



Institut de recherche  
pour le développement

Mémoire de fin d'études  
DESS Cartographie et SIG

**Analyse préliminaire des relations entre  
hydrodynamisme, sédiments et macrophytes sur le  
lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie.**

Approche par SIG.

Guillaume De La Fons

Maître de stage : Jocelyne Ferraris  
Co-responsable local : Guénoilé Bouvet



## SOMMAIRE

Introduction	2
<b>I) Contexte et objectifs de l'étude.</b>	<b>3</b>
1) La Nouvelle-Calédonie.	3
2) Le logiciel SAVANE.	3
3) Le SIG LagonNC.	4
4) Objectifs.	5
5) Démarche générale.	5
<b>II) Les données.</b>	<b>6</b>
1) Le modèle hydrodynamique.	6
A) Les courants générés par le vent.	6
B) Les courants générés par la marée.	6
C) Les points de calcul.	7
2) La sédimentologie.	8
3) Les macrophytes.	8
4) Détermination de la zone d'étude commune.	8
<b>III) Sélection des courants.</b>	<b>9</b>
1) Le vent en surface à Nouméa.	9
2) Les courants à intégrer dans le SIG LagonNC.	9
3) La contrainte de cisaillement.	10
<b>IV) Représentation des données hydrodynamiques.</b>	<b>11</b>
<b>V) Relation entre les courants, les sédiments et les macrophytes.</b>	<b>12</b>
1) Approche cartographique.	12
A) Sédimentation et macrophytes dans le lagon sud-ouest.	12
B) Les facteurs explicatifs.	12
2) Informations sur les classes cartographiées.	13
3) Analyse des correspondances multiples.	15
A) Choix des données.	15
B) Résultats et interprétation.	15
4) Perspectives.	16
Conclusion	18
REMERCIEMENTS	19
BIBLIOGRAPHIE	20
ANNEXES	21

## Introduction

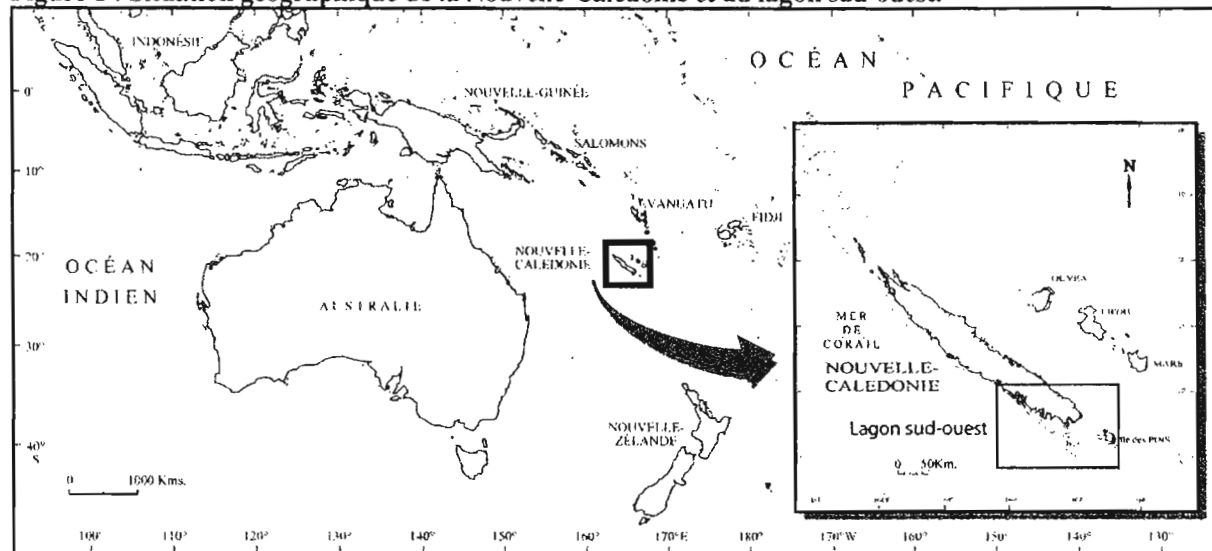
L'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) a été créé en 1946 sous l'appellation d'Institut Français d'Océanie. En 1964 il prend le nom d'ORSTOM, intitulé qu'il conservera jusqu'en 1998. L'IRD conduit des programmes scientifiques centrés sur les relations entre l'homme et son environnement. Le centre de Nouvelle-Calédonie est organisé en trois départements : milieux et environnement, ressources vivantes ainsi que sociétés et santé. Le département « ressources vivantes » se consacre à l'étude de la biodiversité, des écosystèmes aquatiques et des agrosystèmes tropicaux afin d'assurer la viabilité de leur exploitation par une gestion appropriée. L'unité de recherche « Approche écosystémique des Communautés Récifales et de leurs Usages dans le Pacifique insulaire » (CoRéUS), est intégrée dans ce département. Son objectif est de hiérarchiser les facteurs naturels et anthropiques qui expliquent la variabilité spatiale de la biodiversité aux échelles locales et régionales afin de comprendre les processus écologiques qui gouvernent les ressources marines. Pour gérer l'ensemble des données acquises, elle a mis en place un Système d'Information Géographique, intitulé LagonNC.

L'unité de recherche « Caractérisation et modélisation des échanges dans les lagons sous influences terrigènes et anthropiques (CAMELIA) » a développé un modèle hydrodynamique et un modèle de transport des sédiments. Dans ce cadre, un Atlas hydrodynamique du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie a été publié. L'équipe de CoRéUS a souhaité utiliser ces données afin de compléter les études sur les interactions ressources-environnement-usages en milieu lagonaire. Dans le cadre de l'UR CoRéUS et en collaboration avec l'UR CAMELIA, je me suis intéressé à l'hydrodynamisme afin d'essayer d'expliquer la répartition des sédiments et des macrophytes dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie avec le SIG SAVANE.

## I) Contexte et objectifs de l'étude.

### 1) La Nouvelle-Calédonie.

Figure 1 : Situation géographique de la Nouvelle-Calédonie et du lagon sud-ouest.



Source : Service cartographie, IRD Nouméa 2003.

La Nouvelle-Calédonie est située dans l'Océan Pacifique, à 1500 km à l'est de l'Australie. Elle est composée d'une île principale appelée Grande Terre, des îles Loyautés et de l'île des Pins. La Grande Terre, orientée selon un axe de nord-ouest au sud-est, s'étend sur 400 km de long et 50 km de large. Elle est entourée d'une barrière de corail d'environ 1 600 km de long. Le lagon de la Nouvelle-Calédonie est un des plus grand du Monde avec une surface de 24 000 km<sup>2</sup>. Le lagon sud-ouest est délimité au nord par la baie de Saint-Vincent, et au sud par la barrière de corail et l'île des Pins.

### 2) Le logiciel SAVANE.

SAVANE est un système d'information géographique développé par l'IRD pour répondre aux besoins spécifiques des équipes de chercheurs de l'Institut et capitaliser l'expérience acquise dans les domaines urbains et environnementaux. Il a été mis au point au sein des équipes qui ont piloté des bases de données importantes notamment sur la ville de Quito (Équateur), et sur l'État de Veracruz (Mexique). Il est commercialisé par la société Alain Olivier Géomatique<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> <http://www.geomatique.fr/>

Le logiciel est composé de 4 modules :

- SAVANE : module principal permettant le traitement des données et la cartographie,
- SAVEDIT : module de digitalisation et de modification sur écran,
- SAVATECA : module de création et d'administration des bases,
- SAVAMER : module de redressement et d'intégration d'images.

Marc Souris, chargé de recherche à l'IRD, continue à développer et à améliorer le logiciel en fonction des observations des utilisateurs. Le logiciel fonctionne bien dans son ensemble. Néanmoins, certaines fonctions présentes dans les menus ne sont pas encore développées. En outre, au cours de ce travail, j'ai relevé des bugs mineurs (notamment sur la sélection par masque et l'affichage des décimales).

### **3) Le SIG LagonNC.**

La base de données géographiques contient les informations suivantes sur le lagon sud-ouest :

- topographie ( trait de côte, contour de la barrière de corail, contour des îlots et des platiers),
- relevés bathymétriques,
- campagnes d'échantillonnage sur les poissons par pêche à la palangre menée entre 1984-1987 et 2000-2002,
- campagne de comptage visuel en plongée,
- sédimentologie,
- macrophytes.

Les données sont de plusieurs types : points, lignes, polygones et mosaïques. Elles sont intégrées dans le SIG par le système géodésique IGN72. Ce système est appliqué pour la Grande Terre de Nouvelle-Calédonie. Il est composé de l'ellipsoïde de référence international 1924 et la projection UTM.

Dans un premier temps, la base de données a été dotée d'un dictionnaire de données au format Excel 97 (Bouvet, 2000). En 2001, Soizic Pautret, (Pautret, 2001) a réalisé un formulaire plus complet au format Access 97. Ces dictionnaires restent à être renseignés pour les données déjà intégrées dans la base et doivent être décrits au fur et à mesure du développement de la base géographique. Il est particulièrement difficile d'utiliser le SIG LagonNC sans métadonnées. La collaboration des chercheurs, propriétaires des données, permet d'apporter des compléments d'information.

#### **4) Objectifs.**

L'apport des données hydrodynamiques est un facteur explicatif de l'organisation spatiale du lagon. Dans un premier temps il faut comprendre puis sélectionner les données. Ainsi, une partie des données hydrodynamiques a été intégrée. Les données hydrodynamiques sont des données vectorielles. Une réflexion sur la représentation est nécessaire car SAVANE n'est pas adapté à ce type de données.

Dans la littérature, des relations ont été mises en évidence entre les données hydrodynamiques et la sédimentologie. L'objectif principal est de confirmer ces relations en utilisant les fonctions des SIG. En outre, les données hydrodynamiques peuvent sans doute expliquer d'autres phénomènes comme la répartition des macrophytes. L'approche cartographique, sur une zone commune à toutes les données permet d'observer ces relations. Les fonctions du SIG sont ensuite utilisées pour confirmer ces observations générales. La dernière étape est l'utilisation d'une méthode statistique afin de caractériser les relations entre toutes les variables.

#### **5) Démarche générale.**

Pour tous les thèmes, il existe des points d'échantillonnage et des données interpolées issues de ces derniers. L'utilisation de ces données est efficace pour comparer globalement la zone d'étude. Néanmoins il faut faire attention à la pertinence de ces données en fonction de la densité des points d'échantillonnage et de la variabilité spatiale de la zone d'étude. En effet l'hétérogénéité des fonds du lagon est forte : « la nature spatiale varie souvent et brusquement (Chevillon, 2001) ». Même si ce type de données est supposé continu, l'utilisation de l'interpolation ne représente pas exactement le fond. L'utilisation des stations échantillonnées est préférable pour obtenir des résultats précis.

Cette étude doit permettre d'utiliser facilement les données hydrodynamiques avec le logiciel SAVANE. En ce sens, et afin de ne pas alourdir le texte, les différentes étapes à réaliser pour aboutir au résultat sont reportées en annexe. Ce « guide d'utilisation » a deux objectifs : retrouver les résultats et aider les futurs utilisateurs du SIG LagonNC.

