

Université de Bordeaux 1

D.E.A

Diplôme d'Etudes Approfondies

ENVIRONNEMENTS ET PALEOENVIRONNEMENTS OCEANIQUES

Présenté par Abraham MANANE

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET
DISTRIBUTION DE LA CHLOROPHYLLE DANS
LES EAUX D'UN LAGON D'ILE HAUTE SOUMIS
AUX INFLUENCES TERRIGENES ET
ANTHROPIQUES

SOUS LA DIRECTION SCIENTIFIQUE DE :
Renaud FICHEZ, chargé de recherche

Soutenu à Bordeaux le 22 juin 1998

CENTRE ORSTOM DE NOUMEA, B.P.A5 – NOUMEA
NOUMEA, NOUVELLE-CALEDONIE.

REMERCIEMENT

Je tiens en tout premier à remercier mes parents, mon grand père, Yoyo et Marie-France, et toute la famille pour les sacrifices consentis pour moi.

C'est à tout ce beau monde que je dédie ce rapport. Rien de tout ceci n'aurait été réalisé sans votre soutien quotidien.

Je remercie M. Renaud FICHEZ qui m'a permis de réaliser ce stage de cinq mois dans d'excellentes conditions et de m'avoir aidé activement pour la réalisation de ce rapport. Qu'il soit assuré de ma plus grande estime

Je remercie Mlle Catherine THOMAS pour sa disponibilité et ses conseils depuis Bordeaux.

Je remercie également tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans mes études.

Sommaire

	page
1	Introduction 1
2	Présentation du lagon sud ouest de la Nouvelle Calédonie 2
2.1	Cadre géographique2
2.2	Caractéristiques climatologiques du sud calédonien2
2.3	Le lagon3
2.4	Caractéristiques hydrologiques.....5
2.5	Insertion et objectifs du stage9
3	Matériels et méthodes 10
3.1	Présentation des stations hydrologiques10
3.2	Opérations à la mer11
3.3	Description de la sonde CTD Seabird SBE1912
3.4	Analyses chimiques des échantillons prélevés17
4.	Résultats et discussion 19
4.1	Analyse globale à l'échelle du système19
4.2	Analyse détaillée à l'échelle du système25
5	Discussion et conclusion 38
5.1	Distribution spatiale de la chlorophylle38
5.2	Variations temporelles39
	Références bibliographiques 41

1. INTRODUCTION

La zone littorale, qui abrite plus de la moitié de la population mondiale apparaît de plus en plus menacée, aussi bien d'un point de vue global (modifications climatiques) qu'à l'échelle régionale (altérations anthropiques). Cette pression sur le milieu naturel est tout particulièrement sensible dans les écosystèmes coralliens.

La connaissance et la préservation de l'environnement côtier apparaissent comme une priorité pour les pays insulaires du Pacifique. En Nouvelle Calédonie, le programme ECOTROPE mené par l'ORSTOM a pour objectif d'étudier l'impact des agents d'influences terrigènes et anthropiques sur le lagon sud ouest qui est le cadre géographique de cette étude et où est localisée la principale ville Nouméa qui concentre plus de la moitié de la population. Plusieurs opérations scientifiques (étude des métaux, répartition spatiale des caractéristiques sédimentaires, étude des peuplement benthiques...) sont menés dans ce sens.

La connaissance encore bien incomplète de la répartition géographique et spatiale de la chlorophylle a conduit à la construction du présent sujet de recherche qui utilise les fluctuations d'abondance du chloropigment comme indicateur de pollution.. L'objectif de ce travail est double, cette approche purement quantitative cherche à :

- connaître l'origine et quantifier les zones d'entrées de sels nutritifs dans le lagon
- étudier la dispersion par l'hydrodynamisme des substances nutritives dissoutes et particulaire dans le lagon.

L'utilisation de la sonde CTD Seabird SBE19 équipée de trois capteurs additionnels utilisés pour la mesure de la lumière, de la turbidité et de fluorescence in situ sur 36 stations lagonaires selon une fréquence mensuelle font que cette étude s'appuie sur une stratégie d'échantillonnage basée sur la précision et la représentativité des mesures.

Toutefois il faut souligner que les conditions climatiques rencontrées lors de cette étude qui s'est déroulée de octobre 1997 à mars 1998 correspond au cas particulier de la saison chaude en période ENSO qui en Nouvelle-Calédonie se traduit par de faibles précipitations

2. PRESENTATION DU LAGON SUD OUEST DE LA NOUVELLE CALEDONIE

2. 1. CADRE GEOGRAPHIQUE

2. 1. 1. LA NOUVELLE CALEDONIE

La Nouvelle-Calédonie se situe dans le Pacifique sud à 2000 km à l'est de l'Australie et à 2000 km de la Nouvelle-Zélande. L'île principale ou «Grande Terre», située entre 20° et 22° 30' de latitude sud, est longue de 400 km. Elle présente une largeur au maximum de 80 km et couvre une superficie de 16890 km² : c'est deux fois l'étendue de la Corse.

Avec ses dépendances la Nouvelle-Calédonie représente au total une superficie émergée d'environ 19 100 km². L'espace maritime est immense, la barrière récifale qui entoure la Nouvelle-Calédonie s'étire sur 800 km et l'ensemble de ses lagons couvre une superficie approximative de 24 000 km².

2. 1. 2. LE LAGON SUD-OUEST

Le lagon sud ouest couvre une superficie de 2000 km². Il s'étend sur 150 km, sa largeur au sud est de 40 km et elle n'est plus que de 2 km au Nord. (Voir fig. 1). Sa profondeur moyenne est comprise entre 15 et 20 mètres. La zone d'étude s'étend de la baie de Prony à 40 km dans le sud-est de Nouméa à la baie de St-Vincent à 50 km dans le nord-ouest. Sur un transect côte-large, la structure géomorphologique est la suivante : mangrove de fond de baie, chenal côtier, îlot médians et récifs frangeants, chenal secondaire et grand récif barrière avec passes (Rougerie, 1986).

Le récif barrière émerge aux grandes marées basses. Il est entaillé par des passes, de profondeur, comprises entre 10 et 50 mètres. Une carte bathymétrique précise du lagon entre l'embouchure de la rivière Dumbéa et la passe associée, établie par Launay (1972), révèle la présence d'un profond canyon (les isobathes passent brutalement de 25 à 50 mètres) qui chemine dans le fond du lagon jusqu'à la passe et qui correspond au lit fossile de la rivière Dumbéa. Un deuxième profond canyon se situe entre l'embouchure de la rivière Pirogue et la passe de Boulari, les isobathes passant brutalement de 30 à 65m. La présence de passes dans le prolongement de chaque canyon montre que leur formation qui remonte au dernier épisode glaciaire (il y a -20000 BP, le niveau du lagon est descendu à -130m, Atlas de Nouvelle Calédonie, 1981) est initialement liée à l'existence d'embouchures de rivières. Lors de la dernière transgression, ces ouvertures dans le récif ont été maintenues par le flux hydrodynamique lagonaire, ces passes étant le siège de très violents courants, le flux étant majoritairement orienté du lagon vers l'océan.

De nombreux hauts fonds, récifs et îlots parsèment le lagon et conduisent à une bathymétrie complexe et très changeante sur de petites échelles spatiales (figure 2). Cette complexité des fonds et de la côte induit une circulation lagonaire elle-même très complexe (Douillet, 1997)

2. 2. CARACTERISTIQUES CLIMATOLOGIQUES DU SUD CALEDONIEN

2. 2. 1. TEMPERATURE

Constituée d'une étroite chaîne montagneuse, orientée selon l'axe 135° (nord-ouest-sud-est) entre les latitudes 20 et 23° sud, la Nouvelle-Calédonie est située juste au nord du

tropique du Capricorne à la limite de la zone de balancement de la ceinture anticyclonique des hautes pressions subtropicales d'hiver austral (juillet à septembre).

De par sa proximité tropicale, le sud-ouest calédonien possède un climat tropical rafraîchi en hiver austral par les intrusions d'air froid du système dépressionnaire du sud, et tempéré en été par les alizés de sud-est, lorsque la zone de convergence des alizés se trouve au nord de l'île (Giovanelli, 1953). La zone côtière bénéficie de la régulation thermique océanique, ce qui explique que les températures moyennes des mois les plus chauds (janvier à mars) ne dépassent pas 26,5°C. En juillet et août, les moyennes hivernales de la température de l'air sont comprises entre 19° et 20°C mais des chiffres proches de 10°C peuvent être enregistrés au lever du soleil (Rougerie, 1986).

2. 2. 2. PLUVIOSITE

Il n'y a pas au cours de l'année de période que l'on puisse qualifier de saison des pluies, mais les passages des dépressions et cyclones tropicaux d'été austral sont toujours accompagnés d'importantes chutes de pluies et pour cette raison, le mois de février possède le record absolu de pluviosité (Moniod, 1966). Un deuxième maximum de précipitation est souvent enregistré en début d'hiver lorsque les dépressions tempérées créent de forts coups de vent de sud ouest accompagnés de grains, générant ainsi de fortes crues.

2. 2. 3. REGIME DES VENTS

Les alizés d'est à sud-est constituent le régime dominant avec une fréquence annuelle de l'ordre de 70%. Les moyennes annuelles donnent pour Nouméa des vents de l'ordre de 4,5 m/s à 2H et de 7 m/s à 14H. Les alizés peuvent souffler en toute saison, mais se renforcent généralement au début et en fin de saison chaude et dépassent alors 10 m/s l'après-midi avec des pointes à plus de 15 m/s. En saison froide, le régime subit des perturbations dues à l'intrusion d'air néopolaire en provenance des hautes latitudes australes et des coups de vent du secteur Ouest peuvent dépasser 20 m/s pendant un court laps de temps. Leur fréquence annuelle moyenne est comprise entre 10 et 15%. Les facteurs climatiques locaux influencent grandement les caractéristiques physico-chimiques des eaux lagunaires, ceci en fonction du signe du bilan Evaporation-Précipitation, du régime des vents, des événements climatiques de l'été austral, etc..... (Rougerie, 1986)

2. 3. LE LAGON

La Calédonie est donc soumise périodiquement à de fortes pluies et trois rivières importantes débouchent dans la zone d'étude où elles déversent des éléments terrigènes, provenant de l'érosion des bassins versants. Ces estuaires sous influence terrigène naturelle sont soumis à une croissance importante de la pression anthropique, notamment par la présence de zones d'activités agricoles et minières, en amont.

- La rivière Dumbéa au nord se déverse dans la baie de Dumbéa. En amont, elle possède 4 affluents dont 2 servent au captage de l'eau alimentant la ville de Nouméa. Sur l'ensemble du bassin versant, on recense la présence d'exploitations agricoles importantes et d'anciennes mines et de zones d'habitation.

- La rivière Coulée se jette dans la baie de Boulari et présente dans sa partie amont des anciens sites d'exploitations minières ainsi que quelque domaine agricole de faible importance.

Concernant ces deux rivières, il faut signaler l'importance, au plan hydrologique, de la zone de mangrove à palétuviers qui occupe les fonds de baies et les embouchures de

rivières et qui, outre son rôle de «nurseries» pour de très nombreuses espèces marines, constitue également un filtre très efficace retenant l'essentiel de la charge solide des rivières en crues (Trescase, 1969).

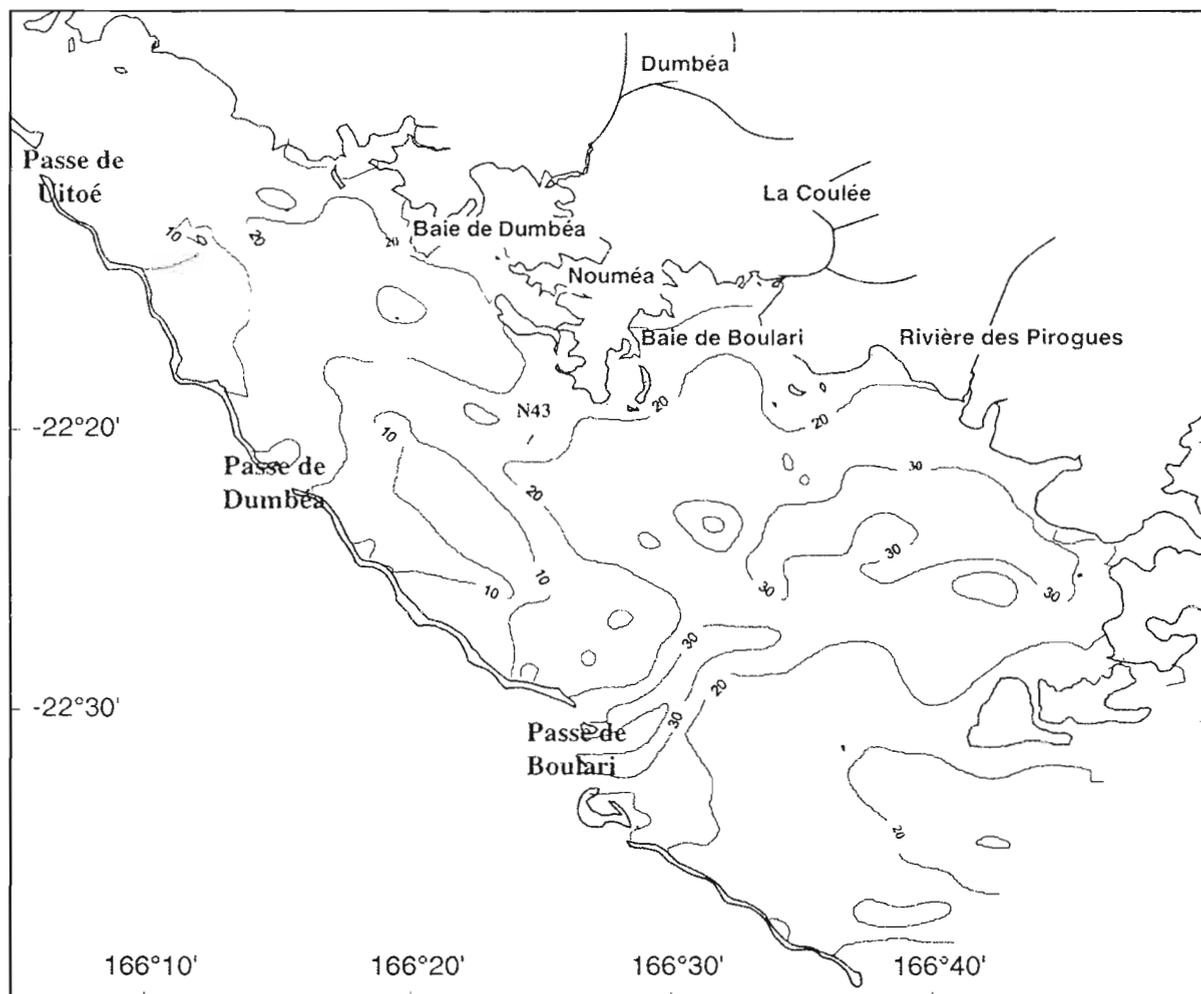


Fig. 1 : le lagon sud ouest de Nouvelle Calédonie

- La rivière des Pirogues au sud est un estuaire débouchant sur une cote exposée. De la cote, il est possible de distinguer les traces d'érosion correspondant à l'exploitation d'anciennes mines et l'exploration de sites potentiels.

D'autre part, la principale ville, Nouméa est localisée dans ce secteur et concentre plus de la moitié des habitants de la Nouvelle Calédonie (environ 100.000 habitants). Une forte densité de la population habite le long de la cote et deux baies non liées à ces trois bassins versant sont le siège d'une forte activité humaine :

- La Grande rade est localisée entre le nord de l'île Nou et la presqu'île Ducos et s'ouvre à l'ouest sur la baie de Dumbéa. Sur son extrémité orientale, s'est installé, au début du siècle, l'usine de la Société le Nickel (SLN) qui pousse en permanence vers sa partie nord un remblai de mâchefer, déchets solides produits par les fours électriques de fusion pendant la fabrication de mattes de nickel.

- La baie de Sainte Marie est fortement urbanisée, une partie des eaux usées de la ville s'y déverse directement sans passage par une usine d'épuration. Une forte densité de macroalgue du genre *Ulva* abonde à la sortie du principal effluent domestique urbain, attestant de l'importance des apports en sels minéraux (eutrophisation). La décomposition bactérienne de cette flore libère de l'hydrogène sulfuré qui est à l'origine d'une forte nuisance olfactive qui altère la qualité de l'air des environs.

Le choix de la zone d'étude a été fait en tenant compte de la forte densité de population le long de la cote, et de la présence de zones estuariennes environnantes. Ainsi, sous l'effet de la pression démographique (déchets domestiques, eaux usées), de l'urbanisme et de l'industrie (fonderie de nickel en fonctionnement et autre projet), l'anthropisation croissante de la région de Nouméa affecte le lagon sud-ouest. A ces apports urbains, viennent s'ajouter les apports terrigènes, agricoles et miniers, transportés par les rivières.

2. 4. CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES

2.4.1 BIBLIOGRAPHIE

Le tableau 1 présente la liste des références bibliographiques et publications existantes en relation avec des campagnes océanographiques au cours desquelles des mesures de chlorophylle ont été effectuées dans le lagon sud-ouest.

