'aide d'une armature métallique et du lest afin de stabiliser l'ensemble.

-ADV (Acoustic Doppler velocimeter) :

Nous avons utilisé cet appareil pour la station de Boulari (A).



Figure 3 : Photographie du courantomètre ADV fixé au fond.

L'ADV (figure 3) fonctionne sur le même principe que l'ADCP mais ne mesure le courant que sur la couche d'eau où il est mouillé. C'est pourquoi il était fixé sur le piège à sédiment, au lieu d'être fixé au fond. Cette configuration permet d'avoir accès à la vitesse du courant à la profondeur d'ouverture du piège mais présente l'inconvénient d'être potentiellement mobile avec la ligne de mouillage.

Un capteur de pression couplé à l'ADV permet d'avoir les variations de pressions et donc de hauteur d'eau, ce qui renseigne sur les ondes de marée.

B.2. Données météorologiques :

Les données météorologiques archivées qui correspondent aux périodes d'expérimentation in situ ont été fournies par Météo-France sous la forme d'un fichier excel, contenant les valeurs horaires de pression atmosphérique, direction du vent, vitesse du vent, précipitations et température.

Ces valeurs ont été enregistrées pour des stations proches des baies d'étude, à savoir la station de Tontouta pour la baie de St Vincent, celle de Nouméa et de Magenta (Nord-Est de Nouméa) pour les baies de Dumbéa et de Boulari, respectivement. Cependant il faut rester critique pour utiliser ces données, l'emplacement des stations météorologiques n'étant pas forcément soumis exactement aux mêmes conditions météorologiques que les baies d'études. En effet, pour le domaine de Boulari, la station de Magenta enregistre généralement des valeurs de vents plus faibles que celle de Nouméa qui est située en au sommet du Mont Coffyn. D'autre part, compte tenu de l'influence des reliefs sur la formation de précipitations, les bassins versants reçoivent une quantité de pluie vraisemblablement bien supérieure aux valeurs enregistrées le long du littoral. Les trois stations météorologiques sont représentées par des étoiles sur la figure 2.

B.3. Traitement des données :

• Données courantologiques :

Ces données ont été extraites des courantomètres sous la forme d'un fichier excel.

A partir des composantes horizontales qui sont en fait des normes de vecteurs (V_{Est} et V_{Nord}), on peut calculer une vitesse effective ainsi qu'une direction.

Pour avoir une vitesse horizontale effective, il a fallu appliquer la formule :

$$V_{eff} = ((V_{Est})^2 + (V_{Nord})^2)^{1/2}$$

La valeur de la tangente des deux vitesses relatives a permis de calculer la direction suivant l'expression :

$$Z = \text{Arc tan}(V_{Est} ; V_{Nord}) + 13$$

Le courantomètre mesurant la direction selon le nord magnétique, une correction de + 13° est nécessaire pour tenir compte de la déclinaison magnétique et avoir une direction par rapport au nord réel.

Dans ce rapport il n'est pas tenu compte de la composante verticale des courants.

• Données météorologiques :

Les données ont été représentées graphiquement par :

- Des courbes représentant la température en °C en fonction du temps.
- Des diagrammes à battons correspondant au volume d'eau tombé par jour.

Pour représenter les courants, ainsi que les vents en fonction du temps, on se confronte au problème lié au fait qu'on a alors 3 dimensions (temps, vitesse, direction), et que l'évolution de la direction donnée en degré n'est pas facilement interprétable graphiquement. Un programme permettant de réaliser des « Diagrammes Pennés » a donc été utilisé. Ce type de diagramme représente des vecteurs dont la norme est proportionnelle à la vitesse, et la direction du vent ou du courant, sont représentés sur un axe horizontal orienté Nord-Sud correspondant au temps.

C. Mesures instantanées:

Ces mesures ont été obtenues par immersion de sondes d'acquisition sur chaque station suivant un calendrier pré-établi.

C.1. Acquisition des paramètres physico-chimiques :

La structuration verticale des masses d'eau sur chacune des stations échantillonnées, a été obtenue par des profils verticaux réalisés à l'aide d'une sonde **CTD SEABIRD** (Model SBE19) équipée de capteurs additionnels (figure 4).

Les paramètres mesurés par la sonde multiparamétrique sont les suivants :

- La pression, elle permet de calculer la profondeur ;
- La salinité déduite de la conductivité ;
- La température (°C) ;
- La turbidité par mesure de la néphélométrie exprimée en FTU (Formazin Turbidity Units) : $1\text{FTU} \approx 1\text{ mg.L}^{-1}$ de matière particulaire sèche (capteur Sea Point) ;
- La fluorescence *in vivo* exprimée en unités arbitraires et permettant après calibration par croisement avec les données collectées *in situ*, de calculer les concentrations en pigments chlorophylliens (capteur Wet labs).



Figure 4 : Photographie de la sonde CTD prête à être mise à l'eau.

La vitesse d'acquisition de cette sonde est de 4 mesures par seconde, ce qui permet d'avoir 1 série de données tous les 25 cm en la descendant à 1 m/s.

C.2. Granulométrie laser *in situ* :

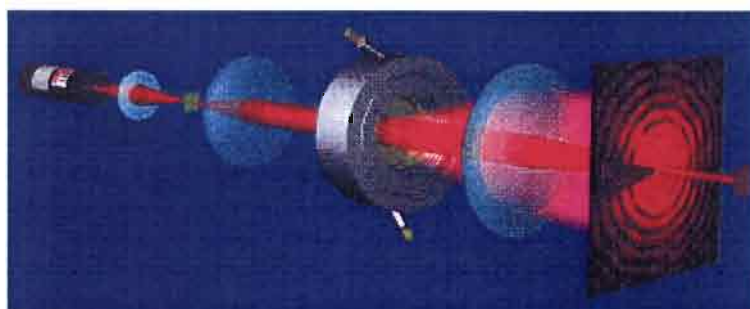
Cette technique nous a permis de connaître la distribution granulométrique des particules en suspension le long de la colonne d'eau ; c'est à dire la détermination de la taille des particules qui constituent des ensembles de grains ainsi que la quantité de particules à l'intérieur de plusieurs classes de tailles. La taille des particules est une caractéristique fondamentale qui affecte leur capacité à la mise en suspension, leur transport et enfin leur dépôt.

C.2.a. 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 (1908).

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. La lumière non diffractée (transmise) est toujours focalisée dans le foyer sur l'axe optique et peut être mesurée. A la différence de la lumière diffractée, l'intensité de celle-ci varie selon la nature des particules traversées.

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 une distribution en volumes.



Mise en évidence des différents anneaux de diffraction.

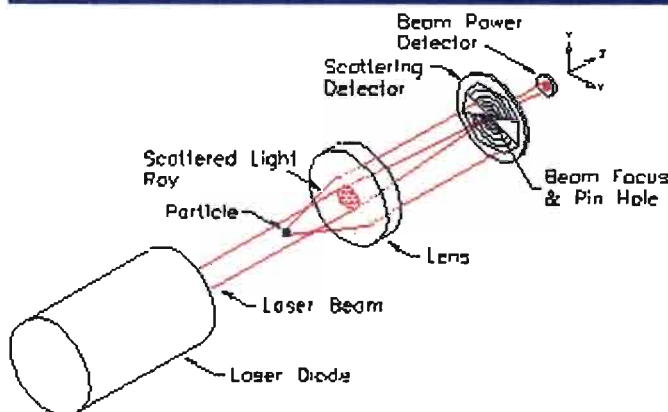


Figure 5: Schémas du système interne du granulomètre laser.

Dans notre cas, le granulomètre SEQUOIA (Model **LISST 100X**) se caractérise par un détecteur qui classe les signaux en 32 raies différentes correspondant à 32 classes granulométriques normalisées comme celles des tamis de granulométrie.

Il est à noter que cette technique se base sur l'hypothèse que la suspension est assez diluée pour que le rayon diffracté sur une particule ne soit pas diffracté plusieurs fois avant d'atteindre le détecteur. En général ce phénomène n'est pas observé pour les concentrations rencontrées dans les eaux naturelles, le LISST 100X étant spécialement conçu pour l'analyse *in situ*.

C.2.b. Utilisation :

Le **LISST 100X** est immergé à une vitesse de 1m/s jusqu'au fond puis remonté ensuite. La vitesse d'acquisition étant de 1 cast toutes les 0,25 secondes, cette vitesse d'immersion permet d'avoir environ 4 mesure par mètre.

Il faut veiller à rincer l'armature entre chaque mesure pour ne pas polluer la mesure suivante avec des particules sédimentaires par contact avec le fond. Les mesures prises pendant la remontée ne sont pas prises en considération pour des raisons similaires.

C.3. Traitement des données CTD et LISST :

Les données collectées par les sondes ont été transférées sous format ASCII. Un programme développé à l'IRD sous Matlab (Aymerick Jouon) a été adapté à mes besoins pour rassembler sous un même fichier les données provenant des deux appareils.

Sur la même fenêtre graphique, nous avons donc pu obtenir, d'une part, un graphique représentant verticalement (selon la profondeur) la turbidité, la lumière transmise, la température, la salinité ainsi que le volume total de particules (somme des classes), d'autre part, un histogramme en 3 dimensions représentant la distribution granulométrique en fonction de la profondeur, où figurent :

- En abscisse (X) les médianes des classes granulométriques le long d'une échelle logarithmique ;
- En ordonnée (Y), la séquence de lecture du granulomètre, en correspondance avec la profondeur ;
- En Z, un chiffre représentant la quantité de matière, ici équivalent au volume de particules mesurées.

Afin de faciliter la lecture des figures granulométriques nous avons choisi de séparer les classes en grands groupes caractérisés par des couleurs. Ainsi, nous désignerons par :

- « petites classes », les particules inférieures à 7,75 μm , représentées en bleu ;
- « moyennes classes », les particules comprises entre 7,75 et 40,6 μm , représentées en vert et jaune ;
- « grandes classes », les particules de 40,6 μm à 180 μm (limite supérieure), représentées en rouge.

Cette classification est pour l'instant suffisante pour les interprétations qui seront faites des données granulométriques. Les limites des classes granulométriques ainsi que les médianes sont toutefois présentées en annexe I.

Le programme utilisé nécessitant encore de nombreuses améliorations, les valeurs des médianes affichées le long de l'axe des abscisses ne sont pas lisibles. De plus, pour avoir une échelle invariante d'un graphique à l'autre au sein d'une même station, nous avons créé une valeur maximale dans la classe la plus grande, au cas le plus profond, qu'il ne faut pas considérer.

D. Prélèvement d'eau :

D.1. Prélèvement d'eau destinée à l'analyse des métaux dissous :

Pour prélever l'eau destinée à l'analyse géochimique (dosage de métaux traces) il est important de ne pas contaminer l'échantillon. Pour cela, il est utilisé une bouteille General Oceanics (Model Go-Flo). Ces bouteilles présentent l'avantage d'être revêtues intérieurement en téflon, matériau inerte. Pour être certain qu'il n'y ait aucun métal adsorbé, ces bouteilles sont rincées à l'acide nitrique avant chaque mission.

La bouteille de prélèvement est immergée et descendue à la profondeur d'ouverture du piège, puis refermée grâce à l'envoi d'un message le long du filin qui déclenche un mécanisme armé préalablement. Elle est ensuite remontée pour effectuer le transfert de l'eau dans du flaconnage en PEHD conditionné dans une succession de bains d'acides. Toutes ces manipulations sont effectuées avec des gants en latex et les flacons sont rincés trois fois avec l'eau prélevée avant d'être remplis. Ils sont ensuite placés dans une glacière jusqu'au retour au laboratoire où ils seront traités.

D.2. Prélèvement d'eau destinée à la mesure de la charge en matières en suspension :

Pour évaluer la concentration massique de matières en suspension, l'eau a été prélevée a été prélevée avec une bouteille General Oceanics (Model Niskin). L'eau échantillonnée a été stockée dans une bouteille plastique de 3L.

E. Organisation des missions à la mer :

E.1. Protocole de l'intervention :

Les campagnes de novembre/décembre 2005 et d'avril/mai 2006 ont été organisées selon un même schéma, seule l'acquisition des données granulométriques n'a pas eu lieu au cours de la deuxième campagne.

Les sorties ont été programmées tous les deux jours dans les trois baies d'études, à l'aide d'une petite embarcation.

Les profils physicochimiques et les prélèvements d'eau ont été conduits systématiquement d'abord en baie de Boulari, ensuite en baie de Dumbéa pour finir en baie de St Vincent, avec des horaires relativement fixes.

Cet itinéraire a permis de naviguer et manipuler avec des états de mer les plus calmes car l'alizé de Sud-Est augmente en général en puissance au fur et à mesure de la journée du Sud vers le Nord.

Les stations sont localisées par un GPS portable (Global positioning system) dans lequel le nom du point (waypoint) est préalablement saisi, la route à suivre est indiquée par le traceur. A proximité du site, le mouillage de l'ancre permet de travailler sans dérive.

Equipement de l'embarcation :

- 2 bouteilles Go-Flo pour réaliser les prélèvements d'eau destinés à l'analyse géochimique.
- 1 bouteille Niskin pour prélever de l'eau destinée à être filtrée.
- Bouteilles en PEHD pour stocker l'eau prélevée
- Sonde CTD
- Glacière
- GPS portable
- Gants en latex
- Carnet de notes

L'ordre des interventions a été le suivant :

- Immersion de la bouteille Go-Flo pour échantillonner l'eau destinée à l'analyse géochimique ;
- Immersion de la bouteille Niskin pour prélever l'eau destinée à la filtration des MES;
- Immersion de la sonde CTD suivant le protocole décrit ci-après ;
- Renseignement d'une fiche descriptive comportant le nom de la station, heure de l'intervention, temps sensible, état de mer et d'éventuels détails techniques ou observations.

Protocole d'immersion de la sonde CTD :

- Enlever le tuyau *Tygon* de protection entre l'entrée du capteur de conductivité et la sortie de la pompe.
- Fixer la sonde sur le filin amarré au bateau.
- Mettre l'interrupteur sur ON. Filer le treuil jusqu'à 1 m sous la surface. Attendre 1 minute pour que la sonde se cale sur les données de surface.
- Filer à 1 m /s jusqu'à environ la profondeur voulue, à savoir au fond dans notre cas.
- Remonter. Sonde hors de l'eau, mettre l'interrupteur sur OFF.
- Rincer la sonde à l'eau douce et remettre le tuyau *Tygon* entre le capteur de conductivité et la sortie de la pompe. Faire circuler l'eau douce et terminer le rinçage en remplissant le circuit avec une burette pour que le circuit reste toujours en contact avec de l'eau.

De retour au laboratoire, les échantillons d'eau destinés à l'analyse géochimique étaient aussitôt traités. Cette étape est décrite dans le rapport de M.Ardyna.

Récupération des données :

L'extraction des données CTD sur ordinateur a été faite selon le protocole suivant :

- Connecter la sonde au PC avec le câble série.
- Lancer le logiciel SEATERM, cliquer sur CONNECT (*wake up*), puis sur HEADER et vérifier la correspondance nombres cast = nombres stations.
- Commencer l'extraction en appuyant sur le bouton UPLOAD. Le programme ouvre une fenêtre où il faut entrer le nom du profil à récupérer. La station est codée par 4 lettres qui désignent la campagne et 3 lettres pour identifier la station.
- Renseigner l'entête pour chaque profil en suivant le format, la latitude (DD MM.N N/S), la longitude (DDD MM.M E/W), la date (JJ/MM/AA) et l'heure (HH:MM).
- Le transfert peut commencer. Recommencer l'opération autant de fois qu'il y a de profils (*casts*) à récupérer dans la mémoire de la sonde.
- Lorsque les fichiers sont transférés, quitter le programme. L'effacement des données ne sera fait qu'après traitement des données sur PC avec le bouton Initlog.

E.2. Calendrier des sorties en mer :

Sorties de novembre/décembre	Sorties d'avril/mai
18/11/05 : Mouillage des courantomètres et pièges	19/04/06 et 20/04/06 : Mouillage des courantomètres et pièges
22/11/05 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>	24/04/06 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>
24/11/05 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>	26/04/06 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>
25/11/05 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>	28/04/06 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>
30/11/05 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>	02/05/06 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>
02/12/05 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>	04/05/06 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>
06/12/05 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>	05/05/06 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>
07/12/05 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>	09/05/06 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>
09/12/05 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>	11/05/06 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>
12/12/05 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>	15/05/06 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>
14/12/05 : <i>prélèvements / mesures physiques</i>	17/05/06 et 01 et 02/06/06: Relevage des courantomètres et pièges
15/12/05 : Relevage des courantomètres et pièges	

V. Résultats et discussion :

A. Baie de Boulari :

A.1. Variations de la hauteur d'eau dues à la marée :

Le capteur de pression de l'ADV permet de mettre facilement en évidence le cycle de marée semi-diurne avec un marnage peu important allant de 0,60 m à 1,20 m. La figure 6 montre qu'entre deux cycles de marée successifs les marnages ne sont pas égaux, ce traduit une alternance de : petite marée basse puis petite marée haute, grande marée haute et grande marée basse.

Par ailleurs, on distingue nettement les périodes de forts coefficients (vives eaux) et de faibles coefficients (mortes eaux) en rouge sur la figure.

Les périodes de mortes eaux et vives eaux observées à Boulari peuvent être considérées similaires dans les autres baies en raison de la proximité des sites.

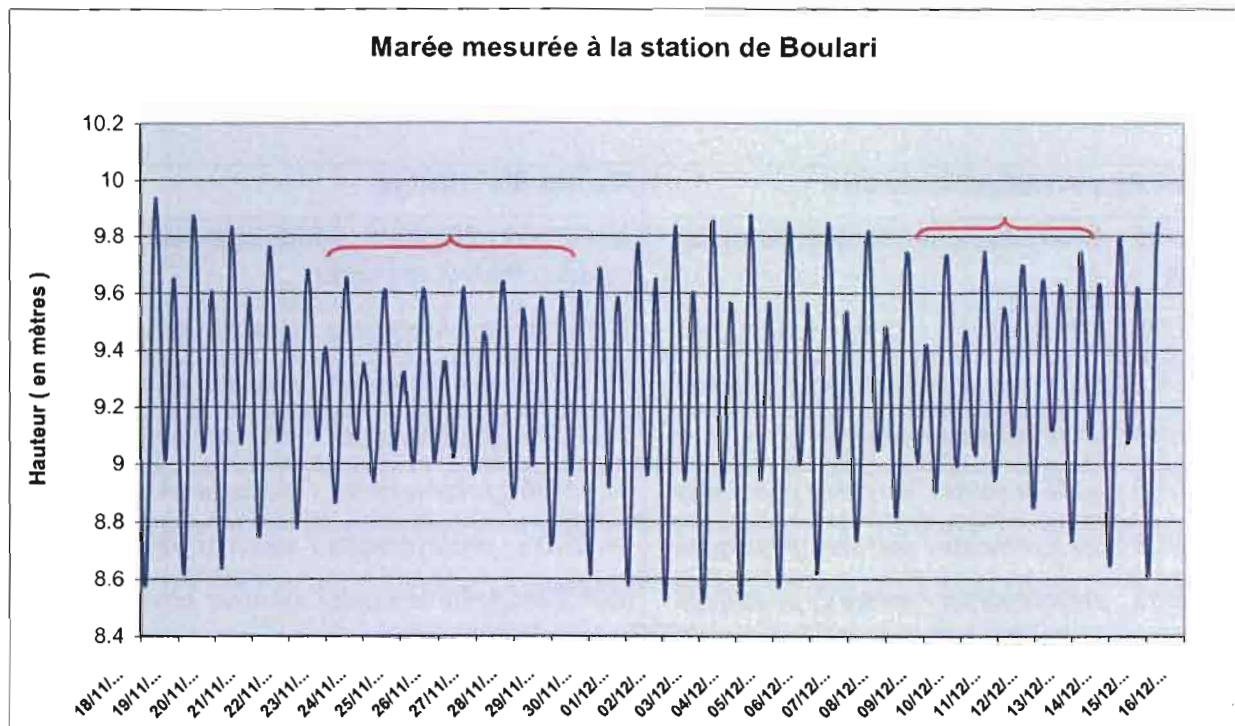


Figure 6 : Variation de la hauteur d'eau en fonction du temps au niveau de l'ouverture du piège à sédiment (station A) entre le 18/11 et le 16/12/05.

En ce qui concerne l'onde de marée, on considèrera que les marées sont simultanées en baie de Boulari et en baie de Dumbéa. Pour la baie de St Vincent un décalage de 30 minutes est à prendre en compte.

A.2. Vent et courant :

Le diagramme penné (figure 8) représente le vent mesuré à Magenta et permet de distinguer globalement deux régimes de vents bien différents :

- Un régime d'alizés réguliers dominant sur la période d'étude, où le vent oscille du Nord-Est, la nuit, au Sud-Est en journée, forçant au cours de la journée jusqu'à 10 m/s (secteurs B et D) ;
- Un régime où le vent est variable avec des valeurs plus faibles, inférieures à 5 m/s, le reste du temps (secteurs A, C, et E).

En effet, au début de la période d'étude, des vents d'Ouest inférieurs à 5 m/s (secteur A) ont soufflé jusqu'au 21/11, date à laquelle commence à s'installer un régime d'alizés qui durera jusqu'au 10/12 avec cependant une brève interruption du 4 au 6/12 (secteur C). La fin de période correspond à du vent très variable avec des valeurs faibles (moins de 5 m/s).