## II) Les données.

### 1) Le modèle hydrodynamique.

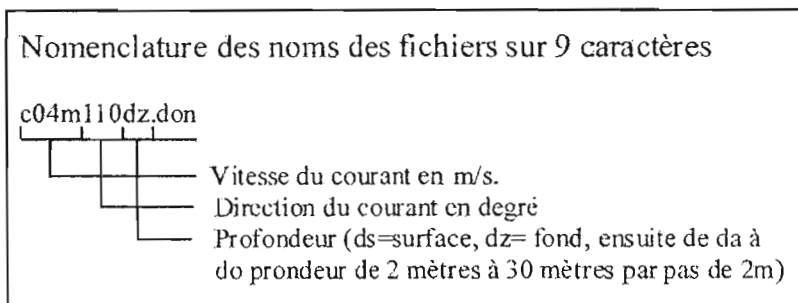
Les données présentes dans l'Atlas hydrodynamique du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie sont issues de simulations réalisées par un modèle développé par Pascal Douillet (Douillet 2001). Les fichiers contiennent des identifiants I et J correspondant à la maille du modèle ainsi que la vitesse du courant en m/s et la direction du courant en degrés. Les courants sont générés par le vent et la marée.

#### A) Les courants générés par le vent.

Les courants marins dépendent de la direction et de la force du vent. Pour chaque vent simulé (cf. figure 2) le modèle calcule les courants en surface, au fond, ainsi que tous les deux mètres entre 2 et 30 mètres de profondeur. Ainsi pour chaque vent simulé, les courants générés sont disponibles à 17 profondeurs différentes. Il y a donc 153 fichiers concernant les données sur les courants générés par le vent.

Figure 2 : Les courants simulés par le modèle.

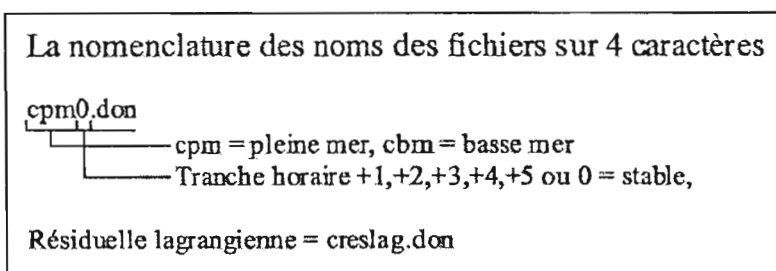
Force en m/s	Directions en degrés				Vents
	110° (alizés)	270° (ouest)	0° (nord)	180° (sud)	
4	+	+			+
8	+	+	+	+	+
10	+	+			
12	+	+	+	+	+
16	+	+			



#### B) Les courants générés par la marée.

Ils sont disponibles pour 12 tranches horaires centrées sur les heures de basse et de haute mer de Nouméa. Il existe également la résiduelle lagrangienne de marée qui représente

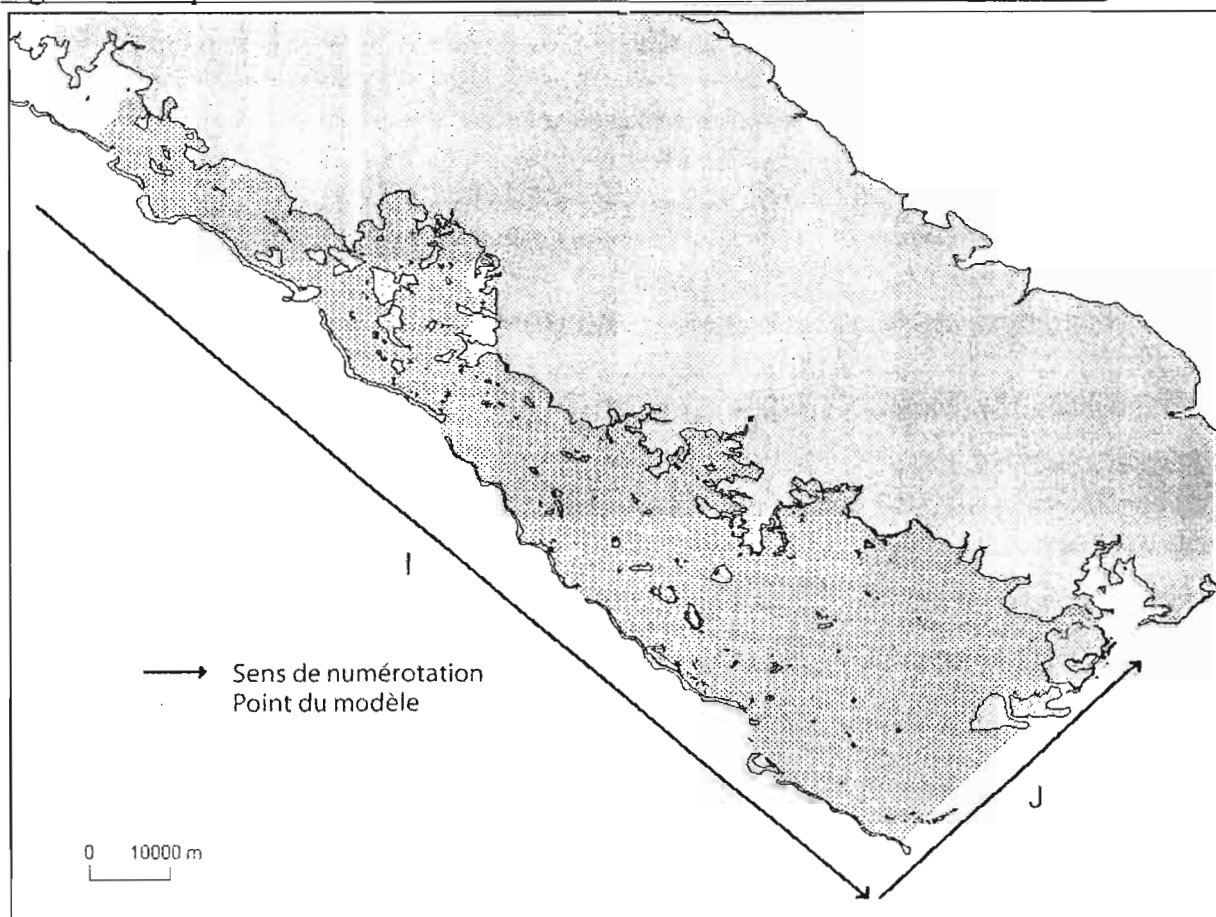
le déplacement à long terme des masses d'eau sous l'influence de la marée. L'ensemble des données concernant les marées est contenu dans 13 fichiers.



### C) Les points de calcul.

Le calcul des courants est réalisé sur une grille avec des mailles espacées de 500 mètres (cf. figure 3). Les points de calcul, contenant les données sur les courants, sont au centre des mailles. En abscisse, les mailles sont notées I et numérotées de 18 à 278. En ordonnée, les mailles sont notées J et numérotées de 7 à 98. Hors de la zone du lagon, définie par l'ensemble des points, le modèle n'est plus valide. En effet, le modèle ne simule pas les courants dans les zones très profondes.

Figure 3 : Les points de calcul du modèle et la direction de numérotation des mailles.





## 2) **La sédimentologie.**

Les données de sédimentologies ont été échantillonnées par G. Debenay et C. Chevillon entre 1975 et 1998. Les données sont de type ponctuel avec une densité très inférieure au modèle hydrodynamique. L'interpolation des points d'échantillonnage a permis d'obtenir des cartes de répartition pour chaque type de sédiment. Dans le cadre de cette étude, le pourcentage des trois grands types de sédiments est utilisé :

- pourcentage de vase dans le sédiment ( fraction inférieure à 0.063 mm),
- pourcentage de sable dans le sédiment (fraction entre 0,063 et 2 mm ),
- pourcentage de gravier dans le sédiment (fraction supérieure à 2 mm ).

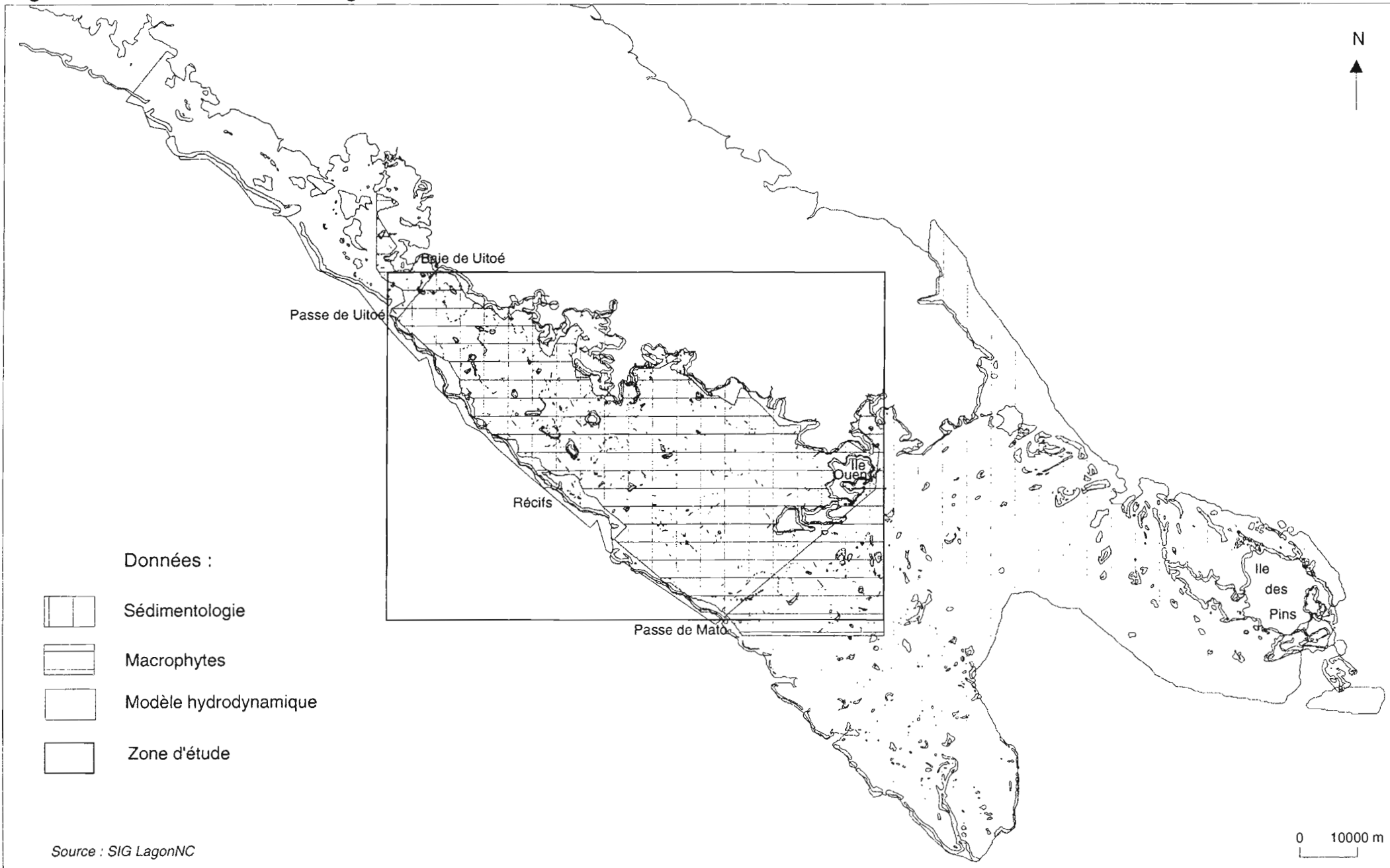
## 3) **Les macrophytes.**

Les macrophytes regroupent à la fois les algues et les phanérogames. Les données de Claire Garrigue sont de type ponctuel avec un attribut de présence/absence. L'interpolation de ces données a été réalisée par Soizic Pautret entre 0 et 1. Elle a considéré qu'il y avait absence du type de macrophyte lorsque la valeur est inférieure à 0,5 et présence au-dessus de 0,5 (Pautret, 2001).

