

HYDROLOGIE, PLANKTON et BENTHOS

Christophe CHEVILLON & Bertrand RICHER de FORGES

ORSTOM
BP. A5 Nouméa
Nouvelle-Calédonie

- Tables des Matières -

INTRODUCTION	7
LOCALISATION DE LA ZONE ETUDIEE.....	7
HYDROLOGIE, PLANCTON et BENTHOS.....	9
1.- HYDROLOGIE	9
1.1.- Matériel et méthodes	9
1.2.- Résultats.....	9
Température.....	9
Salinité.....	9
Matériel dissous	9
Matériel particulaire.....	10
Coefficient d'extinction de la lumière.....	11
Cas particulier de l'eau intersticielle (cale du Faucon).....	11
Conclusions à l'étude des paramètres hydrologiques.....	11
2.- PLANCTON	12
2.1.- Matériel et Méthodes	12
2.2.- Résultats.....	12
3.- BENTHOS.....	13
3.1.- Matériel et méthodes	13
Macrophytobentos et mégafaune épigée :	13
Microphytobenthos, macro et méiobenthos :	13
3.2.- Résultats.....	15
ESSAI DE POMPAGE	17
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE : CONSEQUENCES NEFASTES DES EXTRACTIONS DE MATERIAUX MARINS	18
RECOMMANDATIONS	23
Choix du site :	23
Matériel et mode d'exploitation :	23
Surveillance - suivi :	24
Restauration du site après exploitation	24
BIBLIOGRAPHIE.....	25
ANNEXE.....	27

le sable pour matériaux -
 la stérilité - destinée à la construction

INTRODUCTION

Les stocks de sable destiné aux matériaux de construction ou à l'aménagement des plages, étant en voie rapide d'épuisement sur les sites terrestres, la société du CHALANDAGE envisage de procéder à l'exploitation de sable sous-marin. Les besoins d'extraction sont estimés à 60 000 m³/an avec un objectif final de un million de mètres cubes sur 10 années d'exploitation. C'est dans ce but et en vertu de la réglementation des carrières en vigueur dans la Province Sud, qu'une étude d'impact a été demandée à l'Agence pour l'Eau et l'Environnement du Pacifique (A2EP, filiale du BRGM). A2EP/BRGM propose un découpage en quatre volets : (1) Etude de l'état initial ; (2) Evaluation des conséquences sur le milieu et mesures de protection ; (3) Raison du choix ; (4) Mesures envisagées pour réduire les nuisances éventuelles.

La partie biologie du volet "état initial" a été menée en coopération avec l'équipe du laboratoire d'océanographie biologique du centre ORSTOM de Nouméa du fait de ses compétences spécifiques.

LOCALISATION DE LA ZONE ETUDIEE

Pour des raisons logistiques et économiques - carrière et installations déjà disponibles sur l'île Puen - le CHALANDAGE souhaitait que la zone d'extraction ne soit pas trop éloignée de Puen. Après une étude préliminaire réalisée en 1989 et portant sur la qualité et le volume de sable disponible, le choix définitif du site était arrêté : il s'agira de la zone des fonds de sables blancs situés entre le Grand Récif Extérieur et le banc du Curieux, à proximité de l'îlot Ténia et face à la baie de Pritzbuier (soit approximativement entre les latitudes sud 21°58'05" et 22°00'00" et les longitudes est 165°53'00" et 165°55'00"). Cette zone représente une superficie d'environ 4.5 km² (450 ha). Elle est orientée S-E / N-O, c'est à dire dans l'axe des vents dominants, la profondeur y est faible (1 à 4 m) et le fond est homogène et régulier ; seules quelques rares patates coralliennes le parsèment (Fig. 1).

patates coralliennes.

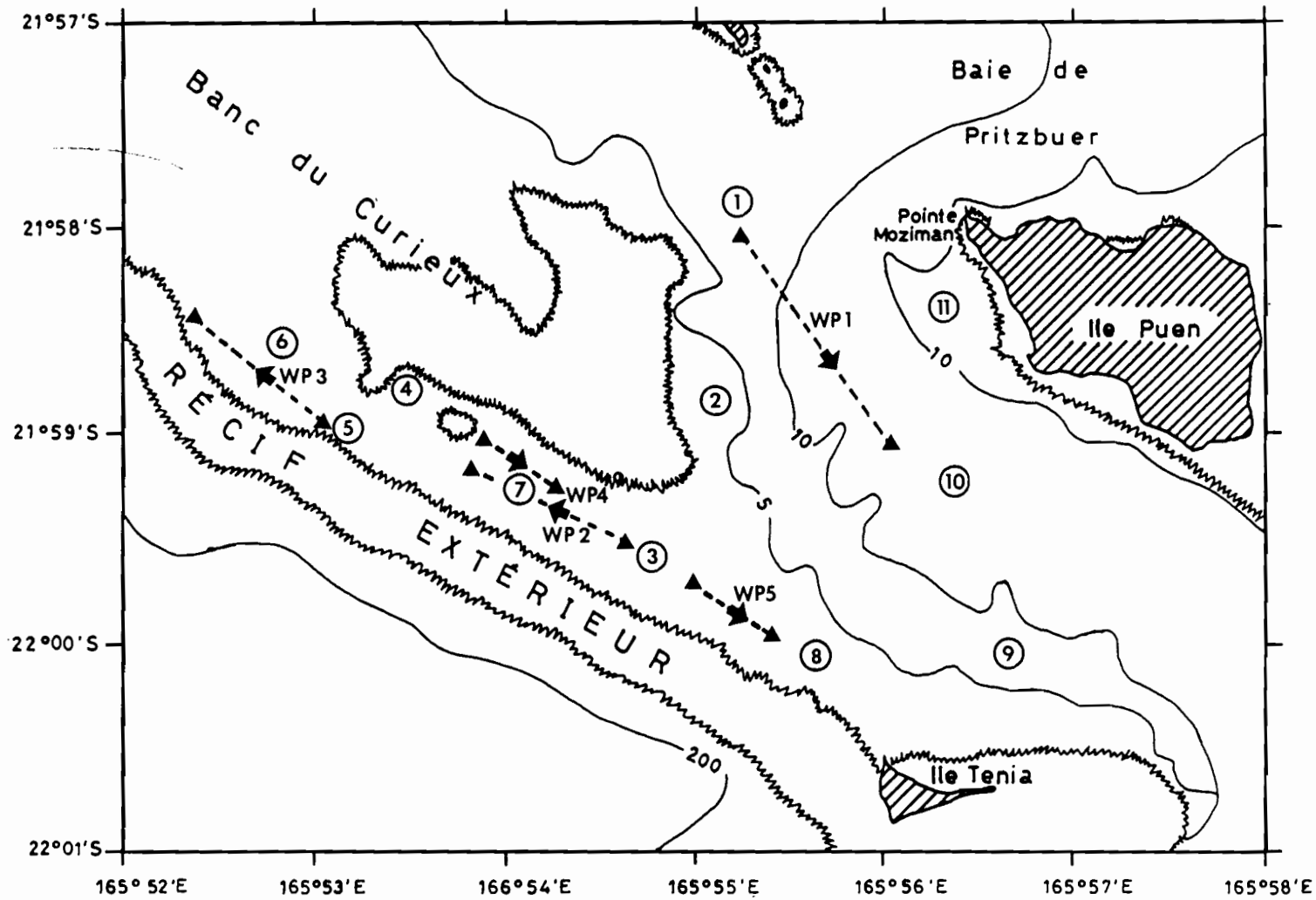


Fig. 1.- Situation de la zone étudiée.

HYDROLOGIE, PLANKTON et BENTHOS

1.- HYDROLOGIE

1.1.- Matériel et méthodes

Les échantillons d'eau de mer ont été recueillis en sub-surface à l'aide d'une bouteille à prélèvement NISKIN sur 11 stations (Fig. 1). La fermeture de la bouteille à la profondeur désirée était déclenchée par un message envoyé depuis la surface. Sur chaque station, la profondeur, la température et la salinité de surface ont été mesurées lors du prélèvement (Tableau 1). Un échantillon supplémentaire a été recueilli dans la cale du Faucon lors de l'essai de pompage du jeudi 29 avril (station 12). Une fois les prélèvements terminés, les échantillons ont été immédiatement acheminés sur Nouméa, au laboratoire de chimie marine. Les sels nutritifs ont été dosés selon les méthodes de colorimétrie à l'aide d'un appareil automatique (Technicon). Les pigments chlorophylliens ont été dosés par fluorimétrie.

1.2.- Résultats

Température

Durant la semaine du 26 au 29 avril, la température de l'eau est restée stable, aux alentours de 24°C (23.9 à 24.5°). Les températures les plus élevées ont été relevées sur la zone même d'extraction, ce qu'il faut attribuer à la faible épaisseur de la couche d'eau dans cette partie du lagon (2 à 4 m de profondeur environ) et pour laquelle les variations liées à l'ensoleillement sont les plus marquées.

Salinité

La salinité relevée au réfractomètre sur l'ensemble des stations s'est avérée (parfaitement) constante avec une valeur mesurée de 38 ‰ sur 10 d'entre elles. Seule la station 11, située près de l'îlot Puen, en face du futur site de déchargement, présente une salinité moins élevée (37 ‰). Les valeurs de la salinité sont très élevées : près de 2 ‰ au dessus de la "normale" (35 ‰), ce qui est considérable. Cette anomalie doit être attribuée à la proximité de la vaste et peu profonde baie de St Vincent qui est le siège d'une évaporation intense à une époque de faibles débits fluviaux.

