

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU LAGON D'OUVÉA

**Michel KULBICKI, Sebastien DUPON, Cécile DUPOUY, Georges BARGIBANT,
Pascal HAMEL, Jean Louis MENOUE, Gérard MOU THAM, Philippe TIRARD**

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES	49
LISTE DES TABLEAUX	51
RESUME	52
ABSTRACT	53
INTRODUCTION	54
MATERIEL ET METHODES	55
1 - Points GPS	56
2 - Stations de fonds durs.....	56
3 - Stations de fonds meubles	57
4 - Images SPOT	57
5 - Photographies aériennes	58
6 - Images CZCS	61
7 - Les méthodes analytiques.....	62
RESULTATS	63
1- Résultats généraux	63
1.1 - Stations GPS.....	63
1.2 - Les stations de fonds durs	67
1.3 - Les stations de fonds meubles.....	72
1.4 - Corrélations entre les canaux SPOT et les composantes du substrat	76
2 - Analyse des 4 biotopes	80
2.1 - Les fonds meubles	80
2.1.1 - Les sables	81
2.1.2 - Gravier, débris et petits blocs	83
2.1.3 - Les formations rocheuses	83
2.1.4 - Les organismes recouvrants	84
2.1.5 - La variabilité des substrats	87
2.1.6 - Les principales régions des fonds meubles	89
2.1.7 - Conclusions sur les fonds meubles	93
2.2 - Les fonds côtiers.....	93
2.3 - Les fonds durs	104
2.4 - Le milieu pélagique.....	127
2.4.1 - moyenne échelle	134
2.4.2 - intérieur du lagon.....	142
DISCUSSION	142
CONCLUSION	145
REMERCIEMENTS	146
BIBLIOGRAPHIE	146
ANNEXE	149

LISTE DES FIGURES

Figure 1:	Carte de Nouvelle Calédonie	54
Figure 2:	Carte d'Ouvéa au 1/35000	55
Figure 3:	Position des stations GPS	57
Figure 4:	Position des stations de fonds durs	58
Figure 5:	a) position des stations de fonds meubles.....	59
	b) étendue de la zone de fonds meubles échantillonnée.....	59
Figure 6:	positions des photos aériennes utilisées pour la réalisation des cartes des récifs et de la zone côtière.....	61
Figure 7:	zone d'étude des images CZCS	61
Figure 8:	corrélations entre les canaux radiométriques C1 et C2 de SPOT et la teneur en sable du substrat	79
Figure 9:	corrélations entre les canaux radiométriques C1 et C2 de SPOT et le pourcentage de débris dans le substrat	79
Figure 10:	corrélations entre les canaux radiométriques C1 et C2 de SPOT et le pourcentage de fonds durs du substrat	79
Figure 11:	corrélations entre les canaux radiométriques C1 et C2 de SPOT et la couverture algale du substrat	79
Figure 12:	corrélations entre les canaux radiométriques C1 et C2 de SPOT et la couverture corallienne du substrat	80
Figure 13:	répartition de la couverture en sables fins et très fins sur les fonds meubles	82
Figure 14:	répartition de la couverture en sables moyens et grossiers sur les fonds meubles.....	82
Figure 15:	répartition de la couverture en débris, graviers et petits blocs sur les fonds meubles	83
Figure 16:	répartition de la couverture en gros blocs sur les fonds meubles.....	84
Figure 17:	répartition de la couverture en roche, corail branchu et pâté corallien sur les fonds meubles	85
Figure 18:	répartition de la couverture en dalle sur les fonds meubles.....	85
Figure 19:	répartition de la couverture en algues et phanérogames sur les fonds meubles.....	86
Figure 20:	répartition de la couverture en coraux, alcyonaires et gorgones sur les fonds meubles	86
Figure 21:	répartition de la diversité du substrat, indice de Shannon	87
Figure 22:	répartition de la diversité du substrat, équitabilité	88
Figure 23:	variabilité du substrat, différences entre secteurs	88
Figure 24:	groupement des stations en fonction des 6 éléments principaux du substrat.....	89
Figure 25:	groupement des stations de fonds meubles en fonction des éléments du substrat et des organismes recouvants.....	90
Figure 26:	analyse en composantes principales des stations en fonction du substrat	90
Figure 27:	répartition géographique des groupes de stations définis par les figures 24 et 26.....	91
Figure 28:	analyse en composantes principales des stations en fonction du substrat et des organismes recouvants	91
Figure 29:	répartition des différents types d'herbiers au nord de la côte de l'île principale.....	95
Figure 30:	répartition des différents types d'herbiers au centre-nord de la côte de l'île principale	96
Figure 31:	répartition des différents types d'herbiers au centre-sud de la côte de l'île principale.....	97
Figure 32:	répartition des différents types d'herbiers au sud de la côte de l'île principale	98
Figure 33:	répartition du sable nu et des fonds durs au nord de la côte de l'île principale	98
Figure 34:	répartition du sable nu et des fonds durs au centre-nord de la côte de l'île principale	100
Figure 35:	répartition du sable nu et des fonds durs au centre-sud de la côte de l'île principale	101
Figure 36:	répartition du sable nu et des fonds durs au sud de la côte de l'île principale.....	102
Figure 37:	répartition de la végétation halophyle au nord de l'île principale.....	103
Figure 38:	répartition de la végétation halophyle au sud de l'île principale.....	103
Figure 39:	recouvrement des signatures spectrales des différentes composantes des fonds côtiers ..	104
Figure 40:	découpage en zones des récifs des Pléiades.....	105
Figure 41:	groupement des zones récifales définies sur la figure 40 en fonction de leur géomorphologie	106
Figures 42 à 46:	répartition du nord au sud des Pléiades des récifs barrière et récifs frangeants	107 à 111
Figures 47 à 51:	répartition du nord au sud des Pléiades des cuvettes, chenaux, fonds détritiques et sable	112 à 116

Figures 52 à 56: répartition du nord au sud des Pléiades des conglomérats récifaux, fronts récifaux, dalle et récifs intérieurs de lagon.....	117 à 121
Figures 57 à 61: répartition du nord au sud des Pléiades des pinnacles, des fonds meubles avec pâtés coralliens ou avec dalle.....	122 à 126
Figure 62: recouvrement des signatures spectrales des composantes récifales	127
a) récifs barrières, conglomérat récifal, front récifal, dalle	
b) récifs frangeants, fonds détritiques, sable, cuvettes et vasques	
c) récifs intérieurs de lagon, cuvettes et vasques, chenaux, fonds meubles avec pâtés coralliens ou dalle	
Figures 63 à 74: images CZCS 300 x 300 km centrées sur Ouvéa montrant les caractéristiques des masses d'eau océaniques	128 à 134
Figures 75 à 88: images CZCS 100 x 100 km centrées sur Ouvéa montrant les caractéristiques des masses d'eau lagunaires	135 à 141

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: liste des campagnes océanographiques réalisées par l'ORSTOM à Ouvéa et types de relevés effectués	56
Tableau 2: échelle de granulométrie utilisée lors des relevés	56
Tableau 3: date des scènes CZCS retenues pour l'analyse du milieu pélagique	61
Tableau 4: résumé des informations recueillies sur les points GPS	63
Tableau 5: données des stations de fonds durs	67
Tableau 6: observations réalisées sur les stations de fonds meubles	73
Tableau 7: résultats principaux des regressions multiples entre les canaux c1 et c2 avec les composantes du substrat et la profondeur.....	77
Tableau 8: corrélations entre les différentes composantes du substrat des fonds meubles.....	81
Tableau 9: constitution moyenne du substrat pour les groupes définis par la classification des figures 26 et 28	92
Tableau 10: constituants du substrat permettant de séparer les groupes du tableau 9 de façon significative	92
Tableau 11: surface et répartition des différents thèmes dans la zone côtière de l'île principale.....	94
Tableau 12: répartition des thèmes sur les fonds durs	105

Caractéristiques physiques du lagon d'Ouvea (Nouvelle-Calédonie)

par M.Kulbicki, S.Dupont, C.Dupouy, G.Bargibant, P.Hamel, J.L. Menou, G. Mou Tham, P. Tirard
ORSTOM BP A5
Nouméa - Nouvelle-Calédonie

RESUME

L'atoll d'Ouvéa comprend 3 milieux, les fonds meubles, les récifs et le milieu pélagique, dont les caractéristiques physiques ont été étudiées séparément. Les fonds meubles entre 0 et 20 m ont été échantillonnés par 48 comptages en plongée au cours des quels les composantes du substrat étaient notés. La frange cotière entre 0 et 7 m a été étudiée plus en détail grâce à des photos aériennes et une image du satellite SPOT. Les récifs ont été également échantillonnés en plongée (59 stations) et l'analyse a été complétée aussi par l'emploi de photos aériennes et de l'image satellite. Les données obtenues par télédétection ont été vérifiées à l'aide de 75 stations de vérité terrain. Le milieu pélagique a été étudié à partir de 17 images satellite CZCS. Les caractéristiques physiques des fonds meubles et des récifs varient suivant 2 gradients, l'un nord-sud, l'autre est-ouest. La profondeur et l'exposition aux alizés semblent être les deux facteurs régissant ces gradients. Une faille nord-sud suivant grossièrement l'isobathe des 20 m délimite une partie est et une partie ouest du lagon. A l'est de cette cassure les îlots sur le pourtour sont nombreux, alors qu'à l'ouest il n'y a qu'un seul îlot pour une surface de récifs équivalente. Il en résulte une circulation de l'eau différente sur les récifs ce qui a engendré des structures récifales particulières à chaque partie du lagon. En particulier, le récif intérieur est beaucoup plus développé dans la partie sud. De même les formations en arrière du récif barrière sont plus étendues dans les Pléiades du Sud. En revanche, les chenaux de marée, les cuvettes et les fonds détritiques sont plus importants dans les Pléiades du Nord. A l'est les récifs comportent davantage de dalle qu'à l'ouest, mais en revanche comportent moins de cuvettes. Les fonds meubles sont caractérisés par une faible épaisseur de sédiment, la présence de nombreux blocs coralliens et une dalle sous-jacente omniprésente. Les fonds meubles présentent une grande hétérogénéité. Il a cependant été possible de distinguer 6 zones, les principales étant une bande de sable fin cotiers entre 0 et 10 m, une seconde bande de sables plus grossiers mais plus homogènes entre 10 et 15 m, une cuvette très hétérogène au large de Fayaoué et des zones d'arrière récif avec des sédiments grossiers, hétérogènes et de faible épaisseur. Une analyse plus détaillée de la frange cotière montre que les algues y sont importantes mais que leur densité est très variable. Il existe également des chenaux reliant, ou ayant relié, le lagon à l'océan et passant au travers de l'île principale. Dans les parties protégées de ces chenaux pousse une végétation halophyle (mangrove et salicornes). L'étude du milieu pélagique, faute de suffisamment d'images satellite, ne permet que d'émettre quelques hypothèses. Il existe un courant NW-SE dans le bassin des Loyautés. On observe un gradient décroissant de la chlorophylle dans les eaux de surface entre la Grande Terre et les Loyautés, un léger enrichissement côtier étant parfois présent autour des îles. Les eaux lagonnaires semblent sortir de l'atoll au niveau de la passe du Coëtlogon et sur l'ensemble des Pléiades du Nord, des sorties d'eaux se faisant parfois par la passe de la Meurthe. Les entrées d'eaux océaniques se feraient surtout par les passes d'Anémata et de la Meurthe.

ABSTRACT

There are three major biotopes in the atoll of Ouvéa, the soft bottoms, the reefs and the pelagic environment. The physical characteristics of each of these biotopes were studied separately. Soft bottoms between 0 and 20 m were sampled with 48 transect dives during which the components of the substrate were recorded. The coastal area was studied in more details with the help of aerial photographs and one SPOT satellite image. Reefs were also sampled with dive transects (59 stations) and aerial pictures and the SPOT image were also used to improve the analysis. Ground truth data was gathered on 75 stations to validate the photointerpretation. The pelagic environment was analyzed from CZCS satellite images. The physical characteristics of the soft bottoms and of the reefs vary according to 2 gradients, one east to west, the other north to south. The major factors inducing these gradients are depth and exposure to the trade winds. A fault directed from north to south delineates a western and an eastern part in the lagoon. On the eastern side fringing islands are numerous whereas on the western part there is only one island for a similar reef surface in both parts. As a result water circulation is different among the reefs of the various parts of the lagoon and this has generated different reef types. In particular there is almost no inner reef on the side of the lagoon whereas this formation is very important in the south part. Reef flats are also more developed in the south part. On the opposite, tide and surge channels, pools and zones of detritic accumulation are more important in the northern part. Beachrock formations are more important in the eastern part than in the west but on the opposite pools are more developed in the western part of the reefs. Soft bottoms are very heterogeneous, however it was possible to delineate 6 zones. The most important ones are a coastal zone (0 to 10 m deep) of fine shallow and heterogeneous sand, a second belt of coarser but more homogeneous sand between 10 and 15 m, a trough of heterogeneous sediments off the village of Fayaoué and zones of heterogeneous and shallow sediments close to the reefs and passes. A more detailed analysis of the coastal fringe along the main island (0 to 7 m deep) indicates that algae are very important in that part of the lagoon but that their density is spatially very variable. There are a number of active and former channels which relate the lagoon to the main ocean through the main island. In the calm part of these channels mangroves and salt marshes have developed. The number of CZCS images available allow only to make some hypothesis which need to be verified. There would be a NW-SE current in the Loyalty islands basin. In this basin one notices also a decreasing gradient in chlorophyll richness from the coast of the main island towards the Loyalty islands. There is at times a slight enrichment of the surface waters in chlorophyll around the Loyalty islands. The lagoonal waters would leave the lagoon essentially by the Coëtlogon Pass at the southern tip and also all along the Northern Pleiades reefs. Lesser lagoonal water plumes can be observed at times at the level of the Meurthe Pass. The inflow of oceanic waters seems to occur mainly through the Anemata and Meurthe Passes in the east and south east of the lagoon.

INTRODUCTION

L'ORSTOM a entrepris d'étudier les ressources halieutiques du lagon d'Ouvéa en 1991. La plupart de ces ressources sont inféodées à des biotopes restreints dont il faut évaluer la superficie afin de pouvoir estimer l'importance des stocks.

Il est possible de subdiviser le lagon d'Ouvéa en quatre grands ensembles: le milieu pélagique, la zone côtière, le milieu récifal et les fonds de lagon. Chacun de ces ensembles sera décrit séparément bien qu'il existe de nombreuses et importantes interactions entre eux. Au cours de l'échantillonnage des ressources en vue de l'estimation des stocks, un certain nombre de paramètres du milieu ont été recueillis simultanément. Ce sont ces mesures qui sont en grande partie utilisées dans le présent rapport, en conjonction avec des photos aériennes, une image satellite SPOT et des images satellite CZCS.

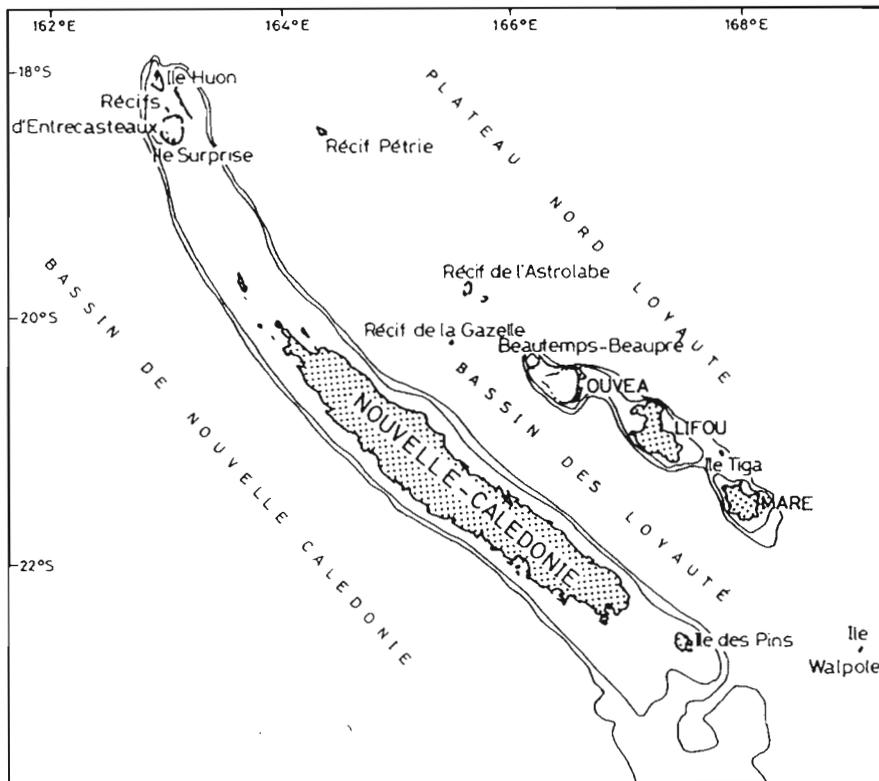


Figure 1: position du lagon d'Ouvéa et des autres structures d'atoll en Nouvelle-Calédonie

Le lagon d'Ouvéa (ou Uvea) est situé sur la ride des Loyautés, à l'est de l'île principale de la Nouvelle-Calédonie (Figure 1). C'est le plus grand atoll du Territoire de Nouvelle-Calédonie. Il existe également des structures d'atoll à Beautemps-Beaupré et aux Surprises. L'atoll d'Ouvéa (Figure 2) a une superficie d'environ 1000 km². Il est incliné selon un axe sud-est nord-ouest, la plus grande profondeur étant observée au nord-ouest, à la passe d'Anemata. Près des deux tiers du lagon sont à une profondeur inférieure à 20 m. On distingue trois structures émergées:

1) l'île principale (Figure 2) à l'est couvre une superficie d'environ 130 km². Sur le côté océanique elle est bordée d'un récif frangeant donnant directement sur des fonds importants (plus de 500 m à 1 mille des côtes). Ce récif frangeant est dominé par des falaises coralliennes de 30 à 40 m de haut. Sur le côté lagonnaire elle est limitée par une plage du nord au sud d'environ 56 km coupée par endroits (entre Hwaadrila et le col du Casse-cou, sud de Mouly) par des falaises coralliennes peu élevées (3 à 5 m). Il existe plusieurs bras de mer sur l'île principale, dont 2 font communiquer le lagon avec l'océan: la Passe Fasi au nord et la baie de Lekiny au sud. Les bras de mer ne communiquant pas avec l'océan (nord de St Joseph et presque l'île Abiget) comportent quelques mangroves et des formations végétales halophiles.

2) les Pleïades du Nord sont un chapelet d'îlots et de récifs s'étendant sur environ 19 km sur le nord du lagon (Figure 2). Elles sont limitées à l'ouest par la Passe d'Anemata, la principale de l'atoll. Au nord-est existent deux autres passes importantes (Passe de la Baleine et Passe du Taureau). Tous les îlots comportent des falaises coralliennes de 2 à 8 m de haut. La partie lagonnaire de ces récifs et îlots est soumise aux alizés alors qu'une grande partie du récif barrière est protégée des alizés par les îlots.

3) les Pleïades du Sud forment un ensemble de récifs et d'îlots sur 18 km, fermant la partie sud du lagon et rejoignent les Pleïades du Nord au niveau de la Passe d'Anemata. Trois autres passes importantes traversent cet ensemble (Passe de la Meurthe, Passe du Styx, Passe du Coëtlogon). Contrairement aux Pleïades du Nord, les récifs barrières y sont soumis aux alizés, seuls les récifs frangeant des îlots étant protégés du vent dominant.

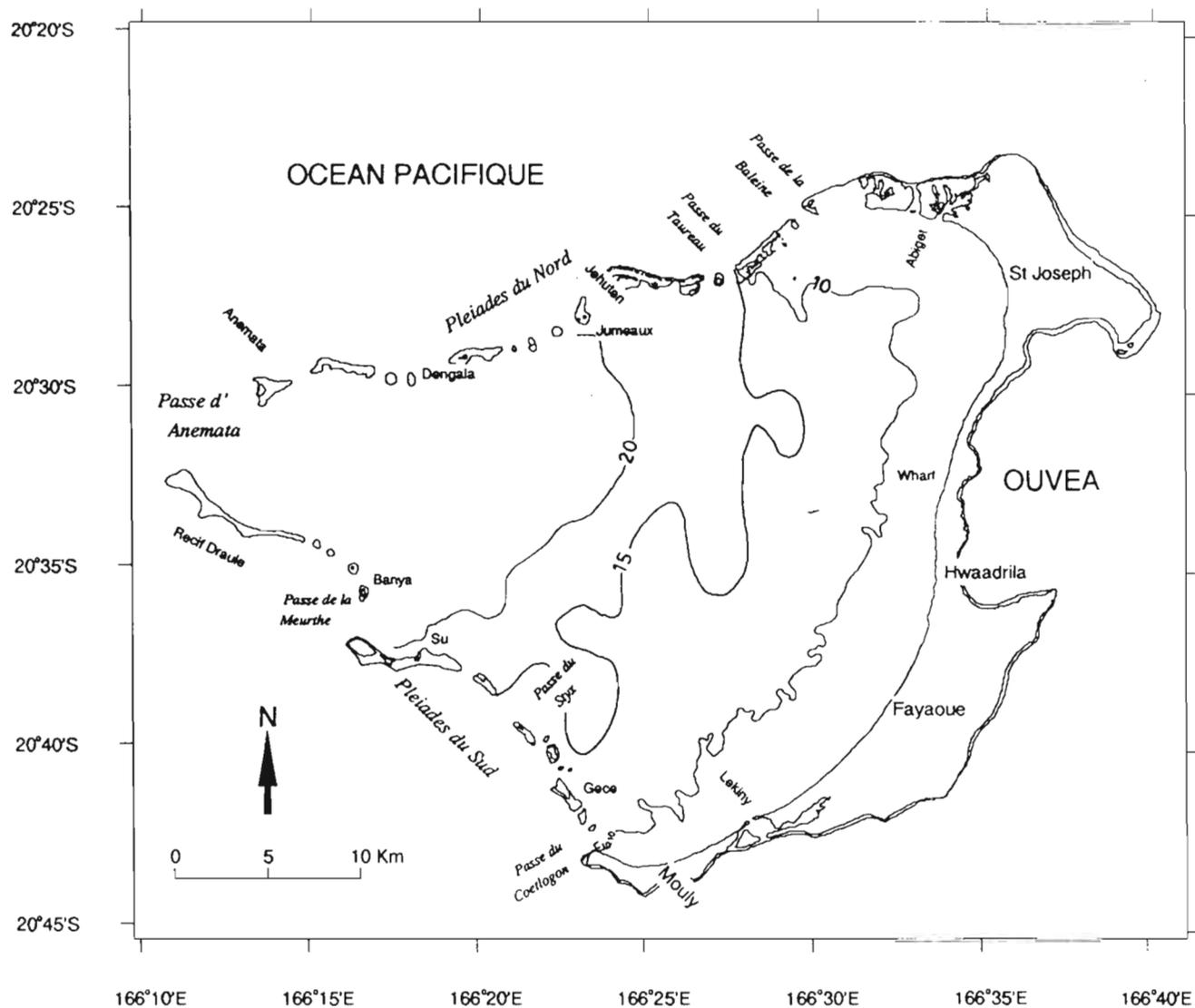


Figure 2: Ile et lagon d'Ouvéa

MATERIEL ET METHODES

Les données utilisées pour décrire le lagon d'Ouvéa ont été recueillies au cours de plusieurs campagnes avec le NO Alis. Les dates et types de relevés sont donnés dans le tableau 1.

Tableau 1: Liste des campagnes océanographiques réalisées par l'ORSTOM à Ouvéa et types de relevés effectués.

Date des campagnes	Type de relevés
22 avril - 2 mai 1991	42 points GPS 22 stations fonds durs
1 au 13 juillet 1991	53 points GPS 25 stations fonds durs
5 au 14 août 1991	23 stations fonds meubles
2 au 21 septembre 1991	23 stations fonds meubles
12 au 22 novembre 1991	9 stations fonds durs 8 radiales GPS
16 au 21 mars 1992	3 stations fonds durs 4 radiales GPS

1- Points GPS

Ce type de relevé consistait à choisir (dans moins de 12 m d'eau) une zone aussi homogène que possible, soit sur une formation récifale, soit sur des fonds meubles. La position de cette station était alors relevée à l'aide d'un appareil de positionnement portable fonctionnant sur le réseau GPS (Global Positioning System). Sur la zone choisie, un transect de 40 m était alors posé et un plongeur notait tous les 10 m le long de cette radiale la profondeur, la nature du substrat et les organismes recouvrants (algues, phanérogames et coraux). Ces observations étaient transcrites sur des fiches (Annexe 1) en papier submersible. L'évaluation de la granulométrie était réalisée selon l'échelle du tableau 2, par estimation visuelle pour les substrats autres que les sables et au toucher pour ces derniers. L'échelle des couleurs était limitée à blanc, gris et "autre".

Le choix des points ne s'est pas effectué suivant un plan d'échantillonnage pré-établi mais selon les possibilités du moment. En effet, il fallait d'une part qu'il y ait suffisamment de satellites disponibles pour le positionnement GPS, d'autre part trouver des zones homogènes et de taille suffisante pour être facilement repérable sur les photos aériennes ou l'image satellite SPOT (en pratique 200 m de diamètre). De ce fait la répartition des points est très irrégulière sur le lagon (Figure 3).

Tableau 2 : échelle de granulométrie utilisée lors des relevés

Nom	Descriptif
sable très fin	particules de 0.063 à 0.125 mm
sable fin	particules de 0.125 à 0.250 mm
sable moyen	particules de 0.250 à 0.5 mm
sable grossier	particules de 0.5 mm à 2 mm
graviers	particules de 2 mm à 1cm de diamètre
debris	1 à 5 cm de diamètre
petits blocs	5 à 30 cm de diamètre
gros blocs	de 30 à 100 cm de diamètre
rocher	roche massive d'origine organique ou non
pâté corallien	bloc de plus de 1 m de diamètre de nature corallienne
dalle	couche horizontale indurée

2- Stations de fonds durs

Les stations de fonds durs ont été sélectionnées de façon à obtenir une couverture exhaustive des milieux récifaux du lagon (Figure 4). Les emplacements choisis ne correspondent pas à un maillage prédéfini car l'hétérogénéité du milieu ne le permet pas. Sur chaque station 2 cordeaux de 50 m étaient posés. Le long de chaque cordeau, sur une largeur de 5 m un plongeur notait par secteur de 10 m: la profondeur, la nature du substrat et l'abondance des organismes recouvrants suivant la même méthode que pour les points GPS.

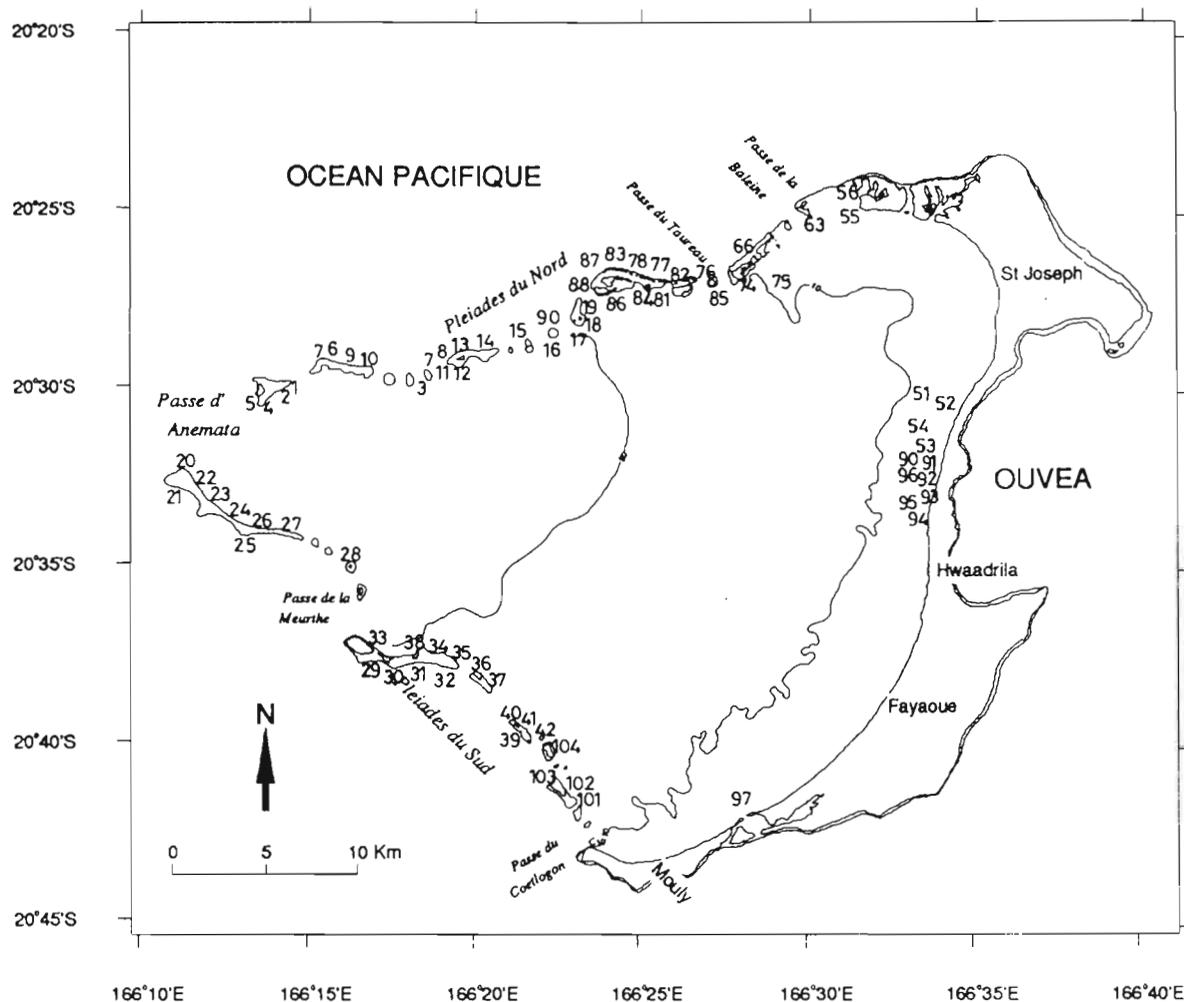


Figure 3 : position des stations GPS.

A titre indicatif, sur chaque station les plongeurs ont également relevé la faune ichthyologique (pour l'étude des stocks de poissons) ainsi que les organismes benthiques de grande taille (pour l'étude des associations poisson-milieu). Ces données font l'objet de rapports séparés (Kulbicki et al., 1993a; Kulbicki et al., 1993b).

3- Stations de fonds meubles

Ces stations sont positionnées suivant un maillage de 2 milles en quinconce (Figure 5a). Seules les stations situées dans moins de 20 m de fond ont été échantillonnées. Sur chaque station un cordeau de 100 m était posé. Sur une largeur de 5m un plongeur notait par secteur de 10 m: la profondeur, la nature du substrat et l'abondance des organismes recouvrants suivant la même méthode que pour les points GPS.

A titre indicatif, l'ichthyofaune et les organismes benthiques de grande taille étaient également relevés (étude des stocks et relations poisson-milieu). Une carotte de sédiment (étude des sédiments), 10 prélèvements à la benne Smith-McIntyre (pour l'étude des organismes benthiques de petite taille), 10 échantillons de sédiment superficiel (pour l'étude du microphyto benthos) et une mesure d'extinction de la lumière étaient effectués sur chaque station (Chevillon et al., 1992; Clavier et al., 1992).

4- Image SPOT

La scène utilisée a été prise le 18 mai 1988 par SPOT 1 et porte le numéro 413 391. Ce satellite comporte trois canaux de prise de vue: le vert (C1) de 500 à 590 nm, le rouge (C2) de 610 à 680 nm et le

proche infrarouge (C3) de 790 à 890 nm. Pour chacun des trois canaux existe une valeur de radiance relative comprise entre 0 et 255. Le C3 ne pénètre pas dans l'eau et permet donc de masquer la partie terrestre de l'image (valeurs de C3 supérieures à 8). Le C2 pénètre de quelques mètres dans l'eau et le C1 est le canal ayant la meilleure pénétration (maximum 15-18m). L'image a été rectifiée géométriquement (triangulation de Delaunay) grace aux coordonnées de 9 points dont la position géographique était connue de façon précise. La distortion de l'image finale est faible, les vérifications montrant au plus 2 pixels d'écart pour les points les plus éloignés des points de référence.

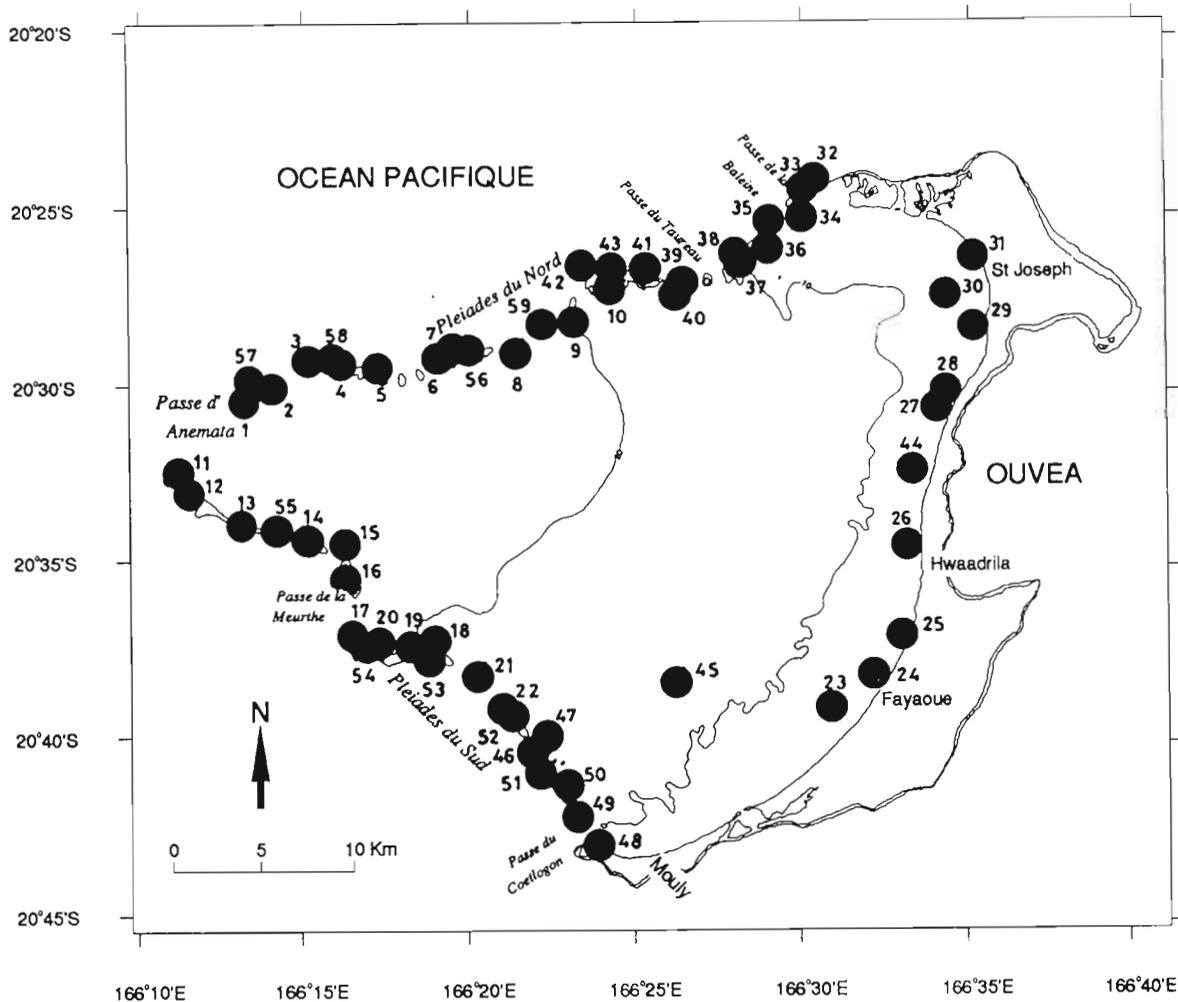


Figure 4 : position des stations de fonds durs

5- Photographies aériennes

L'IGN a réalisé 2 séries de photographies, l'une au 1/40 000 et l'autre au 1/20 000 respectivement en 1976 et 1982-85. Les positions du centre des photographies utilisées dans le présent rapport ainsi que leurs numéros de série sont données sur la figure 6.

Les stations de plongée et GPS ont été repositionnées sur les photos. Ceci a permis d'identifier les différents thèmes sur les photos. Il a été ensuite possible de relier ces thèmes aux pixels correspondants sur l'image satellite et extrapoler aux pixels avoisinant de même valeur.

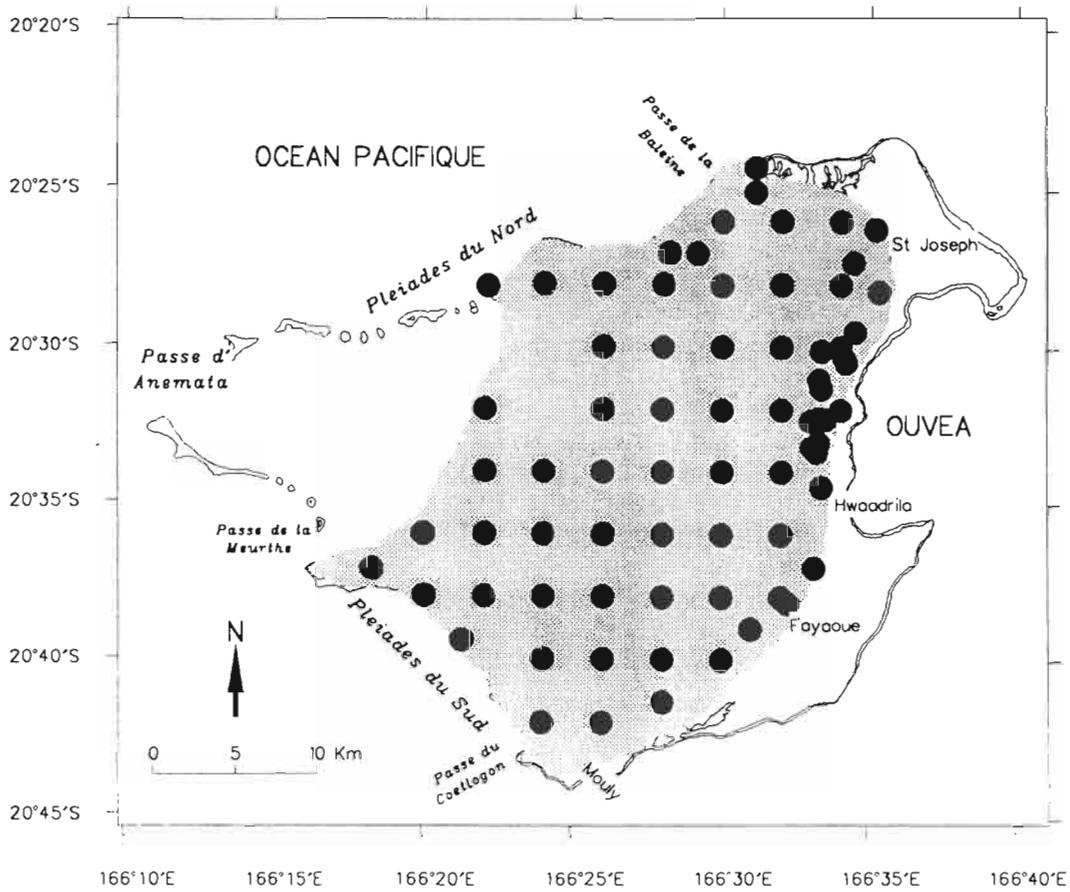


Figure 5 : a) position des stations "fonds meubles" b) limite de la zone d'étude et stations utilisées

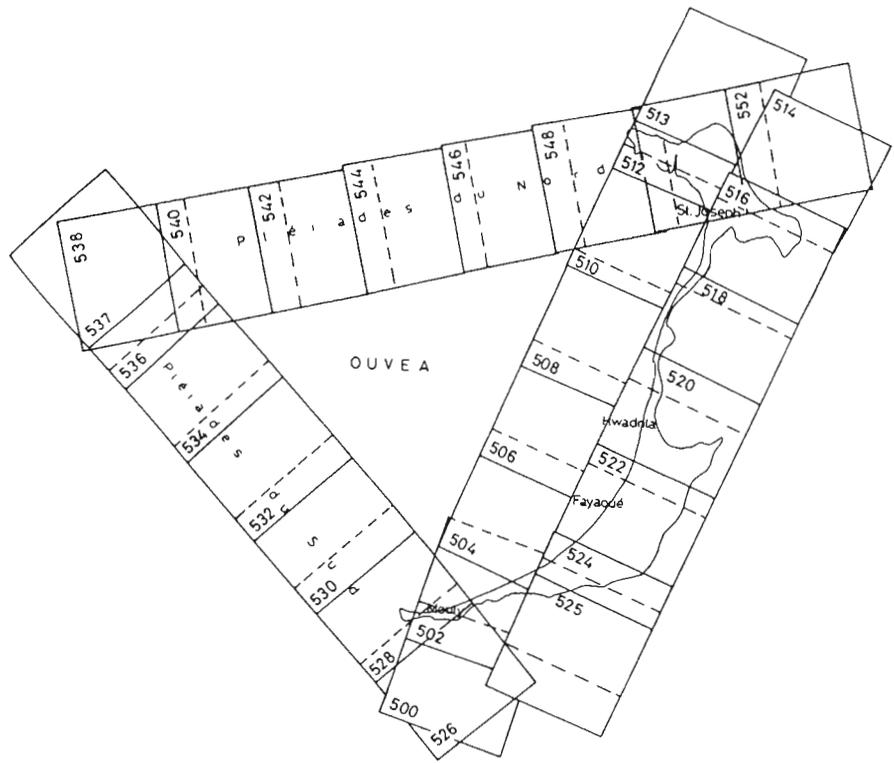
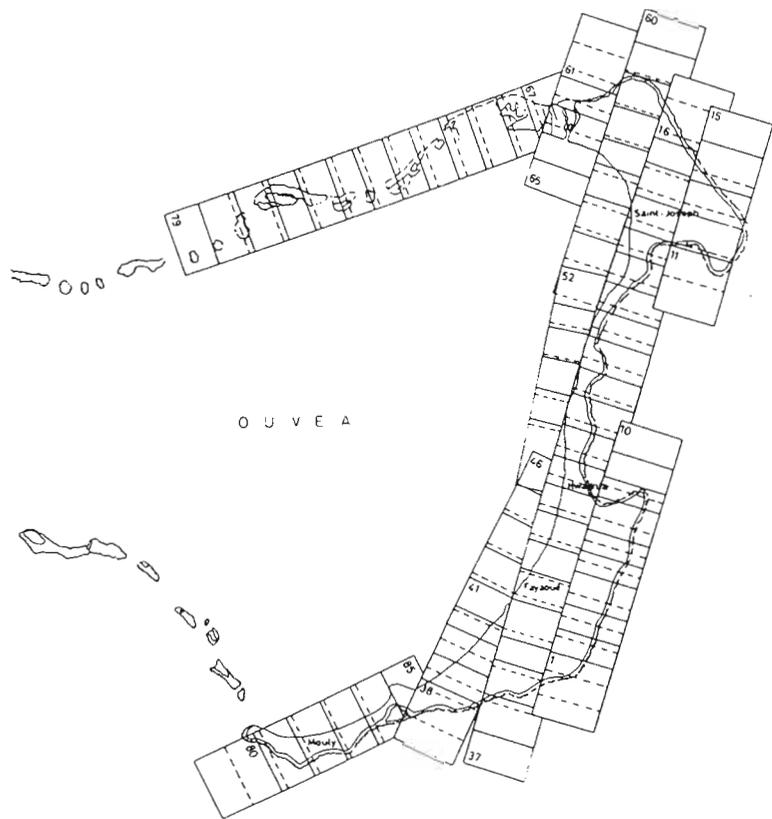


Figure 6 : a) positions des photos aériennes au 1/20000

b) positions des photos aériennes au 1/40000

6- Images CZCS

Ces images sont données par le capteur de couleur de l'eau (Coastal Zone Colour Scanner) du satellite Nimbus 7 qui a été opérationnel de 1978 à 1984. La couverture de la zone néo-calédonienne a été demandée par les services de l'océanographie ORSTOM de Nouméa dans le cadre de l'étude des effets d'îles. Chaque image couvre une superficie au sol d'environ de 1000 x 900 km. La résolution (taille des pixels) est de 800m. L'intérêt de ce capteur est de posséder 4 canaux dans le visible (bleu: 440 nm, vert: 520 nm, jaune: 550 nm, rouge: 670 nm). Les traitements préliminaires (redressement géographique, correction admosphérique) ont été effectués au laboratoire d'océanographie de l'ORSTOM suivant un protocole donné par Dupouy (1990). Il est possible d'obtenir pour les eaux du large une bonne estimation de la concentration en chlorophylle de surface en combinant les canaux bleu et vert (Dupouy, 1990). Dans la présente étude la chlorophylle de surface est utilisée comme traceur des masses d'eau. Dans les eaux peu profondes cet indice est très fortement soumis à l'influence du fond et de la turbidité.

Sur les 40 images disponibles, 17 ont pu être sélectionnées en raison de leur couverture nuageuse réduite au-dessus d'Ouvéa (tableau 3). L'ensemble des traitements informatiques d'image ont été réalisés à l'aide du logiciel OSIRIS du LATICAL de l'ORSTOM-Nouméa. Des sous-images de 300 x 300 km ont été extraites des images initiales. Toutes ces sous-images ont les mêmes coordonnées géographiques (figure 7). Une seconde série de sous-images de 100 x 100 km centrées sur le lagon d'Ouvéa a été extraite pour étudier les variations de couleur de l'eau à l'intérieur du lagon.

Tableau 3: dates des scènes CZCS retenues pour l'analyse du milieu pélagique.