Tableau 1 : Références bibliographiques concernant l'hydrologie du lagon de Nouvelle-Calédonie

Auteurs	Dates d'échantillonnage	Lieux d'échantillonnage
ORSTOM, 1981	1980	Mer du corail et intérieur du lagon sud-ouest
ROUGERIE, 1986	Mars 1977 à avril 1979,	Intérieur du lagon sud-ouest
LE BORGNE, 1992 (Orstom)	8 juillet 1991 au 26 mai 1992	5 stations lagunaires situés au large de l'Anse Vata
Clavier et al., 1995	Mai 1986 à avril 1987	5 stations lagunaires au large de Nouméa
D. Binet, Le Borgne, 1996	1979 - 1989	Station côtière à proximité de Nouméa

Le tableau 2, tiré de «l'atlas de la Nouvelle Calédonie» (Orstom, 1981), représente les valeurs moyennes des principaux paramètres hydrologiques dans le lagon sud-ouest. La fertilité du lagon sud-ouest, repose essentiellement sur la disponibilité en éléments nutritifs, phosphatés, azotés et silicatés à l'intérieur de la couche éclairée, où les processus photosynthétiques peuvent se manifester ; le taux d'énergie solaire incidente n'étant pas critique en zone intertropicale, c'est essentiellement la disponibilité en sels nutritifs dissous dans les couches éclairées qui en règle la productivité (Rougerie, 1986).

Le tableau 2 représente les valeurs moyennes des principaux paramètres hydrologiques, et notamment les teneurs en pigments chlorophylliens et en sels nutritifs, mesurés lors de différentes missions, dans les baies et dans la partie libre du lagon (Rougerie, 1986).

Tableau 2: Teneurs en pigments chlorophylliens et en sels nutritifs et intervalles de confiance (à 95 %)

	Estuaire et fond de baies	Lagon Côtier	Lagon Central	Océan	Moyenne Lagon
T°C	23,81		23,86		
Salinité	35,06		35,55		
Chlor-a mg/m ³	0,72±0,18	0,47±0,09	0,39±0,04	0,31±0,02	0,57± 0,05
% phéo	60,0± 4	56,8± 4	59,0± 2	60,0± 2	58,8±2
NO ₂ mmol/m ³	0,14±0,08		0,10±0,05	0,05±0,02	0,11±0,02
NO ₃ mol/m ³	>0,58±0,12		0,36±0,08	0,28±0,04	0,38±0,06
N.O.D mmol/m ³	18,0		16,0	14,0	16,6
N.O.P mmol/m ³	>3,0		2,0	1,4	2,2
SiO ₃ -Si mol/m ³	>20±7,6		3±1,1	1,8±0,2	4,3±2,1
P04-P mmol/m ³	0,45±0,09	0,38±0,07	0,33±0,03	0,30±0,03	0,35±0,05
P0D mmol/m ³	0,93	0,50	0,38	0,35	0,41
POP mmol/m ³	0,15	0,15	0,05	0,03	0,07

4 points importants ressortent de la littérature :

- Une étude périodique du milieu liquide lagonaire, incluant les caractéristiques de distribution des pigments photosynthétiques a été réalisé entre 1976 et 1979 (Rougerie, 1981).

- Les concentrations en sels nutritifs et en pigments photosynthétiques obtenues lors de différentes missions montrent que les teneurs dans le lagon se différencient peu du système superficiel de la mer du Corail qui est caractérisé par son oligotrophie et la faiblesse de sa production primaire.

- On dispose de mesures de paramètres hydrologiques, comprenant des valeurs de chlorophylle, enregistrés pendant 10 ans à proximité de Nouméa. Ces mesures représentatives du lagon de Nouméa ont permis de préciser les caractéristiques hydrologiques de la zone pendant la durée de l'étude.

L'exploitation récente des données de chlorophylle mesurées à un rythme hebdomadaire pendant ces 10 ans montre l'existence d'une variation cyclique et saisonnière des teneurs avec des valeurs élevées en période fraîche. Dans la troisième partie de ce rapport, vous trouverez les éléments explicatifs qui m'ont conduit à cette affirmation ; information, d'ailleurs, que personne n'a mis en évidence jusqu'à présent.

- Des études relatives à la sédimentation de la matière particulaire ont montré que la production primaire pélagique lagonaire contribue faiblement au flux vertical de carbone organique qui assure l'écologie fonctionnelle du benthos.

La source majeure de carbone est d'origine allochtone et dérive à la fois du récif et du continent, ce dernier semblant prédominé (Clavier et al., 1995).

Les références bibliographiques ci dessus constituent les seuls travaux scientifiques au cours desquels des valeurs de concentrations en chlorophylle du lagon ont été obtenues. Cependant les stratégies d'échantillonnages utilisées pour l'acquisition des mesures de pigments lors des campagnes laissent peser un doute quant à la représentativité des données à la fois à l'échelle ponctuelle de la station et sur l'ensemble du lagon. Cette affirmation s'appuie sur les points suivants :

- Echantillonnage vertical insuffisant : dans la littérature, toutes les données recueillies s'appuient, en général, sur 2 niveaux de prélèvement sur chaque station. L'idéal est d'avoir une résolution spatiale verticale plus importante afin d'affiner le degré de précision des valeurs représentatives de chaque station pendant chaque période d'échantillonnage.

- Couvertures spatiale et temporelle insuffisantes : je me réfère ici aux travaux de Rougerie (1986) où des transects ont été parcourus lors de chaque mission pour considérer l'influence du gradient côte-large. L'appréciation des variations spatio-temporelles de l'impact des apports terrigènes et anthropiques sur le milieu lagonaire a été quelque peu minimisée. Il semblerait opportun, d'une part, d'augmenter la fréquence des missions dans ce genre d'étude et, d'autre part, de rajouter des stations hydrologiques près de la cote, et notamment, à proximité des embouchures des 3 rivières et sur le pourtour de Nouméa.

A part cette étude, la littérature témoigne d'un manque important de données couvrant tout l'ensemble de la zone d'étude. Cependant du fait de la présence de stations situées ponctuellement au large de Nouméa, des données de chlorophylle enregistrées pendant un laps de temps important existent.

2. 4. 2. CIRCULATION LAGONAIRE

La connaissance de la circulation générale lagonaire, notamment celle due au vent, dans le lagon est indispensable pour déterminer correctement le transport des particules en suspension dans la masse d'eau et interpréter les processus biologiques (Douillet, 1997). Un modèle numérique tridimensionnel de la circulation courantologique dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie (Douillet, 1997) démontre que les effets, du vent et de la marée sont les

deux principaux moteurs de la circulation dans le lagon. La comparaison entre les mesures in situ et les résultats obtenus valide partiellement le modèle.

La circulation lagonaire est commandée principalement par le vent qui présente un effet plus important en surface (figure 2).

En dehors des passes, les courants dus à la marée sont faibles.

Les points suivants ressortent des analyses :

- Sous l'influence des alizés de sud-est, le courant dans la couche de surface est orienté vers le nord ouest et est totalement contraint par la direction du vent et la géomorphologie de la zone.
- faible intensité de courant aux niveaux des canyons et le long de la cote
- Sous l'effet du rétrécissement de la cote, une zone turbulente où existent des courants importants est localisée dans la lagon de Nouméa.
- Au nord de Nouméa, les courants sont importants et plus simples et sont influencés par la géomorphologie du lagon.

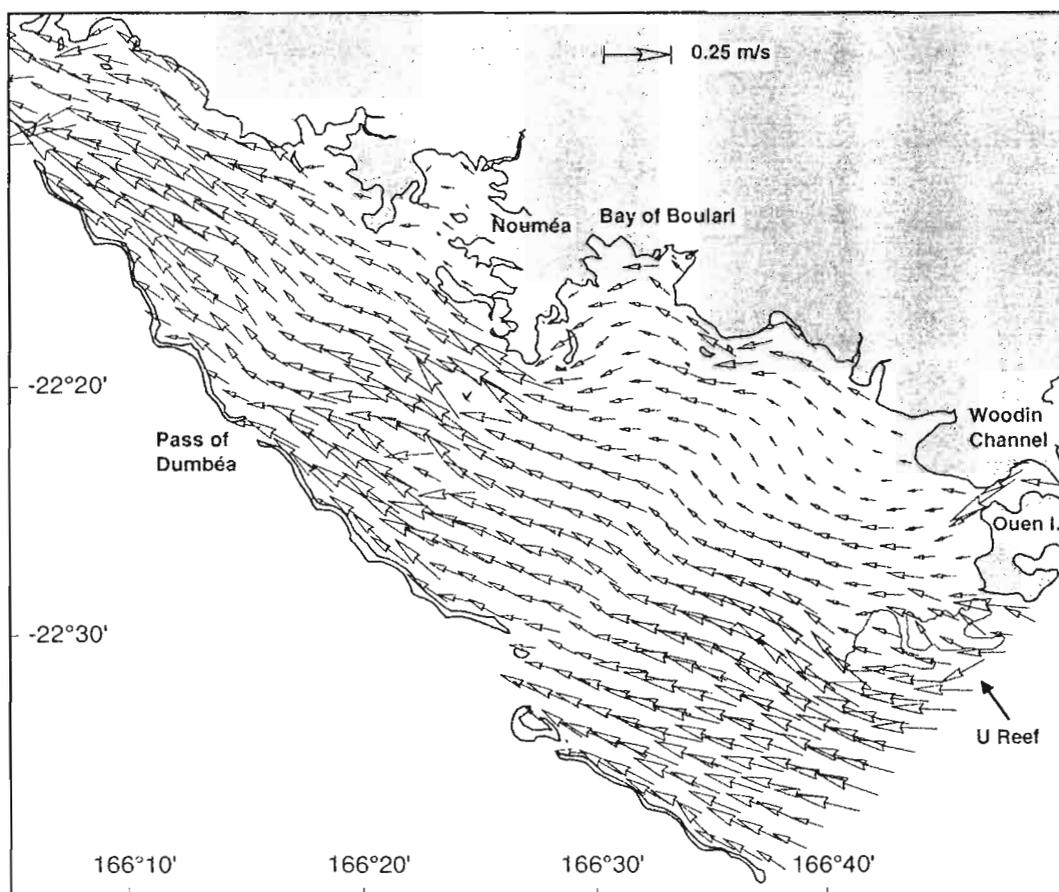


Figure 2. Courants en surface, simulés par le modèle, générés par un alizé de sud-est de 10 m/s et dont la direction est de 110 degrés

- le relief est à prendre en compte dans l'étude de la circulation due au vent, puisque la Calédonie présente une chaîne montagneuse de 1000 mètres d'altitude de hauteur qui freine le vent près de la cote. Ceci se visualise notamment dans les baies de Sainte Marie et de Dumbéa et ainsi que dans la Grande Rade.

2.5. INSERTION ET OBJECTIFS DU STAGE

Le stage de DEA s'inscrit dans le cadre du programme ECOTROPE qui a pour objectif d'étudier l'impact des agents d'influences terrigènes et anthropiques. L'effort de recherche actuel est principalement axé sur l'étude des lagons de Suva (Fidji) et de Nouméa et les principaux axes de recherche sont :

- L'origine et l'importance des principaux agents d'influences arrivant dans le lagon.
- Le transport de ces agents d'influences et leurs évolutions dans le lagon.
- Les modifications par ces agents d'influences du biotope lagonaire et de la biocénose consécutivement à l'évolution de la qualité du milieu non vivant.

Le stage présenté ici s'intéresse aux caractéristiques physico-chimiques des eaux et cherche à déterminer les grandes tendances de structuration des masses d'eau en fonction :

1. Du gradient d'influence terrigène.
2. Du gradient d'influence anthropique

Pour cela la stratégie d'échantillonnage a été définie de façon à obtenir une bonne résolution spatiale. L'échantillonnage s'oriente en particulier selon des transects côte large.

L'acquisition de données s'effectue pour partie à partir d'un outil permettant une résolution verticale exceptionnelle. Il s'agit d'une sonde autonome Sea Bird permettant de mesurer conjointement la profondeur, la température, la salinité, la pression, l'irradiance, la turbidité et surtout la concentration en chlorophylle. La sonde CTD est en effet équipée d'un fluorimètre in situ ce qui permet d'obtenir des profils verticaux pour chacun des paramètres cités à chaque station avec une résolution de l'ordre de 30 cm.

Le travail envisagé doit permettre d'améliorer de façon significative les connaissances en ce qui concerne la distribution des paramètres physico-chimiques dont la concentration en chlorophylle a dans le lagon et d'évaluer l'effet structurant des apports terrigènes et anthropiques sur les masses d'eaux lagonaires.

3. MATERIELS ET METHODES

3.1 PRESENTATION DES STATIONS HYDROLOGIQUES

Dans le cadre de cette étude, la stratégie qui a guidé l'échantillonnage est basée sur des mesures répétées selon une fréquence mensuelle.

Ainsi l'étude portant sur 36 stations lagunaires doit permettre, d'une part, de comparer les variations temporelles en ces différentes stations et, d'autrepart, de considérer l'influence du gradient côte-large.

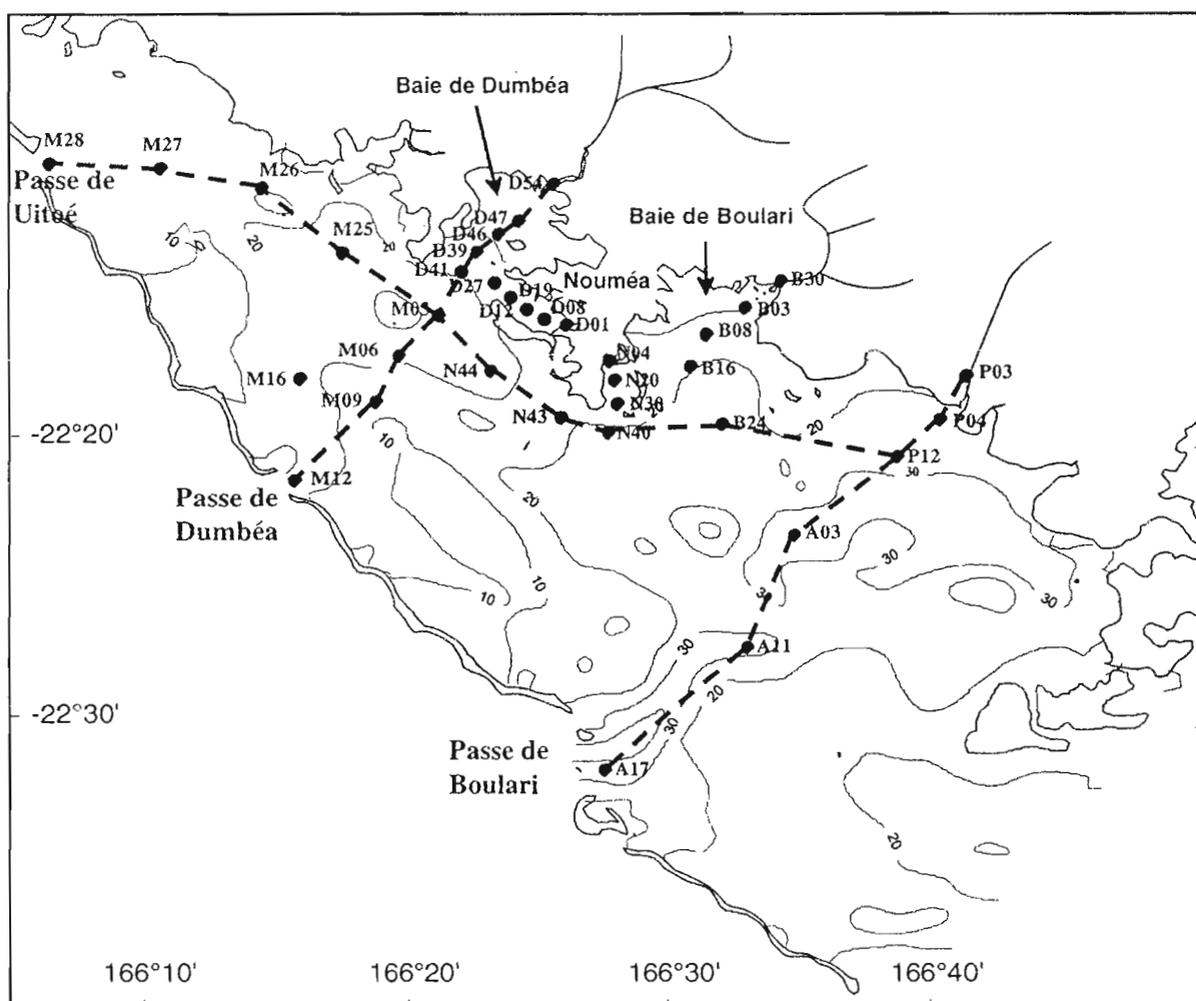


Figure. 2 : Réseau des stations de mesure et représentation des transects (tirets)

Ces stations permettent de distinguer dans la figure 2:

→ 2 transects côte-large :

- Baie de Dumbéa – Passe de Dumbéa
- Pirogue – Passe de Boulari

→un transect le long de la cote :

- Pirogue – Uitoé, orienté dans la direction du courant dominant, autrement dit dans le sens des alizés d'est à sud-est qui constituent le régime des vents dominant.

Au total, 36 stations dont trois terrestres sont parcourues périodiquement avec une fréquence mensuelle.

3. 2. OPERATIONS A LA MER

Deux opérations sont effectuées régulièrement sur chaque station lors de chaque campagne mensuelle.

3.2.1. MESURE A LA SONDE CTD

La sonde CTD est fixée à un câble hydrographique qui est lui-même relié à un treuil hydrographique qui assure la montée et la descente de l'appareil. Munie de 6 capteurs dont 3 optionnels, la sonde multi-paramètre mesure de façon in situ les paramètres hydrologiques suivants :

- la conductivité
- la température
- la pression
- la fluorescence
- le PAR : Photosynthetically Active Radiation
- la turbidité

On obtient ainsi, pour chaque station hydrologique, des profils verticaux de ces différents paramètres.

3.2.2. PRELEVEMENTS HYDROLOGIQUES

A chaque station, en concomitance avec les mesures de la sonde, des prélèvements hydrologiques sont effectués à 3m de la surface à l'aide de deux bouteilles de prélèvement NISKIN de 5 litres pour les mesures de nutriments et la filtration du matériel particulaire.