En toute rigueur, il est difficile d'assimiler le vent mesuré à l'aéroport de Magenta à celui de la station de prélèvement de Boulari. Cependant en comparant le diagramme penné représentant le vent à Magenta et celui représentant le courant à -9 mètres à la station de Boulari (figure...), on peut mettre en évidence quelques réponses hydrodynamiques :

- Pendant le régime d'alizés, le courant mesuré à 9 mètres de profondeur oscille de l'Est à l'Ouest (dominance vers l'Est) avec des vitesses ne dépassant pas les 4 cm/s ;
- Dans les périodes où l'alizé n'est pas soutenu, le courant oscille sur tout le secteur Ouest mais ne tourne quasiment plus vers l'Est (secteurs A et E) ;
- L'apparition brusque de courants d'Ouest (C'), dont la valeur atteint 10 m/sec, est en correspondance notamment avec une atténuation conséquente de l'alizé (secteur C), avec cependant un effet « retard » sur le vent.

L'effet de la marée sur la mise en place des courants est difficile à mettre en évidence car le courant ne présente pas de changements de direction suffisamment significatifs.

Par ailleurs, des incertitudes dans les mesures du courant (vitesses et directions) dues au mouvement propre du courantomètre ADV qui était positionné sur la ligne de mouillage, peuvent expliquer certaines valeurs anormales comme celle observée en L sur les figures 7 et 8.

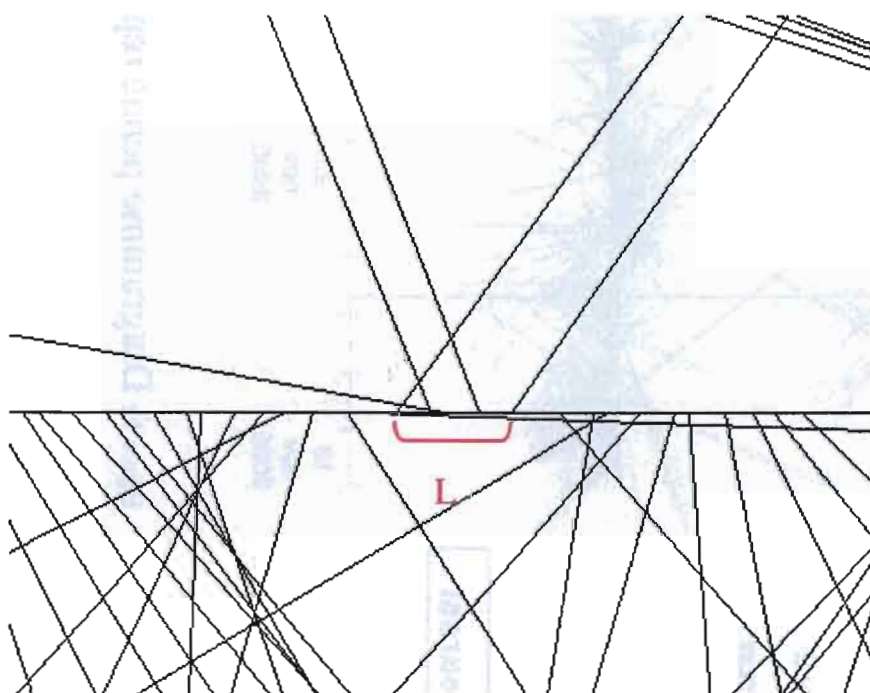


Figure 7 : Agrandissement du diagramme penné au point L.

En effet, on peut voir ici que la direction du courant change deux fois de 45° en l'espace d'une demi-heure, ce qui semble improbable pour une fluctuation naturelle.

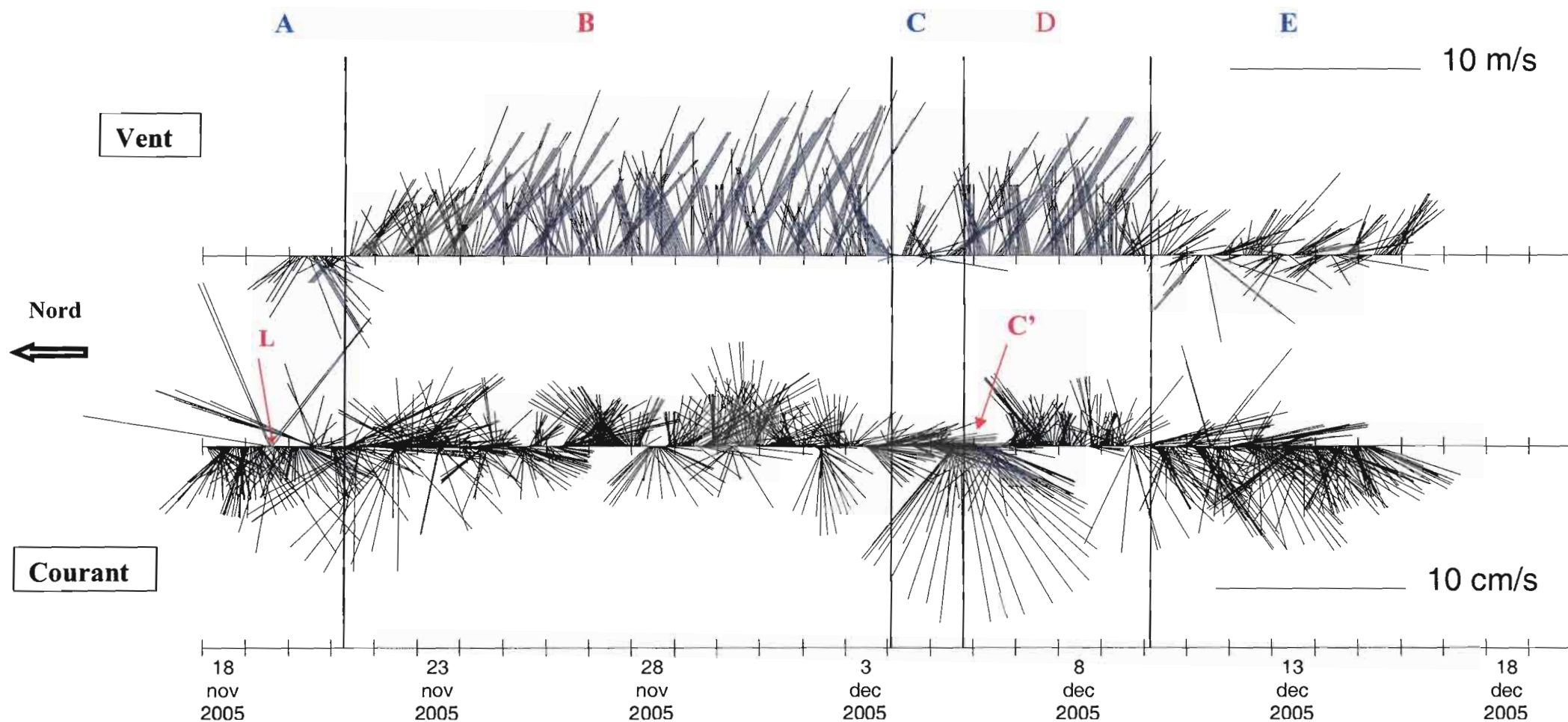


Figure 8 : Diagramme penné représentant, le vent à Magenta et le courant à la station de Boulari.

A.3. Précipitations :

Durant la période d'étude, il n'a pas beaucoup plu, la campagne de mesures ayant été programmée durant la saison sèche (figure 9). Ainsi, le 20 , 21 , puis 26 novembre des pluies n'excédant pas 2mm sont tombées, le 12 décembre, les stations météorologiques côtières de Magenta et Nouméa enregistrent respectivement 8mm et 18 mm.

Ces précipitations sont probablement bien en deçà des quantités d'eau tombées sur le bassin versant de la rivière la Coulée mais, malheureusement, celles-ci ne font pas fait l'objet d'un relevé quantitatif.

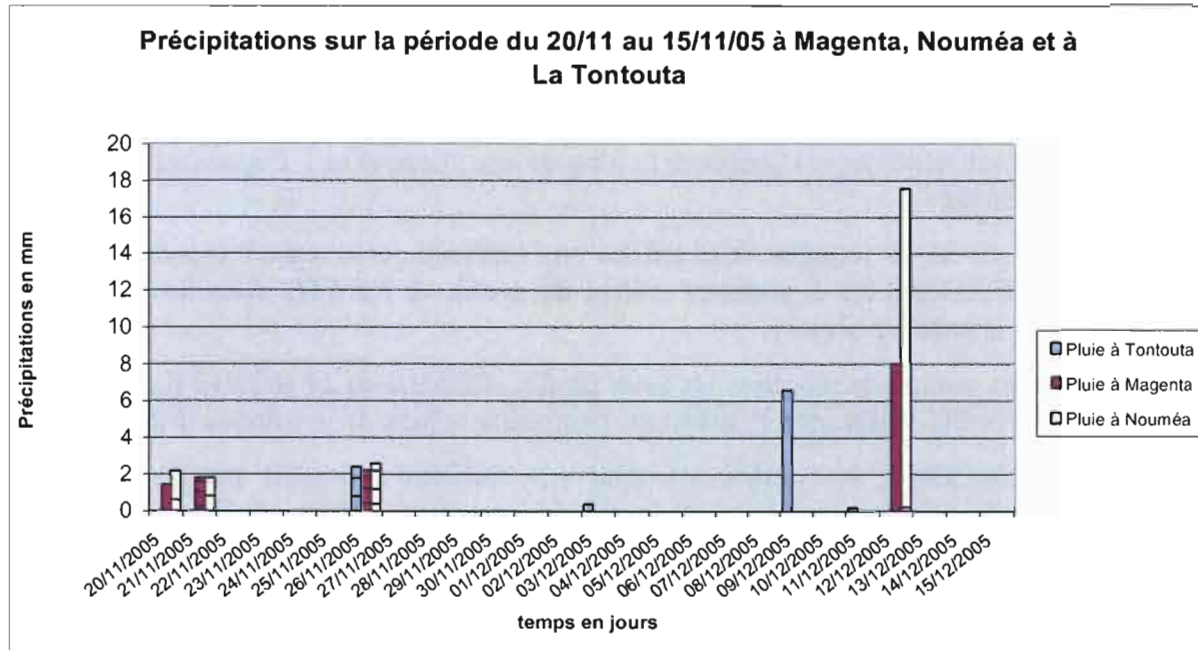


Figure 9 : Diagramme représentant la hauteur de précipitations tombées aux différentes stations météorologiques utilisées durant la période d'étude.

Même si les précipitations restent faibles pour des pluies tropicales (saison sèche), il ne faut pas sous-estimer l'impact qu'elles peuvent avoir sur la mobilisation des particules terrigènes dans un sol fortement asséché. En effet, le ruissellement de l'eau accentue le lessivage des particules terrigènes sur tout le réseau hydrographique, matière solide qui se retrouve ensuite en suspension dans les eaux du large.

A.4. Température et salinité :

Sur l'ensemble de la période, les valeurs de salinité restent homogènes le long de la colonne d'eau avec $35,8 \pm 0,2 \text{ ‰}$.

En ce qui concerne la température, celle-ci présente une homogénéité moindre puisqu'elle varie de $25,3$ à $27,5 \text{ °C}$ en surface, et de $25,3$ à $26,7 \text{ °C}$ au fond au cours du temps.

Ainsi, on note les variations temporelles suivantes :

- Entre le 22/11 et le 09/12, les profils affichent une température constante sur l'ensemble de la colonne d'eau (annexes II.a et II.f) ; le 22/11 la température moyenne de l'eau est de

26,5 °C, puis diminue progressivement jusqu'au 02/12 (25,2 °C) et augmente de nouveau sur toute la colonne d'eau le 09/12 (26,3°C).

- Le 12/12, le profil montre une particularité puisque la température s'élève à 27,5°C depuis la surface jusqu'à -7 mètres où elle chute de 2 °C jusqu'au fond (annexe II.g). Cette fluctuation verticale s'accompagne d'une augmentation de la salinité puisqu'elle passe de 36,0 ‰ en surface (-7 mètres) à 36,9 ‰ dans la couche profonde.
- Le 14/12 (annexe II.h) un schéma assez similaire se reproduit pour le profil de température mais la masse d'eau plus chaude semble avoir progressé en profondeur. La salinité quant à elle redevient constante sur toute la colonne d'eau.

A.5. Turbidité et granulométrie :

La plupart des profils de turbidité obtenus en baie de Boulari sont globalement compris entre 1 et 3 FTU et restent relativement constants le long de la colonne d'eau. Cependant, on relève quelques particularités :

- Le profil du 22/11 (annexe II.a) affiche une turbidité relativement élevée comprise entre 3 FTU, dans les 5 premiers mètres du profil, et 7,5 FTU dans les 4 derniers mètres de la colonne d'eau ;
- Par la suite, comme le montrent les deux profils ultérieurs du 24 et 25/12 (annexes II.b et II.c), la turbidité diminue et redevient homogène le long de la colonne d'eau.
- A partir du 09/12, les profils affichent une turbidité qui croît vers le fond. En particulier le 14/12, la turbidité est faible, de la surface à -10m, moins de 1 FTU, et croît ensuite à 4,5 FTU jusqu'au fond (annexes II.f et II.h).

Les diagrammes de distribution des populations granulométriques montrent que la concentration volumique totale de particules, moyennée sur toute la colonne d'eau et toute la période d'étude, est de 4,6µL/L. Toutefois une évolution temporelle est à noter.

Ainsi, le 22/11 (annexe II.a), on observe, dans toutes les classes, une quantité élevée de particules croissante vers le fond. En effet la concentration volumique totale passe de 8,3 µL/L en surface à 15,3 µL/L au fond. Les 24 et 25/11 (annexes II.b et II.c), la quantité de particules diminue progressivement dans les classes moyennes (7,75-40,6 µm), puis également dans les classes les plus grandes (>40,6 µm) à partir du 30/11 (annexe II.d). Le tri granulométrique reste ensuite assez homogène le long de la colonne d'eau et dans le temps mis à part les 12/12 et 14/12 où l'on distingue une augmentation de la concentration des particules fines (<7,75 µm) vers le fond (annexes II.g et II.h).

A.6. Interprétations :

La courantologie de la baie de Boulari témoigne d'une complexité dans l'interaction des différents facteurs. En effet, d'une part on ne retrouve pas d'influence claire de la marée et d'autre part l'impact du vent est difficile à définir également, car il n'y a pas de cohérence immédiate entre la direction du courant à la station de mesures et celle du vent. Cependant on s'aperçoit que le régime d'alizés exerce une influence sur la baie. En effet, celui-ci pousse les masses d'eau vers l'Est, c'est à dire vers le fond de la baie, atténuant l'effet d'une circulation globale qui tend à orienter le courant vers l'Ouest ; courant qui apparaît nettement dès que l'alizé faiblit ou a fortiori lorsqu'il cesse de souffler.

Ces épisodes qui génèrent les courants d'Ouest coïncident avec les moments où l'on observe des augmentations de la charge particulaire et de la turbidité près du fond. Il est impossible de dire si ces particules ont pour origine un apport par un néphéloïde benthique formé à l'embouchure de la rivière la Coulée, ni si celle-ci influence la courantologie de la baie vu son faible débit, particulièrement durant la saison sèche. Ce courant d'Ouest peut être à l'origine de phénomènes de remises en suspension des couches superficielles du sédiment.

D'autre part les cycles de mortes et vives eaux ne semble pas influencer la présence de matière en suspension près du fond.

On peut tout de même noter l'influence de la rivière lors de l'épisode pluvieux du 12/12. Il se traduit par la stratification de deux masse d'eau, mise en évidence d'une petite thermocline sous l'influence des eaux de pluie et de rivière plus chaude.

B. Baie de Dumbéa :

B.1. Vent et courant :

Le diagramme penné de la figure 10 présente, pendant la période d'étude, l'évolution du vent mesuré à la station météorologique de Nouméa et du courant mesuré dans la baie de Dumbéa. Pour cette station nous disposons des données seulement jusqu'au 06/12/05, le courantomètre ayant été retiré avant la fin de la campagne.

Le graphique présente l'évolution du vent à Nouméa, même si celui-ci n'est pas la représentation du vent réel dans la baie de Dumbéa en raison de son éloignement et de la situation géographique de la station météorologique positionnée sur le Mt Coffyn ; le vent étant probablement plus faible dans la baie et retardé dans sa progression vers le Nord-Ouest.

Toutefois et d'une manière générale, le vent enregistré à Nouméa présentait les mêmes variations qu'à Magenta (figure 8) mais simplement avec des valeurs plus fortes (alizés dépassant les 10 m/s) en raison de l'altitude du point de mesure. Cependant si on peut distinguer des épisodes météorologiques similaires, on ne retrouve pas de similitudes évidentes avec la courantologie observée dans la baie de Boulari.

Ainsi, on distingue facilement une alternance Est/Ouest du courant même si elle présente des variations en intensité. Cette oscillation qui s'effectue deux fois par jour et de façon régulière, est associée au régime de marée semi-diurne. Par ailleurs on remarque trois épisodes :

- Du 18 au 23/11, on peut distinguer successivement deux oscillations journalières différentes : la première avec d'abord un courant de Nord-Est autour de 4 m/sec puis un courant d'Ouest/Sud-Ouest de 5 à 6 cm/s, la deuxième avec un courant qui balaye de l'Est/Sud-Est à l'Ouest avec des valeurs inférieures à 3 cm/s.
- Du 23 au 28/11, le courant prend des valeurs plus faibles (inférieures à 4 cm/s) et balaye un secteur plus restreint : Est/Sud-Est à Sud-Ouest. Cet épisode correspond à une phase de morte eau comme le montre les enregistrements effectués par l'ADV.
- Du 29/11 au 06/12, le courant reprend des valeurs plus fortes autour de 5 cm/s et balaye du Nord-Est à l'Ouest sans présenter d'oscillations journalières différenciables.

B.2. Précipitations :

Les journées de précipitations enregistrées sont les mêmes que pour la baie de Boulari (figure 9) : Le 20 , 21 , puis le 26 novembre des pluies n'excédant pas 2mm, le 12 décembre, 8 mm enregistré à Magenta et 18 mm à Nouméa.

Comme pour cette dernière station météorologique, on ne peut avoir la certitude que ces valeurs représentent les pluies réellement tombées dans le bassin versant de la Dumbéa, la quantité d'eau reçue par les massifs montagneux de la chaîne étant vraisemblablement supérieure à celle enregistrée le long du littoral.

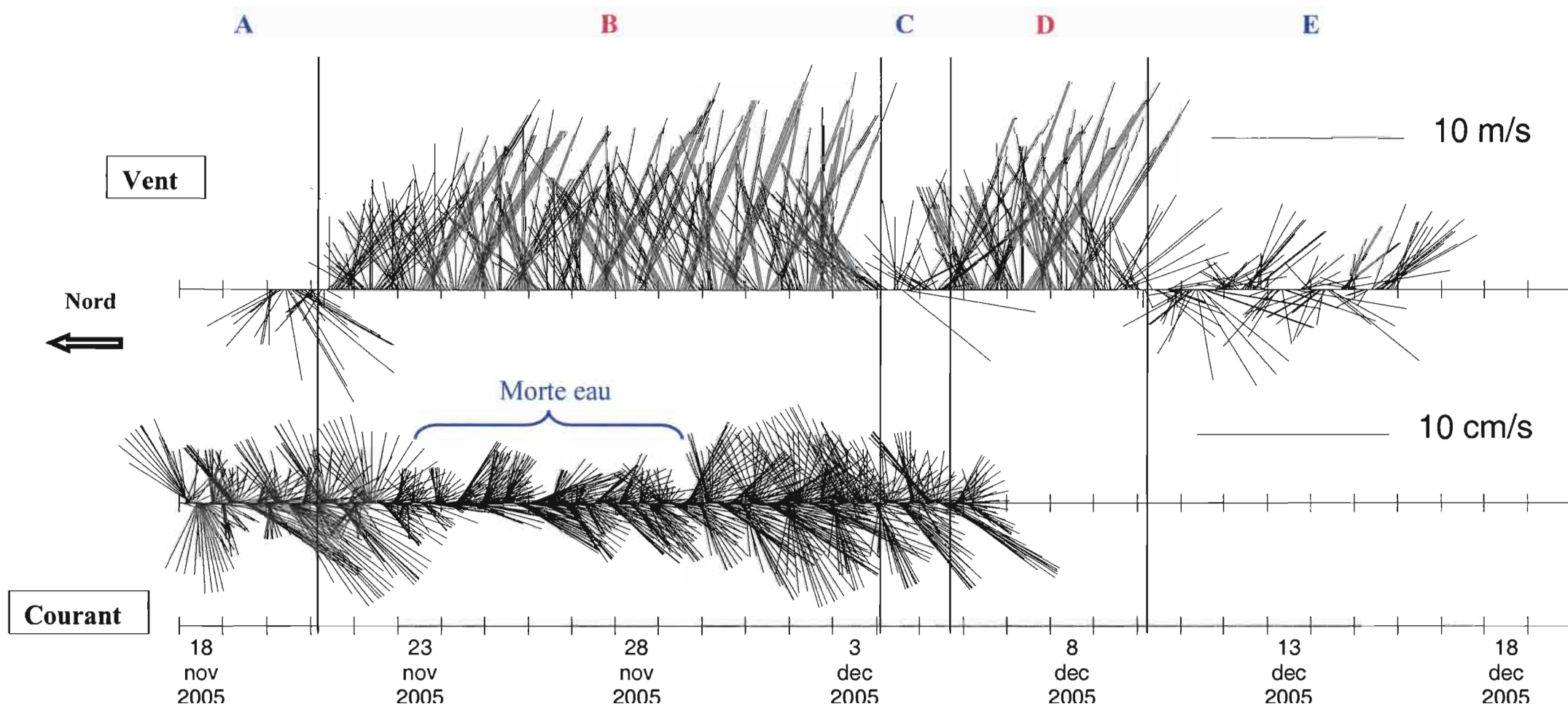


Figure 10 : Diagramme penné représentant, le vent à Nouméa et le courant à la station de Dumbéa.