10 septembre 1979	6 avril 1981	29 juin 1981	22 octobre 1983	13 aout 1981
18 décembre 1979	17 avril 1981	3 juillet 1981	4 octobre 1983	
29 décembre 1979	3 mai 1981	4 janvier 1982	22 mars 1984	
6 avril 1980	13 juin 1981	13 octobre 1982	2 décembre 1984	

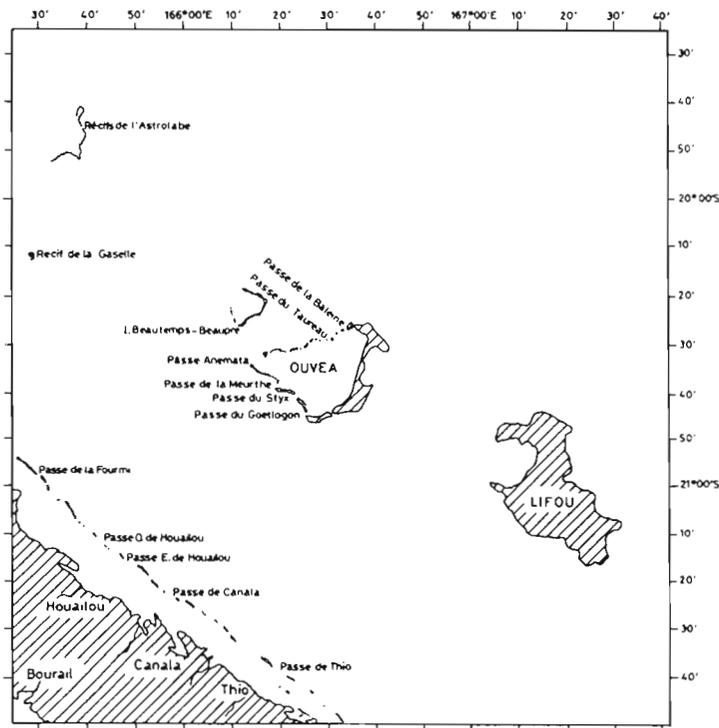


Figure 7: zone recouverte par les images CZCS 300 x 300 km

Sur les images 300 x 300 un rehaussement des contrastes a été réalisé afin de mieux différencier les gradients de couleur. Un traitement du même type a été réalisé sur les images 100 x 100 mais sur une gamme de couleurs inverse et sur des plages de valeurs plus élevées. Le logiciel UNIMAP a été utilisé pour les contourages de grisés.

7- Les méthodes analytiques

Les relations entre le substrat, la profondeur, la turbidité et les valeurs des 2 canaux SPOT ont été estimées par régression linéaire multiple, les variables non significatives étant éliminées du modèle jusqu'à obtention d'un modèle ne comprenant que des variables significatives au seuil de 5% (logiciel SAS). La méthode d'estimation de Bonferroni (Neter et Wasserman, 1971) a été utilisée pour obtenir un interval de confiance pour une valeur donnée d'un canal SPOT. Les corrélations entre les différentes composantes du substrat ont été calculées par un coefficient de corrélation de Bravais Pearson (logiciel SAS).

Les contourages ont été réalisés à partir du logiciel CARTO (créé à l'ORSTOM Nouméa) qui utilise la routine d'interpolation GINTPF de la bibliothèque informatique UNIRAS.

Les stations ont été groupées suivant les composantes de leur substrat en utilisant 2 types d'analyse multivariée. D'une part des classifications hiérarchiques dans lesquelles les stations sont groupées en fonction de la perte d'inertie de la matrice de similarité. Les données disponibles étant des pourcentages il a été nécessaire d'effectuer au préalable une transformation arcsinus (Sokal et Rolf, 1981). La seconde méthode de groupement est une analyse en composante principale (Legendre et Legendre, 1979) sur les mêmes données. Ces analyses ont été réalisées sur le logiciel "Inertie" du centre ORSTOM Nouméa.

Les différentes zones récifales ont été groupées suivant la surface (en nombre de pixels) des différents thèmes géomorphologiques qui les constituent. Ce groupement a été réalisé grâce à une classification hiérarchique utilisant l'indice de similarité du Chi-2 et une recherche des groupements suivant la distance moyenne pondérée (Legendre et Legendre, 1984). Cette classification a été menée à l'aide du logiciel "Inertie" (créé à l'ORSTOM-Nouméa).

RESULTATS

1- Résultats généraux

1.1- Stations GPS

Le résumé des observations faites sur les stations GPS sont données dans le tableau 4. On remarquera que 29 stations ne figurent pas dans le tableau 3. Ceci est dû à un mauvais fonctionnement de l'appareil de positionnement qui a fourni des positions erronées qu'il n'a pas été possible de corriger de façon satisfaisante par la suite. Dans la colonne "organismes" ne figurent que les organismes recouvrants susceptibles d'influencer les valeurs des canaux SPOT ou de pouvoir être détectés sur les photos aériennes. Les profondeurs sont celles indiquées par les profondimètres (Aladin Pro Beuchat) et ne sont pas corrigées pour la marée. La plupart des stations (50 sur les 75 retenues) sont sur les fonds durs.

Tableau 4 : résumé des informations recueillies sur les points GPS.

Prof.: profondeur en m

C1 : valeur du canal 1 SPOT

C2: valeur du canal 2 SPOT

Les stations de fonds meubles sont précédées de *

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organismes	%	C1	C2
1	20°30'05	166°14'17	8.0	sable grossier blanc petits blocs debris	10 80 10	cyanophycée	10	26	9
2	20°30'11	166°14'02	6.2	sable grossier blanc gravier debris petits blocs	25 5 10 65	cyanophycée	10	29	9
3	20°30'16	166°18'80	7.2	dalle petits blocs gros blocs	90 5 5	corail	2	32	9
4	20°30'39	166°13'67	1.7	dalle pâtés coraliens debris	80 12 8	corail algue	10 10	45	11
5	20°30'43	166°13'55	10.4	sable grossier blanc dalle petits blocs gros blocs	20 15 5 60	corail cyanophycée	2 2	31	12
6	20°29'47	166°16'02	4.5	petits blocs gros blocs pâtés	50 40 10	cyanophycée	80	32	10
7	20°29'49	166°16'02	0.8	dalle corail branchu	45 65	corail	65	36	12
8	20°29'69	166°16'17	11.0	sable fin blanc sable grossier blanc gravier debris	80 15 5 1		0	26	11
9	20°29'53	166°16'72	4.0	dalle debris petis blocs	10 20 70	cyanophycée	10	33	12
10	20°29'64	166°16'94	1.8	dalle corail debris	70 25 5	cyanophycée corail	10 30	30	11
11	20°29'36	166°19'23	1.8	dalle corail débris	75 23 2	cyanophycée corail	50 25	29	9
12	20°29'41	166°19'60	9.0	sable fin blanc gros blocs corail	95 1 4	algue	1	32	11
13	20°29'09	166°19'75	5.5	dalle petits blocs gros blocs	75 20 5	corail	3	30	11
14	20°29'14	166°20'59	5.2	débris petits blocs gros blocs pâté	20 20 50 10	corail	15	29	10
15	20°28'80	166°21'59	0.8	dalle sable grossier blanc debris pâtés	80 2 10 8	cyanophycée corail	80 5	34	17

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organismes	%	C1	C2
16	20°28'37	166°22'32	4.5	dalle petits blocs gros blocs pâtés	80 10 8 2	cyanophycée	30	30	11
17	20°28'07	166°23'05	3.8	sable fin blanc débris petits blocs gros blocs sable grossier blanc	30 10 20 30 10	corail	5	43	12
*18	20°28'05	166°23'37	12	sable fin blanc gros blocs pâtés	80 17 3		0	26	9
19	20°27'14	166°24'35	4.6	dalle débris petits blocs gros blocs	90 2 6 2	corail	1	26	13
20	20°32'61	166°11'24	4.7	sable fin blanc gros blocs	90 10	corail algue diatomée	10 3 10	45	10
21	20°33'00	166°11'51	1.6	dalle débris petits blocs gros blocs pâtés	55 10 15 18 2	algue	20	41	18
22	20°33'29	166°12'09	1.2	roche corail	15 85		0	36	14
23	20°33'61	166°12'47	1.2	dalle corail	80 20	cyanophycée	40	32	14
24	20°34'10	166°12'91	1.1	dalle débris petits blocs gros blocs pâtés	40 15 20 20 5	algue	80	30	13
25	20°34'90	166°13'00	7.0	dalle petits blocs gros blocs pâtés	85 5 8 2	corail	5	22	10
26	20°34'25	166°13'93	15.0	dalle débris petits blocs gros blocs	80 5 10 5	corail	5	27	11
27	20°34'25	166°14'79	2.1	dalle gros blocs	25 75	corail	80	31	11
28	20°35'07	166°16'28	1.3	dalle débris petits blocs gros blocs	60 10 20 10	algue corail	15 25	38	16

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organismes	%	C1	C2
29	20°37'77	166°17'60	1.0	dalle petits blocs	85 15	algue	5	38	19
30	20°37'58	166°17'44	8.0	dalle sable grossier blanc gros blocs	90 2 8	cyanophycée	50	32	10
31	20°37'71	166°18'34	0.6	corail sable fin blanc	90 10	corail algue	50 40	37	19
*32	20°37'49	166°18'21	9.0	sable fin blanc dalle pâtés	95 2 3	algue corail	1 3	31	10
33	20°37'44	166°17'19	0.6	dalle sable fin blanc gros blocs	60 5 35	corail	35	40	10
34	20°37'59	166°19'40	9.7	dalle sable fin blanc petits blocs	50 40 10		0	28	10
35	20°37'78	166°19'38	1.0	petits blocs gros blocs débris sable grossier blanc	10 20 60 10	caulerpe	50	43	20
36	20°37'92	166°19'77	7.6	dalle roche pâtés	60 20 20	alcyonaire et gorgone	40	27	10
37	20°38'18	166°20'46	9.0	dalle pâtés	88 12		0	25	9
*38	20°37'24	166°18'57	12.3	sable moyen moyen	100	cyanophycée	50	27	9
39	20°39'66	166°21'48	1.3	sable grossier blanc gravier débris gros blocs	20 10 20 50		0	50	15
40	20°39'41	166°21'28	1.5	sable grossier blanc gros blocs corail	10 60 30	corail	45	41	15
*41	20°39'38	166°22'09	15.0	sable moyen blanc débris petits blocs gros blocs pâtés	85 8 2 2 3		0	26	9
42	20°39'93	166°22'09	0.8	roche débris corail	70 15 15	corail et alcyonaire	18	29	14
*51	20°30'19	166°33'59	6.8	sable moyen blanc dalle petits blocs	60 35 5	algue corail	40 5	37	9
*52	20°30'57	166°34'18	3.5	sable moyen blanc corail	90 10	algue corail	30 10	40	11
*53	20°31'51	166°33'59	4.0	sable moyen blanc dalle petits blocs	40 40 20	algue corail	10 30	37	11
*54	20°31'06	166°33'45	7.3	sable moyen blanc dalle petits blocs	80 18 2	algue corail	20 5	36	10

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organismes	%	C1	C2
*55	20°25'14	166°31'17	7.2	sable moyen blanc gros blocs	90 10	algue corail	10 15	36	10
*56	20°24'51	166°31'17	4.7	sable moyen blanc dalle gros blocs	50 40 10	corail	10	40	11
*63	20°25'46	166°30'19	9.0	sable grossier blanc dalle gros blocs	70 20 10	corail	10	29	10
*66	20°26'20	166°28'16	5.5	sable grossier blanc gravier débris petits blocs	60 20 10 10	corail	30	25	9
*74	20°27'00	166°28'34	11.5	sable grossier blanc	100		0	32	9
*75	20°27'04	166°29'24	10.2	sable moyen blanc	100		0	32	9
*76	20°27'12	166°27'07	13.5	sable moyen blanc dalle	90 10		0	28	10
77	20°27'01	166°27'03	9.8	sable moyen gris dalle gros blocs	15 75 10	corail	20	29	12
78	20°27'04	166°26'50	9.5	sable moyen gris dalle gros blocs	20 75 5	corail	10	26	11
81	20°27'10	166°25'57	10.0	dalle sable moyen gris gros blocs	65 25 10	corail	10	29	9
82	20°27'01	166°26'09	2.7	dalle roche	50 50	corail	70	53	22
83	20°27'15	166°25'18	11.5	sable gris moyen dalle gros blocs	45 45 10	corail	5	27	10
84	20°27'05	166°25'03	8.5	dalle sable grossier gris gravier débris	30 20 20 30		0	31	10
85	20°27'16	166°27'28	12.0	sable moyen gris gros blocs	95 5	corail	5	33	11
86	20°27'28	166°24'13	14.0	dalle sable gris moyen gros blocs	30 65 5	corail	5	27	9
*87	20°27'25	166°23'41	18.0	sable fin blanc	100		0	23	9
*88	20°27'10	166°23'29	18.5	sable fin blanc	100		0	23	10
*90	20°28'14	166°22'14	9.7	sable moyen blanc gros blocs	95 5	corail	5	39	14
*91	20°32'46	166°33'47	4.3	sable moyen blanc corail	95 5	corail	5	40	10
*92	20°33'08	166°33'42	2.5	sable moyen blanc	100	algue	70	40	11
*93	20°33'32	166°33'33	4.8	sable moyen blanc petits blocs	98 2	corail algue	3 50	40	10
*94	20°33'57	166°33'30	4.8	sable moyen blanc	100		0	44	11
*95	20°33'33	166°33'05	7.6	sable moyen blanc	100	algue	50	38	10
*96	20°32'58	166°33'00	8.8	sable moyen blanc	100	algue	15	36	10

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organismes	%	C1	C2
*97	20°41'56	166°28'05	2.5	sable moyen blanc	100		0	50	12
101	20°41'46	166°23'05	7.2	dalle sable grossier gris gros blocs	70 20 10	corail	30	32	9
102	20°41'29	166°23'00	7.2	sable moyen gris graviers débris petits blocs	65 15 5 15	corail	15	31	10
103	20°41'03	166°22'40	7.6	dalle sable grossier gris graviers débris petits blocs	25 50 10 5 10	corail	20	24	9
104	20°40'42	166°22'46	5.5	sable grossier gris graviers débris gros blocs pâtés	50 15 10 20 5	corail	20	38	12

1.2- Les stations de fonds durs

Le tableau 5 indique les principales données obtenues pour les stations de fonds durs. Le substrat et les pourcentages des organismes recouvrants sont moyennés sur les 2 radiales. Les valeurs des canaux SPOT sont la moyenne pour un carré de 3x3 pixels centré sur la position de la station. La nature du fond sur une même station étant très hétérogène nous avons également fourni l'écart type des valeurs des canaux SPOT sur le carré 3x3. Neuf des stations "fonds durs" se situent en fait dans la zone fonds meubles (stations 23 à 31 et 44, figure 4) et les résultats en seront utilisés pour caractériser les fonds meubles.

Tableau 5 : données des stations de fonds durs.

les profondeurs (Prof.) sont en m, le premier chiffre étant la valeur moyenne suivi des valeurs extrêmes

le % donné après "Organismes" indique la proportion du substrat couverte par ces organismes

C1 : canal 1 de SPOT valeur moyenne et écart type sur un carré de 3x3 pixels centré sur la station
C2 : idem pour canal 2 SPOT

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organismes	%	C1	C2
1	20°30'60	166°13'60	4.3 1.5/9	sable grossier blanc gravier débris petits blocs roche dalle	3 2 5 10 70 10	corail	40	26.7 0.61	10.6 0.50
2	20°30'00	166°14'20	4.0 1/7	sable grossier blanc débris petits blocs dalle roche	5 12 3 7 73	corail alcyonaire algue	40 10 15	31.4 0.5	11.0 0.0

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organismes	%	C1	C2
3	20°29'50	166°15'30	4.0 4/4	sable grossier blanc gravier débris petits blocs gros blocs pâté	20 10 20 20 25 5	algue corail	40 3	29.6 1.32	14.8 0.79
4	20°29'50	166°16'30	3.5 1/4	sable grossier blanc gravier débris petits blocs gros blocs roche	15 10 20 5 5 45	corail	25	32.0 1.66	9.78 0.35
5	20°29'80	166°17'50	3.2 2/5	gravier débris dalle roche	5 5 40 50	corail algue	25 5	29.8 0.50	11.7 0.35
6	20°29'30	166°19'30	4.0 3/5	sable grossier blanc gravier débris petits blocs roche	10 10 15 3 62	corail algue	35 5	32.8 1.06	15.0 0.87
7	20°29'00	166°20'00	3.0 3/3	dalle	100	corail	30	38.6 5.0	21.3 5.30
8	20°29'00	166°21'70	3.8 1/8	sable grossier blanc gravier débris petits blocs roche	13 5 20 2 60	corail algue	40 5	28.3 1.73	12.4 1.80
9	20°28'20	166°23'20	5.4 2/10	sable moyen blanc débris petits blocs gros blocs dalle roche	10 15 5 10 5 55	corail	25	32.7 0.80	10.2 0.01
10	20°27'20	166°24'40	3.0 2/5	sable grossier blanc débris corallien gros blocs dalle roche	5 10 5 10 70	corail algue	5 25	32.9 2.70	11.1 1.20
11	20°32'80	166°11'40	2.8 2/4	sable grossier blanc débris petits blocs gros blocs dalle roche	10 60 10 5 5 10	corail algue	15 50	41.8 3.10	11.0 0.70
12	20°33'10	166°11'90	5.1 2/8	sable grossier blanc débris gros blocs dalle roche pâté	10 20 5 10 50 5	corail	20	30.8 1.30	11.6 0.01

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organismes	%	C1	C2		
13	20°34'00	166°13'40	7.0 3/16	sable blanc grossier	5	corail	30	31.0	13.0		
				gravier	5					1.00	1.50
				débris	2						
				dalle	38						
				roche	50						
14	20°34'60	166°15'30	7.7 5/18	dalle	30	corail alcyonaire	50 25	33.6 1.80	15.1 0.00		
				roche	70						
15	20°34'90	166°16'50	2.0 1/5	débris	5	corail alcyonaire	50 5	30.9 1.70	14.4 1.20		
				gros blocs	10						
				roche	85						
16	20°35'90	166°16'50	4.8 1/8	sable grossier blanc	2	corail	30	31.8	13.3		
				gravier	5					2.9	2.60
				débris	20						
				petits blocs	5						
				roche	68						
17	20°37'10	166°16'90	3.4 1/8	sable grossier blanc	2	corail alcyonaire algue	25 2 2	33.6 2.80	10.4 0.05		
				gravier	3						
				débris	20						
				gros blocs	5						
				dalle	10						
				roche	60						
18	20°37'50	166°19'10	2.6 1/7	sable grossier blanc	5	corail	50	38.6	13.3		
				débris	10					5.00	1.70
				petits blocs	5						
				gros blocs	5						
				roche	75						
19	20°37'60	166°18'50	2.3 1/5	sable blanc fin	2	corail	25	41.0	17.1		
				sable blanc grossier	10					1.60	1.80
				gravier	5						
				débris	15						
				petits blocs	5						
				dalle	10						
				roche	53						
20	20°37'60	166°17'70	2.5 1/4	sable moyen blanc	5	corail	15	38.7	10.9		
				sable grossier blanc	10					3.00	0.40
				gravier	5						
				débris	10						
				dalle	25						
				roche	45						
21	20°38'40	166°20'60	3.2 1/7	sable grossier blanc	10	corail alcyonaire	30 5	35.1 3.80	12.0 0.90		
				gravier	5						
				débris	15						
				petits blocs	5						
				gros blocs	10						
				dalle	15						
				roche	40						

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organismes	%	C1	C2
22	20°39'40	166°21'30	3.7 2/8	sable grossier blanc gravier débris petits blocs gros blocs dalle roche	10 5 5 10 10 20 40	corail	35	26.6 1.60	10.3 0.05
23	20°39'00	166°31'00	4.5 4/5	sable vaseux sable grossier gravier gros blocs dalle pâté	20 10 10 5 50 5	algue corail	40 5	42.4 0.05	10.9 0.05
24	20°38'30	166°32'40	3.5 3/4	sable vaseux blanc gravier dalle	80 5 15	algue	70	47.3 2.12	14.7 0.05
25	20°37'10	166°33'20	1.5 1.5	sable fin blanc gravier dalle	80 10 10	algue phanérogame éponge	80 10 5	58.0 10.0 2.47	22.6 2.47
26	20°34'80	166°33'60	2.5 1.5/3	sable fin blanc sable grossier dalle roche	15 20 5 60	algue corail	35 35	46.4 7.40	21.6 7.11
27	20°30'80	166°34'30	2.5 2/3	sable vaseux blanc dalle roche	20 10 70	corail algue	10 10	47.6 1.54	14.0 0.00
28	20°29'85	166°34'80	2.2 1/3	sable vaseux blanc sable fin blanc sable grossier blanc roche	12 20 13 55	algue	50	41.4 1.37	11.6 0.05
29	20°28'30	166°35'50	2.2 2/2.5	sable blanc vaseux dalle	70 30	algue phanérogame	60 5	43.0 2.83	13.6 0.71
30	20°27'50	166°34'70	4.0 2/4.5	sable fin blanc gros blocs dalle pâté	40 15 40 5	corail algue	15 20	42.0 0.71	10.1 0.05
31	20°26'40	166°35'30	3.8 3.5/4	sable vaseux blanc débris dalle	50 5 45	algue corail	50 5	51.2 7.80	13.0 1.12
32	20°24'30	166°30'80	4.5 3/5.5	débris petits blocs roche	20 5 75	corail alcyonaire	40 5	25.9 0.50	10.2 0.40
33	20°24'60	166°30'20	3.4 1/6	roche	100	corail algue	5 5	27.8 0.70	13.4 0.05
34	20°25'20	166°30'20	5.5 2/6	gros blocs dalle pâté	80 18 2	corail	7	35.9 0.50	11.0 0.00
35	20°25'50	166°29'10	2.7 1.5/8	débris petits blocs roche	5 5 90	corail alcyonaire	30 15	29.9 0.80	11.7 0.05
36	20°26'00	166°29'00	5.4 3/7	sable grossier blanc gravier débris petits blocs roche	25 5 25 5 40	corail	20	35.4 1.30	10.1 0.40

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organismes	%	C1	C2
37	20°26'50	166°28'50	1.8 1/2.5	sable grossier blanc débris gros blocs dalle roche	2 30 10 28 30	corail alcyonaire	10 2	41.0 1.1	14.4 1.20
38	20°26'40	166°28'00	4.5 2/5.5	sable grossier blanc gravier débris petits blocs roche	5 15 20 10 50	algue	15	30.7 0.40	10.0 0.50
39	20°27'00	166°25'70	4.5 3/7	débris roche	5 95	corail alcyonaire gorgone	55 5 5	27.3 0.05 0.05	9.90 0.05 0.05
40	20°27'30	166°26'50	10.0 8/12	sable grossier blanc débris gros blocs roche	40 5 5 50	corail	30	28.2 0.60	9.30 0.02
41	20°26'90	166°25'50	2.8 2/3.2	débris dalle roche	10 40 50	corail	25	30.1 1.70	17.0 2.20
42	20°26'90	166°23'70	2.8 1/4	sable grossier blanc gravier débris petits blocs roche	15 5 10 5 65	corail algue	8 15	27.2 1.00	11.2 0.90
43	20°26'80	166°24'50	5.0 4/6	sable grossier blanc gravier débris dalle roche	5 10 5 50 30	corail algue	8 10	36.9 2.10	13.2 0.01
44	20°32'50	166°33'80	1.8 1/2.5	sable vaseux blanc dalle roche	85 10 5	corail algue phanérogame	2 40 40	41.1 0.61 0.50	12.0 0.50 0.50
45	20°38'70	166°26'60	12.0 11/13	sable moyen blanc débris roche	25 15 60	corail	1	25.1 0.02	9.56 0.02
46	20°40'40	166°22'20	6.5 0/12	débris roche	5 95	corail	50	33.1 3.10	15.8 1.10
47	20°40'10	166°22'50	3.7 1/7	sable grossier blanc gravier débris petits blocs gros blocs roche	10 5 5 10 20 50	corail	25	36.8 2.40	15.3 2.70
48	20°43'00	166°24'00	5.6 2.5/9	sable fin blanc gros blocs dalle roche pâté	2 3 20 60 15	corail algue	8 10	ND ND	ND ND
49	20°42'30	166°23'50	3.7 2/7	sable moyen blanc gravier débris corail roche	2 3 5 40 50	corail alcyonaire	70 20	ND ND	ND ND

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organismes	%	C1	C2		
50	20°41'60	166°23'00	2.1 1/5	sable fin blanc	2	corail	25	37.4	13.8		
				sable moyen blanc	5					2.50	1.70
				sable grossier	10						
				gravier	10						
				débris	8						
				petits blocs	5						
				gros blocs	5						
				roche	55						
51	20°41'00	166°22'40	5.2 .5/6.5	sable moyen blanc	10	corail algue	20 5	32.2	16.0		
				sable grossier blanc	10					2.30	1.60
				gravier	10						
				débris	5						
				petits blocs	5						
				gros blocs	2						
				dalle	5						
				roche	53						
52	20°39'70	166°21'50	1.7 1/4	sable grossier	5	corail	60	32.6	9.70		
				gravier	5					1.50	0.02
				petits blocs	2						
				gros blocs	8						
				dalle	10						
				roche	70						
53	20°37'7	166°18'70	1.4 1/3.5	roche	100	corail algue	45 30	33.6	17.4		
										0.50	0.50
54	20°37'60	166°17'00	1.7 1.1/2	sable grossier blanc	10	corail algue	15 5	47.4	17.1		
				gravier	5					1.10	0.70
				petits blocs	35						
				gros blocs	5						
				dalle	15						
				roche	30						
55	20°34'10	166°14'40	3.5 3.5/4	petits blocs	10	corail alcyonaire	30 10	34.6	11.1		
				gros blocs	15					2.20	0.40
				dalle	55						
				roche	20						
56	20°29'00	166°20'50	3.1 1.5/7	gros blocs	2	corail	50	29.6	11.9		
				roche	98					1.30	1.40
57	20°30'00	166°13'70	3.8 2/4	sable grossier blanc	2	corail	20	31.8	11.9		
				gravier	3					0.87	0.87
				gros blocs	50						
				roche	45						
58	20°29'40	166°16'00	3.8 1/6	gros blocs	30	corail	8	34.2	12.6		
				dalle	20					1.90	1.00
				roche	50						
59	20°28'30	166°22'30	2.0 1/7	sable grossier blanc	8	corail	35	25.6	9.8		
				gravier	8					1.40	0.90
				petits blocs	4						
				gros blocs	20						
				roche	60						

1.3- Stations de fonds meubles

Le résumé des observations réalisées sur les stations de fonds meubles est donné dans le tableau 6. Les pourcentages donnés pour les différentes composantes du substrat sont les moyennes des 10 sections de 10 m du transect établi sur chaque station. On remarque que le nombre de composantes du substrat est en général moins élevé que sur les fonds durs. Dans la plupart des cas il s'agit de sable recouvrant de la dalle avec quelques blocs de corail mort épars. L'épaisseur de sédiment n'a pas été notée, mais elle est en général faible,

de 1 à 5 cm, même à proximité de la côte. Bien qu'aucune mesure précise de la taille des blocs n'ait été effectuée, il semble que cette taille augmenterait avec la profondeur.

Tableau 6 : observations réalisées sur les stations de fonds meubles du lagon d'Ouvéa

Prof. : profondeur moyenne en m.

C1 : valeur du canal 1 SPOT (moyenne d'un carré de 3x3 pixels centré sur la station suivi de l'écart type) C2: idem pour le canal 2 SPOT

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organisme	%	C1	C2
302	20°28'00	166°34'00	7.0	sable vaseux	95	corail	0.5	37.9	9.89
				gravier (coquille)	3	algue	2	0.61	0.05
				gros blocs	1				
				dalle	1				
304	20°26'00	166°34'00	5.0	sable vaseux	97		0	47.8	10.1
				gravier (coquille)	3			0.71	0.0
				gros blocs	0.1				
306	20°30'00	166°34'00	7.0	sable vaseux	12	corail	1	36.8	9.67
				sable fin blanc	4	algue	45	0.61	0.05
				sable moyen blanc	50				
				gros blocs	20				
				dalle	15				
				pâtés	1				
308	20°30'00	166°32'00	12.0	sable vaseux blanc	90	corail	0.5	27.9	9.67
				débris	1	algue	2	0.01	0.05
				petits blocs	4				
				gros blocs	1				
				dalle	5				
310	20°32'00	166°32'00	12.0	sable vaseux	93	corail	0.5	29.6	9.89
				débris	1	algue	4	0.05	0.02
				petits blocs	5				
				gros blocs	1				
				dalle	0.5				
312	20°34'00	166°32'00	11.1	sable moyen blanc	92	corail	1	30.8	9.67
				débris	0.5	algue	2	0.35	0.02
				gros blocs	3				
				dalle	2				
				pâté	1				
314	20°36'00	166°32'00	8.5	sable vaseux blanc	85	algue	8	33.6	9.67
				sable fin blanc	13			0.05	0.05
				gravier (coquille)	1				
				gros blocs	1				
316	20°38'00	166°32'00	6.5	sable vaseux blanc	97	cyanophycée	60	44.7	12.0
				gros blocs	2	algue	20	0.71	1.0
				dalle	1				
318	20°38'00	166°30'00	10.0	sable vaseux blanc	82	algue	5	34.1	10.6
				gravier (coquille)	2			0.79	0.05
				débris	13				
				gros blocs	1				
				dalle	2				
320	20°36'00	166°30'00	13	sable fin blanc	65	algue	8	28.8	9.56
				sable moyen blanc	15			0.05	0.02
				débris	4				
				gros blocs	2				
				dalle	14				

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organisme	%	C1	C2
322	20°34'00	166°30'00	14.0	sable fin blanc débris gros blocs dalle pâté	85 8 3 2 2	algue corail	5 0.5	27.4 0.05	9.56 0.05
324	20°32'00	166°30'00	14.0	sable fin blanc gravier (coquille) gros blocs dalle	68 2 12 18	algue corail	15 1	27.6 0.05	9.22 0.05
326	20°30'00	166°30'00	15.0	sable moyen blanc débris gros blocs pâté	92 4 3 1	corail	0.5	24.7 0.35	9.00 0.87
328	20°28'00	166°30'00	14.2	sable vaseux blanc sable fin blanc gravier (coquille) débris gros blocs dalle pâté	7 69 1 9 5 8 1	corail	0.2	27.1 0.50	9.11 0.50
330	20°26'00	166°30'00	13.0	gros blocs dalle roche	15 80 5	corail	4	27.0 1.00	8.89 0.02
332	20°26'00	166°32'00	5.8	sable moyen blanc gravier (coquille) gros blocs	95 4 1		0	26.7 1.12	8.89 0.02
334	20°28'00	166°32'00	12.0	sable vaseux blanc sable fin blanc gros blocs dalle	60 35 1 4	algue	10	28.1 1.41	8.78 0.05
336	20°28'00	166°28'00	17.5	sable moyen blanc gros blocs dalle roche pâté	7 6 60 25 2	algue	50	23.9 0.02	9.00 0.00
338	20°30'00	166°28'00	17.0	sable fin blanc sable moyen blanc gravier (coquille) débris gros blocs dalle pâté	17 70 5 1 2 3 2	corail	0.2	24.2 0.02	9.00 0.00
340	20°32'00	166°28'00	17.0	sable moyen blanc gravier (coquille) gros blocs dalle pâté	90 2 6 1 1	corail	0.2	24.1 0.02	9.44 0.05
342	20°34'00	166°28'00	15.5	sable fin blanc gros blocs dalle	97 2 1	algue corail	20 0.2	25.8 0.02	10.0 0.00
344	20°36'00	166°28'00	14.0	sable vaseux blanc sable fin blanc débris gros blocs dalle	30 30 3 3 34	algue	35	27.6 0.05	9.33 0.05

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organisme	%	C1	C2
346	20°40'00	166°30'00	8.0	sable vaseux blanc gravier (coquille) gros blocs dalle	95 3 1 1	algue cyanophycée	10 15	41.3 2.15	10.3 0.05
348	20°40'00	166°28'00	11.5	sable vaseux blanc sable fin blanc sable moyen blanc gros blocs dalle pâté	50 20 20 8 1 1	corail algue	3 5	32.3 0.05	10.0 0.50
350	20°42'00	166°26'00	11.5	sable moyen blanc gravier (coquille) gros blocs dalle	77 5 3 15	corail	2	29.0 0.50	9.56 0.05
352	20°40'00	166°26'00	13.8	sable moyen blanc gravier (coquille) gros blocs	98 1.5 0.5	algue corail	3 0.2	29.8 0.02	9.33 0.02
354	20°38'00	166°28'00	14.5	sable fin blanc sable moyen blanc débris gros blocs dalle	40 20 9 3 28	algue cyanophycée corail	15 10 0.1	27.0 0.50	9.33 0.05
356	20°38'00	166°26'00	14	sable fin débris gros blocs dalle	70 4 20 6	corail algue cyanophycée	10 30 15	25.3 0.35	9.33 0.05
358	20°36'00	166°26'00	15.0	sable moyen blanc gros blocs dalle pâté	90 5 3 2	corail algue cyanophycée	2 20 10	25.4 0.05	9.56 0.05
360	20°34'00	166°26'00	16.0	sable fin blanc débris gros blocs dalle	70 2 13 15	corail algue	3 20	24.0 0.00	9.56 0.05
362	20°32'00	166°26'00	18.0	sable fin blanc sable moyen débris gros blocs dalle pâté	28 60 2 6 2 2	corail	0.5	24.0 0.00	9.67 0.10
364	20°28'00	166°26'00	17.5	sable moyen blanc gravier (coquille) débris gros blocs dalle pâté	85 6 3 2 2 2	corail	0.1	24.2 0.02	9.00 0.00
366	20°30'00	166°26'00	18.0	sable moyen blanc débris gros blocs dalle pâté	96 1 2 0.5 0.5	corail	0.1	23.9 0.01	9.11 0.01
368	20°28'00	166°24'00	17.0	sable moyen blanc gravier (coquille)	97 3		0	24.3 0.35	9.22 0.02

N°	Latitude	Longitude	Prof.	Substrat	%	Organisme	%	C1	C2
374	20°34'00	166°24'00	18.0	sable moyen blanc gravier (coquille) gros blocs dalle pâté	95 2 1 1.5 0.5	cyanophycée	1	24.0 0.00	9.11 0.05
376	20°36'00	166°24'00	18.0	sable fin blanc sable moyen blanc gros blocs dalle	30 40 6 24	algue corail	1 0.1	24.2 0.05	9.11 0.02
378	20°38'00	166°24'00	16.0	sable fin blanc sable moyen blanc débris gros blocs dalle	80 5 1 8 6	corail cyanophycée	3 3	24.4 0.05	9.22 0.05
380	20°40'00	166°24'00	14.5	sable moyen blanc débris gros blocs	97 1 2	corail	0.1	25.6 0.50	9.22 0.05
382	20°42'00	166°24'00	13.8	sable moyen blanc gros blocs dalle	50 28 22	corail	12	26.7 0.05	9.33 0.05
384	20°38'00	166°22'00	18.1	débris petits blocs gros blocs dalle pâté	1 8 27 55 9	corail algue	4 25	22.8 0.05	9.11 0.01
388	20°36'00	166°22'00	20.1	sable moyen blanc débris gros blocs dalle pâté	91 2 3 3 1	corail	0.1	23.2 0.02	9.78 0.01
390	20°34'00	166°22'00	19.0	sable moyen blanc gros blocs dalle pâté	28 4 77 1	corail	2	23.4 0.05	9.33 0.05
392	20°32'00	166°22'00	26.0	sable fin blanc sable moyen blanc gros blocs dalle	10 14 3 77	corail cyanophycée	0.2 20	21.9 0.05	9.44 0.05
402	20°36'00	166°20'00	19.5	débris gros blocs dalle pâté	3 18 78 1	corail algue	0.5 70	23.0 0.71	9.56 0.05
404	20°38'00	166°20'00	16.5	sable moyen blanc gros blocs dalle roche pâté	3 5 74 7 11	corail	10	25.1 0.05	9.78 0.02
426	20°32'00	166°34'00	6.0	sable fin blanc sable moyen blanc gros blocs dalle pâté	25 37 10 26 2	corail algue	5 55	46.3 2.12	14.3 0.05

1.4- Corrélations entre les canaux SPOT et les composantes du substrat

Le principe de la cartographie à partir d'image satellite est d'associer un thème à une combinaison de valeurs des canaux radiométriques. En général on localise, de façon la plus précise possible, un thème sur le

terrain, par exemple une zone de sable blanc, puis on cherche sur l'image satellite le point correspondant et les valeurs des canaux radiométriques. En principe on peut par la suite associer ce thème à tous les points de l'image ayant la même combinaison de valeurs radiométriques.

Dans la pratique un même thème peut avoir des signatures radiométriques différentes en fonction de la profondeur ou de la turbidité. D'autre part, une même combinaison de valeurs peut couvrir plusieurs thèmes. Plus le nombre de canaux radiométriques est important et plus les risques de recouvrement entre thèmes différents sont faibles. Les images SPOT ne disposent que de 2 canaux pénétrant dans l'eau, ce qui réduit considérablement les combinaisons possibles et augmentent donc les risques d'erreurs qui sont de 2 types:

- a) attribuer un thème erroné pour une combinaison de valeurs radiométriques données
- b) attribuer à une signature donnée un seul thème alors qu'elle en couvre plusieurs

Il existe de nombreuses méthodes de classifications automatiques. Ces techniques sont basées essentiellement sur des analyses multivariées, en particulier les analyses hiérarchiques. Elles créent des groupes ayant des valeurs radiométriques proches, reste à l'utilisateur à vérifier si ces groupes correspondent à un thème précis sur le terrain. Nos diverses tentatives avec ce type d'outil n'ont pas été satisfaisantes, un même groupe recouvrant la plupart du temps plusieurs thèmes. Ceci était surtout vrai si le groupe était présent à des emplacements éloignés les uns des autres sur l'image. Pour tenter d'élucider ce problème nous avons analysé les relations entre les valeurs des canaux (c1 et c2) avec la composition du substrat sur les 178 stations disposant de données complètes.

Il y avait initialement 22 variables par stations : 4 types de sables, 4 types de sédiments grossiers, 4 types de fonds durs, 3 types de couvertures algales et 3 types de couvertures coralliennes. Ce grand nombre de variables permet certes une séparation fine des stations, mais le nombre important de zéros gêne les analyses statistiques. Les variables ont donc été regroupées en 8 classes comme suit : sables fins, sables grossiers, débris, blocs, dalle, autres fonds durs, algues, coraux. Il convient d'ajouter 2 autres variables, la profondeur et la turbidité (coefficient d'extinction de la lumière), cette dernière n'étant disponible que sur les 46 stations fonds meubles (Clavier et al., 1992).

Une régression multiple descendante (SAS stepwise backward regression analysis) sur les 8 variables du substrat et la profondeur (tableau 7 a,b) indique que cette dernière variable contribue pour l'essentiel des corrélations existantes entre c1, c2 et le substrat. Il convient de noter que les valeurs des 8 variables du substrat ont été transformées par la fonction arcsinus pour les normaliser et que pour les relations avec c2 l'utilisation du logarithme des profondeurs améliore la corrélation. Mis à part la profondeur, les variables influant de manière significative (au seuil $\alpha < 0.05$) sur le canal c1 sont les pourcentages de sables fins, de blocs et de substrats durs. Pour le canal c2 aucune variable du substrat n'a de corrélation statistiquement significative.

Tableau 7 : résultats principaux des régressions multiples entre les canaux c1 et c2 avec les composantes du substrat et la profondeur pour 178 stations du lagon d'Ouvéa.

a) $c1 = f(\text{profondeur, sables fins, sables grossiers, débris, blocs, fonds durs, dalle, algues, corail})$

$r^2 = 0.57$ $N = 178$

Variabes	Transformation	Valeur de α
intercept	aucune	< 0.0001
profondeur	aucune	< 0.0001
sables fins	arc sinus	0.0032
sables grossiers	arc sinus	0.095
débris et graviers	arc sinus	0.707
blocs	arc sinus	0.045
fonds durs	arc sinus	0.0004
dalle	arc sinus	0.102
algues	arc sinus	0.214
coraux	arc sinus	0.606

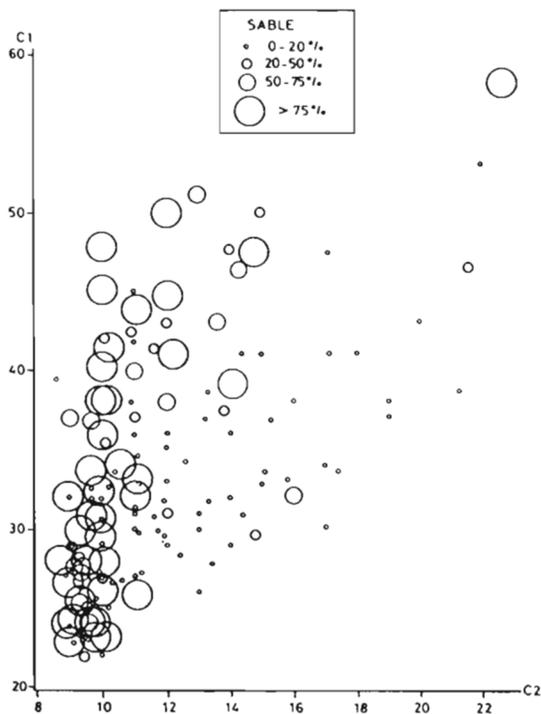


Figure 8: relation entre le pourcentage de sable et les valeurs radiométriques des canaux c1 et c2

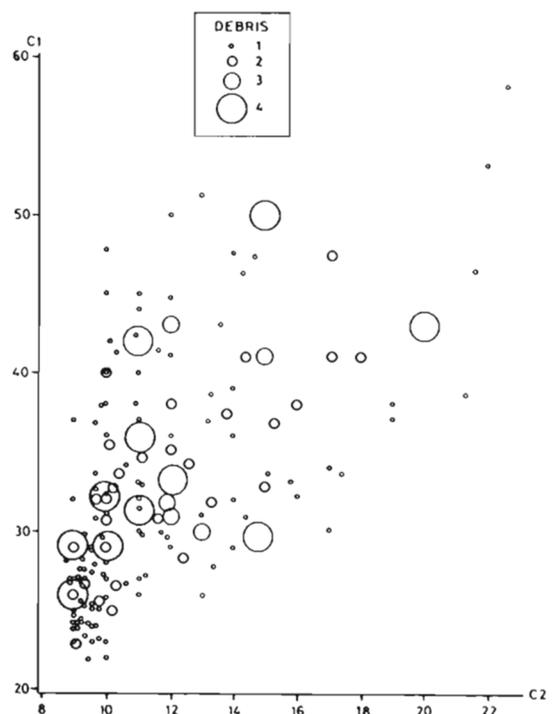


Figure 9: relation entre le pourcentage de débris, graviers, petits blocs et les valeurs de c1 et c2

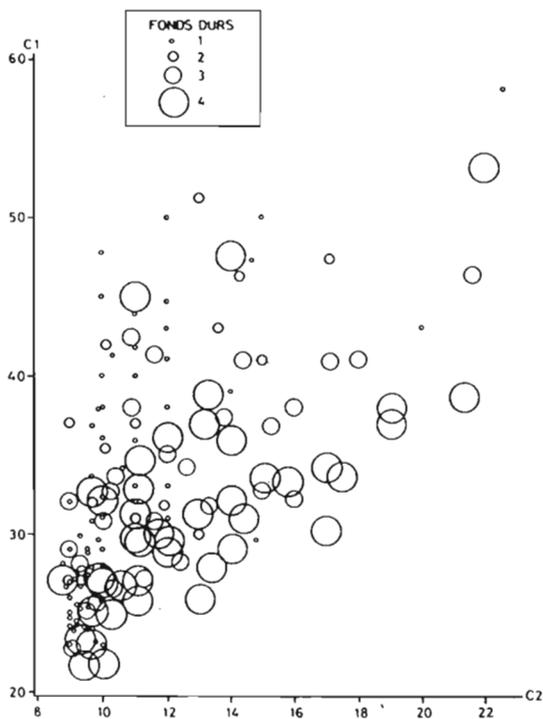


Figure 10 : relation entre le pourcentage de fonds durs et les valeurs de c1 et c2

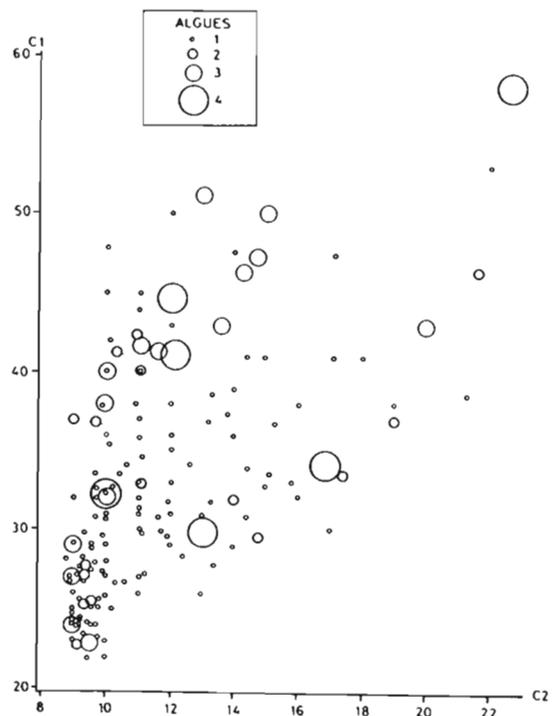


Figure 11 : relation entre la couverture algale et les valeurs de c1 et c2

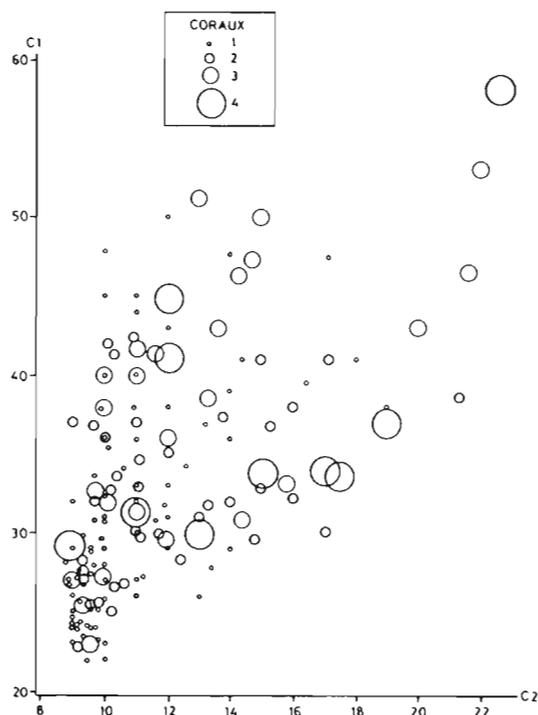


Figure 12 : relation entre la couverture en coraux vivants et les valeurs radiométriques des canaux c1 et c2

L'impossibilité d'utiliser les données SPOT pour une prédiction du substrat est liée à de nombreuses causes, les principales étant citées ci-après:

a) le substrat est en général très hétérogène ce qui multiplie les combinaisons possibles de c1, c2 et affaiblit les modèles prédictifs (variance plus élevée).

b) les valeurs de c1 et c2 pour une composition du substrat et une profondeur donnée varient d'une extrémité à l'autre de l'image. Ceci est dû en partie à l'angle de prise de vue, mais le facteur le plus important est la turbidité qui varie considérablement entre la côte de l'île principale et la passe d'Anémata (Clavier et al., 1992). A faible profondeur ce facteur ne joue guère, mais devient non négligeable au-delà de 5m.

c) la scène SPOT a été prise en mai 1988 alors que la vérité terrain a eu lieu en 1991 et 1992. Entre ces dates la couverture algale a pu changer considérablement, surtout les cyanophycées qui sont éphémères et qui peuvent couvrir de grandes étendues en particulier sur les zones sableuses.

d) la précision du positionnement des stations est théoriquement de 50m mais en pratique elle est le plus souvent de l'ordre de 100m, voire plus. La taille des pixels étant de 20 m, il en résulte des associations erronées entre c1, c2 et les composantes du substrat.