Matériel dissous

Les mesures de sels nutritifs dissous (Tableau 1) montrent que l'on peut distinguer à cette époque de l'année au moins trois masses d'eaux distinctes :

- les stations 08, 09, 10 et 11 présentent des teneurs en silicates proches de 1 µatg/l, des teneurs en phosphates très faibles et quasiment pas de nitrites et nitrates ; ce sont des eaux à caractères typiquement océaniques ;
- les stations de la zone d'extraction proprement dite (03, 04, 05, 06, 07), situées sur les fonds blancs, présentent des teneurs globalement assez fortes aussi bien en nitrites qu'en nitrates ; les valeurs en silicates et phosphates, bien que supérieures à celles des eaux du large, restent particulièrement faibles ; ces proportions dans les différents sels indiquent un milieu à forte reminéralisation (transformation par les bactéries de la matière organique en matière minérale) et

dans le cas présent, plutôt en fin de cycle au regard des faibles quantités de phosphate (lors de la reminéralisation, le phosphate est le premier élément qui est relargué dans le milieu ; suivent ensuite l'ammoniaque, les nitrates et les nitrites) ; ici le phosphate, peu abondant aurait donc déjà été réutilisé ; ces chiffres traduisent une eutrophisation naturelle : les sels nutritifs produits lors de la régénération ne sont pas recyclés (pour une cause indéterminée) et restent donc en excès dans le milieu ; les proportions relativement élevées d'azote et de phosphore organique infirment ces constatations ; le déficit en silicates observé s'explique par la faiblesse des apports terrigènes arrivant dans cette partie du lagon ;

- les stations 01 et 02 situées en bordure du chenal au vent du récif du Curieux, montrent des teneurs dans les différents sels qui sont intermédiaires, typiques d'une zone de mélange entre les eaux du large et les eaux plus typiquement lagonaires.

Matériel particulaire

L'examen des teneurs en matériel particulaire corrobore les éléments avancés ci-dessus. Le pourcentage de matière organique est très important et plus particulièrement encore sur la zone d'extraction (> 67% ; max à 91.05 % !) ; les fortes proportions de phéophytines (49.66 à 64.37 % sur la zone d'extraction) témoignant de la dégradation des cellules végétales, indiquent encore une tendance au "confinement" du milieu.

Tableau 1 : caractéristiques de l'eau de mer : température, salinité, sels nutritifs (nitrates, nitrites, phosphates, silicates, azote et phosphore organique) et pigments (Z : profondeur ; P.s. : poids sec ; M.o. : matière organique ; CHL : chlorophylle ; PHEO : phéophytines).

Stations	Chenal		Fonds blancs (zone d'extraction)						Chenal			12
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	
Heure	07.53	08.53	09.18	10.04	10.15	11.15	11.28	11.56	12.05	12.16	12.26	Cale du Faucon
Z (m)	8	7.8	3.4	3.2	2.6	3	2.7	3.8	10	13.8	10	-
T° surf. (°C)	23.9	24	24.3	24.3	24.3	24.3	24.5	24	23.9	24	24	-
Salinité (‰)	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	37	-
Matériel Dissous												
NO ₃ (µatg/l)	0.257	0.113	0.334	0.192	0.271	0.288	0.442	0.002	0.007	0.012	0.00	0.285
NO ₂ (µatg/l)	0.048	0.045	0.04	0.028	0.077	0.046	0.057	0.00	0.003	0.00	0.00	0.066
PO ₄ (µatg/l)	0.08	0.04	0.09	0.06	0.07	0.08	0.09	0.02	0.01	0.03	0.01	0.59
SiO ₂ (µatg/l)	0.81	0.67	0.27	0.33	0.71	0.5	0.91	1.04	1.62	0.89	1.12	0.6
N orga. (µatg/l)	3.4	2.24	2.59	10.57	2.61	3.23	2.89	2.84	2.58	3.34	2.26	22.94
P orga. (µatg/l)	0.22	0.23	0.2	0.63	0.23	0.22	0.23	0.25	0.28	0.26	0.26	1.25
Matériel Particulaire												
P.s. (mg/l)	1.489	1.763	1.384	1.462	1.223	0.403	0.771	1.646	2.748	2.532	3.172	38.86
M.o. (mg/l)	0.913	1.185	1.092	1.101	0.994	0.316	0.702	1.243	2.106	2.015	2.472	21.53
% M.o.	61.32	67.21	78.9	75.31	81.28	78.41	91.05	75.52	76.65	79.54	77.93	55.4
CHL a (µg/l)	0.307	0.297	0.119	0.164	0.132	0.119	0.111	0.432	0.459	0.485	0.623	0.195
PHEO (µg/l)	0.201	0.271	0.215	0.197	0.222	0.117	0.179	0.301	0.372	0.257	0.561	0.930
% PHEO	39.55	47.7	64.37	54.55	62.7	49.66	61.67	39.46	44.75	34.63	47.39	62.71

■ : valeur mini

■ : valeur max

La station 08, située à proximité de la langue de sable de l'îlot Ténia est particulière, tant du point de vue du matériel particulaire et dissous que de la matière minérale et organique. Elle présente peu de sels nutritifs (pas de minéralisation) et une chlorophylle peu dégradée (Phéophytines 39.46%). Elle s'éloigne donc des conditions générales de la zone étudiée et de la zone d'extraction et se présente plutôt comme représentative d'un milieu sain et bien oxygéné.

Coefficient d'extinction de la lumière

En raison de la faible profondeur du milieu étudié et de la grande clarté des eaux du site, aucune mesure du coefficient d'extinction de la lumière n'a été réalisée. Par ailleurs, ces mesures sont extrêmement contraignantes. En effet l'appareil utilisé est un "quantamètre" qui mesure de façon extrêmement précise la quantité de lumière arrivant sur deux capteurs (1 capteur atmosphérique en surface et 1 capteur sous-marin) en micro-moles de quanta ($1 \mu\text{mol} = 1 \text{ Einstein}$). Pour obtenir des données fiables et représentatives, en particulier sur des eaux très claires, il faut que les mesures soient toujours réalisées avec un soleil au zénith et des conditions de calme plat, les capteurs étant très sensibles à l'angle de pénétration dans l'eau des rayons solaires ainsi qu'à l'agitation (vent, vagues) de l'interface eau-atmosphère. La rigueur exigée par la méthode n'était en l'occurrence pas compatible avec le temps imparti pour cette étude.

Cas particulier de l'eau intersticielle (station 12 - cale du Faucon)

Un échantillon prélevé dans l'eau de la cale du Faucon a été analysé en supplément. Cette eau est composée d'un mélange, résultant de l'aspiration, qui provient pour partie de la colonne d'eau environnante et pour partie de l'eau intersticielle contenue dans le sédiment et qui est aspirée en même temps que celui-ci. Les résultats montrent que, lors du pompage, l'aspiration du sédiment de subsurface et de l'eau intersticielle associée entraîne le largage dans le milieu de quantités très élevées de sels nutritifs. Les teneurs en phosphate ($0.59 \mu\text{atg/l}$), en azote organique ($22.94 \mu\text{atg/l}$) et phosphore organique ($1.25 \mu\text{atg/l}$) sont en effet les plus élevées rencontrées. Le pourcentage de phéophytines (82.71 %) témoigne aussi d'un milieu très dégradé. C'est un résultat logique puisque lors de cette opération de pompage on puise dans la zone de reminéralisation.

CONCLUSIONS A L'ETUDE DES PARAMETRES HYDROLOGIQUES

Le résultat des analyses réalisées sur l'eau de mer a permis d'identifier plusieurs masses d'eaux qui se distribuent suivant un gradient océanique positif. Ce gradient s'exerce de l'est (eaux à caractères océaniques entrant par la passe de St Vincent) vers l'ouest (eaux lagunaires). En bout de gradient, c'est à dire sur la zone d'extraction proprement dite, les eaux présentent une tendance à l'eutrophisation qui résulte de la non-utilisation des sels nutritifs (nitrites et nitrates en particulier) relargués dans le milieu lors de la reminéralisation.

L'eau d'aspiration qui ^{est} doit être rejetée dans le milieu lors du chargement du chaland est une eau enrichie en sels nutritifs (phosphate + azote et phosphore organique) et en phéophytines (pigment résultant de la dégradation de la chlorophylle) du fait de son mélange avec l'eau intersticielle du sédiment. Ce rejet de l'eau d'aspiration va donc accentuer le déséquilibre en sels nutritifs du milieu. A l'extrême, cet excès de sels nutritifs peut conduire, si il n'y a pas dilution avec les eaux oligotrophes du large par le jeu du vent et des marées, à une sur-eutrophisation. (rejet / h. volume de l'eau)

Il ne faut cependant pas perdre de vue que les mesures réalisées et les résultats mis en évidence ici n'ont pas de valeur interprétative à long terme en l'absence de suivi temporel. Les anomalies mises en évidence pourrait résulter par exemple d'un phénomène saisonnier ⁽¹⁾ auquel cas le déséquilibre du milieu serait alors temporaire.