B.3. Température et salinité :

Sur la période d'étude, la salinité reste homogène dans toute la colonne d'eau et dans le temps. La valeur moyenne est de $36,1\text{‰} \pm 0,1$.

A l'inverse, la température de l'eau augmente progressivement. En effet elle est passée de $25,9$ à $27,5$ °C en surface, et de $25,7$ à $27,2$ °C au fond. Cette augmentation a été principalement évidente entre le 02/12 et la fin de la période (14/12), avec une stratification de la masse d'eau qui apparaît sur les profils de température du 06 au 09/12 (exemple : annexe III.d) puis s'atténue pour céder la place à une couche homogène dont la température est de $27,5$ °C (annexe III.e).

B.4. Turbidité et granulométrie :

Dans cette baie, la concentration volumique totale de particules, moyennée sur toute la colonne d'eau et toute la période d'étude, est de $7,0\mu\text{L/L}$ et on peut remarquer que globalement le volume de particules supérieures à $40,6\mu\text{m}$ est assez important.

Un examen plus attentif met en évidence une tendance à la diminution générale de la charge particulaire entre le 24/11 et la fin de la période d'étude. En effet, la concentration volumique totale de particules diminue progressivement sur toute la colonne d'eau, de $10\mu\text{L/L}$ le 24/11 (annexe III.a), à moins de $5\mu\text{L/L}$ le 14/12 (annexe III.f). Cette diminution du volume de particules affecte en premier lieu les classes granulométriques les plus grandes ($>40,6\mu\text{m}$). Les classes les plus petites (inférieures à $7,75\mu\text{m}$) voient leur concentration diminuer seulement à partir du 09/12, comme le montrent les graphiques du 24/11, 09/12 et 14/12 (annexes III.a, III.d et III.f).

La turbidité reste relativement homogène le long de la colonne d'eau. Seuls les profils du 24/11 et du 02/12 (annexes III.a et III.b) montrent une nette augmentation de la turbidité d'une unité FTU près du fond.

La turbidité suit la même tendance que la concentration volumique et passe progressivement, du 24/11 au 14/12, d'une valeur moyenne le long de la colonne d'eau de $3,2$ FTU à $0,8$ FTU.

Sur les deux derniers profils (annexes III.e et III.f), on peut observer une légère augmentation de la turbidité vers le fond en correspondance avec la présence d'une population plus importante de fines particules ($7,75\mu\text{m}$).

Par ailleurs, à ces deux dates on constate une quantité importante de grosses particules ($>40,6\mu\text{m}$) près de la surface.

B.5. Interprétations :

La baie de Dumbéa, du fait de sa physiographie relativement fermée, ne semble pas beaucoup subir l'effet de l'alizé. En effet, la température de l'eau ne se rafraîchit pas pendant l'épisode d'alizés, et croît tout au long de la période, suivant l'évolution saisonnière normale.

Cette faible influence de l'alizé se traduit également par une courantologie directement et nettement influencée par la marée. En effet, on constate une oscillation semi-diurne du courant et on retrouve l'effet des mortes eaux sur les valeurs de courants qui sont plus faibles. Par ailleurs on constate qu'en mortes eaux, le courant balaye un secteur plus restreint. De plus, on retrouve dans la mesure du courant les mêmes oscillations inégales d'un cycle de marée à l'autre, comme observées dans les variations de la hauteur d'eau avec l'ADV qui sont le témoin d'un régime semi-diurne à composante diurne inégale.

L'examen de la correspondance entre les variations de la marée et la présence de particules en suspension, ne permet pas de dégager de relations immédiates. Plusieurs facteurs doivent coexister pour expliquer la remise en suspension, que le traitement des données ne permet pas de mettre en évidence.

Enfin, l'apparition de fines particules vers le fond à la suite de l'épisode pluvieux pourrait démontrer une influence de la rivière, mais ce phénomène n'est pas suffisamment marqué pour être pris en compte.

C. Baie de St Vincent :

C.1. Vent et courant :

La figure 11 présente l'évolution du vent à la station météorologique de Tontouta et du courant mesuré dans la baie St Vincent pendant la période d'étude.

Le vent à la station météorologique de l'aéroport Tontouta est plus faible qu'à Nouméa, et si la valeur extrême enregistrée est de 10 m/s, les vitesses sont globalement inférieures à 6 m/s, et la direction varie de façon beaucoup plus irrégulière, du fait de la position géographique de cette station plus abritée (figure 2). En effet, les enregistrements ne permettent pas de distinguer un régime d'alizés bien établi car de part sa physiographie, la baie de St Vincent doit être influencée par les effets de brises thermiques côtières qui se surimposent à un alizé affaibli par le relief.

Concernant le courant, celui-ci oscille d'Est en Ouest de façon régulière et assez similaire à celle observée dans la baie de Dumbéa.

En effet, sur la majeure partie de la période d'étude, il est possible d'observer le même phénomène d'oscillations d'intensités et de directions inégales qui alternent. Par exemple, le 18/11, le courant porte successivement au Nord-Est puis au Sud-Ouest, le matin, avec des vitesses respectives de 8 et 12 cm/s, avant de tourner à l'Est l'après midi, mais avec des vitesses inférieures de moitié.(secteur A, signalé par les flèches rouges).

Globalement sur la période d'étude, le courant oscille du Nord-Est à l'Ouest/Sud-Ouest où l'on enregistre les valeurs maximales de 12 cm/s. On distingue cependant deux périodes de courants plus faibles, l'une du 23 au 29/11 et l'autre du 08 au 13/12, avec 5 cm/s. Ces deux périodes correspondent aux périodes de mortes eaux observées à l'aide des enregistrements obtenus à avec l'ADV.

C.2. Précipitations :

Les précipitations enregistrées sont encore moins élevées à Tontouta que dans les deux autres cas (figure 9). Le 09/12 constitue un seul « vrai » épisode pluvieux qui cependant n'excède pas 7mm. Ici également, il n'est pas improbable que cette mesure corresponde à des précipitations plus intenses, dans le bassin versant de La Tontouta (effet des reliefs sur les précipitations).

C.3. Température et salinité :

Sur l'ensemble de la période d'étude, la salinité reste homogène sur l'ensemble de la colonne d'eau autour de $36,1 \text{ ‰} \pm 0,1$.

A l'inverse, les températures enregistrées sur toute la période ont été de 25,7 à 28,8 °C en surface, et de 25,3 à 28,2 °C en profondeur. La température de l'eau augmente progressivement tout au long de la période mais la plupart des profils ne montrent pas de variations avec la profondeur, les valeurs se situant autour de $26,4 \text{ °C} \pm 0,1$ en début de période et autour de $28,3 \text{ °C} \pm 0,2$ en fin de période. Seuls certains profils mettent en évidence des gradients de température délimitant des couches d'eau. Ainsi, les profils du 09/12 et 12/12 (annexes IV.e et IV.f) permettent de distinguer une couche d'eau plus chaude en surface (+ 0,8 °C) respectivement de 4 mètres s'amincissant à 3 mètres. Cette couche d'eau de surface est également caractérisée par une légère baisse de la salinité ($-0,2 \text{ ‰}$).

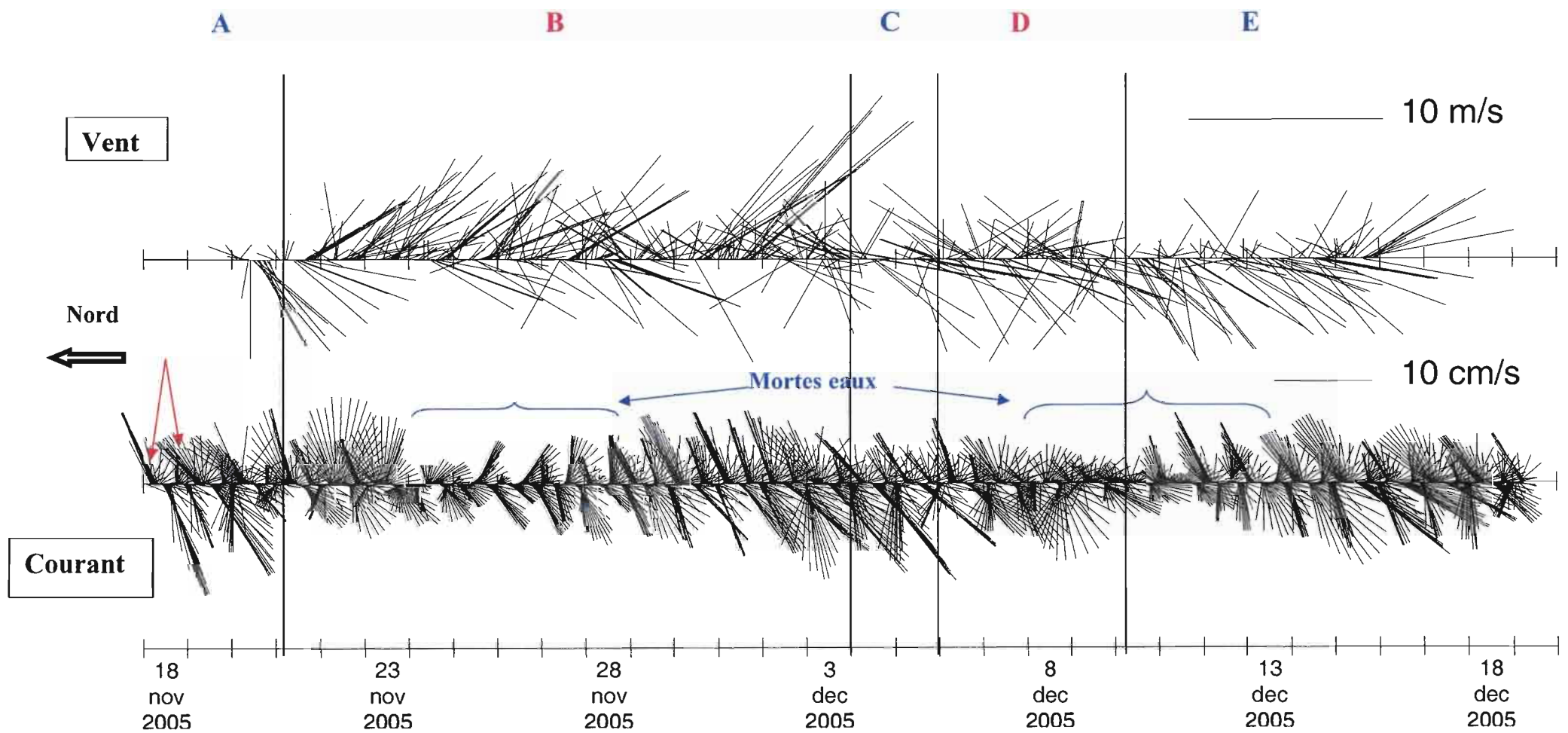


Figure 11 : Diagramme penné représentant le vent à Tontouta et le courant à la station de St Vincent.

C.4. Turbidité et granulométrie :

Sur tous les profils de la baie de St Vincent, la turbidité est comprise entre 1,5 et 3 FTU dans les premiers mètres sous la surface. Plus en profondeur, la turbidité évolue de façon différente dans le temps, parallèlement à la granulométrie.

Deux épisodes bien distincts peuvent être observés :

- Du 22 au 30/11, la turbidité reste relativement homogène sur la colonne d'eau, même si le profil du 22/11 (annexe IV.a) affiche une turbidité qui croît sur le dernier mètre avant le fond.
- A partir du 02/12 et jusqu'à la fin de la période d'étude, la turbidité croît systématiquement vers le fond. Durant cet épisode, on distingue cependant deux schémas distincts :
 - Une turbidité constante jusqu'à -9 m, qui croît ensuite jusqu'au fond, le 06/12 et encore le 07/12 (annexes IV.c et IV.d), respectivement de 1,5 à 3 FTU et de 2,5 à 4 FTU.
 - Une turbidité qui montre dès -7 m une augmentation beaucoup plus franche jusqu'au fond pour les profils des 02, 09 et 12/12 (annexes IV.b, IV.e, IV.f), atteignant jusqu'à 7,8 FTU le 12/12. Le profil de turbidité du 12/12 montre l'existence d'une très nette stratification des masses d'eau, à la profondeur de -9 m.

Dans cette baie, la concentration volumique de particules, moyennée sur toute la colonne d'eau et toute la période d'étude, est de 8,1 $\mu\text{L/L}$.

Deux épisodes se différencient au niveau des paramètres granulométriques :

- Durant le premier épisode (22 au 30/11), la concentration volumique moyenne (sur la somme des classes) est d'environ $6\mu\text{L/L} \pm 0,1$ sur la colonne d'eau ;
- Dans l'épisode suivant, la concentration volumique totale est systématiquement plus élevée avec des valeurs moyennes comprises entre 7 et $12\mu\text{L/L}$ et on observe une quantité de particules supérieures à $40,6 \mu\text{m}$ plus importante que pendant la première période.

Par ailleurs, dans les profils du 02, 09 et du 12/12, la courbe de concentration volumique (somme des classes) suit la même tendance que celle de la turbidité (annexes IV.b, IV.e et IV.f). De plus on peut constater que le volume de particules augmente dans toutes les classes de taille avec la profondeur.

C.5. Interprétations :

La baie de St Vincent, entourée de nombreux îlots et de montagnes, semble très peu influencée par le régime d'alizés, qui n'affecte ni la courantologie ni la température de l'eau qui se réchauffe de manière continue durant toute la période. Cette double indépendance du vent se distingue très nettement dans les variations du courant, que le régime de marée semi-diurne à composante diurne inégale régit.

Les précipitations du 09/12 ont conduit à la création d'une masse d'eau chaude et dessalée en surface, et coïncident avec la présence d'une couche turbide vers le fond, qui pourrait être considérée comme la conséquence de cet événement météorologique. Cependant, la présence

d'autres événements générant des structures turbides indépendamment des précipitations sont envisageables.

Ainsi, les variations d'intensité et de direction du courant ont conduit à rechercher d'éventuelles coïncidences avec le moment de la marée, l'apparition d'événements turbides pouvant résulter de phénomènes de remise en suspension du sédiment.

La compréhension du comportement des particules en suspension dans cette baie doit donc faire appel à d'autres données que nous n'avons pas encore traitées.

Conclusion

Le travail effectué durant ce stage a permis d'améliorer globalement la compréhension des mécanismes qui régissent les comportements individuels de ces trois baies en saison sèche.

En situation d'alizé moyen, la modélisation hydrodynamique a montré (Ouillon et al., 2004) que la marée est le moteur principal favorisant la remise en suspension, le mélange vertical et enfin le dépôt sur des fonds supérieurs à 20 mètres de profondeur. Le vent et la marée combinent leurs influences respectives sur des zones moins profondes.

Même s'il a été mis en évidence la dominance de ces deux facteurs individuellement sur la courantologie des trois baies étudiées (Boulari, Dumbéa et St Vincent), il n'est pas évident de leur attribuer un rôle net sur le comportement des particules qui semble plus complexe. L'hydrodynamique générale conditionne toutefois le comportement des matières en suspension de manière différente entre les trois baies :

- Pour la baie de Boulari, l'apparition de particules en suspension près du fond est à relier avec les épisodes météorologiques constatés qui génèrent les courants d'Ouest ;
- Dans la baie de Dumbéa, la colonne d'eau présente, au cours du temps, une diminution de la charge particulaire, laissant supposer une décantation continue durant la saison sèche caractérisée par très peu d'apports terrigènes ;
- A l'inverse, les eaux de la baie de St Vincent montrent régulièrement l'apparition d'une couche turbide près du fond. Ces eaux contiennent globalement une charge particulaire plus importante qu'ailleurs qui peut être le résultat de la remise en suspension des sédiments. Celle-ci pouvant résulter des effets de brises irrégulières et de directions variables qui affectent en particulier les fonds peu profonds de cette baie.

L'impact des rivières à la suite des épisodes pluvieux, n'est pas suffisamment marqué pour être considéré comme un facteur d'influence.

L'amélioration des connaissances en termes d'origine et de transport des matières en suspension nécessite de progresser dans l'interprétation de la relation entre les paramètres granulométriques et néphélométriques. En effet, les différents paramètres optiques mesurés (néphélométrie, diffraction laser, transmission) offrent des réponses différentes vis à vis des particules. Ainsi, les profils de transmissométrie (lumière transmise par le faisceau laser du granulomètre) n'ont pas été retenus car ils présentent des variations qui ne sont pas aisément interprétables : Ce signal s'apparente tantôt à celui de la turbidité, tantôt à celui de la concentration volumique totale, mais, étant sensible à l'indice de réfraction, il pourrait éventuellement renseigner sur la nature des particules et donc sur son origine.

Par ailleurs, la nature de cette matière particulaire en suspension (collectée par filtration ou par décantation dans les pièges à sédiment) sera déterminée par différentes voies, comme :

- Les analyses quantitatives de carbone organique et total ;
- Les analyses de métaux ;
- Les études de défloculation et de granulométrie qui permettent d'avoir accès à la « vraie » distribution des populations de particules. En effet, la détection de nombreuses particules de taille importante ($> 40 \mu\text{m}$) en suspension dans toute la colonne d'eau, est vraisemblablement le résultat de la formation de floes ou d'agrégats fugaces. Les particules minérales (silts et sables) ne peuvent demeurer en suspension dans la colonne d'eau dans les conditions hydrodynamiques de l'étude.

Le flux de particules sera déterminé à partir des données issues des pièges à sédiment. De plus, l'examen des données géochimiques (concentrations en métaux dissous et adsorbés sur les MES ou sédiments), pourra permettre de mieux caractériser des transferts entre ces différents compartiments. L'ensemble de ces informations viendra compléter la compréhension de l'hydrodynamique et de la dynamique sédimentaire dans les trois baies d'études.

L'utilisation d'outils statistiques permettra de mieux appréhender les corrélations entre le vent et la courantologie, l'hydrodynamique et la présence de particules en suspension.

Toutes ces résultats vont être utilisées pour la validation du modèles hydrodynamique de circulation et transport (MARS-3D) développé dans l'UR-103 pour l'ensemble des lagons sud-ouest et sud de Nouvelle-Calédonie.

Bibliographie

Gartner J., Cheng R., Wang P., Richter K., 2001. Laboratory and Field evaluations of the LISST-100 instrument for suspended particle size determinations. *Marine Geology*, vol.175, pp. 199-219.

Labrosse P., Fichez R., Farman R., Adams T (2000) New Caledonia. In: C.R.C. Sheppard (Ed), Seas at the Millennium: An environmental evaluation. *Pergamon Press*, Amsterdam, vol.2, pp. 723-736.

Mikkelsen O.A., Pejrup M., 2001. The use of a LISST-100 laser particle sizer for in-situ estimates of floc size, density and settling velocity. *Geo-Marine Letters*, vol.20, pp. 187-195.

Ouillon S., Douillet P., Andrefouet S., 2004. Coupling satellite data with in situ measurements and numerical modeling to study fine suspended-sediment transport : a study for the lagoon of New Caledonia. *Coral Reefs*, vol. 23(1), sous presse.

Liste des figures

Figure 1 : Carte de la Nouvelle-Calédonie.

Figure 2 : Carte de la zone d'étude.

Figure 3 : Photographie du courantomètre ADV fixé au fond.

Figure 4 : Photographie de la sonde CTD prête à être mise à l'eau.

Figure 5 : Schémas du système interne du granulomètre laser

Figure 6 : Variation de la hauteur d'eau en fonction du temps au niveau de l'ouverture du piège à sédiment (station A) entre le 18/11 et le 16/12/05.

Figure 7 : Agrandissement du diagramme penné au point L.

Figure 8 : Diagramme penné représentant, le vent à Magenta et le courant à la station de Boulari.

Figure 9 : Diagramme représentant la hauteur de précipitations tombées aux différentes stations météorologiques utilisées durant la période d'étude.

Figure 10 : Diagramme penné représentant, le vent à Nouméa et le courant à la station de Dumbéa.

Figure 11 : Diagramme penné représentant le vent à Tontouta et le courant à la station de St Vincent.

Liste des annexes

Annexe I : Tableaux présentant les limites et les médianes des classes granulométriques.

Annexe II : Profils verticaux et représentations granulométriques pour la baie de Boulari.