Les échantillons d'eau sont conservés dans des caisses fermées jusqu'au retour au laboratoire où ils sont filtrés. Les opérations de filtrations s'effectuent à la fin de chaque sortie journalière afin de minimiser les effets de dégradation bactérienne du matériel particulaire. A partir des filtres représentatifs de chaque station, ont été déterminées les concentrations des paramètres suivants :

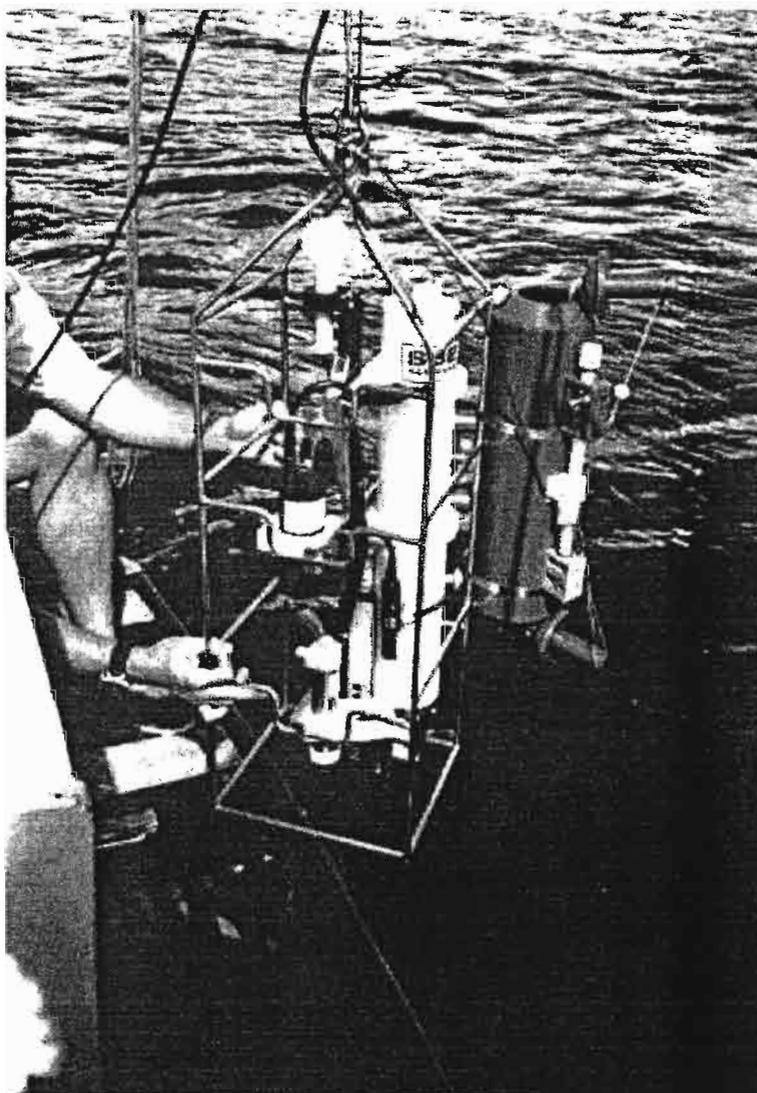
- _ chlorophylle a et phéopigments
- _ matière en suspension
- _Carbone, Hydrogène et azote.
- _ Phosphore particulaire

Une partie des échantillons prélevés est transvasée directement de la bouteille NISKIN dans des flacons placés dans des conditions réfrigérantes et est destinée aux dosages des sels nutritifs par différentes analyses sur Technicon.

3.3. DESCRIPTION DE LA SONDE CTD SEABIRD SBE19

3.3.1. LA SONDE

La sonde CTD Seabird SBE19 est un puissant outil de mesure utilisé récemment dans le cadre du programme ECOTROPE par l'ORSTOM de Nouméa pour les opérations de caractérisations physico-chimiques de la masse d'eau lagonaire.



Il s'agit d'une sonde multi-paramètre qui est dotée en standard de 3 capteurs qui permettent de mesurer : la conductivité, la température, la pression.

Cet appareil offre d'autrepart la possibilité de rajouter plusieurs capteurs optionnels. Dans le cadre du programme ECOTROPE , les 3 capteurs supplémentaires utilisés sont :

- un fluorimètre qui permet la détermination in situ de la concentration en chlorophylle.

- un capteur de PAR : Photosynthetically Active Radiation
- un néphélomètre qui mesure la turbidité des eaux traversées par la sonde.

La puissance de la sonde, à côté de l'aspect multi-paramètre, se justifie surtout au niveau du taux d'acquisition des mesures ; la fréquence d'acquisition de données est de 2 Hz, soit un taux d'acquisition de deux mesures par seconde.

L'utilisation de la CTD Seabird SBE19 procure une excellente résolution verticale et elle permet d'obtenir à chaque station des profils surface-fond des paramètres mesurés.

D'autrepart, cette sonde possède une forte capacité d'enregistrement des données avec une mémoire de un méga.

3.3.2. LES CAPTEURS

Sur chaque station hydrologique, les paramètres cités sont mesurés à la fois lors de la descente et de la remontée de l'appareil. Le montage de l'appareil fait que l'on conserve que le profil à la descente.

3.3.2.1. Les capteurs standard

Le salinomètre, le capteur de pression, et le thermomètre, sont de type Seabird et constituent les 3 capteurs standard intégrés à la sonde.

Le premier indique la profondeur de mesure de la sonde. La température et la salinité sont des paramètres conservatifs de l'eau de mer et constituent ainsi de bons marqueurs, des apports d'origine terrigène, soit fluviaux, soit par ruissellement direct à la cote d'une part et, de l'infiltration dans le lagon d'eau profonde environnante via les canyons, d'autrepart.

Des profils verticaux de température et de salinité sont ainsi obtenus, avec ceux des 3 autres paramètres additionnels.

3.3.2.2. Le capteur sphérique d'irradiance type LI-COR

Le capteur sphérique d'irradiance est utilisable en milieu aérien et dans l'océan où il mesure le PAR à différents niveaux de la colonne d'eau. Le PAR (Photosynthetically Active Radiation) correspond à la proportion du flux de photons photosynthétiques qui présente une gamme de longueur d'onde comprise entre 400 et 700 nm. Contrairement à un capteur plan qui mesure la quantité de lumière atteignant la surface du fond, le capteur sphérique mesure l'ensemble du rayonnement qui converge en un point de la masse d'eau ; il mesure donc le PAR provenant de toutes les directions à la profondeur d'échantillonnage.

L'atténuation de la lumière avec la profondeur est liée en partie à la turbidité de l'eau de mer, et l'intérêt de la mesure se situe donc dans l'estimation de la matière en suspension et de l'énergie lumineuse disponible aux processus de photosynthèse dans les eaux traversées par la sonde.

3.3.2.3. Le fluorimètre WETLAB type WETStar

Le fluorimètre émet un rayon de lumière bleue (455 nm) qui excite la chlorophylle *a*. Pour retrouver son niveau d'énergie initiale, la chlorophylle réémet dans une longueur d'onde supérieure (685nm) correspondant à la lumière rouge. La quantification de l'énergie lumineuse émise permet de déterminer la concentration en chlorophylle *a*. Le

fluorimètre est constitué d'une source de lumière bleue qui sert à l'excitation de la molécule et une photodiode utilisée pour la détection et la transformation de la lumière rouge émise en signal électrique. Une pompe intégrée au corps de la sonde assure la circulation de l'eau de mer à vitesse constante dans les capteurs de salinité et de fluorescence. miniaturisée WETStar mesure en continu la fluorescence in situ des eaux traversées par la sonde. Le principe de la méthode de mesure est basé sur la quantification de l'énergie lumineuse émise par la chlorophylle. La chlorophylle a est une molécule photosynthétique douée de fluorescence ; l'absorption par le phytoplancton

Il est donc possible de calculer la concentration en chlorophylle a d'un échantillon d'eau donnée en étalonnant les valeurs de fluorescence avec les concentrations en chlorophylle a déterminées au laboratoire sur des échantillons discrets.

La calibration consiste à l'incorporation dans la configuration du logiciel de la sonde d'un facteur d'échelle qui permet de corriger les signaux standards du fluorimètre en valeurs de concentrations exactes déterminées à partir des échantillons discrets.

Dans la figure 3, est représentée le signal fluorimétrique mesuré par la sonde à 3m de profondeur en fonction de la concentration en chlorophylle a d'échantillon discret. La droite de régression présente un coefficient de détermination satisfaisant qui rend compte de la bonne calibration du fluorimètre utilisé dans cette étude, autrement dit de la fidélité du facteur d'échelle dans la transformation des signaux fluorimétriques en mesure de chlorophylle.

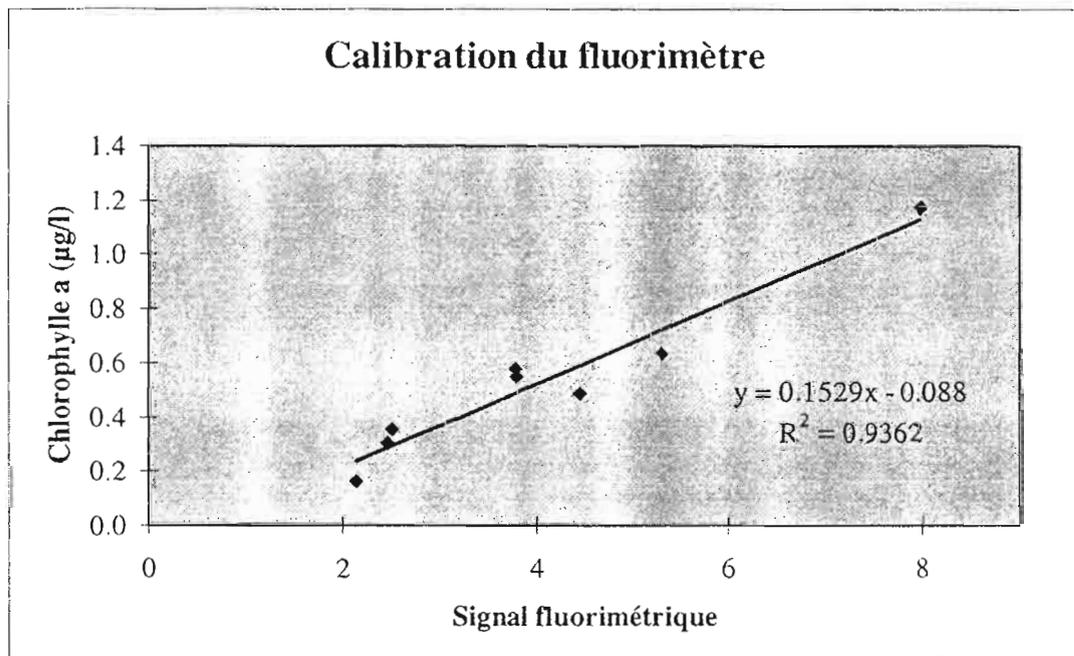


Figure 3 : Vérification de la calibration du fluorimètre utilisé dans cette étude

Le facteur d'échelle est déterminé à partir de la formule suivante donnée par le manuel de la sonde :

$$(1) [\text{chlorophylle}] \text{ fausse } (\mu\text{g/l}) = (V_s - V_{bl}) * \text{facteur d'échelle (faux)}$$

d'où l'équation (2) : $[\text{chlorophylle}] \text{ vraie } (\mu\text{g/l}) = (V_s - V_{bl}) * \text{facteur d'échelle nouveau}$ (que l'on cherche à déterminer).

La combinaison des équations 1 et 2 permet d'écrire que :

$$\text{facteur d'échelle vrai} = [\text{chlorophylle}] * (\text{facteur d'échelle faux} / [\text{chlorophylle}] \text{ fausse})$$

Deux atouts techniques expliquent donc l'utilisation de cet outil de choix dans le cadre de l'étude de la variation spatio-temporelle de la chlorophylle :

_ détermination in situ des concentrations en chlorophylle a des eaux traversées par la sonde

_ fréquence d'enregistrement importante des données, avec un taux d'acquisition de deux mesures par seconde.

La stratégie d'échantillonnage utilisée pour cette étude est basée sur l'application de cet outil de choix sur un nombre de stations hydrologiques plus important. Elle permet une meilleure connaissance de la distribution spatio-temporelle de la chlorophylle dans le lagon.

3.3.2.4. Le turbidimètre Seapoint

La mesure de la turbidité est obtenue à l'aide d'un néphélomètre qui détecte donc la quantité de lumière réémise par les particules. Cet appareil présente un émetteur de lumière qui délivre une radiation de 880 nm. La lumière diffractée et/ou réfractée par les particules, situées à environ 5 cm de l'appareil, est détectée de façon synchronisée par une photodiode de réception qui ne prend en compte que la fraction de lumière réfléchi avec un angle de diffusion compris entre 15 et 150°. Le signal électrique est donc proportionnel à la quantité de particules et peut être, après calibration, exprimé en valeurs de turbidité (ntu) ou de concentration en matière en suspension.

Pendant les matières en suspension présentent des propriétés d'absorption et de diffusion de la lumière qui diffèrent en fonction de la composition minéralogique, la taille, la forme, l'indice réfractif et le spectre d'absorption. Le néphélomètre ignore les effets d'absorption et seules certaines propriétés de diffusion sont prises en compte.

Ainsi, pour une granulométrie égale, deux particules, terrigène et carbonaté, vont présenter des propriétés d'absorption différentes. En effet, cantonné préférentiellement près de la cote, la particule terrigène va plus retenir la lumière, ce qui va se traduire par des valeurs dissemblables affichées par l'appareil.

Ainsi à concentration égale, ces deux types de matériaux de coloration distincte, vont présenter des teneurs obtenues par le turbidimètre qui vont différer et évoluer vers une surestimation de la concentration en carbonate, qui évolue préférentiellement à proximité du récif, au profit du terrigène.

Les variations vont donc se poser en terme relatif au sein d'une station ou d'un groupe de station. Et la difficulté va se poser dans une interprétation en terme quantitatif et dans la comparaison de milieux différents, principalement sur un transect côte-large.

Contrairement au turbidimètre, le transmissiomètre mesure l'atténuation de la lumière en intégrant à la fois les propriétés de diffusion et d'absorption des particules. Cet appareil émet une source lumineuse et un détecteur, situé du côté opposé de l'émetteur, mesure

l'atténuation causée par les particules qui interfèrent avec le faisceau lumineux. L'instrument expose les données en pourcentage de transmission, un coefficient d'atténuation qui tient compte de la diffusion et de l'absorption peut être calculé et exprimé en transmission de lumière par unité de longueur. Ainsi la teneur en matière en suspension qui interfère avec le faisceau lumineux est déterminée de manière plus précise avec un transmissiomètre.

3.3.2.5. Précision des mesures

Le tableau 4 représente les gammes de mesure, la précision et la résolution de chaque capteur de la sonde.

Tableau 4 : Spécifications techniques des 6 capteurs de la sonde.

Paramètres mesurés	Conductivité	Température	Profondeur	Fluorimétrie	Turbidité	PAR
Unités	S/m	°C	M	µg/l	NTU	µmol s ⁻¹ m ⁻² / microamp
Gamme de mesure	0 à 7 S/m	- 5 à 35°C	0 à 1000 m	0,03-75,0µg/l 0,06-150µg/l	0-750 NTU	10% à 100% de la lumière
Précision	0,001 S/m	0,01°C	0,25%		± 2%	3µ A /1000 µmol s ⁻¹ m ⁻²
Résolution	0,0001 S/m	0,001°C	0,015%	0,03µg/l		±6,3%

La puissance de cet outil s'observe également à travers son potentiel technique et notamment la précision de ces mesures.

Cet outil performant présente des spécifications techniques qui conviennent largement dans le cadre de cette étude.

Cependant une calibration de chaque capteur s'impose préalablement à l'utilisation de la sonde afin de valider les données enregistrées.

3.3.3. SAISIE ET TRAITEMENT DES DONNEES

L'effort de recherche du stage est concentré sur la gestion et l'exploitation des larges jeux de données recueillies par la sonde au cours de chaque mission, et notamment celles relatives aux concentrations de chlorophylle a. La série de données recueillies sur chaque station hydrologique est enregistrée sur portable sous la forme de fichier Seabird.

Des programmes informatiques permettent de passer des fichiers Seabird (données originales) à des fichiers Ascii puis Excel (Microsoft), ces derniers présentant un grand intérêt pratique puisqu'ils permettent, d'une part, grâce à une macro, de visualiser, sur chaque station, les données de chaque paramètre à différentes profondeurs et les profils verticaux associés. D'autre part, en mode Excel, le potentiel d'exploitation des données est élevé, les fichiers pouvant subir des traitements informatiques (moyennes, variations dans le temps, corrélations multiples, représentations graphiques....)

Toutes les données enregistrées lors de chaque mission sont donc disponibles sous ces trois formes de fichiers, originales (données brutes), ascii (.cnv) et excel (.xls).

3.4. ANALYSES CHIMIQUES DES ECHANTILLONS PRELEVES

3.4.1. TRAITEMENT ET CONSERVATION DES ECHANTILLONS

Dès le retour au laboratoire, les échantillons prélevés lors de chaque sortie journalière sont filtrés afin de minimiser les effets de la dégradation du matériel particulaire. Pour chaque station hydrologique, 4 filtrations sont opérées pour l'analyse des différents paramètres:

- Chlorophylle a et phéopigments
- Matière en suspension
- Carbone, et azote
- Phosphore particulaire

Une partie des échantillons prélevés est transvasée dans des flacons placés dans des conditions réfrigérantes. Cette fraction d'eau sert aux dosages des sels nutritifs. De retour au laboratoire, pour éviter les modifications chimiques de ces derniers, les flacons sont soigneusement conservés au congélateur avant l'analyse des sels nutritifs sur Technicon II.