¹ Phénomène saisonnier tel que, par exemple, la prolifération d'algues benthiques en été ; vers la fin de l'été ces algues en cours de dégradation peuvent être remises en suspension dans la colonne d'eau par les agents hydrodynamiques et entraîner l'apparition d'anomalies identiques à celles observées lors de cette étude.

2.- PLANCTON

2.1.- Matériel et Méthodes

5 traits de plancton horizontaux de subsurface (Fig. 1) ont été réalisés avec un filet WP-2¹ de section 0.25 m² et une soie de 200 µm de vide de maille. Les échantillons recueillis ont été conservés dans du formol à 2 % pour la détermination du poids sec et du poids sec sans cendres au plus tard 6 à 7 h après le prélèvement (prélèvements du 27 avril uniquement). Pour l'analyse de la composition des peuplements à la loupe binoculaire, les échantillons ont été conservés dans du formol à 10 % neutralisé au borax (prélèvements du 27 et 29 avril). Le poids sec est obtenu après un séjour de l'échantillon de 24 h dans une étuve à 60° C. Le même échantillon est ensuite brûlé à 550° C pendant 1 h¹/₂ afin d'obtenir le poids de cendres (matière minérale) et, par différence pondérale, le poids sec sans cendre. Les observations à la loupe binoculaire ont porté sur l'énumération des taxons présents dans le milieu. L'abondance est définie par une cotation de 0 à 5 selon la méthode de Frontier (1972).

2.2.- Résultats

La caractéristique principale des prélèvements est l'extrême abondance des végétaux benthiques, arrachés au fond et présents dans la masse d'eau lors de la récolte. Il ne s'agit pas, nous semble-t-il, d'une propriété permanente du milieu étudié, mais de la conséquence d'une forte agitation de la masse d'eau pendant la période ayant précédé cette sortie.

Si l'on observe une forte proportion de larves d'animaux benthiques dans les prélèvements, le plancton est aussi caractérisé par la présence de taxons océaniques, qui ont pénétré dans le lagon par le jeu des marées.

Tableau 2- Caractéristiques et biomasses des prélèvements de plancton

N° trait	WP1	WP2	WP3	WP4	WP5
Date	27.04.93	27.04.93	27.04.93	29.04.93	29.04.93
Heure début	08.06	09.28	10.29	10.50	15.04
Heure fin	08.40	09.54	10.53	11.10	15.31
Position début	21°57'91-165°55'39	21°59'28-165°54'74	21°58'68-165°53'16	21°58'86-165°54'15	21°59'33-165°55'04
Position fin	21°58'86-165°55'90	21°58'83-165°53'90	21°57'90-165°52'52	21°59'09-165°54'45	21°59'33-165°55'44
Débit m ³ s ⁻¹	4715	4715	4715	4715	4715
Tours	12360	10780	10950	6035	4565
Vol. filtre (m ³)	500.6	436.6	443.5	244.4	184.9
Soie µm	19	-	2	-	-
Poids sec (g)	1828.7	-	886.5	-	-
Poids sec	391.7	-	400.8	-	-
Poids sec (mg)	1437	-	485.7	-	-
Pds sec (µg/m ³)	2.87	-	1.1	-	-
N° alu	101	-	102	-	-
Poids alu	717.2	-	763.1	-	-
Poids sec + alu	2154.2	-	1248.8	-	-
Couleur	gris	-	vert	-	-
Alu + couleur	1445	-	857	-	-
Couleur	gris	-	gris	-	-
P.S.S.C (mg/m ³)	1.42	-	0.89	-	-
% PSSC (M.O.)	49.35	-	88.67	-	-

Tableau 3- Composition des prélèvements de plancton au filet WP-2

Organismes	27.04.93	29.04.93
Macrophytes benthiques	+++++	+++++
Diatomées	++	+
Oscillatoria	++	+++
Acanthaires, Radiolaires	+	+
Foraminifères	+	+
Tintinnides	+	+
Noctiluques	+	++
Copépodes	+++	+++
Larves de Brachyours	++	+
Autres larves de Décapodes	++	+
Larves de Cirripèdes	+	+
Larves de Lamellibranches et Gastéropodes	+	+
Larves de Polychètes	+	+
Ptéroptères thécosomes	+	
Appendiculaires	+	
Chaetognathes	+	
Siphonophores	+	
Oeufs de poissons	+	+

3.- BENTHOS

3.1.- Matériel et méthodes

12 stations ont été retenues pour l'échantillonnage du benthos en plongée (Fig. 2). Sur chacune des stations les opérations suivantes ont été réalisées :

Macrophytobenthos et mégafaune épigée :

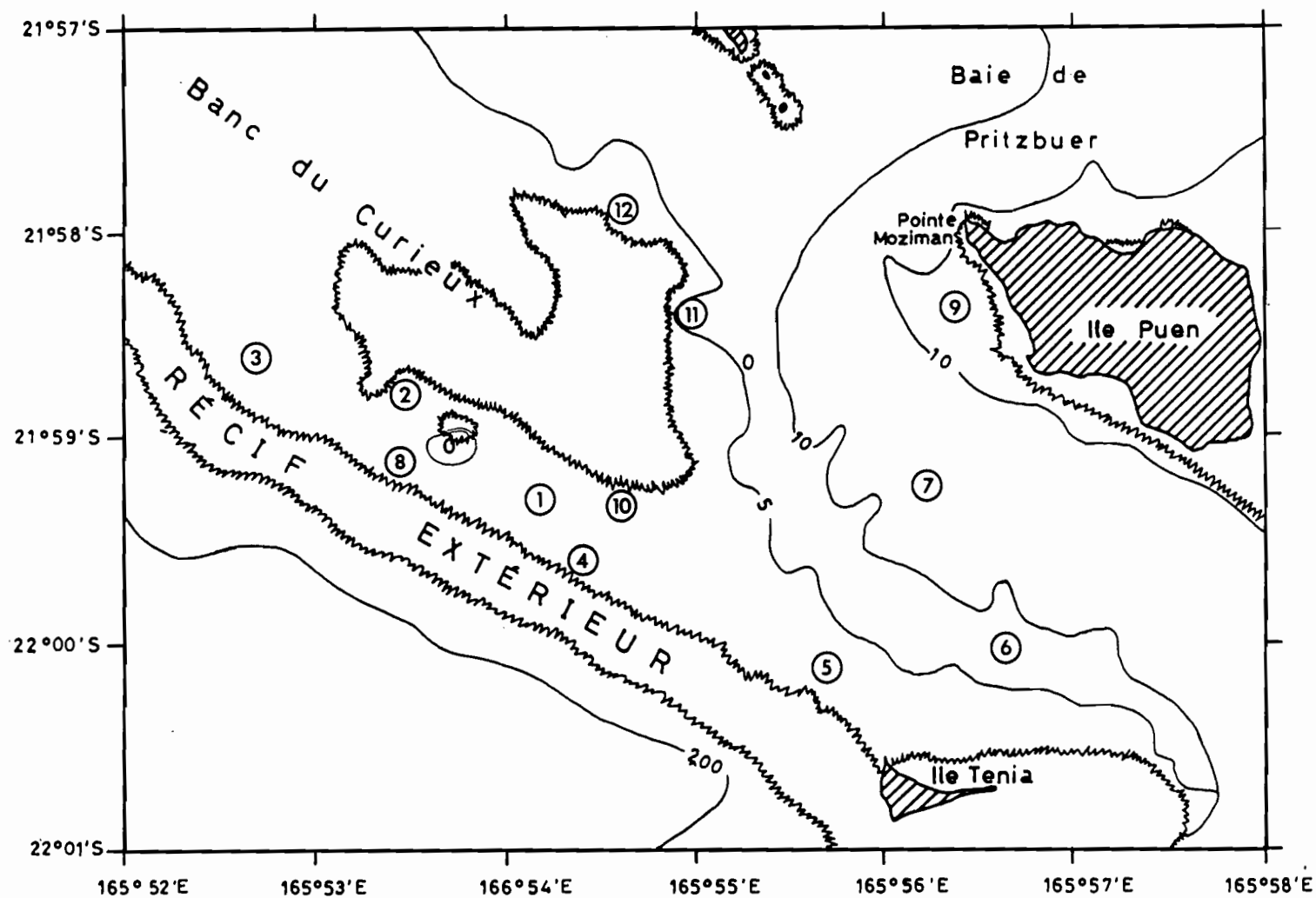
- mise en place d'un transect de 50 m (bout lesté) repéré tous les 10 m ;
- relevé, par portions de 10 m, des espèces présentes et de leur abondance (côtée de + à 5) sur 1 m de large de part et d'autre du transect soit sur 100 m² (mégafaune épigée) ;
- relevé du pourcentage de couverture des algues sur la station (macrophytes) ;
- récolte de tous les organismes présents sur ces 100 m² ; à bord les organismes sont triés par espèces puis congelés pour identification au laboratoire et calcul ultérieur de la biomasse ;
- récolte de toutes les macrophytes présentes dans un quadrat de 1 x 1 m placé le long du bout dans les 10 derniers mètres ; à bord les algues sont triées puis conservées à l'obscurité dans du formol à 10% ;

Microphytobenthos, macro et méiobenthos :

- réalisation de 3 carottes pour prélèvement du premier centimètre de sédiment (microphytobenthos) ; l'échantillon est conservé congelé et à l'abri de la lumière ;
- prélèvement à la suceuse de 20 dm³ de sédiment (délimités par un cylindre de 35.5 x 20 cm enfoncé dans le sédiment) ; ce sédiment est tamisé à bord sur 5 et 2 mm ; les refus de tamis sont conservés dans du formol à 10% (macro et méiofaune) ;

Au laboratoire, la détermination floristique et faunistique est menée aussi précisément que possible et les spécimens appartenant à chaque taxon animal sont dénombrés. Les densités sont exprimées en nombre d'individus par unité de surface. Les poids de matière sèche sont ensuite mesurés après déshydratation à l'étuve (60°C) jusqu'à poids constant ; puis les cendres sont pesées après passage au four à 550°C pendant au moins 3 heures ; les poids de matière sèche sans cendre sont calculés par différence entre ces deux valeurs. Les biomasses par taxon sont exprimées en g/m² puis additionnées pour obtenir la biomasse totale par unité d'échantillonnage.