Annexe II.a : Profils du 22/11/05.
Annexe II.b : Profils du 24/11/05
Annexe II.c : Profils du 25/11/05
Annexe II.d : Profils du 30/11/05
Annexe II.e : Profils du 02/12/05
Annexe II.f : Profils du 09/12/05
Annexe II.g : Profils du 12/12/05
Annexe II.h : Profils du 14/12/05

Annexe III : Profils verticaux et représentations granulométriques pour la baie de Dumbéa.

Annexe III.a : Profils du 24/11/05
Annexe III.b : Profils du 02/12/05
Annexe III.c : Profils du 06/12/05
Annexe III.d : Profils du 09/12/05
Annexe III.e : Profils du 12/12/05
Annexe III.f : Profils du 14/12/05

Annexe IV : Profils verticaux et représentations granulométriques pour la baie de St Vincent.

Annexe IV.a : Profils du 22/11/05
Annexe IV.b : Profils du 02/12/05
Annexe IV.c : Profils du 06/12/05
Annexe IV.d : Profils du 07/12/05
Annexe IV.e : Profils du 09/12/05
Annexe IV.f : Profils du 12/12/05

Annexe I

Limites des classes granulométriques

1.24	1.48	1.745	2.06	2.43	2.87	3.39	4
4.72	5.57	6.57	7.75	9.145	10.8	12.75	15.05
17.75	20.95	24.7	29.15	34.4	40.6	47.95	56.55
66.7	78.7	93.1	110	129.5	152.5	180	212. 247.
							5 5

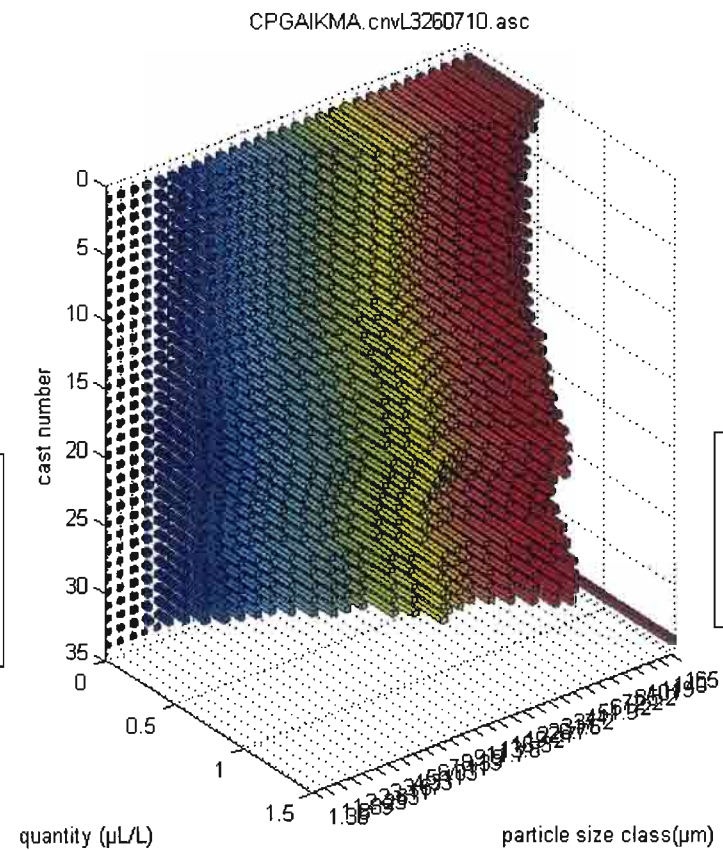
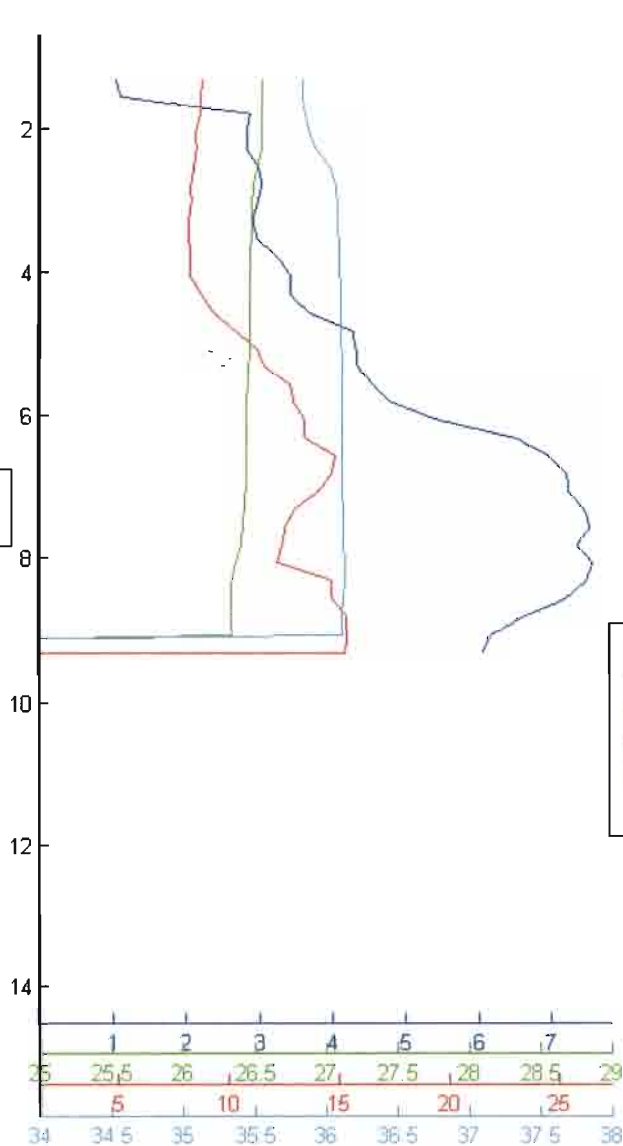
Médianes des classes granulométriques

1.36	1.6125	1.9025	2.245	2.65	3.13	3.695	4.36
5.145	6.07	7.16	8.4475	9.9725	11.775	13.9	16.4
19.35	22.825	26.925	31.775	37.5	44.275	52.25	61.625
72.7	85.9	101.55	119.75	141	166.25	196.25	230

Annexe II :

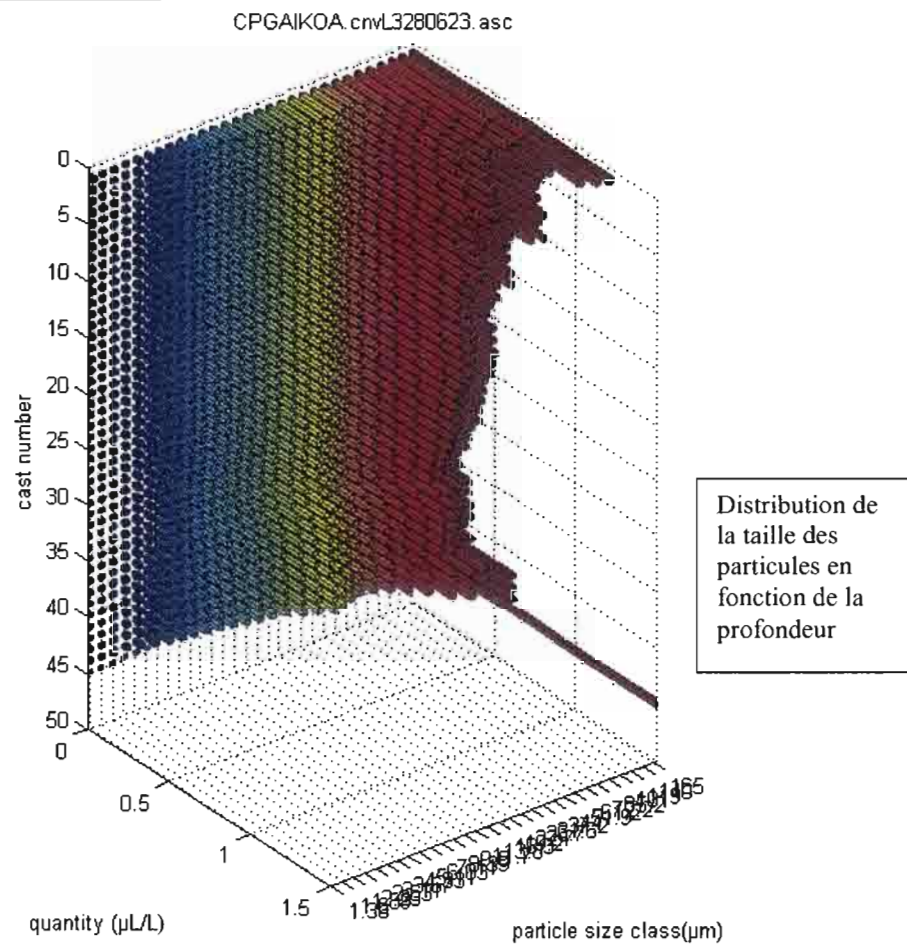
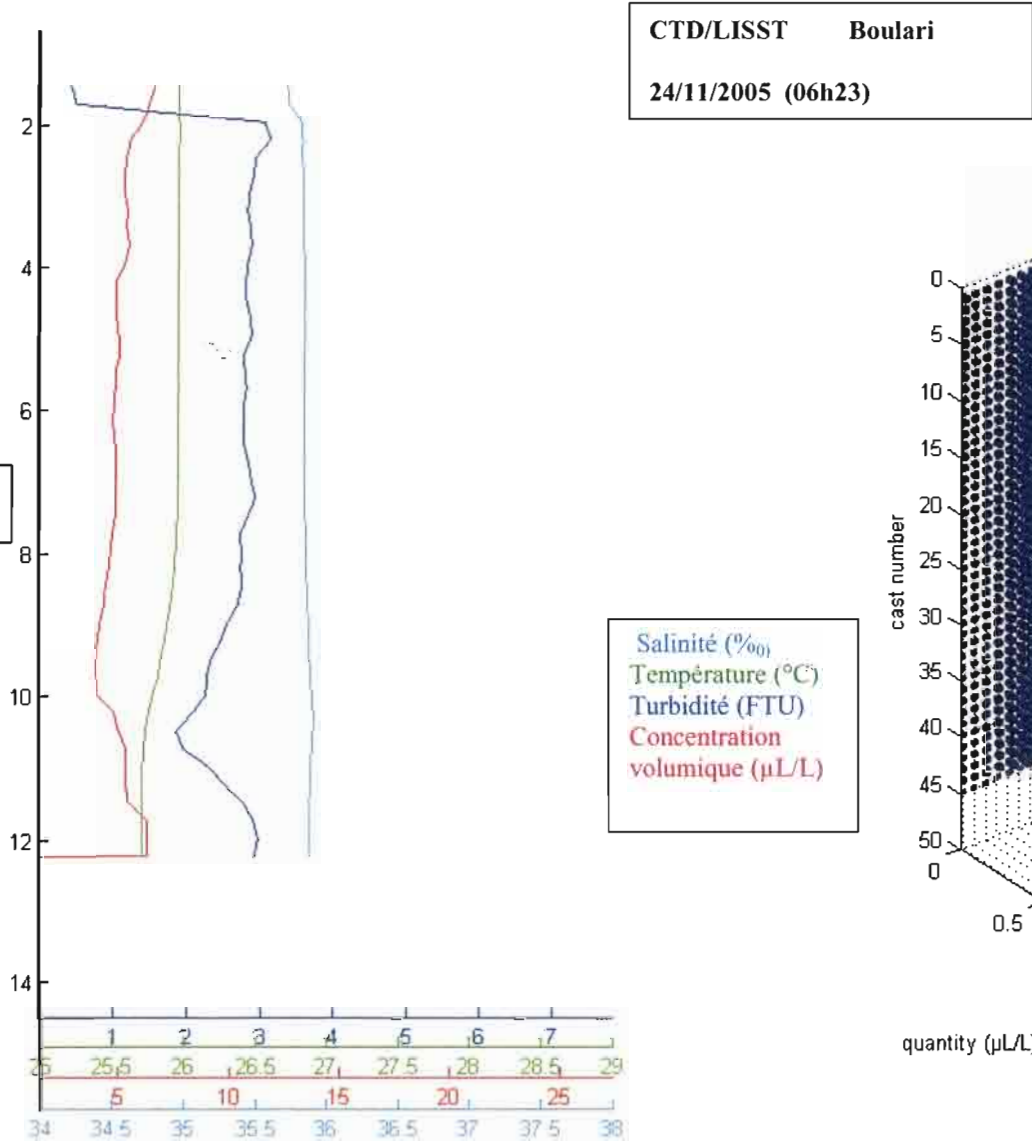
Profils verticaux et représentations granulométriques pour la baie de Boulari.

Annexe II.a

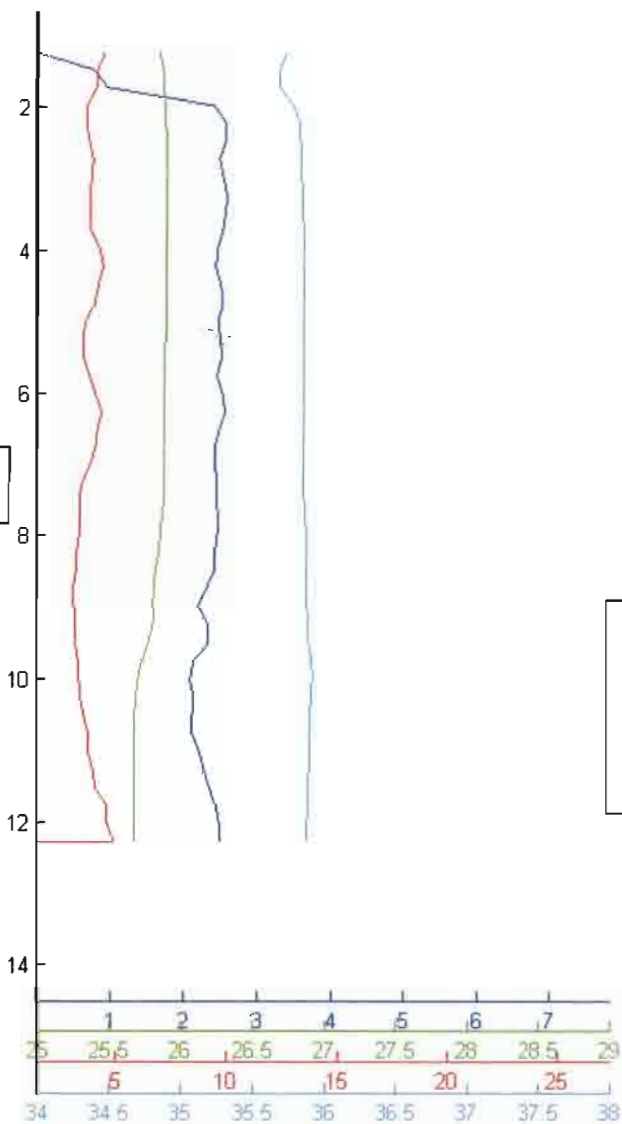


Distribution de
la taille des
particules en
fonction de la
profondeur

Annexe II.b



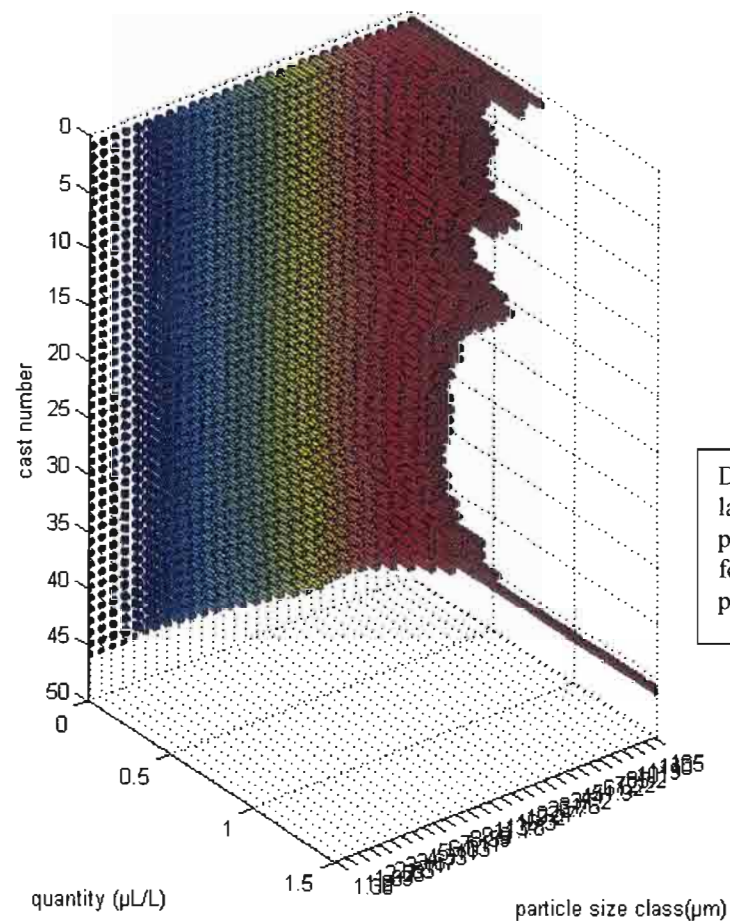
Annexe II.c



CTD/LISST Boulari

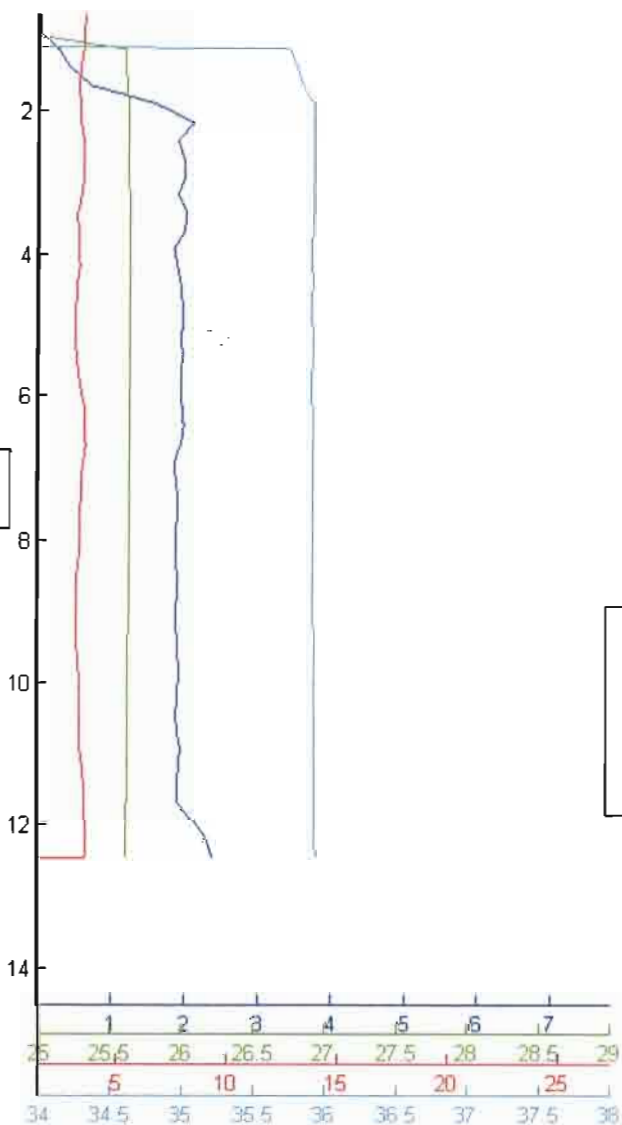
25/11/2005 (06h14)