3.4.2. MATERIEL PARTICULAIRE ET FRACTION ORGANIQUE

La filtration permet de séparer la matière particulaire des éléments dissous. La matière en suspension est obtenue sur filtre Whatman GF/F de 47 mm de diamètre, que l'on calcine à 410°C, pendant un temps minimum de une heure et demi, préalablement pour enlever des éventuels dépôts de matière organique. Le filtre est séché pendant 24 h, à l'étuve à 60°C. La matière sèche ainsi obtenue est pesée puis passée au four à 450°C pendant 1 ½ h. Les cendres sont pesées afin d'obtenir la fraction organique par différence entre le poids sec et le poids de cendre.

3.4.3. ANALYSE DES CHLOROPIGMENTS

La chlorophylle a et les phéopigments sont dosés par fluorescence selon la méthode de Yentsch et Menzel (1963) après filtration de 750 ml d'eau de mer sur filtre Whatman GF/F de 25 mm. Les filtres sont ensuite congelés en attendant l'analyse. Les pigments recueillis sur le filtre sont extraits ensuite dans le méthanol à 95 % pendant 15 à 90 minutes, puis dosés par fluorimétrie avant acidification (pour n'obtenir que la chlorophylle a). La méthode, dont la précision est de $\pm 0,02 \text{ mg/m}^3$ de chlorophylle a, consiste à mesurer la fluorescence avant (F0) et après acidification (FA) d'un extrait acétonique de pigment. La diminution de fluorescence observée est en relation avec le pourcentage relatif de chlorophylle a par rapport à la somme chlorophylle a + phéophytine a.

Le principal intérêt de la méthode fluorimétrique (Yentsch et Menzel, 1963 ; Holm-Hansen et al., Lorenzen, 1966) par rapport à la méthode spectrophotométrique (Lorenzen, 1967) est sa grande sensibilité. Elle permet de traiter des échantillons de volume plus réduit, ce qui représente un gain de temps appréciable.

De plus, le pourcentage de dégradation((phéopigment/(chlorophylle active + phéopigments)) a été estimé pour chaque prélèvement.

Les concentrations en chlorophylle a obtenues par extraction chimique permettent de calibrer les données enregistrées à partir du capteur de fluorescence in situ monté sur la sonde CTD et de vérifier en cours de manipulation la validité de cette calibration.

3.4.4. MESURES DES SELS NUTRITIFS

Une partie des échantillons prélevés à 3m de profondeur sur chaque station est transvasé dans les flacons maintenus à faible température par des glaçons. De retour au laboratoire, ces échantillons sont conservés au congélateur et est destiné aux dosages des sels nutritifs (N, P, Si). Ces derniers sont dosés avec une chaîne d'analyse automatique en flux continu Technicon II selon les méthodologies classiques de Strickland et Parsons(1968) adaptées :

- Le nitrate est dosé selon la méthode Wood, Armstrong et Richards (1967) dont la précision est de $\pm 0,1 \mu\text{atg/l}$.
- Le nitrite est dosé selon la méthode de Benschneider et Robinson (1952) dont la précision est de $\pm 0,02 \mu\text{atg/l}$
- Le phosphate est dosé selon la méthode de Murphy et Riley (1962) dont la précision est de $\pm \mu\text{atg/l}$.
- Le silicate est dosé selon la méthode de Mullin et Riley (1955) dont la précision est de $\pm 0,1 \mu\text{atg/l}$.

Les quatre éléments ci-dessus sont déterminés au Technicon après congélation.

- L'ammonium est dosée selon la méthode de KOROLEFF (1969) dont la précision est de $\pm 0,04 \mu\text{atg/l}$. Le temps est particulièrement crucial dans le cas de l'analyse de l'ammonium, notamment. Pour éviter les risques de pollutions et de contaminations, ce dernier est aussitôt fixé avec les réactifs dès le retour à bord, l'échantillonnage se faisant de façon directe à la sortie de la bouteille NISKIN. L'analyse s'effectue le lendemain au spectrophotomètre après développement de la coloration.

Les déterminations des fractions organiques dissoutes azotées et phosphatées ont été faites suivant le protocole décrit par Pujot-Pay et Rimbault (1994) par oxydation humide au persulfate.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 ANALYSE GLOBALE A L'ECHELLE DU SYSTEME

4.1.1. INTERET DE L'ANALYSE DU COUPLE TEMPERATURE-SALINITE

L'analyse de la distribution des 36 stations en fonction de leurs valeurs moyennes de température et de salinité permet d'examiner la structuration du milieu physique lagonaire et d'ébaucher une première classification hiérarchique des masses.

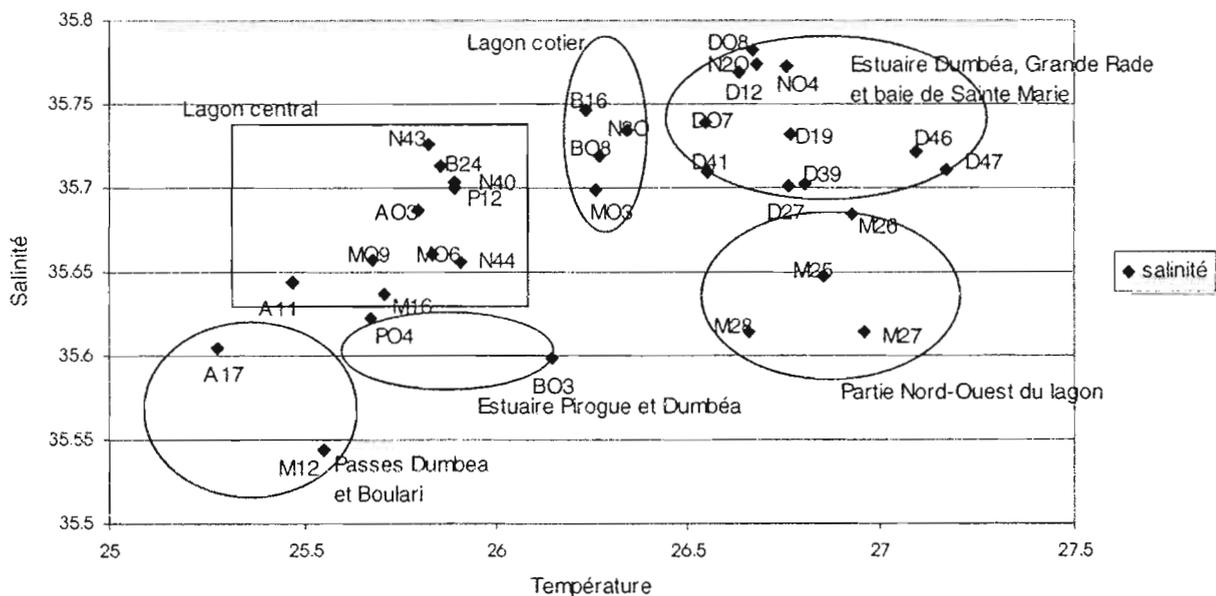


Figure 3 : Répartition des points de mesures en fonction de leurs valeurs moyennes de température et de salinité

La représentation graphique laisse apparaître un regroupement cohérent des stations en fonction de leurs situations géographiques. Le couplage de ces résultats avec le schéma général de la circulation dans le lagon (Douillet, 1997) permet de formuler les hypothèses suivantes relatives à cette hiérarchisation des masses d'eaux :

- Les eaux des passes de Dumbéa et Pirogue présentent des caractéristiques physiques analogues à celles de la couche superficielle de l'océan environnant.
- La centrale du lagon est traversée par les eaux provenant du sud et qui sont poussées vers le nord ouest par des alizés de sud est. Ces eaux ont une origine océanique mais durant leur transit dans le lagon elles sont réchauffées par l'énergie solaire et l'évaporation qui en résulte entraîne une légère élévation de la salinité.
- Les stations situées au voisinage de l'estuaire de la rivière des Pirogues et au fond de la Baie de Boulari présentent des eaux de même température que celles du lagon central mais de salinité légèrement inférieure. Cette caractéristique peut être attribuée à une faible influence des eaux douces provenant des rivières, Coulée et Pirogue sur des eaux de type lagonaire.

- Les stations situées dans les parties côtières du lagon présentent une eau plus chaude et salées que celle du lagon central. Au voisinage de la cote on observe un ralentissement de la circulation et donc une élévation du temps de résidence, dans ces conditions on assiste donc à une amplification du processus de réchauffement des eaux et d'évaporation associée évoqué précédemment pour le lagon central.

- Les stations situées dans les baies abritées (Grande Rade, Baie de Sainte Marie, Baie de Dumbéa) présentent les eaux les plus salées et les plus chaudes du lagon. L'isolement relatif de ces baies font que la circulation y est ralentie et ce ralentissement combiné avec la faible profondeur favorise le réchauffement et l'évaporation.

En conclusion on observe un net gradient côte large correspondant à un réchauffement et une augmentation de la salinité. Toutefois il faut noter que les points ne s'ordonnent pas selon un ajustement linéaire l'augmentation de température étant plus marquée que l'augmentation de salinité. Cette caractéristique met en évidence une influence faible mais sensible des apports d'eau douce par les principales rivières. Enfin il faut souligner que la tendance décrite ici correspond au cas particulier de la saison chaude en période ENSO. En Nouvelle-Calédonie cette anomalie climatique se traduit par de faibles précipitations et il est fort possible qu'en situation non ENSO la signature eau-douce soit plus marquée. En saison froide on devrait assister à des gradients inverses, le lagon se refroidissant plus rapidement que le milieu océanique.

4.1.2. DISTRIBUTION DE LA CHLOROPHYLLE A ET DE LA TURBIDITE

La distribution des concentrations en chlorophylle *a* aux différentes stations de mesure a été représentée sur la figure 4 pour le mois de janvier 1998. Cette campagne d'échantillonnage peut être considérée comme représentative des tendances générales en ce qui concerne la distribution des paramètres physico-chimiques et est donc utilisée dans une première phase d'analyse à l'échelle du système. Une analyse plus fine de la structure hydrologique des principaux sous-systèmes identifiés dans cette première phase sera présentée dans la seconde partie de ce chapitre.

Les concentrations sont relativement homogènes au niveau de l'ensemble du lagon ainsi qu'au voisinage des passes avec des valeurs proches de 0,2 µg/l. Ces concentrations apparaissent toutefois sensiblement plus élevées au niveau des stations A11 (0,2 µg/l) et surtout M16 (0,22 µg/l) qui se situent au niveau des canyons internes au lagon.

Au voisinage de la côte on observe une augmentation des concentrations en chlorophylle *a*. Cette augmentation est peu marquée au niveau de l'embouchure de la rivière des Pirogues sans aucun doute du fait de la forte exposition de la côte au vent dominant et à la forte dynamique des eaux qui en résulte. La baie de Boulari et la baie de Dumbéa présentent des gradients croissants de concentration au fur et à mesure que l'on se rapproche des embouchures de rivières, les concentrations maximales ne dépassant toutefois pas 0,5 µg/l. La Grande Rade et la Baie Sainte Marie présentent des caractéristiques particulières avec comme précédemment des gradients positifs de concentrations de l'entrée vers le fond mais des concentrations en fond de baie pouvant dépasser 1 µg/l. La très faible extension des bassins versants au niveau de ces deux baies ne permet pas d'envisager un apport significatif de nutriments ou de matériel végétal frais par les rivières. Il semble donc vraisemblable que cette eutrophisation du milieu (stimulation de la production et donc de la biomasse phytoplanctonique) puisse être reliée aux apports urbains rejetés de manière chronique dans ces deux baies faiblement ouvertes, l'examen de cette hypothèse sera approfondi plus loin.

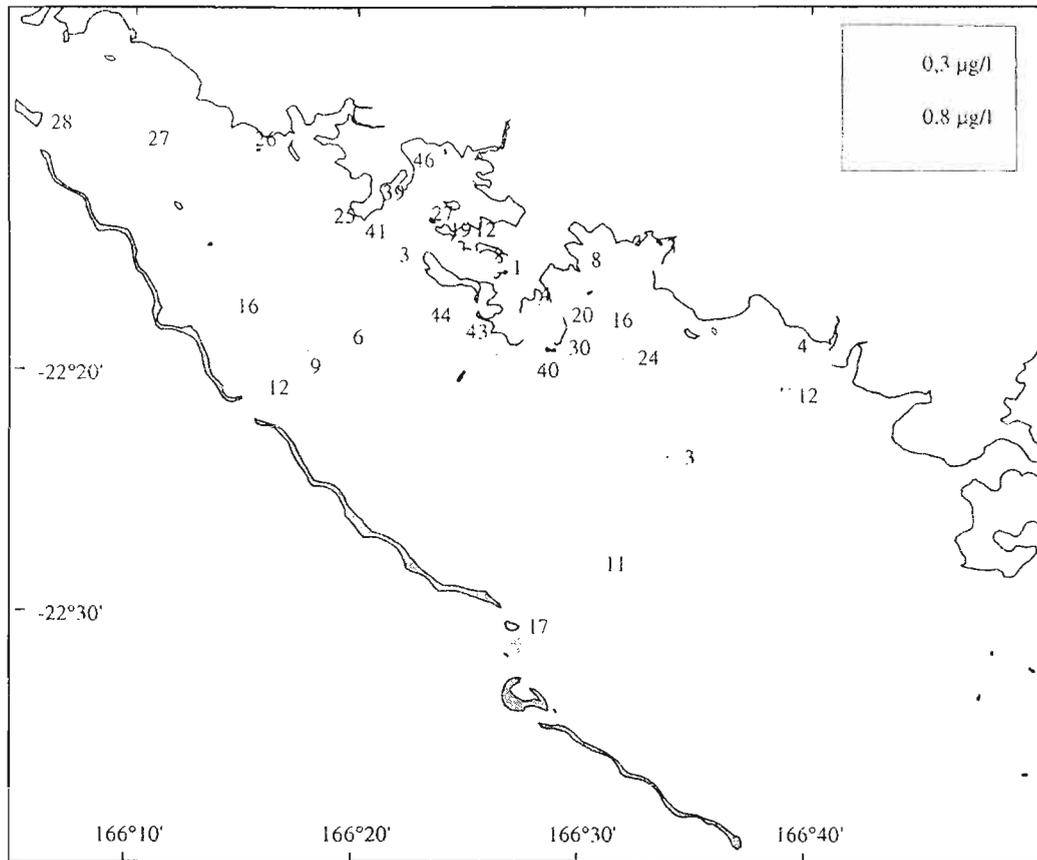


Figure 4: Distribution de la chlorophylle a dans le lagon pour le mois de janvier

Le gradient côte large peut être synthétisé en représentant les moyennes de concentrations en chlorophylle *a* et de turbidité pour les principaux types de stations (figure 5). Entre les passes et les stations internes du lagon on observe un gradient très progressif de turbidité et une variation faible de la concentration en chlorophylle *a*. En revanche la charge en chlorophylle *a* et la turbidité augmentent brutalement au niveau des stations les plus côtières.

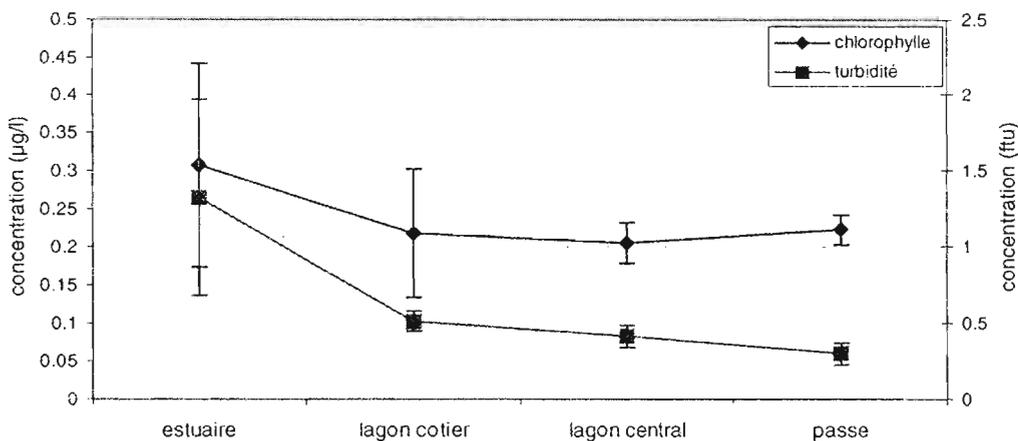


Figure 5 : Valeur moyenne des teneurs en chlorophylle a et de la turbidité en janvier 1998 sur un transect côte-large.

4. 1. 3. DISTRIBUTION DES NUTRIENTS DISSOUS

La silice dissoute

L'évolution des concentrations moyennes en silicates dissous sur l'ensemble des 6 campagnes est fortement structurée dans l'espace (figure 6) avec un gradient positif du large vers la cote. Dans les passes largement soumise à l'influence océanique les concentrations en silicates sont de $1,13\mu\text{M}$, elles augmentent progressivement dans le lagon ($2,32\mu\text{M}$) pour atteindre des valeurs d'environ $5\mu\text{M}$ dans les fonds de baie. Dans les rivières des teneurs en silicates peuvent atteindre 300 à $500\mu\text{M}$ ($335\mu\text{M}$ mesuré en Octobre 1997 à la Coulée) du fait des interactions entre les sols et les eaux de ruissellement. Les concentrations obtenues dans le lagon montrent donc la très rapide dilution des apports en eau douce. En effet, si l'on considère une concentration initiale de $335\mu\text{M}$ pour les eaux de rivières et de $1\mu\text{M}$ pour les eaux océaniques une concentration de $5\mu\text{M}$ en fond de baie correspondant à composition relative de $1,2\%$ d'eau douce pour $98,8\%$ d'eau océanique.