Il ne faudrait pas cependant conclure hâtivement de ce qui précède que les données SPOT sont inutilisables. Associée aux photos aériennes l'image SPOT peut rendre de grands services comme le montreront les paragraphes 2.2 et 2.3.

2 - Analyse des 4 biotopes

21- Les fonds meubles

Sous la désignation "fonds meubles" est comprise la zone indiquée en grisé sur la figure 5b. Les résultats de 80 stations (25 stations GPS, tableau 5) (9 stations fonds durs, paragraphe 1.2) (46 stations fonds meubles) ont été utilisés pour étudier cette zone (figure 5b). La partie la moins profonde (0-10 m) de cette zone fera l'objet d'une étude particulière dans le chapitre "fonds cotiers". Cette étude des fonds cotiers sera

basée sur l'utilisation des photos aériennes et de l'image SPOT, ces techniques ne fournissant guère de renseignements pour les parties au delà de 10 m de profondeur.

Le tableau 8 donne les corrélations existantes entre les différentes composantes du substrat des fonds meubles pour les 80 stations étudiées. Dans la plupart des cas les corrélations significatives sont négatives, indiquant qu'une composante exclue l'autre. L'analyse de chaque composante est détaillée ci-après.

Tableau 8 : corrélations (Bravais-Pearson) entre les différentes composantes du substrat des fonds meubles. Le nombre des stations est 80.

* : significatif à $\alpha < 0.05$

** : significatif à $\alpha < 0.01$

	sables très fins et fins	sables moyens et grossiers	graviers et débris	petits et gros blocs	roche, pâtés et corail	dalle	algues
sables fins et très fins	1.00						
sables moyens et grossiers	-0.72**	1.00					
graviers et débris	0.16	0.10	1.00				
petits et gros blocs	-0.18	0.03	-0.11	1.00			
roche, pâtés et corail	-0.17	-0.03	-0.16	-0.34**	1.00		
dalle	-0.21	-0.33**	-0.39**	0.26*	-0.15	1.00	
algues	0.12	-0.40**	-0.34**	-0.34**	-0.05	0.11	1.00
coraux	-0.35**	0.19	-0.15	0.26*	0.19	-0.02	-0.41**

211 - Les sables

Durant les observations, les sables ont été classés en 4 catégories : très fins, fins, moyens et grossiers (tableau 2). A posteriori, il semble qu'une telle précision ne soit pas réaliste différents observateurs ayant effectué les relevés. Nous avons donc regroupé les sables fins et très fins d'une part et les sables moyens et grossiers d'autre part.

La figure 13 indique la répartition des sables fins et très fins. A l'exception des zones côtières bordées par des falaises coralliennes peu élevées (île de Mouly et zone entre Hwaadrila et le col du Casse-cou) ce type de sable couvre une bande côtière de 5 à 15 km de large, les couvertures les plus importantes étant notées entre Fayaoué et Hwaadrila et dans la baie de St Joseph. Ces sables sont également présents derrière les îlots à proximité des passes, dans des zones de décantation.

La figure 14 indique la répartition des sables moyens et grossiers. Ce type de sédiment se situe le plus souvent à proximité des passes (passes du Styx et de la Meurthe dans le sud, passes du Taureau et de la Baleine dans le nord) ainsi qu'à la sortie de la baie de Lekiny et en face des falaises côtières entre Hwaadrila et le col du Casse-cou.

Le tableau 8 indique que les 2 catégories de sable sont très fortement corrélées, la présence d'une catégorie excluant l'autre. Le tableau 8 montre aussi que le corail ne se trouve pas sur les fonds à sables fins et que les algues sont le plus souvent absentes des sables grossiers. La même relation existe dans le lagon sud-ouest de Nouvelle Calédonie où les algues sont surtout présentes sur les sables gris et absentes des zones d'arrière récif où les sables sont plus grossiers (Garrigue, 1985).

La comparaison avec les résultats de Chevillon et al. (1992) montre qu'il existe une bonne corrélation entre la distribution des sables les plus fins et la teneur en vase du sédiment. Par ailleurs, les travaux de

Chevillon et al. (1992) indiquent que dans la baie de St Joseph ainsi que dans une zone à 5 km de la passe du Styx se trouvent des zones où le sédiment présente une épaisseur maximale et où les teneurs en vase sont les plus importantes du lagon. La répartition des sédiments fins donnée par Chevillon et al. (1992) (classes texturales 4 à 7 de ces auteurs) est proche des répartitions des sables indiquées par les figures 13 et 14.

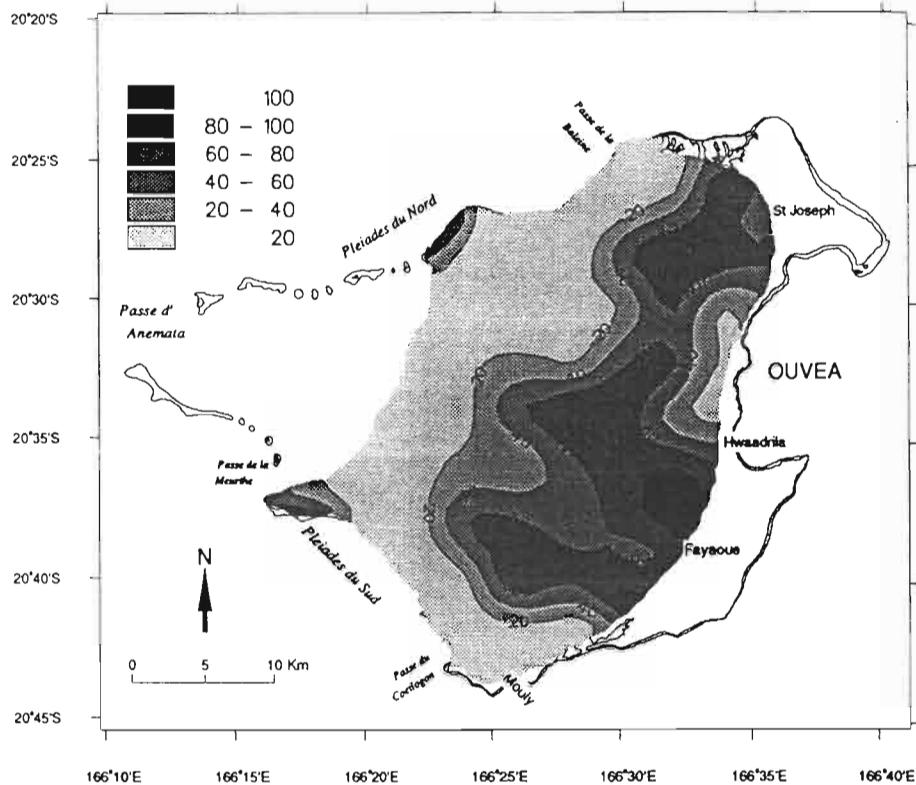


Figure 13: répartition du pourcentage de sables fins et très fins sur les fonds meubles

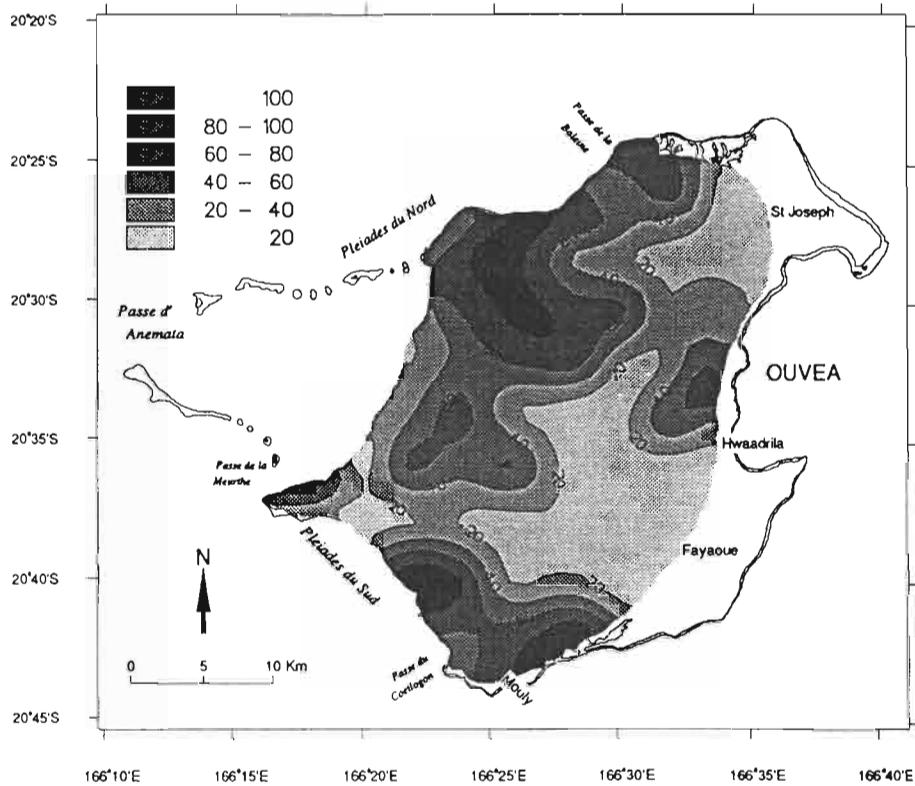


Figure 14 : répartition du pourcentage de sables moyens et grossiers sur les fonds meubles

212 - Gravier, débris et petits blocs

La figure 15 indique que les sédiments grossiers (gravier, débris et petits blocs) sont souvent abondants aux mêmes endroits que les sables fins. Ceci est dû en grande partie à la présence de débris coquilliers mêlés aux sables en particulier devant Fayaoué. Les sédiments grossiers sont également importants près des passes du Styx et du Taureau. Dans ces zones de passes il s'agit surtout de débris coralliens et de petits blocs également d'origine corallienne. Les maxima observés sur la figure 14 correspondent en grande partie avec la répartition des classes texturales 3 et 4 données par Chevillon et al. (1992). Le tableau 8 indique que les algues sont peu abondantes sur les sédiments grossiers.

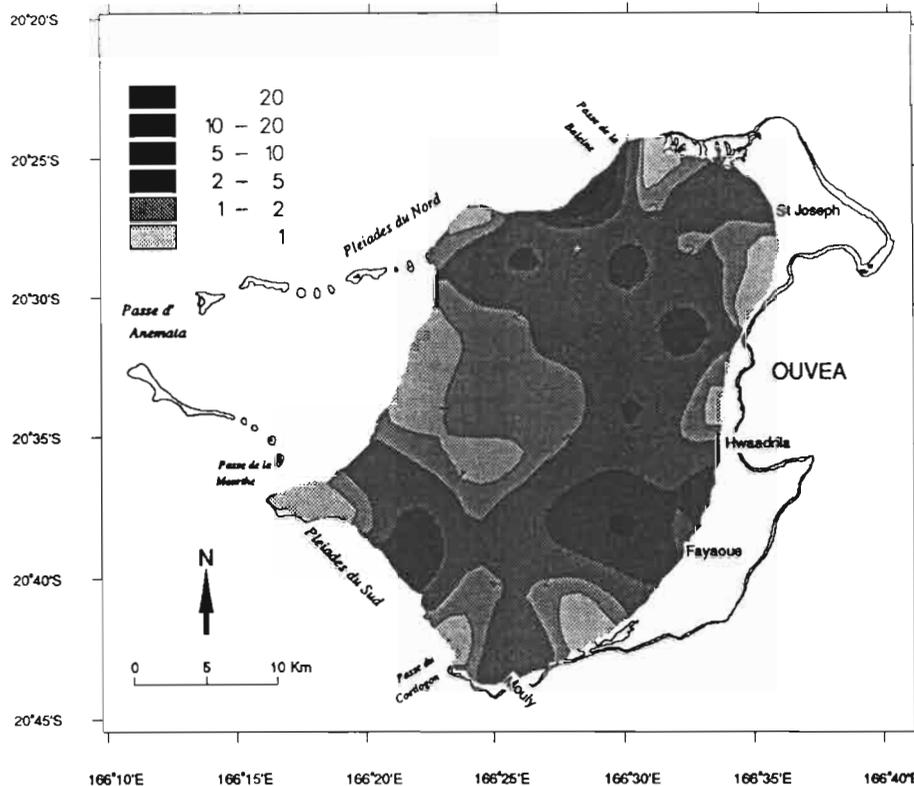


Figure 15 : répartition du pourcentage de débris, graviers et petits blocs sur les fonds meubles

213 - Les formations rocheuses

Ce paragraphe rassemble plusieurs types de substrats : les gros blocs, la roche, les pâtés coralliens, les coraux massifs et la dalle. Ces éléments revêtent une importance particulière pour les poissons car ils leur servent de refuge. Il en résulte que malgré la faible superficie couverte par ces formations elles ont un rôle très important dans la distribution non seulement des poissons mais également du benthos.

La figure 16 indique la répartition des gros blocs. Dans la plupart des cas ces formations sont d'anciens madrépores, le plus souvent morts et soudés à la dalle sous-jacente. Ils sont plus abondants dans la partie sud du lagon en particulier au niveau de la passe du Coëtlogon. A noter qu'ils sont aussi relativement abondants à la passe de la Baleine, dans les Pléiades du Nord, qui est symétrique à celle du Coëtlogon. Le tableau 8 montre que les blocs sont associés à la dalle et aux coraux. On constate en effet que la plupart des blocs sont soudés à la dalle et que cette dernière affleure à proximité des blocs, sans doute suite à l'action du benthos et des poissons qui prennent refuge dans les blocs. Quant au corail, il se trouve souvent en petites formations à proximité ou sur les blocs.

La figure 17 montre la répartition des roches, pâtés coralliens et coraux massifs. On remarque que ces formations sont surtout présentes le long de la côte entre St Joseph et Hwaadrila. Il s'agit là surtout de coraux de la famille des Turbinaria et de quelques pâtés isolés. Dans la zone au sud de la passe du Taureau on a observé des formations rocheuses parallèles aux récifs des Pléiades du Nord. Il est probable qu'il s'agit de récifs barrière fossiles. La taille des pâtés coralliens augmente avec la profondeur, les plus belles formations étant observées dans la zone au delà des 18 m de profondeur. Aucune mesure précise n'a cependant été

effectuée sur la taille des pâtés et cette relation taille-profondeur nécessiterait d'être quantifiée pour être valide. De même l'abondance de pâté coralliens d'après les observations faites au sondeur, serait plus importante au delà de l'isobathe des 20 m. Comme le montre la répartition de la dalle (figure 18), il semble qu'il y ait un changement important dans la structure du substrat au delà de 18 m de fond. Ceci pourrait être lié à une rupture de pente qui joint l'île de Bagaat (sud de la passe de la Meurthe) à l'île Angeü (milieu des Pléiades du Nord). Cette anomalie a été détectée à plusieurs reprises sur le sondeur, la bathymétrie passant de 15-17m à 19-21m de façon très rapide (parfois quelques mètres), ce qui laisse penser qu'il pourrait s'agir d'une faille. On remarque également que la pente passe de 0.11 % à 0.2% dans cette zone, ce qui est en accord avec l'hypothèse d'un soulèvement des Loyautés suivant un axe NNW-SSE (Bitoun et Récy, 1982).

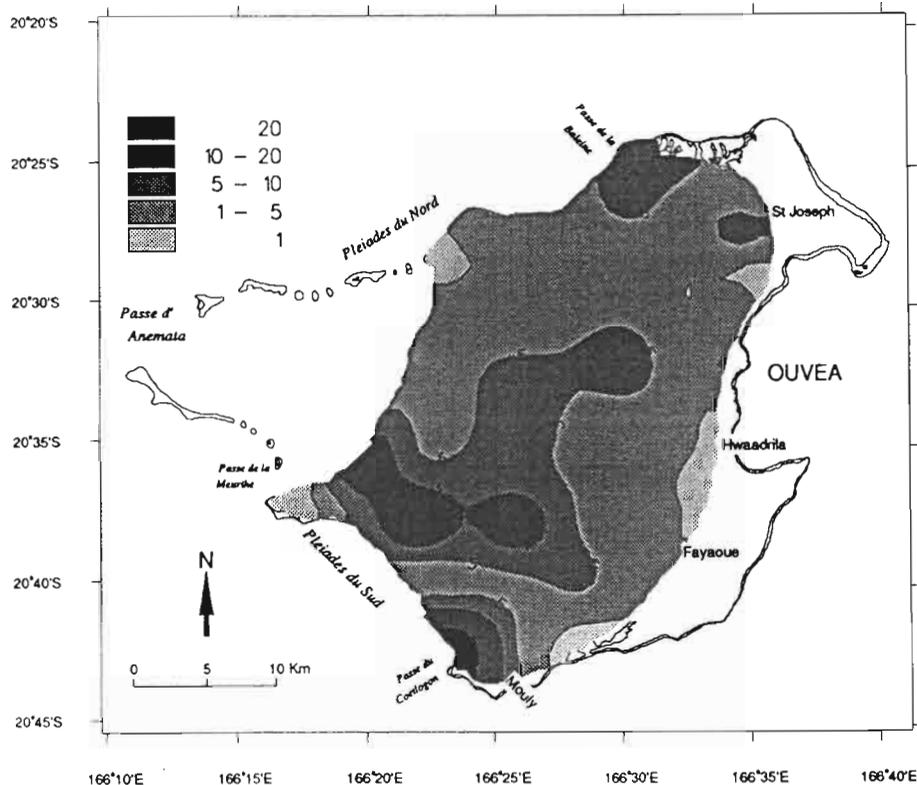


Figure 16 : répartition du pourcentage de gros blocs sur les fonds meubles

214 - Les organismes recouvrants

La figure 19 indique la répartition des algues, phanérogames et cyanophycées. Ces organismes représentent une couverture importante près de la côte depuis le nord de la baie de St Joseph jusqu'à la baie de Lekiny. Il s'agit là essentiellement de phanérogames et de sargasses dans la frange côtière (profondeur inférieure à 2m) puis de champs d'halimédas et de caulerpes au-delà. On note cependant, surtout en face de Fayaoué, de grandes plaques de cyanophycées. Ces algues sont posées sur le fond mais ne pénètrent pas dans le substrat et sont facilement déplacées lors de périodes de mauvais temps. Il est donc vraisemblable que la surface et les zones occupées par ces cyanophycées varient considérablement d'une année sur l'autre. En particulier, ce pourrait être la cause des variations de la couleur du fond observées entre différentes séries de photos aériennes et les images SPOT (cf chapitre sur la cartographie de la zone côtière).

Sur la figure 19 on remarque également au large trois zones où la densité algale est importante : une zone au large de Fayaoué, une autre au sud de la passe du Taureau et une troisième entre les passes de la Meurthe et celle du Styx. Dans les deux premiers cas il s'agit d'algues de la famille des Halimeda. Dans la troisième il s'agit de cyanophycées. D'après la figure 17 ces trois zones comportent également un pourcentage de dalle important. Une corrélation directe entre dalle et algue n'a cependant pas pu être mise en évidence (tableau 8).

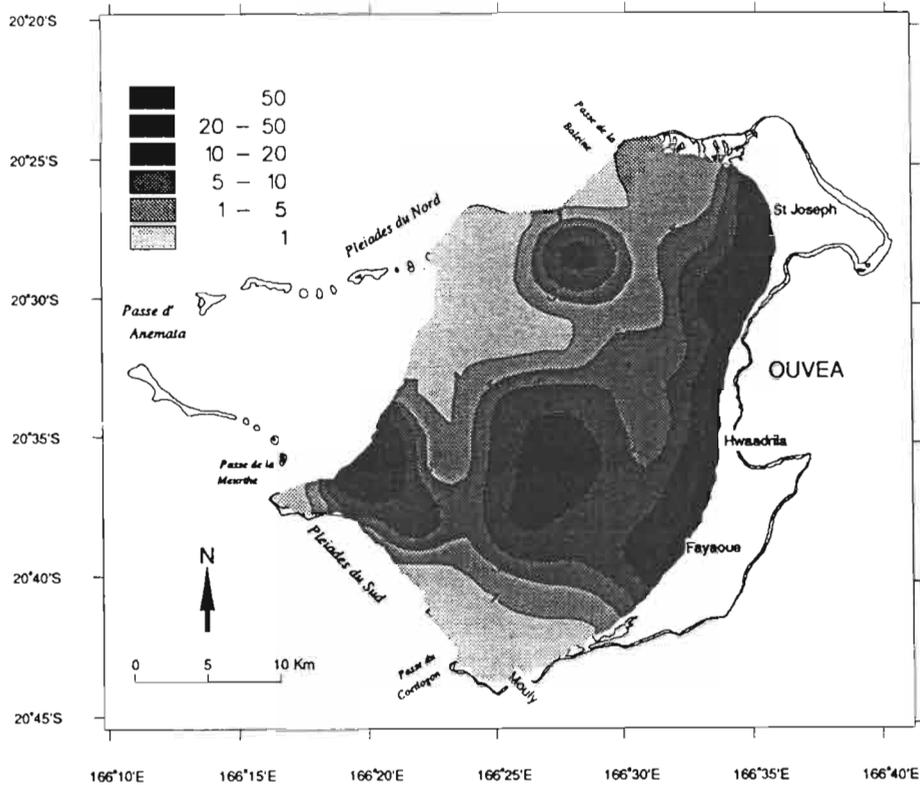


Figure 19 : répartition du pourcentage de couverture algale sur les fonds meubles

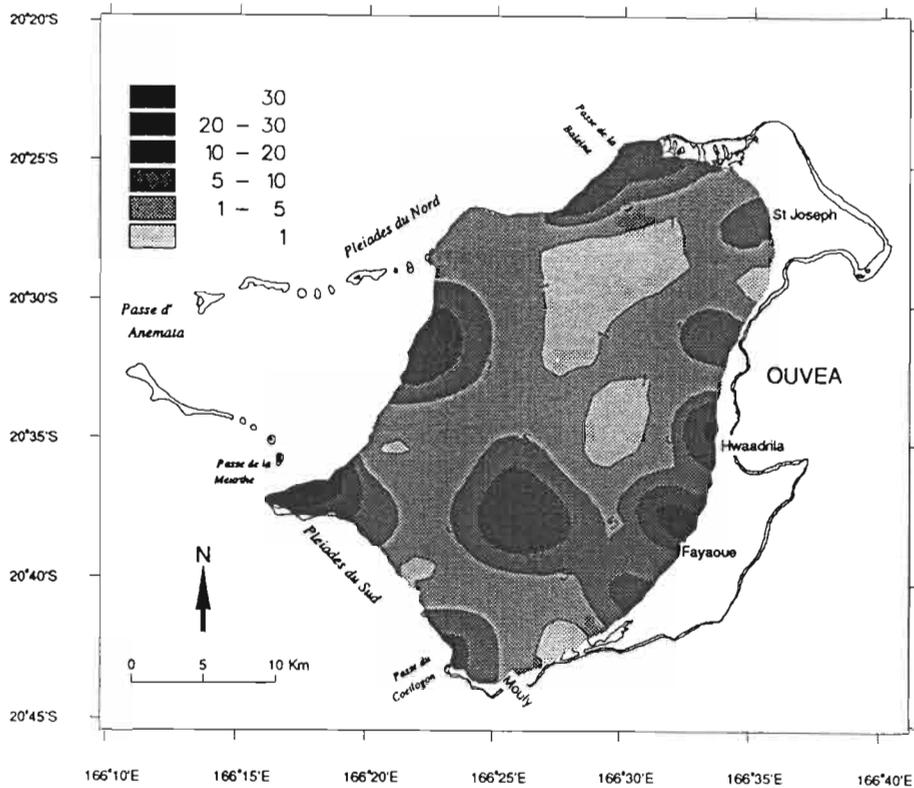


Figure 20 : répartition du pourcentage de couverture en coraux vivants, alcyonnaires et gorgones sur les fonds meubles

La figure 20 indique la distribution des coralliaires (coraux, alcyonnaires, gorgones). Ces organismes présentent des concentrations près du littoral, au niveau de certaines passes (Meurthe, Baleine, Coëtlogon) et au large de Fayaoué. Le long du littoral il s'agit essentiellement de petites colonies éparses de coraux. Près des passes on observe davantage d'alcyonnaires et de gorgones qui sont souvent des organismes liés aux courants. Le plus remarquable est sans doute la concentration au large de Fayaoué qui coïncide avec une augmentation de la couverture algale (figure 18) et de dalle (figure 17). Cette zone aurait donc un faciès particulier, ce que l'on retrouve en étudiant les communautés benthiques (Clavier et al., 1992) et de poissons (Egretaud, 1992). Il convient cependant de noter que sur l'ensemble du lagon algues et coraux sont négativement corrélés (tableau 8).

215 - La variabilité des substrats

Jusqu'à présent nous avons analysé séparément les différentes composantes du substrat des fonds meubles. Lors des plongées effectuées sur les stations de fonds meubles, les observateurs ont été frappés par l'extrême hétérogénéité du milieu. Sur une même station on observe fréquemment de très nombreux changements de substrats. Trois indices ont été employés pour étudier cette hétérogénéité :

a) la diversité du substrat, calculée à partir de l'indice de Shannon (Legendre et Legendre, 1984)

b) l'équitabilité, qui est le rapport entre la diversité observée et la diversité maximale potentielle (Legendre et Legendre, 1984)

c) la variabilité spatiale du substrat. Elle a été estimée sur chaque station par le nombre de secteurs (il y a 10 secteurs de 10m par station) ayant une composition différant d'au moins 5 % de celle des autres secteurs.

La figure 21 indique que la diversité du substrat est maximale près de la côte, aux passes du Coëtlogon et de la Baleine ainsi qu'au large de Fayaoué. Ces zones correspondent aussi à des maxima de couverture pour les coraux (figure 20) et pour celle au large de Fayaoué on a également constaté une forte couverture d'*Halimeda* (figure 19).

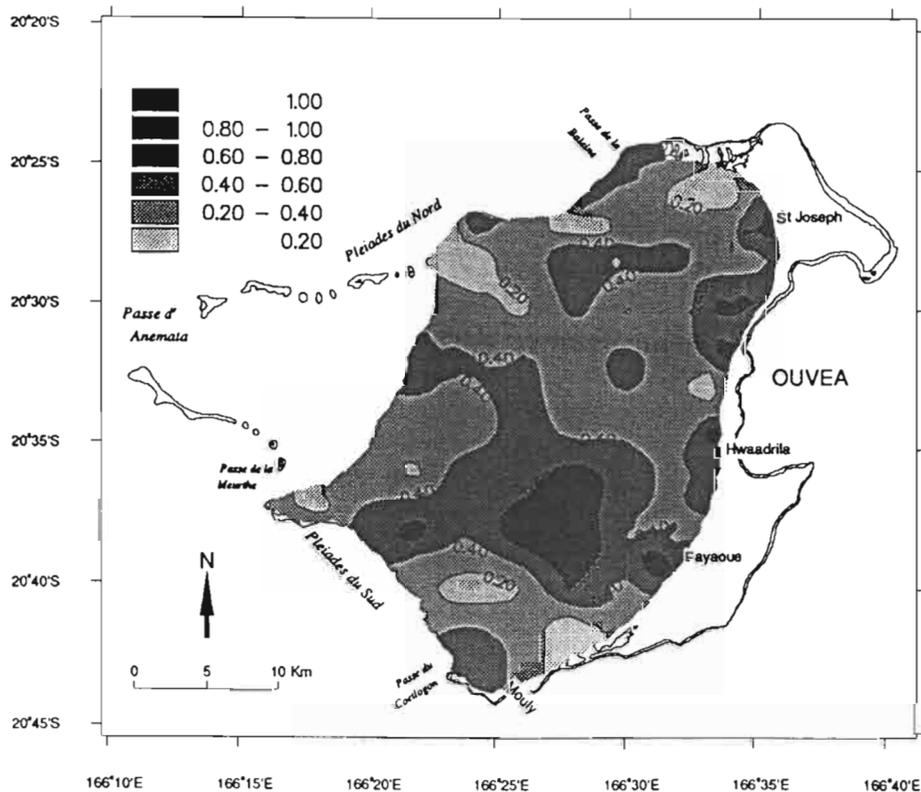


Figure 21 : répartition de la diversité du substrat (indice de Shannon) des fonds meubles

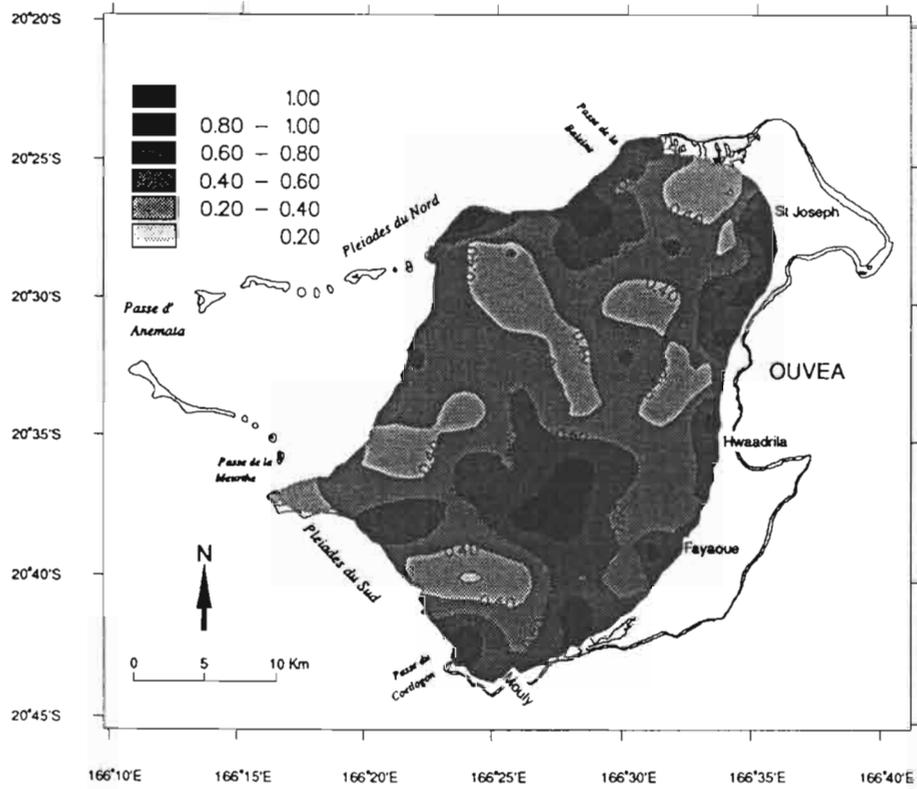


Figure 22 : répartition de la diversité du substrat (équitabilité) des fonds meubles

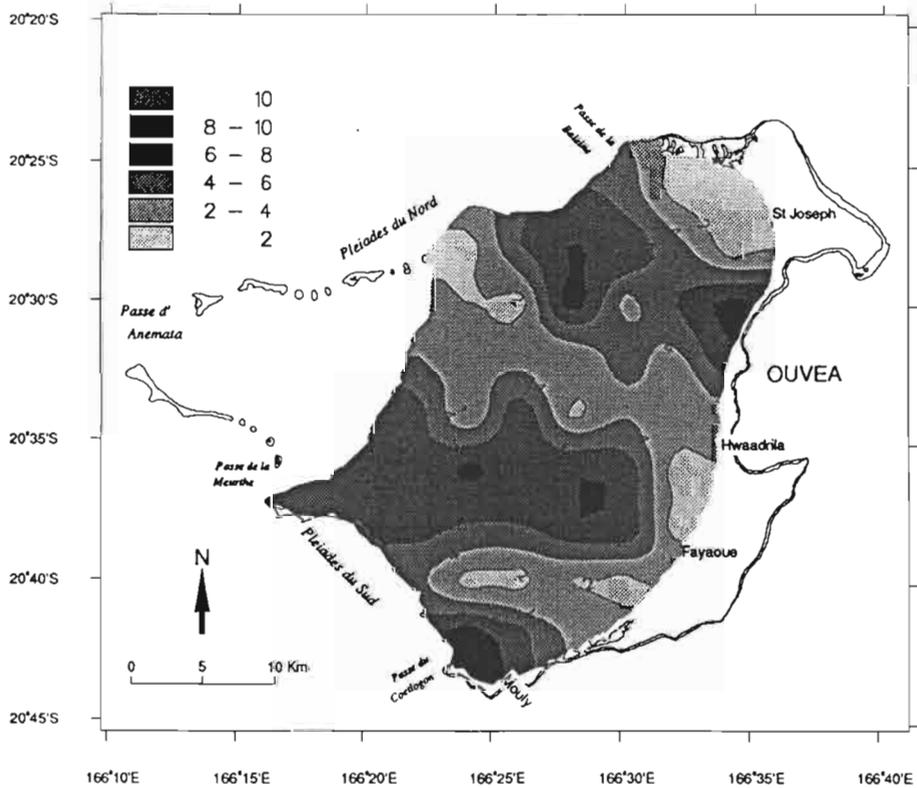


Figure 23 : répartition de la variabilité du substrat (nombre de secteurs différents par station) sur les fonds meubles

La figure 22 montre que l'équitabilité des substrats suit presque la même distribution que la diversité (figure 21), la principale différence étant une forte équitabilité au niveau de toutes les passes et pas uniquement celles aux extrémités de l'île principale (Coëtlogon et Baleine).

La figure 23 montre que la variabilité spatiale intra-station présente de fortes analogies avec la distribution de la diversité des substrats (figure 21). En d'autres termes, les stations ayant plusieurs types de substrats sont également très hétérogènes dans l'agencement spatial de ces substrats. Les zones les plus hétérogènes se situent donc d'une part au large de Fayaoué, le long de la côte entre Hwaadrila et St Joseph et à proximité des passes. Il est vraisemblable que les peuplements benthiques et ichthyologiques présenteront une plus grande diversité aux mêmes endroits comme le suggèrent certains résultats préliminaires (Clavier et al., 1992; Egretaud, 1992).

216 - Les principales régions des fonds meubles

Les résultats précédents suggèrent qu'il existe plusieurs biotopes sur les fonds meubles du lagon d'Ouvéa. Pour définir ces fonds nous avons utilisé deux types d'analyses multivariées: analyse hiérarchique et analyse en composantes principales. Les deux analyses ont porté sur deux groupes de données:

-groupe 1: les composantes de sédiments regroupés en 6 classes (sables très fins et fins, sables moyens et grossiers, graviers et débris, petits et gros blocs, dalle, roche et formations coralliennes)

-groupe 2: les 6 composantes précédentes complétées par la couverture algale et corallienne.

L'analyse hiérarchique a été conduite sur des données transformées par la fonction arcsinus (Sokal et Rolf, 1981). La méthode utilisée est le groupement par perte d'inertie et distance moyenne pondérée (Legendre et Legendre, 1984). L'analyse du groupe 1 fait apparaître 3 classes de stations, la première classe pouvant être subdivisée en 2 sous-classes (figure 24). L'analyse du groupe 2 montre 2 classes de stations la première pouvant être subdivisée en 2 et la seconde en 3 sous-classes (figure 25).

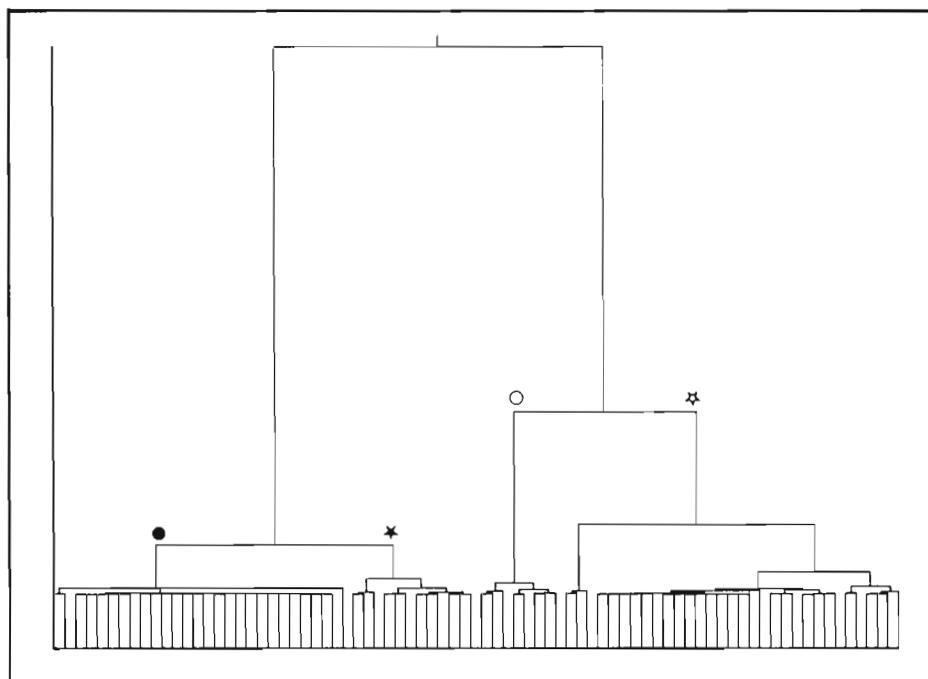


Figure 24 : analyse hiérarchique des stations de fonds meubles en fonction du substrat

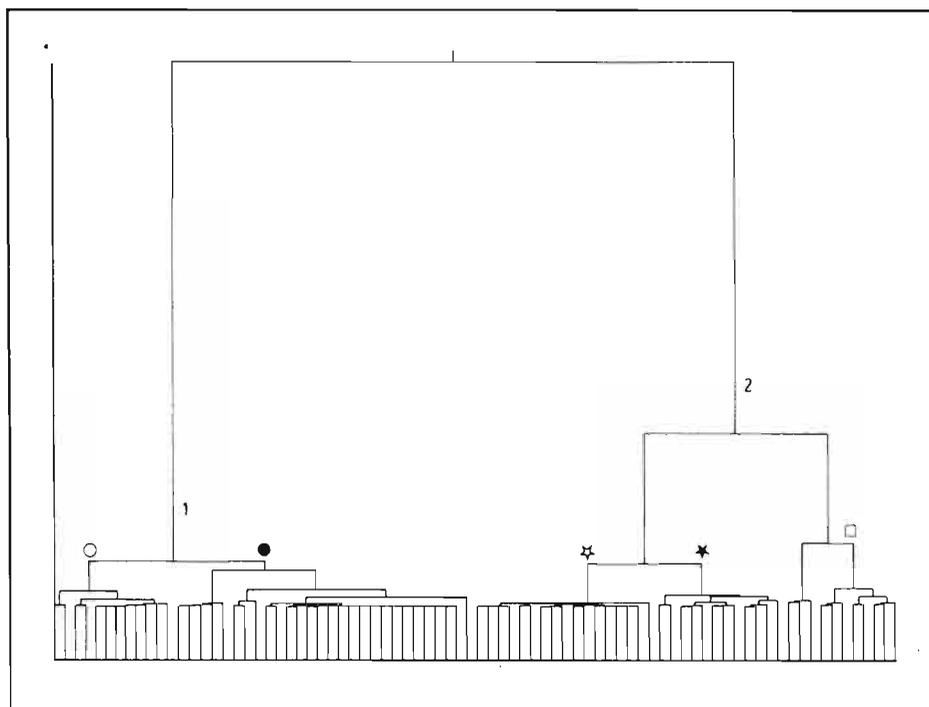


Figure 25 :analyse hiérarchique des stations en fonction du substrat et des organismes recouvrants

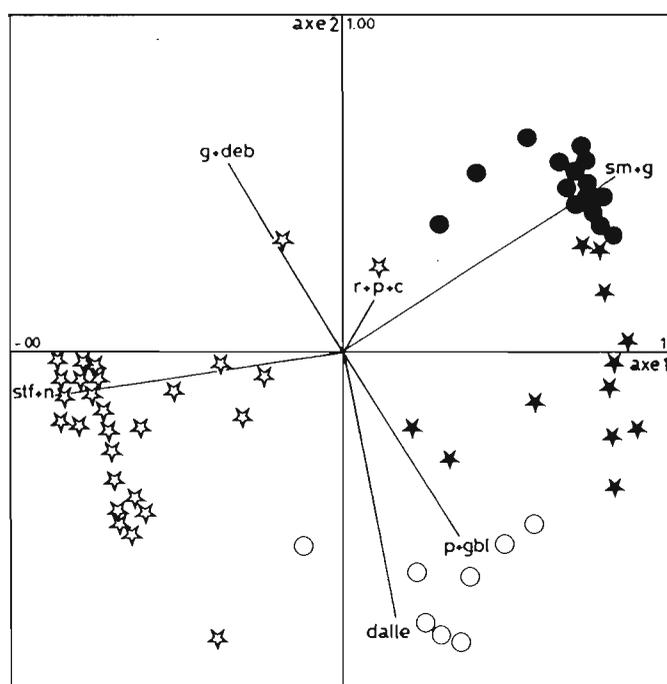


Figure 26 :analyse en composantes principales des stations en fonction du substrat. les symboles correspondent aux groupes définis sur la figure 24

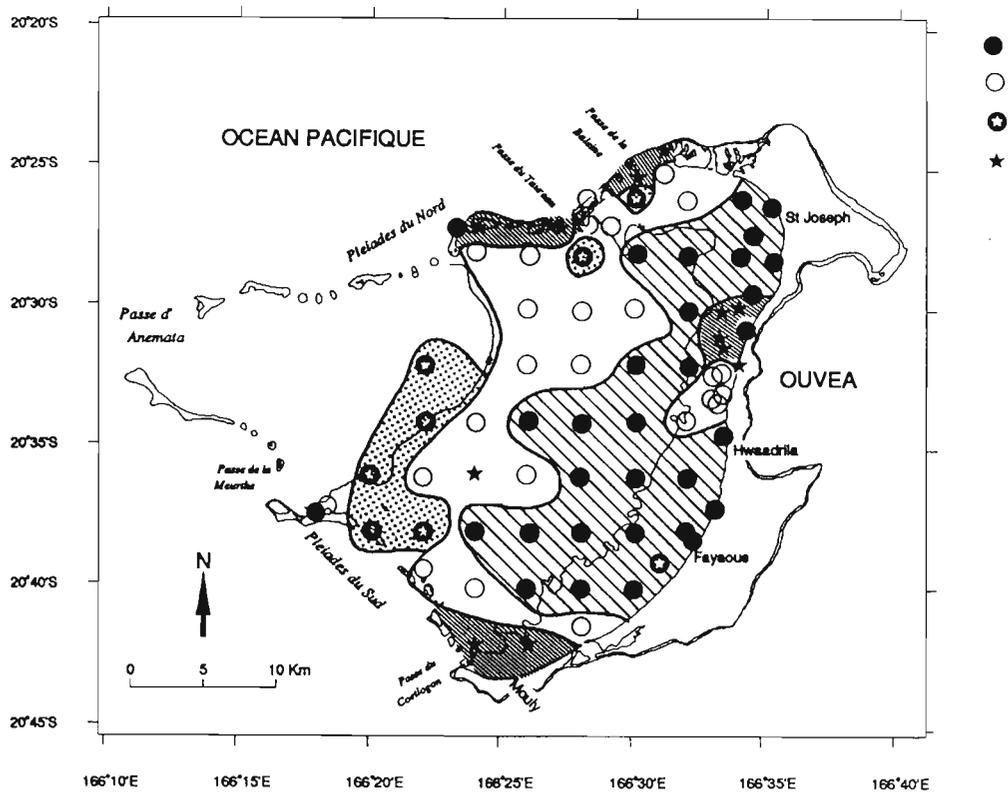


Figure 27 : répartition géographique des stations en fonction de leur groupe. Les symboles sont les mêmes que ceux des figures 24 et 26

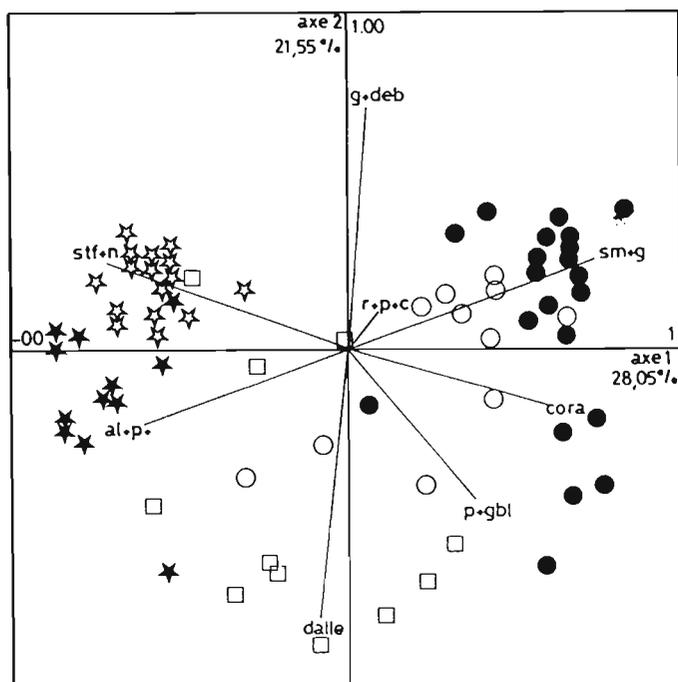


Figure 28 : analyse en composantes principales des stations en fonction du substrat et des organismes recouvrants. Les symboles correspondent aux groupes définis sur la figure 25

L'analyse en composante principale du groupe 1 (figure 26) montre que les classes et sous-classes définies par l'analyse hiérarchique forment des groupements distincts sur le plan définis par les 2 premiers axes. La répartition des stations de la classe 1a (figure 27) décrit un arc de cercle entre les Pléiades du Nord et celles du Sud et correspond essentiellement à la zone des 15-20m. La classe 1b (figure 27) est composée de stations à proximité des passes et le long de la côte de l'île principale au sud de St Joseph. La répartition des stations de la classe 1 est en grande partie expliquée par le pourcentage élevé en sables moyens et grossiers (tableaux 9, 10), la différence entre les sous-classes 1a et 1b étant due à une plus forte proportion de fonds durs pour 1b (9.9% de blocs et 25 % de dalle, tableaux 9, 10). La classe 2, liée essentiellement au pourcentage de dalle (67.7%) et de blocs (12.4%)(tableaux 9, 10), forme une zone à la limite de l'isobathe des 20m (figure 27), comme le laissait présager la répartition de la dalle (figure 18). La classe 3 se répartit en une large bande côtière (à l'exception du sud de St Joseph) et est déterminée par les fortes teneurs en sables fins ou très fins (tableaux 9, 10).