## 4) **Détermination de la zone d'étude commune.**

La zone d'étude est délimitée par la zone commune à toutes les données. Cette zone aux alentours de Nouméa, est comprise entre l'île Ouen et la passe de Mato ainsi que la passe et la baie de Uitoé (cf. figure 4). Afin de comparer facilement les données, les cartes seront réalisées sur cette zone et à la même échelle.

Figure 4 : Les données dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie

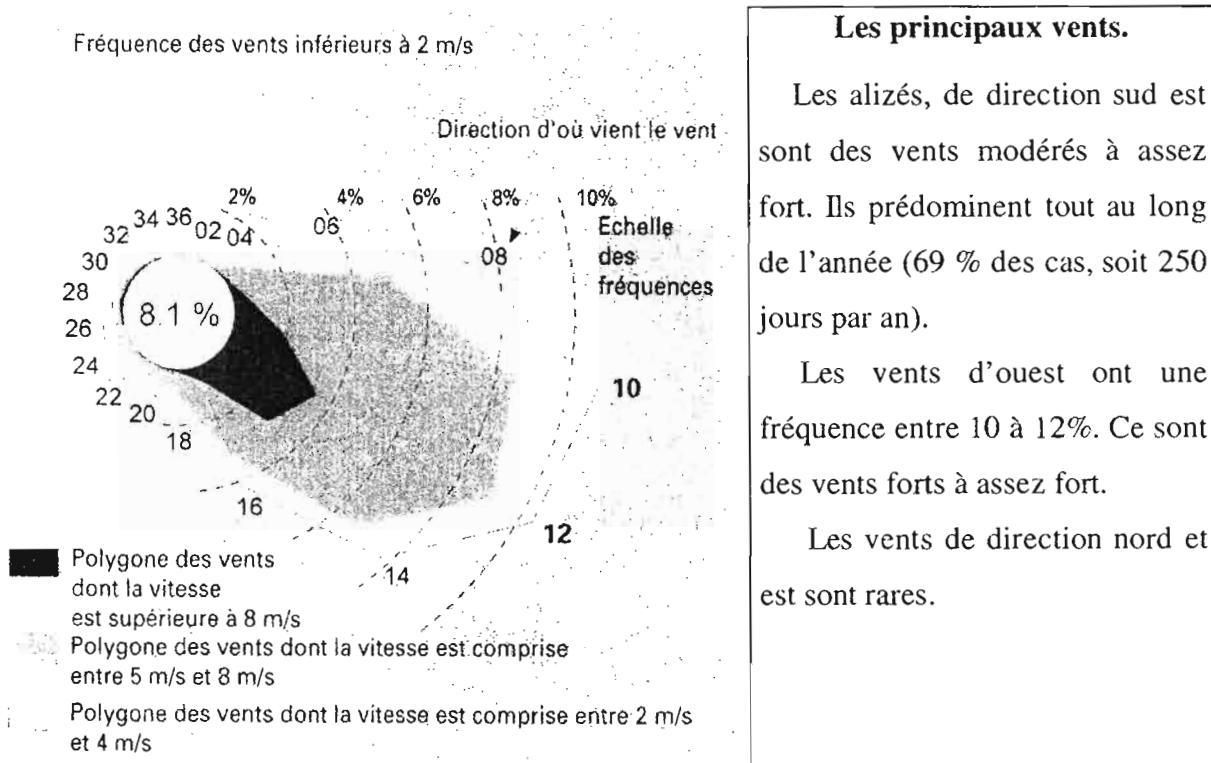


### III) Sélection des courants.

Le modèle hydrodynamique fourni de nombreuses données. Il faut sélectionner les données les plus pertinentes pour l'étude en fonction des conditions météorologiques de la zone de Nouméa et de l'influence des courants sur le substrat.

#### 1) Le vent en surface à Nouméa.

Figure 5 : Fréquence des vents à Nouméa de décembre 1961 à mars 1992.



Source : Atlas climatique de la Nouvelle Calédonie

#### 2) Les courants à intégrer dans le SIG LagonNC.

Les courants ont une influence sur les sédiments. Il faut choisir les conditions moyennes de vent qui génèrent les courants les plus fréquents. Les alizés sont les vents les plus fréquents à Nouméa. La force du vent est la plupart du temps inférieure à 8 m/s. Les vents forts, supérieurs à 10 m/s sont peu fréquents et leurs directions changent très vite. Ils ne sont pas représentatifs des conditions moyennes annuelles exercées sur le lagon par le vent.

L'action du courant au fond est en relation directe avec le substrat. On sait que plus le courant est fort plus les sédiments sont déplacés. Le courant le plus intéressant à tester avec la sédimentologie est généré par un vent de 8m/s de direction 110° au niveau du fond (nom de

fichier : c08m110dz.don). En dessous de 20 mètres de profondeur l'influence des courants générés par le vent est moins importante que le courant généré par la marée (Bouron-Morin, 2001).

Le courant généré par la marée peut avoir une influence sur les sédiments. On suppose également que seul des courants assez forts peuvent avoir une influence sur la sédimentologie. La résiduelle lagrangienne n'est pas utilisée puisqu'elle a des vitesses très faibles. La marée de basse mer de tranche horaire +4 (fichier : cbm4), qui possède les plus fortes valeurs de courants (cf. annexe 2), a été sélectionnée pour être intégrée dans le SIG.

### **3) La contrainte de cisaillement.**

La contrainte de cisaillement au fond est la véritable clé pour les flux sédimentaires (Bouron-Morin, 2001). Elle correspond à la force de frottement exercée au fond sur les sédiments. Elle est calculée en fonction de la bathymétrie et de la vitesse du courant au fond<sup>2</sup>. On choisit donc le courant au fond généré par un vent de 8 m/s de direction 110° ainsi que la marée descendante de tranche horaire 4.

Les courants au fond résultent simultanément du vent et de la marée. Le calcul d'une contrainte de cisaillement regroupant le vent et la marée est impossible avec les données issues de l'Atlas hydrodynamique. On ne peut donc pas obtenir une seule variable afin de la comparer avec les autres données. Il faut calculer (cf. annexe 1), puis comparer, séparément les contraintes de cisaillement du vent et de la marée.

---

<sup>2</sup> Les formules ont été établies par l'UR CAMELIA : Pascal Douillet et Sylvain Ouillon.

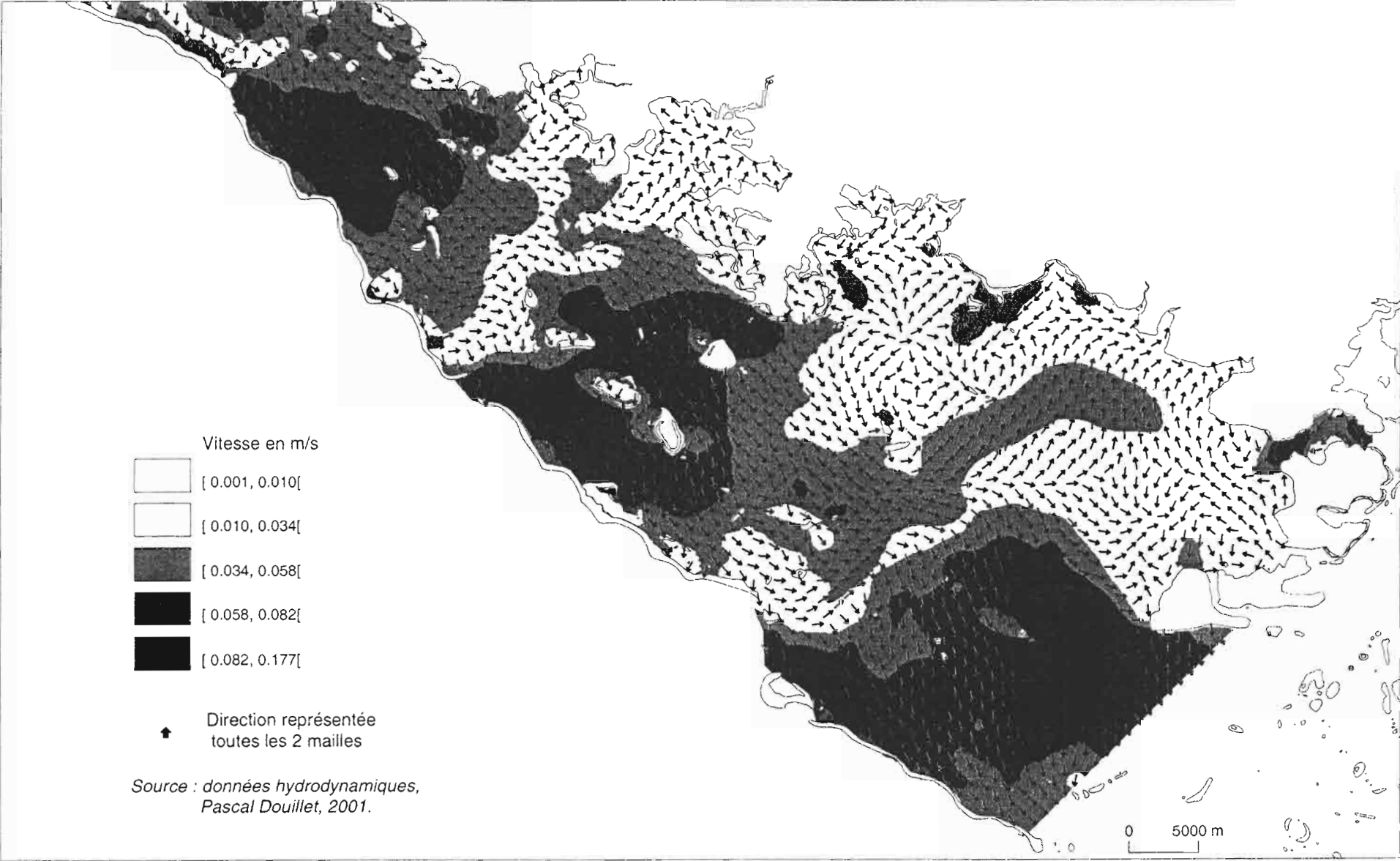
#### **IV) Représentation des données hydrodynamiques.**

Le logiciel SAVANE n'est pas adapté à la représentation de vecteur à deux composantes (une norme et une direction). La vitesse du courant représente la norme du vecteur. Marc Souris a développé spécialement pour cette étude, une fonction permettant de représenter un symbole orienté selon un attribut. Mais, il est toujours impossible de représenter réellement les vecteurs avec une flèche dont la taille varie selon la norme et une orientation. Les points du modèle sont trop denses pour tous les représenter. Il faut sélectionner les données pour avoir une carte lisible au format A4.

L'utilisation d'une grille afin de conserver exactement l'information contenue sur les points a été envisagée. Cependant, un décalage vertical entre chaque point de calcul du modèle empêche de mettre un point par maille. Cette solution serait envisageable si les grilles de Savane étaient orientables. L'utilisation de grille nécessite de prendre des mailles plus grandes et de réaliser une moyenne. Or la moyenne des directions entre plusieurs points ne donne pas la véritable direction.

La représentation de la direction du courant toutes les 2 mailles est adaptée au format A4. La sélection des mailles se fait sous Excel avant de les intégrer dans Savane (cf. annexe 1). Pour la vitesse, on peut interpoler la vitesse du courant puis classer ces valeurs. En superposant la vitesse du courant classifiée et la direction, on obtient une représentation satisfaisante des données de type vecteur (cf. Figure 6). Il est également possible de simplifier les directions représentées en utilisant une différence selon un des axes (I ou J) calculée entre deux mailles consécutives. Avec cette méthode, on peut représenter les directions dont la différence entre 2 mailles est supérieure à X degrés.

