

MUSEUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Année 1998

N° attribué par la bibliothèque

THESE

pour obtenir le grade de

Docteur du Muséum National d'Histoire naturelle

Discipline : Biologie Marine

présentée et soutenue publiquement

par

Bertrand RICHER DE FORGES

le 30 mars 1998

Titre :

**LA DIVERSITE DU BENTHOS MARIN
DE NOUVELLE-CALEDONIE :**

DE L'ESPECE A LA NOTION DE PATRIMOINE.

Directeur de thèse : Philippe BOUCHET, Professeur au MNHN

JURY

M. Dominique DOUMENC, Professeur au MNHN

M. Alain GUILLE, Professeur à Paris 6

Rapporteur

M. Jean Claude LEFEUVRE, Professeur au MNHN

M. Christian LEVEQUE, Directeur de recherche à l'ORSTOM

M. Michel PICHON, Professeur à l'EPHE

Rapporteur



- 6 NOV. 1998

Ø36
MILMAR
RIC





RÉMERCIEMENTS

Le travail, présenté ici comme Thèse de Doctorat du Muséum national d'Histoire naturelle, est le résultat de recherches qui se sont déroulées sur un quinzaine d'années. Le cadre géographique en est l'océan Pacifique et plus particulièrement les zones coralliennes. Il s'agit de resituer sur fond de crise mondiale de la biodiversité des connaissances acquises sur les organismes benthiques littoraux et de profondeur.

Il m'est agréable de remercier les membres du jury, qui pour certains d'entre eux ont écumé les mers en ma compagnie et sont les témoins des étapes géographiques de ma carrière :

- Le Professeur Alain GUILLE fut à l'origine de ma thèse de troisième cycle réalisée aux îles Kerguelen et de ma spécialisation en crustacés benthiques et de mon intérêt pour les faunes de profondeur.

- Le Professeur Dominique DOUMENC, éminent spécialiste des cnidaires, qui dirige le Laboratoire de Biologie des Invertébrés Marins et Malacologie, principal dépositaire des collections zoologiques en provenance du Pacifique. Il connaît bien le Pacifique, pour y avoir, tout comme moi, débuté sa carrière d'écologiste marin au Service Mixte de Contrôle Biologique.

- Le Professeur Philippe BOUCHET que je retrouve souvent sur ma route, depuis que nous avons fréquenté ensemble les stages de Biologie Marine de Roscoff. Je lui suis très reconnaissant de m'avoir contraint à rédiger ce document et de me faire régulièrement partager ses connaissances zoologiques en mer comme au laboratoire (il pousse même la solidarité jusqu'à être plus sensible que moi au mal de mer). La connaissance des faunes de l'Indo-Pacifique que nous avons acquises ensemble au cours des campagnes sont particulièrement bien valorisées grâce à son investissement dans la conservation de l'environnement.

- Le Professeur Jean Claude LEFEUVRE, que j'ai eu le plaisir de connaître sur le Banc d'Arguin (en Mauritanie) lors d'une réunion sur la conservation des zones humides, a accepté de juger ce travail.

- Le Professeur Michel PICHON, est l'un de ceux que je rencontre le plus fréquemment sur le terrain, tant il est le benthologue de l'Indo-Pacifique. Ses conseils m'ont toujours été d'un grand secours dans l'étude des fonds de Nouvelle-Calédonie et j'ai pu avoir, grâce à lui, un aperçu des faunes littorales et bathyales de l'Est australien.

- Mon collègue Christian LEVEQUE, Directeur de recherches à l'ORSTOM, oeuvre pour que la Biodiversité ne soit plus seulement un mot à la mode mais devienne un concept intégré au développement des sociétés. Je le remercie d'avoir bien voulu juger mon travail, lui qui connaît les programmes au sein desquels il a été réalisé.

L'acquisition de ces données a nécessité plusieurs années d'embarquements sur de nombreux bateaux et je tiens en tout premier lieu à remercier ici les équipages de ces différents navires qui ont toujours fait le maximum pour rendre possible la récolte des échantillons. Les principaux artisans du succès des nombreuses campagnes ont été plus spécialement : les Commandants Pierre FURIC, Hervé LE HOUARNEAU et Raymond PRONER ; le Maître d'équipage Albert LE CROM et le Chef mécanicien Adolphe DANIGO.