Méthode de ?



Les biomasses du meio et du microbenthos sont estimées conjointement, de manière indirecte, par estimation de la quantité d'ATP. Une partie aliquote du prélèvement est mise en présence de 10 ml de NaCHO₃ (0.1 M) bouillant. L'extraction est poursuivie pendant 2 mn puis le surnageant est conservé. La concentration d'ATP est dosée par bioluminescence en présence d'extrait de queue de luciole (Bancroft *et al.* 1966).

La biomasse du microphytobenthos est obtenue de manière indirecte par estimation des pigments chlorophylliens, chlorophylle a fonctionnelle et phéopigments contenus dans le sédiment (1er centimètre des carottes). L'échantillon est lyophilisé puis les pigments sont extraits par 20 ml d'acétone à 90% pendant 18 à 24 h au réfrigérateur. Le surnageant est filtré, puis les densités optiques sont lues au spectrophotomètre à 750 et 665 nm avant et après acidification à l'HCl 0.5 N. Les équations de Lorenzen (1967) sont utilisées pour calculer les concentrations en pigments chlorophylliens.

L'étude sédimentologique du substrat a été réalisée par A2EP/BRGM.

3.2.- Résultats

En raison des délais très brefs imposés dans cette étude, seules les données concernant la mégafaune épigée ont pu être traitées. L'échantillonnage ayant toutefois été réalisé pour l'ensemble des catégories, l'étude du phytobenthos, du macro et du mézoobenthos pourra au besoin être réalisée ultérieurement.

La zone prévue pour l'extraction du sable correspond au chenal situé entre la récif barrière et le récif interne du Banc du Curieux. Il s'agit de fonds d'arrière-récif de faible profondeur (1.5 à 4.5 m environ), à l'eau très claire et constitués de sable blanc moyen à grossier, faiblement envasé (>5%); ce sable est recouvert en tâches de Léopard ou en mosaïque, d'un tapis d'algues vertes filamenteuses à l'aspect cotonneux (*Boodlea composita*) (Fig. 3) ainsi que de mottes brunes de Cyanobactéries (jusqu'à 90% de la surface) (Fig. 4). Quelques petits massifs de coraux épars parsèment de place en place (Fig. 5); ils sont essentiellement constitués de Scléractiniaires des genres *Acropora* et *Pocillopora*. Les groupes dominants de la mégafaune épigée sont les Echinodermes avec 3 espèces d'Echinides (*Laganum depressum*, *Clypeaster oshimensis* et *Echinodiscus bisperforatus truncatus*, le premier étant largement dominant) et 2 espèces d'Holothuries (*Nardoa novaecaledoniae*, *Holoturia (Metriatyla) scabra*). Viennent ensuite les Mollusques Gastéropodes avec par ordre d'importance les genres *Strombus*, *Rhinoclavis*, *Conus*, *Terebra*, *Umbonium*, *Pupa*, (8 espèces), les mollusques lamellibranches (g. *Pinna*, *Pinctada* et *Cardium*) et enfin les crustacés (g. *Pagurus*). Plus localement (St 05) sont rencontrés des coraux libres (*Heteropsammia cochlea*), quelques phanérogames (*Halodule uninervis*, *Halophila ovalis*) et d'imposants cratères de la grande raie *Taeniura melanospila*.

Ces fonds blancs d'arrière-récif (St 01, 02, 03, 04, 05, 08, 10) sont traditionnellement considérés comme des zones à hydrodynamisme actif. La présence des ripple-marks observés en plongée lors des récoltes ou encore la présence d'*Amphioxus* (Prochordés) g. *Asymmetron* dans le sédiment, organisme habituellement associé aux dunes hydrauliques, en témoigne. Toutefois, nous avons vu au \$1 (Qualité de l'Eau de Mer) que les teneurs en sels nutritifs et la nature des pigments chlorophylliens indiquent une tendance à l'eutrophisation. De la même façon la présence des *Boodlea composita* est aussi en faveur d'une certaine eutrophisation. Toujours dans le même ordre d'idée, si ce type de fond est considéré comme dénué ou presque de fraction fine (0 à 5% selon les données sédimentologiques), la présence de certains organismes indique au contraire l'existence de particules fines en quantité non négligeable (Sipuncles, *Laganum depressum*, *Rhinoclavis articulata*, *Heteropsammia cochlea*). Il s'agit donc d'un écosystème complexe et une étude aussi courte ne peut prétendre en percevoir et en comprendre tous les mécanismes.

Les stations situées en dehors de la zone d'extraction de sable proprement dite (St n° 06, 07, 09, 11 & 12), présentent des caractéristiques passablement différentes. Ces stations que nous qualifierons de "stations de chenal" sont plus profondes (5 à 15m) et les eaux y sont vertes et turbides avec une importante quantité de matière particulaire en suspension. Le fond est constitué de sable gris modérément à fortement envasé, plus hétérogène que précédemment (présence de débris coralliens et de blocs détritiques) et parsemé de nombreux terriers de callianasses (Crustacés, Thalassinides). Les herbiers de phanérogames y sont bien présents (*Halodule uninervis*, *Halophila ovalis*, *Cymodocea* sp.)

et réalisent 60 à 80% de la couverture du fond. La mégafaune épigée, sensiblement plus riche et plus diversifiée, est bien caractéristique des fonds gris du lagon sud-ouest et de la présence de sédiment fin (*Heteropsammia cochlea*, *Rhinoclavis aspera*, *Xenophora solarioides*). On notera la présence de 9 espèces de Gastéropodes à la station 07 (g. *Strombus*, *Xenophora*, *Nassarius*, *Terebellum*, *Pseudovertagus* et *Rhinoclavis*). Localement les Scléractiniaires libres *Heteropsammia cochlea* peuvent être dominants (St 07), de même que les Alcyonnaires du genre *Sarcophyton* sp. (St 11).

Les stations 11 et 12, proches du Banc du Curieux côté chenal, se distinguent des autres stations de fonds gris par la présence de scléractiniaires libres du genre *Fungia* (*Fungia* sp., *Fungia simplex* & *Heliofungia actiniformis*) et de pâtés coralliens épars massifs ou branchus. Les herbiers de phanérogames y ont disparu au profit d'une couverture algale plus réduite à *Dichtyota* (5 à 15%) et d'Alcyonnaires (*Sarcophyton* sp., *Simularia flexibilis*). La fraction grossière du sédiment y est plus abondante.

L'ensemble de ces données ont été complétées par une récolte réalisée de nuit sur la zone des fonds blancs à proximité de la station 01 (Fig. 6). Cette récolte montre que l'échantillonnage de jour sous-évalue largement l'abondance des organismes et la richesse spécifique (Tableau 4).

Tableau 4 : Station 01. Récolte de nuit. Liste et abondance relative des espèces récoltées.

		Abondance relative
Mollusques Gastéropodes		
1	<i>Conus eburneus</i>	+++
2	<i>Conus marmoreus</i>	++
3	<i>Conus litteratus</i>	++
4	<i>Conus quercinus</i>	++
5	<i>Conus pulicarius</i>	++
6	<i>Strombus luhuanus</i>	++
7	<i>Strombus gibberulus</i>	+
8	<i>Cassis cornuta</i>	+++
9	<i>Ceritium</i> sp.	+++
10	<i>Bulla</i> sp.	+++
11	<i>Harpa articularis</i>	+
12	<i>Natica</i> sp.	+++
13	<i>Terebra amacula</i>	++
Mollusques bivalves		
14	<i>Pinna</i> sp.	+++
15	<i>Cardium</i> sp.	+
16	<i>Pinctada margaritifera</i>	+
Echinodermes		
Echinides		
17	<i>Laganum depressum</i>	+++++
18	<i>Clypeaster oshimensis</i>	+
19	<i>Echinodiscus bisperforatus</i>	+
Holothuries		
20	<i>Nardoa novaecaledoniae</i>	+
21	<i>Metryatila scabra</i>	+
22	<i>Actinopyga miliaris</i>	+
Crustacés		
23	<i>Picrocerus armatus</i>	+
-	Crabes divers	+++

Du point de vue de la biomasse, la récolte la plus riche est celle de la station 01 (au centre de la zone d'exploitation) avec une biomasse totale en mégafaune épigée de 36 g/m² soit 36 tonnes au km² (poids de matière sèche). Le poids sec sans cendres (PPSC) ou autrement dit la matière organique, est de 2.7 g/m². Ce sont des chiffres élevés, dus essentiellement aux fortes densités de l'Echinoderme