Figure 6 : Courant au fond généré par un vent de 8 m/s de direction 110° dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie



## **V) Relation entre les courants, les sédiments et les macrophytes.**

### **1) Approche cartographique.**

#### **A) Sédimentation et macrophytes dans le lagon sud-ouest.**

La somme du pourcentage des différents types de sédiments (vase, sable et gravier) dans le lagon fait normalement 100 %. Ainsi, lorsque le pourcentage d'un des sédiments est très élevé, les pourcentages des autres types de sédiments sont faibles. L'intérêt des cartes de sédimentation (cf. figure 7) est de montrer les zones de concentration. Les forts pourcentages de vase sont concentrés dans les fonds de baies à l'exception de la baie de Saint-Vincent. Les hautes concentrations de gravier sont inférieures à 60%, peu nombreuses et assez dispersées. Elles sont concentrées dans la zone comprise entre Nouméa, l'est du Mont-Dore, le grand récif et l'est de la baie de Saint-Vincent. Les forts pourcentages de sable fin et très fin sont prépondérants sur l'ensemble du lagon tout particulièrement près du récif barrière.

Les macrophytes sont localisés sur un axe central orienté du nord-ouest au sud-est de la zone d'étude (cf. figure 8). Les fonds nus sont localisés dans les baies et près du récif. Les zones d'herbiers sont rares.

#### **B) Les facteurs explicatifs.**

L'explication de la sédimentologie peut se faire en étudiant la bathymétrie et les forces exercées par les contraintes de cisaillement du vent et de la marée (cf. figure 9). Lorsque la profondeur est inférieure à 20 mètres le rôle des courants générés par la marée est prépondérant par rapport au vent. La bathymétrie permet d'expliquer la force des courants générés par le vent dans le lagon. La profondeur moyenne de la zone d'étude est de 15 mètres avec un maximum à 54 mètres. Les profondeurs sont élevées dans les passes. L'influence du vent est limitée dans ces zones profondes. Ces zones sont d'anciens fleuves à l'époque où le niveau de la mer était plus bas : la barrière correspondait alors au récif frangeant de la côte. Les vitesses de courant générés par le vent ainsi que la contrainte de cisaillement y sont faibles. A l'inverse il existe des zones de faibles profondeurs proches des platiers. Dans ces zones, le courant généré par le vent et la contrainte de cisaillement sont forts. La contrainte de cisaillement de la marée est forte dans les petites passes ainsi qu'au sud-est. Le lagon se vide à marée basse et se remplit à marée haute par ces zones.

En comparant les cartes de sédimentologie avec les cartes de contraintes de cisaillement on observe que les contraintes de cisaillement faibles correspondent aux forts

pourcentages de vase. Les contraintes de cisaillement fortes correspondent aux forts pourcentages de sable et de gravier. Il est plus difficile d'expliquer la répartition des macrophytes. L'habitat des macrophytes est délimité par une faible teneur en vase et en sable ainsi que des profondeurs inférieures à 40 mètres (Pautret, 2001). Les macrophytes ne sont pas localisés dans les zones où ces paramètres sont élevés.

## **2) Informations sur les classes cartographiées.**

Pour confirmer ces observations, on calcule (cf annexe 1) pour toutes les classes des sédiments et sur chaque type de macrophyte des paramètres concernant la contrainte de cisaillement et la bathymétrie avec les points du modèle : moyenne, maximum, minimum et écartype (cf. tableaux annexe 3). L'amplitude, différence entre le maximum et le minimum, n'est pas significative car elle est presque quasiment toujours élevée. La moyenne résume mieux l'information et permet d'aboutir à des conclusions (cf. figure 10).

On observe des gradients opposés pour les contraintes de cisaillement entre la vase et les deux autres types de sédiment. Pour la vase, plus le pourcentage de vase est élevé plus les contraintes de cisaillement sont faibles. On peut remarquer une faible profondeur pour la classe contenant les pourcentages de vase compris entre 80 et 95. A l'inverse, pour les sables et les graviers, plus le pourcentage de sédiment est élevé plus la contrainte de cisaillement est faible. Néanmoins la présence d'un gradient est moins visible sur la contrainte de cisaillement concernant la marée et les graviers. La bathymétrie n'est pas significative à l'exception d'un gradient sur les sables.

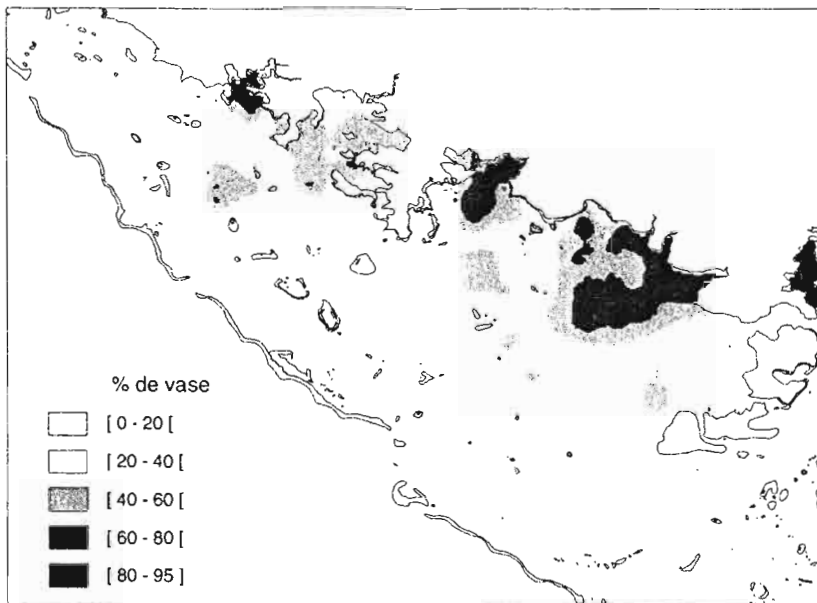
Ces observations confirment plusieurs hypothèses. Tout d'abord, une relation existe entre la contrainte de cisaillement et la sédimentologie. Plus la contrainte de cisaillement est forte moins il y a de vase et plus on observe la présence des autres sédiments. La contrainte de cisaillement concernant la marée est moins significative et ces valeurs sont plus faibles. Elle ne suffit pas à influencer la sédimentologie. Il n'y a pas de relation avec les graviers car ces sédiments sont plus gros et donc plus difficilement déplaçables. La relation la plus forte concerne la vase, particules très fines, qui est soumise directement à la contrainte de cisaillement.

Les zones mixtes composées d'herbiers et d'algues ont une moyenne de contraintes de cisaillement supérieure à l'ensemble de la zone. A l'inverse les herbiers et les fonds nus ont une moyenne inférieure. Ils sont donc localisés principalement dans les zones de faibles courants.

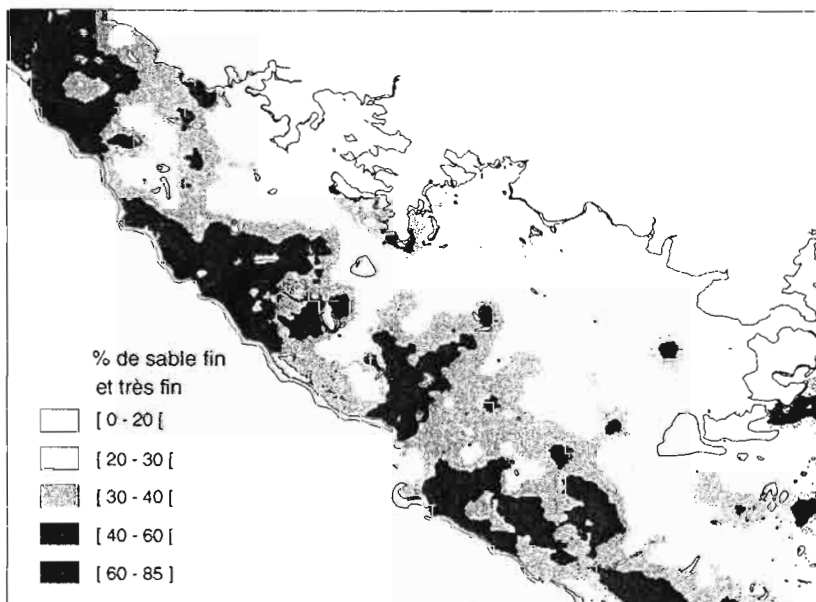


Figure 7 : Sédimentologie dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie

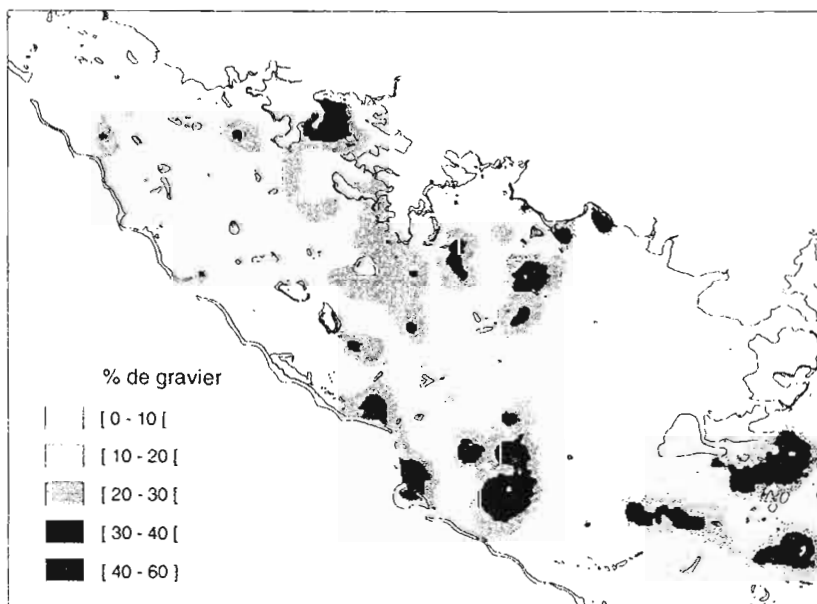
Vase



Sable fin et très fin



Gravier

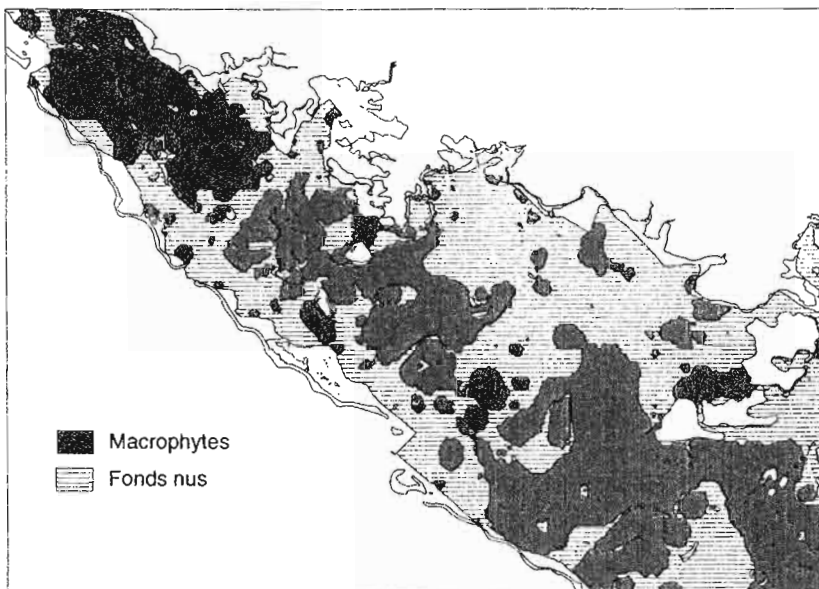


Echelle des cartes : 0 10000 m

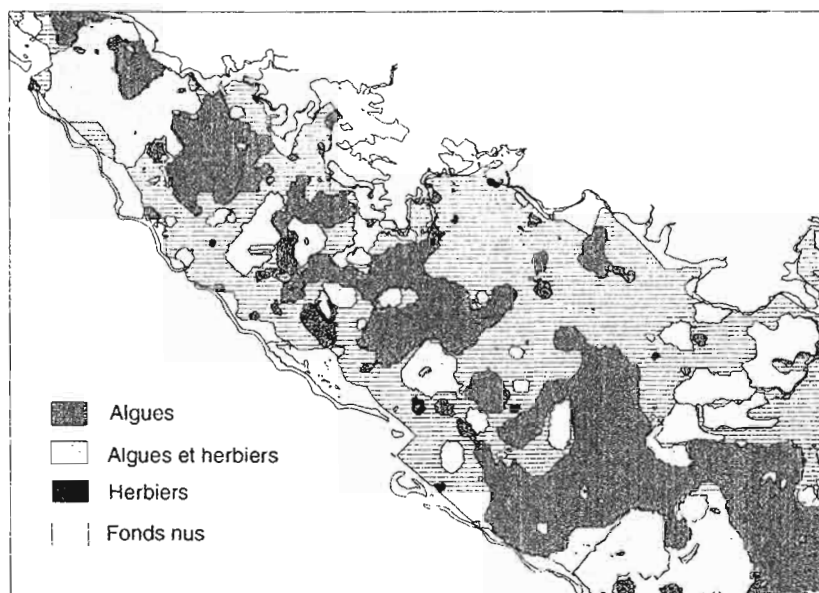
Sources : Interpolation des données de C. Chevillon et J.P Debenay

Figure 8 : Répartition des macrophytes dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie

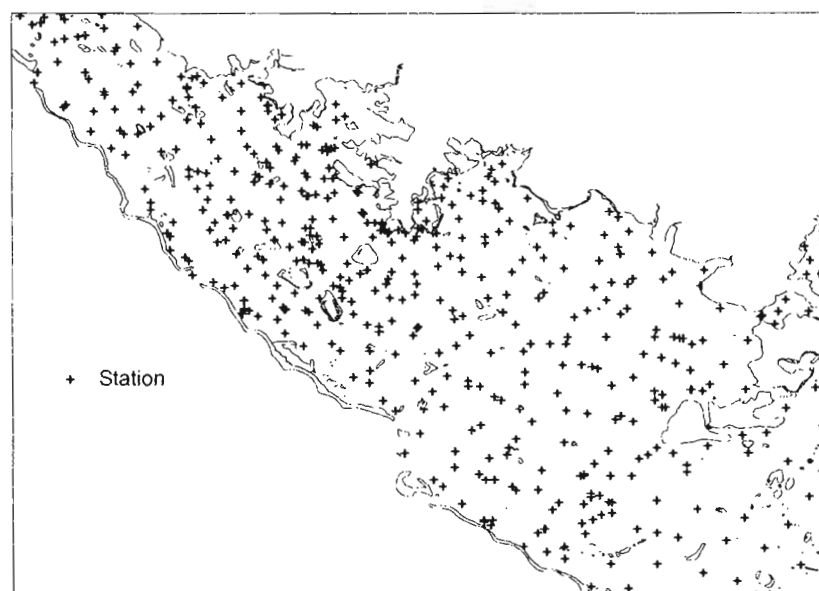
Macrophytes



Types de macrophyte



Points d'échantillonnage



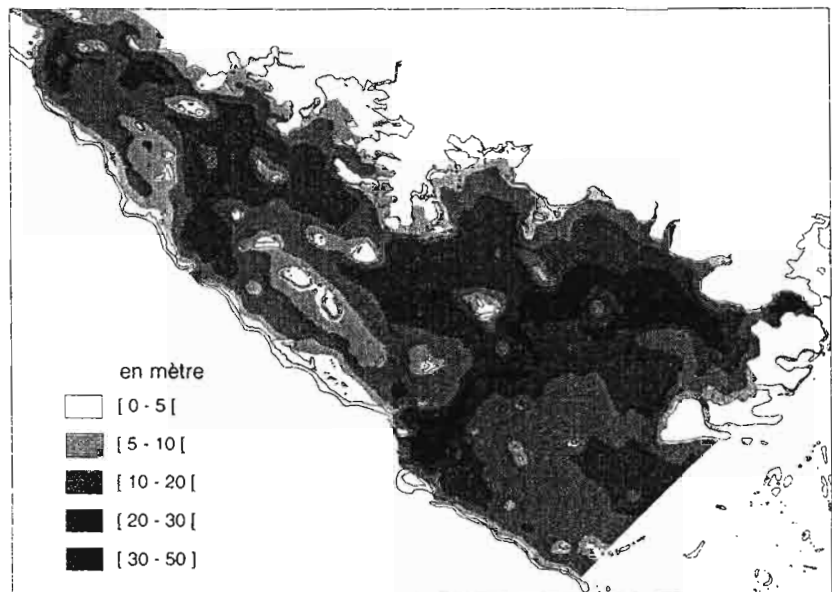
Echelle des cartes : 0 10000 m

Sources : Données de C. Garrigue

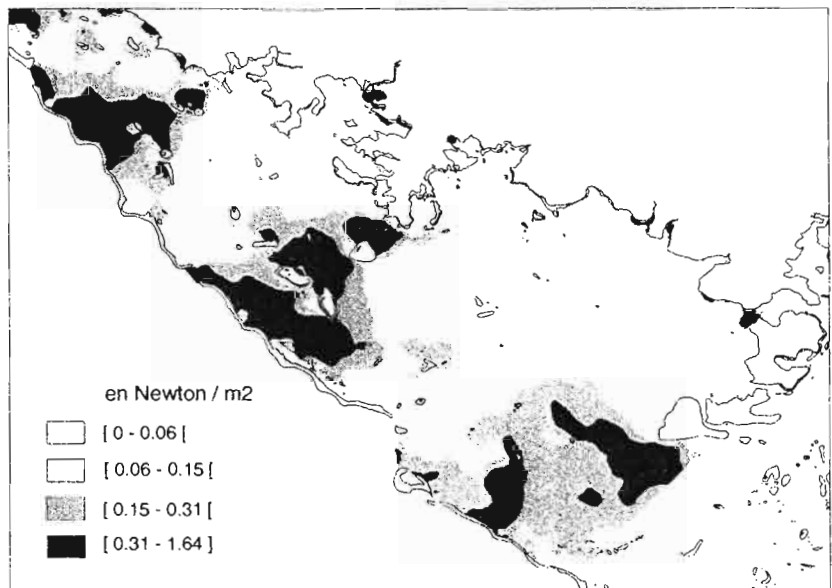
Figure 9 :

Bathymétrie et contraintes de cisaillement dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie

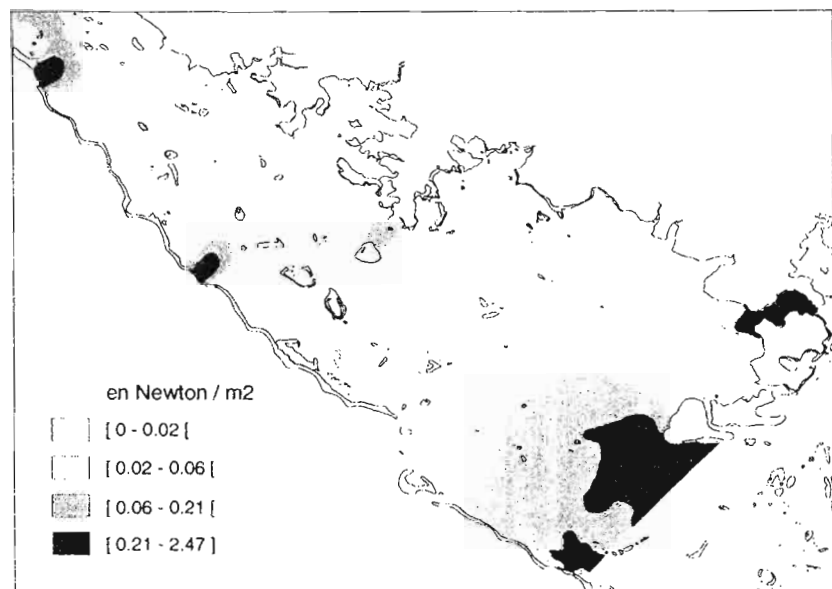
Bathymétrie



Contrainte de cisaillement  
calculée avec le courant au fond  
génééré par un vent de 8 m/s  
de direction 110°



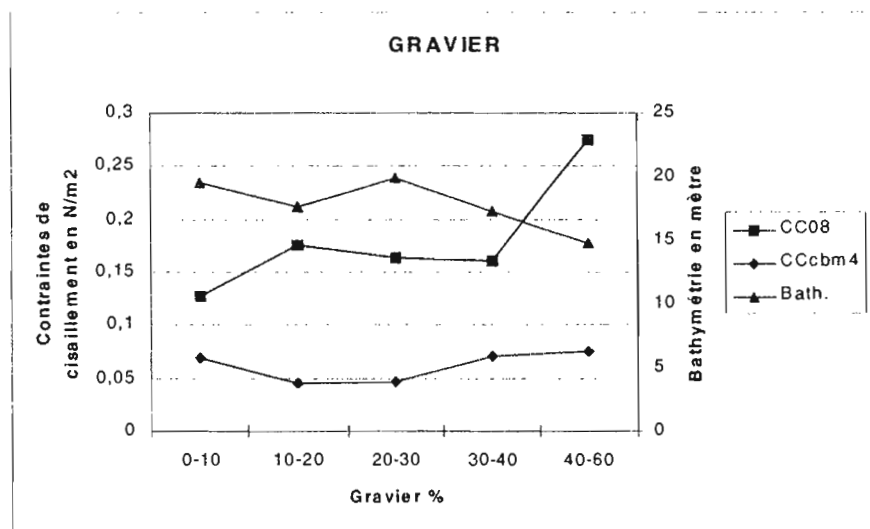
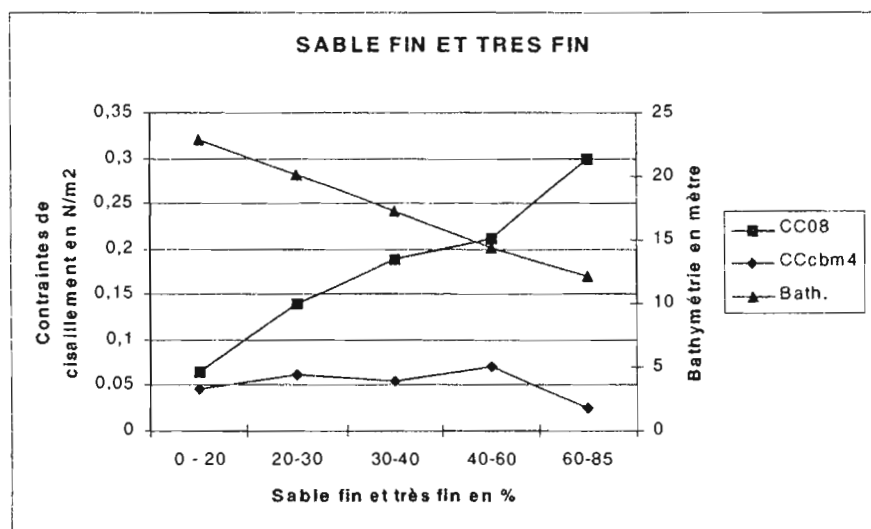
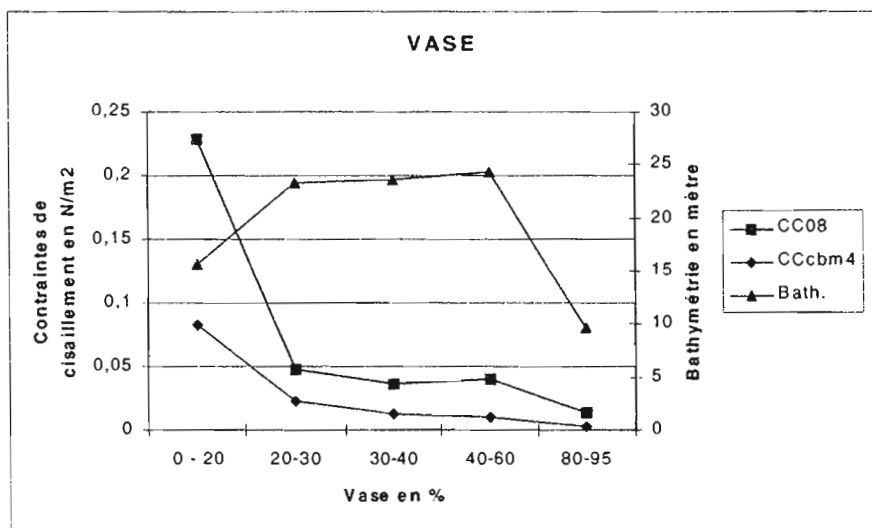
Contrainte de cisaillement  
calculée avec la marée descendante  
de tranche horaire 4