L'analyse en composantes principales du groupe 2 (figure 28) montre que les classes et sous-classes définies par l'analyse hiérarchique (figure 25) sont moins bien séparées que pour le groupe 1. La classe 1 est déterminée par la teneur élevée (>80 %) en sables moyens et grossiers (tableaux 9, 10), la différence entre les classes 1a et 1b se faisant grâce à la couverture algale très importante (38.2%) sur la classe 1a (tableaux 9, 10). La classe 2 est hétérogène, comprenant d'une part les sous-classes 2a, 2b caractérisées par des sables fins ou très fins (> 65%, tableaux 9, 10) et d'autre part la sous-classe 2c qui est dominée par des substrats durs (roche: 22.8%, dalle: 51.5%). Dans la classe 2, seule la sous-classe 2a ne comporte qu'un faible pourcentage de couverture algale. Il convient de noter que la couverture en corail n'intervient pas dans la classification.

Tableau 9 : constitution moyenne du substrat pour les groupes définis par la classification de la figure 26 et 28

	Groupe 1				Groupe 2				
	Classes				Classes				
	1a	1b	2	3	1a	1b	2a	2b	2c
Sables fins et très fins	1.6	6.5	4.3	75.0	2.3	2.7	90.6	65.8	8.8
Sables moyens et grossiers	90.7	58.0	4.9	2.9	85.9	81.3	1.4	2.9	8.6
Graviers et débris	2.6	0.5	2.0	2.8	0	2.8	3.0	3.7	1.3
Blocs	2.7	9.9	12.4	3.6	3.1	4.7	2.6	5.8	8.3
Roche	1.1	0.3	9.3	6.1	1.3	0.7	0.5	0.4	22.8
Dalle	1.2	25.0	67.7	9.5	7.5	7.6	2.0	21.3	51.5
Algues					38.2	0.5	5.4	43.6	27.3
Coraux					4.1	4.4	0.9	2.8	6.5

Tableau 10 : constituants du substrat permettant de séparer les groupes du tableau 9 de façon significative (t test) au seuil 5% (minuscules) ou au seuil 1% (majuscules)

sf: sables fins et très fins sg: sables moyens et grossiers deb: graviers et débris
 bl: petits et gros blocs dal: dalle roc: roche
 alg: algues cor: corail

	1a	1b	2
Groupe 1	1a		
	1b	sf;DAL	
	2	SG;BL;ROC;DAL	SG;dal
	3	SF;SG;roc	SF;SG;bl;dal
			SF;bl;DAL

	1a	1b	2a	2b
Groupe 2	1a			
	1b	ALG		
	2a	SF;SG;ALG	SF;SG	
	2b	SF;SG;DAL	SF;SG;dal;ALG	DAL;ALG
	2c	SF;SG;ROC;DAL	SF;SG;ROC;DAL;ALG	ROC;DAL;ALG
				SF;ROC;dal

217 - conclusions sur les fonds meubles

Cette présentation des fonds meubles a mis en évidence la grande hétérogénéité de ce milieu. Il existe cependant un gradient côte-large, les sédiments grossiers devenant plus importants avec la bathymétrie. La nature du sédiment change également à l'approche des récifs, les passes à proximité de l'île principale (Baleine et Coëtlogon) se différenciant des passes plus éloignées par une plus grande hétérogénéité du substrat. On peut distinguer six biotopes principaux:

a) une frange côtière caractérisée par des sables fins. Cette frange est interrompue au nord de Hwaadrila et ne reprend qu'à partir de St Joseph

b) une zone côtière hétérogène entre Hwadrilla et St Joseph, elle se caractérise par une petite falaise corallienne (2 à 5 m), la présence d'une mosaïque de corail et d'algues sur un substrat de sables et sédiments grossiers

c) une bande parallèle à la côte s'étendant de 12 à 20 m de profondeur. C'est la zone la plus homogène du lagon et comprend surtout des sables moyens et grossiers

d) les zones à proximité des récifs et des passes caractérisées par des sédiments grossiers et hétérogènes, la présence de dalle et de coraux

e) une zone au large de Fayaoué comportant une forte hétérogénéité du substrat, une couverture importante en algues et en coraux

f) une zone entre la passe de la Baleine et St Joseph avec des sédiments homogènes et assez épais avec une très faible couverture algale ou corallienne

22 - les fonds côtiers

La zone étudiée dans ce paragraphe a été en partie analysée dans le chapitre précédent sur les fonds meubles. L'emploi de photos aériennes et d'une image SPOT va cependant permettre d'affiner nos observations.

Les fonds proches de la côte présentent un intérêt particulier, d'une part parce qu'ils sont facilement accessibles à la pêche et d'autre part parce que les zones côtières sont souvent des endroits privilégiés pour les juveniles. L'étude des fonds meubles a montré qu'il existait au moins trois ensembles le long de la côte. Au nord entre la passe de la Baleine et St Joseph (zone 1) s'étendent de vastes surfaces de sables relativement homogènes et profonds. Entre St Joseph et Hwaadrila (zone 2) les fonds sont très hétérogènes, présentant une importante couverture algale et du corail. Au sud de Hwaadrila (zones 3-4) les fonds seraient plus homogènes avec une couverture algale moyenne et quelques pâtés coralliens épars. Les passes au sud (Coëtlogon) et au nord (Baleine) de l'île principale sont caractérisées par des sédiments grossiers et hétérogènes, sans doute liés aux forts courants.

L'utilisation de photos aériennes et d'une image satellite SPOT va permettre de détailler considérablement ces observations. Deux séries de photos aériennes sont disponibles, une au 1/40 000 et la seconde au 1/20 000. L'identification des biotopes sur ces photos s'est faite d'une part à partir des observations effectuées sur les stations (32 stations sont dans la zone bathymétrique 0-5 m de l'île principale) et d'autre part à partir d'observations casuelles faites lors de transits entre stations et lors de déplacements à terre. Au total 9 thèmes ont été retenus (Tableau 11). L'image SPOT a été utilisée en conjonction avec les photos aériennes. Ainsi, quand un thème est reconnu sur une photo, on cherche les pixels correspondants sur l'image SPOT et on attribue ce thème aux pixels environnants ayant la même valeur.

Tableau 11 : surface et répartition des différents thèmes dans la zone côtière de l'île principale. Le premier chiffre donne la surface en ha, le second le pourcentage par zone. Les zones se chevauchant légèrement, la somme des parties est supérieure au total.

Zone 1 : de la Passe de la Baleine au sud de St Joseph

Zone 2 : du sud de St Joseph au nord de Hwaadrila

Zone 3 : de Hwaadrila jusqu'au sud de Fayaoué

Zone 4 : de Fayaoué à la pointe de Mouly

Thème	Zone 1	Zone 2	Zone3	Zone 4	Total
Dalle et fonds durs	85 - 2.7	83 - 5.4	66 - 2.7	38 - 2.2	237 - 2.9
Sable nu	292 - 9.2	25.4 - 1.7	197 - 8.0	250 - 14.1	752 - 9.3
Fonds détritiques	93 - 2.9	0 - 0	6.2 - 0.25	62 - 3.5	164 - 2.0
Herbiers sur fonds durs	148 - 4.7	86 - 5.6	74 - 3.0	45 - 2.5	305 - 3.8
Herbiers seuls	33.7 - 1.1	0 - 0	0 - 0	3.6 - 0.2	38 - 0.47
Herbiers sur sable - forte densité	770 - 24.4	333 - 21.8	622 - 25.3	251 - 14.2	1744 - 21.5
Herbiers sur sable - densité moyenne	768 - 24.3	911 - 59.5	1174 - 47.9	814 - 46.0	3195 - 39.4
Herbiers sur sable- faible densité	781 - 24.7	93 - 6.1	315 - 12.8	305 - 17.2	1471 - 18.2
Végétation halophyle	190 - 6.0	0 - 0	0 - 0	2.5 - 0.14	196 - 2.4
Total	3160 - 100	1530 - 100	2450 - 100	1770 - 100	8100 - 100

Il n'a pas été possible de définir plus de 3 classes de substrats: fonds durs, fonds détritiques et sables. Les fonds durs comprennent essentiellement de la dalle nue sublittorale et quelques zones rocheuses. Il n'y a pas de secteurs où le corail présente des développements importants. Les fonds détritiques sont peu abondants et surtout présents dans les chenaux qui relient le lagon à l'océan (Mulifenua, Abiget, Lekiny). Le sable, dont la répartition des principaux types a été donné au paragraphe 2.1, est présent sur la majeure partie de la région côtière. En revanche la couverture algale joue un rôle très important dans la classification choisie. Les herbiers "seuls" sont des formations très proches du littoral à dominante de phanérogames et parfois de sargasses qui sont extrêmement denses et ne laissent pas apparaître le substrat qui peut être soit de la dalle soit du sable. Les herbiers sur fonds durs, qui pour la plupart sont aussi littoraux, se distinguent des autres types d'herbiers par un substrat de couleur sombre (la dalle est le plus souvent grise, la roche marron clair) au contraire du sable toujours très blanc à Ouvéa. Les herbiers sur sable ont été divisés en trois classes de densité, cependant faute d'avoir suffisamment de vérité terrain il n'a pas été possible d'attribuer un pourcentage précis de couverture algale à ces 3 densités. La végétation halophyle est constituée essentiellement de palétuviers et de plantes du type *Sesuvium*.

Les figures 29 à 38 indiquent la répartition géographiques des 9 thèmes sur chacune des 4 zones. La répartition de la densité des herbiers n'est pas régulière du nord au sud. Dans la zone 1 (figure 29) il existe une séparation au niveau de St Joseph. Au nord de cette ligne la densité des herbiers est minimale à la côte (sable côtier et sortie des chenaux à proximité) puis maximale sur une étroite bordure et intermédiaire au-delà. Au sud de cette ligne existe une bande côtière de 2 km de large avec de fortes densités d'herbiers, la densité diminuant avec la profondeur. A noter devant St Joseph une bande étroite d'herbiers "seuls" ainsi que l'absence d'herbiers dans les chenaux. La zone 2 est surtout caractérisée par des herbiers de densité moyenne (figure 30). Dans la zone 3 on distingue 2 parties (figure 31). Au nord (environs de Hwaadrila) la densité des herbiers augmente avec la profondeur, au sud (à partir de Fayaoué) les herbiers présentent la même zonation qu'au nord de St Joseph: faible densité près du bord (plage importante), densité maximale sur une bande de 1 km puis diminution de la densité avec la profondeur. La zone 4 montre le même agencement que le sud de la zone 3 (figure 32) cependant la largeur des bandes d'herbiers se rétrécit pour se terminer devant Mouly. On note un peu d'herbier "seul" au niveau du chenal de Lekiny. Les herbiers sur fonds durs sont dans l'ensemble près de la côte et se répartissent en 2 grands groupes, l'un devant St Joseph (figure 33), l'autre entre le wharf et Banutr (figures 34 et 35). On note aussi quelques taches de ces herbiers de fonds durs devant l'île de Mouly (figure 36). Les fonds détritiques sont presque exclusivement présents dans les chenaux. D'importantes formations de sable nu sont présentes à la sortie des chenaux (figure 33 et 36), et une bande de sable nu côtier d'environ 300 m de large s'étend de Banutr à Mouly. La végétation halophyle n'est présente que dans les chenaux et les vestiges de chenaux (figures 37 et 38).

Ile principale (1)

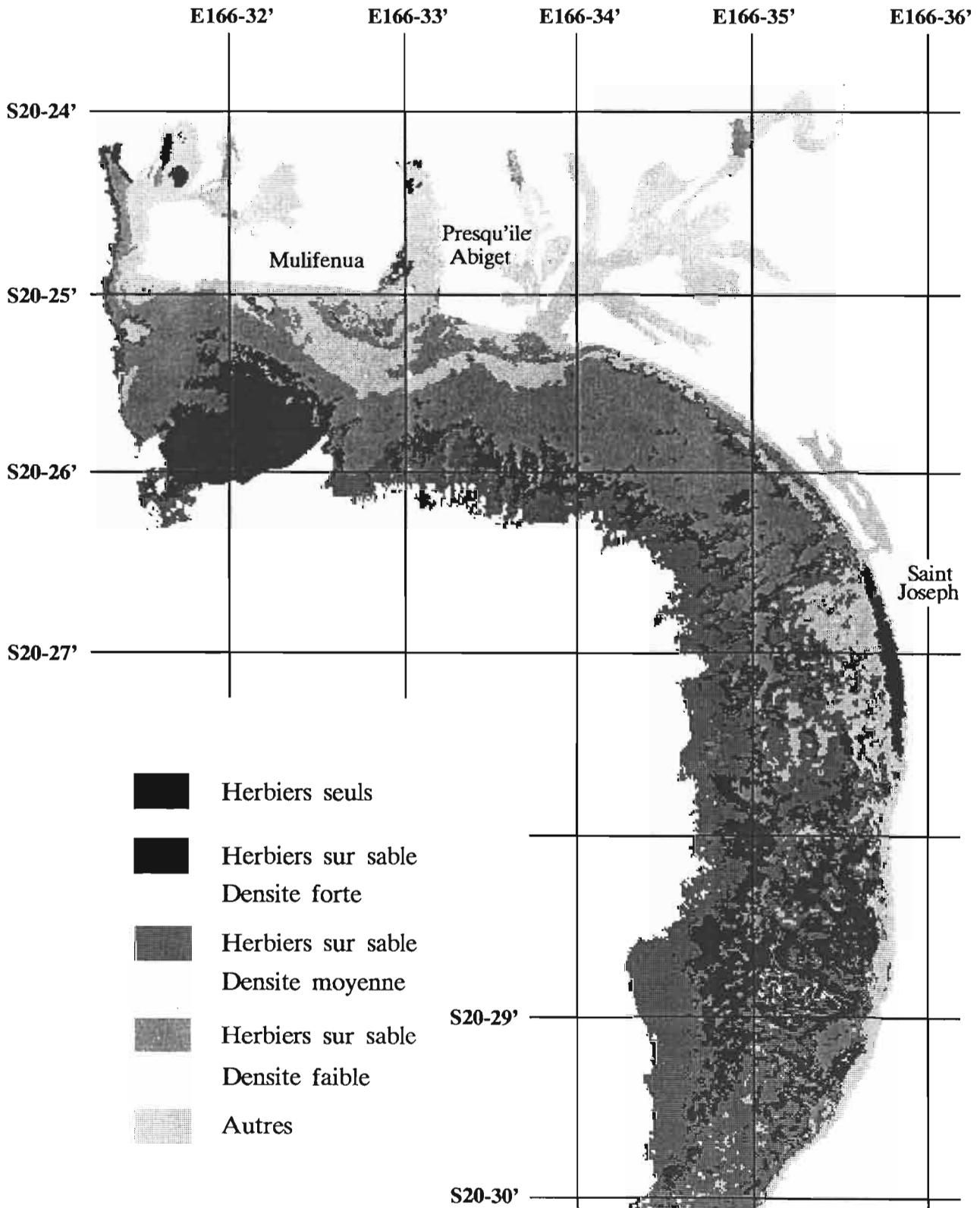


Figure 29 : répartition des herbiers sur fonds meubles dans la zone de St Joseph

Ile principale (2)

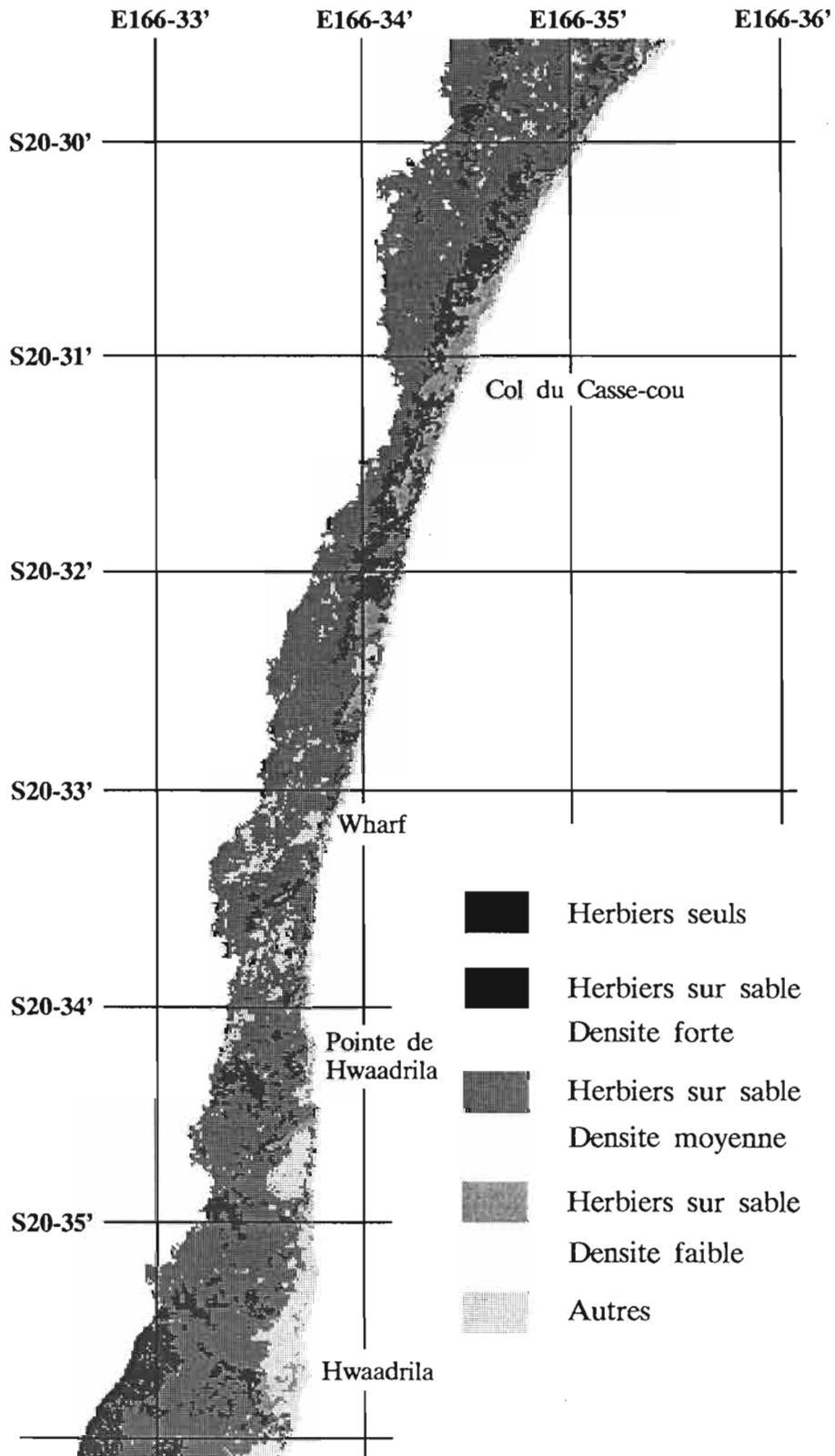


Figure 30 : répartition des herbiers sur fonds meubles dans la zone entre le sud de St Joseph et Hwaadrilla

Ile principale (3)

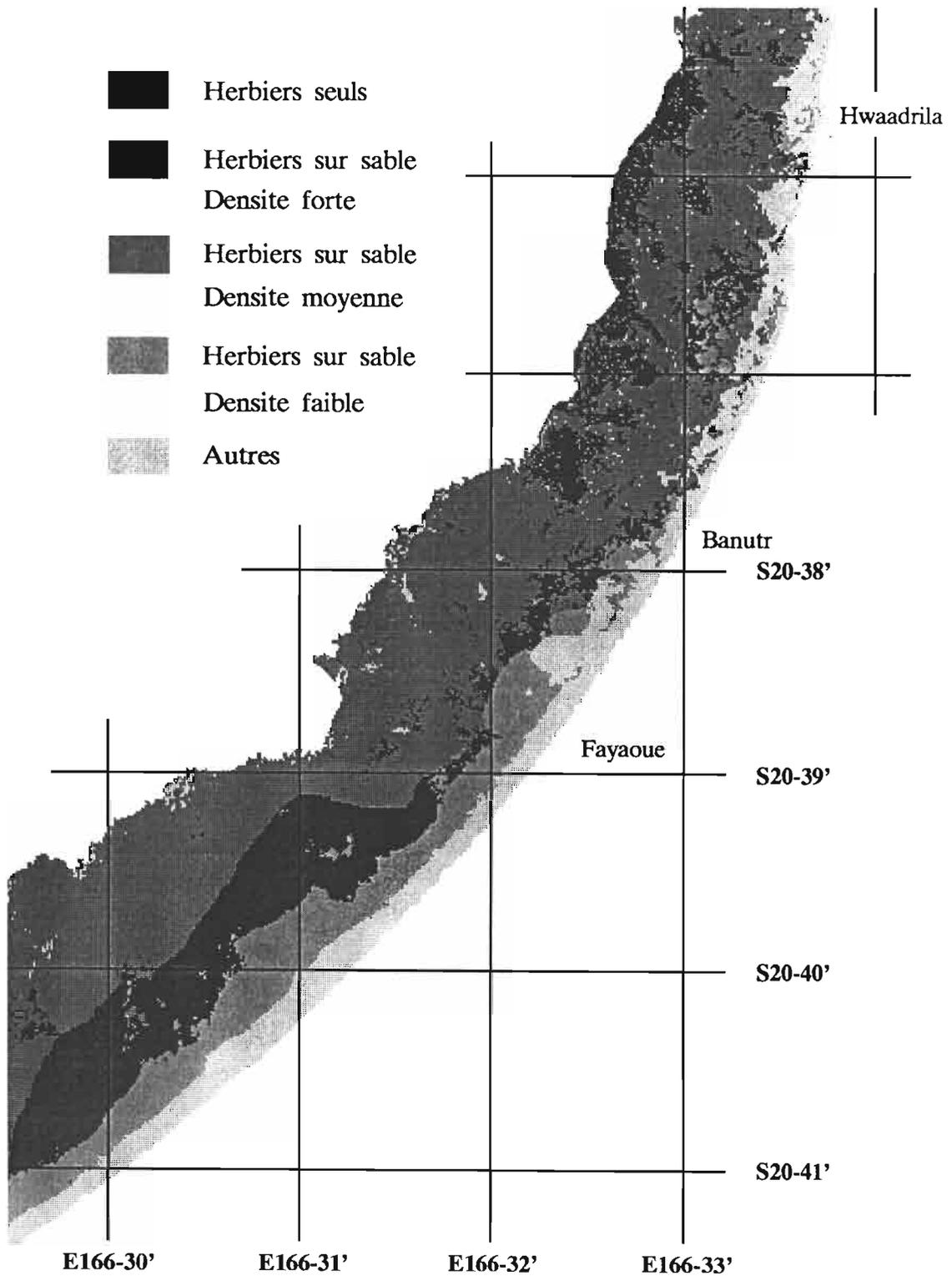


Figure 31 : répartition des herbiers sur fonds meubles dans la zone entre Hwaadrilla et Lekiny

Ile principale (4)

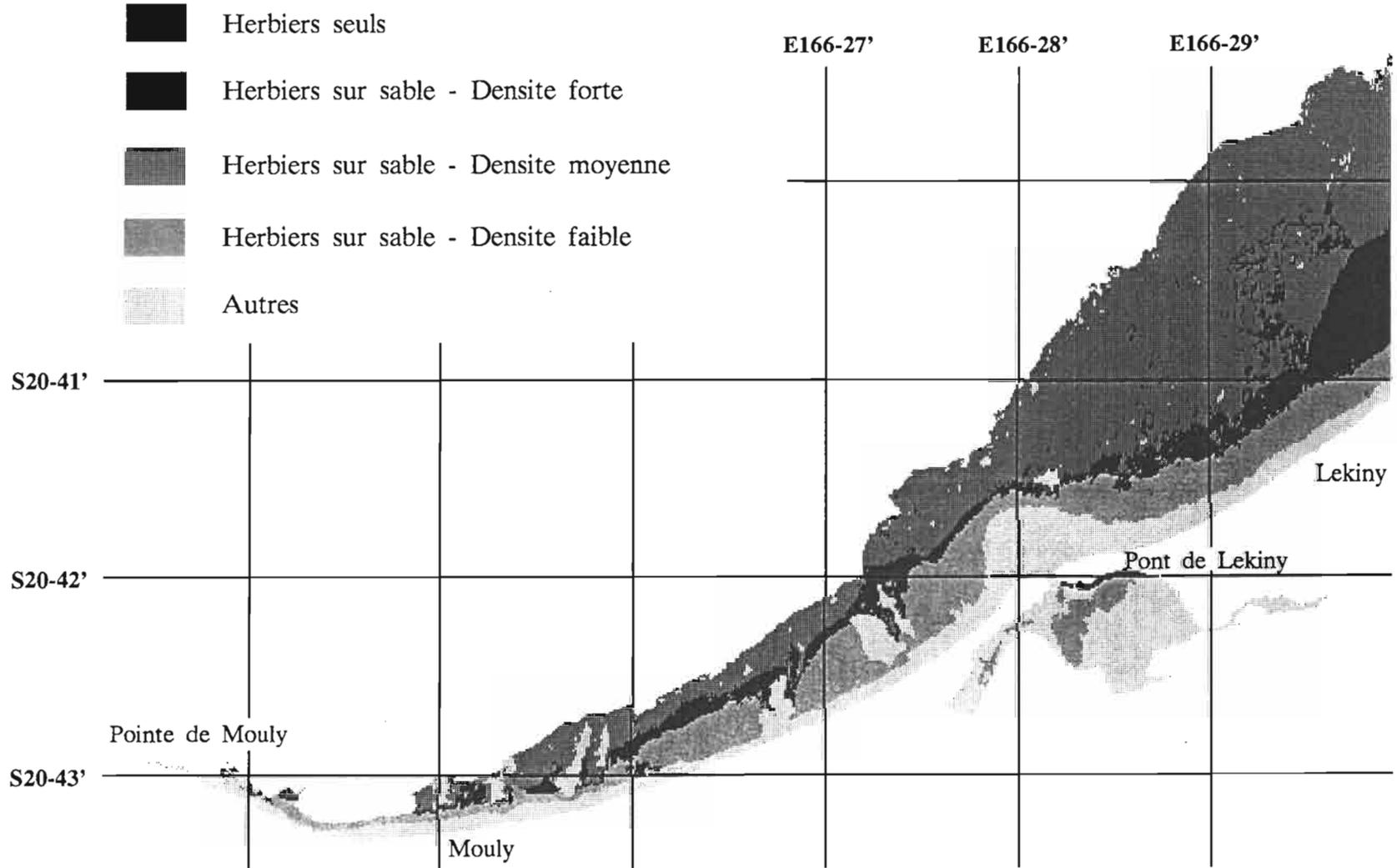


Figure 32 : répartition des herbiers sur fonds meubles dans la zone entre Lekiny et la pointe de Mouly

Ile principale (1)

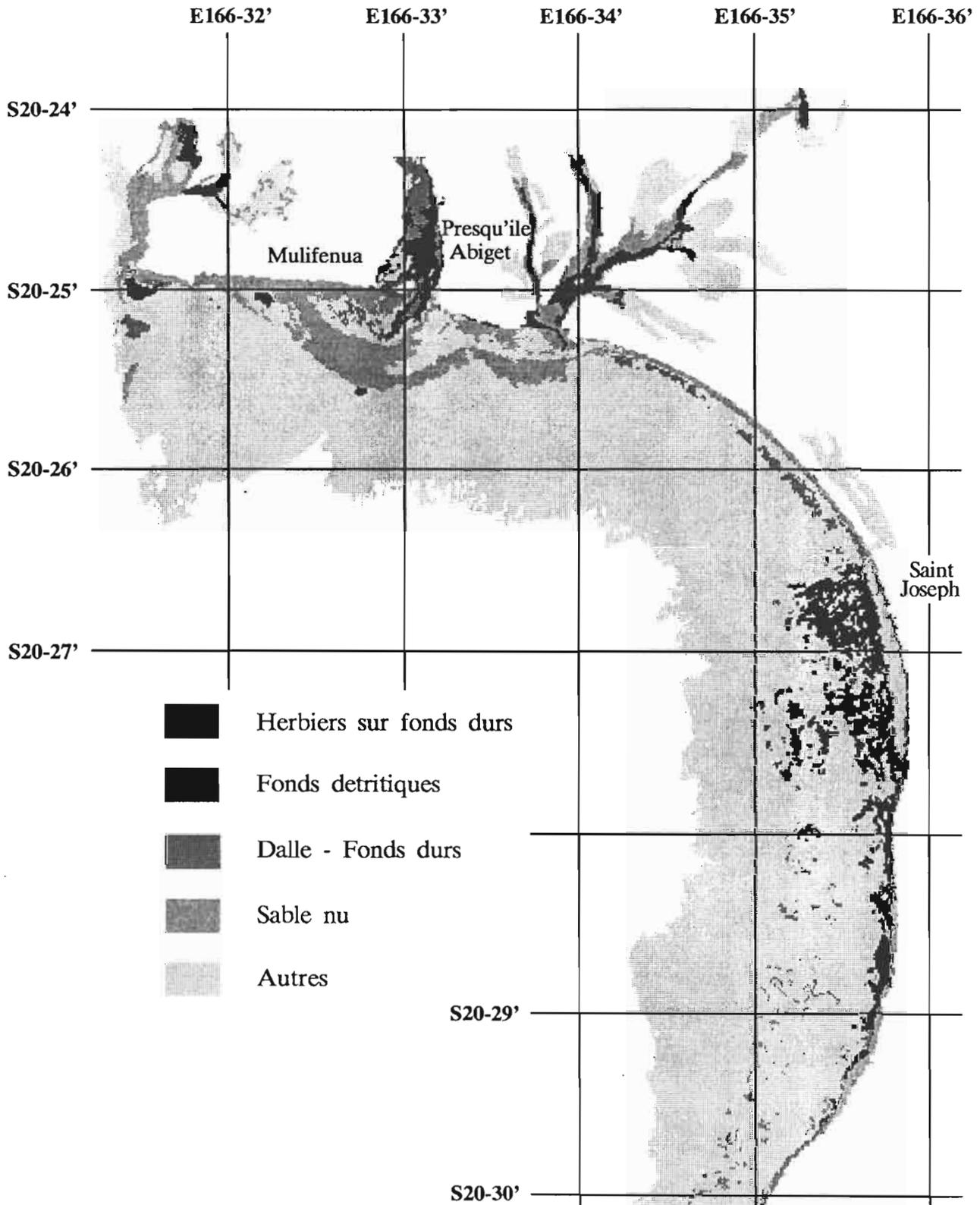


Figure 33 : répartition des herbiers sur fonds durs, des fonds durs et des sables dans la zone de St Joseph

Ile principale (2)

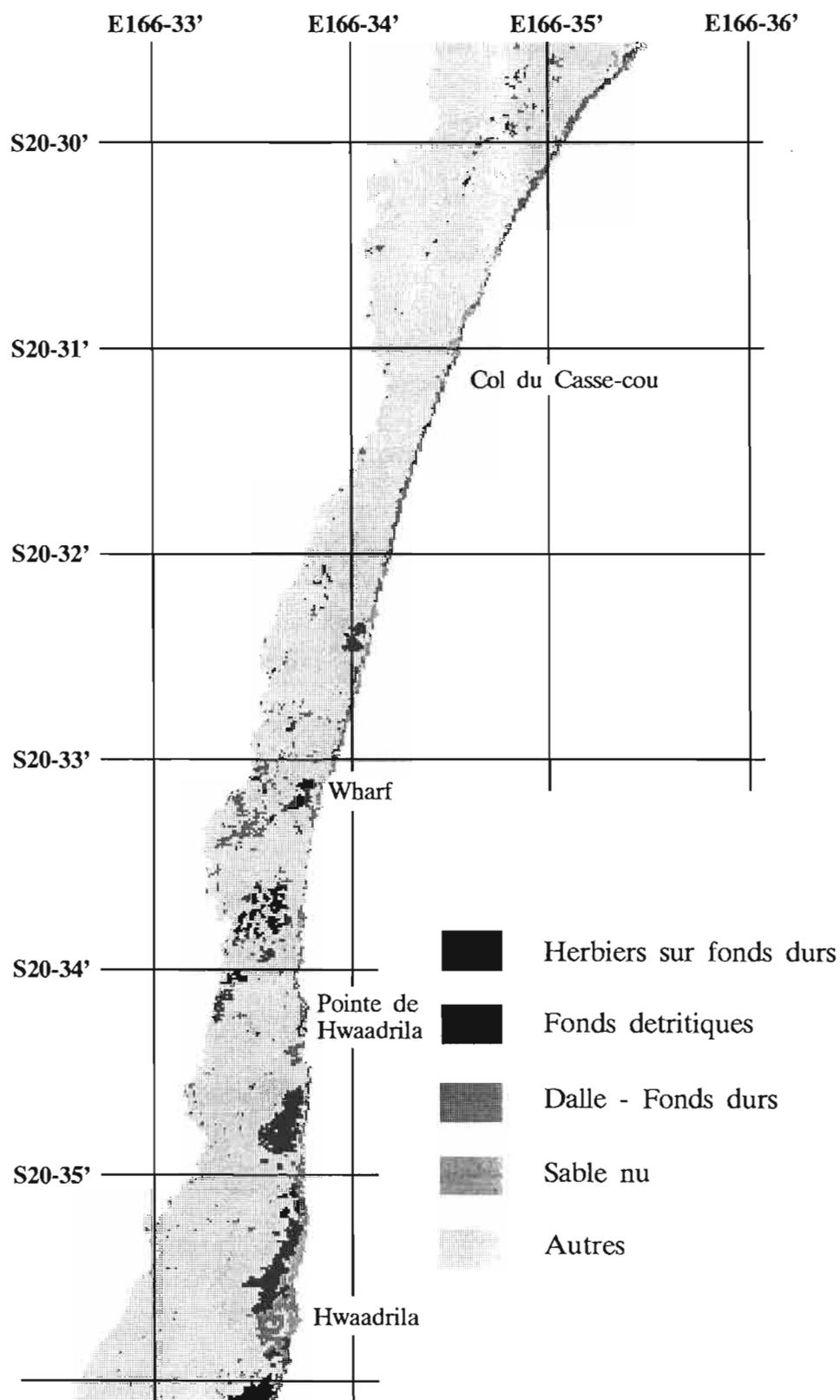


Figure 34 : répartition des herbiers sur fonds durs, des fonds durs et des sables dans la zone entre le sud de St Joseph et Hwaadrilla

Ile principale (3)

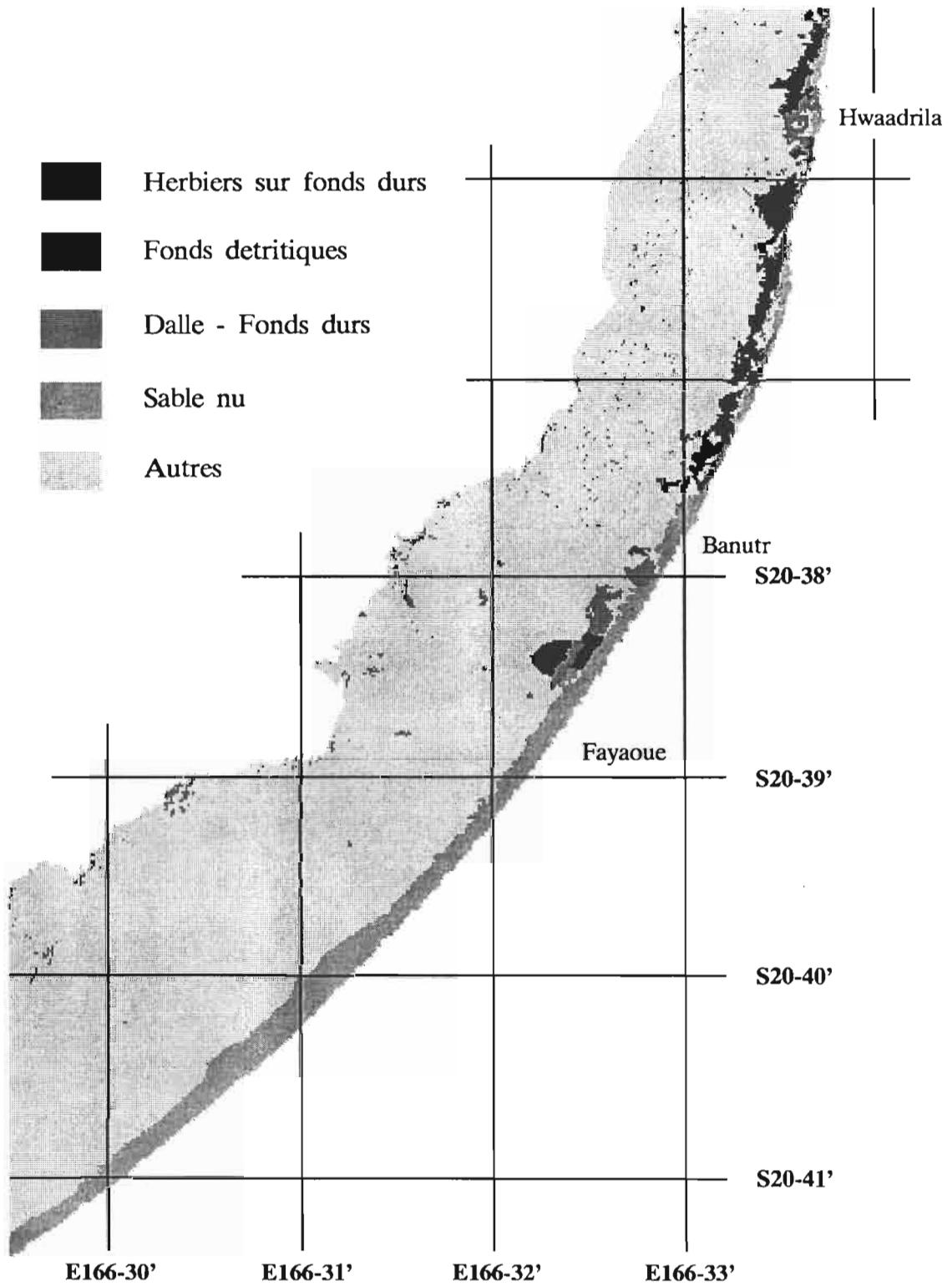


Figure 35 : répartition des herbiers sur fonds durs, les fonds durs et les sables dans la zone entre Hwaadrilla et Lekiny

Ile principale (4)

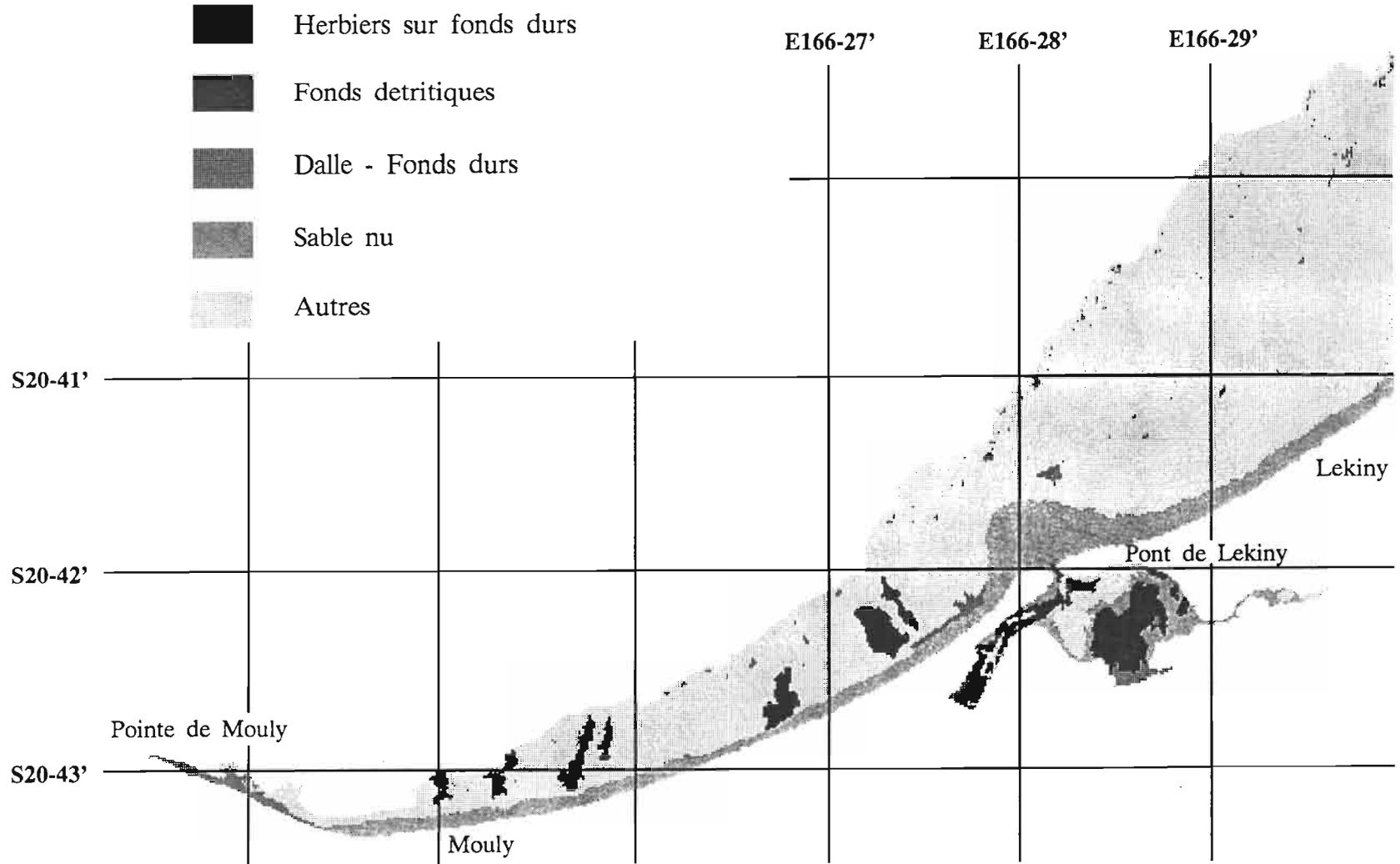


Figure 36 : répartition des herbiers sur fonds durs, des fonds durs et des sables dans la zone entre Lekiny et la pointe de Mouly

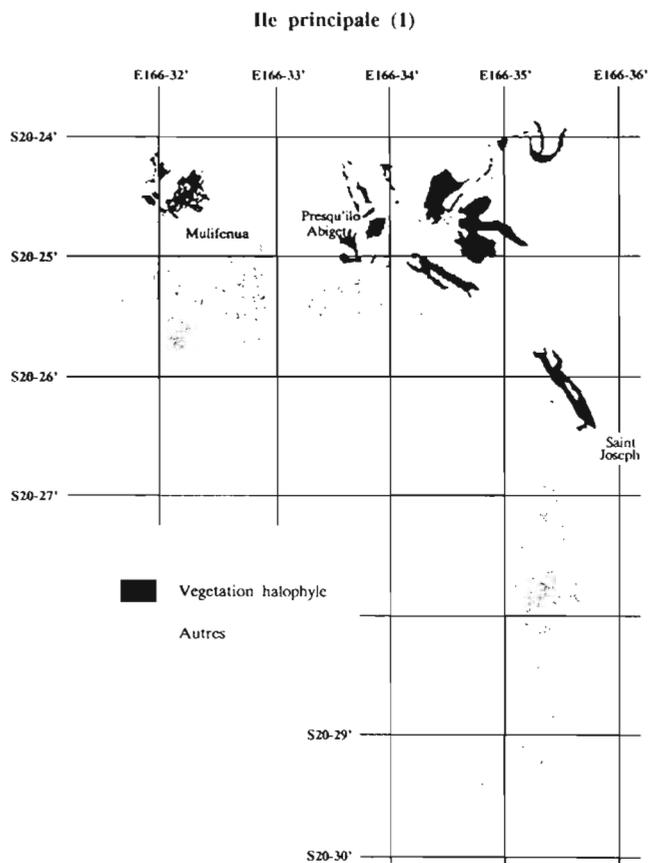


Figure 37 : répartition de la végétation halophile dans la zone de St Joseph

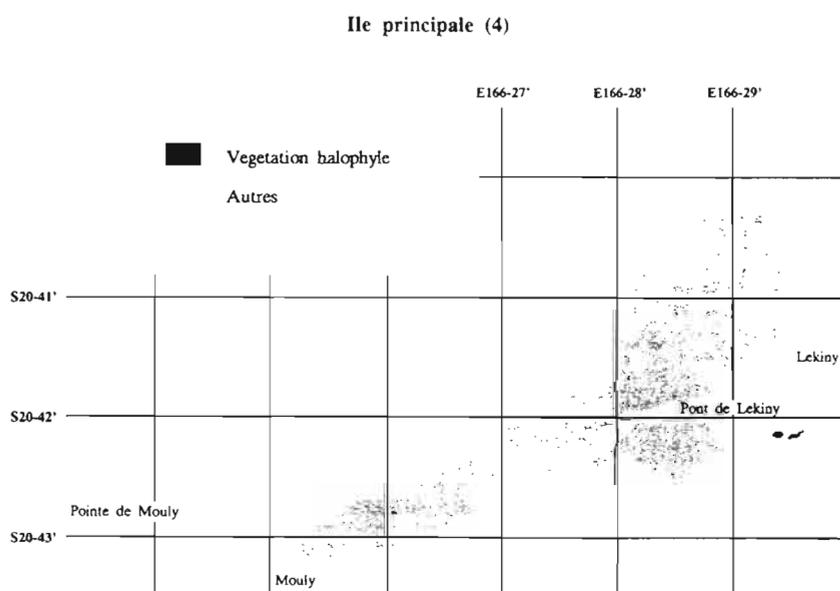


Figure 38 : répartition de la végétation halophile aux environs de Lekiny

La figure 39 indique la distribution des valeurs de c1 et c2 pour les 9 thèmes. L'étude des histogrammes (non représentés) des valeurs de c1 et c2 montre que leur distribution est de type log-normale. D'autre part l'étude de la répartition spatiale des pixels de même valeur montre que les valeurs des pixels ne

sont pas indépendantes, la valeur d'un pixel étant corrélée aux valeurs des pixels voisins. Pour ces raisons il n'est pas possible d'évaluer correctement l'erreur standard. En conséquence nous avons représenté sur la figure 39 les quartiles, donnant ainsi l'aire de répartition de 50% des observations de chaque thème. La répartition des observations présente une asymétrie importante due à la distribution de type log-normale. Mis à part les sables nus, il existe un recouvrement des thèmes. Ce recouvrement est important entre dalle et herbiers de fonds durs ainsi qu'entre herbiers à moyenne et forte densité. La végétation halophile est le thème ayant la dispersion la plus importante, ceci étant dû aux différents types de végétations prises en compte sous cette rubrique: palétuviers et plantes de prés salés. L'importance des recouvrements est à mettre en relation avec l'impossibilité de trouver un modèle prédictif de la composition du substrat à partir des canaux c1 et c2 (paragraphe 1.5). Malgré ce recouvrement dans la plupart des cas il est possible de distinguer les thèmes soit grâce à leur position géographique (cas de la végétation halophile) soit parce que les pixels observés sont en contraste avec les pixels avoisinants.