Fig. 3.- Le milieu d'extraction (détail) : fond de sable blanc et couverture algale (*Boodlea composita*)
Photo : G. Bargibant - ORSTOM

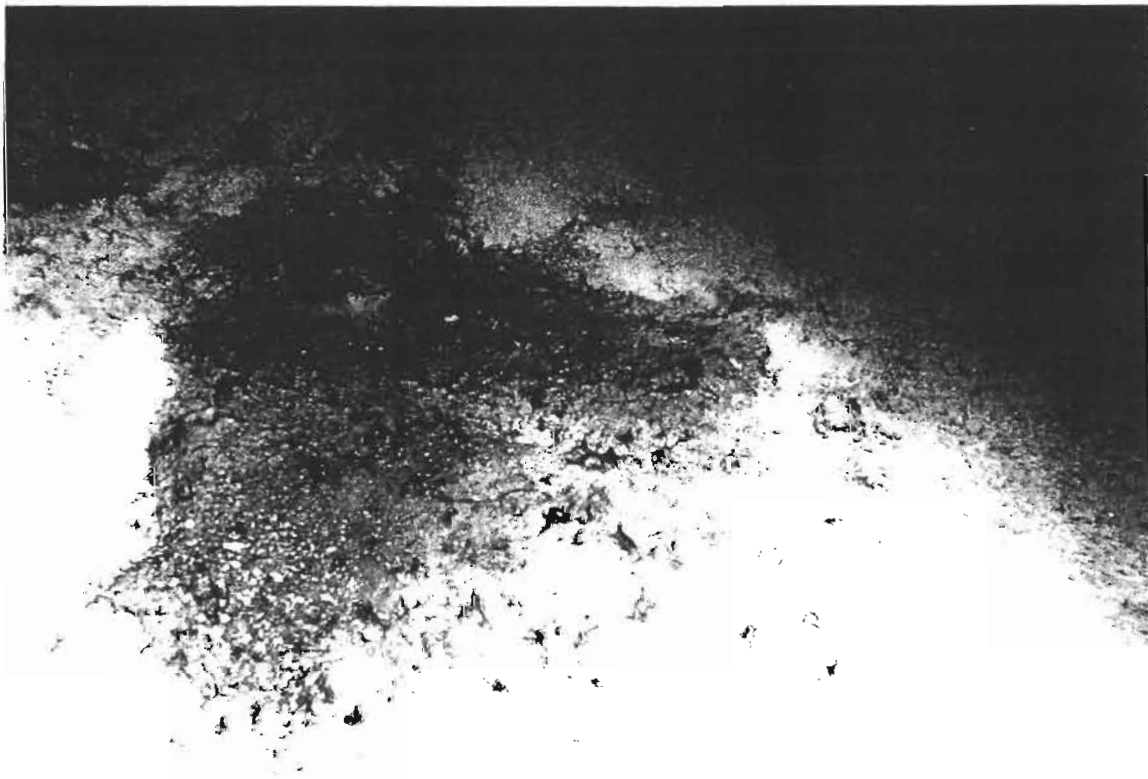


Fig. 4.- Tapis cyanobactérien (détail) au rôle stabilisateur pour le sédiment
Photo : G. Bargibant - ORSTOM



Fig. 5.- Massifs coralliens isolés sur les fonds de sable blanc
Photo : G. Bargibant - ORSTOM



Fig. 6.- Station 01, récolte de nuit (voir tableau 4)
Photo : G. Bargibant - ORSTOM

Laganum depressum (152 individus récoltés sur 100 m²). Ces valeurs sont d'autant plus importantes que n'entre pas en compte dans leur calcul la biomasse végétale ni celles du macro et du meiobenthos. Sur les autres stations de fonds blancs les valeurs sont beaucoup plus faibles (0.124 à 3.37 g/m²) ce qui ramène la moyenne à 6.22 g/m² toujours en poids de matière sèche (PS). Le record de pauvreté est à la station 03 avec 3 mollusques sur 100 m² pour une biomasse de 0.124 g/m².

En dehors de la zone d'extraction, les stations les plus riches sont celles situées en bordure du Banc du Curieux côté chenal avec, respectivement 4.89 et 12.26 g/m² de poids sec sur les stations 11 et 12, ce qui donne une moyenne supérieure à celle des fonds blancs : 8.57 g/m². La station 11 est aussi celle qui présente le chiffre le plus élevé en matière organique (3.02 g/m²) en raison d'une couverture importante du substrat en alcyonnaires (PSSC : 2.52 g/m²). Enfin, malgré une diversité spécifique plus élevée (12 espèces à la station 07), ce sont les stations des fonds gris de chenal qui apparaissent comme les plus pauvres avec une moyenne de 1.28 g/m² et 0g à la station 06 (PS).

La liste et l'effectif des espèces récoltées (méga-faune épigée uniquement) sur chaque station ainsi que la biomasse correspondante (par taxons et biomasse totale par station) sont présentés en annexe.

ESSAI DE POMPAGE

Outre l'étude du milieu réalisée, nous avons pu assister lors de notre présence sur le terrain à l'essai de pompage grandeur nature qui a eu lieu le lundi 03 mai 1993. Le sable était aspiré par la drague ORCA puis acheminé, ainsi qu'une importante quantité d'eau de mer, vers le chaland Le FAUCON par un système de tuyauterie flottant. Les phénomènes observés à cette occasion et les nuisances qu'ils pourraient entraîner en l'absence de mesures protectrices, sont exposés ci-dessous.

Au niveau de la drague Orca

- malgré l'absence d'engin rotatif, il y a remise en suspension de matériel fin par la tête aspirante pendant l'extraction du sable (Fig. 7) ;
- le tapis cyanobactérien ainsi que la couche superficielle de l'interface eau-sédiment - qui ont pour le sédiment un rôle stabilisateur vis à vis des agents hydrodynamiques ambiants (tenue du sédiment) - sont éliminés par l'aspiration, ce qui favorisera la remise en suspension du sédiment dans ces eaux peu profondes et fréquemment agitées par les alizés ;
- après l'aspiration, un matériel très fin se trouve concentré à la surface de la souille ; il est facilement remis en suspension par l'agitation du milieu ;
- la quantité de sédiment prélevé pour cet essai (~150 m³) a laissé un cratère aux dimensions conséquentes (environ 12 m de diamètre et 2.5 m de profondeur) (Fig. 8) ; à plus grande échelle, il faudra tenir compte des risques de déséquilibre sédimentaire (transferts de sédiment pour combler la souille résiduelle), d'autant plus que l'îlot Ténia est relativement proche de la zone d'extraction prévue ;
- le pompage entraîne la destruction de la faune et de la flore - vivant sur (macroflore et méga-faune épigée) et dans (microflore, macro et meiofaune) le sédiment - qui sont une source de nourriture pour de nombreuses espèces animales (dont certaines sont consommées par l'homme).

Au niveau du Chaland Le Faucon

- le principal impact lié au chaland est le déversement, dans le milieu, de l'eau surnageante de la cale au fur et à mesure du chargement (Fig. 9). Cette eau est très turbide (disparition du disque de Secchi à ≈ 20 cm de la surface) et, comme nous l'avons vu au §1, enrichie en sels nutritifs (PO_4 : $0.59 \mu\text{atg/l}$; Norg. $22.94 : \mu\text{atg/l}$ et Porg. : $1.25 \mu\text{atg/l}$). Le panache laiteux généré pendant cette opération est plus concentré et persistant que celui soulevé par la tête aspiratrice de la drague.

L'essai de pompage montre donc que, outre la destruction de la faune benthique - qui s'accompagne d'effets indirects - et le risque d'un déséquilibre sédimentaire de la zone, la plupart des nuisances entraînées par ce type d'extraction convergent vers une remise en suspension des particules fines. Selon l'importance et la durée de l'exploitation et en l'absence d'agents hydrodynamiques suffisant, il y a là un risque de voir les eaux très claires de cette partie de lagon se transformer en eaux laiteuses, couleur "pasta". Cette remise en suspension a deux conséquences majeures : (1) une augmentation de la turbidité, de laquelle découle directement une baisse de la luminosité au niveau du fond et donc une diminution de l'énergie disponible pour la photosynthèse, la croissance et la reproduction des organismes ; (2) une augmentation de la sédimentation - lorsque les fines mises en suspension se redéposent - qui aboutit à l'ensevelissement plus ou moins prononcé d'organismes qui, dans ces fonds d'arrière-récif, ne sont pas toujours adaptés à cet excès de sédimentation.

Dans la revue bibliographique qui suit, nous allons voir que lorsque ces effets ont été intenses et persistants, les extractions de ce type réalisées dans d'autres pays de la zone inter-tropicale se sont souvent soldées par de véritables catastrophes écologiques qui ont affectées, non seulement la zone d'extraction, mais aussi les écosystèmes voisins du fait des interactions et interpénétrations naturelles entre ces écosystèmes (réseaux trophiques, cycles de reproduction). Nous verrons aussi que les conséquences peuvent dépasser très largement la simple période d'exploitation et perdurer pendant plusieurs mois à plusieurs années après la fin des opérations.

Il faut donc bien avoir à l'esprit que, en fonction du type et de l'importance de l'exploitation et en l'absence de précautions essentielles, l'impact sur le milieu d'une telle opération pourrait dépasser très largement, à la fois dans le temps et l'espace, la zone et la période d'extraction.