Au Muséum, de nombreuses personnes m'ont aidé dans mes recherches en se chargeant de réceptionner le matériel zoologique et en le faisant étudier. Je remercie Virginie HEROS qui m'envoie régulièrement les résultats issus de mes collections et bien souvent les renseignements bibliographiques qui me font défaut.

Je remercie tout particulièrement mon collègue Alain CROSNIER qui, avec la ténacité qui le caractérise, a su insuffler à la communauté océanographique le goût de l'exploration et de la description des faunes de l'Indo-Pacifique, dans le droit fil de la tradition française. Il a toujours été pour moi, un exemple et un guide. Je lui exprime ici ma reconnaissance et ma sincère amitié et je souhaite que l'esprit MUSORSTOM perdure.

Au Laboratoire de Zoologie Arthropodes, où j'ai fait de nombreux séjours, j'ai toujours reçu les conseils et l'aide nécessaire à l'étude taxonomique de mes collections. Je remercie le Professeur Danièle GUINOT, avec qui j'ai pu étudier une petite partie des crabes de profondeur, de m'avoir initié au monde fascinant de la systématique, voie royale pour la compréhension de la biodiversité.

Au Centre ORSTOM de Nouméa, sans le soutien moral de mon ami René GRANDPERRIN, je n'aurais sans doute jamais pris le temps de me consacrer à la rédaction. Je le remercie donc pour sa patience à mon égard et pour les critiques constructives qu'il a apporté à la forme de ce manuscrit. Par ailleurs, une bonne partie des campagnes océanographiques réalisées en Nouvelle-Calédonie n'auraient pu avoir lieu sans sa compréhension bienveillante à l'égard des zoologistes marins.

Je remercie mes collègues biologistes et océanographes physiciens pour les enrichissantes discussions sur la biodiversité ou l'environnement : Jean CHAZEAU et Tanguy JAFFRE, pour leur connaissances et leur intérêt pour la biologie de la conservation en Nouvelle-Calédonie ; Claire GARRIGUE pour son enthousiasme à étudier les mammifères marins, partie visible de la biodiversité marine s'il en est ; Pierre LABOUTE, Georges BARGIBANT et Jean-Louis MENO, nos irremplaçables biologistes-plongeurs qui m'ont beaucoup appris sur la vie sous-marine ; Thierry DELCROIX toujours disponible pour aider un biologiste à comprendre l'évolution hydrologique de l'océan.

L'acquisition des données et leur traitement n'auraient pu se faire sans : le tri et l'expédition des collections réalisés par Angelo DI MATTEO ; l'identification préliminaire des espèces de poissons réalisée par Jacques RIVATON ; la mise en forme des bases de données informatisées

sur les faunes profondes et lagonaires, faite consciencieusement par Stéphane BUJAN et Christian HOFFSHIR.

L'équipe de reprographie et la bibliothèque du Centre ORSTOM de Nouméa n'ont pas ménagé leurs efforts pour améliorer la présentation du manuscrit. Je remercie en particulier Jean-Pierre MERMOUD, Marika TORTELIER, Isabelle GASSER et Jacqueline THOMAS.

La réalisation de ces études, des nombreuses missions qu'elles ont nécessité et l'accueil des nombreux chercheurs de passage qu'elles ont induites, doivent énormément à l'aide des Directeurs successifs du Centre ORSTOM de Nouméa, Jean FAGES et François JARRIGE et à celle du Responsable Administratif, Jacques GEOFFROY.

Je remercie également les personnes qui m'ont aidé à réunir des informations sur l'environnement marin de Nouvelle-Calédonie : Richard FARMAN, Direction des Ressources Naturelles de la Province Sud ; Pascale JOANNOT, Directrice de l'Aquarium de Nouméa ; Monsieur LE NOEL, Responsable de la DAFE ; Régis ETAIX-BONIN du Service Territorial de la Marine Marchande et des Pêches Maritimes.