CPGAIKPA.cnvL3290614.asc



Distribution de
la taille des
particules en
fonction de la
profondeur

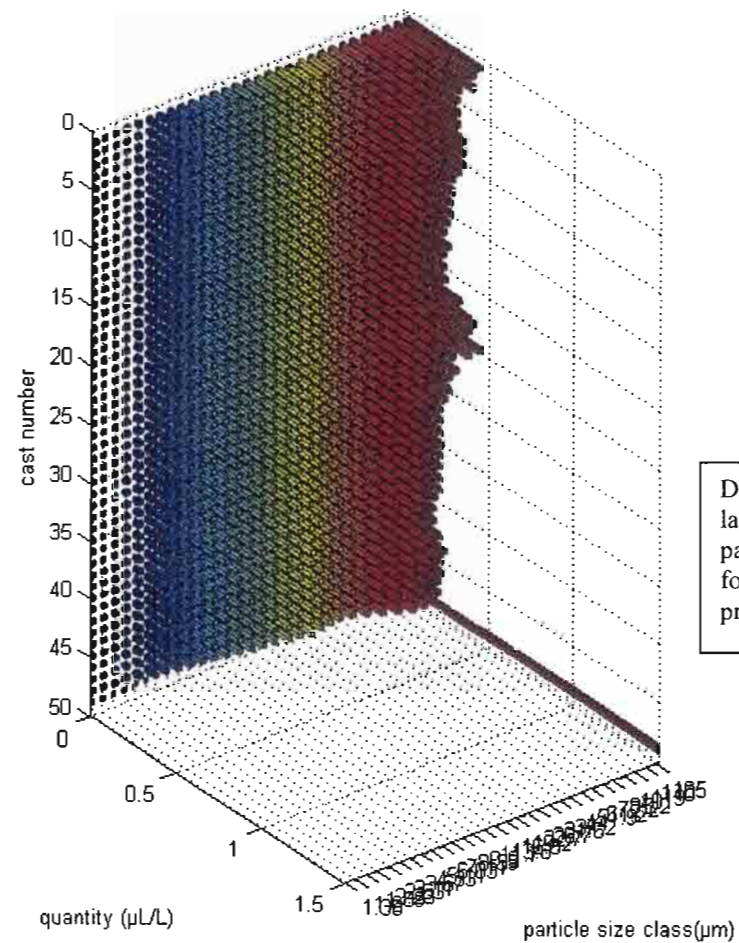
Annexe II.d



CTD/LISST Boulari

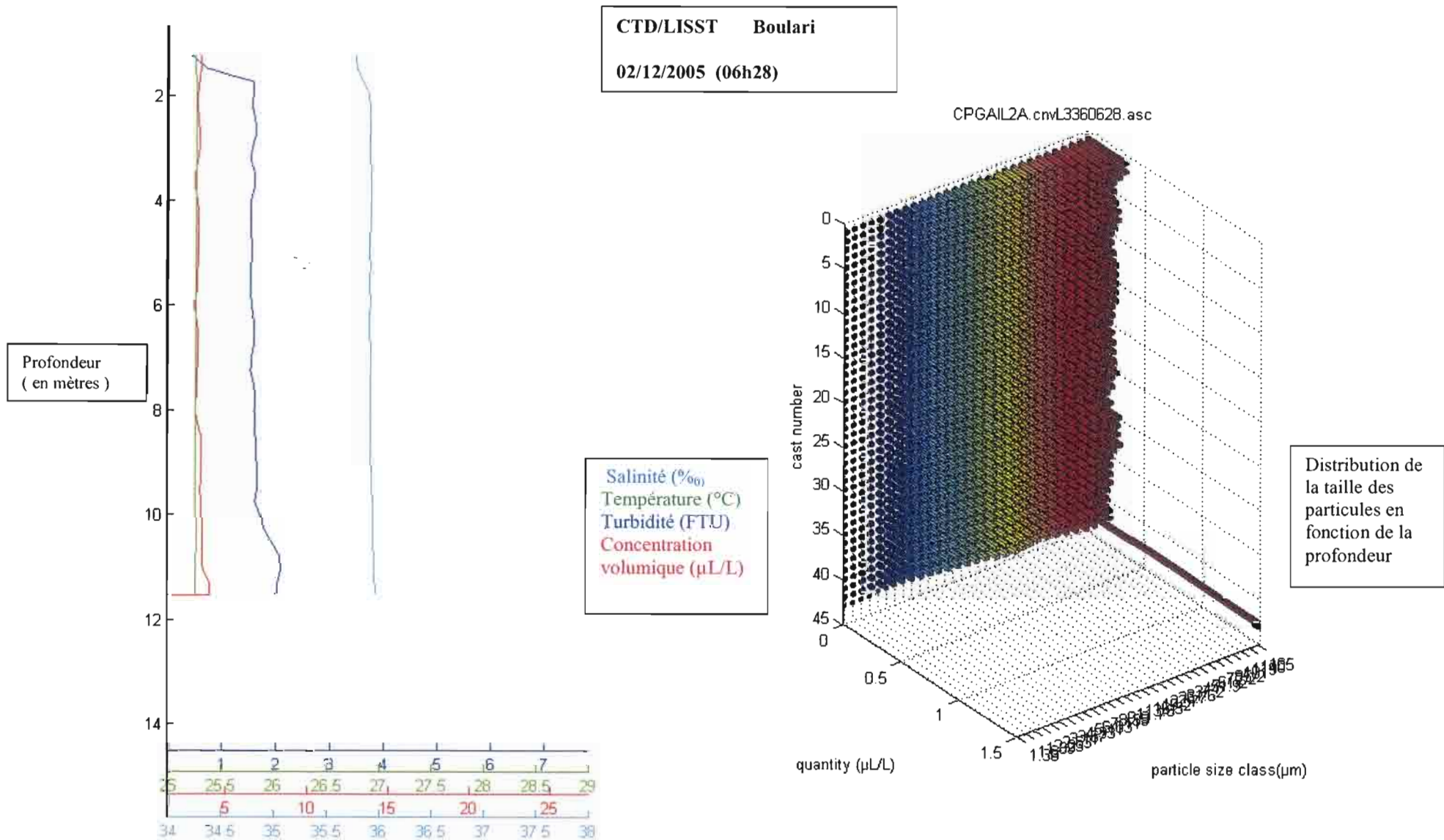
30/11/2005 (06h20)

CPGAIKUA.cnvL3340620.asc



Distribution de
la taille des
particules en
fonction de la
profondeur

Annexe II.e

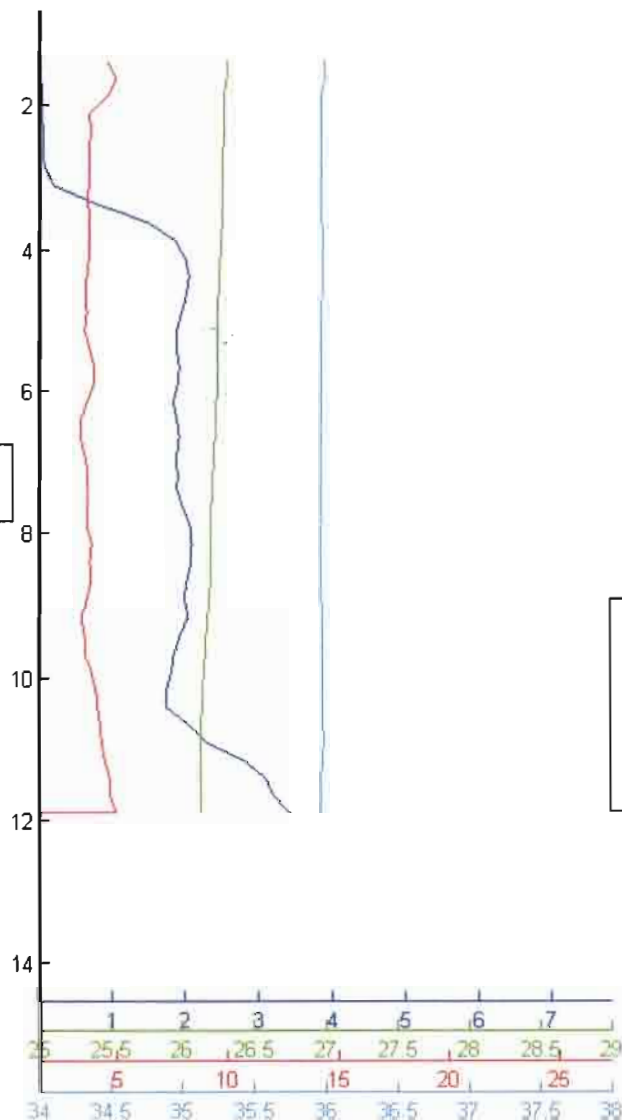


Annexe II.f

CTD/LISST Boulari

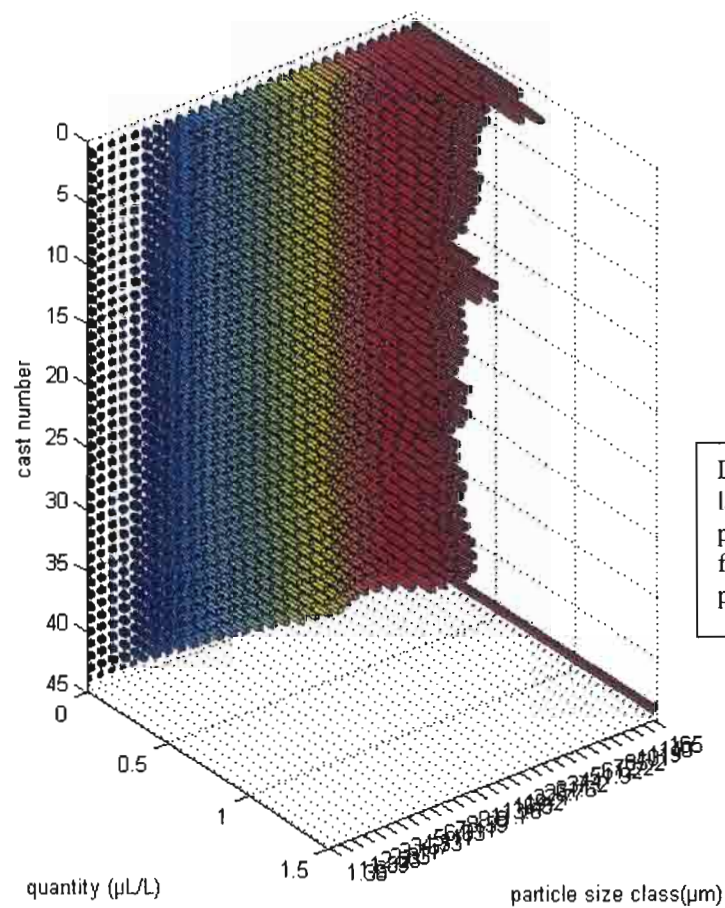
09/12/2005 (07h44)

Profondeur
(en mètres)



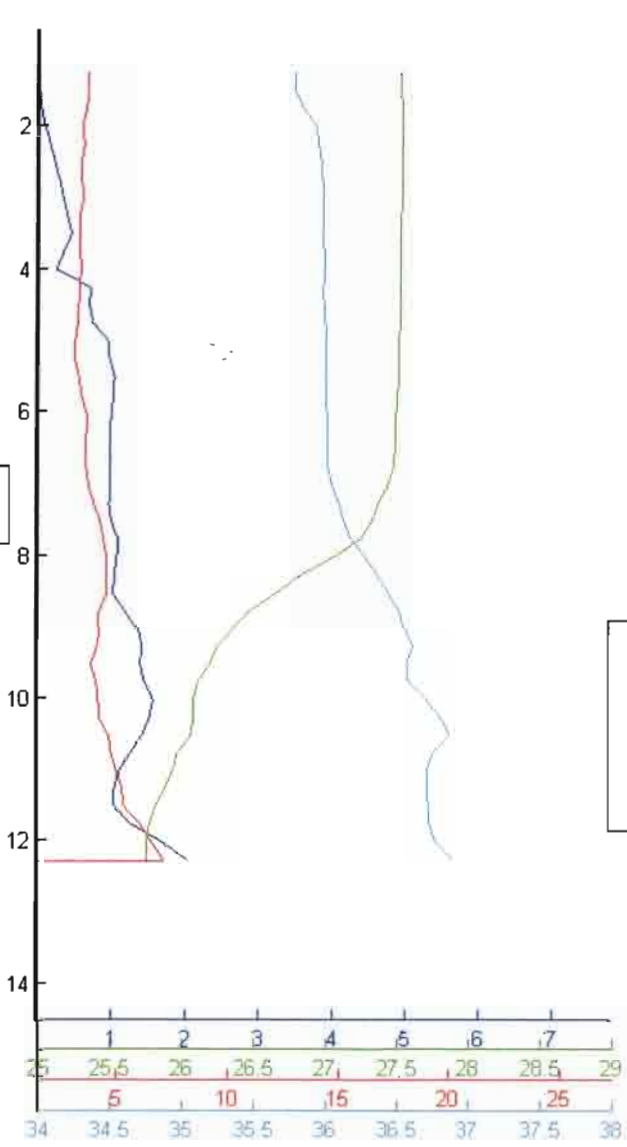
Salinité (‰)
Température (°C)
Turbidité (FTU)
Concentration
volumique (μL/L)

CPGAIL9A.cnvL3430744.asc

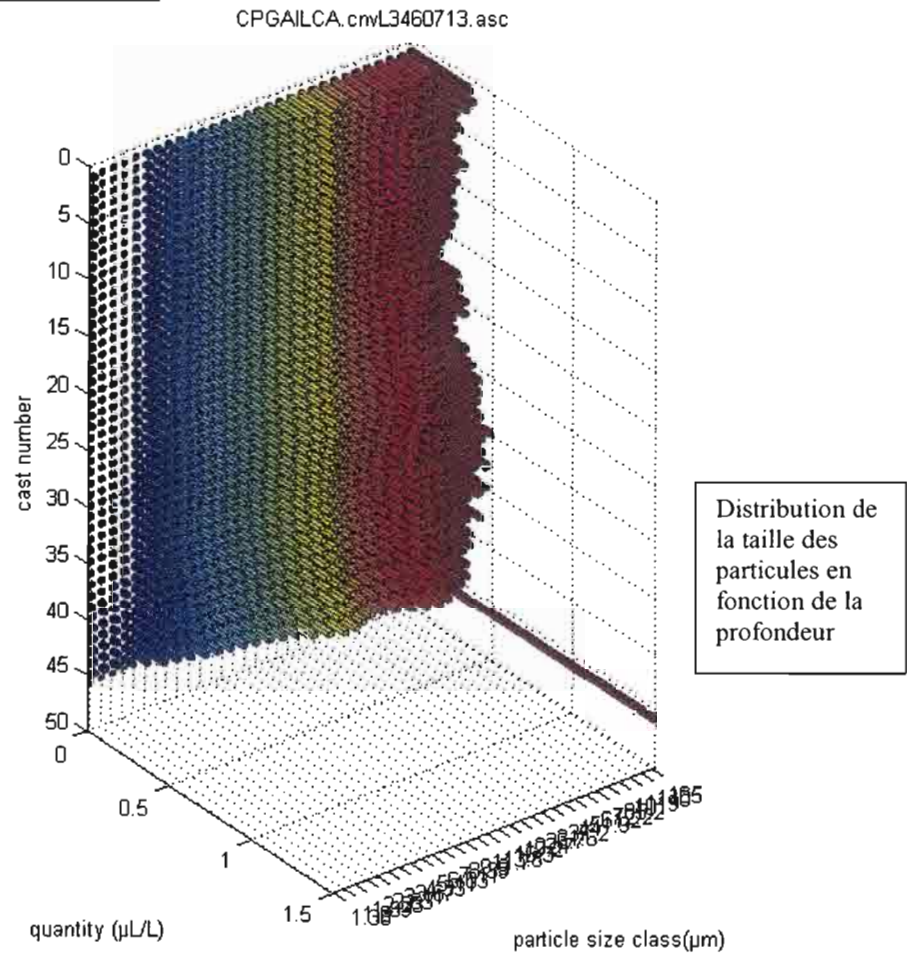


Distribution de
la taille des
particules en
fonction de la
profondeur

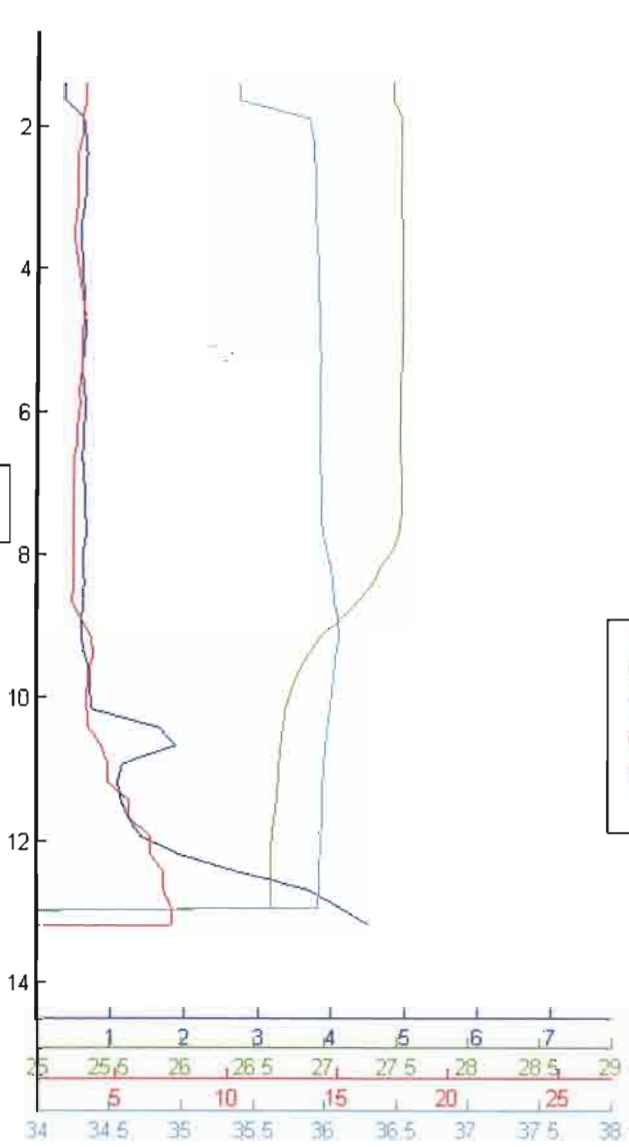
Annexe II.g



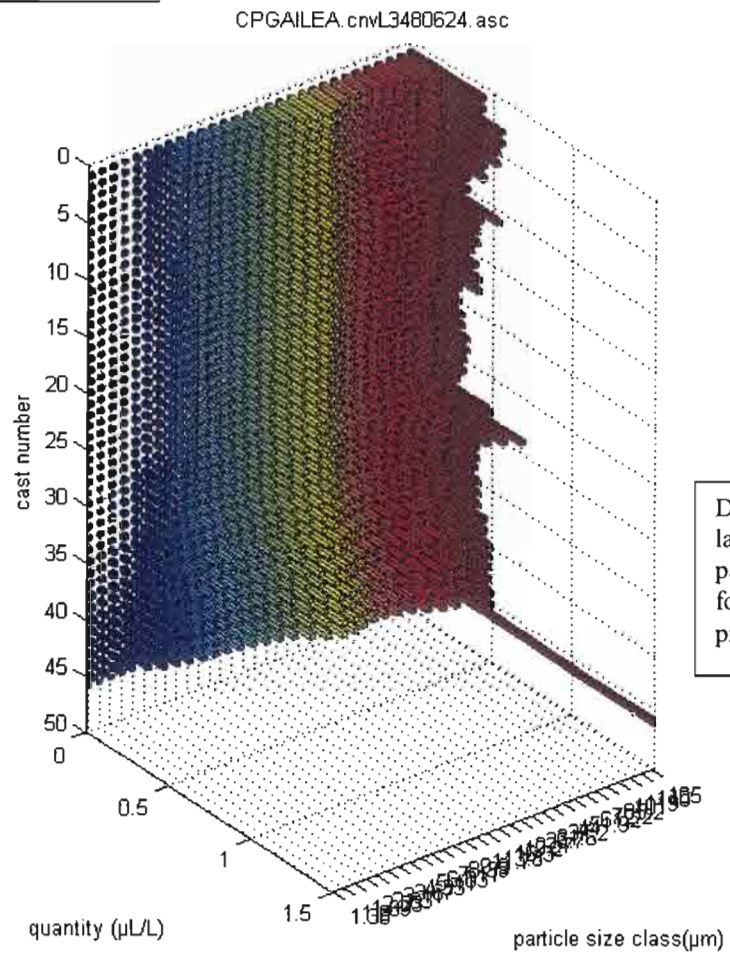
CTD/LISST Boulari
12/12/2005 (07h13)



Annexe II.h



CTD/LISST Boulari
14/12/2005 (06h24)

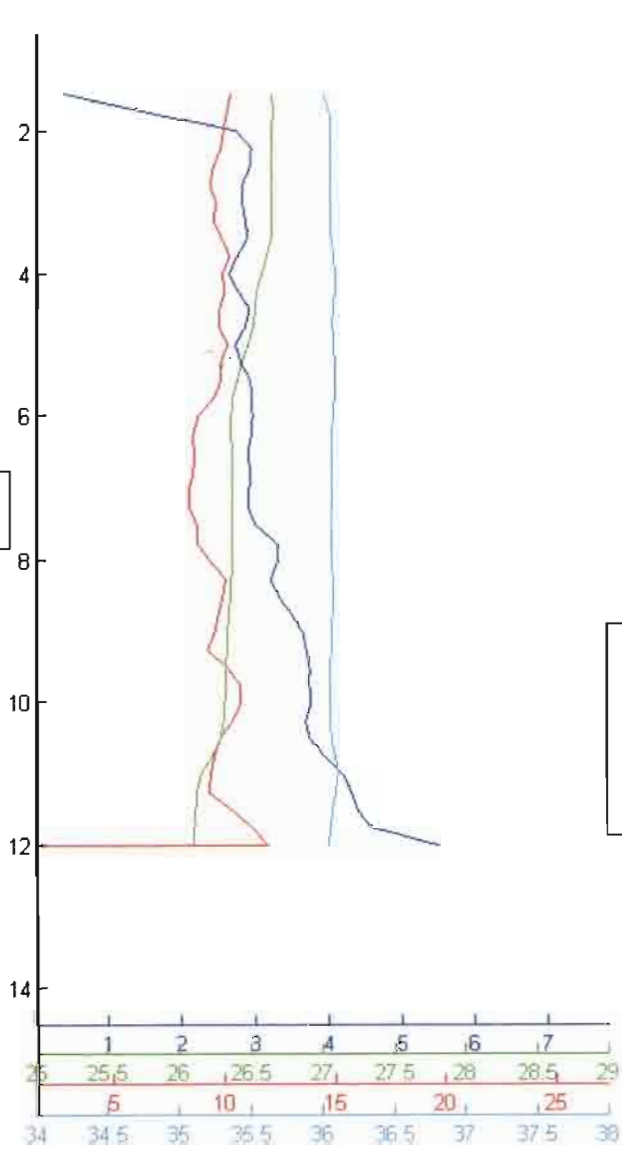


Distribution de la taille des particules en fonction de la profondeur

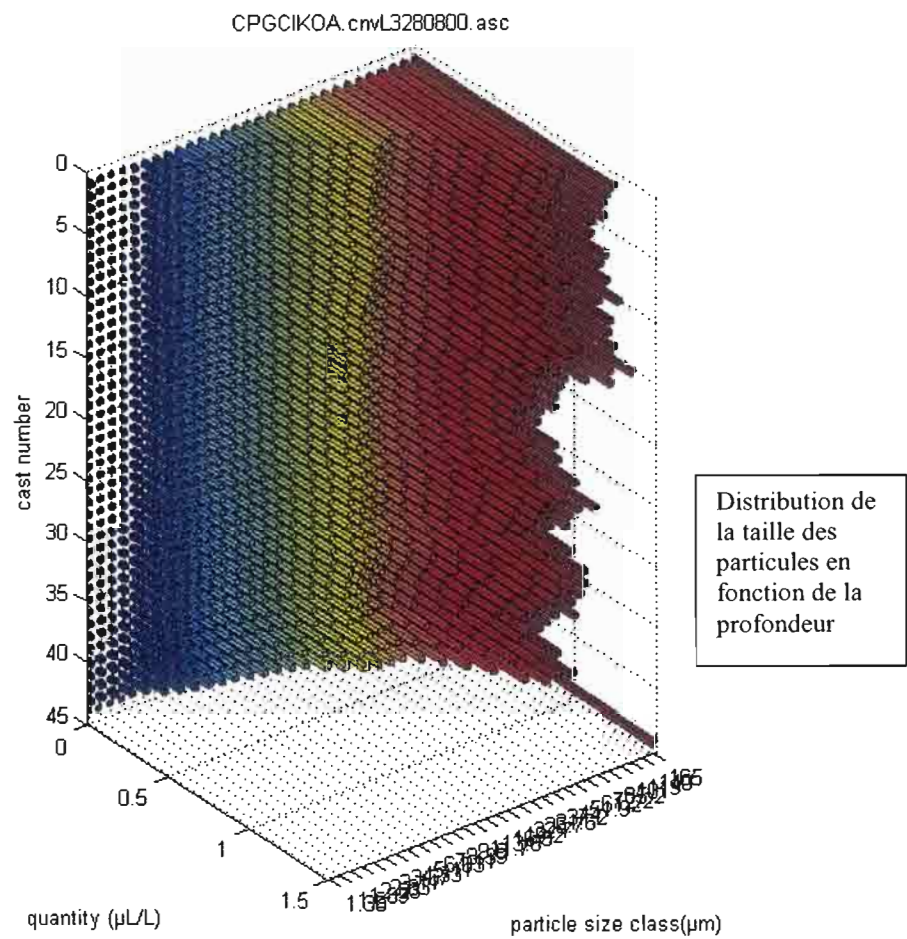
Annexe III :

Profils verticaux et représentations granulométriques pour la baie de Dumbéa.