Echelle des cartes : 0 10000 m

Sources : modèle hydrodynamique, P. Douillet, 2001.

Figure 10 : Moyennes des contraintes de cisaillement et de la bathymétrie sur les classes de sédiment :



Note : Les classes de sédiment sont cartographiées sur la figure 7.

CC08 = Contrainte de cisaillement calculée avec le courant généré au fond par un vent de 8 m/s de direction 110° en N/m<sup>2</sup>

CCcbm4 = Contrainte de cisaillement calculée avec le courant généré au fond par la marée descendante de tranche horaire 4 en N/m<sup>2</sup>

Bath. = Bathymétrie en mètre.

Sources : SIG LagonNC, cf. tableaux en annexe 3

### 3) Analyse des correspondances multiples.

Le but de cette analyse statistique est de préciser la relation avec le type de macrophytes puis de confirmer la relation qui existe entre les courants et la sédimentologie. On sait qu'il existe un seuil à partir duquel la force de la contrainte de cisaillement est suffisante pour mettre les sédiments en suspension. La relation n'est donc pas linéaire. Ainsi, les méthodes statistiques linéaires (régression, ACP) ne sont pas utilisables. De plus, les types de macrophytes sont représentés par une variable qualitative. L'utilisation de l'analyse des correspondances multiples est la mieux adaptée pour préciser les relations entre les différentes variables. Les conditions d'applications de cette analyse sont (Dervin, 1992):

- Le nombre de modalités de chaque variable doit être voisin,
- Les différentes modalités doivent avoir des effectifs proches,
- Il faut éviter d'avoir des modalités trop rares.

#### A) Choix des données.

Pour réaliser cette analyse il faut que toutes les variables soient qualitatives. Le but de l'analyse étant de préciser les relations avec les macrophytes, j'ai choisi d'utiliser comme individus statistiques les points échantillonnés pour les macrophytes. Les points d'échantillonnage des différentes données ne sont pas superposables. Dans un premier temps il faut attribuer une valeur pour toutes les autres variables sur ces points. Pour cela, j'ai classifié chaque variable à l'aide de la méthode des quartiles. De plus, cette méthode permet de transformer toutes les variables quantitatives en qualitatives. Il existe un gradient entre les classes pour chaque donnée. J'ai donc attribué des numéros de 1 à 4 à chaque classe. Le numéro 1 est attribué aux classes qui présentent les plus faibles valeurs. Cette numérotation traduit donc le gradient existant entre les classes.

#### B) Résultats et interprétation.

*Les informations entre parenthèses correspondent aux variables de la figure 11.*

L'analyse est effectuée sur les axes 1 et 2 qui expliquent respectivement 15% et 9% de l'information (cf. figure 11). L'axe 1 s'explique surtout par les variables vase (26%), contrainte de cisaillement calculée pour un vent de 8/m seconde de direction 110 degrés (22%) et le sable (19%). L'axe 2 s'explique surtout par la variable vase (28%) et la variable macrophyte (16,41%).

On observe un gradient sur l'axe des abscisses pour trois variables : la contrainte de cisaillement calculée pour un vent de 8/m seconde de direction 110 degrés (Cv), la vase (V)

et le sable (S). On observe que le gradient est dans le même sens pour le courant généré par le vent et le sable. Pour la vase le gradient est inversé. Le faible pourcentage de vase (V/1) est lié aux forts pourcentage de sable (S/4) et à une forte contrainte de cisaillement. A l'inverse, une faible contrainte de cisaillement (Cv1) est liée à un faible pourcentage de sable et à un fort pourcentage de vase (V/4). Il n'existe pas de gradient pour les autres variables.

Il est possible de préciser le milieu pour les macrophytes. Ainsi, les herbiers et les fonds nus sont proches d'une faible contrainte de cisaillement (Cv1). Le milieu a un pourcentage de vase assez fort et un faible pourcentage de sable. La présence des algues et des herbiers au même endroit est proche d'une contrainte de cisaillement forte. Le milieu est riche en sable et pauvre en vase. Les algues sont positionnées au centre de l'axe des abscisses ; elles sont sans doute liées à des conditions moyennes.

#### **4) Perspectives.**

Le SIG lagonNC est continuellement en évolution en fonction des données disponibles. Les différents travaux en cours devraient permettre d'obtenir une cartographie précise du lagon. Plus les données seront précises plus il sera possible de comprendre les interactions entre les différentes données. Tout d'abord la cartographie des récifs par télédétection permettra de distinguer et de géoréférencer plusieurs formes dans le lagon (récifs, platiers...). Le type du fond, au niveau de la bathymétrie et de la sédimentologie, par classification hydro-acoustique sera de plus en plus précis. Le modèle hydrodynamique est actuellement en évolution avec l'intégration du mouvement des vagues. Cela devrait permettre d'améliorer la simulation des données, notamment dans les fonds de baie où la sédimentologie devrait être sous l'influence des vagues. Ces données apporteront une plus grande précision dans la connaissance des milieux lagunaires.

L'exploitation des données déjà acquises peut fournir encore de nombreux renseignements. Elles permettent notamment la mise en place de méthodes pour l'utilisation et la comparaison des données. L'utilisation des données hydrodynamiques offre beaucoup de possibilités. Par exemple, ces données n'ont pas été comparées avec les données ichtyologiques. La comparaison sera plus difficile car les poissons sont mobiles. L'utilisation de zones tampons autour des points d'échantillonnage permettrait sans doute de définir des milieux spécifiques à une ou plusieurs espèces.

Figure 11 : ACM sur l'ensemble des variables.

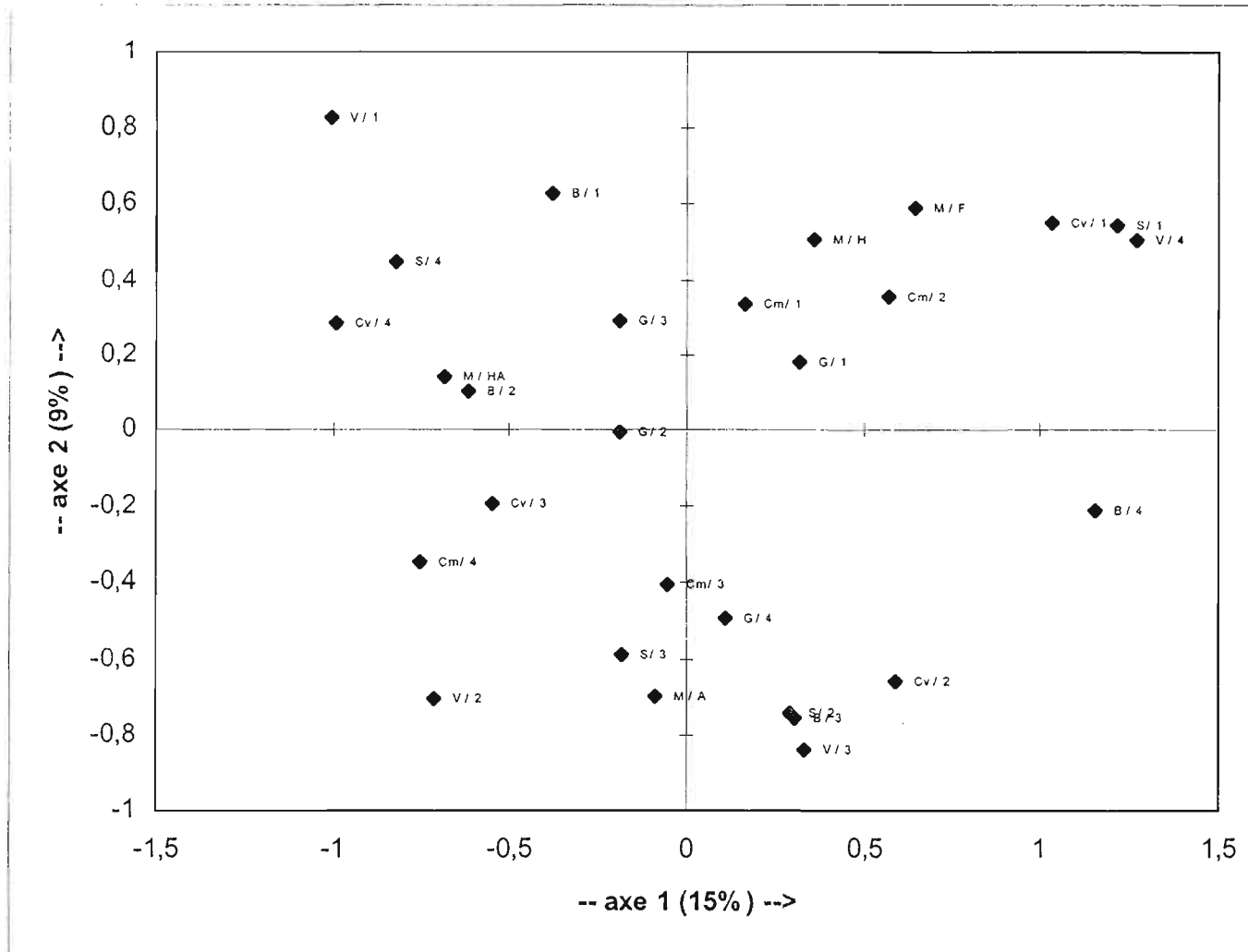
Légende :

Macrophytes	M	CCcbm4	Cm
Algues	A	0-0,01	1
Herbiers	H	0,01-0,02	2
Herbiers + Algues	HA	0,02-0,05	3
Fonds nus	F	0,05-2,47	4

Vase	V	C08m110dzvc	Cv
1,69-6,32	1	0-0,04	1
6,32-13,09	2	0,04-0,09	2
13,09-30,17	3	0,09-0,24	3
30,17-91,46	4	0,24-1,64	4

Sable fin et très fin	S	Bathymétrie	B
2,57-21,10	1	0,20-11,22	1
21,10-29,99	2	11,22-17,67	2
29,99-38,87	3	17,67-24,07	3
38,87-81,44	4	24-07-48,67	4

Gravier	G
0,85-6,87	1
6,87-11,86	2
11,86-18,71	3
18,71-63,44	4



## Conclusion

J'ai découvert le logiciel SAVANE à l'IRD. Au cours de ce stage, j'ai peu à peu apprécié et maîtrisé ce logiciel. Mes compétences me permettent de m'adapter à des nouveaux logiciels. De plus, ce stage m'a permis d'acquérir une grande autonomie sur une thématique qui m'était inconnue. J'ai pu mettre en œuvre l'ensemble des enseignements dispensés en DESS : traitement de données, programmation, statistique, utilisation de SIG et cartographie.