SOMMAIRE

Introduction générale	13
1 - Le domaine tropical Indo-Pacifique	17
1.1 - Les principaux écosystèmes	17
1.1.1 - Les mangroves.....	17
1.1.2 - Les récifs coralliens.....	18
1.1.3 - Les herbiers de phanérogames.....	21
1.1.4 - Les herbiers de caulerpales <i>Halimeda</i> et <i>Caulerpa</i>	23
1.2 - La répartition spatiale de la biodiversité	24
1.2.1 - Le gradient ouest-est.....	24
1.2.2 - Les caractéristiques hydroclimatiques des masses d'eau et la diversité.....	25
1.3 - L'endémicité insulaire	27
1.3.1- L'endémicité dans les petites îles et sur les monts sous-marins.....	27
2 - Nature de la crise de la biodiversité marine et conservation de la biodiversité	33
2.1 - La crise de la biodiversité marine : nature et ampleur	33
2.1.1 - Crise au niveau spécifique : Les extinctions d'espèces.....	34
2.1.1.1 - Extinctions naturelles.....	34
2.1.1.2 - Extinctions d'origine anthropique.....	37
2.1.2 - Crise au niveau des écosystèmes.....	38
2.1.2.1 - Les perturbations d'origine naturelle.....	39
2.1.2.2 - Perturbations d'origine anthropique.....	40
2.1.2.3 - Déséquilibres écologiques.....	44
2.1.2.4 - Les introductions d'espèces et la prolifération.....	49
2.1.2.5 - Impact de la pêche.....	59
2.1.3 - Crise au niveau global.....	64
2.1.3.1 - Les incidences possibles du "Global Change".....	64
2.1.3.2 - Blanchissement des coraux.....	71
2.1.4 - Pollution chimique.....	73
2.1.5 - Comparaison avec la dégradation de la biodiversité terrestre.....	76
2.2 - La conservation de la biodiversité marine : les bases scientifiques	78
2.2.1 - La vulnérabilité définie par l'UICN.....	78
2.2.2 - Les bases scientifiques de gestion des espèces exploités.....	80
2.2.3 - Théorie de la biogéographie insulaire et aires protégées.....	81

2.2.3.1 - Biogéographie insulaire.....	81
2.2.3.2 - La dimension des réserves	83
2.2.4 - Les Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF)	85
2.2.5 - Concept de "Large Marine Ecosystem" (LMEs).....	86
2.3 - La conservation de la biodiversité marine : les bases juridiques et administratives	88
2.3.1. - Le Conservatoire du Littoral	88
2.3.2 - Réglementations et structures régionales	89
2.3.2.1 - Le Programme Régional Océanien de l'Environnement (PROE)	89
2.3.3 - Réglementations et structures internationales	92
2.3.3.1 - La Conférence de Rio et la notion de développement durable.....	92
2.3.3.2 - La Convention sur la Biodiversité	93
2.3.3.3 - La Convention de Ramsar.....	94
2.3.3.4 - La Convention de Washington.....	94
2.3.3.5 - The International Coral Reef Initiative (ICRI).....	96
2.4 - La conservation de la biodiversité marine : les aires protégées	97
2.4.1 - Les réserves marines	97
2.4.1.1 - Iles Hawaii	98
2.4.1.2 - Australie (GBRMPA : Great Barrier Reef Marine Park Authority)	99
2.4.1.3 - Vers la création de réserves halieutiques	100
2.4.2 - La protection des écosystèmes.....	101
2.5 - Diffusion des connaissances et éducation.....	103
2.5.1 - La création de bases de données sur la biodiversité	103
2.5.2 - Les S.I.G. (Systèmes d'Informations Géographiques)	104
2.5.3 - La réalisation de Guides faunistiques	104
2.6 - Pourquoi conserver la biodiversité ?	107
2.6.1 - Protection du patrimoine.....	107
2.6.2 - Pourquoi faut-il conserver la biodiversité spécifique ?	107
2.6.2.1 - Justifications d'ordre économique direct.....	108
2.6.2.2 - Raisons économiques indirectes et patrimoniales (écotourisme).....	110
2.6.2.3 - Raisons scientifiques	115
2.6.2.4 - Raisons éthiques	119
3 - La biodiversité des zones littorales en Nouvelle-Calédonie.....	123
3.1 - Caractéristiques physiques de la Nouvelle-Calédonie.....	123
3.1.1 - Géomorphologie.....	123
3.1.2 - Climatologie	126
3.1.3 - Réseau hydrographique et sédimentologie.....	126
3.2 - L'origine des connaissances sur la biodiversité marine en Nouvelle-Calédonie.....	128
3.2.1 - Historique	128
3.2.2 - Le programme LAGON.....	128