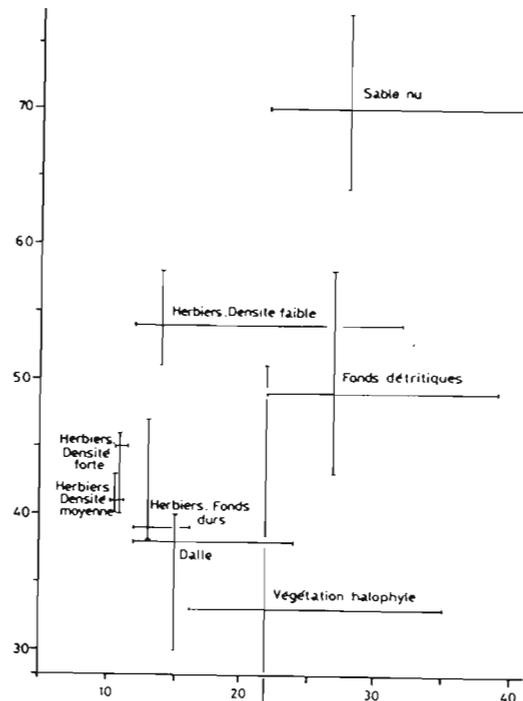


Figure 39 : valeurs de c1 (axe des x) et de c2 (axe des y) en fonction du thème. Pour chaque thème l'intersection des segments note la moyenne, le segment de gauche l'étendue du premier quartile et celui de droite le second quartile

23 - Les fonds durs

Cet ensemble couvre les Pléïades du Nord et du Sud et a été découpé en 7 sous-ensembles pour la présentation des données (figure 40). Contrairement à l'étude des fonds côtiers les thèmes définis pour cette zone sont basés essentiellement sur la géomorphologie et non sur la couverture végétale. Au total 15 thèmes ont été retenus (tableau 12). La nomenclature suit celle donnée par Battistini et al. (1975), cependant certains types de formations (marqués par * dans le tableau 12) n'ont pas pu être identifiés à partir de l'ouvrage cité.

Tableau 12 : répartition des thèmes sur les zones de fonds durs du lagon d'Ouvéa. Le premier chiffre représente les surfaces en ha, le second les pourcentages par zone.

Thèmes	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	Zone 5	Zone 6	Zone 7	Total
Récif barrière extérieur abrité	19.9-3.9	32.3-8.4	17.7-4.2	25.0-4.1	35.9-6.7	3.8-0.50	0.9-0.28	139-3.9
Récif barrière extérieur exposé	10.5-2.6	18.7-4.9	30.0-7.0	53.2-8.8	32.6-6.1	40.2-5.3	14.8-4.7	204-5.8
Récif frangeant d'îlot abrité	22.8-5.6	20.6-5.4	3.0-0.71	3.6-0.60	3.4-0.64	13.2-1.8	9.9-3.1	78.0-2.2
Récif frangeant d'îlot exposé	13.5-3.3	14.8-3.9	0.7-0.17	2.6-0.42	2.6-0.49	12.4-1.6	4.8-1.5	52.7-1.5
Conglomérat récifal	50.9-12.5	47.8-12.5	80.8-18.9	143-23.8	136-25.4	83.3-11.0	51.3-16.1	604-17.2
Front récifal	1.5-0.36	14.0-3.7	11.7-2.7	12.6-2.1	33.0-6.1	35.6-4.7	0.4-0.11	111-3.2
* Dalle	45.8-11.3	37.6-9.8	29.5-6.9	45.6-7.6	74.6-13.9	139-18.4	53.2-16.7	440-12.5
* Récif intérieur de lagon	4.8-1.2	1.7-0.44	30.0-7.0	32.9-5.5	38.2-7.1	45.0-6.0	31.4-9.9	188-5.4
Cuvettes et vasques	24.9-6.1	27.7-7.2	39.5-9.3	61.6-10.2	34.0-6.3	26.4-3.5	9.0-2.8	232-6.6
Chenaux et couloirs de marée	30.8-7.6	54.8-14.3	48.1-11.3	47.0-7.8	9.7-1.8	57.4-7.6	53.0-16.7	310-8.8
* Fonds détritiques	100-24.6	56.2-14.7	73.0-17.1	91.6-15.2	84.6-15.7	148-19.6	23.8-7.5	589-16.8
Sable	7.8-1.9	11.5-3.0	5.3-1.25	4.3-0.72	5.6-1.0	21.7-2.9	2.8-0.88	60.0-1.7
* Fonds meubles avec pâtés coralliens isolés	17.4-4.3	17.8-4.6	53.1-12.4	80.0-13.3	35.4-6.6	139-18.4	42.3-13.3	319-9.1
* Fonds meubles sur dalle	54.8-13.5	28.6-7.4	29.5-6.9	0-0	74.6-13.9	51.1-6.8	53.2-16.7	440-12.5
Pinacles	1.4-0.33	0-0	0-0	0-0	12.0-2.2	9.8-1.3	8.2-2.6	32.1-0.91
Total	407-100	384-100	427-100	603-100	538-100	756-100	318-100	3514-100

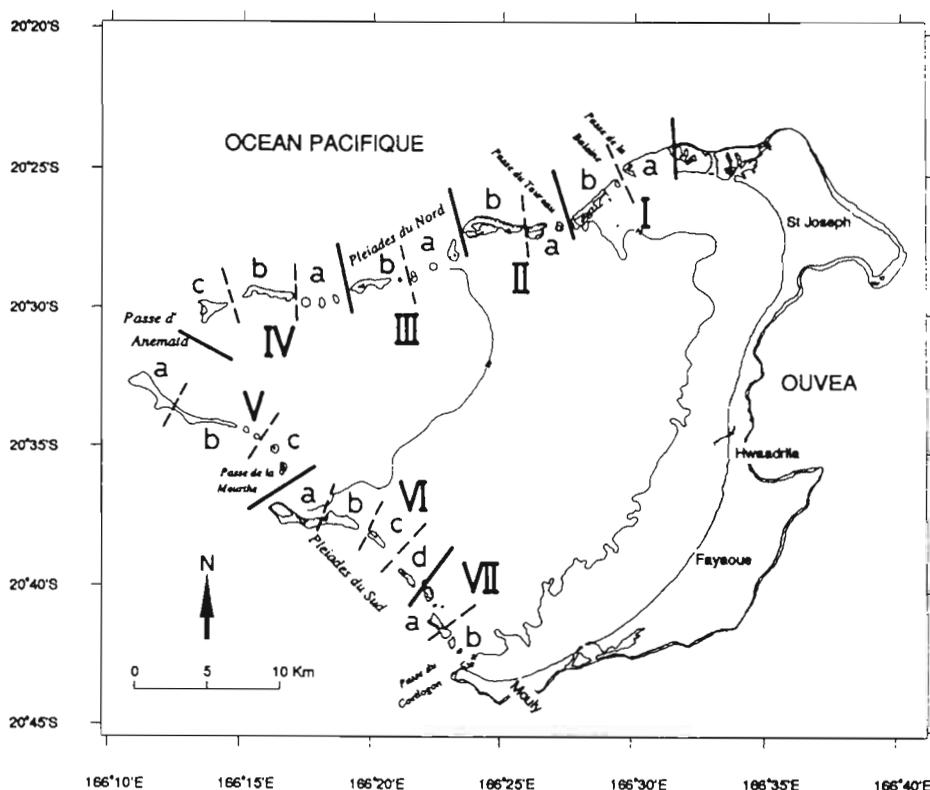


Figure 40 : définition des zones et des sous-zones récifales

Dans notre nomenclature, la "dalle" représente des zones où affleurent des formations indurées caractérisées par l'absence de relief et le plus souvent très pauvres en faune fixée. Les "fonds détritiques" englobent plusieurs types de formations leur principale caractéristique étant la présence de sédiments très

grossiers (gravier, débris coralliens, petits blocs). A proximité des formations coralliennes s'étendent soit des fonds meubles (plus de 10 cm d'épaisseur de sédiment) avec des petits pâtes coralliens (moins de 1m de diamètre) isolés -dénommées "fonds meubles avec pâtes coralliens isolés-, soit des fonds meubles peu épais recouvrant de la dalle -dénommés "fonds meubles sur dalle". A l'intérieur du lagon existent de nombreuses formations récifales caractérisées par un tombant de quelques mètres à la base duquel se trouvent des débris ou des poches de sable grossier. Ces formations ont été regroupées sous le terme "récifs intérieurs de lagon".

Au cours de la phase terrain nous avons pu constater qu'il existait un gradient nord - sud et un gradient est -ouest dans la géomorphologie des zones récifales du lagon d'Ouvéa. Pour essayer, d'une part de quantifier ces gradients et d'autre part définir des zones à composition homogène, les formations récifales ont été divisées en 18 sous-zones (figure 40) et une analyse hiérarchique (similarité du χ^2) a été conduite sur la composition (nombre de pixels par thème, données centrées et réduites) de ces dernières. La figure 41 indique que ces zones peuvent être classées en 3 groupes. Si on excepte la zone 6a (figure 40) qui présente des similitudes avec le nord-ouest du lagon, les zones se groupent suivant leur proximité géographique.

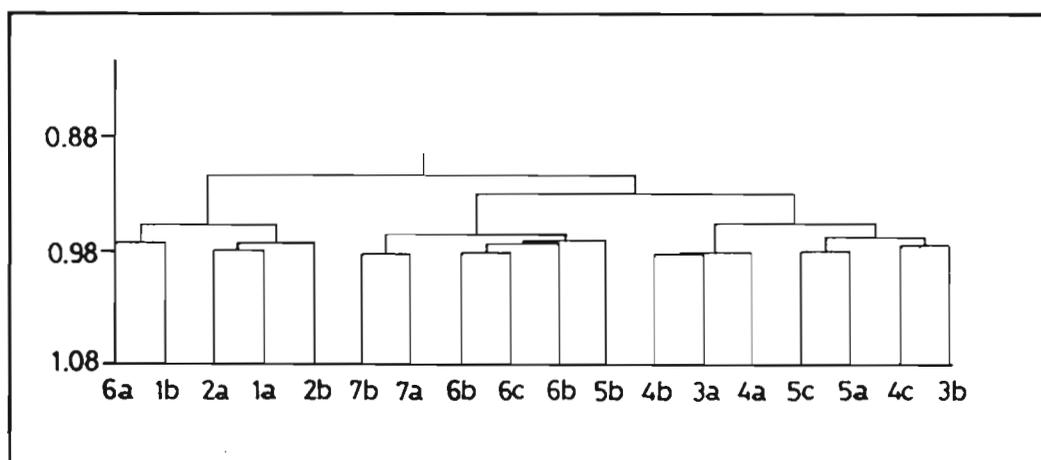


Figure 41 : analyse hiérarchique des sous-zones récifales en fonction de leur géomorphologie (tableau 12)

Le premier groupe, situé au nord-est du lagon est caractérisé par un pourcentage plus important de récifs frangeants et moins important de fonds meubles avec pâtes coralliens et de conglomérats que les 2 autres groupes. Le peu de fonds meubles près des récifs dans cette zone a déjà été noté par Chevillon et al. (1992) et dans le paragraphe 2.1. Le pourcentage moins important de conglomérats récifaux est lié à l'étroitesse du plateau récifal dans cette zone. En revanche, l'importance des récifs frangeants est due à la présence de nombreux îlots dans ce secteur. La différence principale reste cependant la quasi absence de récif intérieurs, ce qui a des conséquences importantes sur la répartition de la faune. En effet, les récifs intérieurs sont des habitats protégés où les juvéniles de poissons peuvent trouver refuge.

Le second groupe s'étend de l'île des Jumeaux (Pléiades du Nord) jusqu'à la passe de la Meurthe (Pléiades du Sud) et correspond donc aux récifs à l'ouest de la rupture de pente décrite au paragraphe 2.13. Faute d'îlots, les récifs frangeants sont peu développés dans cette zone. A l'inverse, le récif est large et les conglomérats récifaux plus importants qu'ailleurs. On note également une plus grande abondance de cuvettes récifales.

Le troisième groupe est constitué de la partie est des Pléiades du Sud. Cette partie du lagon diffère sensiblement du reste des formations récifales par la présence de dalle nue près des zones de passe, par des récifs intérieurs importants, par la grande surface de fonds meubles avec pâtes coralliens épars ainsi que quelques formations coralliennes importantes qui sont quelque peu analogues aux pinacles des atolls polynésiens. On note aussi qu'il y a peu de cuvettes récifales, ceci étant sans doute lié à l'exposition des récifs barrières aux alizés.

Les paragraphes précédents ont mis en évidence des différences quantitatives entre les différentes zones récifales du lagon d'Ouvéa, mais il existe aussi des variations dans l'agencement des thèmes et dans leur distribution sur les récifs. Ces différences sont plus difficiles à caractériser, mais peuvent avoir d'importantes conséquences sur la répartition de la faune. Le détail de la distribution des 15 thèmes retenus est donnée sur les figures 42 à 61.

Pleiades du Nord (1-2)

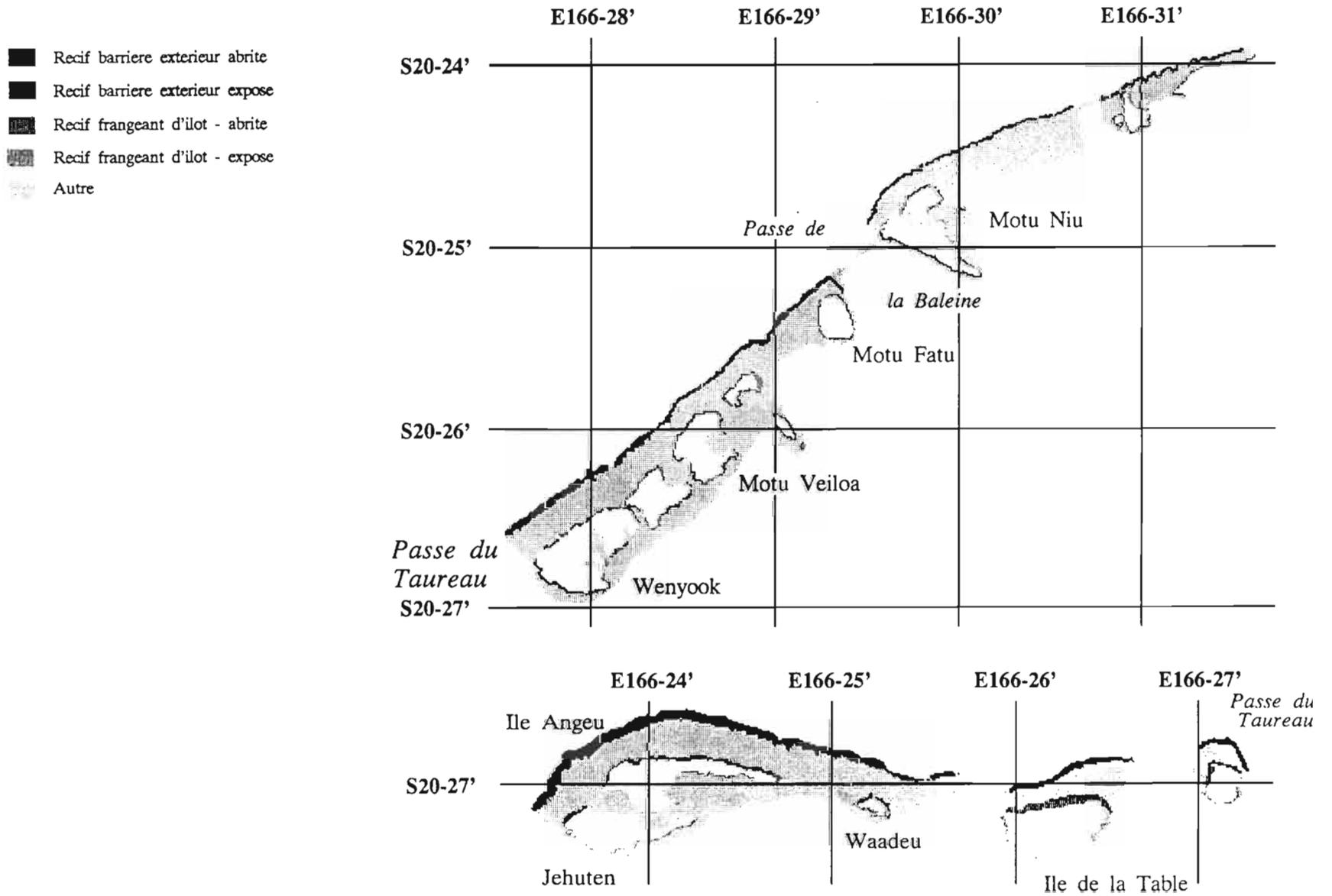


Figure 42 : répartition des récifs barrière et des récifs frangeants dans les zones 1 et 2 (d'Abiget à Jehuten)

Pleiades du Nord (3-4)

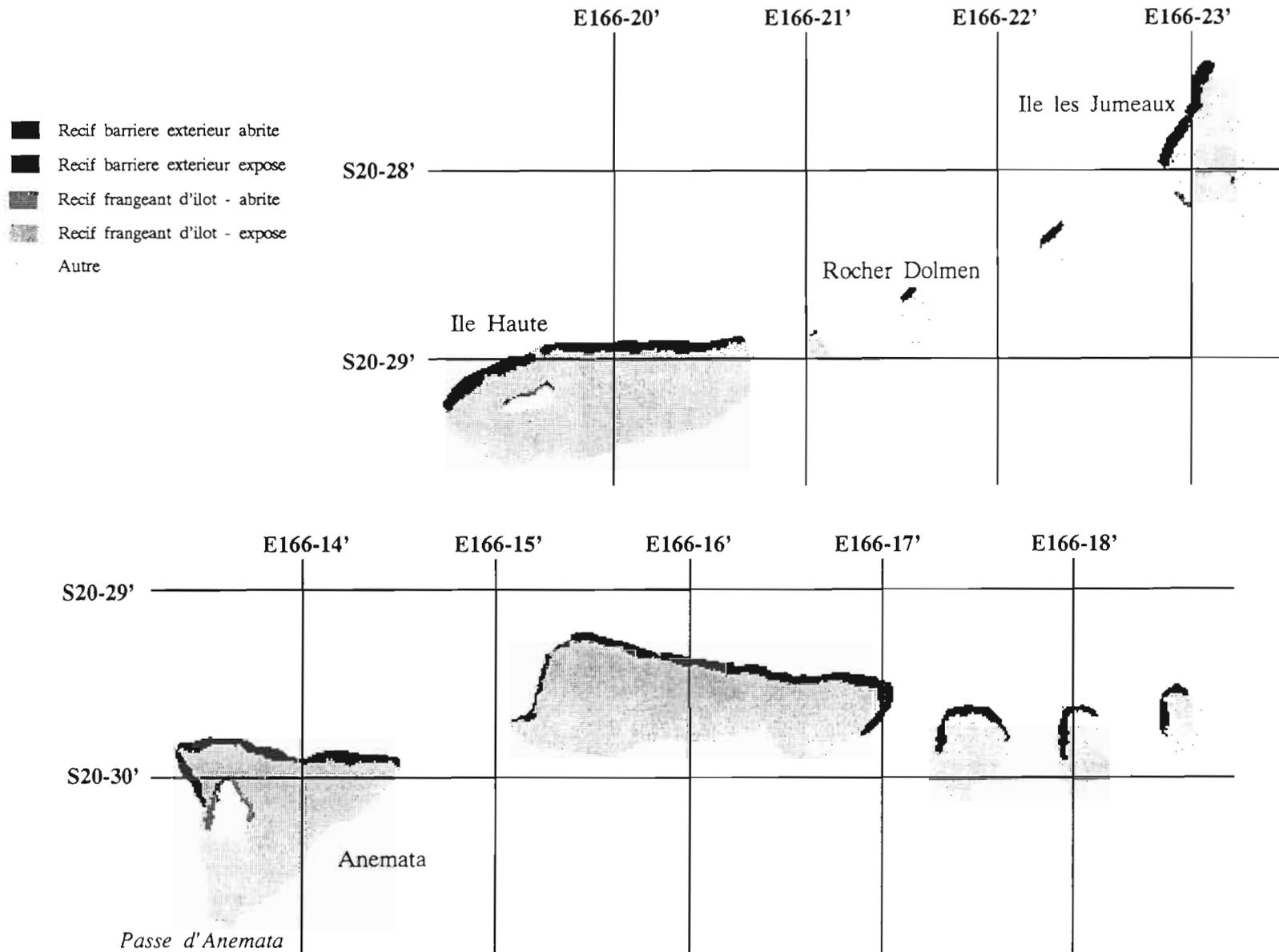
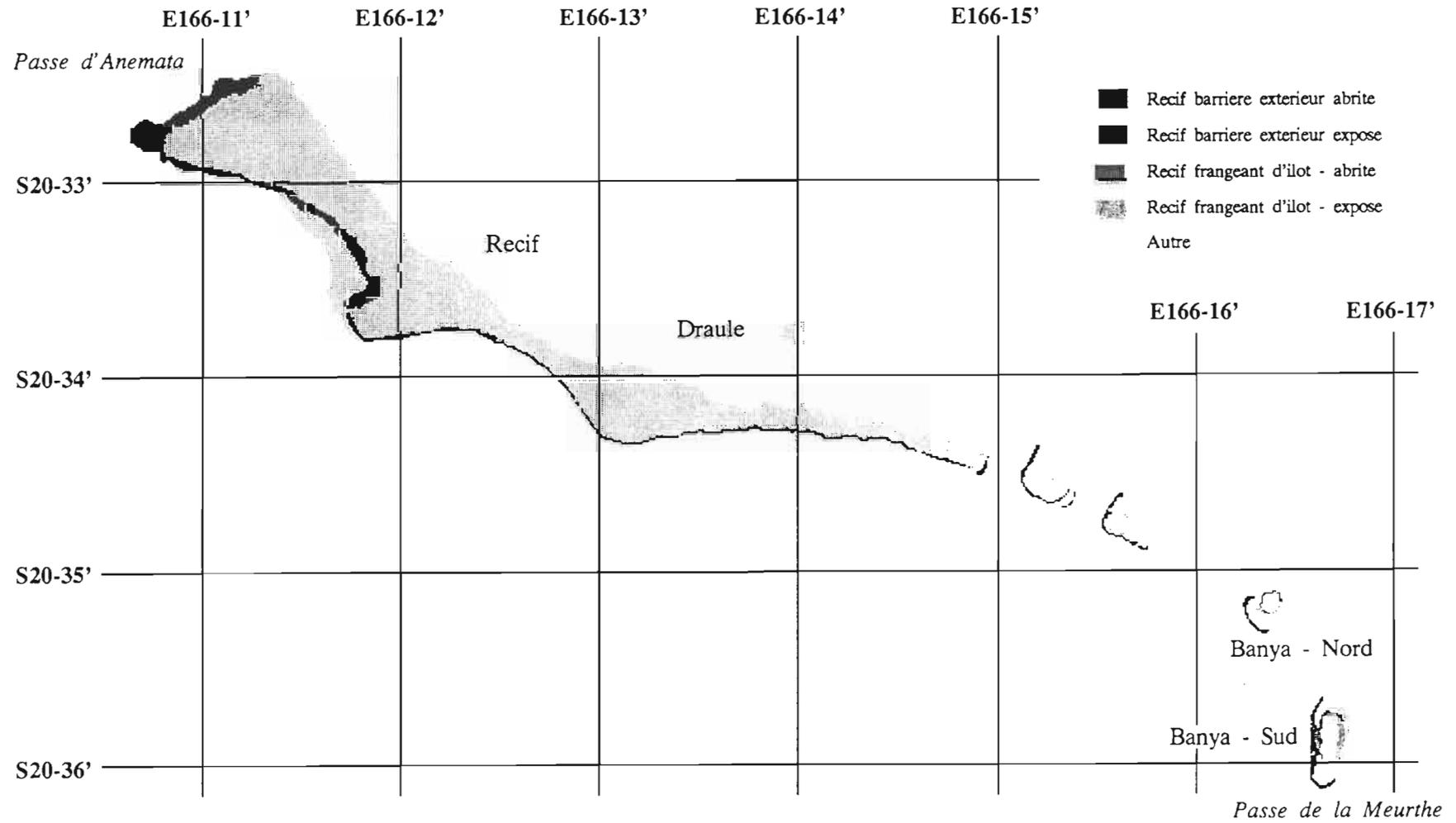


Figure 43 : répartition des récifs barrière et des récifs frangeants dans les zones 3 et 4 (Jumeaux à Anemata)

Pleiades du Sud (5)

Figure 44 : répartition des récifs barrière et des récifs frangeants dans la zone 5 (récif Draule et les Banya)



Pleiades du Sud (6)

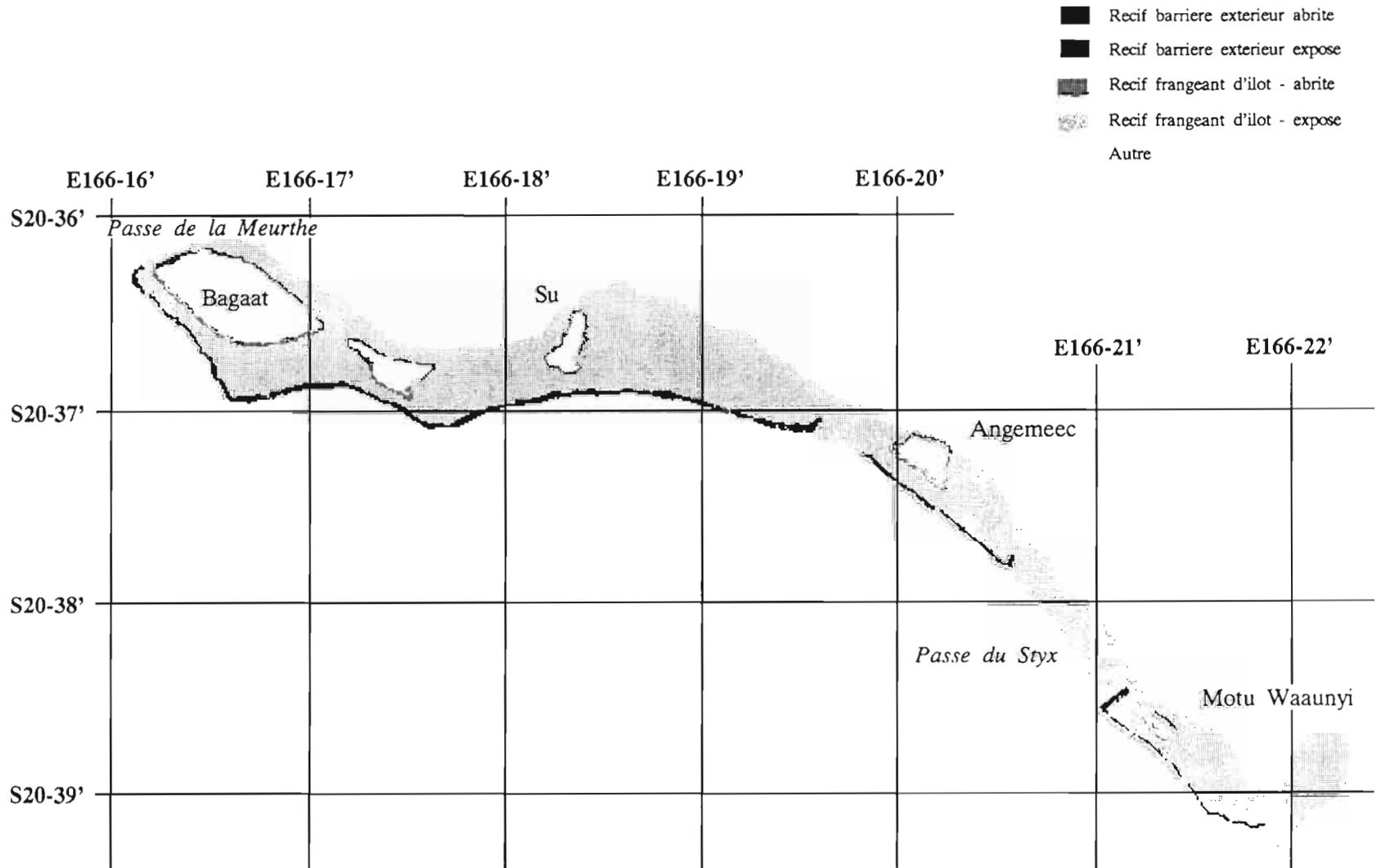


Figure 45 : répartition des récifs barrière et des récifs frangeants dans la zone 6 (Bagaat à Waaunyi)

Pleiades du Sud (7)

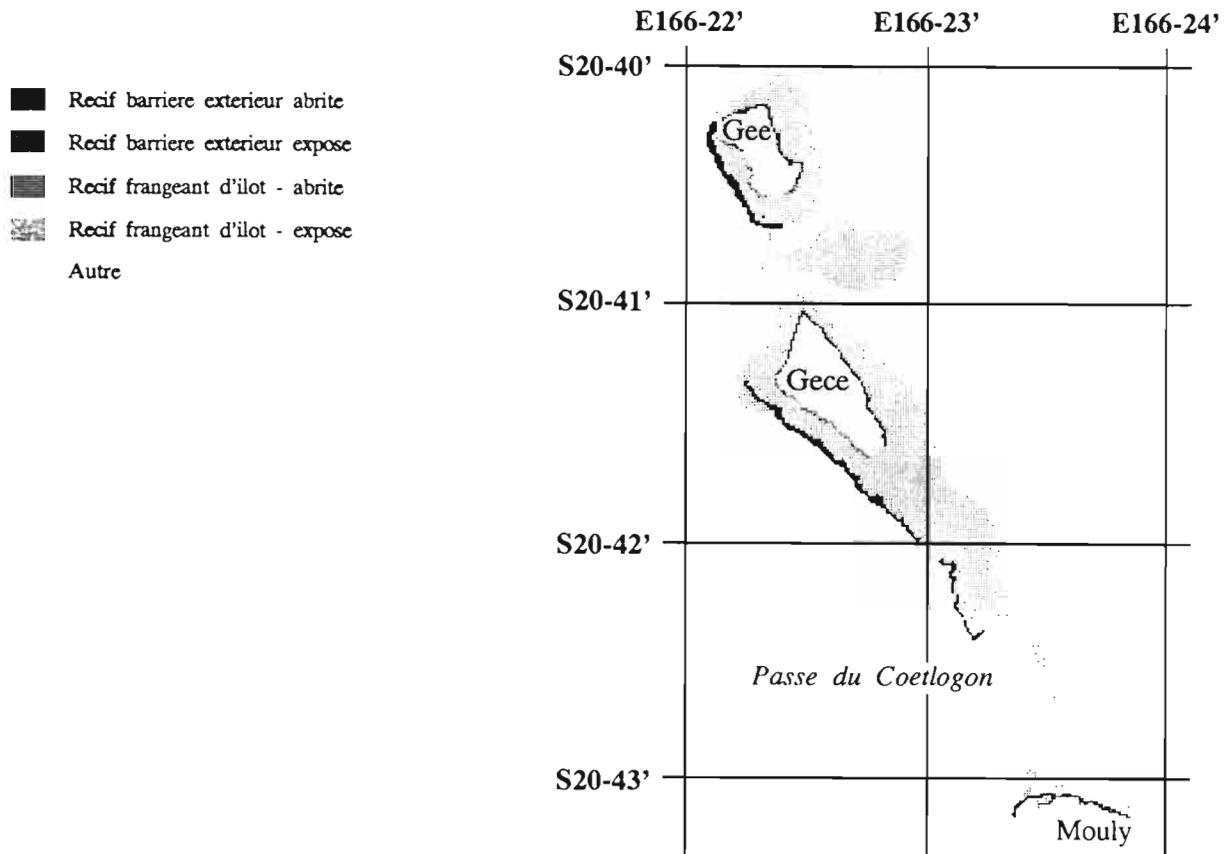
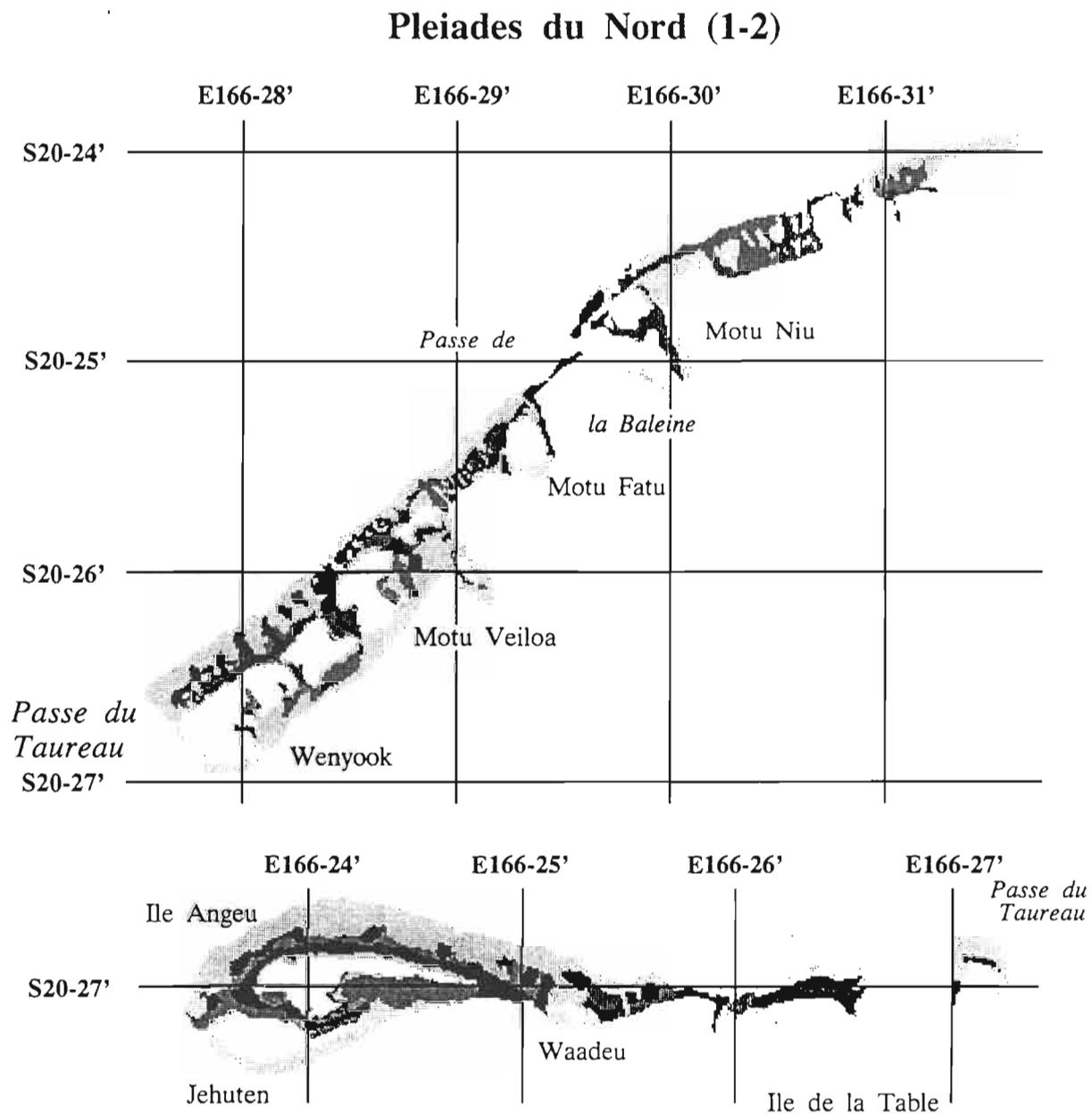


Figure 46 : répartition des récifs barrière et des récifs frangeants dans la zone 7 (de Gee à la pointe de Mouly)

Les figures 42 à 46 montrent que l'importance des récifs extérieurs croît d'est en ouest. Ces récifs comportent des éperons sillons très marqués dans les Pléiades du Nord, surtout dans leur partie ouest, alors que dans les Pléiades du Sud les éperons sillons sont souvent absents et remplacés par un tombant de 8 à 20m de dénivelé en haut du quel se développent des formations de coraux branchus. Il existe une grande différence de faune fixée entre les récifs barrière exposés et ceux abrités des alizés. Ces derniers sont souvent très pauvres en faune fixée, en particulier en corail. La distribution des récifs frangeants est naturellement liée à la distribution des îlots, ces derniers étant essentiellement à l'est de la ligne de rupture de pente. Il existe là également des différences entre les récifs abrités et les récifs exposés aux alizés, et entre ceux des Pléiades du Nord et ceux des Pléiades du Sud. Les récifs frangeants sous le vent sont moins découpés et le plus souvent moins riches en faune que ceux au vent. Les récifs frangeants des Pléiades du Sud comportent un trottoir plus large que ceux des Pléiades du Nord où ce trottoir est même souvent absent.

Figure 47 : répartition des cuvettes, chenaux, fonds détritiques et sables dans les zones 1 et 2 (d'Abiget à Jehuten)

- Cuvettes
- Chenaux - Zones a courant
- Fonds detritiques
- Sable
- Autre



Pleiades du Nord (3-4)

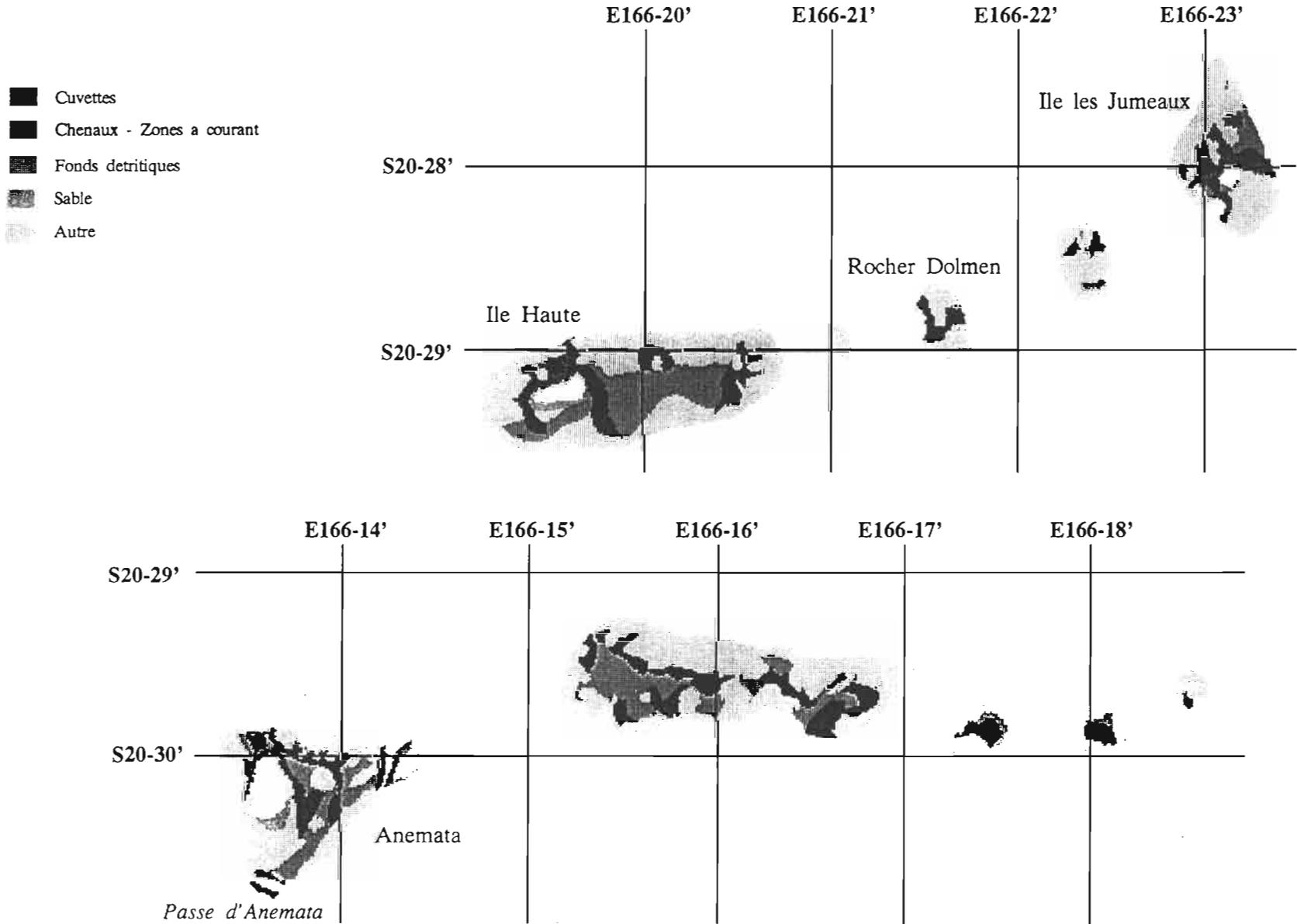


Figure 48 : répartition des cuvettes, chenaux, fonds détritiques et sables dans les zones 3 et 4 (des Jumeaux à Anemata)

Pleiades du Sud (5)

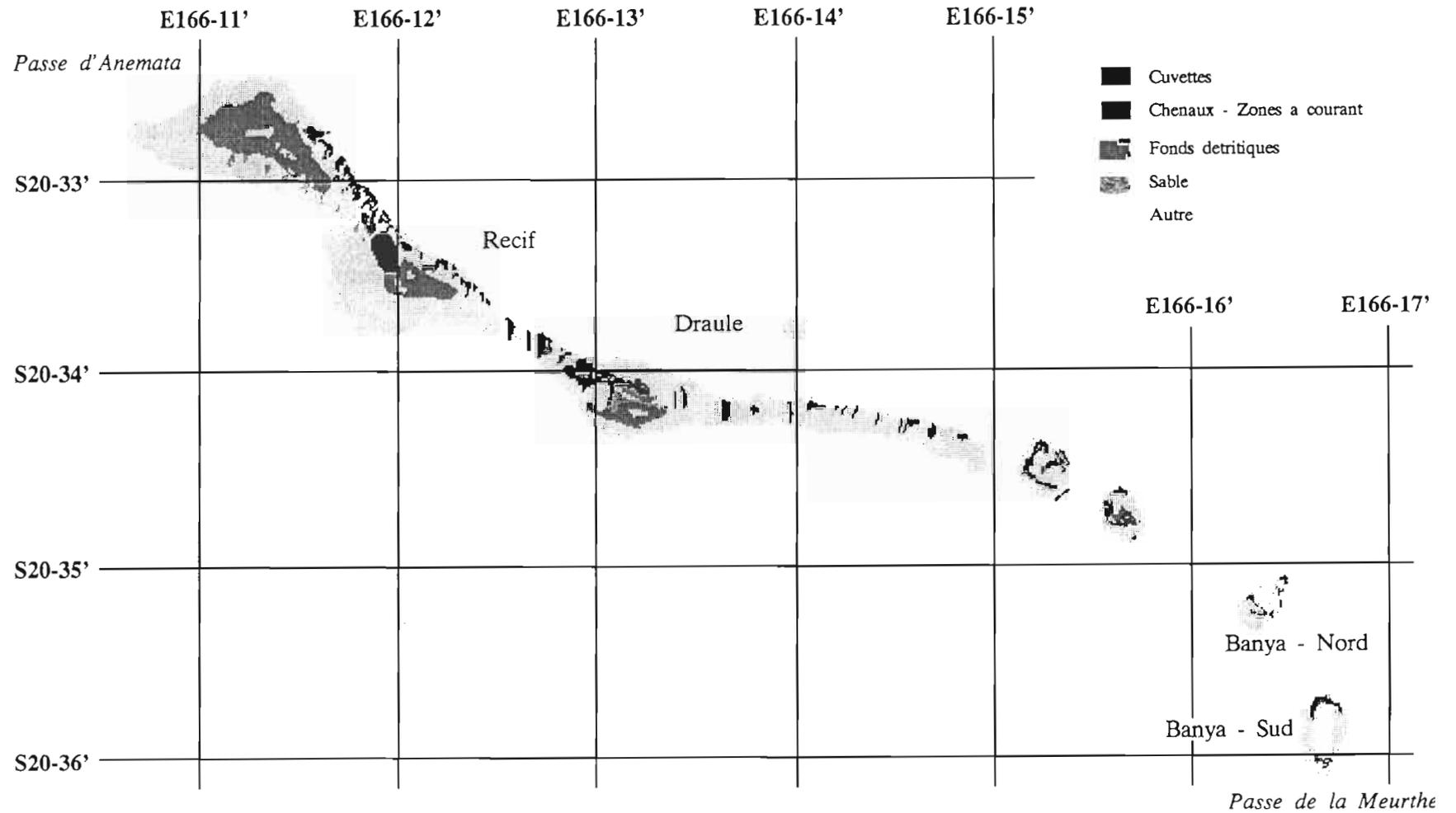


Figure 49 : répartition des cuvettes, chenaux, fonds détritiques et sables dans la zone 5 (récif Draule et les Banya)

Pleiades du Sud (6)