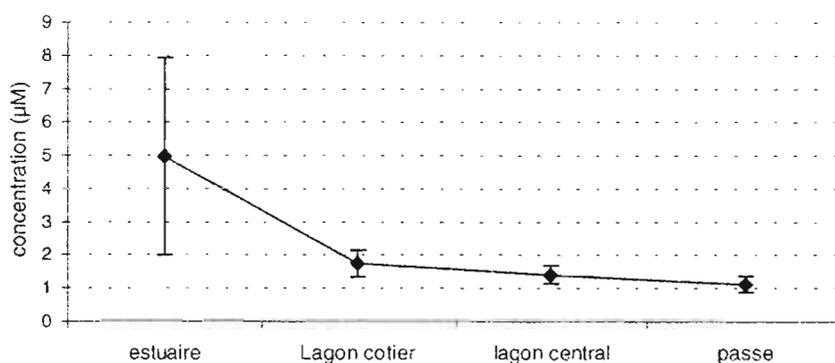


Figure 6 : Valeur moyenne des concentrations en silicates dissous sur la période octobre 97-mars 98 (6 campagnes) pour 4 grands types de stations.

Les molécules azotées

La fraction minérale dissoute azotée est utilisée par le phytoplancton et il est couramment considéré qu'en milieu marin l'azote est généralement l'élément nutritif limitant la production primaire. L'ammonium est la forme minérale préférentiellement absorbée car son incorporation représente une dépense énergétique moindre pour la cellule, que l'incorporation des nitrites ou des nitrates.

L'ammonium (NH_4) présente une répartition assez homogène dans le lagon. On constate néanmoins une légère augmentation des teneurs au niveau des passes. L'ammonium provient des eaux continentales et pluies et ainsi que de la minéralisation bactérienne de la matière organique azotée dissoute et des débris organiques provenant des animaux marins, notamment le zooplancton. Les plus fortes concentrations sont enregistrées respectivement dans les baies de Sainte Marie ($0,49\mu\text{M}$) et de Boulari ($0,29\mu\text{M}$).

Les plus fortes teneurs en nitrates sont observées à proximité de la cote, notamment dans les deux baies à fortes activités humaines qui sont, par ordre d'importance, la baie de Sainte Marie ($0,17\mu\text{M}$) et la Grande rade ($0,05\mu\text{M}$), et à l'embouchure des rivières dans les fonds de baies. Après le domaine côtier, les passes constituent le domaine lagonaire où l'on observe

des concentrations importantes. Les valeurs élevées qui culminent dans ces environnements estuariens témoignent de l'impact des effluents urbains et agro-pastoraux sur la production primaire du lagon.

Les formes organiques dissoutes présentent une proportion importante de l'azote. Les concentrations diminuent entre la côte et les passes. Parmi les stations côtières, les plus fortes valeurs observées se situent dans les baies de Sainte Marie (7,40 μ M), de Dumbéa (7,07 μ M) et dans la Grande Rade (7,01 μ M).

Molécules phosphatées

La teneur moyenne en phosphate minéral dissous du lagon est de 0,051 μ M. Des valeurs ponctuelles élevées apparaissent dans les zones d'estuaires, notamment dans la baie de Sainte Marie (0,14 μ M), dans la Grande Rade (0,049 μ M) et au niveau des passes (0,048 μ M).

L'abondance en phosphore minéral dissoute est un des facteurs limitant la croissance du phytoplancton. La forme organique dissoute peut également être directement utilisée dans les processus autotrophiques et hétérotrophiques qui entretiennent la fertilité du milieu (Rougerie, 1986). Les cellules mortes et les diverses productions fécales fournissent cette fraction phosphatée qui présente des teneurs élevées dans les zones d'estuaires (0,07 μ M) et une répartition homogène dans le reste du lagon.

4.1.4. ANALYSE DES RELATIONS ENTRE PARAMETRES

L'analyse des relations entre différents paramètres permet d'augmenter les potentialités de discrimination entre les différents points de mesure. Cette approche permet :

- De séparer de façon plus nette les stations et donc d'approfondir la description à l'échelle du système.
- D'aborder une première interprétation en ce qui concerne les processus responsable de la structuration du milieu.
- De discerner parmi les paramètres mesurés quels sont ceux qui ont le plus important pouvoir de discrimination et qui peuvent donc être considérés comme de bons indices de classification hiérarchique et de diagnostic de l'état du milieu liquide.

La représentation graphique des points stations en fonction du couple PO₄-Chlorophylle (figure 7) a fait apparaître un groupe de stations pour lesquelles les phosphates ne fournissent pas une information discriminante significative par rapport à la chlorophylle *a*. Les stations N04, N20 et D01 en revanche sont nettement extraites du groupe précédent lorsque PO₄ et chlorophylle *a* sont pris en compte. Une tendance similaire est observée lorsque l'on considère le couple NO₃-chlorophylle *a* (figure 7) puisque l'on retrouve les stations N04 et D01 qui se différencient nettement de l'ensemble des autres stations. Cette caractéristique est donc assez clairement liée au processus d'eutrophisation qui est observé dans le fonds de la Baie de Sainte Marie (station N04) et la Grande Rade (station D01). Pour toutes les autres stations il apparaît assez clairement que l'essentiel de l'information discriminante inter-station est principalement apportée par le paramètre chlorophylle *a* le croisement avec les concentrations en sels nutritifs n'apportant pas d'information supplémentaire

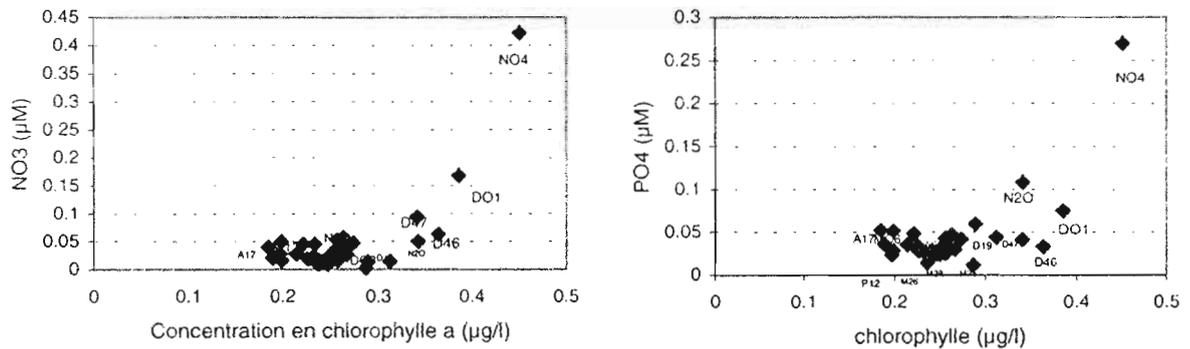


figure 7 : Répartition des points de mesures en fonction des concentrations moyennes en phosphate et nitrate (ordonnées) par rapport à la teneur en chlorophylle *a* (abscisse).

La représentation graphique des points stations en fonction du couple NH₄-Chlorophylle *a* (figure 8) génère une hétérogénéité beaucoup plus élevée que dans les 2 cas précédents. Les stations NO4 et D01 émergent de façon sensiblement identique et pour les mêmes raisons que précédemment. En revanche la dispersion des autres stations est beaucoup plus large avec en particulier, l'émergence des stations A11, N43 et A17 qui présentent des valeurs élevées en ammonium pour des valeurs modestes en chlorophylle *a*. Ces dernières stations, de type lagunaire, sont donc sujettes à un enrichissement significatif en ammonium sans qu'un développement phytoplanctonique y soit associé. Deux explications complémentaires peuvent être avancées :

- 1) La circulation, importante dans ces sites est responsable d'une dispersion (+ dilution) rapide empêchant en cela l'apparition d'une signature en biomasse phytoplanctonique.
- 2) L'azote n'étant pas le seul facteur limitant l'enrichissement en ammonium ne peut se traduire par une élévation de la production et de la biomasse phytoplanctonique.

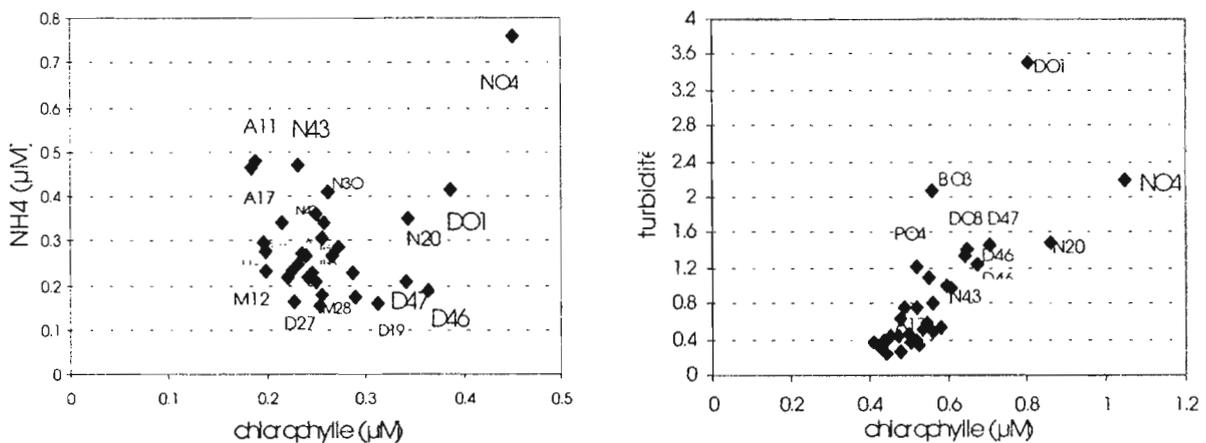


Figure 8 : Répartition des points de mesures par rapport aux valeurs de concentrations moyenne en ammonium et en turbidité, en fonction de leur teneur en chlorophylle *a*

La représentation graphique des points stations en fonction du couple turbidité-Chlorophylle *a* (figure 8) génère également une plus grande dispersion dans les stations mais cette dispersion apparaît toutefois plus ordonnée. A partir d'un large groupe relativement homogène on observe l'existence de 2 pôles. Le premier pôle formé par la station N04 et la station N20 se caractérise par une forte concentration en chlorophylle *a* et une faible turbidité. Le second pôle formé principalement par la station D01 et a un moindre niveau les stations B03, D08 et D47 se traduit par une contribution relative plus forte de turbidité par rapport à la concentration en chlorophylle *a*. Le premier pôle peut donc être considéré comme typique d'un environnement eutrophisé alors que le second semble combiner une eutrophisation avec une charge importante en matériel particulaire. En effet la Grande Rade soumise à l'activité de l'usine de traitement métallurgique de Doniambo reçoit des apports significatifs en matériel terrigène.

4.2. ANALYSE DETAILLEE A L'ECHELLE DU SYSTEME

A partir de l'approche à l'échelle du système il apparaît possible de considérer 4 grandes catégories de stations (passes, canyons, lagon central, lagon côtier) qui présentent des caractéristiques géomorphologiques différentes auxquelles correspondent des caractéristiques hydrologiques relativement spécifiques.

4.2.1. LES PASSES

Les profils de température, salinité, turbidité et chlorophylle *a* au niveau de la passe de Dumbéa (station M12) présentent une nette stratification des eaux (Figure 9).

La température diminue de 25,3 °C en sub-surface à 24,2 °C à 25 m de profondeur. La salinité diminue de façon beaucoup plus modérée de 35,62 psu en sub-surface 35,30 psu vers 35 m. On notera que les pics de minimum de salinité observés au niveau des interfaces thermiques constituent des artefacts qui ne doivent pas être prises en compte. Le profil de turbidité présente également une séparation en 2 couches distinctes avec des valeurs de l'ordre de 0,3 FTU en sub-surface et des valeurs légèrement supérieures à 0,2 FTU entre 25 et 58 m. Le profil de concentration en chlorophylle *a* obtenu par mesure de la fluorescence in situ montre un enrichissement avec la profondeur, les concentrations passant de 0,18 µg/l en sub-surface à 0,25 µg/l entre 25 et 58 m.

Dans ce cas de figure qui correspond à une phase de marée montante on observe donc une nette stratification de la colonne d'eau avec, dans la couche de surface, des eaux plus chaudes, légèrement plus salées, plus turbides et moins riches en pigments que les eaux situées entre 25 et 58 m de profondeur. Les passes étant les voies privilégiées d'échange entre le lagon et l'océan ouvert on peut considérer que les eaux de surfaces correspondent à des eaux lagunaires (voir spécificités dans le chapitre suivant) et que la couche d'eaux profondes a une origine océanique. On observe donc, dans ce cas de figure, une entrée en profondeur d'une eau océanique plus dense enrichie en pigments par rapport aux eaux lagunaires. Cet enrichissement en pigment alors que les eaux de surface océaniques présentent des caractéristiques oligotrophes peut être attribué à une remontée du maximum de concentration en chlorophylle océanique qui se situe normalement vers 150 à 200 m de profondeur, au niveau de la nutricline. Les récifs sous-marins et les talus des îles induisent une turbulence dans la circulation qui peut favoriser la montée dans la couche superficielles d'eaux profondes riches en sels nutritifs et chlorophylle (Atlas de Nouvelle Calédonie, 1981).

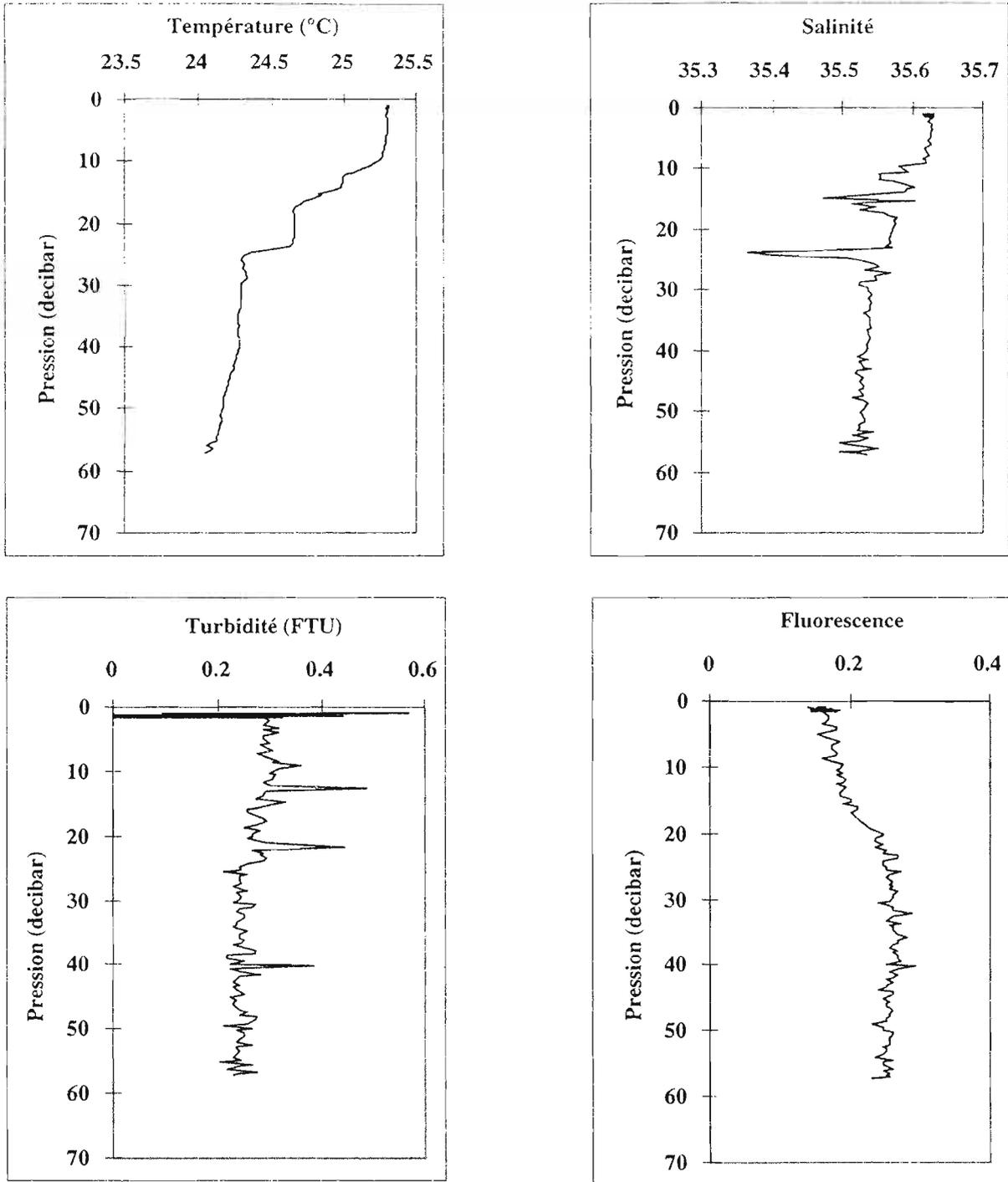


Figure 9: Profils de température, salinité, fluorescence et turbidité observés dans la passe de Dumbéa (station M12).

Il faut toutefois bien garder à l'esprit que ce cas de figure correspond à une phase du cycle tidal qui n'a bien évidemment rien de permanent. En effet lors des phases de marées descendantes, le courant, sortant sur toute l'épaisseur de la colonne d'eau, véhicule une couche d'eau homogène dont l'origine est clairement lagunaire. A titre de prospective on peut signaler qu'il est prévu dans une prochaine phase d'étude de s'intéresser à l'étude de

l'évolution des profils durant un cycle de marée afin de déterminer les modifications de structuration de la masse d'eau en fonction des courants de passe.

Lorsque l'on compare les caractéristiques hydrologiques de surface dans les trois passes de la zone d'étude en janvier 1998 (figure 10) on observe une relative homogénéité des concentrations en PO₄ et NO₃ alors que les concentrations en NH₄ qui atteignent 0,45 μM à la passe de Boulari diminuent vers le nord-ouest pour atteindre 0,2μM à la passe de Uitoé. La chlorophylle a présente une tendance inverse avec une augmentation progressive de la passe de Boulari à la passe de Uitoé bien que les différences soient faiblement significatives.