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE : CONSEQUENCES NEFASTES DES EXTRACTIONS DE MATERIAUX MARINS

Ce chapitre passe en revue les conséquences néfastes sur le milieu qui ont été constatées à la suite d'extractions sous-marine de matériaux ayant eu lieu dans d'autres pays inter-tropicaux et pour lesquelles aucune mesure préventive n'avait été prise. Il doit permettre de prendre conscience des risques potentiels engendrés par ce type d'opérations et d'éviter, comme cela a trop souvent été le cas, que l'exploitation ne se solde par un désastre écologique.

Effets de la remise en suspension des particules fines et de l'excès de sédimentation

Outre la destruction totale des organismes benthiques sur le site d'exploitation, les particules remises en suspension à la suite d'extractions de matériaux en milieu marin constitue une des plus importantes sources de destruction des récifs coralliens par les activités humaines dans le Pacifique et les Caraïbes



Fig. 7.- Remise en suspension de matériel fin lors de l'aspiration du sable.
Photo : G. Bargibant - ORSTOM



Fig. 8.- Vue générale du cratère laissé par l'extraction d'environ 150 m³ de sédiment.
Photo : G. Bargibant - ORSTOM

(Johannes 1975, Dahl 1985, Rogers 1985, Rogers 1990). De par le monde inter-tropical, les exploitations de granulats marins, commandées par la construction d'hôtels, de routes ou le rechargement de plages touristiques, ont abouti à de sévères dégradations des récifs, des herbiers et des mangroves par excès de sédimentation (Endean 1976, Jaap 1984, Dahl *op. cit.*, Salvat 1987, White 1987).

En effet, le matériel particulaire remis en suspension par ces activités augmente non seulement la turbidité - ce qui altère à la fois l'intensité et la qualité spectrale de la lumière nécessaire à la photosynthèse réalisée par les algues et les zooxanthelles symbiontes des Scléractiniaires - mais aussi la décharge de sédiment sur les coraux et autres organismes de l'écosystème ; ce dernier point conduit à un étouffement, un ensevelissement de ces organismes inadaptés à ces nouvelles conditions de sédimentation. Cette sédimentation excessive affecte à la fois la structure et le fonctionnement de la totalité de l'écosystème corallien par altération des processus physiques et biologiques (métabolisme, croissance, recrutement). Ainsi, la turbidité entraîne une diminution du taux de croissance des coraux qui ont besoin de lumière pour fixer le carbonate de calcium nécessaire à leur croissance (Chalker 1981). D'autre part, l'énergie utilisée par les coraux pour se dégager des particules sédimentaires qui les ensevelissent est autant d'énergie inutilisable pour la croissance. L'augmentation des apports sédimentaires (que ce soit en suspension ou par accumulation de particules) peut altérer radicalement le recrutement des organismes récifaux en affectant les capacités de leur larves à se fixer et à survivre. De plus, la diminution de l'éclairage peut aussi inhiber le développement des larves en réduisant la quantité d'énergie disponible pour la maturation des ovocytes et des embryons (Tomascik & Sander 1987).

Le taux de sédimentation moyen et la concentration de matériel en suspension pour des récifs qui ne sont pas soumis à un stress d'origine anthropique sont compris respectivement entre <1 et $10 \text{ mg cm}^{-2} \text{ j}^{-1}$ et $<10 \text{ mg l}^{-1}$ (Rogers 1990, Pastorok & Bilyard 1985). Au dessus de ces chiffres on observe une diminution du nombre d'espèces (richesse spécifique), du pourcentage de coraux vivants, des taux de croissance réduits, une abondance plus importante des formes branchues, un recrutement réduit, une baisse de la calcification, une décroissance de la productivité nette des coraux, et un ralentissement de l'accrétion des édifices récifaux.

Les extractions de matériaux marins affectent en outre, non seulement la portion de l'écosystème où elle sont réalisées (destruction totale de la faune et la flore benthique) mais aussi toutes les aires situées en aval des courants dominants et où la concentration de particules fines en suspension va augmenter. Dans l'Atoll de Johnston (Pacifique central), les extractions ont détruit 440 ha d'écosystème récifal ; il s'en est suivi une remise en suspension des particules fines qui a affecté au total 2640 ha, soit une surface 6 fois plus importante que la zone d'extraction initiale (Brock *et al.* 1966). Par ailleurs, la remise en suspension et le transport continu des sédiments sur les aires d'extraction peuvent encore entraîner une dégradation des récifs des années après que l'exploitation ait cessée (Brock *et al.* 1966, Grigg *et al.* 1972, Marsh & Gordon 1974). Aux Bermudes (Dodge & Vaisnys 1977) il a été démontré que la diminution de la quantité de coraux vivants dans Castle Harbor est la conséquence d'extractions ayant eu lieu 35 ans plus tôt. Des extractions près d'un récif à Curaçao ont abouti à la mortalité de portions de colonies entières de *Porites*, (à des profondeurs de 15 à 25 m), à une décroissance des taux de calcification des espèces du g. *Madracis* et *Agaricia* jusqu'à l'arrêt complet de la calcification plus d'un mois après que les eaux turbides soient redevenues claires. La cause apparente de cet impact étant un niveau d'éclairage descendu à 1% de l'illumination de surface (interface eau-atmosphère) (Bak 1978).

Les conséquences de ces extractions vont encore plus loin : le déclin des pêcheries tropicales, evident dans les Caraïbes (Rogers 1985) et le Pacifique (Dahl 1985) apparaît comme un résultat partiel de la détérioration des récifs coralliens, des herbiers et des mangroves. Un excès de sédimentation peut affecter le réseau alimentaire complexe de l'écosystème récifal en détruisant non seulement les coraux mais aussi les éponges et autres organismes (oursins) qui servent de nourriture aux poissons ou aux coquillages économiquement importants. Il peut aussi altérer les interactions complexes entre les poissons (ou les autres organismes) et leur habitat récifal (Rogers 1990). En particulier, une atteinte du récif peut entraîner à la fois la diminution du nombre d'individus et du nombre d'espèces. Selon Galzin (1981) la reprise des extractions dans le Grand Cul de Sac Marin (Guadeloupe) a conduit à la

disparition de 20 des 29 espèces de poissons inventoriées après que les travaux aient cessés depuis plus d'un an. Amesbury (1981) montre que dans l'atoll de Truk le nombre d'espèces de poissons décroît significativement sur les stations où ce sont accumulés des sédiments fins issus d'extractions ; de l'ensevelissement d'un massif corallien a résulté la disparition totale des poissons tandis que l'ensevelissement partiel d'un autre massif a entraîné une baisse de la diversité spécifique de plus de 50%. Dans l'atoll de Johnston, la disparition de 12 espèces de Chaetodontidae (poissons papillons) se nourrissant de coraux fût corrélée avec la mortalité extensive des coraux suite à la remise en suspension de particules fines associée à des extractions (Hourrigan *et al.*, sous presse). Herrnkind *et al.* (1988), qui étudie la biologie et la reproduction de la langouste *Panulirus argus* à Florida Keys (USA), suggère que les activités humaines qui entraînent une remise en suspension dans les eaux marines ou accélèrent les taux normaux de sédimentation sont fortement préjudiciables au recrutement de cette espèce.

Cumul des stress

Les écosystèmes coralliens peuvent être affectés par des "stress" de deux types : des stress chroniques (sédimentation, rejets en mer, nutriments, effets du tourisme) ou des stress brutaux (cyclones, apports d'eaux douces importants lors de fortes pluies, explosion démographique d'*Acanthaster*). Pris isolément, la plupart des stress chroniques sont assez bien tolérés à travers le temps par l'écosystème corallien. Les récifs recupèrent aussi rapidement d'un stress brutal à condition que celui-ci soit la seule source de perturbation du milieu. La récupération "totale" des effets d'un stress brutal étant tout de même estimée à 10-15 ans (Kinsey 1988). Par contre, la récupération à un stress brutal est extrêmement compromise en présence d'un stress chronique pré-existant ; on parle de stress combinés (par exemple, dans le cas qui nous intéresse, si le récif se remet assez bien des fréquentes dépressions tropicales qui traverse la zone chaque année, le passage de ces mêmes dépressions sur le récif alors qu'il serait soumis au stress d'une exploitation de sable sous-marin pourra, par synergie, avoir un effet extrêmement néfaste sur l'écosystème).

Flambée ciguatoxique

La ciguatera, localement appelée "gratte", est un type particulier d'empoisonnement lié à l'ingestion de poissons tropicaux associés aux récifs coralliens et habituellement consommables. L'agent responsable en est *Gambierdiscus toxicus*, une algue unicellulaire benthique (Dinoflagellé) qui est ingérée par les poissons herbivores lorsqu'ils broutent les macrophytes qui lui servent de support. Par bioaccumulation le long des réseaux alimentaires les ciguatoxines initialement produites par la microalgue vont se concentrer dans les poissons jusqu'à atteindre des taux susceptibles d'intoxiquer les consommateurs. La microalgue *Gambierdiscus toxicus* est une espèce peu mobile, qui, dans un environnement riche en coraux vivants, existe en faible densité, sans porter à conséquence sur la toxicité des poissons. En revanche, en cas de dégradation du corail, de formation de substrats dénudés, il va y avoir installation de gazon mixtes (algues filamenteuses, algues calcaires, algues unicellulaires et macroalgues) qui vont devenir des supports privilégiés pour la microalgue toxique (Laurent & Amade 1992). Ainsi toutes perturbations du substrat et des communautés coralliennes, qu'elles soient naturelles (cyclones) ou anthropiques (agressions de l'homme pour l'aménagement du littoral, la construction de digues ou de wharfs, le creusement d'un chenal, etc...) risque d'entraîner une prolifération en masse des *Gambierdiscus toxicus* et de provoquer une flambée ciguatoxique.