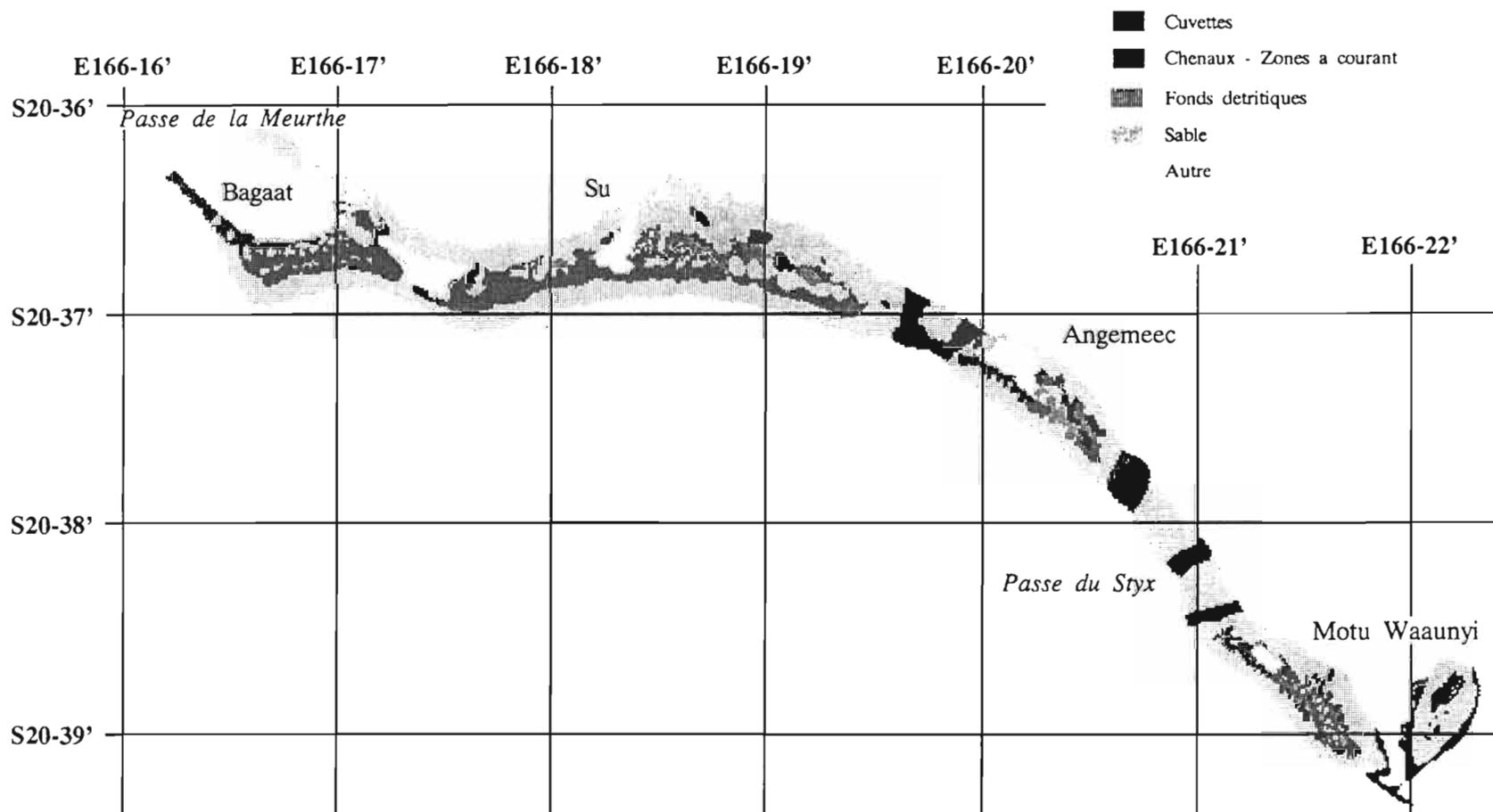


Figure 50 : répartition des cuvettes, chenaux, fonds détritiques et sables dans la zone 6 (de Bagaat au Motu Waaunyi)

Pleiades du Sud (7)

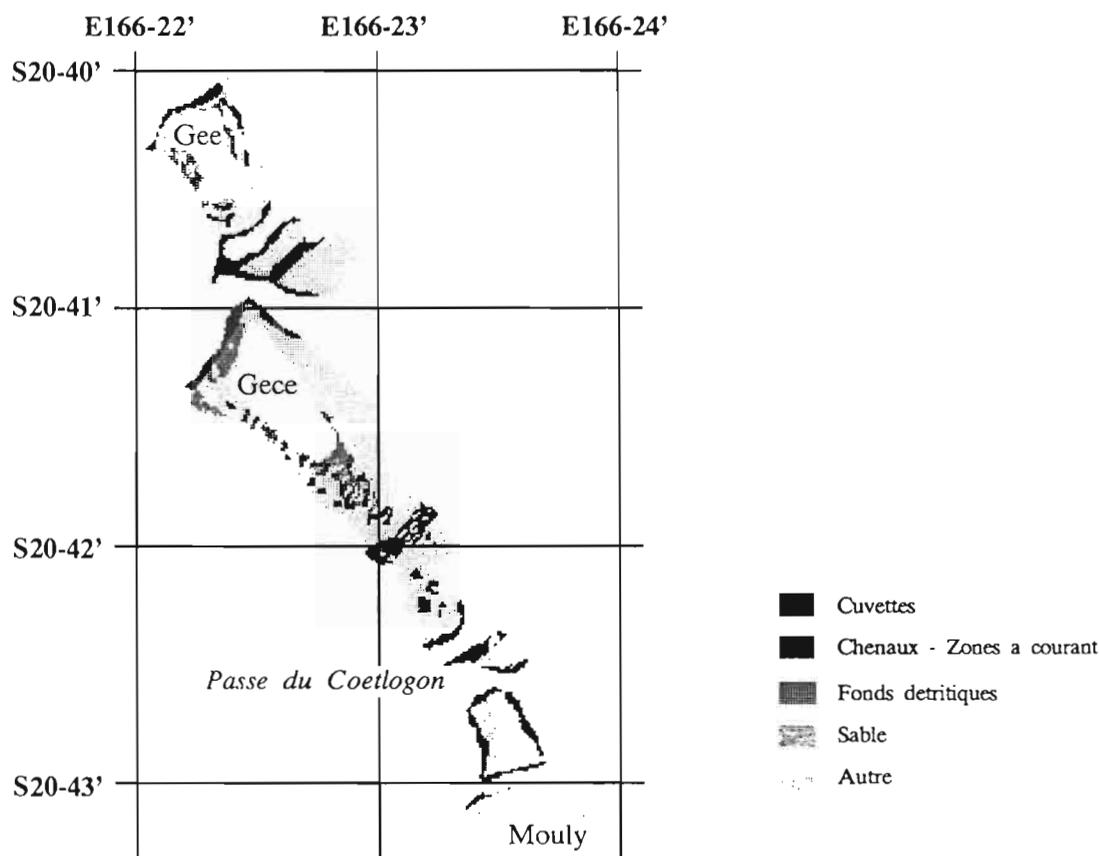


Figure 51 : répartition des cuvettes, chenaux, fonds détritiques et sables dans la zone 7 (de Gee à la pointe de Mouly)

Les figures 47 à 51 montrent la répartition des cuvettes, des chenaux et couloirs de marée, des fonds détritiques et du sable. Les cuvettes et vasques sont de taille beaucoup plus grandes sur les Pléiades du Nord que sur celles du Sud. Cette taille tendrait également à augmenter d'est en ouest. Dans les Pléiades du Nord ces formations sont essentiellement en arrière du récif barrière, alors que dans les Pléiades du Sud elles se situent à proximité du récif intérieur. Ces cuvettes et vasques sont des zones d'accumulation de débris et de sable et sont le plus souvent dépourvues de faune fixée. Ce sont des zones où les poissons prédateurs et certains herbivores de grande taille se concentrent à certaines périodes de la marée, vraisemblablement en fonction des courants.

Les chenaux sont plus développés dans la partie sud où le fond entre les îlots est souvent moins important que dans la partie nord. Dans ces chenaux le fond est le plus souvent rocheux avec des organismes adaptés aux courants tels que certaines gorgones et alcyonnaires. Ce sont par ces chenaux et par les passes que se font une grande partie des échanges d'eau entre le lagon et l'extérieur. Les couloirs de marée sont des zones généralement situées en arrière du récif barrière par les quelles s'écoulent les eaux du platier vers le lagon. Ces couloirs sont quasiment absents des Pléiades du Sud. Dans les Pléiades du Nord ces formations se trouvent le plus souvent sous le vent des îlots et permettent aux courants de s'écouler le long des récifs frangeants. Ces couloirs ont en général de quelques dizaines de mètres à 200-300 m de large et n'excèdent pas 1 km de long.

Les fonds détritiques se situent en arrière des cuvettes ou au vent des îlots sur les récifs des Pléiades du Nord alors que ces formations sont surtout présentes sur le milieu des récifs ou à proximité du front récifal dans les Pléiades du Sud. La dimension de ces formations tend à augmenter d'est en ouest, en d'autres termes les fonds détritiques sont plus morcelés à proximité de l'île principale qu'au voisinage de la passe d'Anemata. Les zones de sable sont dans l'ensemble peu fréquentes. Dans les Pléiades du Nord elles se situent essentiellement au vent des îlots alors que dans les Pléiades du Sud elles sont dispersées à proximité des fonds détritiques et ont des dimensions plus petites que dans le nord du lagon.

Pleiades du Nord (1-2)

- Plateau corallien
- Zone de brisants du recif barriere
- Dalle
- Recif d'interieur de lagon
- Autre

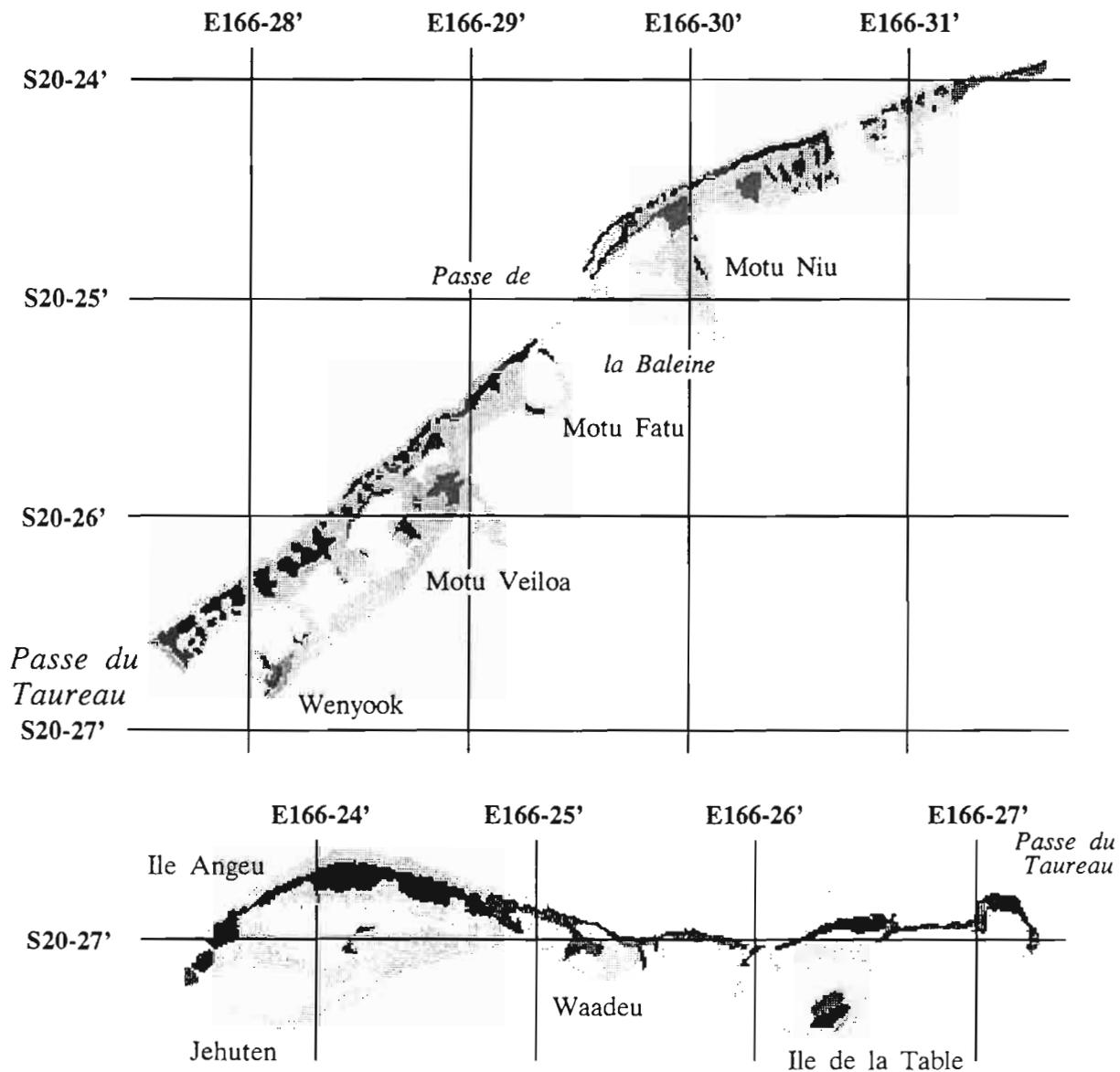


Figure 52 : répartition des conglomérats récifaux (plateau corallien), des fronts récifaux (zone de brisants du récif barrière), de la dalle et des récifs intérieur de lagon dans les zones 1 et 2 (d'Abigot à Jehuten)

Pleiades du Nord (3-4)

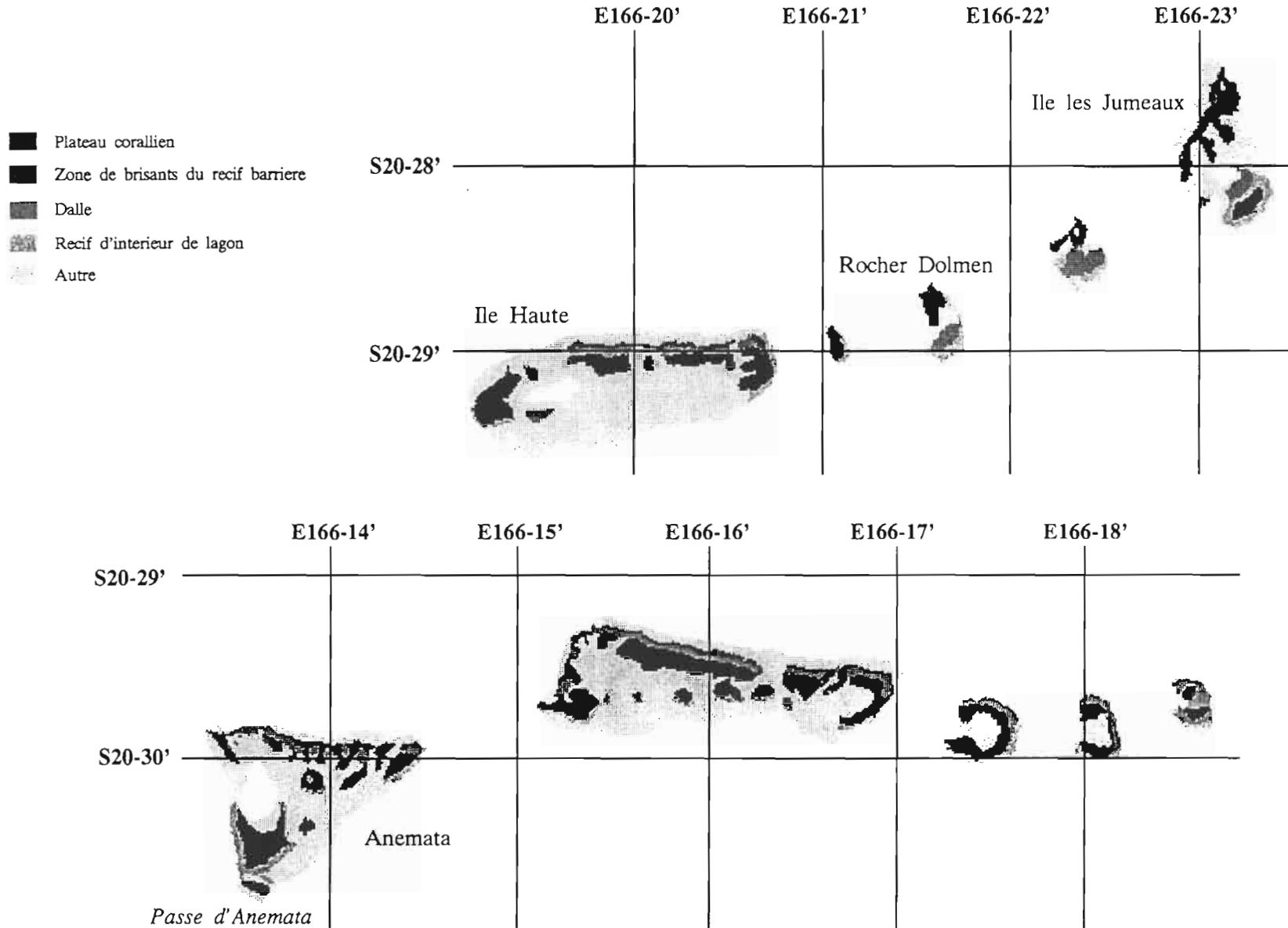


Figure 53 : répartition des conglomérats récifaux (plateau corallien), des fronts récifaux (zone de brisants du récif barrière), de la dalle et des récifs intérieurs de lagon dans les zones 3 et 4 (des Jumeaux à Anemata)

Pleiades du Sud (5)

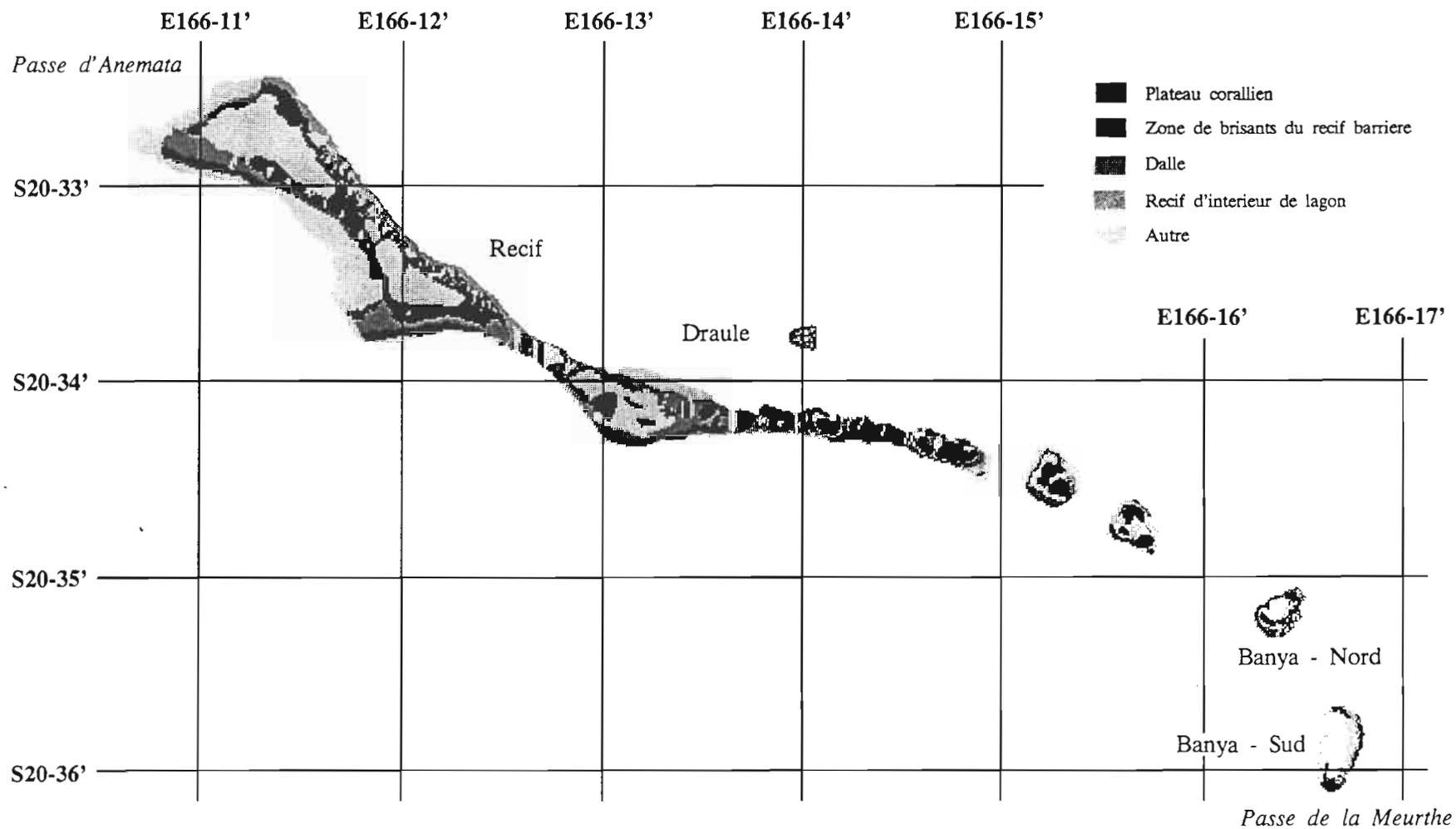


Figure 54 : répartition des conglomérats récifaux (plateau corallien), des fronts récifaux (zone de brisants du récif barrière), de la dalle et des récifs intérieur de lagon dans la zone 5 (récif Draule et les Banya)

Pleiades du Sud (6)

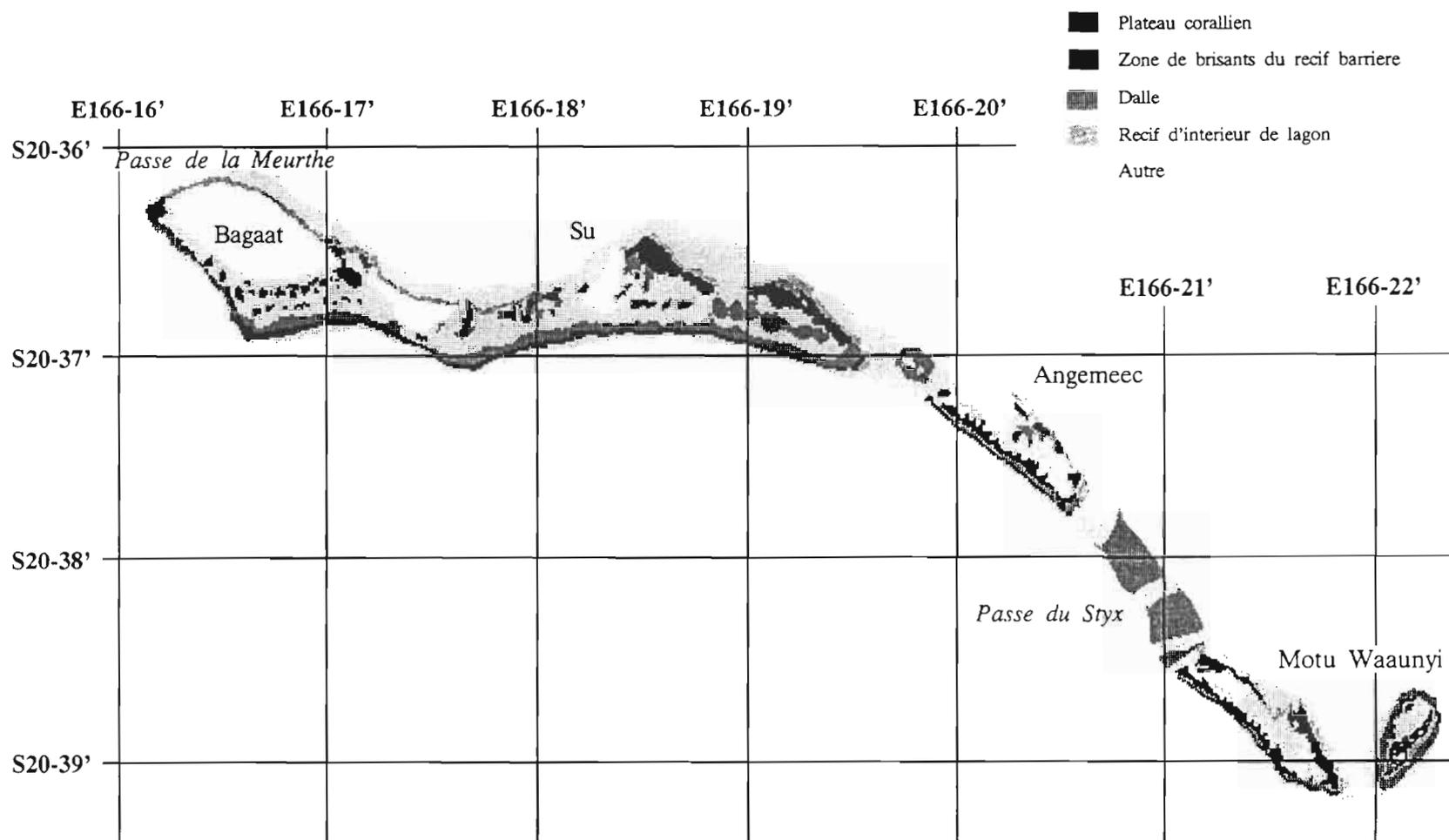


Figure 55 : répartition des conglomérats récifaux (plateau corallien), des fronts récifaux (zone de brisants du récif barrière), de la dalle et des récifs intérieur de lagon dans la zone 6 (de Bagaat au Motu Waaunyi)

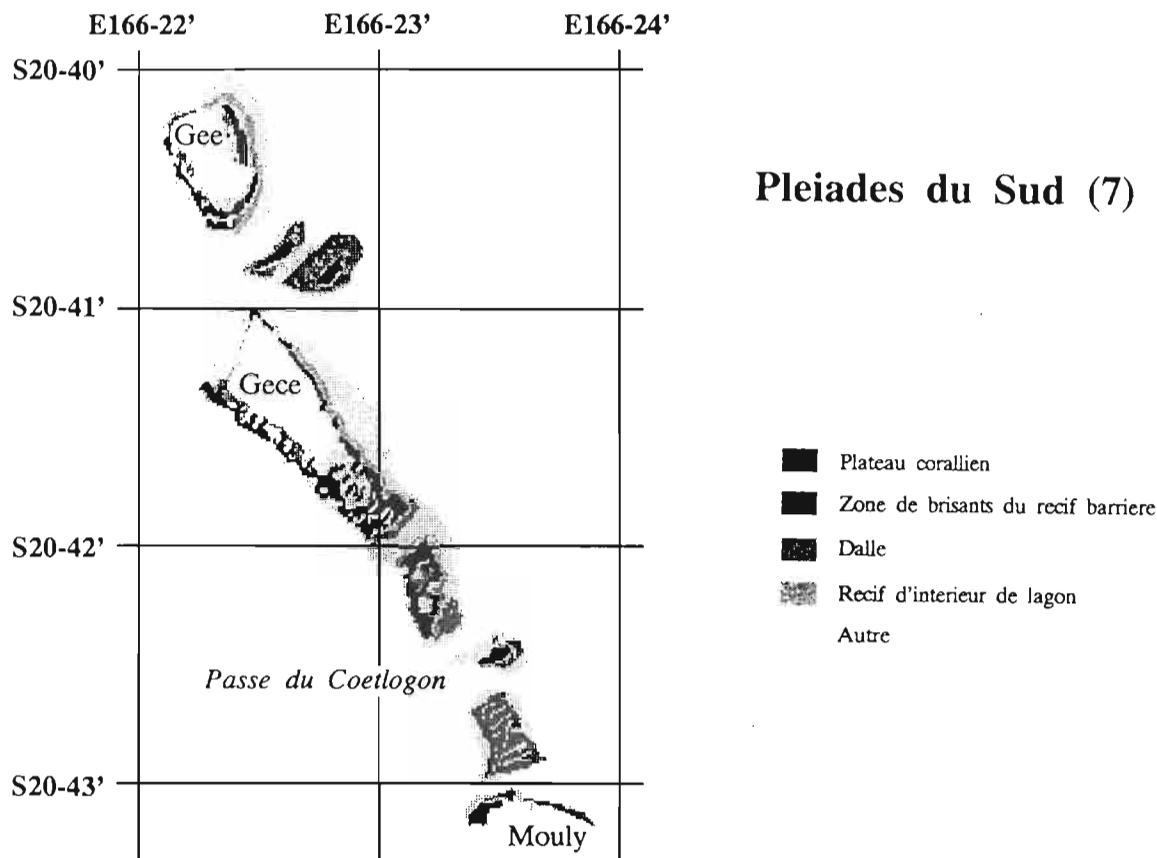


Figure 56 : répartition des conglomérats récifaux (plateau corallien), des fronts récifaux (zone de brisants du récif barrière), de la dalle et des récifs intérieur de lagon dans la zone 7 (de Gee à la pointe de Mouly)

Les figures 52 à 56 indiquent la répartition du conglomérat récifal, du front récifal, de la dalle et des récifs d'intérieur de lagon. Dans les Pléiades du Nord le conglomérat récifal se répartit surtout en arrière du récif barrière le long duquel il forme une bande presque continue, coupée par endroit par des chenaux et couloirs de marée. Il existe également quelques zones de conglomérat récifal au vent des îlots, mais ces formations ne sont pas en contact avec le conglomérat récifal d'arrière récif barrière. Dans les Pléiades du Sud le conglomérat récifal est réparti très différemment, soit constituant une bande de part et d'autre du récif, les 2 bandes ainsi formées se rejoignant sur les récifs étroits, soit disposé en formations éparées dans la partie sous le vent des récifs. Sur l'ensemble des récifs la dimension des formations de conglomérat récifal a tendance à augmenter d'est en ouest.

Le front récifal est plus développé dans les Pléiades du Sud que dans celles du Nord où ces formations vont en diminuant d'ouest en est. Sur l'ensemble des Pléiades du Sud et sur la partie ouest de celles du Nord la dalle forme une zone étroite immédiatement en arrière du front récifal. A l'est de l'île des Jumeaux (Pléiades du Nord) la dalle constitue des zones assez étendues qui ne sont pas en relation avec le front récifal. On note également dans cette zone ainsi que près de la passe du Styx (Pléiades du Sud) des formations de dalles entre les récifs.

Les récifs d'intérieur de lagon sont presque absents de la partie est des Pléiades du Nord. Ces formations se situent au vent des conglomérats récifaux à l'ouest des Pléiades du Nord. Ils ne sont en général pas continus mais constitués d'une succession de petits récifs avec un tombant à l'intérieur du lagon n'excédant pas 10 m. Dans les Pléiades du Sud les récifs intérieurs forment une bande presque continue sur le côté interne des formations récifales. A l'ouest les récifs intérieurs ont des tombants pouvant atteindre 30 m et sont peu découpés. En se dirigeant vers l'île principale le tombant devient moins important, pour ne guère dépasser 5 m à l'îlot Gece. Ces récifs deviennent également beaucoup plus découpés vers l'est. Sous le vent des îlots on note que la faune fixée, corail surtout, est beaucoup moins abondante sur les récifs intérieurs que dans les zones comprises entre les îlots et exposées à la circulation d'eau passant au-dessus des récifs barrière.

Pleiades du Nord (1-2)

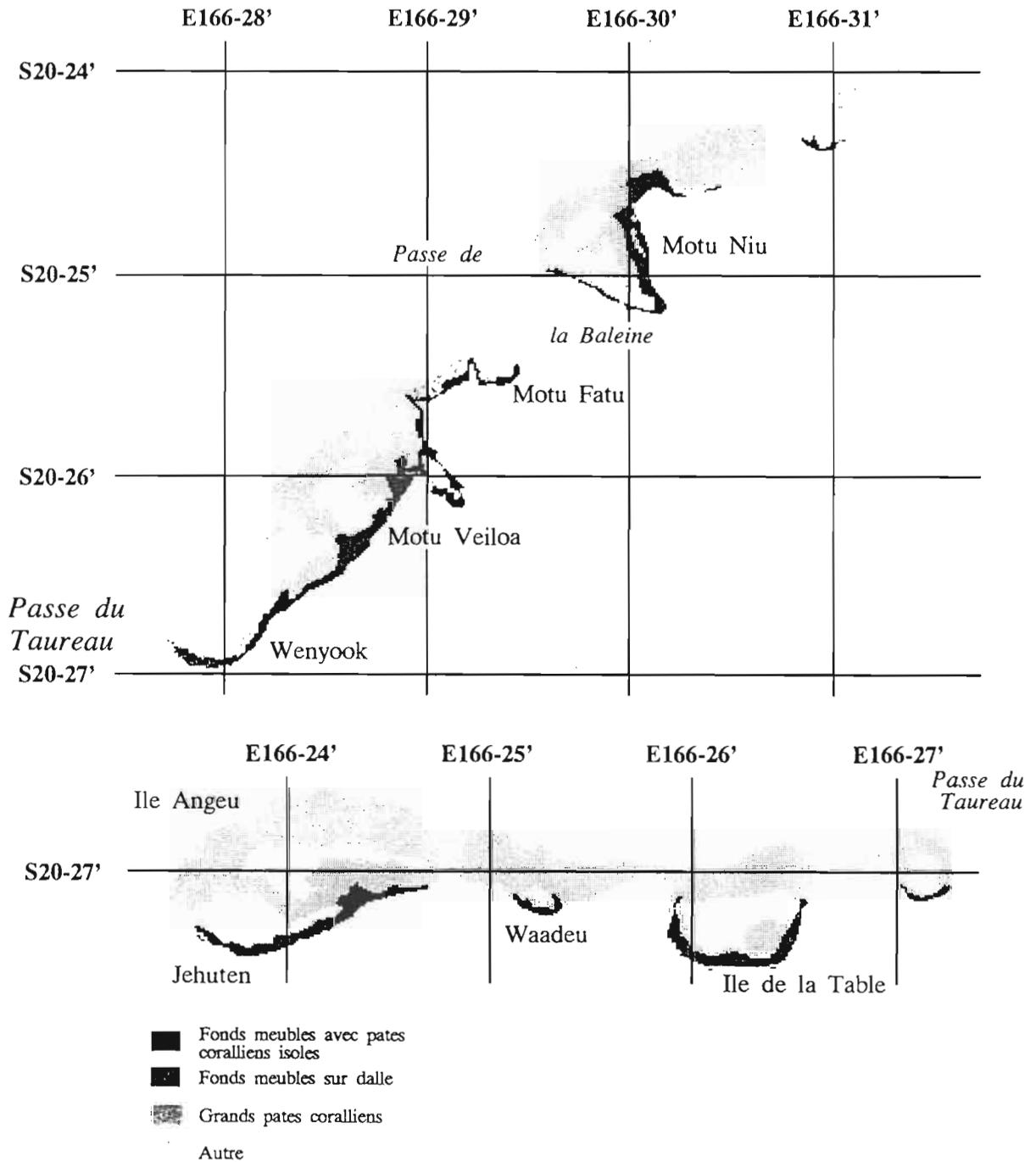


Figure 57 : répartition des fonds meubles avec pâtes coralliens ou dalle et des pinacles dans les zones 1 et 2 (d'Abiget à Jehuten)

Pleiades du Nord (3-4)

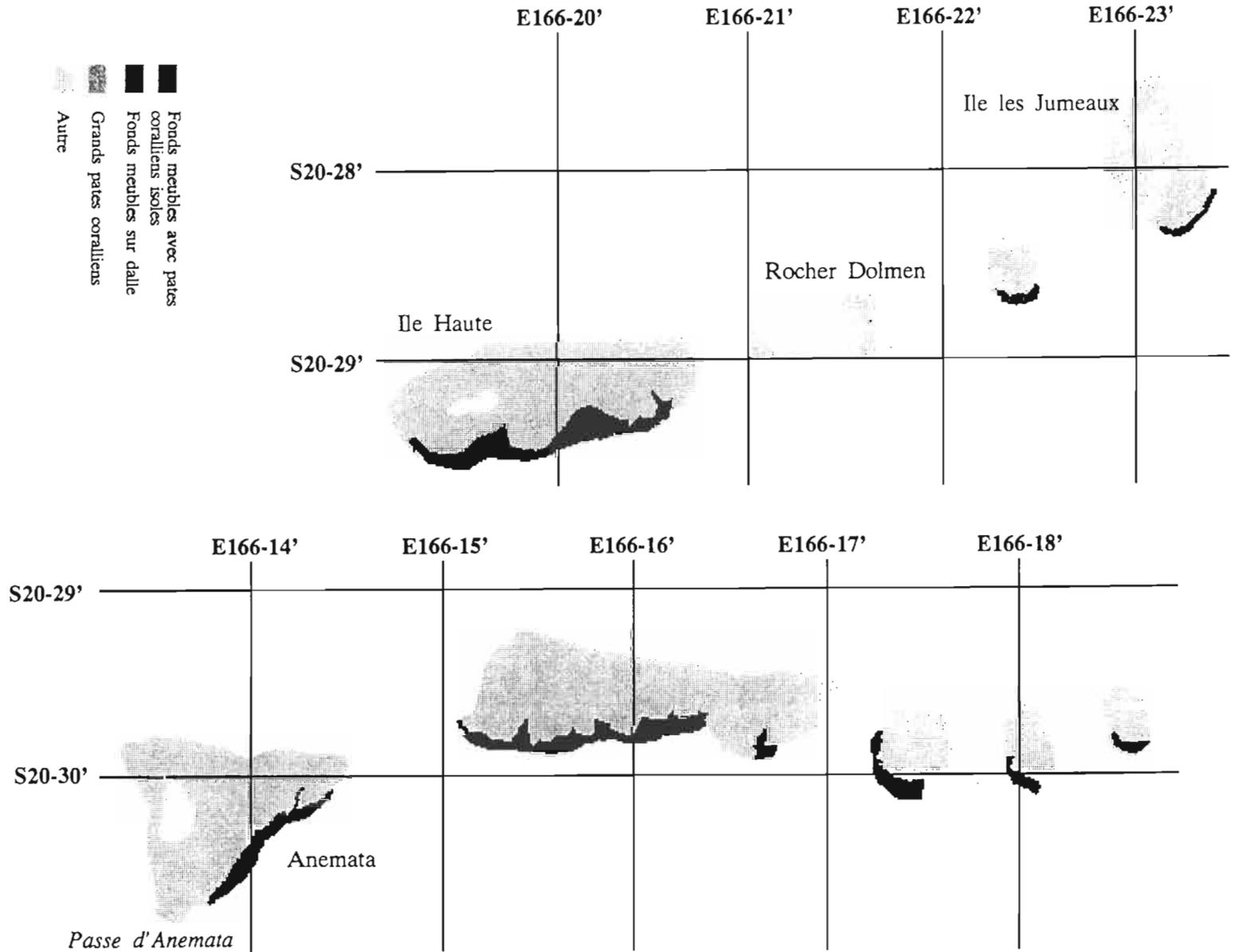


Figure 58 : répartition des fonds meubles avec patés coralliens ou dalle et des pinacles dans les zones 3 et 4 (des Jumeaux à Anemata)

Pleiades du Sud (5)

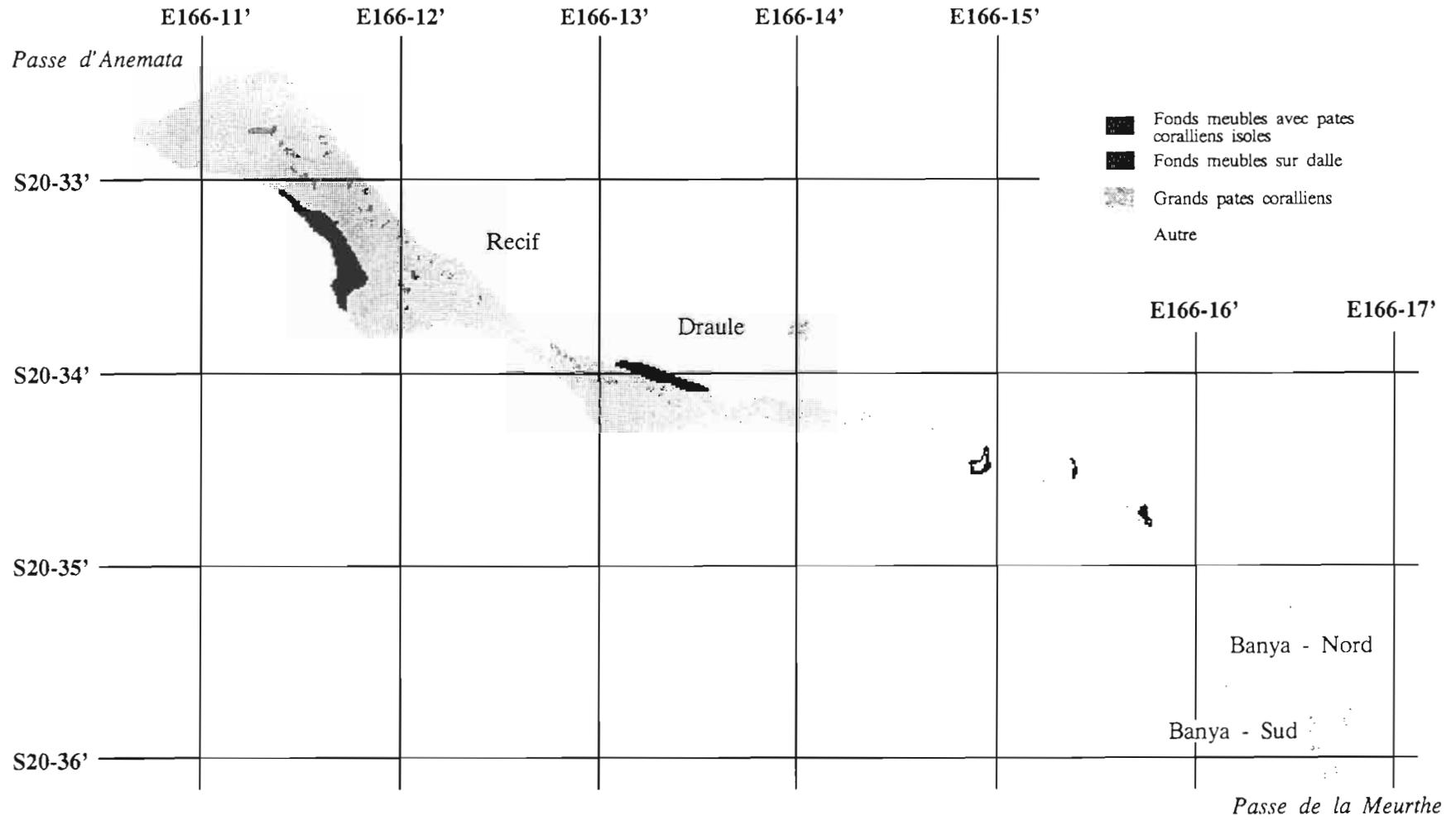


Figure 59 : répartition des fonds meubles avec pâtes coralliens ou dalle et des pinacles dans la zone 5 (récif Draule et les Banya)

Pleiades du Sud (6)

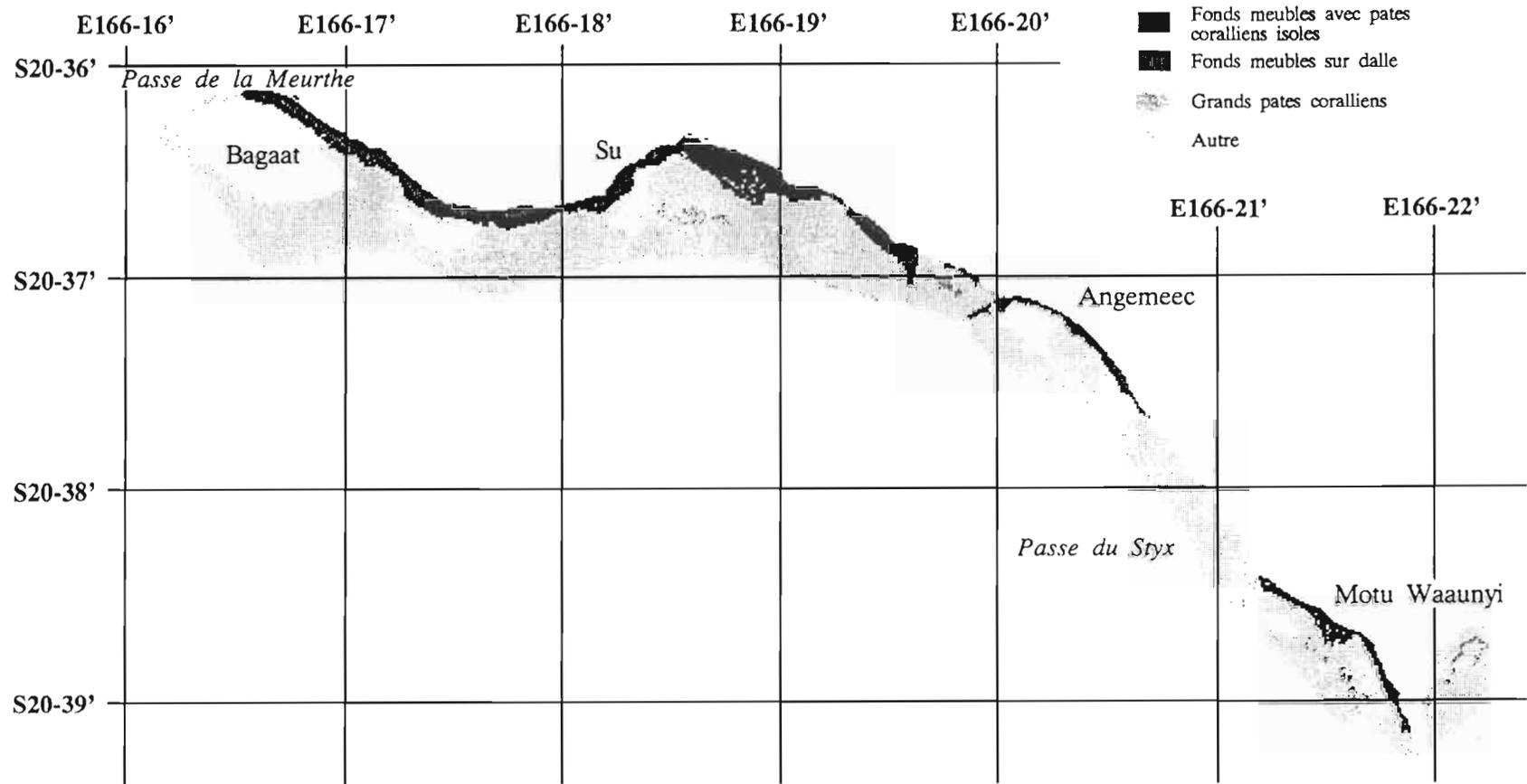


Figure 60 : répartition des fonds meubles avec pates coralliens ou dalle et des pinacles dans la zone 6 (de Bagaat au Motu Waaunyi)

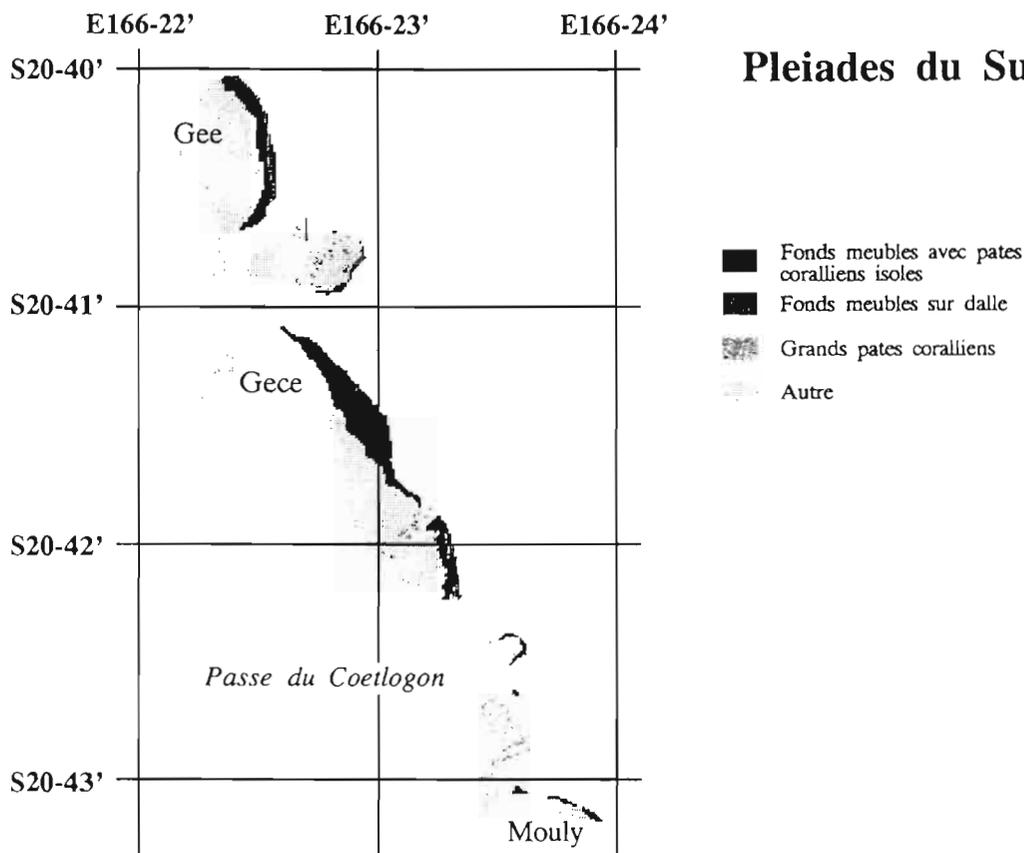


Figure 61 : répartition des fonds meubles avec pâtes coralliens ou dalle et des pinacles dans la zone 7 (de Gee à la pointe de Mouly)

Les figures 57 à 61 montrent la répartition des fonds de lagon associés aux formations récifales: les fonds meubles avec pâtes coralliens isolés et les fonds meubles sur dalle. Les fonds meubles sur dalle sont essentiellement situés près de l'île principale et sont plus développés dans la partie nord du lagon que dans la partie sud. Ces formations sont immédiatement derrière les récifs, à l'intérieur du lagon, dans les Pléiades du Nord, alors qu'elles sont précédées par des fonds meubles avec pâtes coralliens dans la partie sud. Ceci est peut-être lié à l'exposition aux alizés, l'intérieur du lagon y étant exposé au nord et protégé au sud. De ce fait les particules fines pourraient se déposer en arrière du récif au sud, mais seraient poussées par dessus le récif au nord. Dans les Pléiades du Nord les fonds meubles avec pâtes coralliens isolés sont importants surtout dans la partie à l'ouest de la rupture de pente dans des fonds supérieurs à 15 m. Ces formations sont sans doute présentes à l'intérieur du récif Draule mais dû à la profondeur n'ont pu être détectées. On note la présence de ces fonds meubles à pâtes coralliens isolés sur l'extérieur de ce récif Draule, à l'abri d'un coude du récif barrière. Ce type de fond est présent jusqu'à l'île principale.