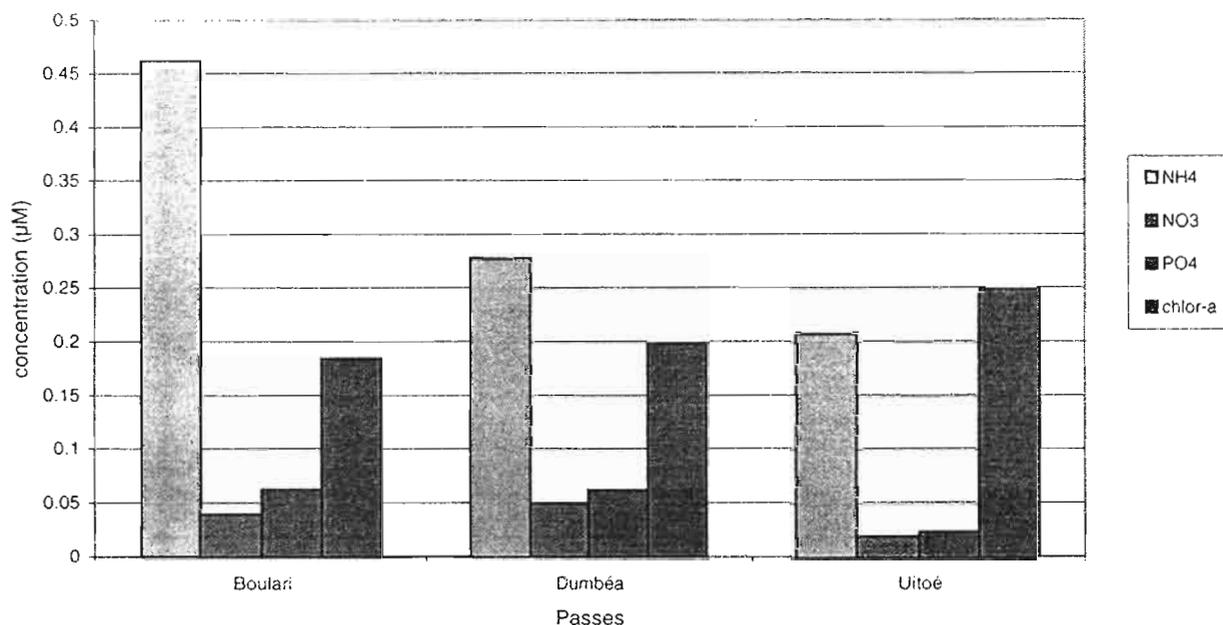


Figure 10: Concentrations moyennes en sels nutritifs et en chlorophylle *a* dans les trois passes du lagon sud ouest

4.2.2. LES CANYONS

Les profils de température, de salinité, de turbidité et de fluorescence au niveau du canyon de Dumbea (station M16) montre également une stratification des eaux (figure 11).

La température est homogène jusqu'à 30 m de profondeur. Au delà de cette limite, elle diminue de 25,7 °C à 24,0 °C près du fond. La salinité évolue verticalement de la même façon avec une couche homogène à 35,68 psu dans les 30 premiers mètres passant à une couche plus hétérogène autour de 35,5 psu près du fond. La turbidité se situe aux alentours de 0,6 FTU et augmente légèrement 0,7-0,8 FTU à proximité du fond. Les concentrations en chlorophylle *a* augmentent progressivement de 0,19 μg/l à la surface jusqu'à 0,48 μg/l au voisinage du fond.

Le profil effectué environ 15 minutes après celui de la passe correspond à la même phase de marée montante et on observe une superposition de deux masses d'eau qui constitue le prolongement dans le lagon de la structure bi-couche observée dans la passe. Toutefois on observe une évolution évidente avec un mélange entre les deux couches particulièrement bien identifié par le profil de chlorophylle *a*. Les mêmes réserves que précédemment peuvent être formulé en ce qui concerne la variabilité à court terme du système. Le profil de mars 1998 enregistré lors d'une phase de marée descendante et dans des conditions de vent fort témoigne

d'une distribution verticale homogène des différents paramètres sur l'ensemble de la colonne d'eau.

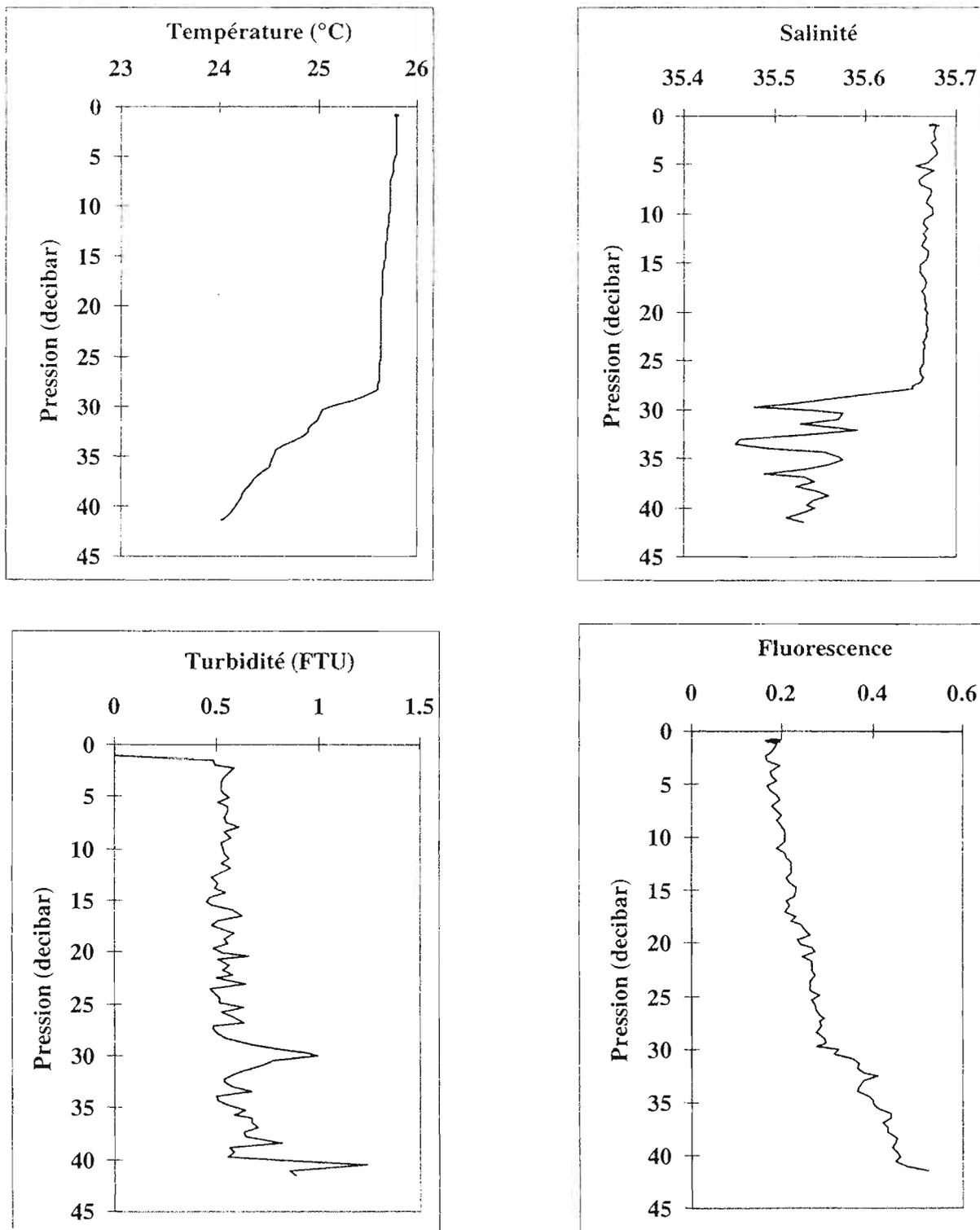


Figure 11: Profils de température, salinité, fluorescence et turbidité observés dans le canyon sur le transect Dumbéa (station M16)

4.2.3. LE LAGON

Les profils de température, de salinité, de turbidité et de fluorescence au niveau du lagon (station M06) présente une structuration très différente des deux profils précédents (figure 12)

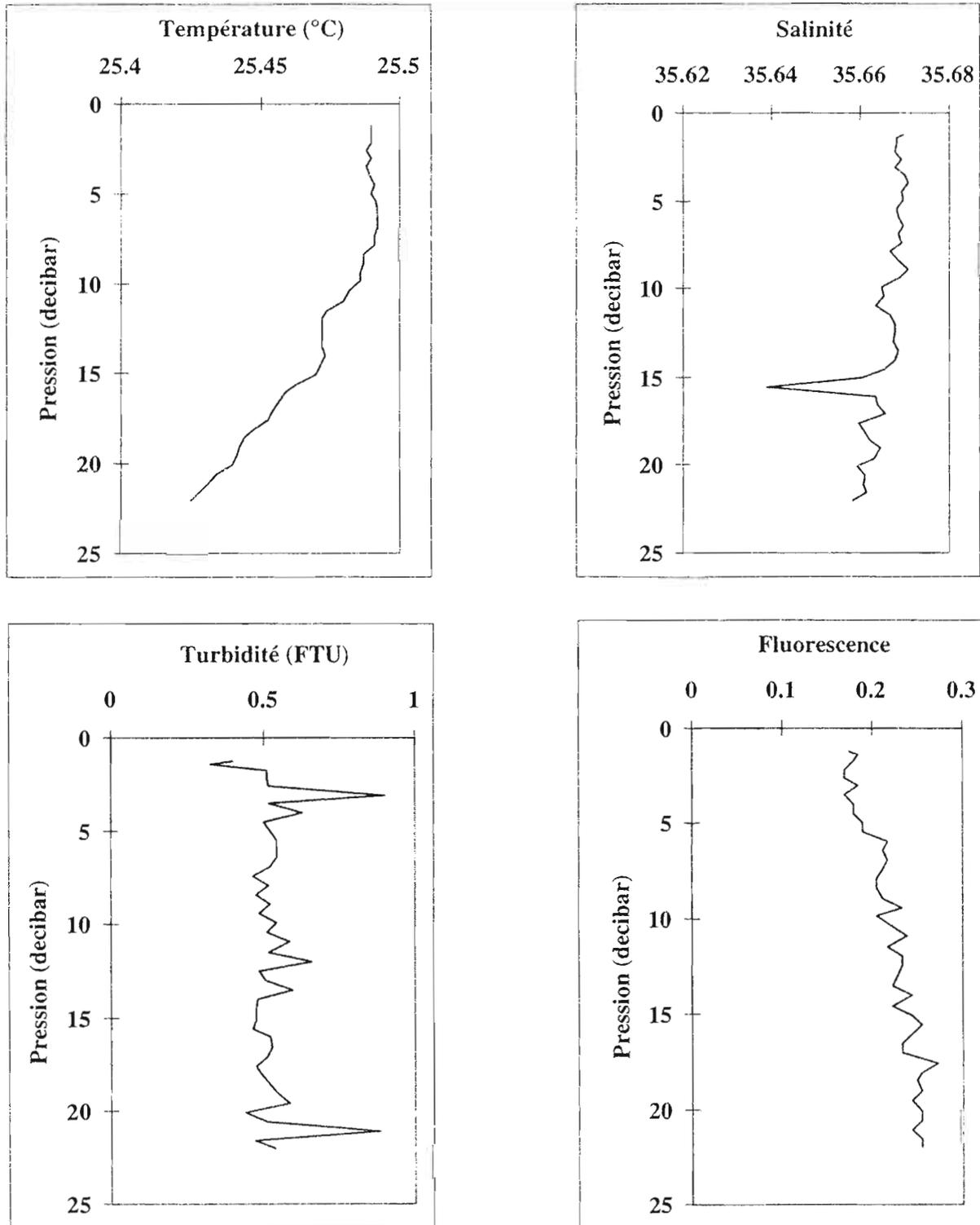


Figure : Profils de température, salinité, fluorescence et turbidité observés dans le lagon sur le transect Dumbéa (station M06)

La température est de 25,49 °C en surface et diminue très légèrement en profondeur pour atteindre 25,42 °C à 22 m. La salinité est homogène à environ 36,67 psu sur toute la colonne d'eau. La turbidité est également homogène à 0,5 FTU et l'on observe pas de néphéloïde de fond. En fin la teneur en pigment augmente très légèrement de 0,18 µg/l en sub-surface à 0,26 µg/l à 22 m.

La caractéristique principale de ce type de station est l'homogénéité de la masse d'eau sur l'ensemble de la colonne d'eau. Les gradients surface-fond sont généralement très peu marqués et principalement imputable à des échanges thermiques liés au cycle diurne et au régime de vent. Le modèle de circulation due au vent (Douillet, 1997) montre que les plus forts courants de surface sont localisés dans cette partie du lagon.

On peut toutefois signaler que les profils obtenus en novembre 1997 dans des conditions de vent plus faible montrent qu'en dessous de la couche homogène on observe une couche de fond de 3 à 4 m d'épaisseur dans laquelle la concentration en chlorophylle a et surtout la turbidité augmente (facteur 3 pour la turbidité). Ceci correspond à la formation d'un néphéloïde de fond qui se forme en situation calme et ne peut donc être associé à un processus physique de remise en suspension.

4.2.4. LES STATIONS COTIERES

La comparaison des teneurs moyennes en nutriments et chlorophylle a (figure 13) permet de mettre en évidence certaines différences.

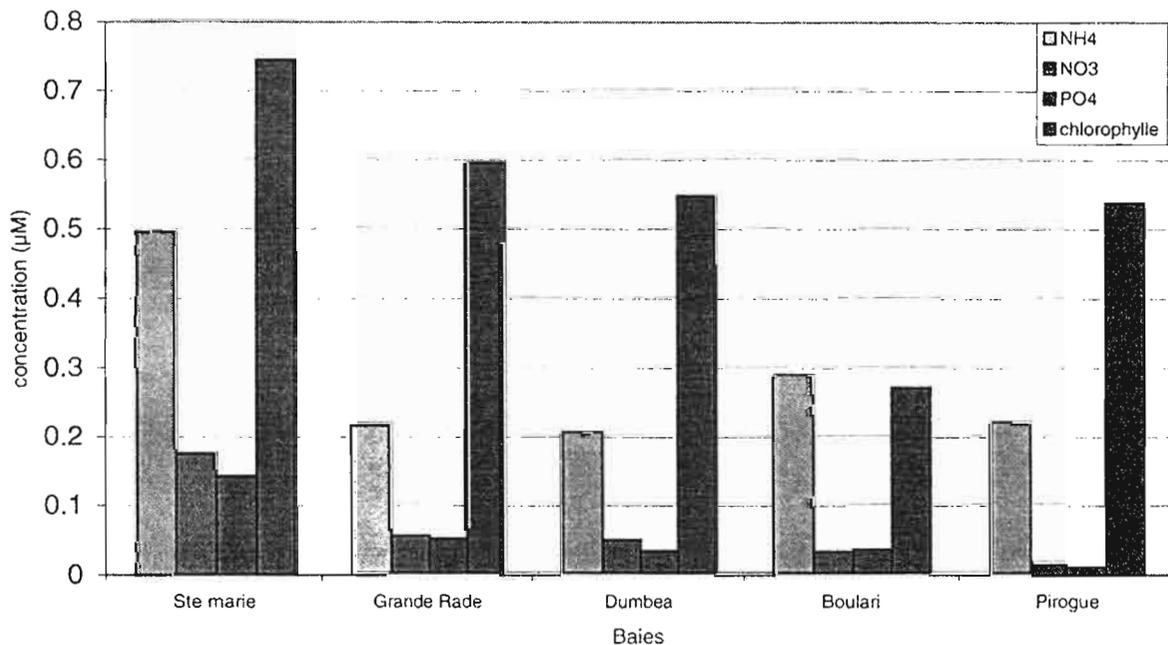


Figure 13: Concentrations moyennes en sels nutritifs et en chlorophylle dans les différentes stations côtières du lagon

Les plus fortes teneurs en ammonium, phosphate dissous et chlorophylle *a* sont rencontrées dans les deux baies soumises aux activités humaines (Grande Rade et Sainte Marie). Si l'on considère les 3 principaux systèmes (Pirogues, Boulari, Dumbéa) on observe que les concentrations augmentent globalement avec le degré de confinement croissant des zones côtières. La station P04 (Pirogues) la plus exposée au vent présente les concentrations les plus faibles dans tous les domaines alors que la Baie de Dumbéa plus abritée présente des concentrations plus élevées en particulier en ce qui concerne la chlorophylle *a*.

Sur la base de ce constat les profils de la mission de janvier 1998 pour les stations Pirogues (P04) Baie de Dumbéa (NO4) et les deux baies anthropisées sont détaillés ci-dessous.

4. 2. 4. 1. STATION PIROGUES

Les profils de température, salinité, turbidité et chlorophylle *a* au voisinage de l'embouchure de la rivière des Pirogues sont présentées sur la figure 14.

La température diminue de 26,2°C en sub-surface à 25,6°C à 6 m de profondeur. Le profil de salinité présente une légère dessalure en sub surface passant de 35,5 à 2 m à 35,63 à 3m. La turbidité se situe aux alentours de 0,5 FTU entre 2 et 12 m de profondeur puis augmente brutalement pour atteindre une valeur de 3 FTU à 16 m de profondeur. La concentration en chlorophylle *a* est homogène entre 2 et 14 m avec une valeur moyenne de 0,24 µg/l. Au voisinage du fond on observe une légère élévation de la concentration en chlorophylle *a* qui atteint 0,6 µg/l

L'élévation de température correspond au réchauffement de la couche de surface par le rayonnement solaire. La faible couche dessalée observée en surface correspond à l'extension vers le lagon des eaux de la rivière des Pirogues. La station se situe sur une côte exposée au vent dominant et malgré la proximité de l'estuaire l'influence des apports d'eau douce est très peu marqué les faibles apports d'étiage (environ 5 m³ s⁻¹) étant rapidement dilués par la circulation des eaux lagunaires et l'agitation de surface.