Autres risques potentiels

Parmi les autres risques potentiels il faut citer :

- les risques d'une explosion démographique des *Acanthaster planci* (Echinoderme, Astéride) grande destructrice des récifs coralliens ; le temps de récupération d'un récif gravement atteint par une explosion des *Acanthaster* est estimé par Kinsey (1988) à une dizaine d'années ; du fait des ses importantes capacités de régénération, éradiquer cet organisme d'un récif infesté est très difficile ;



Fig. 9.- Panache turbide induit par la surverse lors du chargement du chaland.
Photo : G. Bargibant - ORSTOM

- le blanchissement du récif ; ce phénomène intervient lorsqu'il y a expulsion des zooxanthelles symbiontes des coraux suite à des perturbations du milieu (altération de la photosynthèse par la turbidité entre autres) ; il peut aboutir à la destruction totale des colonies coralliennes avec tout ce que cela implique pour l'écosystème (disparition de la nourriture, des abris, etc...) ;

- l'altération des processus de reproduction (maturation des oeufs, recrutement des larves, développement des juvéniles) et des réseaux alimentaires des espèces de l'écosystème (par disparition de certains chaînons) ; les conséquences de ces altérations peuvent être "légères" (baisse de la croissance, de la diversité et de la richesse spécifique) et ne pas mettre forcément le milieu en péril, mais aussi beaucoup plus profondes (modification des peuplements suite à la disparition d'espèces qui seront remplacées par d'autres très différentes) et, du fait des effets indirects en cascade déjà évoqués, dépasser largement en temps et dans l'espace la seule zone d'extraction ;

RECOMMANDATIONS

Nous venons donc de voir que les extractions de sable et autres matériaux marins peuvent avoir des conséquences très graves sur l'environnement lagunaire et côtier. Afin d'éviter d'aboutir à une situation irréversible (désert biologique) et de minimiser au maximum les nuisances de ce type de carrière sur le milieu, un certain nombre de recommandations, générales (cf. bibliographie) ou concernant plus particulièrement le cas qui nous intéresse, peuvent-être faites.

Choix du site :

- éviter de prélever dans les eaux peu profondes où les dépôts fins résultant de l'exploitation seront plus facilement remis en suspension par l'agitation due aux courants et au vents ;
- essayer d'exploiter plutôt dans des eaux claires ; elles indiquent en général la présence de courants importants, de faibles taux de sédimentation et d'un substrat peu chargé en particules fines ; la resuspension des fines sera donc moins intense et elles seront plus facilement dispersées ;
- dans le cas plus particulier de notre étude nous ne saurions trop recommander de déplacer la zone d'extraction, pour des raisons "scientifiques" - il est impératif d'épargner le Banc du Curieux qui représente une concentration importante d'espèces souvent fragiles, sert de "nursery" pour les poissons et possède comme tous les édifices coralliens une grande diversité spécifique - et pour des raisons "socio-économiques" (nuisance esthétique d'une telle exploitation dans une zone du lagon très fréquentée par la population locale ou touristique) ;
- le déplacement de la zone d'extraction plus au nord ou plus au sud réduirait considérablement - du fait de l'absence de récif intérieur - l'impact sur le lagon ;

Matériel et mode d'exploitation :

- préférer les systèmes d'extraction hydraulique aux systèmes mécaniques, ils minimisent la remise en suspension des particules fines ; un système a priori efficace, qui réduirait considérablement la turbidité et la resuspension des sédiments a été testé en 1974 à Keauhou Bay, Hawaii : le "Submarine Sand Recovery System" (voir Salvat 1987, p. 172 et Maragos et al. 1977) ;
- utiliser des systèmes de décantation qui restent les seuls efficaces pour ne pas retourner au lagon une eau chargée en particules ;
- utiliser des rideaux protecteurs (barrages textiles) placés verticalement depuis la surface jusqu'au fond et isolant la zone d'exploitation afin d'éviter la dispersion des panaches turbides ;
- en leur absence, procéder à l'extraction en période de forts courants (marées importantes, vents prononcés) afin d'assurer au maximum la dispersion rapide des fines remises en suspension ; de préférence choisir la période de marée qui assurera une évacuation des fines par dessus le récif barrière en direction du large ou évacuer les fines vers la pente externe profonde (conduit ?) ; en cas d'utilisation de rideaux textiles, ceux-ci pourront être ouverts dans les mêmes conditions ;
- exploiter de façon discontinue, par périodes brèves et n'extraire que de petites quantités à chaque fois ; selon certains auteurs les coraux ne peuvent supporter un ensevelissement important que pendant un jour ou deux (Endean 1976, Marshall & Orr 1931 in Salvat 1987) ;

- déplacer le point d'extraction à chaque période d'exploitation, afin de laisser au milieu le temps de récupérer du stress occasionné, mais tout en restant dans la même zone ; il faut éviter en effet de multiplier les zones d'extraction ;
- éviter d'extraire sur de grandes surfaces et concentrer le volume extrait sur un point afin de réduire la destruction de la faune benthique qui vit sur le fond et dans les premiers 20 cm du sédiment (creuser au delà de 20 cm de profondeur n'augmente pratiquement plus la destruction de la faune endogée) ; il y a là toutefois une opposition avec le souci d'éviter un trop grand déséquilibre sédimentaire par "appel au vide" (dans ce cas mieux vaut exploiter peu profondément et sur de grandes surfaces) et avec le fait que les entonnoirs qui en résultent vont piéger les organismes ; il faudra donc essayer de cerner la méthode qui sera globalement la moins préjudiciable au milieu ;
- éviter l'exploitation pendant les périodes de reproduction, de fixation larvaire, de recrutement et de croissance des juvéniles des espèces benthiques et récifales (scléactiniaires et espèces associées) c'est à dire éviter à tout prix les mois de janvier à mai ;

Surveillance - suivi :

- assurer une surveillance étroite des quantités de matière particulaire en suspension (pièges à seston et filtration), taux de sédimentation et intensité lumineuse au niveau du fond ;
- surveiller la qualité de l'eau ; la resuspension de matériel particulaire sableux offre un support à certaines bactéries et peut provoquer un accroissement anormal de leur densité (jusqu'à 50 fois plus que dans des eaux coralliennes claires) (Bernard 1980 in Salvat 1987)
- suivre régulièrement l'évolution et les éventuelles modifications des peuplements et en particulier des colonies coralliennes (croissance, diversité, richesse, composition) sur quelques stations de références (sur la zone et aux alentours) ;

Restauration du site après exploitation

L'ensemble des mesures de restauration des sites exploités visent à stabiliser le substrat, remplacer les abris disparus et utilisés par de nombreuses espèces, permettre aux coraux et organismes sessiles de se réinstaller (fixation des larves) soit, en résumé, à reconstituer un biotope habitable (abri, nourriture, qualité du milieu) qui permettra une recolonisation par les organismes qui auront disparus. Ce sont des méthodes parfois onéreuses. Citons les principales de ces mesures :

- élimination ou neutralisation de tous les dépôts fins ;
- installation de récifs artificiels (attention aux matériaux employés) ;
- implantation d'herbiers (attention aux introductions d'espèces) ;
- transplantation de coraux.

Remarque : contrairement aux sables des réserves terrestres, les sables marins contiennent plus de fraction fine, de sel et - du fait de la présence des organismes vivants épigés et endogés - des quantités variables de matière organique.