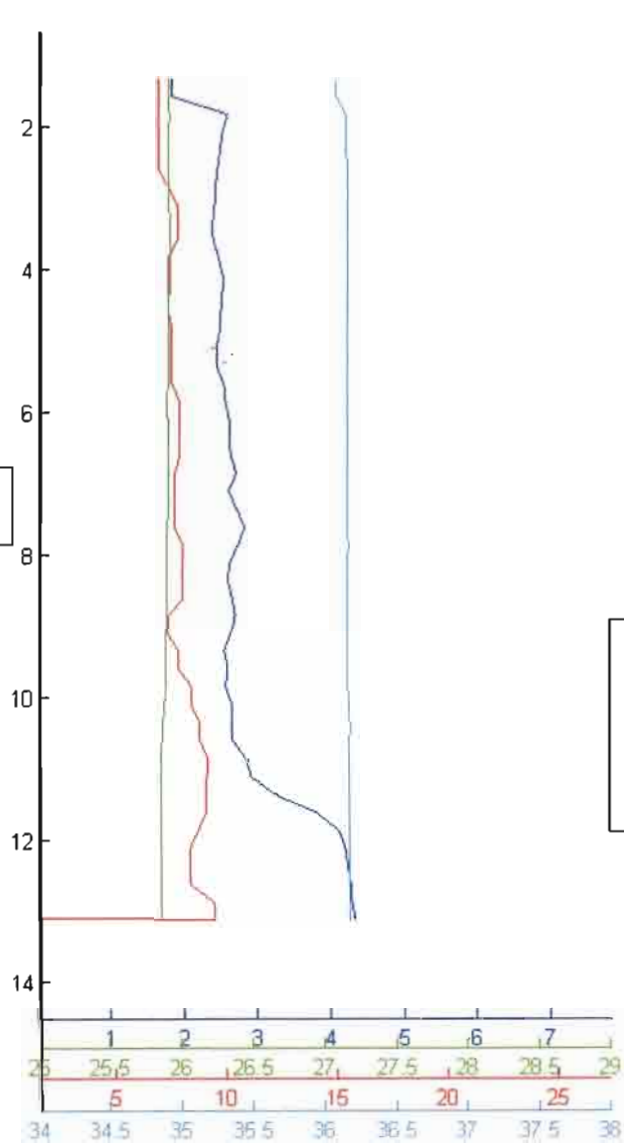
Annexe III.a



CTD/LISST Dumbéa
24/11/2005 (08h00)

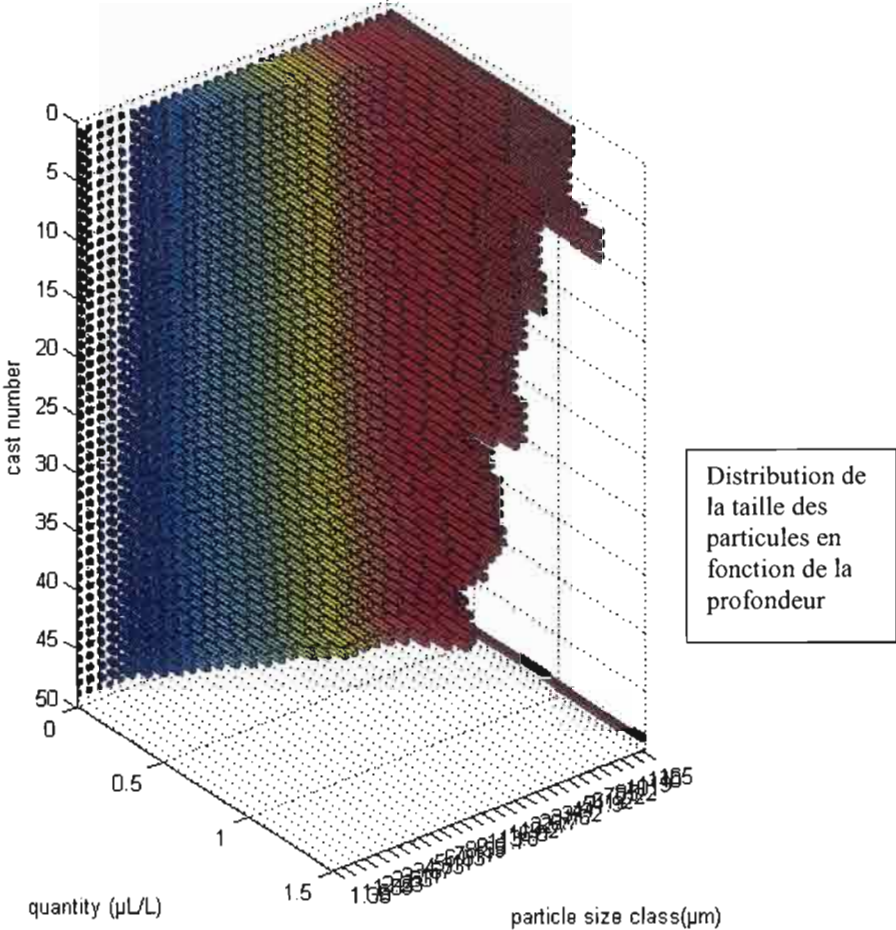


Annexe III.b

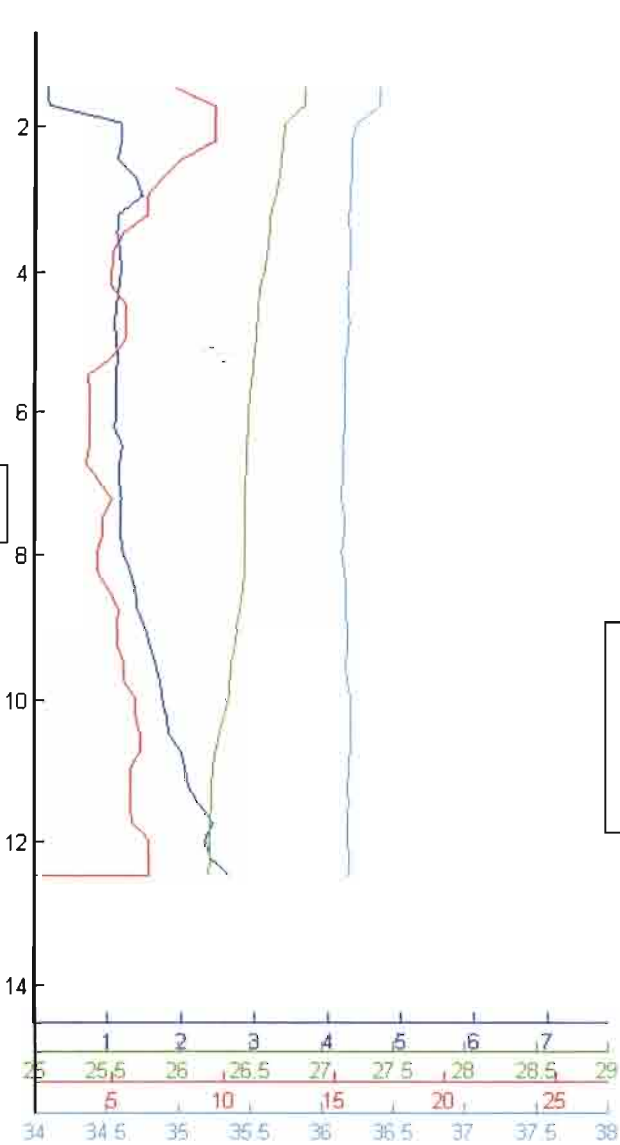


CTD/LISST Dumbéa
02/12/2005 (08h40)

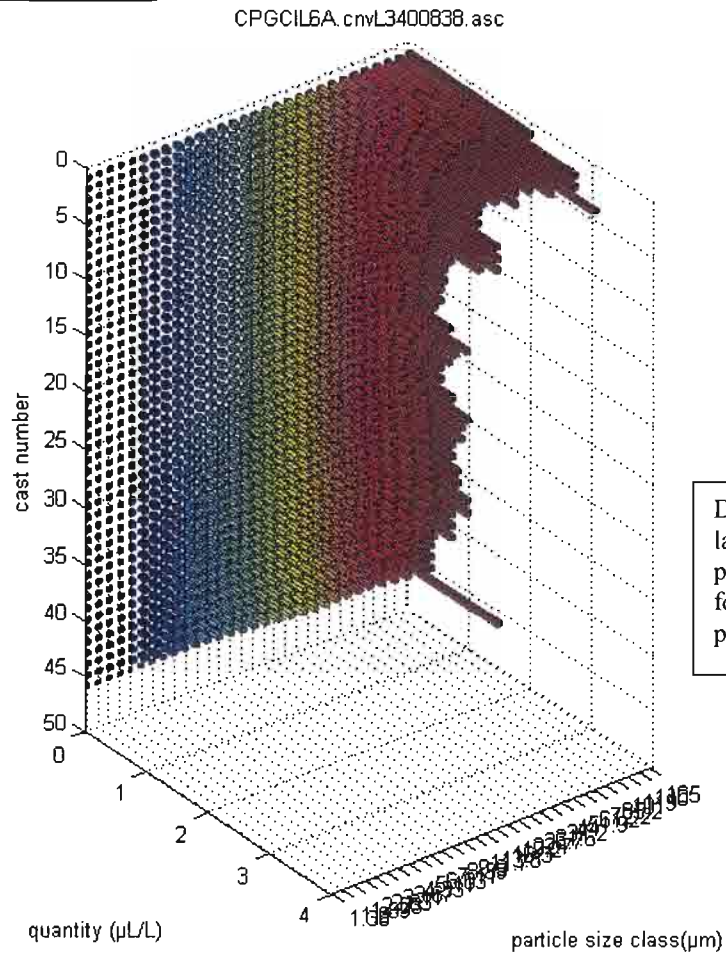
CPGCIL2A.cnvL3360840.asc



Annexe III.c

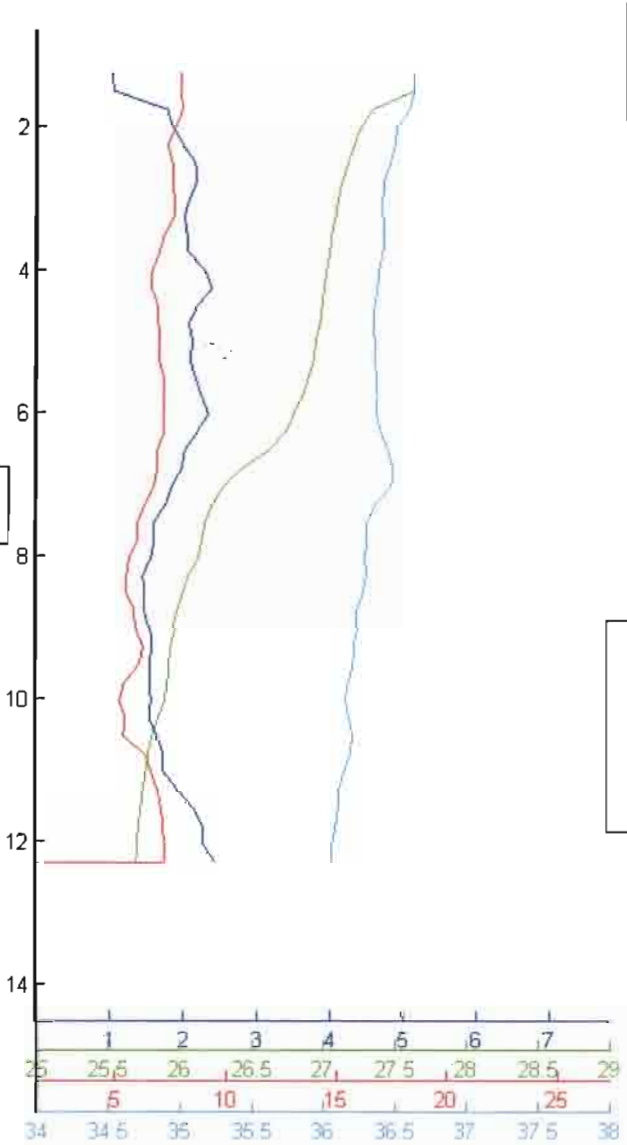


CTD/LISST Dumbéa
06/12/2005 (08h38)

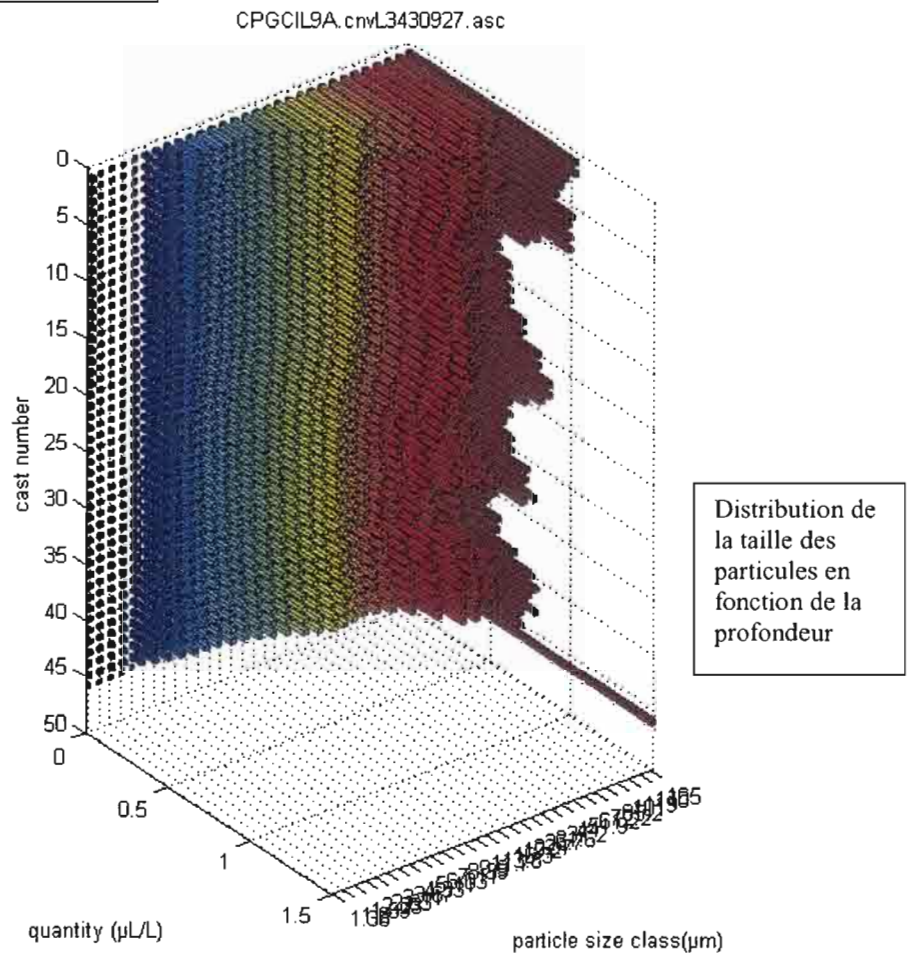


Distribution de la taille des particules en fonction de la profondeur

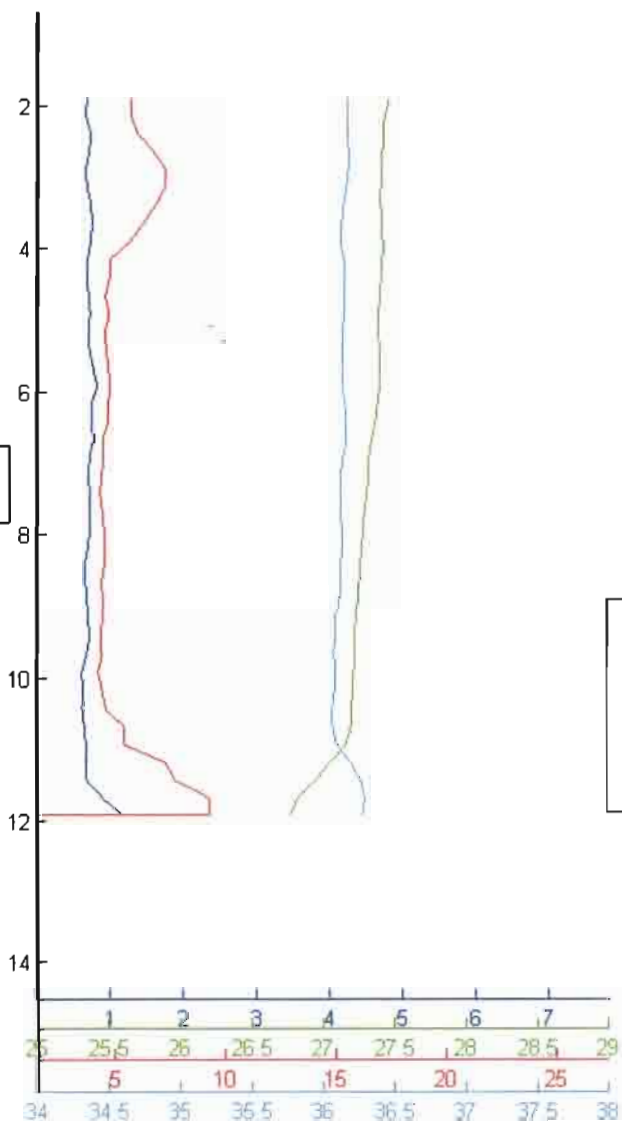
Annexe III.d



CTD/LISST Dumbéa
09/12/2005 (09h27)