Les valeurs de turbidité sont très modérées et on n'observe pas d'élévation significative de la turbidité dans la couche dessalée. Il semble donc qu'en période d'étiage les exportations de matériel particulaire par cette rivière soient extrêmement faibles. En revanche on observe la formation d'un néphéloïde de fond d'environ 3 m d'épaisseur.

Les valeurs de concentrations en chlorophylle *a* sont globalement faibles et sensiblement identiques aux valeurs des stations lagunaires. Malgré une légère stratification thermique les concentrations en chlorophylle *a* sont remarquablement homogènes sur la colonne d'eau. La faible augmentation au niveau du néphéloïde démontre que le matériel en suspension à une faible composante autotrophe.

4. 2. 4. 3. LA BAIE DE DUMBEA

Les profils de température, salinité, turbidité et chlorophylle *a* au fond de la Baie de Dumbéa sont présentées sur la figure 15.

La température diminue avec la profondeur, passant de 27,2 °C en sub-surface à 25,9 °C à 9 m de profondeur. La salinité présente une distribution globalement homogène entre 35,4 et 35,6 psu. Les valeurs de turbidité se situent autour de 1,4 FTU en sub-surface et augmentent jusqu'à 2,5 FTU au niveau du fond à 9 m de profondeur. Les concentrations en chlorophylle *a* se situent autour de 0,3 µg/l en sub-surface et augmentent à partir de 6 m pour atteindre 0,7 µg/l au niveau du fond.

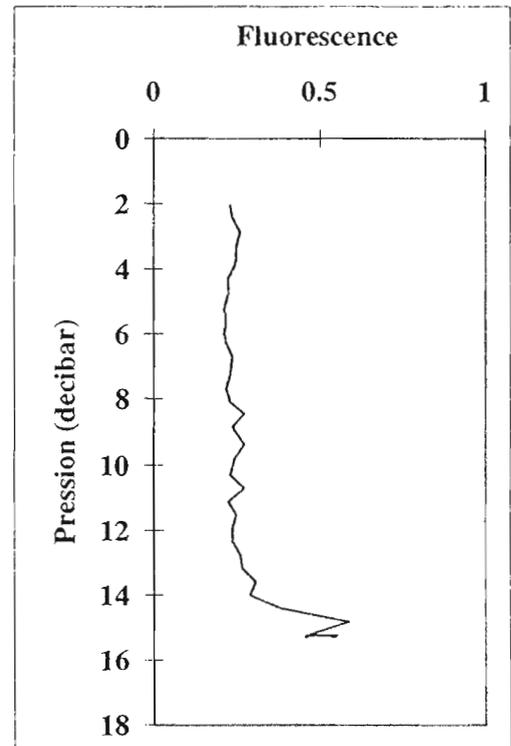
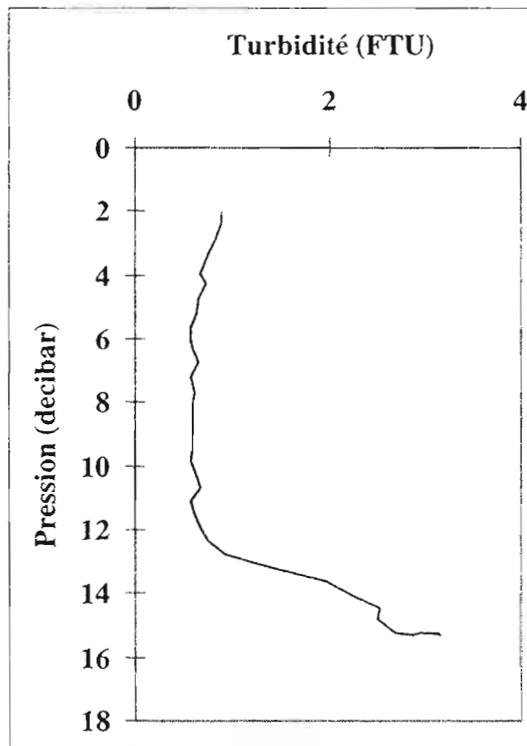
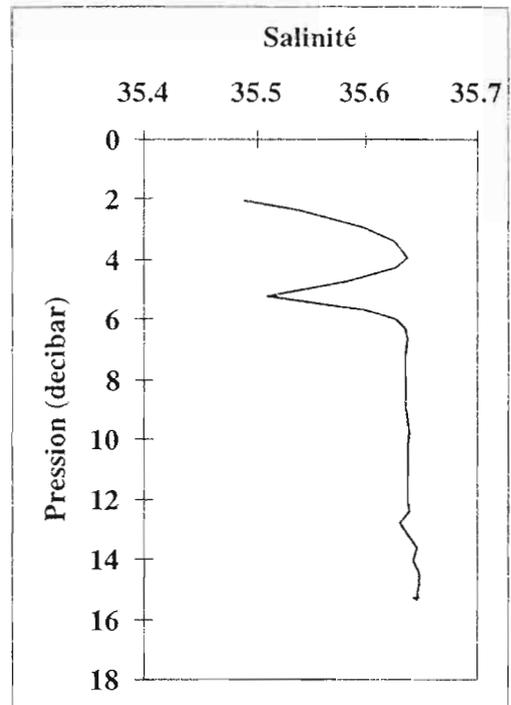
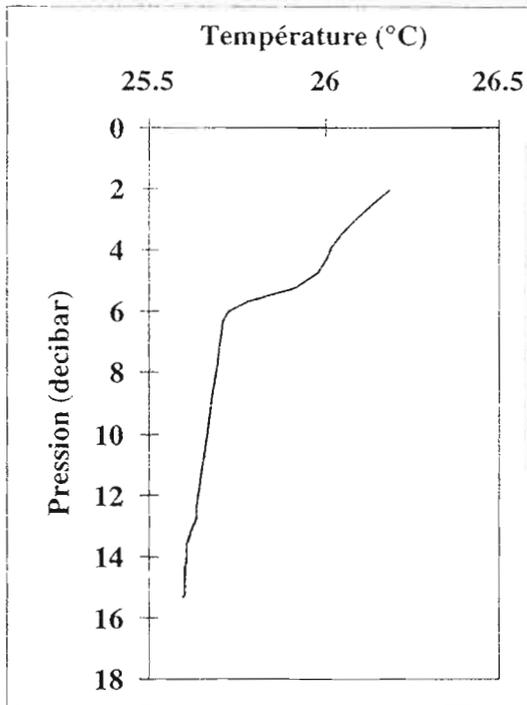


Figure 14: Profils de température, salinité, fluorescence et turbidité observés à l'embouchure de la rivière des Pirogue (station PO4)

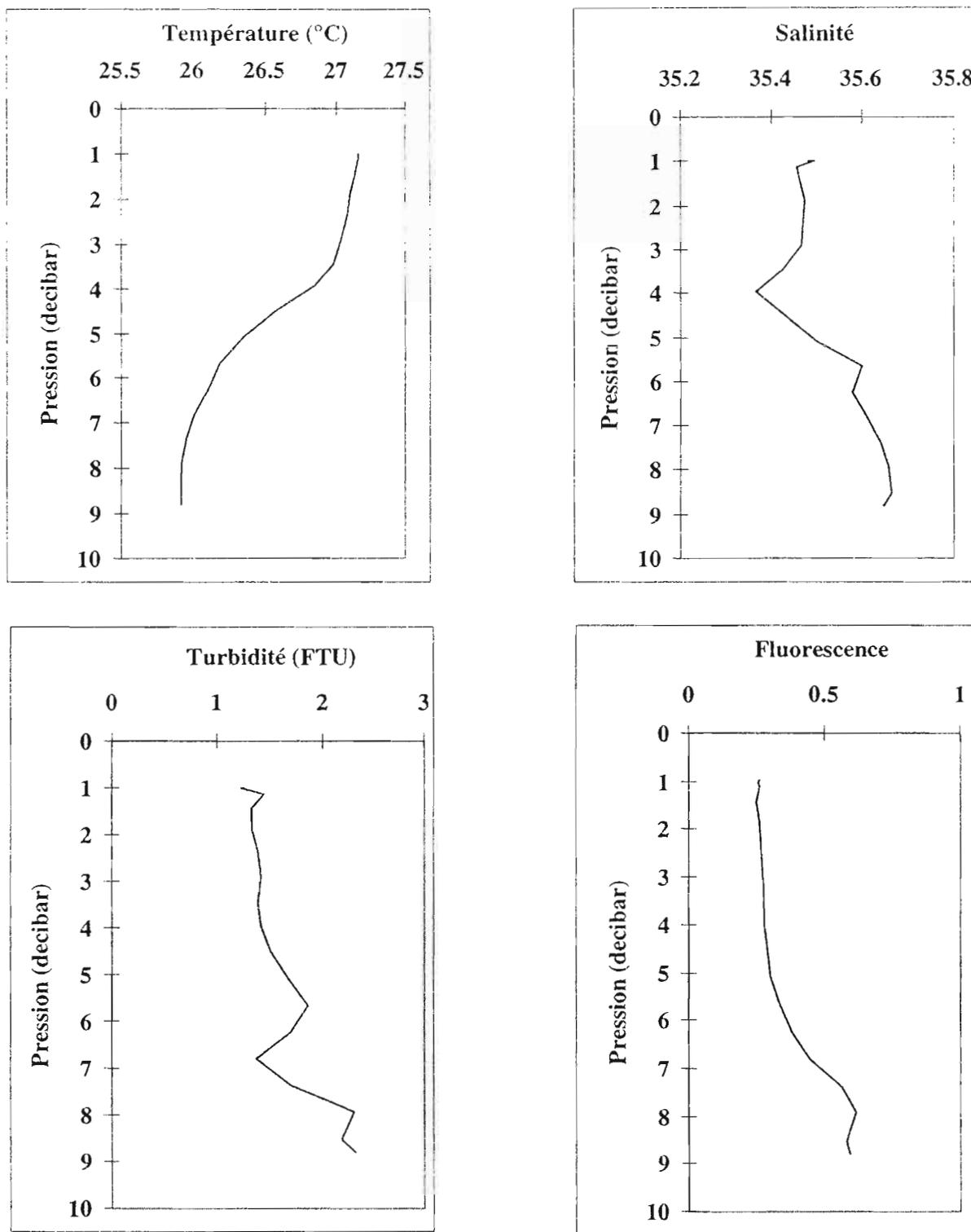


Figure 15: Profils de température, salinité, fluorescence et turbidité observés dans la baie de Dumbéa (station D47)

On retrouve comme précédemment le profil thermique correspondant au réchauffement des eaux de surface. La température élevée en surface peut être attribuée à la faible hydrodynamique du milieu ainsi qu'à la faible profondeur (le réchauffement de surface est

moins tamponné par les eaux de fond). La salinité, légèrement plus faible que dans les autres stations côtières, n'est pas directement associée à une stratification des eaux. Les apports faibles de la Dumbéa sont donc progressivement dilués par les eaux lagunaires au cours du transport des eaux de la baie sur les petits fonds qui entourent la zone estuarienne et on observe un gradient horizontal plus que vertical qui correspond à la définition d'estuaire partiellement mélangé (Mc Lusky 1989). Ceci explique également la faible structuration verticale de la répartition de la turbidité et de la concentration en chlorophylle *a*.

4. 2. 4. 4. LA GRANDE RADE

La température diminue de 26,3 °C en sub-surface à 25,5 °C à 5 m de profondeur (fond). La distribution de la salinité est relativement homogène autour de 35,65 psu, la valeur faible à 1 m pouvant être considérée comme un artefact. Le profil de turbidité montre une distribution verticale homogène autour de 0,3 FTU jusqu'à 4,5 m de profondeur. A l'extrême voisinage du fond on observe une forte élévation de la turbidité qui atteint 12 FTU au fond. La teneur en chlorophylle est relativement élevée et augmente progressivement de 0,4 µg/l en sub-surface à 0,6 µg/l à 4,5 m de profondeur avec une dernière élévation jusqu'à 0,8 µg/l au niveau du fond (figure 16).

Le fond de la Grande Rade présente une température moyenne (27,17°C) qui est la plus élevée du lagon et aucune dessalure significative n'y est observée. Ces caractéristiques sont la conséquence de la faiblesse de l'ouverture de la baie à la mer et du manque d'apport significatif d'eau continentale.

La turbidité des eaux est toujours élevée et cette caractéristique peut être attribuée aux activités portuaires et surtout aux activités industrielles dans cette zone. Le fond de la baie est le site sur lequel sont installés le port de commerce et l'usine de traitement des minerais de nickel. Le minerai y est déchargé à partir des navires minéraliers et les résidus du traitement industriels (stériles) servent au remblaiement des parties peu profondes de la Grande Rade. Il est donc tout à fait vraisemblable d'attribuer la forte turbidité à ces activités anthropiques et les études en cours sur la géochimie des sédiments devraient permettre de mieux cerner l'origine et l'extension de cette influence anthropique.

Les fortes concentrations en chlorophylle *a* (donc active) dans ce système démontre en outre l'existence d'une eutrophisation du milieu. Malgré la faiblesse du bassin versant concerné nombre d'effluents urbains non traités sont déversés au fond de la Grande Rade. Ces apports stimulent de toute évidence la production primaire pélagique. En outre le gradient de concentration en chlorophylle *a* entre la surface et le fond semble indiquer que le système benthique exerce un contrôle sur le système pélagique. Ce contrôle peut sans doute s'exercer à travers la minéralisation du matériel organique accumulé dans les sédiments qui conduit à un relargage de nutriments inorganiques dissous vers les eaux libres .

4. 2. 4. 5. LA BAIE DE SAINTE MARIE

Les profils de température, salinité, turbidité et la chlorophylle *a* sont présentées sur la figure 17 .

La température diminue progressivement de 27,1°C à 1 m jusqu'à 27 °C à 8 m puis un peu plus rapidement pour atteindre 26,7 elle décroît légèrement avec la profondeur pour atteindre une valeur de 26,7°C à 10 m au niveau du fond. La salinité est très homogène autour de 35,65 psu. . La est homogène autour de 2 FTU entre 1 et 9 m de profondeur et augmente jusqu'à 9 FTU à l'extrême voisinage du fond. Les concentrations en chlorophylle *a* augmentent régulièrement de 0,7 µg/l en surface à 1,2 µg/l près du fond.

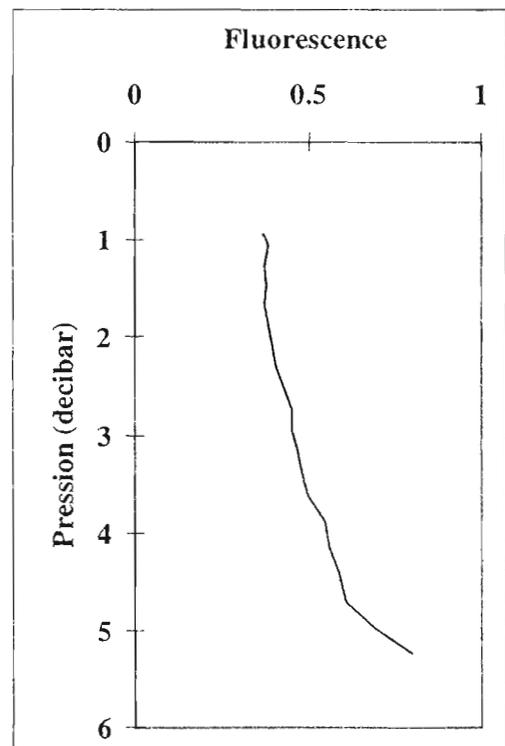
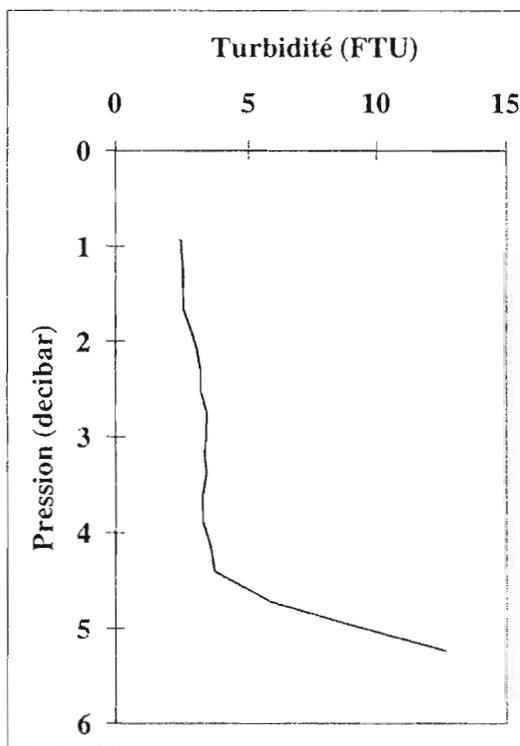
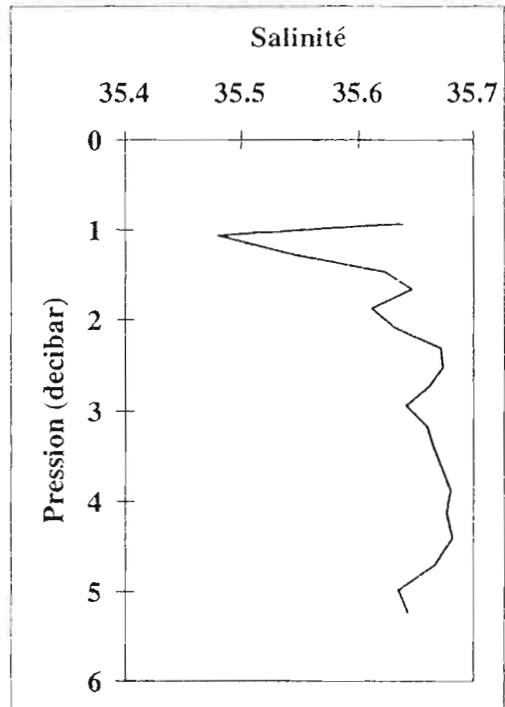
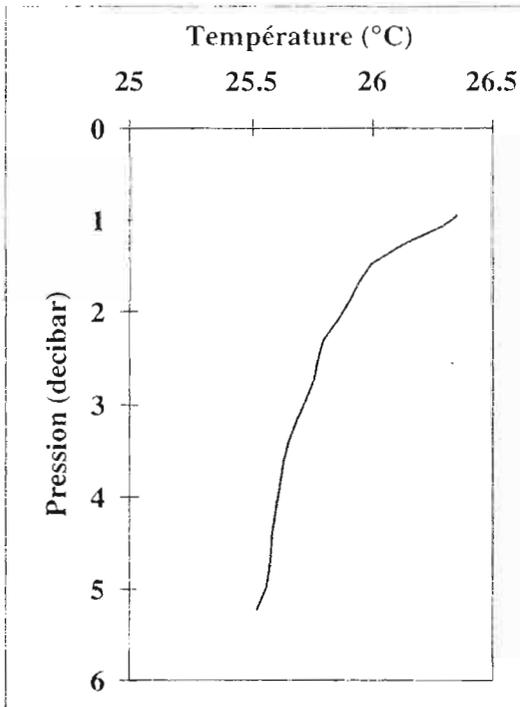


Figure 16: Profils de température, salinité, fluorescence et turbidité observés dans la Grande Rade (station DO1).