BIBLIOGRAPHIE

- Amesbury S.S. 1981. Effects of turbidity on shallow water reef fish assemblages in Truk, Eastern Caroline Islands. *Proc. 4th Int. Coral Reefs Congr.* 6:491-496
- Bak R.P.M. 1978. Lethal and sublethal effects of dredging on reef corals. *Mar. Pollut. Bull.* 9:14-16
- Bancroft K.E., Paul E.A. & WIEBE M.J. 1966. The extraction and measurement of adenosin-tri-phosphate from marine sediment. *Limnol. Oceanogr.* 21:473-479
- Brock V.E., Van Heukelem W., Helfrich P. 1966. An ecological reconnaissance of Johnston Island and the effects of dredging. *Hawaii Inst. Mar. Biol. Tech. Rep.* 11 : 1-56
- Chalker B.E. 1981. Simulating light-saturation curves for photosynthesis and calcification by reef-building corals. *Mar. Biol.* 63:135-141
- Dahl A.L. 1985. Status and conservation of South Pacific coral reefs. *Proc. 5th Int. Coral Reefs Congr.* 6 : 509-513
- Dodge R.E. & Vaisnys J.R. 1977. Coral populations and growth patterns : responses to sedimentation and turbidity associated with dredging. *J. Mar. Res.* 35 : 715-730
- Endean R. 1976. *Destruction and recovery of coral reef communities.* In : Jones O.A., Endean R. (eds.) *Biology and geology of coral reefs*, vol. 3 *Biology* 2. Academic Press, New York, 215-254
- Frontier S. 1972. Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplancton. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 8(2):121-132
- Galzin R. 1981. Effects of coral sand dredging on fish fauna in the lagoon of the Grand Cul de Sac Marin, Guadalupe - French West Indies. *Proc. 4th Int. Coral Reefs Congr.* 1:115-121
- Grigg D.I., Crean R.F. & Van Eepoel R.P. 1972. Marine environment of Brewer's Bay, St Thomas, V.I. with a summary of recent changes. *Caribb. Res. Inst. Water Pollution Report* 15:1-40
- Herrnkind W.F., Butler IV M.J. & Tankersley R.A. 1988. The effects of siltation on recruitment of spiny lobsters *Panulirus argus*. *Fish. Bull. U.S.* 86:331-338
- Hourigan T.F., Tricas T.B. & Reese E.S. in press. *Coral reef fishes as indicators of environmental stress in coral reefs.* In : *Marine organisms as indicators.* Springer Verlag, New York
- Jaap W.C. 1984. The ecology of the south Florida coral reefs : a community profile. *U.S. Fish. Wildl. Service. FWS/OBS-82/08* : 1-138
- Johannes R.E. 1975. *Pollution and degradation of coral reef communities.* In : Wood E.J.F. & Johannes R.E. (eds.) *Tropical Marine Pollution.* Elsevier Scientific Publishing Company, Oxford, 1-181
- Laurent D. & Amade P. 1992. Remèdes traditionnels contre la Ciguatera en Nouvelle-Calédonie. *Rapp. Conventions, Sciences de la Vie, Pharmacologie* (Action Cordet 90-457) ORSTOM Nouméa, 1 : 1-84
- Lorenzen C.J. 1967. Determination of chlorophyll and phaeo-pigments : spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.* 12:343-346
- Marsh J.A. & Gordon G.D. 1974. Marine environmental effects of dredging and power plant construction. *Univ. of Guam Mar. Lab. Tech. Rep.* 8 : 1-56
- Pastorok R.A. & Bilyard G.R. 1985. Effects of sewage pollution on coral reef communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 21:175-189
- Rogers C.S. 1985. Degradation of Caribbean and Western Atlantic coral reefs and decline of associated fisheries. *Proc. 5th Int. Coral Reefs Congr.* 6:491-496
- Rogers C.S. 1990. Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 62:185-202
- Salvat B. 1987. *Dredging in coral reefs.* In : Salvat B. (ed.) *Human impacts on coral reefs : facts and recommendations.* Antenne Museum EPHE, Moorea, French Polynesia, 165-184

Tomascik T. & Sander F. 1987. Effects of eutrophication on reef-building coral. III. Reproduction of the reef-building coral *Porites porites*. *Mar. Biol.* 94:77-94

White A.T. 1987. *Effects of construction activity on coral reef and lagoon systems*. In : Salvat B. (ed.) Human impacts on coral reefs : facts and recommendations. Antenne Museum EPHE, Moorea, French Polynesia, 185-194

Autres références consultées

Penn N. 1981. The environmental consequences and management of coral sand dredging from seagrass beds in the Suva region, Fiji Islands, *Bull. Mar. Sci.* 31:1-814

Kinsey D.W. 1988. Coral reef system response to some natural and anthropogenic stresses. *Galaxea* 7:113-128

Ricard M. 1981. Some effects of dredging on the primary production of the Tiahura lagoon in Moorea (Society Islands, French Polynesia). *Proc. 4th Int. Coral Reefs Congr.* 1:431-436

Marszalek D.S. 1981. Impact of dredging on a subtropical reef community, Southeast Florida, USA. *Proc. 4th Int. Coral Reefs Congr.* 1:147-153

Naim O. 1981. Effect of coral sand extraction on the small mobile fauna associated with the algae of a fringing reef (Moorea - French Polynesia). *Proc. 4th Int. Coral Reefs Congr.* 1: 123-127

Ottman F. 1985. Un problème controversé pour l'environnement marin les dragages et leurs conséquences. *Bull. Soc. Sc. Nat. Ouest de la France*, 7(4) : 195-206

Ottman F. & Boutmin G. 1984. Problèmes géologiques liés aux impacts de l'extraction de granulats sur le milieu marin. *Bull. Assoc. Int. de Géologie de l'Ingénieur* 29 : 311-314

Un document vidéo sous-marin réalisé pendant les opérations de terrain (vues du milieu et des communautés benthiques et récifales, méthodes d'étude, essai de pompage) est disponible auprès de C. Chevillon (ORSTOM, tél : 26 10 00 p 31).

ANNEXE

Liste, effectifs et biomasses de la mégafaune épigée récoltée

STATION 01

Taxon	effectif (n. ind /100m ²)	poids sec (g/m ²)	poids sec sans cendres (g/m ²)
Mollusques		1.9551	0.1467
<i>Conus eburneus</i>	3		
<i>Conus capitaneus</i>	1		
<i>Terebra maculata</i>	1		
<i>Pinna sp.</i>	3		
Echinodermes		34.1467	2.6802
<i>Laganum depressum</i>	152		
<i>Nardoa novaecaledoniae</i>	1		
<i>Holoturia (Metratyla) scabra</i>	1		
Biomasse totale en g/m².....36.1018..... 2.8269			

STATION 02

Mollusques		3.3681	0.2297
<i>Strombus luhuanus</i>	2		
<i>Pinctada sp.</i>	1		
<i>Cardium sp.</i>	1		
Biomasse totale en g/m².....3.3681..... .0.2297			

STATION 03

Mollusques		0.1243	0.008
<i>Strombus luhuanus</i>	2		
<i>Rhinoclavis fasciata</i>	1		
Biomasse totale en g/m².....0.1243..... 0.008			

STATION 04

Mollusques		0.5642	0.0351
<i>Umbonium sp.</i>	1		
<i>Conus textile</i>	1		
Biomasse totale en g/m².....0.5642..... 0.0351			

STATION 05

Taxon	effectif (n. ind /100m²)	poids sec (g/m²)	poids sec sans cendres (g/m²)
Mollusques		1.1119	0.0694
<i>Strombus luhuanus</i>	6		
Echinodermes		0.2293	0.0194
<i>Laganum depressum</i>	1		
Crustacés		0.5069	0.0304
<i>Pagurus sp.</i>	3		
Biomasse totale en g/m².....		1.8481.....	0.1192

STATION 06

Aucun organisme animal récolté

STATION 07

Mollusques		0.6645	0.0334
<i>Strombus gibberulus</i>	4		
<i>Strombus luhuanus</i>	1		
<i>Strombus plicatus pulchellus</i>	1		
<i>Xenophora solarioides</i>	1		
<i>Nassarius gruneri</i>	1		
<i>Terebellum terebellum</i>	1		
<i>Pseudovertagus aluco</i>	1		
<i>Rhinoclavis fasciata</i>	1		
<i>Rhinoclavis aspera</i>	1		
<i>Pinctada sp.</i>	1		
Scléractiniaires		0.805	0.0522
<i>Heteropsammia cochlea</i>	30		
Spongiaires		0.0522	0.0253
R 1564	colonie		
Biomasse totale en g/m².....		1.5217.....	0.1109

STATION 08

Taxon	effectif (n. ind /100m ²)	poids sec (g/m ²)	poids sec sans cendres (g/m ²)
Mollusques		0.3344	0.0207
<i>Rhinoclavis fasciata</i>	5		
<i>Pupa solidula</i>	1		
Echinodermes		0.905	0.0476
<i>Laganum depressum</i>	4		
Biomasse totale en g/m ²		1.2394.....	0.0683

STATION 09

Echinodermes		2.3347	1.1388
<i>Holoturia (Metriatyla) scabra</i>	1		
<i>Actinopyga miliaris</i>	2		
Biomasse totale en g/m ²		2.3347.....	1.1388

STATION 10

Mollusques		0.3033	0.0168
<i>Conus eburneus</i>	1		
<i>Rhinoclavis fasciata</i>	4		
Biomasse totale en g/m ²		0.3033.....	0.0168

STATION 11

Taxon	effectif (n. ind /100m ²)	poids sec (g/m ²)	poids sec sans cendres (g/m ²)
Mollusques		2.5426	0.1639
<i>Lambis lambis</i>	1		
Alcyonnaires		3.454	2.52
<i>Sarcophyton sp.</i>	30		
Scléractiniaires		6.2433	0.3315
<i>Fungia sp.</i>	3		
Echinodermes		0.0208	0.0058
<i>Fromia indica</i>	1		
Biomasse totale en g/m².....12.2607..... 3.0212			

STATION 12

Mollusques		0.191	0.015
<i>Strombus luhuanus</i>	1		
Scléractiniaires		4.6981	0.2689
<i>Heliofungia actiniformis</i>	2		
<i>Fungia simplex</i>	2		
Biomasse totale en g/m².....4.8891..... 0.2839			

Chevillon Christophe, Richer de Forges Bertrand.

Hydrologie, plancton et benthos.

In : Chevillon Christophe (coord.). Projet d'extraction de sable lagonaire à proximité de l'îlot Tenia : étude des caractéristiques du milieu (hydrologie, sels nutritifs, peuplements benthiques et pélagiques).

Nouméa : ORSTOM, 1993, p. 5-34.