Les pinnacles sont également représentés sur les figures 57 à 61. En fait sous ce terme sont regroupés des formations hétérogènes, allant de gros pâtes coralliens (plus de 10 m de diamètre) à des formations coralliennes de morphologie proche de celle des pinnacles des atolls polynésiens. Les pinnacles sont quasiment absents de la partie nord du lagon. Dans la partie sud ils sont dispersés dans les zones les plus profondes des récifs du sud du lagon et sont également présents en petits groupes à l'est des Pléiades du Sud.

Le recouvrement des différents thèmes a été estimé de la même façon que pour les fonds meubles côtiers et est représenté sur les figures 62 a,b,c. Le recouvrement est en général très important, mais il est essentiel de noter que les différents thèmes n'occupent pas la même position sur les récifs et que ceci permet la plupart du temps de les distinguer sans grand problème. Les thèmes étant le plus fréquemment adjacents sont représentés sur les mêmes figures. Ainsi la figure 62a montre qu'il y a peu de recouvrement entre les thèmes concernant la barrière récifale et le platier d'arrière récif. En revanche sur la figure 62b on remarque que les thèmes associés aux îlots et à l'arrière récif barrière présentent un recouvrement beaucoup plus important, en particulier il est difficile de séparer les fonds détritiques (thème 11) des cuvettes et vasques (thème 9). Ces 2

thèmes sont tous deux constitués de sédiments grossiers, ils diffèrent par leur morphologie et position sur le récif. Les thèmes concernant le récif intérieur et sa bordure (figure 62c) ne montrent de recouvrement important qu'entre cuvette et vasque (thème 9) et les fonds meubles avec pâtés coralliens (thème 13). Ces deux thèmes ont le plus souvent des profondeurs différentes et ne sont que rarement adjacents, la plupart du temps le récif intérieur les séparant. En conclusion, il est possible de séparer les différents thèmes choisis d'après leur situation sur le récif et par contraste avec les thèmes avoisinants. En revanche, il n'est pas possible de distinguer un thème uniquement d'après les valeurs de c1 et c2.

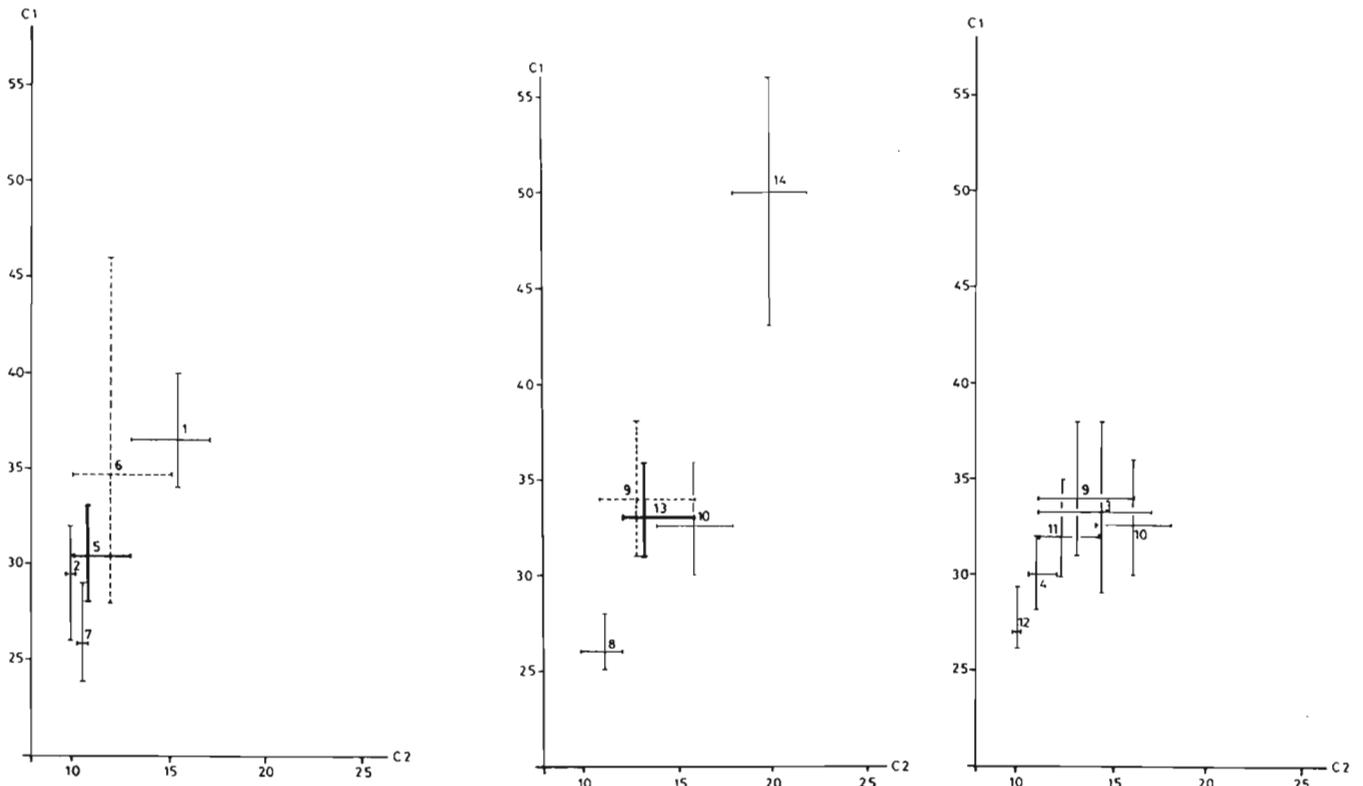


Figure 62 : distribution des valeurs de c1 et c2 pour les 15 thèmes définis pour les fonds durs. Les segments représentent les quartiles et les valeurs moyennes par l'intersection des segments

- a) récif barrière abrité (1), exposé (2); conglomérat récifal (5), front récifal (6), dalle (7)
- b) récif intérieur de lagon (8), cuvettes (9), chenaux (10), fonds meubles avec pâtés coralliens (13), avec dalle (14)
- c) récif frangeant abrité (3), exposé (4); sable (12), cuvettes (9), chenaux (10), fonds détritiques (11)

24 - le milieu pélagique

Les images CZCS ont été traitées à 2 niveaux, d'une part à moyenne échelle (300 x 300 km) de façon à observer des phénomènes océaniques, d'autre part à petite échelle (100 x 100 km) de manière à mettre en évidence les phénomènes côtiers. Pour des raisons techniques, la répartition des gris a été inversée entre les 2 échelles, sur les images 300 x 300 une teinte foncée indiquant des eaux pauvres en chlorophylle, sur les images 100 x 100 cela indique au contraire des eaux riches.

Les informations apportées par les images CZCS n'ayant pas été vérifiées par des mesures *in situ*, il convient de les considérer avec la plus grande prudence.

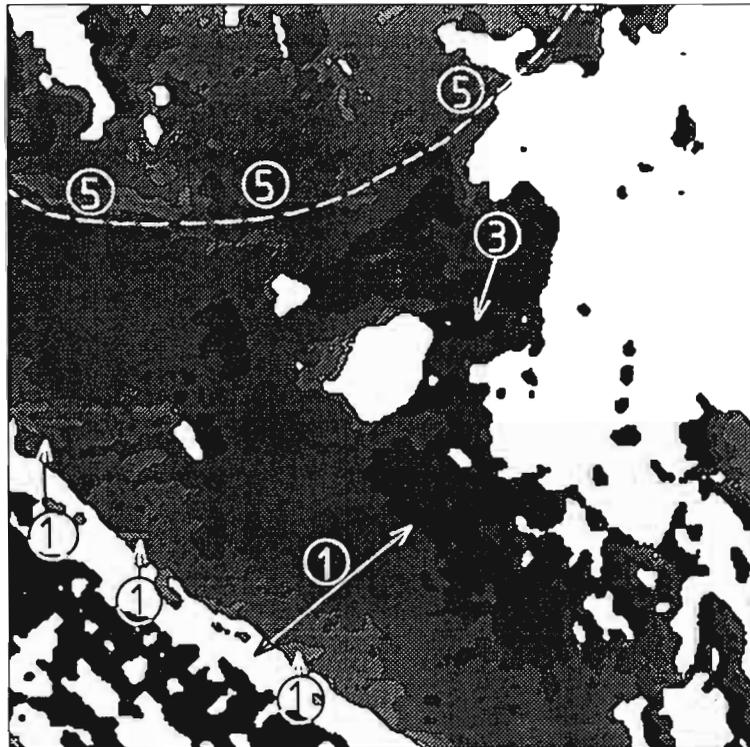
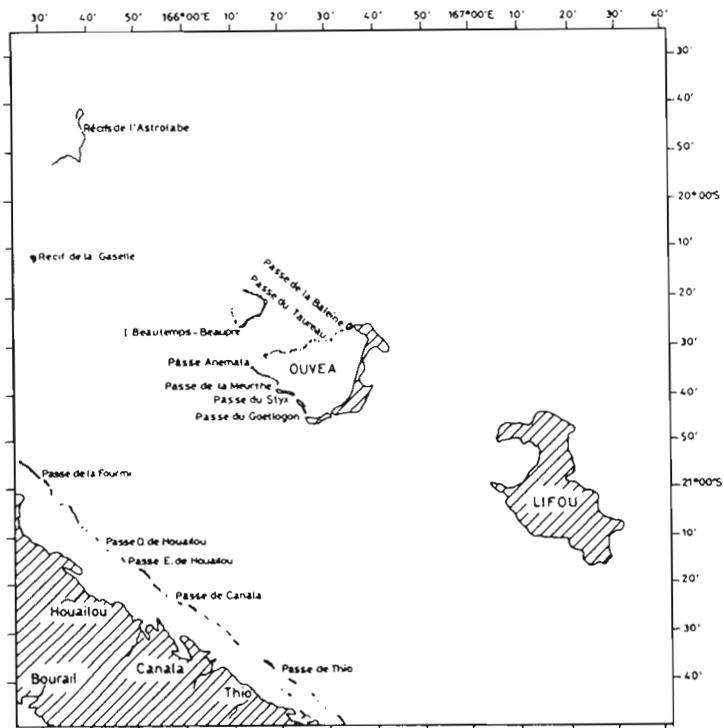


Figure 63 : image CZCS du 03-05-81. La partie traitée couvre 300 x 300 km, la zone couverte étant indiquée sur l'image au-dessus

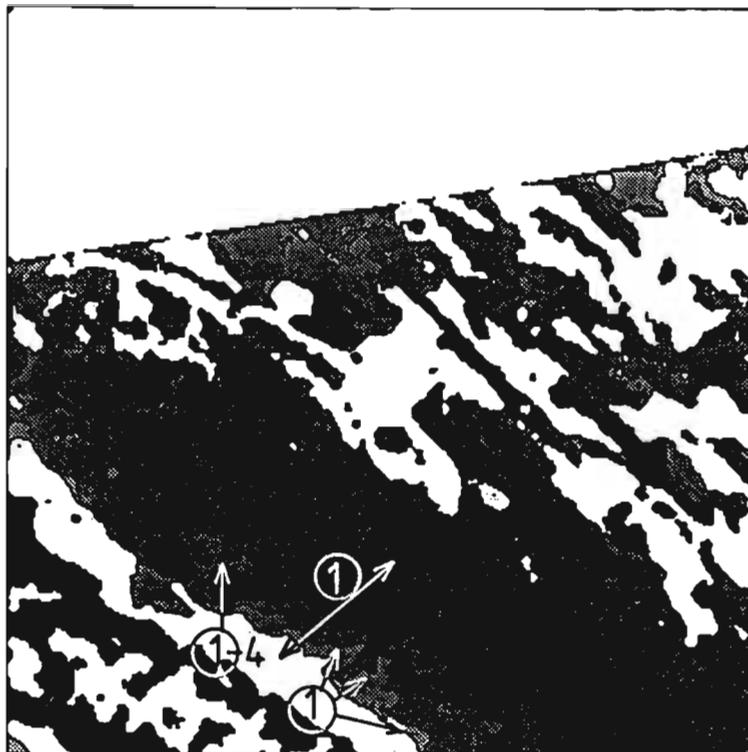


Figure 64: image CZCS du 17-04-81. La zone couverte est la même que sur le haut de la figure 63

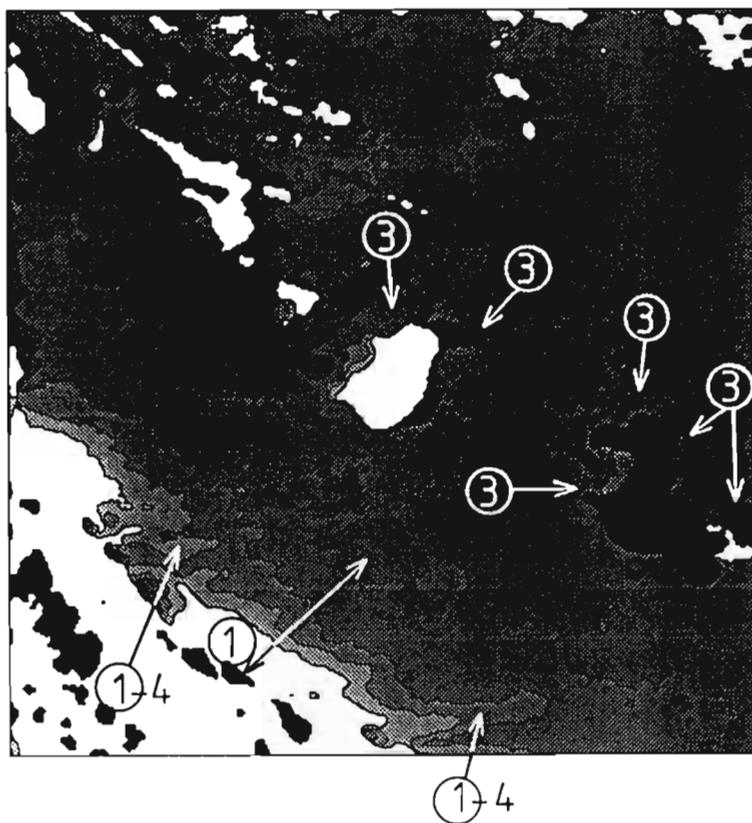


Figure 65 : image CZCS du 13-10-82. La zone couverte est la même que sur le haut de la figure 63

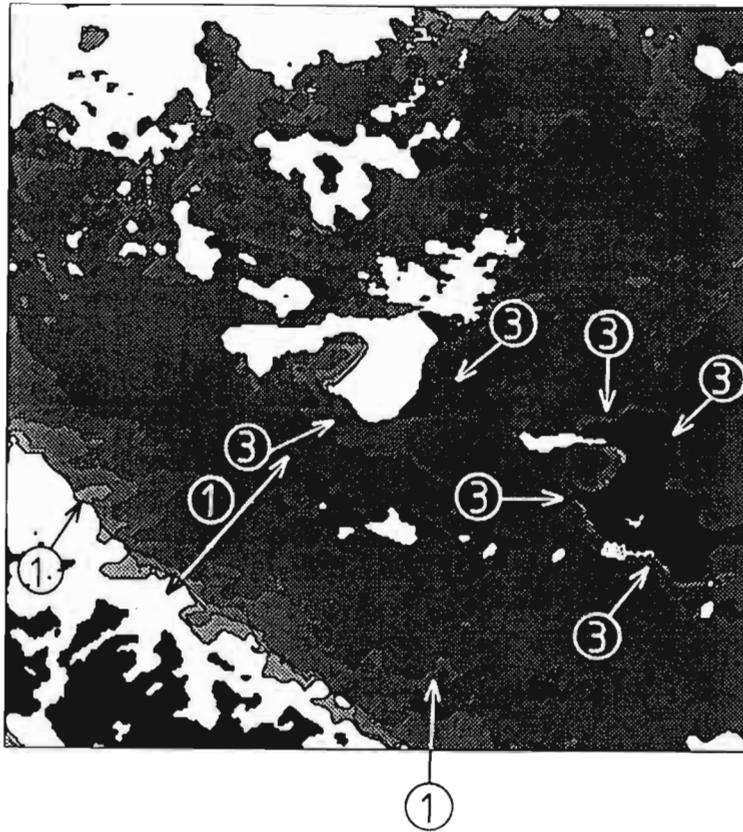


Figure 66: image CZCS du 04-10-83. La zone couverte est la même que sur le haut de la figure 63

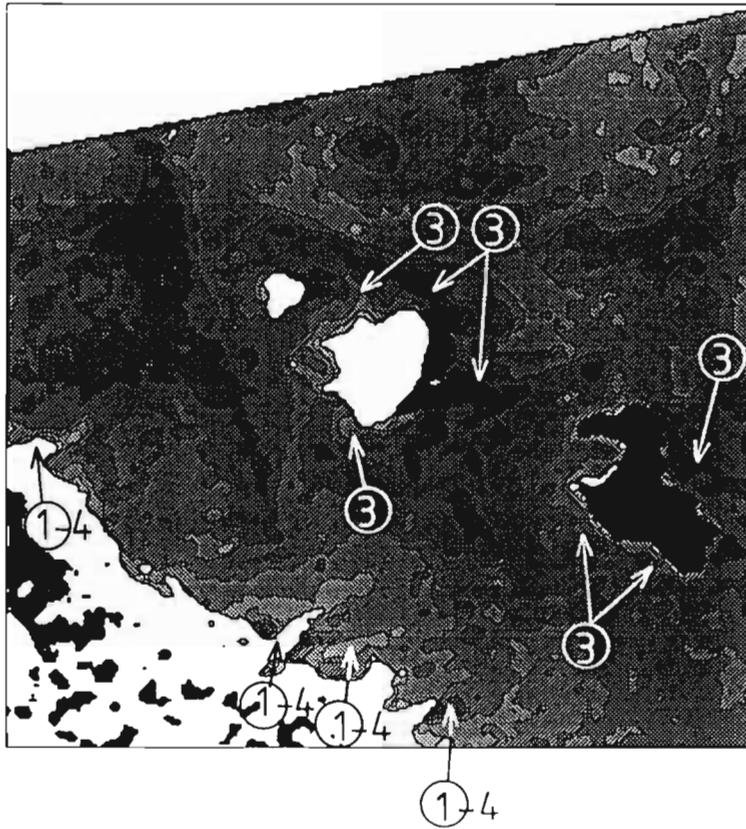


Figure 67 : image CZCS du 13-06-81. La zone couverte est la même que sur le haut de la figure 63

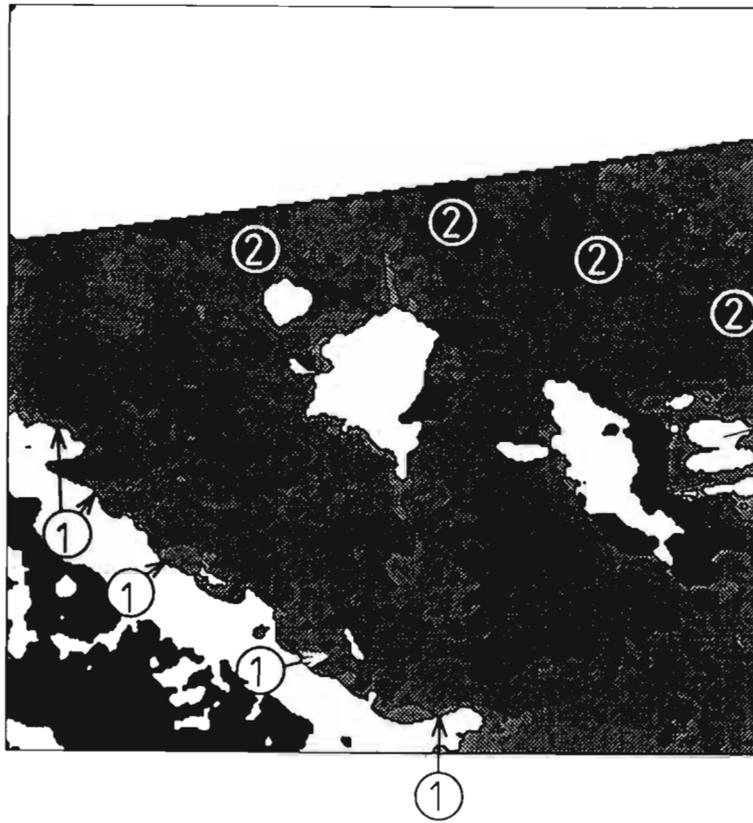


Figure 68: image CZCS du 22-09-83. La zone couverte est la même que sur le haut de la figure 63

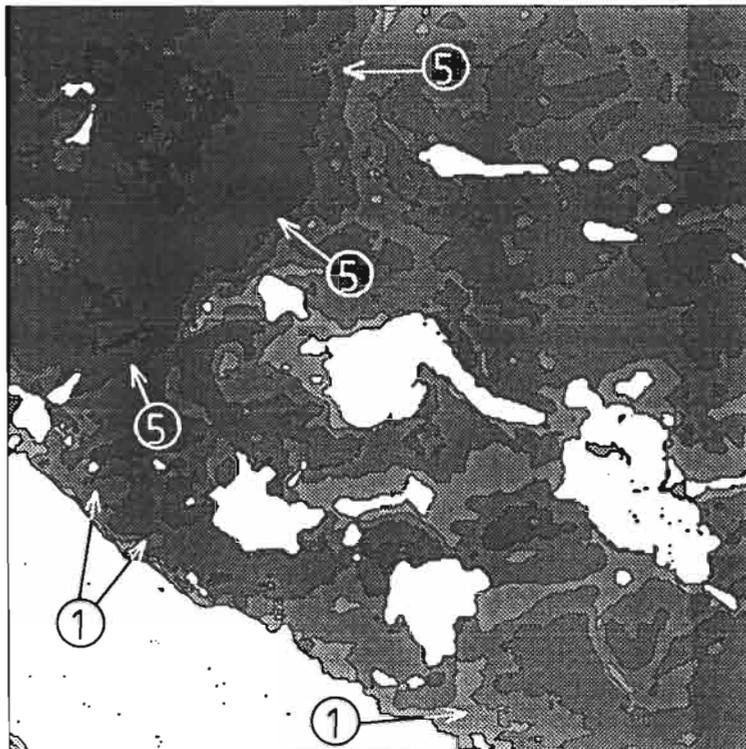


Figure 69 : image CZCS du 02-12-84. La zone couverte est la même que sur le haut de la figure 63

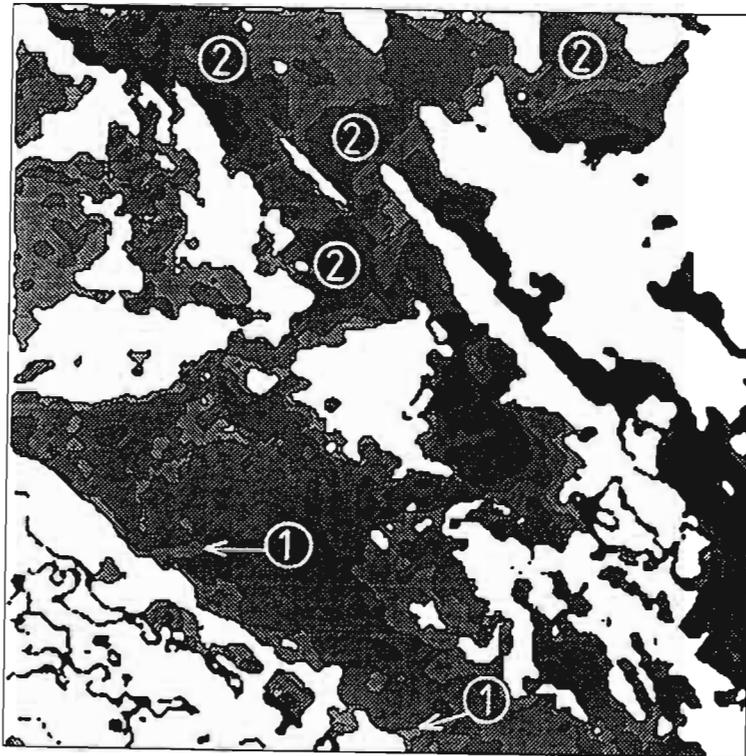


Figure 70: image CZCS du 29-12-79. La zone couverte est la même que sur le haut de la figure 63

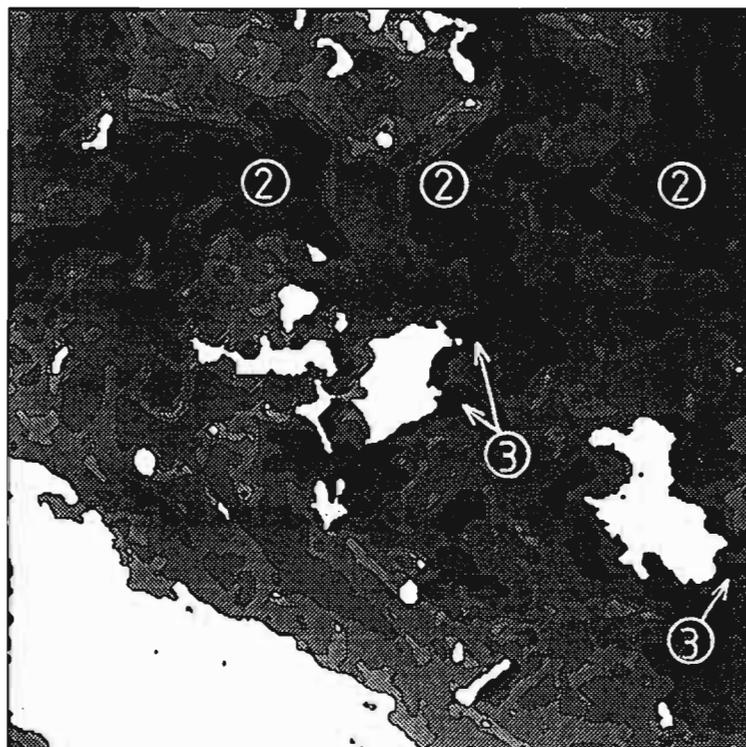


Figure 71 : image CZCS du 22-03-84. La zone couverte est la même que sur le haut de la figure 63

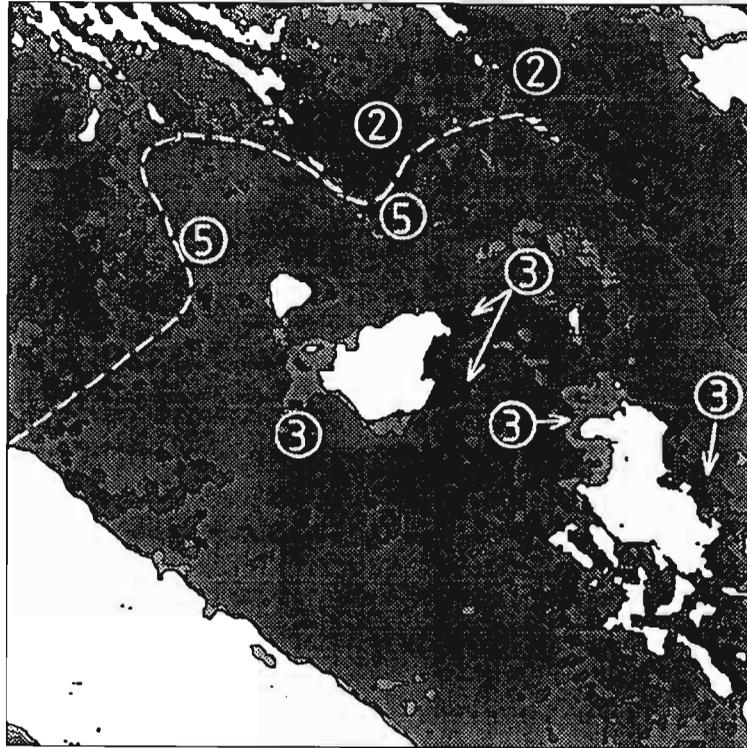


Figure 72 : image CZCS du 29-06-81. La zone couverte est la même que sur le haut de la figure 63

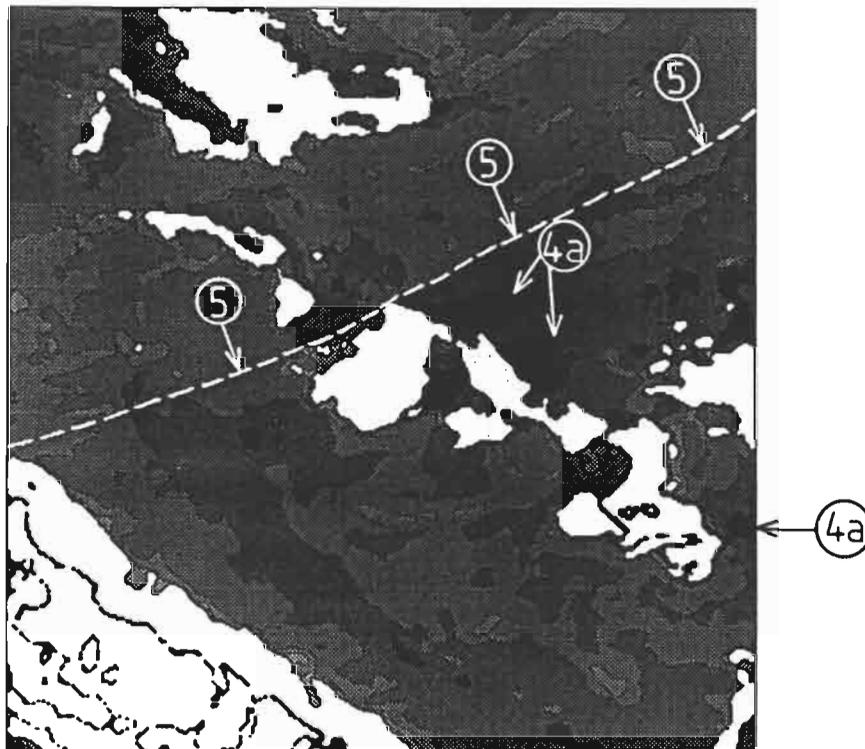


Figure 73 : image CZCS du 18-12-79. La zone couverte est la même que sur le haut de la figure 63

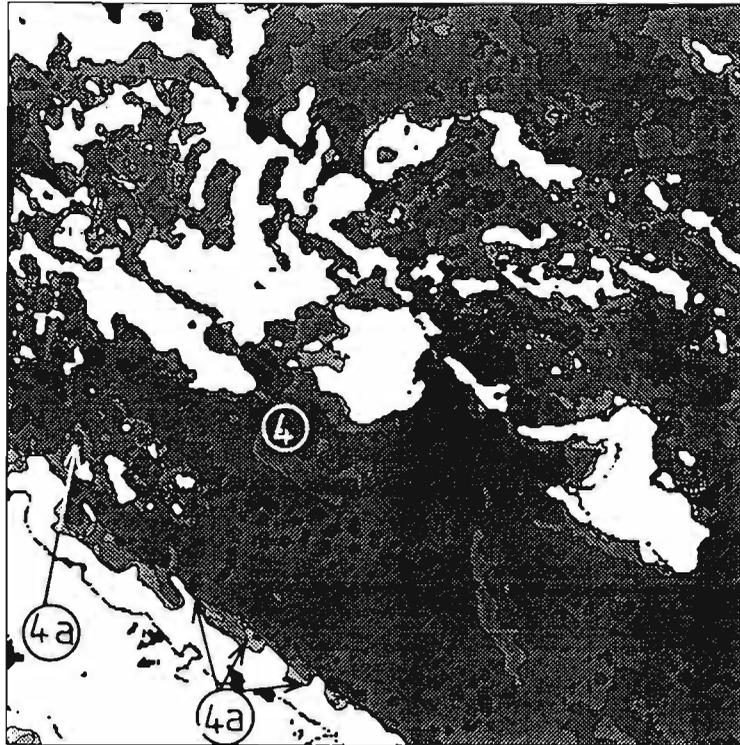


Figure 74 image CZCS du 03-07-81. La zone couverte est la même que sur le haut de la figure 63

241- moyenne échelle

Sur l'ensemble des images traitées les valeurs de chlorophylle de surface sont très faibles (de 0.1 à 0.3 mg/m^3) ce qui est en accord avec les données de terrain (Le Borgne et al., 1985). A moyenne échelle il est possible de considérer les phénomènes suivants:

a- gradient côte-large: sur les figures 63, 64, 65 et 66 s'observe un appauvrissement des eaux en chlorophylle à mesure que l'on s'éloigne de la côte de la Grande Terre (noté 1 sur les figures). Un tel phénomène s'explique aisément par les apports terrigènes importants de la côte Est de la Grande Terre, dont on note sur plusieurs figures (63, 64, 65, 67, 68, 69, 70) les panaches dans le bassin des Loyautés (notés 1 sur les figures).

b- des eaux plus pauvres dans la fosse des Nouvelles Hébrides: ce phénomène n'est pas très tranché, mais cependant discernable sur les figures 68, 70, 71 et 72 (noté 2 sur les figures)

c- un "effet d'île": on observe 2 phénomènes inverses, d'une part des eaux plus riches autour d'Ouvéa et dans une moindre mesure Lifou et Beautemps-Beaupré (figures 65, 66, 67, 72) et d'autre part des eaux apparemment très pauvres immédiatement à l'est d'Ouvéa et de Lifou (figures 64 à 68, 71 à 74). Ce dernier phénomène n'est en fait qu'un artefact lié à l'aveuglement du capteur du satellite après le passage au dessus d'une zone fortement contrastée (noté 3 sur les figures).

d- courant NW-SE dans le bassin des Loyautés: on note sur les figures 63, 65, 67 au niveau des panaches côtiers et sur la figure a6 au niveau d'une lentille d'eau au sud d'Ouvéa un infléchissement vers le SE (noté 4 sur les figures). A l'inverse, sur la figure a6 les panaches côtiers ont une direction NE suggérant l'existence temporaire d'un contre-courant côtier (noté 4a sur les figures).

e- gradient perpendiculaire à la Grande Terre: ce phénomène est net sur la figure 69 et probable sur les figures 63, 64, 69, 72 (noté 5 sur les figures), les eaux au nord étant tantôt plus riches tantôt plus pauvres que celles au sud sans que les données actuelles permettent d'établir une saisonnalité.

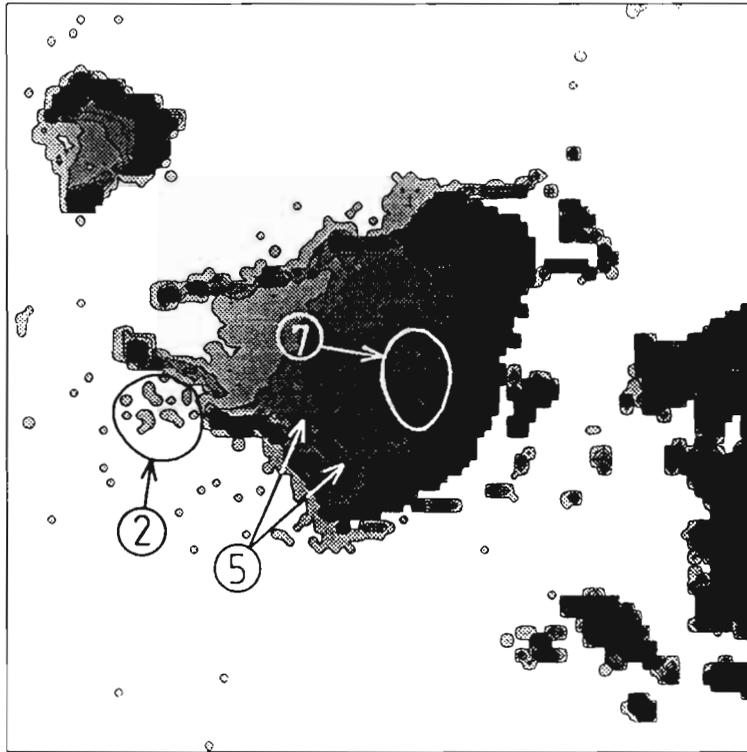


Figure 75 : image CZCS du 03-05-81. La partie traitée est centrée sur Ouvéa et fait 100 x 100 km (Beautemps-Beaupré est inclus)

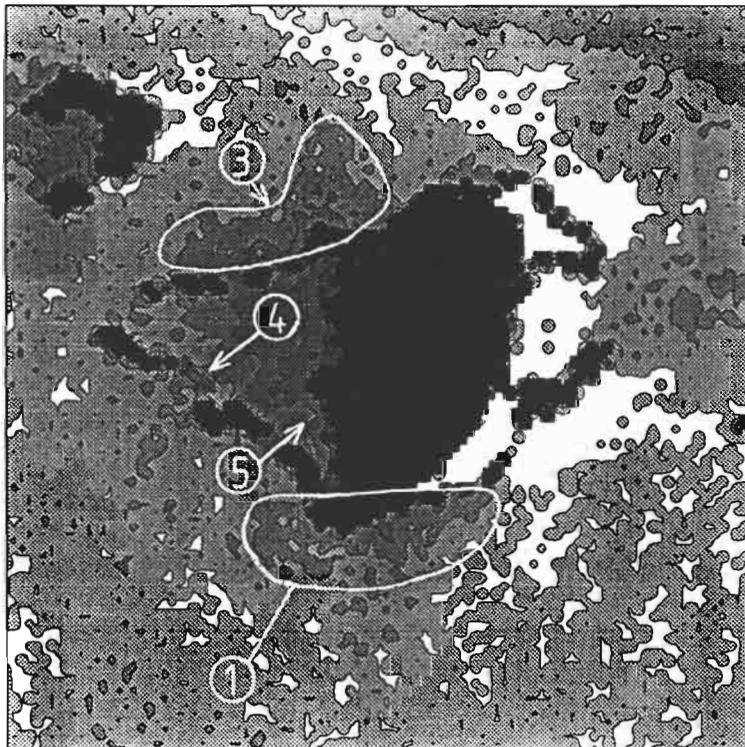


Figure 76 : image CZCS du 13-06-81. La partie traitée est centrée sur Ouvéa et fait 100 x 10 km (Beautemps-Beaupré est inclus)

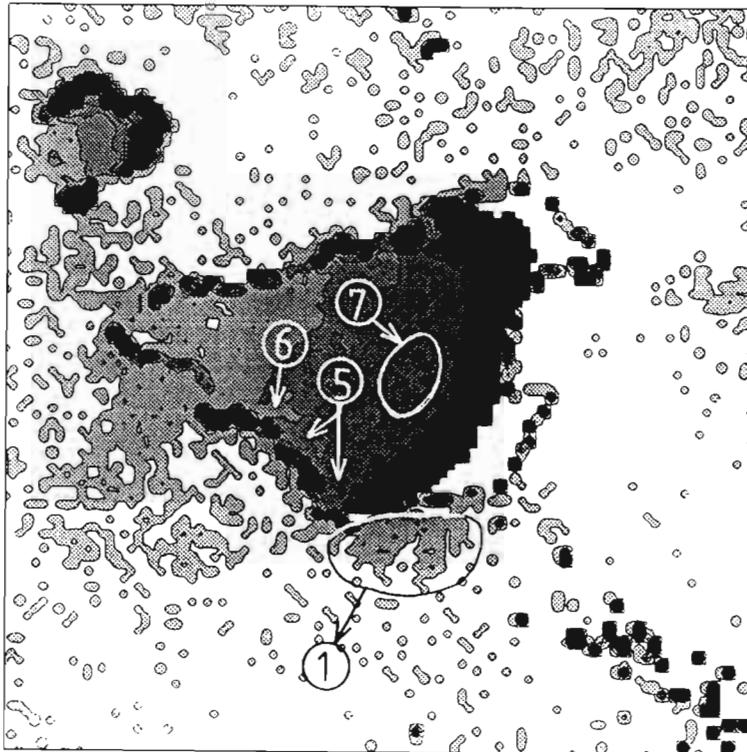


Figure 77 : image CZCS du 29-06-81. La partie traitée est centrée sur Ouvéa et fait 100 x 100 km (Beautemps-Beaupré est inclus)

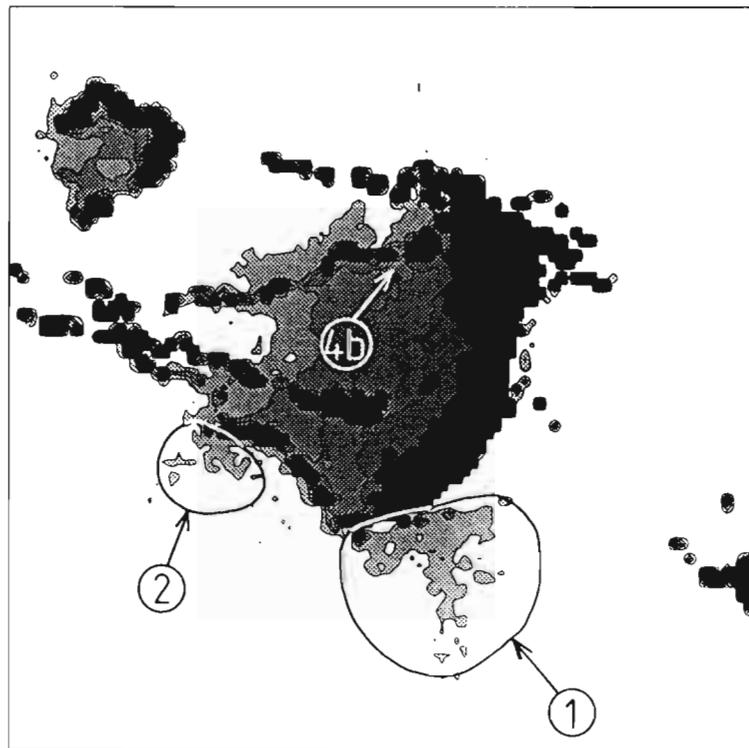


Figure 78 : image CZCS du 22-09-83. La partie traitée est centrée sur Ouvéa et fait 100 x 100 km (Beautemps-Beaupré est inclus)

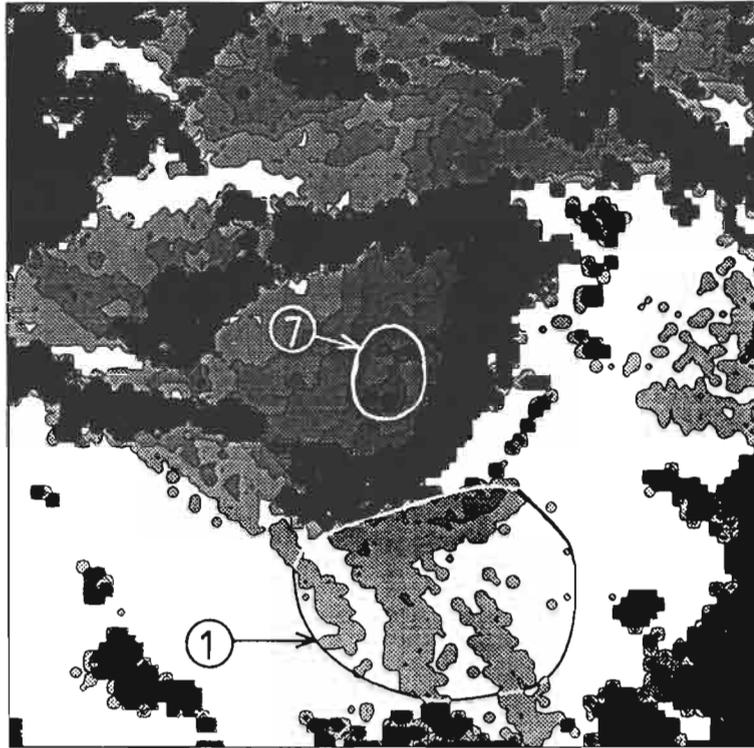


Figure 79 : image CZCS du 04-01-82. La partie traitée est centrée sur Ouvéa et fait 100 x 100 km (Beautemps-Beaupré est inclus)