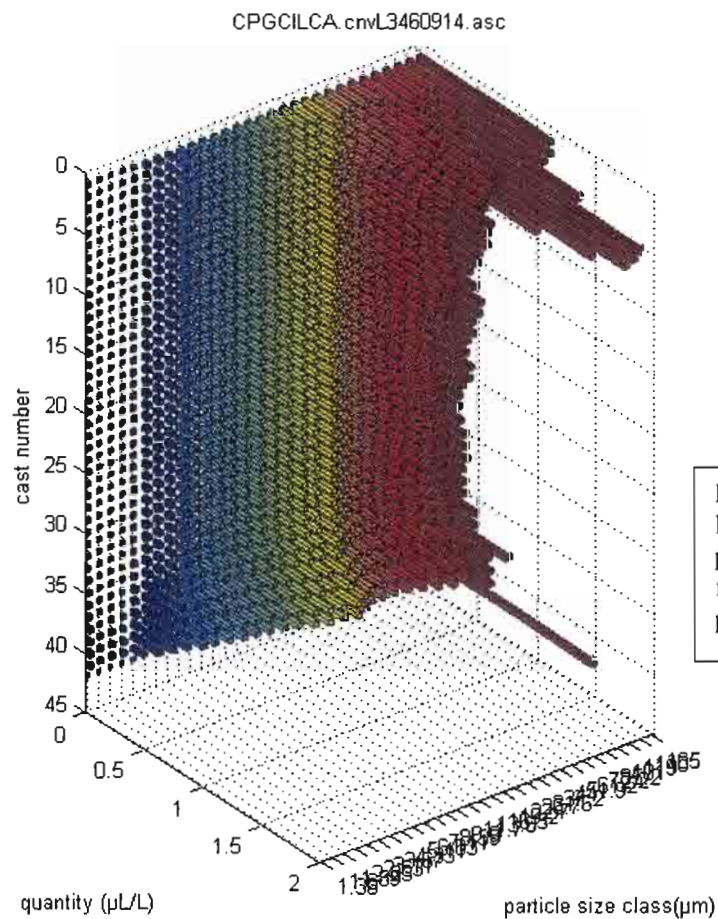


Annexe III.e

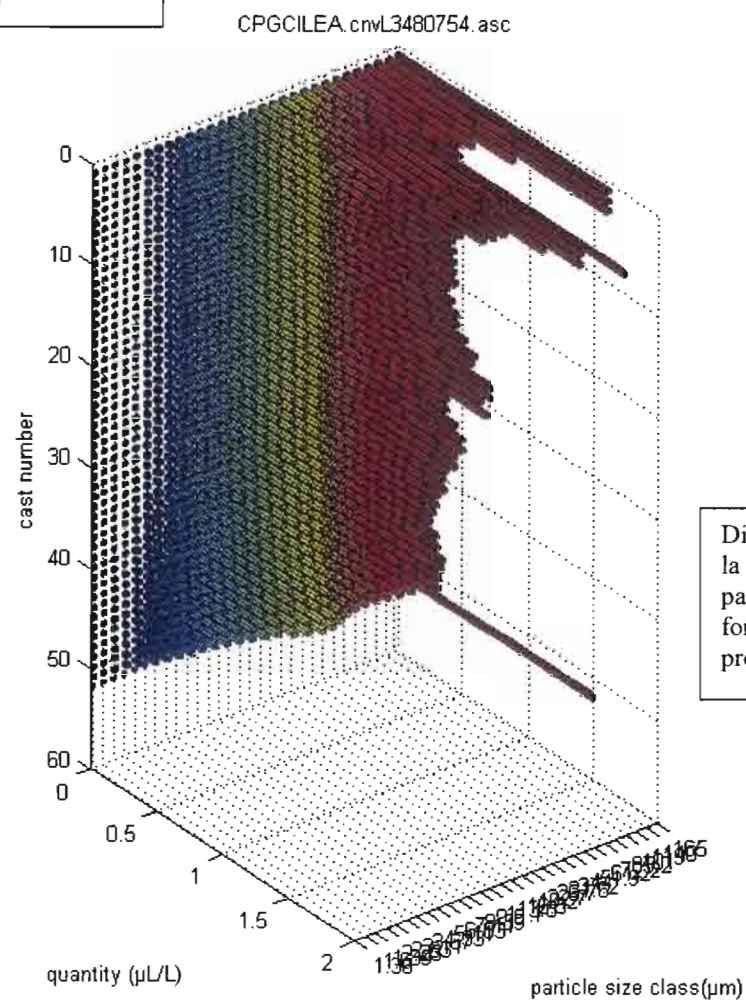
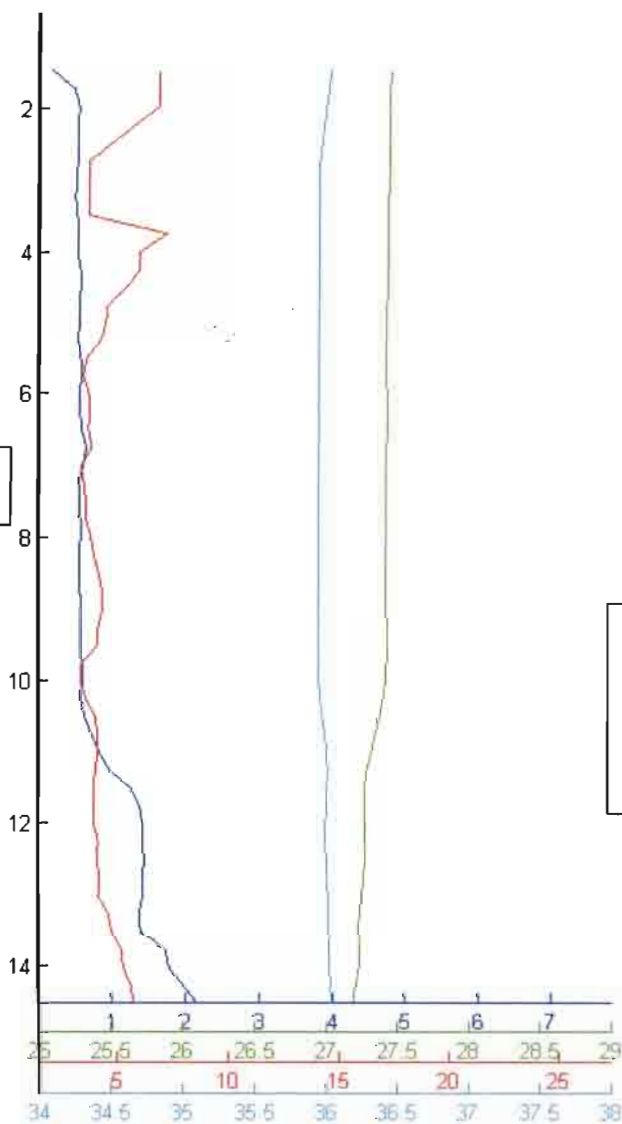


CTD/LISST Dumbéa

12/12/2005 (9h14)



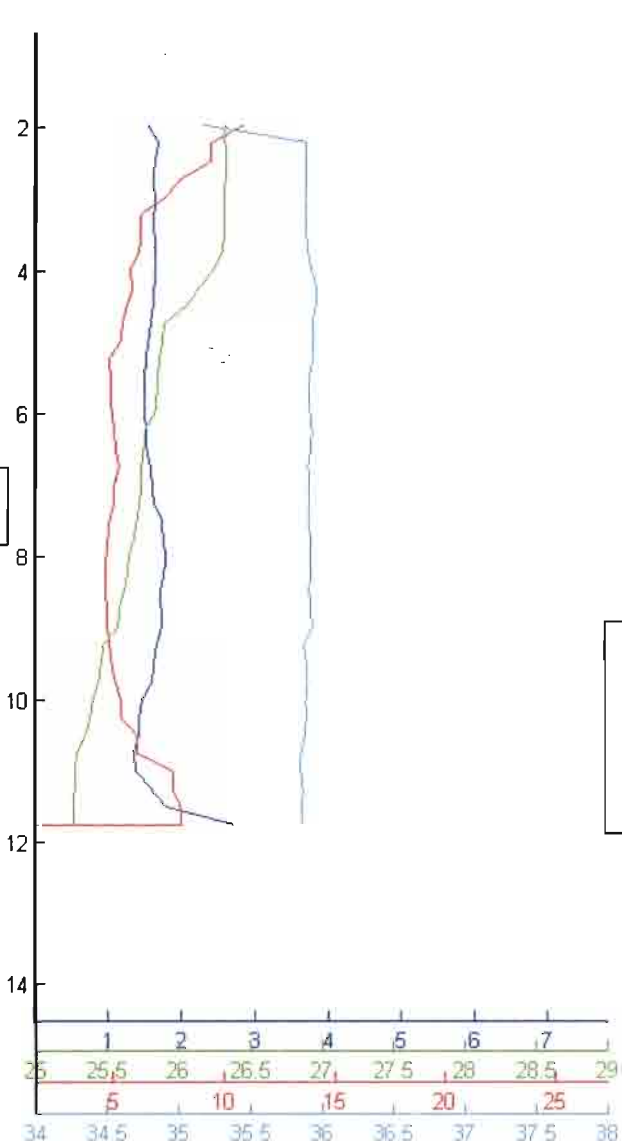
Annexe III.f



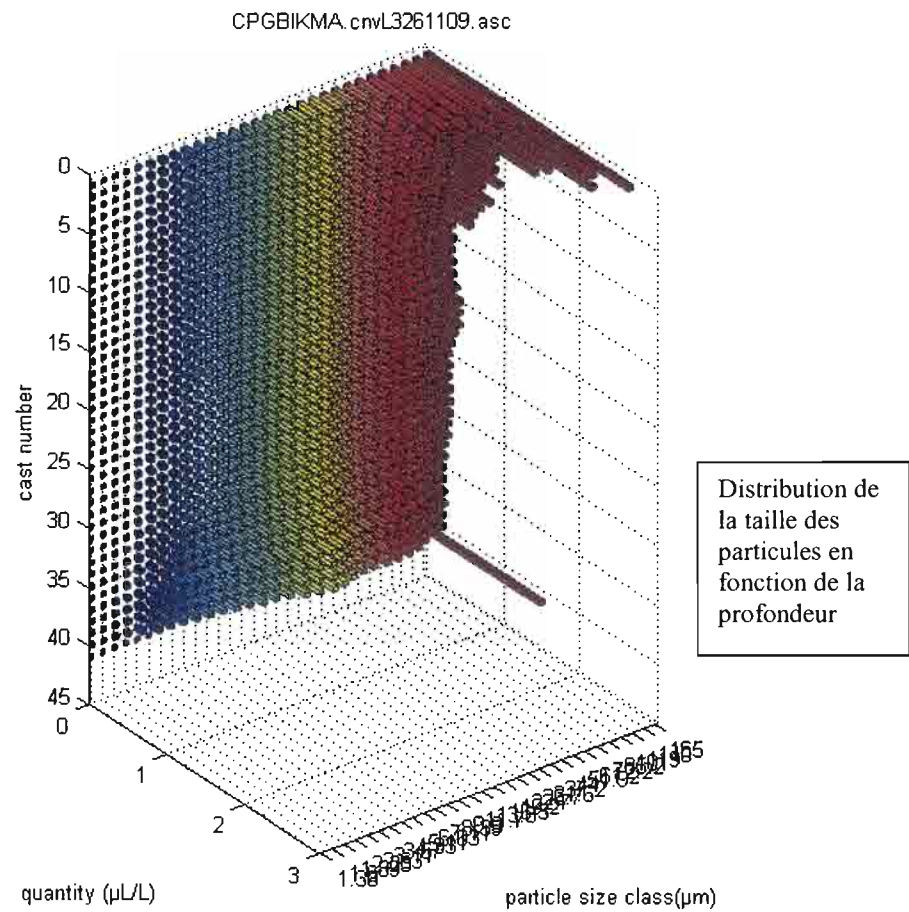
Annexe IV :

Profils verticaux et représentations granulométriques pour la baie de St Vincent.

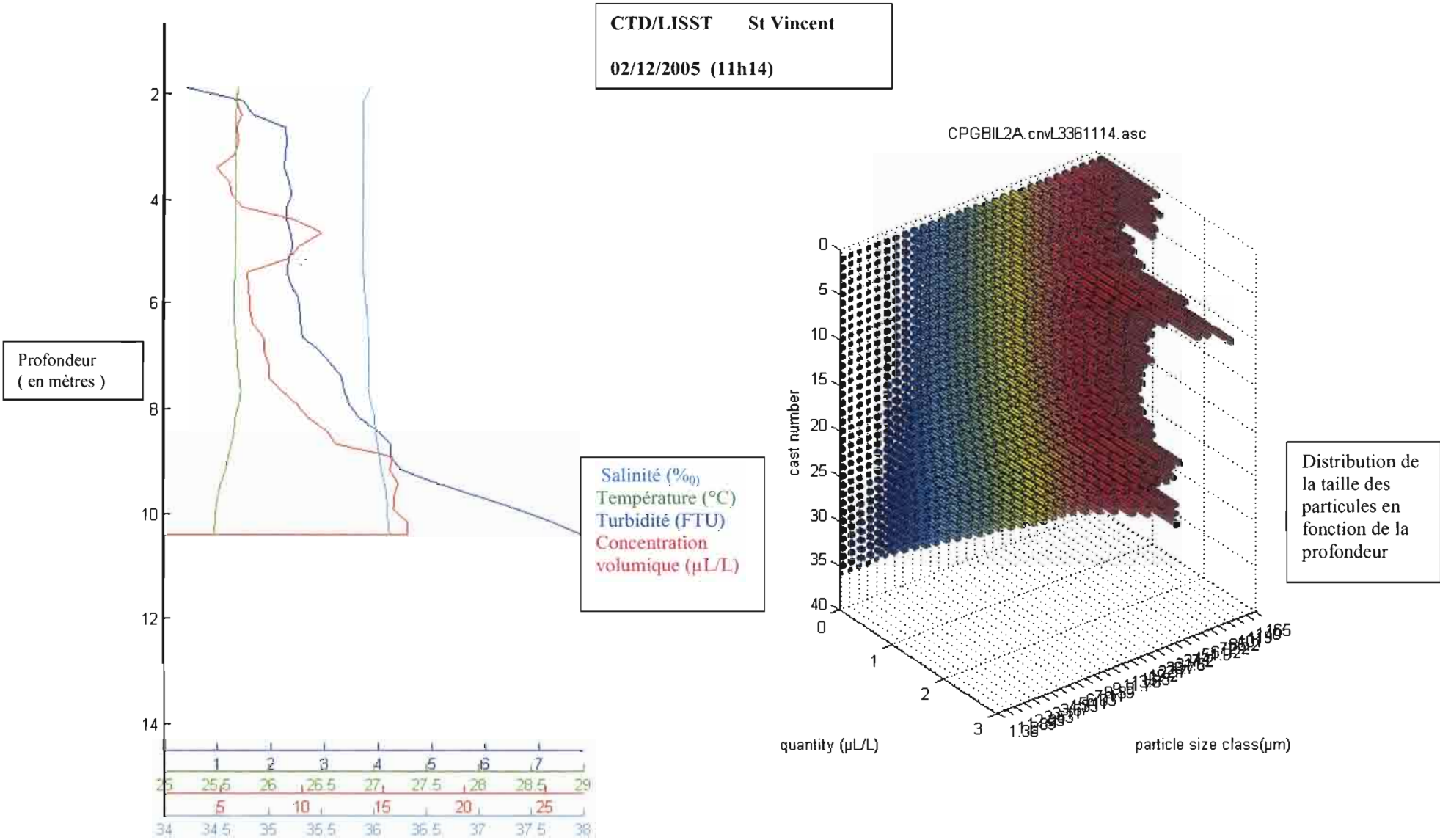
Annexe IV.a



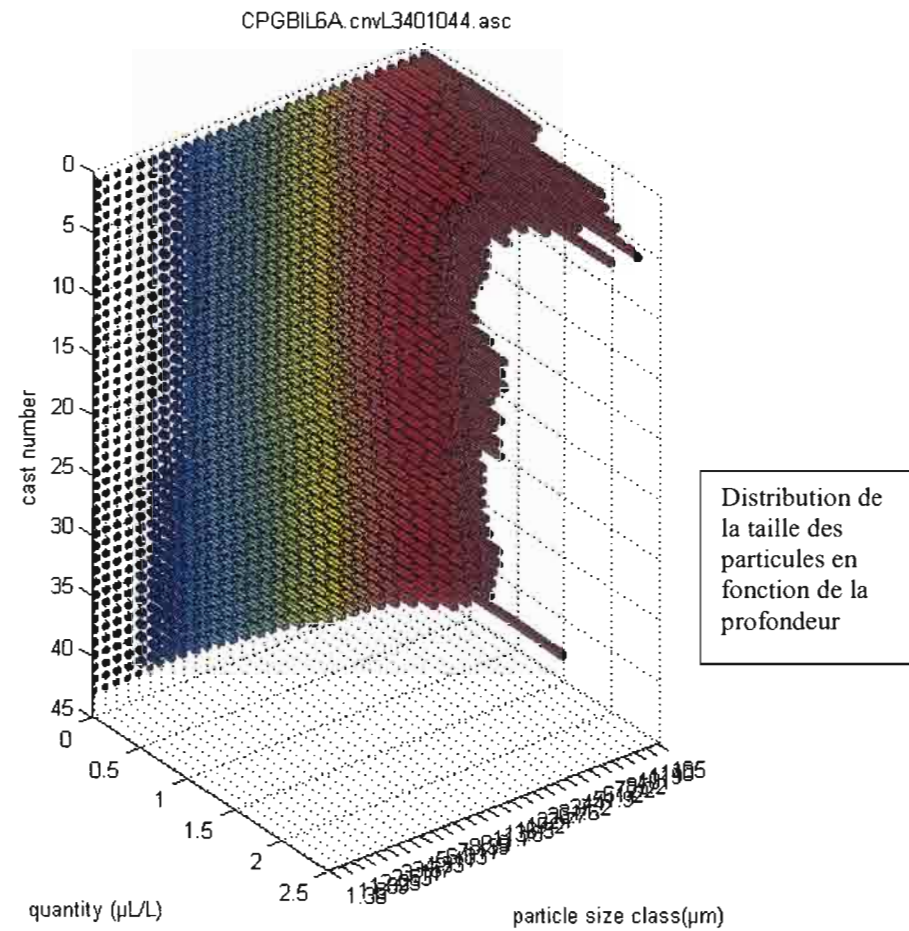
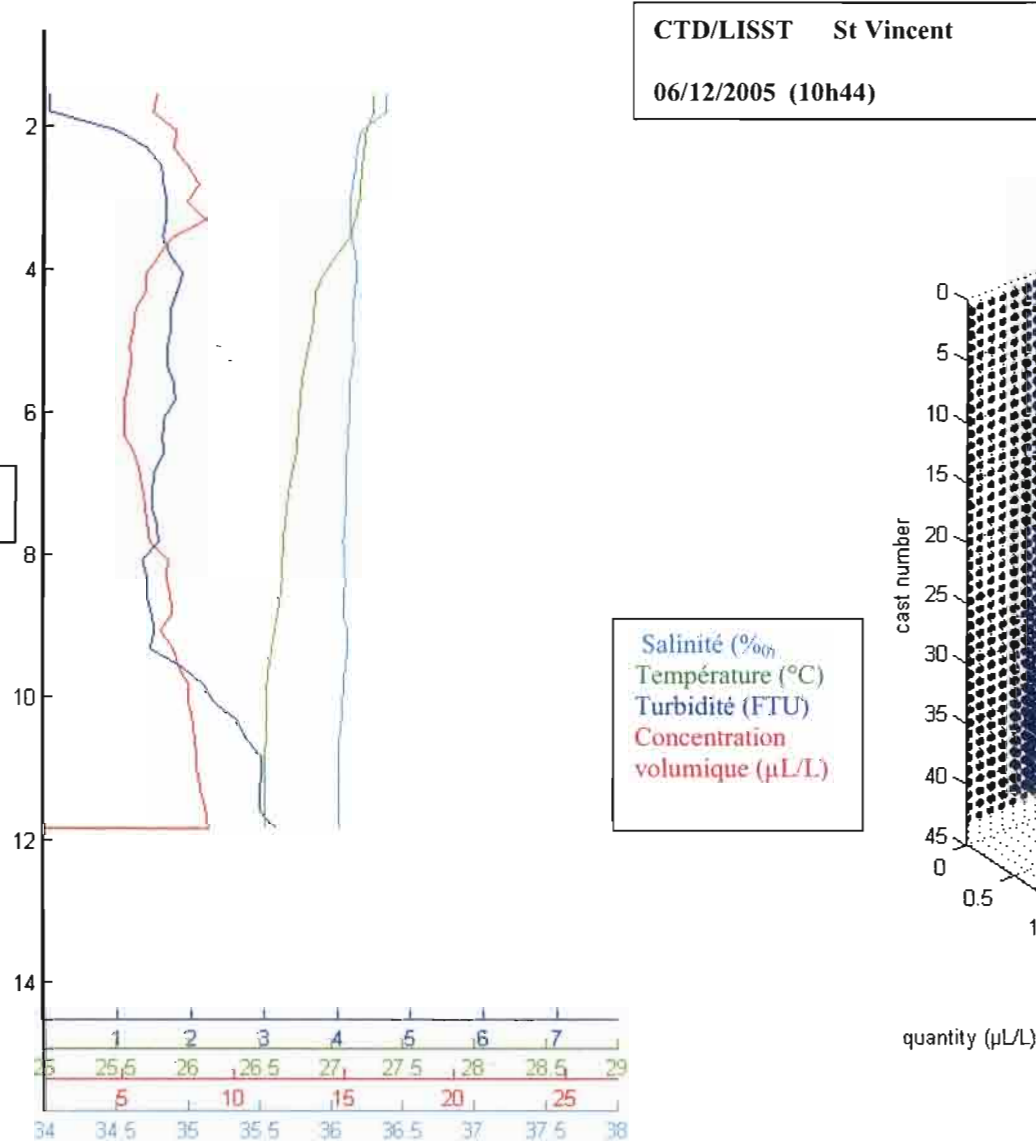
CTD/LISST St Vincent
22/11/2005 (11H09)