Tout d'abord, j'ai intégré des données hydrodynamiques après un travail de sélection sur un ensemble important de données. La contrainte de cisaillement, variable adaptée à cette étude, a pu être calculée grâce aux données intégrées. L'approche par SIG a permis de retrouver les relations reliant la sédimentologie aux courants marins. En outre, il est possible d'émettre des hypothèses sur le milieu des macrophytes.

Au final, le SIG LagonNC contient des données hydrodynamiques pour les futures études sur le lagon sud-ouest de la Nouvelle-Calédonie. Les annexes de ce rapport, décrivent la technique utilisée afin de retrouver les résultats et de faciliter l'utilisation des données hydrodynamiques par les futurs utilisateurs de la base LagonNC. Un « guide d'utilisation » du même type serait d'ailleurs bienvenu dans l'ensemble des futurs travaux réalisés sur le SIG LagonNC.



## REMERCIEMENTS

J'adresse mes remerciements à Christian Colin, Directeur de l'institut de Recherche pour le Développement en Nouvelle-Calédonie pour m'avoir accueilli dans son centre.

Je remercie particulièrement Jocelyne Ferraris, directrice de l'unité de l'Unité de Recherche CoRéus (128), qui m'a permis de découvrir le milieu de la recherche ainsi que Guénohé Bouvet, membre de l'équipe, et coresponsable local.

Je remercie également Pascal Douillet, Sylvain Ouillon et Christophe Chevillon, chargés de recherche à l'IRD, de l'Unité de Recherche CAMELIA pour leur aide et leurs précieux conseils.

Je tiens aussi à remercier Marc Souris, chargé de recherche, ainsi que Pierre Peltre, directeur du laboratoire de cartographie appliqué à l'IRD de Bondy, et Elisabeth HABERT, cartographe et membre de son équipe, pour leur aide technique sans qui ce travail n'aurait pu se faire.

## BIBLIOGRAPHIE

**BOURON-MORIN Bastien**, Modélisation de la dynamique sédimentaire dans le lagon sud-ouest de Nouvelle Calédonie, 37 pages, rapport de DEA, Université Pierre et Marie Curie.

**BLOC'H Laurent**, 2001, Apport des SIG dans l'analyse des influences environnementales sur la répartition spatiale des peuplements de poissons, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, 41 p. + Annexes, ENSA Montpellier

**BOUVET Guénolé**, 2000, Identification de biotopes lagonaires par imagerie Landsat 7 et couplage SIG, Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, 30 p., ENSA Rennes

**CHEVILLON Christophe**, Caractérisation des types de fonds et habitats benthiques par classification hydroacoustique dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie, rapport d'activité pour l'année 2000, 37 pages, IRD Nouméa.

**DAGNELIE Pierre**, 1975, Analyse statistique à plusieurs variables, 362 pages, presse agronomiques de gembloux.

**DERVIN Catherine**, 1992, Analyse des correspondances, ITCF.

**DOUILLET Pascal**, 2001, Atlas hydrodynamique du lagon Sud-Ouest de Nouvelle-Calédonie, IRD.

**DOUILLET, OUILLOU, CORDIER**, 2001, A numerical model for fine suspended sediment transport in the southwest lagoon of New Calédonia, 12 pages, Springer-Verlag,.

**HABERT Elisabeth**, 2000, SAVEDIT version 7.0 : documentation, IRD Centre de Bondy, 65 p., Bondy

**HABERT Elisabeth**, 2000, SAVAMER version 7.0 : documentation, IRD Centre de Bondy, 49 p., Bondy

**HABERT Elisabeth**, 2000, SAVANE version 7.5 : documentation, IRD Centre de Bondy, 233 p., Bondy

**HABERT Elisabeth**, 2000, SAVATECA version 7.0 : documentation, IRD Centre de Bondy, 70 p., Bondy

**LEGENBRE Pierre et LEGENBRE Louis**, 1998, Numerical Ecology, Development in Environmental Modeling 20, 853 pages, Elsevier.

**PAUTRET Soizic**, 2001, Le SIG sur le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie : de la maquette vers un outil opérationnel. Illustration par une application sur les habitats benthiques, 55 p., rapport interne IRD, Nouméa, Nouvelle-Calédonie.

**PESIN Evelyne**, 1995, Atlas climatique de la Nouvelle Calédonie, 103 pages, Météo France.

### Sites internet :

- <http://www.bondy.ird.fr/carto/logchar/savane.html>

Site du centre IRD de Bondy. Laboratoire de Cartographie Appliquée. Possibilité de charger une version de démonstration et documentation du logiciel SAVANE.

- [www.star.ait.ac.th/~souris](http://www.star.ait.ac.th/~souris)

Site personnel de Marc Souris, développeur du logiciel Savane.

- <http://leba.unige.ch/anthony>

Site du Docteur Lehmann Anthony, présentation de ses travaux sur les macrophytes à l'aide de SIG.

- <http://www.enseeiht.fr/hmf/travaux/CD0001/travaux/optsee/hym/17/transedi.htm>

Mécanisme du transport des sédiments présenté par l'Ecole Nationale Supérieure d'Electrotechnique, d'Electronique, d'Informatique, d'Hydraulique.

- <http://imars.marine.usf.edu/corals/index.html>

## ANNEXES

Annexe 1 : Opérations effectuées sous SAVANE :

- Chaîne de traitement pour l'intégration des fichiers courants dans le SIG,
- Calcul des paramètres statistiques sur les classes de sédiment,
- Sélection des points, contenant la direction des courants, à représenter,
- Calcul des contraintes de cisaillement.

Annexe 2 : Les marées du modèle hydrodynamique.

Annexe 3 : Statistique des classes de sédiment et des macrophytes représentés sur les cartes.

## Annexe 1 : Opérations effectuées sous SAVANE.

### Chaîne de traitement pour l'intégration des fichiers courants dans le SIG :

**Important :** Le séparateur décimal de Excel est souvent une virgule alors que sous SAVANE le séparateur est un point. Il faut faire attention car il est possible d'exporter et d'intégrer les données sous SAVANE avec un séparateur virgule. Mais dans ce cas il y aura forcément une erreur de décimale.

*Sélectionner exclusivement les mailles du fichier courant présentes dans le fichier position et attribuer la position géographique.*

- 1) Ouvrir le fichier courant de type « \*.don » désiré sous Excel.  
Le fichier contient 6 colonnes sans en-tête. Les données sont de gauche à droite : coordonnées géographiques en longitude et latitude, repère de maille I et J, vitesse du courant en m/s et direction du courant en degré. Tous les points ne sont pas valides. Il faut faire correspondre les repères de maille (I et J) du fichier courant avec le fichier position des points valides correspondant à l'Atlas hydrodynamique.
- 2) Ouvrir le fichier position.  
Le fichier contient 4 colonnes. Les données sont de gauche à droite : degrés décimaux en longitude et latitude, et repère de maille I et J.
- 3) Prendre la valeur absolue de la colonne B puis transformer les colonnes A et B en degrés, minutes, secondes. On obtient donc 6 colonnes.
- 4) Classer les I et J des deux fichiers par ordre croissant.
- 5) Lier I et J avec la fonction concatener de Excel en utilisant un séparateur ( - par exemple )
- 6) Utiliser le programme en Visual Basic Application pour Excel crée pour attribuer les données aux mailles présentent dans le fichier position :

```
' Compare deux fichiers
' et affecte aux mailles du fichiers position les attribut du fichier courants

Sub AffecteVcDc()

Dim ca As Long
Dim CB As Long
Dim c2 As Long
Dim C3 As Long
Dim i As Long
Dim j As Long

' Clé I et J de la feuille courants

For i = 2 To 10067
    ca = Sheets("Position").Cells(i, 1).Value
    c2 = Sheets("Position").Cells(i, 2).Value

' Ecrit la vitesse et la direction du courant lorsque les clés des 2 fichiers sont identiques

    j = 2

Do

    CB = Sheets("Courants").Cells(j, 1).Value
    C3 = Sheets("Courants").Cells(j, 2).Value

    If ca = CB And c2 = C3 Then

        Sheets("courants").Cells(j, 5).Value = Sheets("position").Cells(i, 3).Value
        Sheets("courants").Cells(j, 6).Value = Sheets("position").Cells(i, 4).Value

    End If

    j = j + 1

Loop Until (ca = CB And c2 = C3) Or j = 9880

Next

End Sub
```

```
Sub main()
```

```
Dim ca As Long  
Dim CB As Long  
Dim c2 As Long  
Dim C3 As Long  
Dim i As Long  
Dim j As Long
```

```
Call AffecteVcDc
```

```
End Sub
```

- 7) Trier les colonnes pour effacer les lignes vides.
- 8) Créer un identifiant clé sur la première colonne.

*Ajouter la bathymétrie.*

- 9) Trier les I et J du fichier Bathy en ordre croissant
- 10) Concatener I et J du fichier Bathy comme dans l'étape n°5
- 11) Utiliser la commande RechercheV de Excel pour affecter la bathymétrie

*Intégrer le fichier sous SAVANE :*

- 12) Sous Savateca crée une relation et ses attributs (donner le même nom que dans le fichier courant)
- 13) Ajouter cette nouvelle relation à la vue externe.
- 14) Sous Savedit importer les points (menu Fichier). Choisir longitude est et latitude sud. Donner le numéro du champ de la clé dans le fichier donnée puis cliquer sur le bouton auto qui va affecter les numéros de champs (attention cela fonctionne que si vous aviez donné exactement les étiquettes des colonnes aux attributs à l'étape n°11)
- 15) Sous Savateca intégrer la clé : dans le menu Objets choisir intégrer Savedit.
- 16) Sous Savateca intégrer les valeurs en ASCII.

*Le fichier est intégré, il est utilisable sous SAVANE.*

### **Calcul des paramètres statistiques sur les classes de sédiments :**

- 1) Vectoriser les classes de sédiment avec la création de zones du menu Type.
- 2) Affecter les classes de sédiment aux points contenant la contrainte de cisaillement en utilisant la fonction appartenir dans le menu Coca.
- 3) Calculer les paramètres en utilisant la fonction Géo-agrégé du menu Coca.
- 3 bis) A utiliser pour calculer les paramètres sur les classes de macrophytes qui sont des masques. Pour les macrophytes il faut exporter les données avec le menu List en format texte en faisant une restriction par masque pour chaque type de macrophytes. Ensuite sous Excel, il faut créer le champ type de macrophytes et l'implémenter. Avec la fonction rapport de tableau croisé dynamique du menu données on peut regrouper les types de macrophytes et obtenir les paramètres. On peut également utiliser cette méthode pour calculer les paramètres des contraintes de cisaillement.