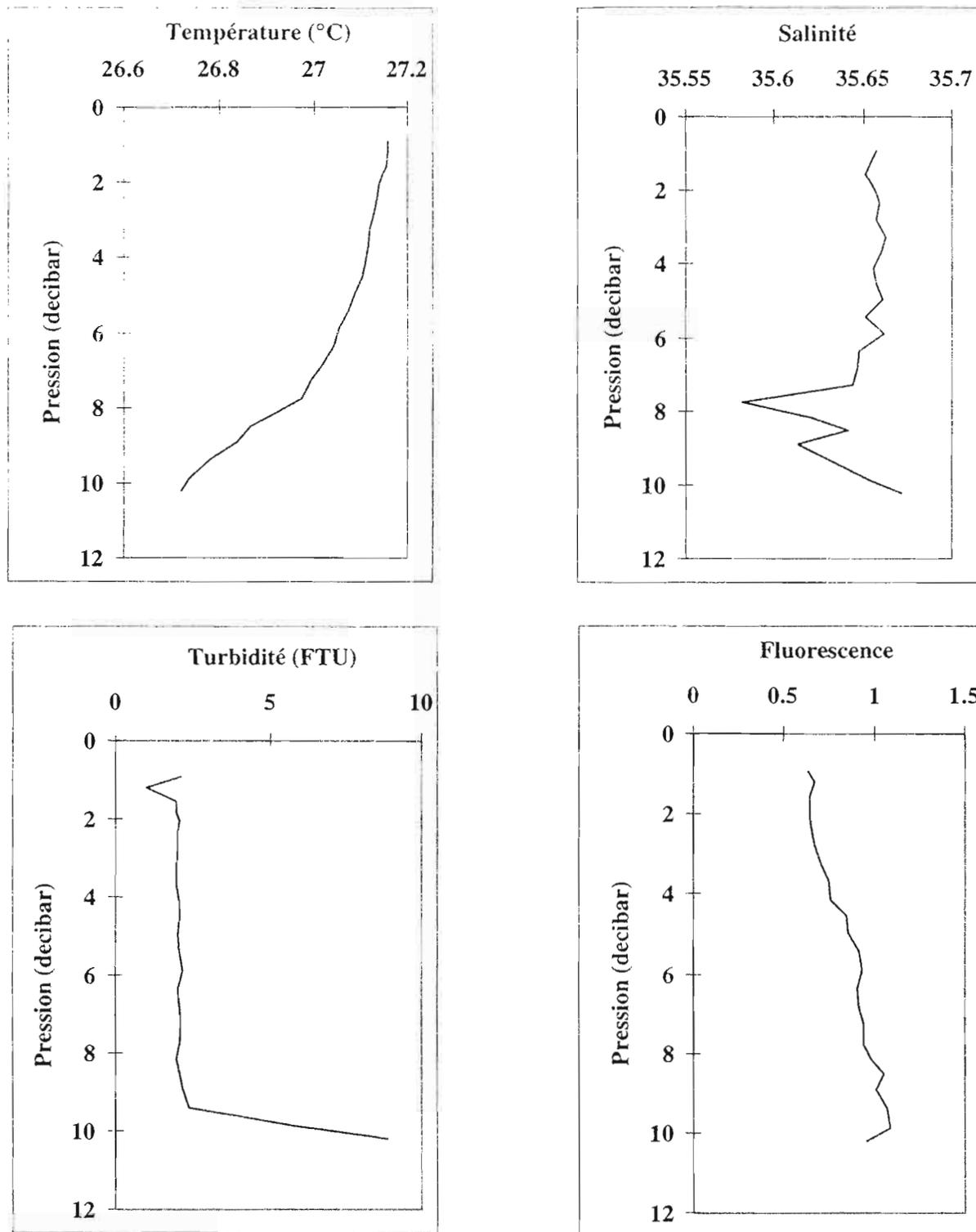


Figure 17: Profils de température, salinité, fluorescence et turbidité observés dans la baie de Sainte Marie (station NO4).

De même que pour la Grande Rade la colonne d'eau n'est pas soumise à d'importants apports d'eau douce et la seule stratification observée est liée au réchauffement diurne des eaux de surface. La turbidité est élevée légèrement moins élevée qu'en Grande Rade alors que

la concentrations en chlorophylle a est plus élevée. La zone concernée est soumise à l'influence d'une zone résidentielle en plein développement depuis une vingtaine d'années. Les eaux usées sont déversées dans la baie sans traitement par une usine d'épuration et l'eutrophisation de la frange côtière se traduit de façon spectaculaire à travers la prolifération de macroalgues benthiques du genre *Ulva* sur le platier envasé et le dégagement d'hydrogène sulfuré particulièrement sensible à marée basse. Il apparaît donc évident que l'eutrophisation s'étend au niveau de la masse d'eau et que l'apports en nutriments entraîne une prolifération phytoplanctonique. De même que pour la Grande Rade on observe un gradient de chlorophylle a entre la surface et le fond qui suggère fortement que les sédiments, qui reçoivent une partie des composés organiques d'origine anthropique, se comportent comme une source de matériel nutritif pour les producteurs pélagiques.

La géomorphologie de la baie et la circulation lagonaire font que, à l'échelle du système lagonaire, cet enrichissement en substances nutritives reste ponctuel et confiné à ce secteur du milieu côtier. En effet l'analyse des données de la sonde ne montre aucune extension décelable des eaux de la baie vers le lagon environnant.

5. DISCUSSION ET CONCLUSION

5.1 DISTRIBUTION SPATIALE DE LA CHLOROPHYLLE

Durant la période d'étude, les informations recueillies à partir des données de salinité, de température, de fluorescence et de turbidité de la sonde CTD Seabird SBE19 mettent en évidence l'existence dans le lagon de trois sources d'enrichissements en sels nutritifs dont les fluctuations d'abondance constituent le principal facteur de contrôle de la répartition de la chlorophylle a dans le lagon (Rougerie, 1986).

Les analyses quantitatives et spatiales des teneurs en sels nutritifs et en chlorophylle a permettent d'identifier par ordre d'importance :

- L'eutrophisation

Les plus fortes teneurs en nitrates, phosphates et surtout ammonium et ainsi que les plus fortes concentrations en chlorophylle a se retrouvent dans les deux baies à forte activité humaine. Ces valeurs fortes témoignent de l'impact des apports de nutriments par les eaux de refroidissement de la fonderie de nickel dans la Grande Rade, d'une part, et des effluents urbains riches en substances nutritives et matière organique qui sont déversés sans passage par une usine d'épuration dans la baie de Sainte Marie, d'autre part. Cependant la géomorphologie de ces baies et la circulation lagonaire font que, à l'échelle du système lagonaire, ces apports de substances nutritives d'origine anthropique restent ponctuels et cantonnés à ce secteur du milieu côtier. Le bilan reste bénéfique pour l'instant pour la croissance du phytoplancton puisque cette eutrophisation n'a pas encore atteint le stade où la demande biologique en oxygène est préoccupante ; toutefois la présence inévitable de germes bactériens pathogènes dans ces effluents pose un problème de salubrité de l'eau des environs.

- La resuspension

Les résultats montrent que sous l'effet de la circulation lagonaire les apports terrigènes et anthropiques sont cantonnés à la cote et qu'ils n'atteignent le milieu du lagon que lors de rares périodes de crues.

L'étude des profils de turbidité et de concentration en chloropigment montrent la présence près du fond d'une couche néphéloïde dont l'épaisseur décroît de la cote vers les canyons. Le brassage de la colonne d'eau par le vent provoque la remobilisation des particules de la couche néphéloïde. La resuspension constitue 80% de la sédimentation totale dans cette partie du lagon (Clavier et al.) et s'observe dans les milieux côtiers à faible profondeur, notamment au niveau des exutoires des rivières. Ces dernières lors de rares périodes de crues déversent des éléments nutritifs issus de l'érosion des bassins versants et des effluents agro-pastoraux dans les fonds de baies.

Le taux moyen de sédimentation du carbone organique particulaire est important dans le lagon ($0,756 \text{gCm}^{-2}/\text{j}$) et favorise l'accumulation à l'interface eau sédiment des nutriments provenant, de la minéralisation bactérienne de la matière organique issue de la colonne d'eau et enfouie dans le sédiment. La minéralisation de la matière organique enfouie dans les sédiments est une voie importante du recyclage des sels nutritifs (Kinsey, 1985). La remise en suspension des sédiments qui compose la couche néphéloïde de fond provoque à la fois une augmentation de la turbidité de l'eau et un enrichissement de la chlorophylle en profondeur suite au relargage des sels nutritifs précédemment piégés dans le sédiment

Par ailleurs en temps calme, on observe une fine couche turbide près du fond observée notamment dans les 2 baies abritées. Cette resuspension observée en période calme serait due au phénomène de bioturbation engagé par les organismes benthiques

- Apport de chlorophylle et de sels nutritifs par l'océan

Les passes étant les voies privilégiées d'échange entre le lagon et l'océan ouvert, il apparaît une nette stratification des eaux qui témoigne d'une injection de substances nutritives en profondeur et d'une sortie des eaux lagunaires en surface. Cependant cet apport par l'océan est soumis à des fluctuations à moyen ou long terme qui dépendent des courants, des vents et de la marée. Les récifs sous-marins et les talus des îles induisent une turbulence dans la circulation et favorise souvent la montée dans la couche superficielles d'eaux profondes riches en sels nutritifs (nitrate, phosphate). On connaît l'existence de zone « d'upwelling » dans le sud-ouest de l'île des Pins, et au voisinage de la passe de la Havannah.

5.2 VARIATIONS TEMPORELLES

Les conditions climatiques rencontrées lors de cette étude correspondent au cas particulier de la saison chaude en période ENSO. En Nouvelle-Calédonie cette anomalie climatique se traduit par de faibles précipitations. L'étude de la variabilité temporelle de la distribution de la chlorophylle ne montre aucun grand changement significatif à l'échelle du lagon. La stabilité climatique rencontrée pendant la période d'échantillonnage en est la cause.

Cependant l'exploitation récente des données de chlorophylle mesurées à un rythme hebdomadaire pendant 10 ans (1979 à 1989) à proximité de Nouméa (Binet D., Le borgne R., 1996) révèle, comme nous le montre la figure 7, l'existence d'une variation cyclique et saisonnière des teneurs avec des valeurs élevées en période fraîche (juin, juillet, août) .

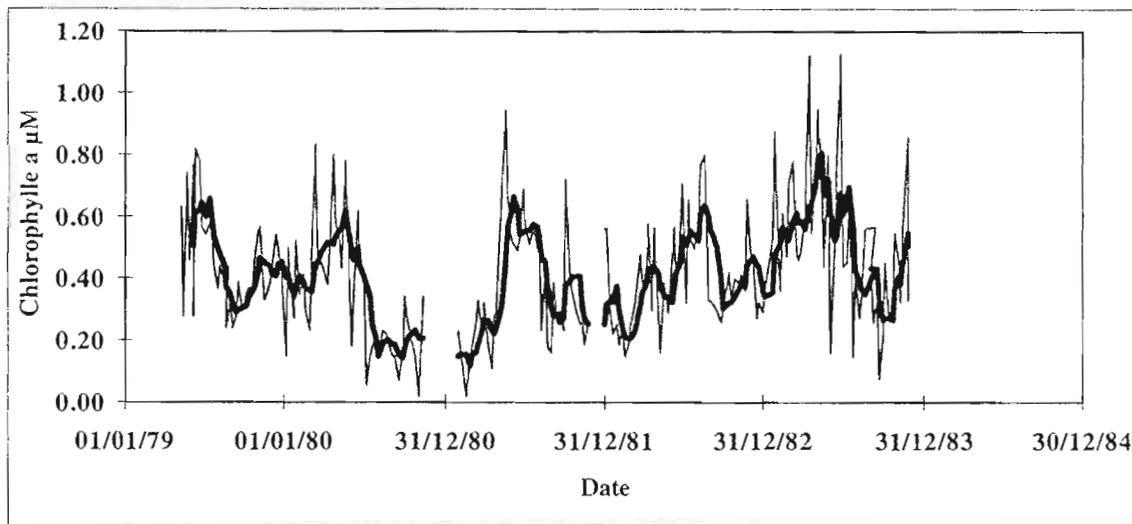


Figure 18 : Variations temporelles de la concentration en chlorophylle mesurées pendant 5 ans à la station côtière de Nouméa. En trait fin les concentrations mesurées, en trait gras le lissage sur 5 valeurs de la courbe.

L'eau du lagon est constituée essentiellement d'eau océanique superficielle dont les caractéristiques thermohalines peuvent être modifiées plus ou moins fortement par les apports d'eau douce des rivières et les variations locales du bilan évaporation-précipitation.

Cette augmentation lagonaire de la concentration en chlorophylle serait une signature lagonaire de processus physique saisonnier d'origine océanique. En effet en période fraîche, la remontée de la thermocline et notamment de la nutricline , provoque une augmentation dans la couche superficielle de la concentration en chloropigment qui se traduirait, à l'échelle du système lagonaire par une élévation globale de la teneur en pigment.

Références bibliographiques

- Atlas de La Nouvelle-Calédonie et dépendances**, 1981. Editions de l'ORSTOM, Paris.
- Benschneider K., Robinson R.J.**, 1952. A new spectrophometric determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.*, 11; 87-96.
- Binet D., Le borgne R.**, 1996. La station cotière de Nouméa. Dix ans d'observations sur l'hydrologie et le pélagos du lagon sud-ouest. Centre ORSTOM de Nouméa.
- Clavier J., Bour W., Douillet P., Garrigue C., Kulbicki M., Richer de Forges B.**, 1995. Connaissance et mise en valeur du lagon de Nouvelle Calédonie -le bilan- Centre ORSTOM de Nouméa.
- Clavier J., Chardy P., Chevillon C.**, 1995. Sedimentation of Particulate Matter in the South-west Lagoon of New Caledonia : Spatial and Temporal Patterns.
- Christopher F. D'Elia, William J. Wiebe**, 1990. Biogeochemical nutrient cycles in coral-reef ecosystems.
- Douillet P.**, 1995. Tidal dynamics of the South_West lagoon of New Caledonia : observations and 2D numerical modelling, soumis.
- Douillet P.**, 1997 - Circulation due au vent dans le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie : observations et modélisation numérique tridimensionnelle, non publié, communication personnelle.
- Fichez R., Clavier J.**, 1996. Ecosystèmes cotiers du Pacifique – Influences terrigènes et anthropiques. Cah. ORSTOM, ser. Ecotrope, 41p.
- Giovanelli J.**, 1953. Les cyclones tropicaux en Nouvelle Calédonie. Service de la Météorologie. B.P. 151, Nouméa.
- Telesnicki G. J., Goldberg W. M.**, 1995. Comparison of turbidity measurement by nephelometry and transmissometry and its relevance to water quality standards. *Bulletin of marine science*, 57(2) : 540-547.
- Koroleff, F.**, 1969. Direct determination of ammonia in sea water as indophenol blue. *Int. Cons. Explor. Sea, C.M.* 1969/C : 9, 19-22.
- Launay J.**, 1972. La sédimentation en baie de Dumbéa (Cote -Ouest – Nouvelle-Calédonie). Cah. ORSTOM, ser. Géol., Vol. IV, n°1, p25-51.
- Le borgne R.**, 1992. Compte rendu des observations réalisées pour l'Aquarium de Nouméa en 1991-1992 sur différents sites. Centre ORSTOM de Nouméa.
- Moniod F.**, 1966. Nouvelle-Calédonie : carte des précipitations annuelles. Notice explicative. ORSTOM, Centre de Nouméa, 11p.

- Mullin J.B., Riley J.P.**, 1955. The spectrophometric determination of nitrate in natural waters with particular reference to seawater. *Analytica chim. Acta*, 12, 464-80
- Murphy, J., Riley, J.P.**, 1962. A modified single solution method for the determination of Phosphate in Naturel Waters. *Anal. Chim. Acta*, 27, 31-36.
- Rougerie F.**, 1986. Le lagon sud-ouest de Nouvelle Calédonie : spécificité hydrologique, dynamique et productivité.
- Strickland J.D.H., Parsons T.R.**, 1968. A pratical handbook of sea water analysis. Fish. Res. Bd Canada, Bulletin 167.
- Trescases J.**, 1969 -- Premières observations sur l'altération des péridotites de Nouvelle-Calédonie. Pédologie, Géochimie, Géomorphologie. Cah. ORSTOM, sér. Géol., Bondy, Vol. 1, n°1, pp. 27-57.