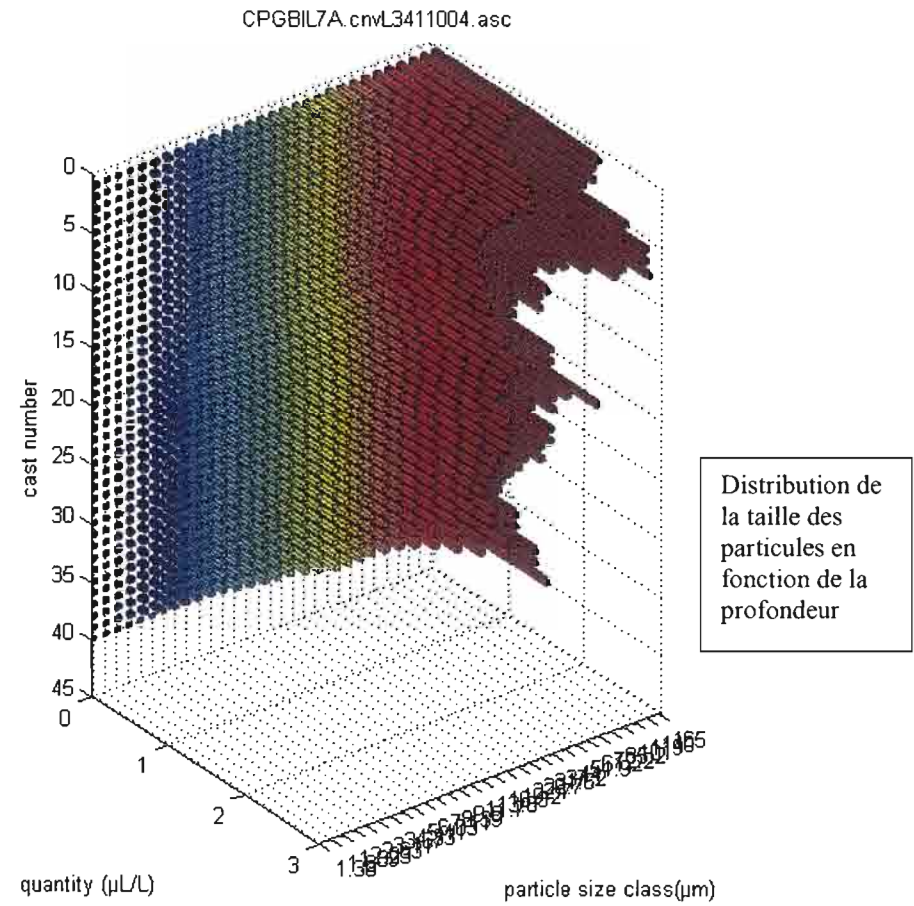
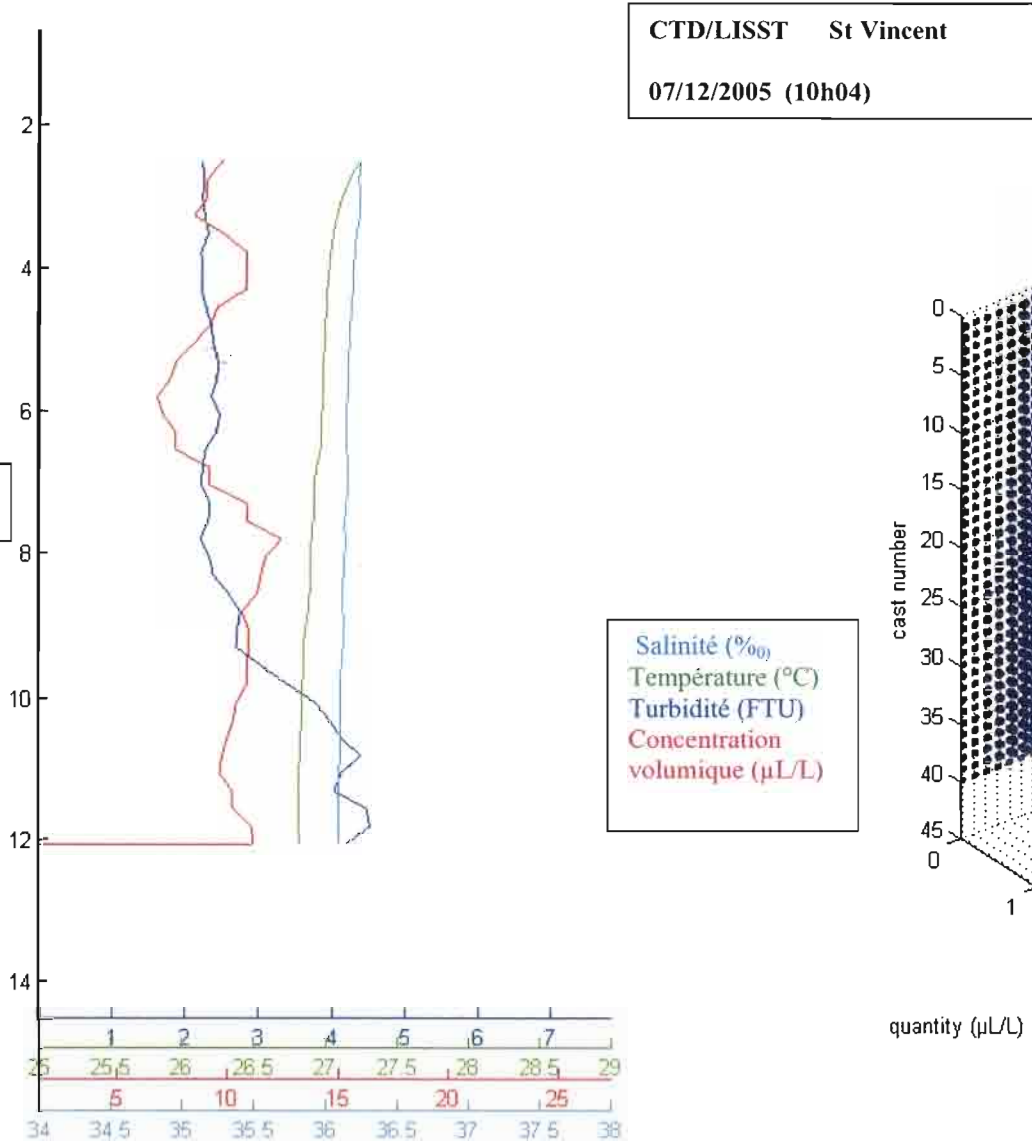
Annexe IV.b



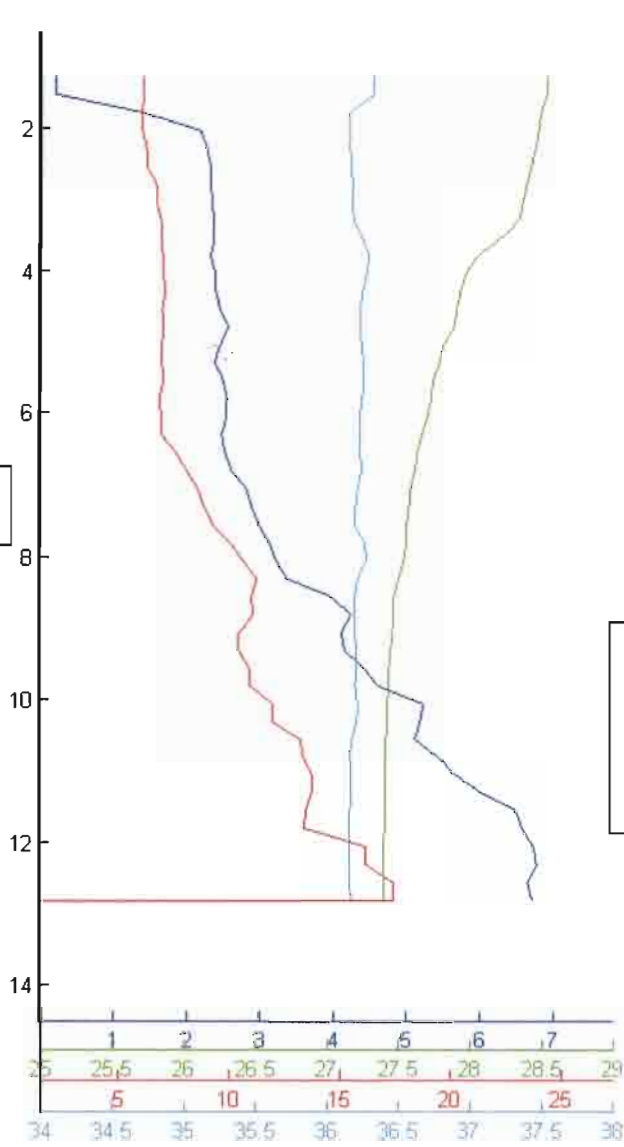
Annexe IV.c



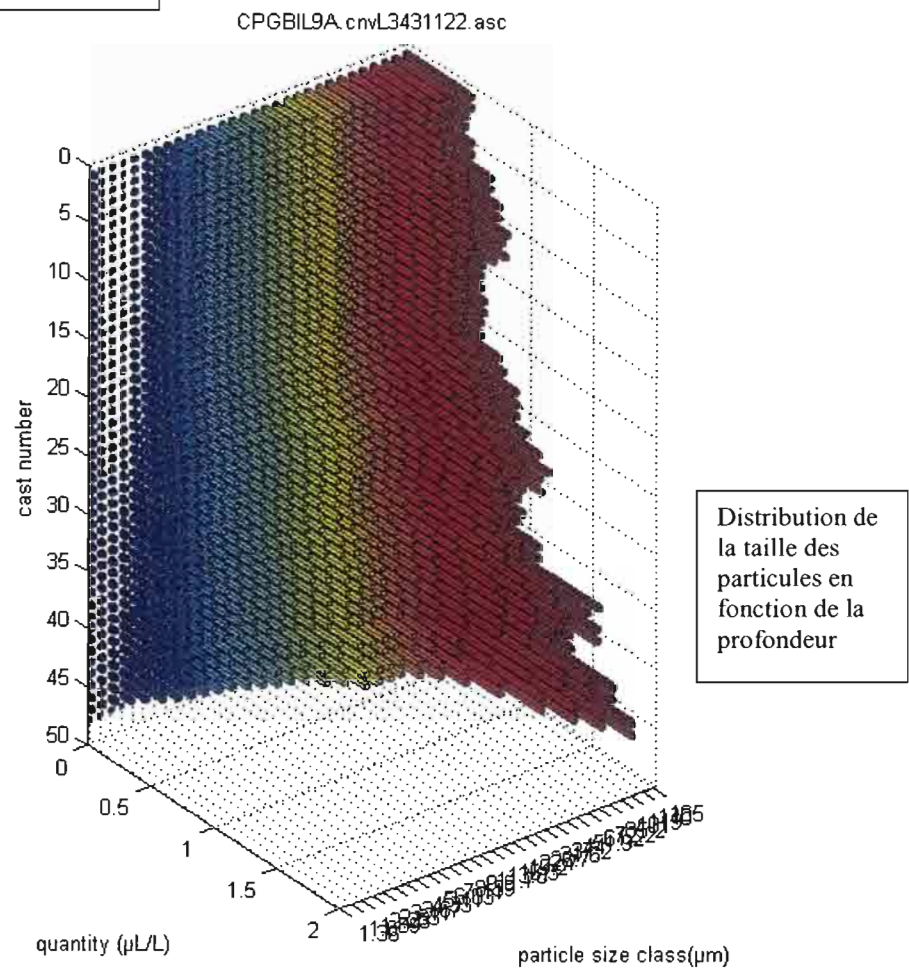
Annexe IV.d



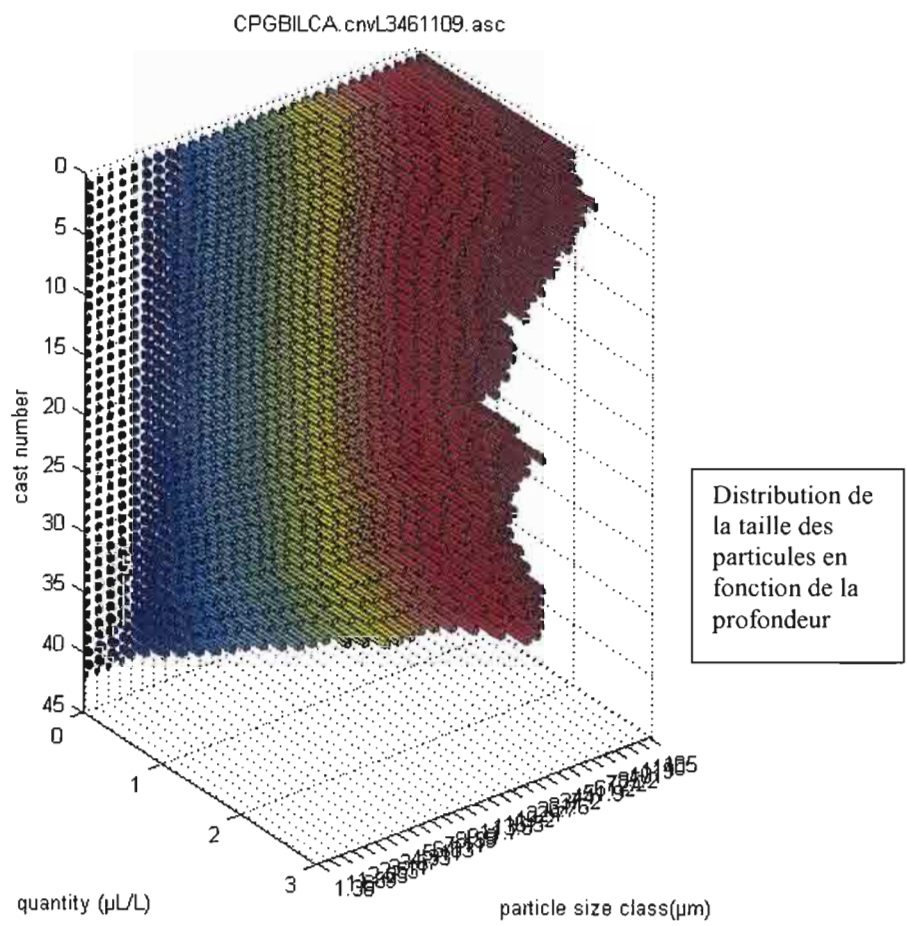
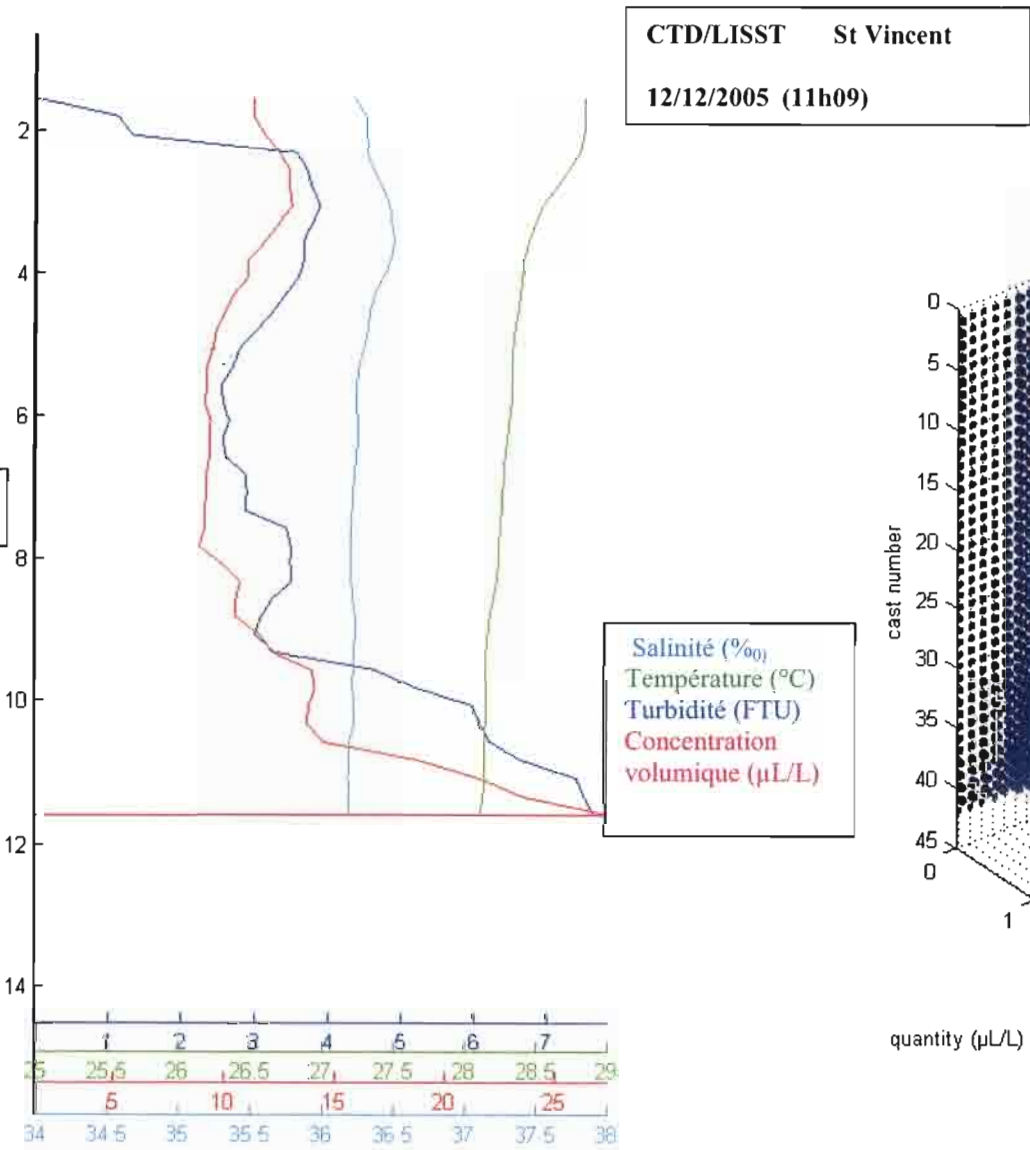
Annexe IV.e



CTD/LISST St Vincent
09/12/2005 (11h22)



Annexe IV.f



RESUME

Les sols de Nouvelle-Calédonie ont fait l'objet depuis la fin du XIX^{ème} siècle, d'une déforestation importante et d'une exploitation minière qui s'est considérablement intensifiée durant ces vingt dernières années. Ces événements ne vont pas sans provoquer des modifications des équilibres pré-existant. Un des objectifs du Programme National d'Environnement Côtier (PNEC) est donc de caractériser et évaluer l'impact de ces activités anthropiques sur les écosystèmes coralliens du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie.

La présente étude tente d'évaluer les apports en particules ainsi que la quantité et la disponibilité de métaux potentiellement toxiques. Trois systèmes estuariens de bassins versants d'histoire minière différente ont été choisis. Pour tenir compte de la saisonnalité des épisodes pluvieux, deux campagnes de mesures et de prélèvements ont été programmées : l'une en saison sèche et l'autre en saison humide.

Lors des campagnes, une ligne instrumentée comportant un piège à sédiment et un courantmètre a été positionnée dans chaque baie. Durant ces périodes, des prélèvements d'eau ainsi que des mesures physico-chimiques et granulométriques *in situ* ont été conduits régulièrement sur chaque point d'étude.

Ce rapport présente le dépouillement et le traitement des données acquises lors de la campagne effectuée durant la saison sèche.

La première phase d'analyse permet de distinguer des comportements hydrologiques distincts ainsi qu'une variation de la charge particulaire entre ces trois baies. Ces résultats permettent d'émettre des hypothèses sur les phénomènes de remise en suspension du sédiment.

De plus, ils pourront être utilisés pour la validation du modèle hydrodynamique développé par l'unité de recherche pour le lagon calédonien.

MOTS-CLES : Nouvelle-Calédonie, lagon, activité minière, apport particulaire, bassin versant.

ABSTRACT

Since the end of the 19 century New Caledonia has been subjected to significant amount of deforestation and mining exploitation. However, over the last 20 years mining exploitation has considerably intensified, provoking changes to the existing equilibrium. One of the objectives of the National Environmental Coastal Programme (PNEC) is to characterise and evaluate the impact of these anthropogenic activities on the reef ecosystems in the south west lagoon of New Caledonia.

The present study attempts to evaluate the amount of particulate matter, in addition to the quantity and availability of potentially toxic metals, present in three estuarine systems subjected to different historical mining impacts. To observe any seasonality effects sampling periods were conducted during both dry and wet seasons.

During each sampling period a sediment trap and current meter were positioned in each bay. In parallel, water samples were collected regularly in each bay to study physico-chemical and granulometric parameters.

This report presents a summary of the data collected during the dry period.

Initial results allowed the identification of different hydrological regimes with variations in the quantity of particulate matter present in the three bays. The hypothesis that sediments were being resuspended in the bay was also suggested.

Additionally, the results obtained could be used to validate a hydrodynamic model developed by the research unit for the New Caledonian Lagoon.

KEYWORDS : New Caledonia, lagoon, mining activity, amount of particulate matter, catchment area.