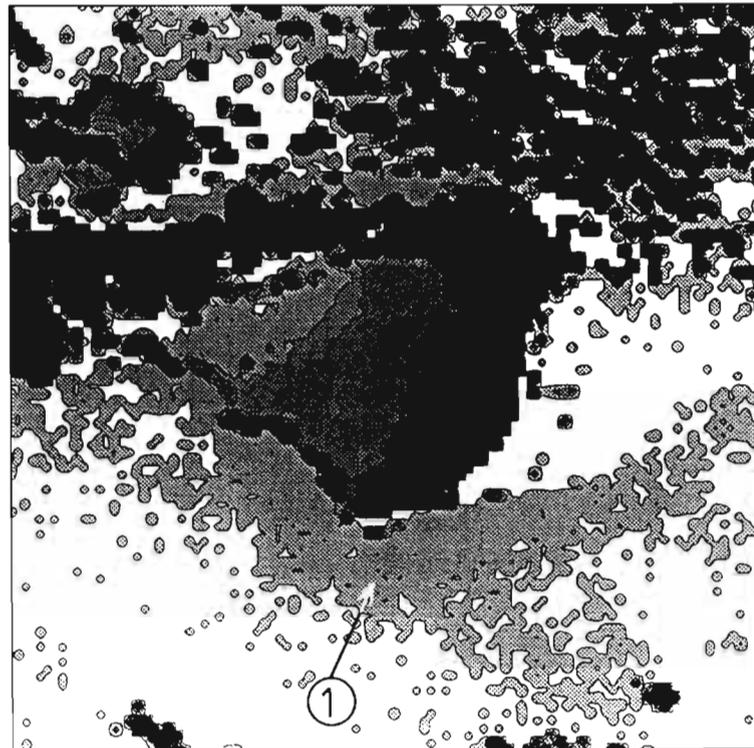


Figure 80 : image CZCS du 04-10-83. La partie traitée est centrée sur Ouvéa et fait 100 x 10 km (Beautemps-Beaupré est inclus)

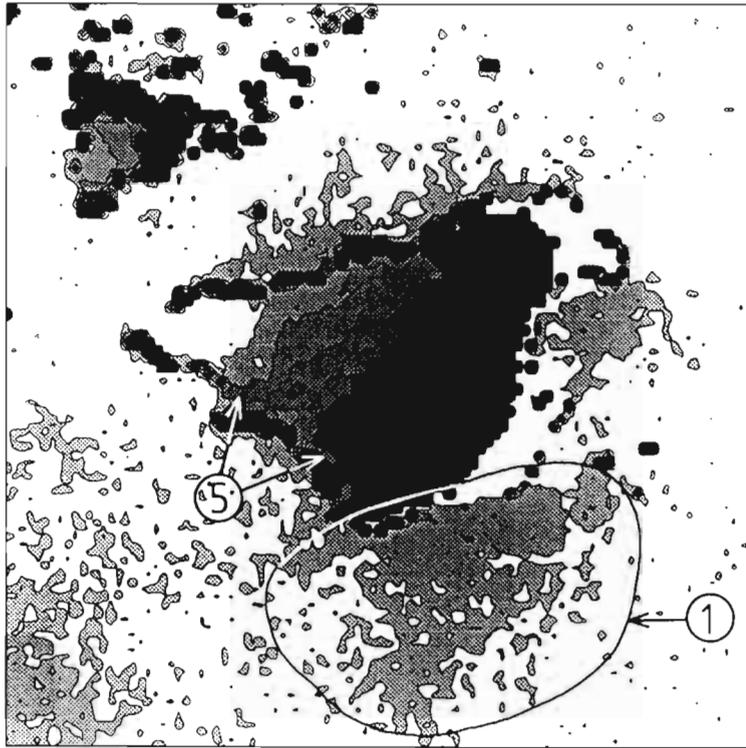


Figure 81 : image CZCS du 13-10-82. La partie traitée est centrée sur Ouvéa et fait 100 x 100 km (Beautemps-Beaupré est inclus)

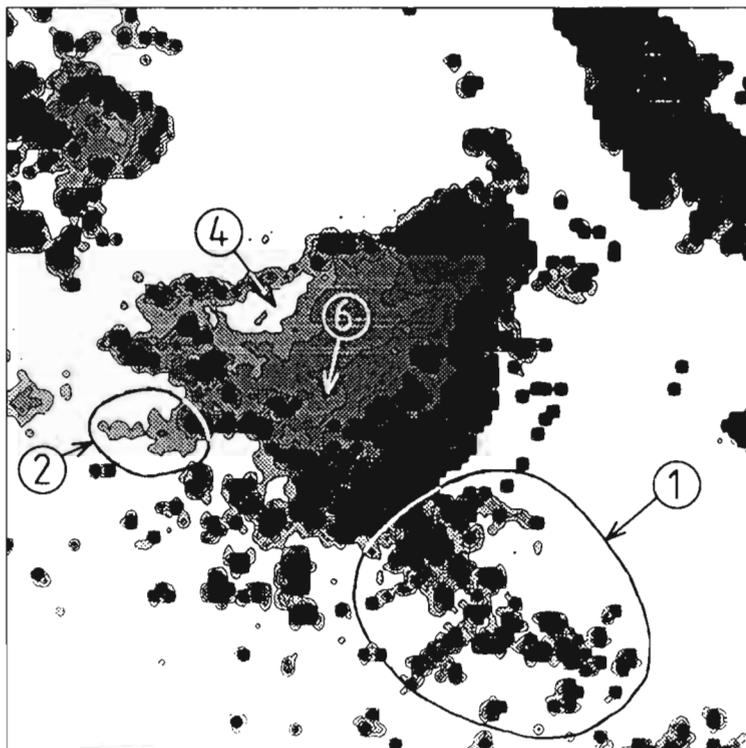


Figure 82 : image CZCS du 29-12-79. La partie traitée est centrée sur Ouvéa et fait 100 x 10 km (Beautemps-Beaupré est inclus)

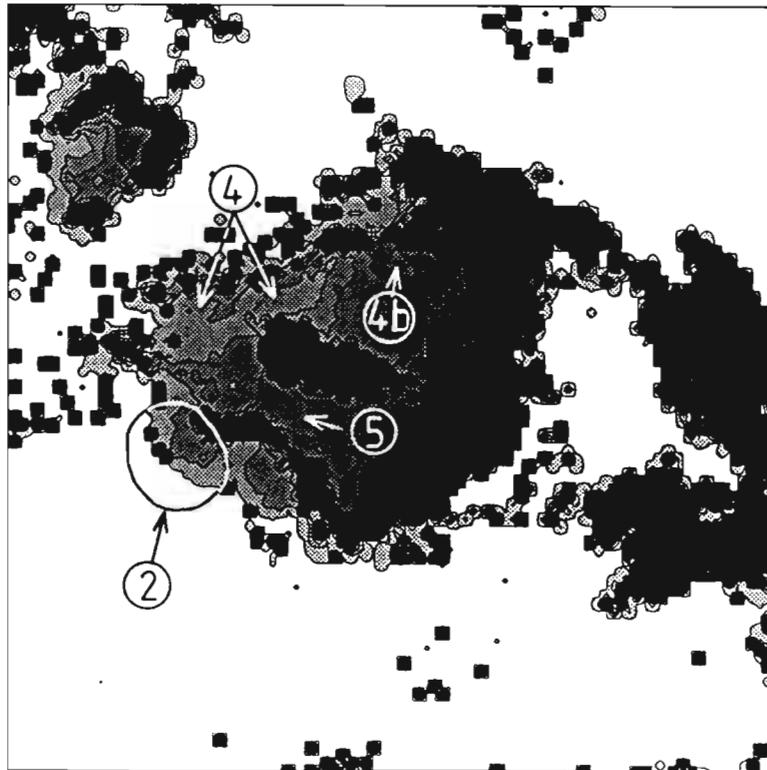


Figure 83 : image CZCS du 18-12-79. La partie traitée est centrée sur Ouvéa et fait 100 x 100 km (Beautemps-Beaupré est inclus)

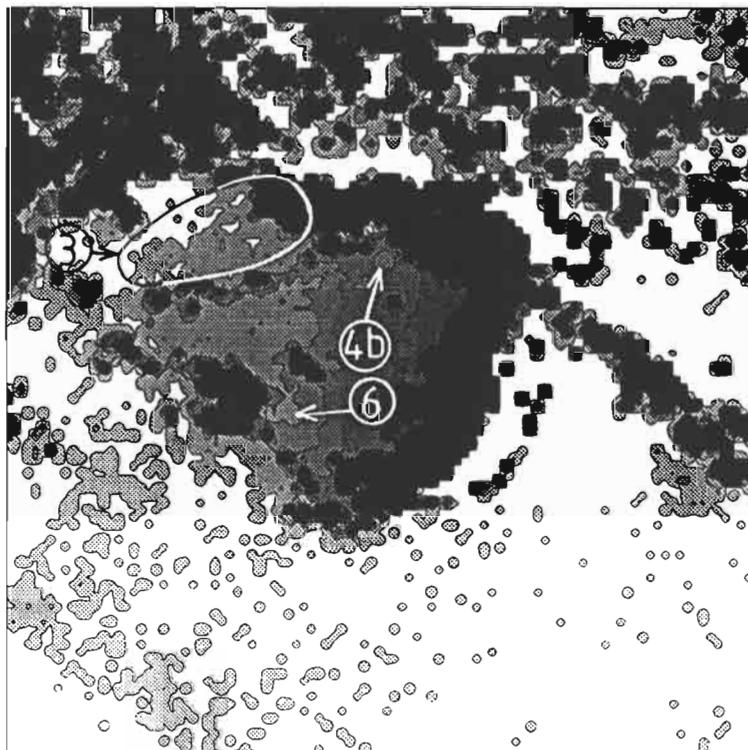


Figure 84 : image CZCS du 03-07-81. La partie traitée est centrée sur Ouvéa et fait 100 x 100 km (Beautemps-Beaupré est inclus)

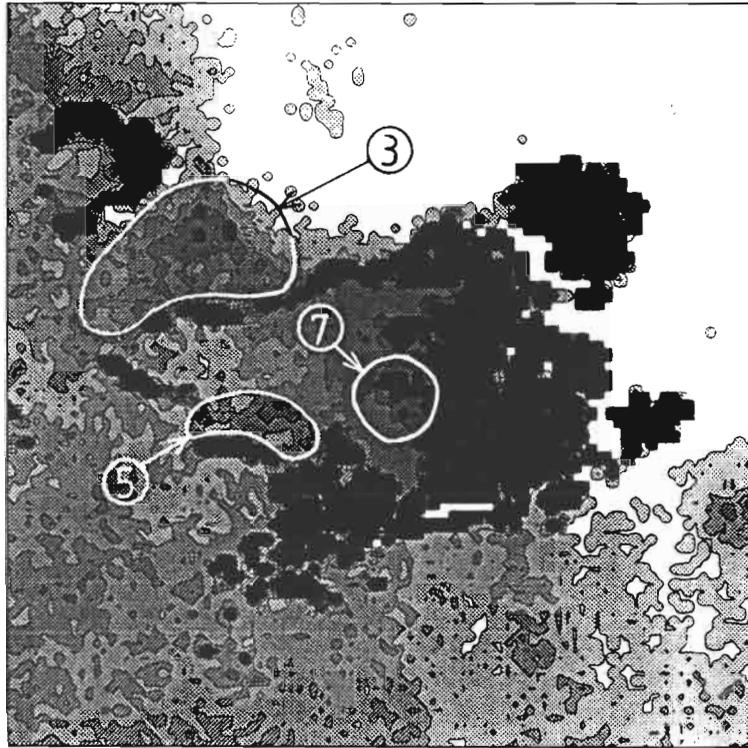


Figure 85 : image CZCS du 13-08-81. La partie traitée est centrée sur Ouvéa et fait 100 x 100 km (Beautemps-Beaupré est inclus)

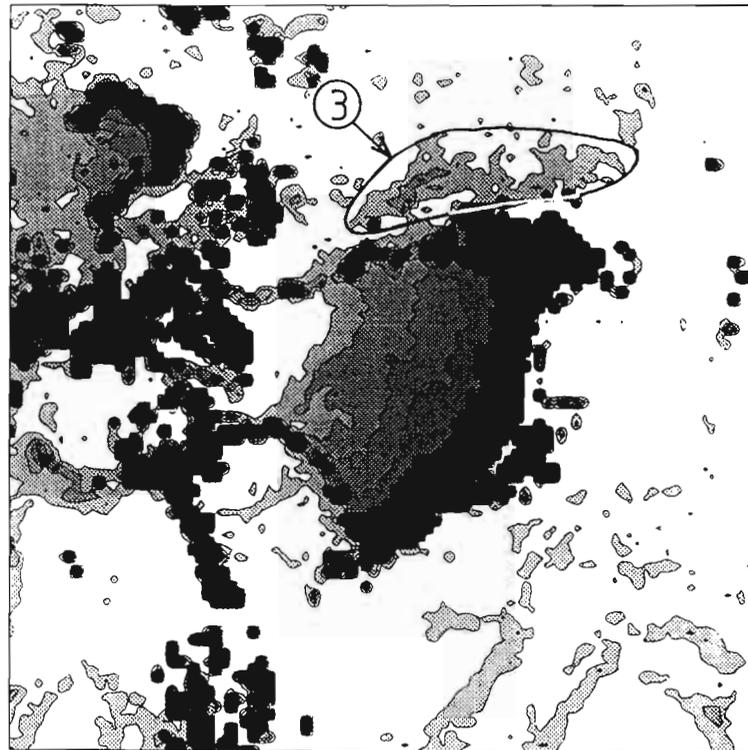


Figure 86 : image CZCS du 22-03-84. La partie traitée est centrée sur Ouvéa et fait 100 x 100 km (Beautemps-Beaupré est inclus)

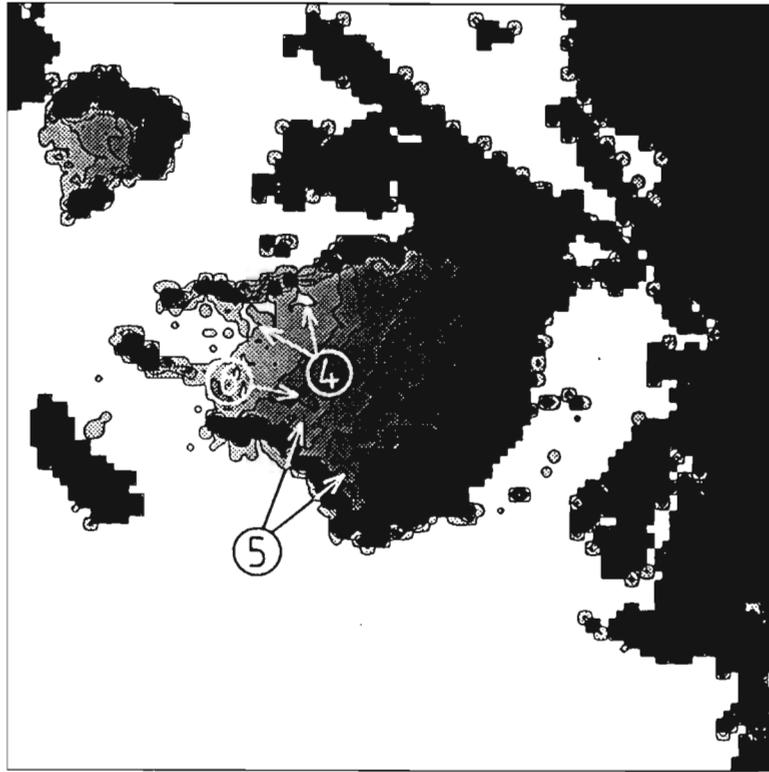


Figure 87 : image CZCS du 10-09-79. La partie traitée est centrée sur Ouvéa et fait 100 x 100 km (Beautemps-Beaupré est inclus)

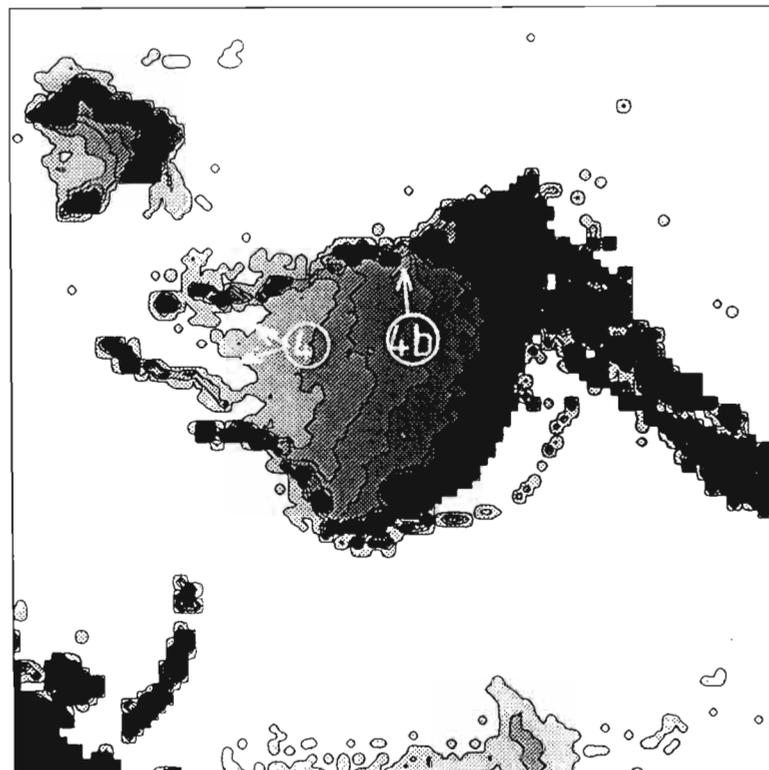


Figure 88 : image CZCS du 02-12-84. La partie traitée est centrée sur Ouvéa et fait 100 x 10 km (Beautemps-Beaupré est inclus)

242- petite échelle

A petite échelle la profondeur et la couleur du fond jouent un rôle essentiel dans la répartition de la couleur de l'eau. Cet effet est sensible jusqu'à une profondeur d'environ 25 m pour les canaux utilisés. Sur l'ensemble des figures 100 x 100 il est donc possible d'observer un fort gradient côte-large. Ce gradient présente cependant des fluctuations importantes qui traduisent d'une part des variations dans la turbidité (surtout liées au vent), d'autre part des courants. Les phénomènes observés peuvent se scinder en extérieur et intérieur au lagon.

a- extérieur du lagon:

- au sud de la passe du Coëtlogon s'observe un panache d'eau plus turbide. La taille de ce panache est très variable, de quelques km (figures 75 à 78) en saison fraîche à plus de 20 km (figures 79 à 82) en saison chaude. Ce phénomène (noté 1 sur les figures) n'est cependant pas présent sur toutes les scènes CZCS. La direction de ce panache est soit sud soit est.

- au niveau de la passe de la Meurthe existe aussi des panaches d'eau (notés 2 sur les figures) dont l'origine est vraisemblablement lagonnaire, cependant leur extension est minime ne dépassant pas 5 km (figures 75, 78, 82, 83) à l'exception de la figure 77. Les données disponibles ne montrent pas de saisonnalité.

- le long des Pléiades du Nord la plupart des figures 100 x 100 montrent des panaches d'eau (notés 3 sur les figures) d'origine lagonnaire. Leur extension ne dépasse pas 10-15 km vers le nord (figures 76, 84, 85) et en général n'excède pas 4-5 km. On note parfois une direction est (figure 86). La sortie de ces eaux du lagon est le plus souvent diffuse (pas de passe en particulier), cependant elle peut se faire par les passes du nord (Passes de la Baleine et du Taureau, figure 86) ou les passes du centre (Jumeaux et Jehuten, figure 76) ou de l'ouest (figure 76, 79, 85). Aucune des images disponibles ne montre de sortie d'eau lagonnaire par la passe d'Anémata.

b- intérieur du lagon:

- l'eau océanique pénètre dans le lagon par les passes. Il est cependant difficile de visualiser son parcours dans les eaux peu profondes. Au delà de 25 m on observe que les eaux océaniques (en blanc) (notées 4 sur les figures) rentrent par la passe d'Anémata. Ce courant se diviserait en 2 branches, une branche sud (figures 75, 76, 88) et une branche nord (figures 82, 83, 87, 88). L'extension des eaux océaniques provenant d'Anémata semble très variable et non liée à la saison. Sur les fonds de moins de 25m on note parfois la présence d'eaux plus transparentes (notée 4b sur les figures) à l'intérieur de la passe du Taureau (figures 78, 83, 84, 87, 88).

- entre la passe de la Meurthe et celle du Coëtlogon semble exister un chenal intérieur, ou tout au moins un courant le long du récif intérieur (noté 5 sur les figures). En effet, les isolignes de couleur de l'eau ne correspondent pas à celles des isobathes et montrent que des eaux plus transparentes suivent le bord intérieur du récif (figures 75 à 77, 81, 83, 85, 87, 88).

- existence d'une zone particulière à environ 2km au NE de l'îlot Su (notée 6 sur les figures) et s'étendant sur environ 4 x 4 km (figures 77, 82, 84, 86, 87)

- une autre zone particulière (notée 7 sur les figures) existe vraisemblablement au large de Fayaoué (figures 75, 77, 79, 85) mais son emplacement est mal défini par les images CZCS

DISCUSSION

Les méthodes utilisées lors de cette étude ne sont pas d'une grande précision et il est nécessaire d'en définir les limites avant d'aborder la discussion.

L'évaluation des composantes du substrat par des transects en plongée présentent un certain nombre

d'avantages. D'une part la rapidité, d'autre part la possibilité de prendre en compte l'hétérogénéité du milieu. Cette caractéristique du milieu est souvent assez prononcée dans les lagons tropicaux et un échantillonnage à la benne du fait de la faible surface des échantillons ne rend souvent pas bien compte de ce problème. En revanche, nos observations en plongée sont d'une précision très médiocre quant à la classification des sédiments fins et l'évaluation du pourcentage de couverture des différentes composantes du substrat. Il a cependant été démontré (Kinzie et Snider, 1978) que la plupart des techniques d'évaluation des couvertures en plongée ne sont pas très précises et qu'il vaut mieux une technique de précision moyenne avec beaucoup de répliqués (cas de notre étude) qu'une méthode fine avec peu de répliqués.

L'utilisation de photos aériennes et d'image satellite est bien établie pour réaliser des cartes bionomiques ou géomorphologiques. L'un des principaux problèmes rencontrés dans notre étude est l'impossibilité de prédire à partir des seules valeurs des canaux radiométriques l'identité du substrat. En revanche, une fois un thème identifié les valeurs observées pour les canaux radiométriques permettent de le discriminer avec une bonne précision des thèmes adjacents. Cette contradiction apparente s'explique de la façon suivante. Les valeurs radiométriques prennent en compte non seulement le substrat mais également, dans le milieu marin, la profondeur et la turbidité. Ces derniers facteurs sont même plus importants que le substrat dans la détermination de la valeur radiométrique dans le cas de nos données. La séparation de 2 thèmes adjacents est basée sur le contraste qui existe entre leurs valeurs radiométriques. Si ces thèmes sont proches géographiquement, la profondeur et la turbidité sont en général du même ordre pour les 2 thèmes et alors seule la réflectance du substrat entre en ligne de compte. La marge d'erreur dans notre étude n'est pas connue. Il est certain que pour des substrats ayant une signature proche et étant spatialement proches l'erreur peut être importante. Il est cependant probable que la classification des différentes zones récifales ou les grandes lignes de la répartition des algues de la frange côtière restent valides.

L'histoire géologique de l'atoll permet d'expliquer en partie les gradients observés à l'heure actuelle dans les caractéristiques physiques des récifs et des fonds meubles. Cet atoll, situé sur la ride des Loyautés a subi un basculement est-ouest (Bitoun et Récy, 1982) qui explique la pente observée dans cette direction ainsi que la présence d'îlots à l'est et non à l'ouest. Ce basculement est sans doute aussi à l'origine de la cassure nord-sud observée le long de l'isobathe des 20 m. Cette pente et la présence des îlots ont à leur tour une influence considérable sur la géomorphologie des récifs et sur la distribution des sédiments dans cet atoll. L'exposition aux alizés est l'autre facteur fondamental dans l'explication des gradients observés.

Les résultats indiquent qu'il est possible de diviser les récifs en 4 sous ensembles: les Pléiades du Nord se différencient de celles du Sud et chacune de ces 2 zones peut se subdiviser en une partie est et une partie ouest délimitées par la ligne de faille qui suit l'isobathe des 20 m. La séparation Nord-Sud est engendrée essentiellement par l'influence des alizés. Au sud le récif barrière est directement exposé et obtient donc un flot d'eau océanique important. Cette masse d'eau océanique est disponible au récif intérieur qui est à l'abri du vent. La croissance de ce récif a engendré un plateau récifal beaucoup plus important que dans les Pléiades du Nord où le récif intérieur est très peu développé à cause de la houle engendrée par les alizés. L'exposition aux alizés de la partie Nord a généré la formation de chenaux et de couloirs de marée pour écouler l'eau hors du lagon. Ces formations sont très peu développées dans la partie sud. Le vent a également causé l'accumulation de débris coralliens et de sables dans la partie Nord. Les différences est-ouest sont essentiellement liées à la présence des îlots. A l'abri des îlots se créent des zones de dépôt dans la partie sud et des chenaux avec des fonds détritiques dans la partie Nord. Au vent des îlots on observe des récifs frangeants étroits et dans les Pléiades du Nord l'absence de récif intérieur. En l'absence d'îlot le conglomérat récifal est beaucoup plus large et les récifs intérieurs sont beaucoup plus développés. La différence de pente entre l'est et l'ouest ne semble avoir une influence notable que dans les Pléiades du Sud où le tombant intérieur du récif Draule dépasse les 30 m alors qu'à l'extrémité est à Gee la profondeur n'est que de 5-8 m. On note là encore l'influence de l'histoire géologique, l'atoll ayant non seulement basculé d'est en ouest mais étant également soulevé du sud-ouest vers le nord-est (Bitoun et Récy, 1982). Cette grande profondeur à proximité du récif devrait faciliter l'accumulation de particules fines (Chevillon et al., 1992)

Dans leur ensemble les fonds meubles du lagon d'Ouvéa sont très différents de ceux de la Grande Terre (Chevillon et Richer de Forges, 1988; Debenay, 1987). En particulier, il n'y a pas d'apport terrigène ni de plaine lagonnaire. Contrairement au lagon SW de Nouvelle-Calédonie, l'épaisseur des sédiments est presque partout faible. La distribution des sédiments près des récifs est également différente, à Ouvéa ces zones étant caractérisées par une forte hétérogénéité et des sédiments de faible épaisseur alors que sur la Grande Terre ces zones sont le plus souvent couvertes d'une épaisse couche de sable blanc grossier coquillier. Il existe

cependant quelques similitudes, telle que la présence des sédiments les plus fins près de la côte.

La profondeur et le vent sont également à l'origine de certaines caractéristiques des fonds meubles. Les sédiments sont les plus fins à proximité de l'île principale, là où le vent est le moins sensible. Sur l'ensemble du lagon l'épaisseur des sédiments est faible ce qui suppose soit une très faible production de sable ou de façon beaucoup plus probable l'exportation des sables à l'extérieur du lagon. On remarque également que les algues sont essentiellement concentrées le long de la côte. Il est possible que cette concentration soit d'une part due aux apports terrigènes, bien que le faible relief et la nature poreuse du terrain (calcaire d'origine récifal et sable) ne facilitent pas ce phénomène, et d'autre part à un léger upwelling côtier lié au vent. Il a été en effet possible de constater de façon anecdotique que lors de forts alizés la température de l'eau le long de l'île principale était inférieure de plusieurs degrés Celsius à celle des récifs.

Il est en revanche plus difficile d'expliquer l'hétérogénéité du substrat sur les fonds meubles. On constate que c'est sur la zone la plus hétérogène que se situe la seule formation récifale intralagonnaire de quelque importance (au large de Fayaoué). Cette hétérogénéité est sans doute très importante pour expliquer la distribution des peuplements benthiques et ichtyologiques. Cette hétérogénéité est peut-être liée à la nature de la dalle qui est partout sous-jacente dans le lagon. La faible épaisseur du sédiment a permis la formation de nombreux pâtés coralliens. Ceux-ci sont en effet le plus souvent ancrés sur la dalle. Ces formations sont plus nombreuses et plus importantes au large. Il est possible que ceci soit lié à la turbidité des eaux qui est plus forte près de l'île principale (Clavier et al., 1992) mais il est vraisemblable que d'autres facteurs soient en cause.

La comparaison avec la morphologie des atolls de Polynésie (Ricard, 1985; Harmelin-Vivien, 1985; Salvat et Richard, 1985) montre qu'Ouvéa présente des caractéristiques particulières. Les atolls polynésiens ne communiquent avec l'océan que par un nombre limité de passes et par des hoas parfois nombreux mais n'apportant que de l'eau superficielle. Il en résulte des sédiments intralagonnaires beaucoup plus fins qu'à Ouvéa et l'absence de gradient important dans les sédiments. A Enewetak (Collins, 1987) la majorité du fond de l'atoll est occupé par des substrats meubles avec cependant une zone indurée couvrant environ 15% de ce lagon. Dans cet atoll, comme dans ceux de Polynésie, l'épaisseur du sédiment excède 20 cm et les phénomènes de bioturbation y sont importants, alors qu'à Ouvéa le sédiment est peu épais et les organismes fouisseurs en général rares (à l'exception de quelques zones restreintes avec des callianasses). Il est probable que le renouvellement des eaux lagonnaires est plus rapide à Ouvéa que dans la plupart des atolls polynésiens. Les pinacles sont beaucoup plus fréquents et développés en Polynésie. A Eniwetak (îles Marshall) les pinacles sont également très nombreux (Ristvet, 1987). Les facteurs engendrant la formation de pinacles ne sont pas clairement connus. La quasi-absence de ces formations à Ouvéa suggère que cet atoll n'a pas eu la même genèse que ceux du Pacifique Est ou central.

L'ORSTOM a mené une étude sur les "effets d'île" aux abords de Maré et Lifou de décembre 1982 à septembre 1984 (Le Borgne et al., 1985; Le Borgne, 1986). Les variations saisonnières et spatiales de la chlorophylle de surface ont été décrites à partir des données CZCS (Dupouy et al., 1988; Dupouy, 1990, Dupouy, 1992).

Il existe peu de données sur le milieu pélagique du lagon et des abords de l'atoll d'Ouvéa. La carte marine de Nouvelle Calédonie (n°4310 du SHOM) indique des courants NW-SE de 2nd par vent de nord. Hénin et al. (1984) montrent qu'il existe effectivement un courant dans cette direction au sud du bassin des Loyautés, en particulier en période de vent d'ouest. Les données CZCS confirment donc l'existence de tels courants sans cependant en préciser l'étendue géographique, l'intensité ou la périodicité. Les campagnes de mesure de la température de surface par radiométrie aérienne (Petit et Hazane, 1983) ne montrent pas de structure thermique particulière, mais il convient cependant de noter l'existence de fronts thermiques faibles sur les cartes NOAA-GOSSTCOMP au cours de la saison chaude. Hallier et Kulbicki (1984) ont montré que c'est à cette saison que les pêcheurs de thons à la canne (pêche de surface) fréquentaient de préférence cette zone et qu'ils obtenaient leurs meilleurs rendements. En revanche, les palangriers, qui pêchent à des profondeurs plus importantes, ont obtenu aux environs d'Ouvéa des rendements similaires au reste de la ZEE de Nouvelle Calédonie (Hallier et Moutham, 1984, 1985; Moutham et Grandperrin, 1985, 1986). Il est probable qu'il existe un lien entre rendements thoniers et les conditions océanologiques, mais la nature de ce lien est encore indéterminé.

Les variations de la chlorophylle de surface ont été décrites à très grande échelle à partir des données

de surface obtenues par les bateaux marchands (Dandonneau et Gohin, 1984). Ces auteurs démontrent l'existence d'enrichissements en chlorophylle de surface durant la saison fraîche de 32°s jusqu'à 20-22°s. Ces enrichissements seraient liés à l'existence d'un brassage vertical corrélé au vent. Nos données CZCS (19°30's à 21°40' s) ne permettent pas de montrer cet enrichissement. Les données CZCS ont déjà été utilisées pour montrer les variations saisonnières et spatiales de la chlorophylle à l'échelle de la ZEE de Nouvelle Calédonie (Dupouy, 1990,1992). Cet auteur distingue un fort signal, lié aux variations saisonnières de la chlorophylle dans le Pacifique tropical sud-ouest, et des signaux de plus faible intensité, autour des terres émergées. Nos données ne permettent pas de mettre en évidence de saisonnalité, mais indiquent en revanche une forte variation spatiale. Dupouy (1990) signale un impact du lagon autour de la Nouvelle-Calédonie, mais effet d'île réduit autour des Loyauté. Cette quasi-absence d'effet d'île a également été notée par LeBorgne et al. (1985) autour de Maré. Ces auteurs attribuent ce phénomène à l'inexistence d'apports terrigènes. Nos observations à partir des images CZCS suggèrent que cet effet d'île est en effet faible, mais cependant présent à certains moments.

Les images CZCS montrent que les eaux lagonnaires sont exportées essentiellement par le sud et dans une moindre mesure tout au long des Pléiades du Nord. Il est également probable qu'il existe un courant le long des Pléiades du Sud entre la passe de la Meurthe et celle du Coëtlogon. L'entrée des eaux océaniques se ferait essentiellement par la passe d'Anémata. En l'absence de mesure de courant il n'est pas encore possible de réaliser un schéma de circulation, mais il est vraisemblable que l'eau à proximité de l'île principale a un temps de séjour plus long que le long des Pléiades.

Les structures particulières au NE de l'îlot Su et au large de Fayaoué que suggèrent les données CZCS se retrouvent au niveau de la sédimentologie (Chevillon et al., 1992) et du benthos (Clavier, 1993; Kulbicki et al., 1993a). Il n'est pas possible de déterminer à partir des canaux CZCS étudiés si les anomalies observées sont dues à la nature du fond ou à celle de la colonne d'eau. Une étude du canal rouge, peu affecté par le substrat car sa pénétration dans l'eau est faible, est envisagée pour répondre à ce problème.

CONCLUSION

L'atoll d'Ouvéa est extrêmement ouvert et les échanges avec le milieu océanique sont sans doute importants. Il existe un gradient est-ouest pour la plupart des caractéristiques physiques du lagon et des récifs. En particulier, il est probable qu'il existe une ligne de faille nord-sud dans le lagon qui délimite un secteur ouest (de la passe d'Anémata jusqu'à environ l'isobathe des 20 m) très ouvert à l'influence océanique et un secteur est (de l'isobathe des 20 m jusqu'au rivage de l'île principale) beaucoup plus fermé, protégé des vents dominants par la masse de l'île principale.

L'étude des fonds meubles de l'atoll montre qu'il est possible de définir 6 zones dans les fonds compris entre 0 et 20m (partie est du lagon). Le long de l'île principale le substrat est caractérisé par des sables fins, à l'exception d'une zone hétérogène entre Hwadrilla et St Joseph où le substrat est constitué d'une mosaïque de sédiments grossiers, de sables fins, de dalle avec du corail et des algues. La majorité des fonds entre 12 et 20 m sont homogènes et constitués de sables moyens ou grossiers avec un peu de dalle. Au large de Fayaoué existe une "cuvette" où le substrat est plus hétérogène que dans le reste du lagon. On y note en particulier une couverture plus importante en algues et en coraux que dans le reste du lagon. A proximité des récifs et des passes les sédiments deviennent plus grossiers et plus hétérogènes. Entre la passe de la Baleine et St Joseph existe une zone de dépôt avec des sables fins assez épais et une très faible couverture algale ou corallienne. Cette épaisseur du sédiment est plus importante que sur l'ensemble des fonds meubles étudiés pour les quels les sédiments ont rarement plus de 10 cm d'épaisseur.

L'étude plus détaillée de la région côtière (0 - 7 m) montre que les fonds durs y sont peu importants (2.9% de la surface), 85 % de la surface étant constituée par des sables recouverts par des champs d'algues de densité très variable et dont la distribution spatiale est complexe. Le sable nu, qui ne couvre que 9.3% de la surface de cette zone, est concentré suivant une bande cotière de 200 à 300 m de large entre Banutr et Mouly ainsi qu'au nord de St Joseph. Il existe un peu de végétation halophile et des mangroves, mais celles ci ne représentent qu'une faible superficie.

Les récifs coralliens sont essentiellement constitués des Pléiades du Nord et du Sud. Il existe de

nombreux pâtés coralliens sur les fonds meubles, leur diamètre augmentant en général avec la profondeur. Il existe des différences nord-sud et est-ouest dans la structure géomorphologique des Pléiades. Ces différences sont en grande partie liées à l'exposition aux alizés ainsi qu'à la présence ou absence d'ilots. Ainsi la partie intérieure des Pléiades du Nord est exposée aux alizés et a un récif intérieur très peu développé alors que dans les Pléiades du Sud ce type de récif est très important. L'exposition aux alizés a créé des chenaux de marée importants en arrière du récif barrière dans les Pléiades du Nord, de telles formations n'existant pas au Sud. En revanche dans les Pléiades du Sud le plateau corallien en arrière du récif barrière est beaucoup plus important qu'au Nord. A l'est les ilots engendrent des zones abritées de l'alizé. Dans ces zones le développement corallien est souvent moindre et il y existe des zones d'accumulation, formations beaucoup moins importantes à l'ouest. La profondeur du récif intérieur augmente également d'est en ouest pour atteindre plus de 30 m sur le récif Draule au niveau de la passe d'Anemata

REMERCIEMENTS

Ce travail a été possible grâce au concours de très nombreuses personnes. Nous tenons en particulier à remercier les marins de l'ALIS, du DAWA et du DAR MAD qui nous ont aidés au cours des nombreuses semaines de mer pour la plongée, la pêche, le matériel et la vie à bord. Les initiateurs du projet, Mr. Donskoff et Blanc ainsi que leurs successeurs Mr. Buruss et Daguzan, les responsables locaux à Ouvéa ont permis le bon déroulement de ce projet. Mr. C. Habault a grandement contribué au montage financier et à la réalisation de cette convention. De nombreuses personnes de l'ORSTOM ont aussi contribué à ce travail, en particulier le LATICAL et l'ensemble des biologistes, techniciens et secrétaire de l'Océanographie biologique.

BIBLIOGRAPHIE

Anonyme 1991 Résultats des thoniers palangriers français dans la ZEE de Nouvelle Calédonie. Service Territorial de la Marine marchande et des pêches maritimes. Rapports de janvier 1991 à décembre 1991:120 p

Battistini R. et al. 1975 Eléments de terminologie récifale indo-pacifique *Téthys* 7(1):1-111

Bitoun G. et J.Récy, 1982 Origine et évolution du bassin des Loyauté et de ses bordures après la mise en place de la série ophiolitique de Nouvelle-Calédonie in Contributions à l'étude géodynamique du sud-ouest Pacifique *Travaux et Documents ORSTOM -Paris* 505-540

Chevillon C. et B. Richer de Forges 1988 Sediments and bionomic mapping on soft bottoms in the southwestern lagoon of New Caledonia *Sixth International Coral Reef Congress Townsville* 2: 589-594

Chevillon C., J.Clavier, C.Garrigue 1992 Preliminary data on the sediments of the Uvea Lagoon (New Caledonia *Seventh International Coral Reef Congress Guam June* 1992 6p

Clavier J., C.Garrigue, G.Bargibant, A.Di Matteo, P.Hamel, M.Kulbicki, R. Urbain 1992 Etude quantitative du benthos dans le lagon d'Ouvéa. Liste taxonomique, densité et biomasses du macrobenthos, ATP, pigments photosynthétiques et matière organique dans le sédiment. *Rapports Scientifiques et Techniques ORSTOM Nouméa Sciences de la Mer* 64: 70 p

Clavier J. 1993 Etude du benthos d'Ouvéa. in Evaluation des ressources en poissons du lagon d'Ouvéa. 1ère partie: L'environnement biologique: le macrobenthos, le megabenthos et le plancton. *ORSTOM Nouméa Sciences de la Mer Rapport de Convention* 8: 1-35

Colin P. 1987 Physiography of Enewetak Atoll . D.M Devaney, E.S. Reese, B.L. Burch et P. Helfrich (eds) *The Natural History of Enewetak Atoll vol. 1* Office of Scientific and Technical Information U.S. Depart. of Energy 27-36

Dandonneau Y. et F.Gohin 1984 Meridional and seasonal variations of sea surface chlorophyll concentrations in the southwestern tropical Pacific (14 to 32°S, 160 to 175°E) *Deep Sea Research* 31(12):1377-1393

- Debenay J.P. 1987 Sedimentology in the southwestern lagoon of New Caledonia, SW Pacific *J.Coast. Res.* 3(1) :77-91
- Dupouy C. 1990 La chlorophylle de surface observée par le satellite NIMBUS-7 dans une zone d'archipel (Nouvelle-Calédonie et Vanuatu). Une première analyse. *Bulletin de l'Institut Océanographique de Monaco* 6:125-148
- Dupouy C. 1992 Discoloured waters in the melanesian archipelago (New Caledonia Vanuatu). The value of the Nimbus-7 coastal zone colour scanner observations E.J. Carpenter (ed) *Marine pelagic cyanobacteria: Trichodesmium and other Diazotrophs* Kluwer Acad. Press 177-191
- Dupouy C., M. Petit et Y. Dandonneau 1988 Satellite detected cyanobacteria bloom in the southwestern tropical Pacific. Implication for nitrogen fixation. *International Journal of Remote Sensing* 8(3) : 389-396
- Egretaud C. 1992 Etude de la biologie générale, et plus particulièrement du régime alimentaire de *Lethrinus nebulosus* du lagon d'Ouvéa (Nouvelle Calédonie) *DAA Halieutique ENSA Rennes* 102 p
- Garrigue C., 1985 Répartition et production organique et minérale de macrophytes benthiques du lagon de Nouvelle Calédonie *Thèse Université de Montpellier* 270p
- Hallier J.P. 1984 La pêche à la palangre en Nouvelle Calédonie. Rapports bimensuels. *ORSTOM Nouméa rapports miméo* numéros 1 à 9: 70p
- Hallier J.P et G. Mou Tham 1984 La pêche à la palangre en Nouvelle Calédonie- Aout-Septembre 1984 *ORSTOM Nouméa* 10: 12 p
- Hallier J.P. et Kulbicki M., 1984 Analyse des résultats de la pêcherie à la canne de Nouvelle-Calédonie (aout 1981-avril 1983) *Rapports Scientifiques et Techniques ORSTOM Nouméa* 36: 136 p
- Harmelin -Vivien M. 1985 Atoll de Tikehau, archipel des Tuamotus B.Delesalle, R. Galzin et B. Salvat (eds) *French Polynesian Coral Reefs Proc. 5th Internat. Coral Reef Congress Tahiti june 1985* 211-268
- Henin C. , Guillermin J.M. et L. Chabert 1984 Circulation superficielle autour de la Nouvelle Calédonie *Océanogr. trop.* 19(2) :113-126
- Kinzie R.A. et R.H. Snider 1978 A simulation study of coral reef survey methods. D.R Stoddart et R.E. Johannes (eds) *Coral reefs: research methods UNESCO Monographs on oceanographic methodology* 5. 231-250
- Kulbicki M., G. Bargibant, J.L. Menou, G. Mou Tham, J.T. Williams 1993 a Evaluation des ressources en poissons du lagon d'Ouvéa. Rapports de Convention Sciences de la mer *ORSTOM Nouméa* 9 in prep.
- Kulbicki M., C.Garrigue, G.Bargibant, J.L. Menou, G. Mou Tham 1993 b Répartition du megabenthos dans le lagon d'Ouvéa Rapports de Convention Sciences de la Mer *ORSTOM Nouméa* 8: 39-96
- LeBorgne R. 1986 Programme PROCAL III - Campagnes Prefil, Uitoe, Maré et Ondimar (zooplancton et micronecton) *Rapport miméo ORSTOM Nouméa* 154 p
- LeBorgne R., Y. Dandonneau et L. Lemasson 1985 The problem of the island mass effect on chlorophyll and zooplancton standing crops around Mare (Loyalty islands) and New Caledonia *Bull. Marine Sci.* 37(2):450-459
- Legendre L. et P.Legendre 1984 *Ecologie numérique 2- La structure des données écologiques* Masson Collection d'écologie 254 p.
- Mou Tham G. et R. Grandperrin 1984 La pêche à la palangre en Nouvelle Calédonie . Rapports bimensuels. *ORSTOM Nouméa rapports miméo* numéro 11 à 24 : 150 p

Neter J. et W.Wasserman, 1974 *Applied linear statistical models* Richard D.Irwin Inc. 842 p

Petit M. et P. Hazane 1983 Radiométrie aérienne et prospection thonière *Rapport de Convention (avril 82-déc. 82/avenant n°3) ORSTOM Nouméa* 93 p

Ricard M. 1985 Rangiroa atoll, Tuamotu archipelago. B.Delesalle, R. Galzin et B. Salvat (eds) French Polynesian Coral Reefs *Proc. 5th Internat. Coral Reef Congress Tahiti june 1985* 159- 210

Ristvet B.L. 1987 Geology and Geohydrology of Enewetak Atoll D.M Devaney, E.S. Reese, B.L. Burch et P. Helfrich (eds) *The Natural History of Enewetak Atoll vol. 1* Office of Scientific and Technical Information U.S. Depart. of Energy 57-70

Salvat B. et G. Richard 1985 Atoll de Tokapoto, archipel des Tuamotus B.Delesalle, R. Galzin et B. Salvat (eds) French Polynesian Coral Reefs *Proc. 5th Internat. Coral Reef Congress Tahiti june 1985* 323-378

Sokal R. et F.Rolf, 1981. *Biometry. The principles and practice of statistics in biological research.* W.H. Freeman and Co. New York 860p