### **Sélection des points, contenant la direction des courants, à représenter :**

*Sélection de 1 point tous les 2 points.*

- 1) Ouvrir le fichier courant sous Excel.
- 2) Créer une colonne paire où l'on met vrai si la maille J est Paire et faux si elle est impaire avec la fonction (est.paire()).
- 4) Trier par ordre croissant la colonne paire.
- 5) Mettre en alternance un 1 puis un 0 à toutes les mailles paires.
- 6) Intégrer cette nouvelle variable sous Savane.
- 7) En sélectionnant les 1 avec la fonction restriction par formule de savane on obtient la représentation de une maille sur 2.

## Calcul des contraintes de cisaillement

### Calcul de la contrainte de cisaillement pour un vent de 8 m/s de direction 110° :

- 1) Sélection du courant c08m110dzVC
- 2) Sélectionner les points dont la profondeur est supérieure à 1 cm
- 3) Calcul de Cd :  $CD = (0,4/(\log 0.025) * ht/z0)^2$  ( $z0=0.007$ )
- 4) Prendre le minimum entre la valeur cd et 0,1
- 5)  $TauX = 1000 * cd * V^2 \cos(d)$
- 6)  $TauY = 1000 * cd * V^2 \sin(d)$
- 7)  $CC = \sqrt{TauX^2 + TauY^2}$

### Calcul de la contrainte de cisaillement pour la marée cbm4 :

- 1) Sélection de la marée cbm4
- 2) Sélectionné la bathymétrie supérieure à 0 m
- 3) Appliquer la formule :  $1000 * g * V^2 / 0.7937 * 35 * 35 * H^{0.333}$   
 $g=9,82 \text{ m/s}^2$ ,  $V=$  Vitesse en m/s,  $H=$  profondeur en mètre.

Annexe 2 : Les marées du modèle hydrodynamique (en m/s).

Fichier	cbm0	cbm1	cbm2	cbm3	cbm4	cbm5	cpm0	cpm1	cpm2	cpm3	cpm4	cpm5	rlag.	Valeur Max
Moyenne	0,0290	0,0284	0,0414	0,0567	0,0576	0,0501	0,0343	0,0299	0,0377	0,0518	0,0575	0,0503	0,0050	0,0576
Medianne	0,0219	0,0222	0,0324	0,0450	0,0451	0,0387	0,0258	0,0241	0,0301	0,0430	0,0471	0,0404	0,0059	0,0471
EC	0,0252	0,0273	0,0382	0,0471	0,0488	0,0442	0,0309	0,0259	0,0345	0,0419	0,0453	0,0403	0,0027	0,0488
Min	0,0000	0,0003	0,0002	0,0006	0,0009	0,0002	0,0000	0,0004	0,0001	0,0007	0,0008	0,0003	0,0000	0,0009
Max	0,1596	0,5049	0,6970	0,7004	0,5814	0,3572	0,1587	0,4491	0,6517	0,6726	0,5567	0,3332	0,0706	0,7004
Lignes	9872	9869	9876	9877	9877	9877	9877	9877	9877	9877	9877	9877	9856	9877

cbm = marée basse, cpm = marée haute, rlag.= résiduelle lagrangienne

**Informations fichiers**

13 fichiers

Données disponibles : Identifiant (clé 2 colonnes), Vitesse Courant et Direction Courant

Le fichier cbm4 sera intégré dans le SIG LagonNC (moyenne la plus forte et minimum le plus élevé)

Annexe 3 : Statistique des classes de sédiment et des macrophytes représentées sur les cartes.

Contrainte de cisaillement courant et bathymétrie sur les classes de vase

Vase			
Classes	Données	CC08m110dzVC	Bathymétrie
0 - 20	Nb de points	3924	3924
	Moyenne	0,228667559	15,59396025
	Max	1,628335	51,700001
	Min	0,000407	0,2
	Ecartype	0,172551398	7,201756553
20-40	Nb de points	1601	1601
	Moyenne	0,04794123	23,23678952
	Max	0,423801	54,5
	Min	0,000034	0,7
	Ecartype	0,04550703	8,225393833
40-60	Nb de points	686	686
	Moyenne	0,03619014	23,49927111
	Max	0,952576	37,799999
	Min	0,000014	1,1
	Ecartype	0,046523999	8,344056537
60-80	Nb de points	351	351
	Moyenne	0,040454809	24,27236462
	Max	0,399324	35,200001
	Min	0,000006	0,9
	Ecartype	0,035150468	7,822839291
80-95	Nb de points	11	11
	Moyenne	0,013528909	9,554545364
	Max	0,066564	16,299999
	Min	0,000261	5
	Ecartype	0,019178212	3,368129495
Toutes	Nb de points	6573	6573
Classes	Moyenne	0,154148837	18,73391146
	Max	1,628335	54,5
	Min	0,000006	0,2
	Ecartype	0,16373684	8,542198268

Sable fin et très fin			
Classes	Données	CC08m110dzVC	Bathymétrie
0 - 20	Nb de points	1361	1361
	Moyenne	0,064030125	22,9270389
	Max	1,628	39,200001
	Min	0,001	0,7
	Ecartype	0,118283007	8,806742336
20 - 30	Nb de points	1909	1909
	Moyenne	0,14011472	20,16364591
	Max	1,557	43,099998
	Min	0,001	0,2
	Ecartype	0,169255415	7,535924689
30 - 40	Nb de points	1900	1900
	Moyenne	0,189134737	17,21089474
	Max	1,669	54,5
	Min	0,001	0,2
	Ecartype	0,166133905	8,621905529
40 - 60	Nb de points	1441	1441
	Moyenne	0,211405274	14,35350453
	Max	1,809	36,900002
	Min	0,001	0,2
	Ecartype	0,167044388	7,037168359
60 - 85	Nb de points	163	163
	Moyenne	0,299208589	12,17607361
	Max	0,968	25,200001
	Min	0,005	0,2
	Ecartype	0,163882962	7,102370064
Toutes	Nb de points	6774	6774
Classes	Moyenne	0,157571007	18,46248893
	Max	1,809	54,5
	Min	0,001	0,2
	Ecartype	0,168612924	8,601616653

Gravier			
Classes	Données	CC08m110dzVC	Bathymétrie
0 - 10	Nb de points	2571	2571
	Moyenne	0,126994555	19,48844811
	Max	1,628	54,5
	Min	0,001	0,2
	Ecartype	0,139546788	8,57936041
10 - 20	Nb de points	2574	2574
	Moyenne	0,17456216	17,68131312
	Max	1,188	53,5
	Min	0,001	0,2
	Ecartype	0,166669589	8,632589238
20 - 30	Nb de points	1045	1045
	Moyenne	0,163768421	19,84564591
	Max	1,557	43,099998
	Min	0,001	0,2
	Ecartype	0,195241761	7,837877145
30 - 40	Nb de points	246	246
	Moyenne	0,160776423	17,25243901
	Max	0,949	37,5
	Min	0,002	0,2
	Ecartype	0,15637183	9,120711116
40 - 60	Nb de points	103	103
	Moyenne	0,273776699	14,71747574
	Max	0,964	37,5
	Min	0,001	2,2
	Ecartype	0,177365178	7,398785368
Toutes	Nb de points	6539	6539
Classes	Moyenne	0,155178774	18,67490442
	Max	1,628	54,5
	Min	0,001	0,2
	Ecartype	0,163686623	8,560065043



### Statistique de la contrainte de cisaillement de la marée cbm4 sur les différentes classes de sédiment

Vase		
Classes	Données	CCcbm4
0 - 20	Nb pts	3990
	Moyenne	0,081807412
	Max	3,170221
	Min	0,000009
	Ecartype	0,145759825
20-40	Nb pts	1664
	Moyenne	0,02303837
	Max	1,549701
	Min	0,000024
	Ecartype	0,054183243
40-60	Nb pts	727
	Moyenne	0,012022564
	Max	0,061222
	Min	0,000183
	Ecartype	0,009066737
60-80	Nb pts	382
	Moyenne	0,009683539
	Max	0,034419
	Min	0,000245
	Ecartype	0,00618169
80-95	Nb pts	14
	Moyenne	0,001756286
	Max	0,002743
	Min	0,000823
	Ecartype	0,000536231
Toutes	Nb pts	6777
Classes	Moyenne	0,055660547
	Max	3,170221
	Min	0,000009
	Ecartype	0,119305236

Sable fin et très fin		
Classes	Données	CCcbm4
0 - 20	Nb pts	1489
	Moyenne	0,04528304
	Max	3,170221
	Min	0,000183
	Ecartype	0,167108775
20-30	Nb pts	1961
	Moyenne	0,061262817
	Max	0,982583
	Min	0,000009
	Ecartype	0,129387214
30-40	Nb pts	1929
	Moyenne	0,055312724
	Max	0,877804
	Min	0,000009
	Ecartype	0,074424861
40-60	Nb pts	1472
	Moyenne	0,070459827
	Max	1,114186
	Min	0,00001
	Ecartype	0,106119205
60-85	Nb pts	167
	Moyenne	0,023743102
	Max	0,179573
	Min	0,000031
	Ecartype	0,036710445
Toutes	Nb pts	7018
Classes	Moyenne	0,05727316
	Max	3,170221
	Min	0,000009
	Ecartype	0,120907182

Gravier		
Classes	Données	CCcbm4
0-10	Nb pts	2656
	Moyenne	0,068680507
	Max	3,170221
	Min	0,000024
	Ecartype	0,152668756
10-20	Nb pts	2674
	Moyenne	0,044563006
	Max	0,832993
	Min	0,000009
	Ecartype	0,096577671
20-30	Nb pts	1079
	Moyenne	0,045544753
	Max	0,778335
	Min	0,000009
	Ecartype	0,07606105
30-40	Nb pts	253
	Moyenne	0,069745387
	Max	0,364733
	Min	0,00049
	Ecartype	0,08238899
40-60	Nb pts	107
	Moyenne	0,075202383
	Max	0,324805
	Min	0,001269
	Ecartype	0,06466625
Toutes	Nb pts	6769
Classes	Moyenne	0,055608204
	Max	3,170221
	Min	0,000009
	Ecartype	0,119234869

## Contraintes de cisaillement et bathymétrie sur les macrophytes

Type	Données	CC08m110dzVC	cbm4	Bathy
Macrophytes	Nb de points	3347	3399	3347
	Moyenne	0,190452679	0,077339408	17,9810577
	Max	1,809368	0,982583	51,7
	Min	0,000407	0,000009	0,2
	Ecartype	0,173544262	0,125546141	7,19563115

Algues	Nb de points	2200	2215	2200
	Moyenne	0,170047236	0,090038151	19,6289545
	Max	1,809368	0,888255	41,6
	Min	0,000407	0,000102	0,7
	Ecartype	0,155858364	0,125554663	6,98784938

HerbierAlgue	Nb de points	1124	1160	1124
	Moyenne	0,231563504	0,054115965	14,8160142
	Max	1,55684	0,982583	51,7
	Min	0,000476	0,000009	0,2
	Ecartype	0,198072438	0,123154695	6,46733592

Herbier	Nb de points	23	24	23
	Moyenne	0,133209478	0,027817708	15,0304348
	Max	0,481592	0,107989	27,2
	Min	0,003424	0,000361	0,7
	Ecartype	0,127346688	0,030134518	7,87077339

FondsNus	Nb de points	2956	3005	2956
	Moyenne	0,115278073	0,037199345	20,8600135
	Max	1,628335	0,982892	54,5
	Min	0,000006	0,000009	0,2
	Ecartype	0,1488135	0,074432425	8,89584586

Toutes classes	Nb de points	6303	6404	6303
	Moyenne	0,155197065	0,058504166	19,3312391
	Max	1,809368	0,982892	54,5
	Min	0,000006	0,000009	0,2
	Ecartype	0,166691856	0,106614866	8,16529981