3.2.3 - Matériel et méthodes.....	129
3.3. - Particularités des différents lagons.....	131
3.3.1 - Lagon Sud-Ouest.....	131
3.3.2 - Lagon Est.....	138
3.3.3 - Lagon Nord-Ouest.....	141
3.3.4 - Lagon Nord.....	142
3.3.5 - Lagons d'atolls (Chesterfield, Huon et Surprise, Beautemps-Beaupré et Ouvéa).....	147
3.3.5.1 - Les récifs d'Entrecasteaux.....	147
3.3.5.2 - Le Lagon de l'Atoll de Chesterfield.....	151
3.3.5.3 - Les atolls de Beautemps-Beaupré et d'Ouvéa.....	154
3.3.5.3.1 - L'Atoll d'Ouvéa.....	154
3.3.5.3.2 - L'Atoll de Beautemps-Beaupré.....	155
3.3.6 - Autres formations coralliennes de la zone économique.....	156
3.4 - La biodiversité : Faune et flore des fonds meubles.....	160
3.4.1 - Algues et phanérogames.....	160
3.4.2 - Les Echinodermes.....	162
3.4.3 - Les Mollusques.....	163
3.4.4 - Crustacés.....	167
3.4.5 - Autres groupes d'invertébrés.....	168
3.4.6 - Les Poissons.....	168
3.5 - Répartition de la biodiversité des fonds meubles.....	169
3.5.1 - Les courbes surface-espèces.....	169
4 - La biodiversité des zones bathyales en Nouvelle-Calédonie.....	175
4.1. - Caractéristiques générales de l'océan mondial.....	175
4.1.1 - Les différentes zones océaniques.....	175
4.1.2 - Les caractéristiques physiques des eaux profondes.....	175
4.2 - Historique de l'exploration des faunes de profondeur.....	176
4.2.1 - Historique sommaire de l'exploration dans l'Indo-Pacifique.....	176
4.2.2 - Contexte biogéographique.....	177
4.2.3 - La zone bathyale dans l'Indo-Pacifique.....	178
4.2.3.1 - La distribution des profondeurs bathyales dans l'Indo-pacifique.....	179
4.2.3.2 - Evolution temporelle des zones bathyales.....	180
4.3 - L'exploration des zones bathyales de l'Indo-Pacifique.....	183
4.3.1 - Les campagnes françaises.....	183
4.4 - Caractéristiques de l'échantillonnage.....	186
4.4.1 - Les moyens d'investigation.....	188
4.4.2 - L'échantillonnage.....	191
4.4.3 - Tri et conservation.....	191
4.5 - L'étude et la valorisation des résultats.....	192

4.5.1 - Etudes systématiques	192
4.5.2 - Publications des résultats	193
4.5.3 - Base de données de la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie	193
4.6 - Résultats	194
4.6.1 - Description des espèces	194
4.6.2 - Résultats concernant les substances naturelles provenant de la biodiversité bathyale	202
4.6.3 - Résultats géomorphologiques	203
4.6.4 - Résultats écologiques	206
4.6.4.1 - Biodiversité de la zone bathyale	206
4.6.4.2 - Pourcentages d'espèces nouvelles	207
4.6.4.3 - Utilisation des substrats organiques dans la zone bathyale	208
4.6.4.4 - Zonation bathymétrique	210
4.6.4.5 - Variation géographique des peuplement	213
4.6.5 - Les courbes aires-espèces	215
4.6.6 - Résultats paléogéographiques	218
4.6.6.1 - Fossiles vivants et formes archaïques	218
4.6.6.2 - Richesse en formes panchroniques dans la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie.	218
4.6.6.3 - Hypothèses sur l'origine de ce "nid de fossiles vivants"	221
4.7 - Les Monts sous-marins	223
4.7.1 - Définition : volcans et guyots	223
4.7.2 - Les alignements de guyots	224
4.7.3 - Importance de ces structures dans la persistance et la diffusion des espèces	225
4.7.4 - Particularités des peuplements	225
5 - La conservation de la biodiversité en Nouvelle-Calédonie	229
5.1 - Nature et ampleur de la crise	229
5.1.1 Au niveau des espèces	229
5.1.1.1 - Vulnérabilité des espèces endémiques	229
5.1.1.2 - Vulnérabilité des stocks d'espèces exploitées et surexploitation	233
5.1.2 - Au niveau des écosystèmes	245
5.1.2.1 - Impact de l'aquaculture sur le littoral	245
5.1.2.2 - Impact minier sur les zones d'estuaires	248
5.1.2.3 - Impact urbain : aménagement du littoral	250
5.1.2.4 - Impact du tourisme sur les milieux coralliens	257
5.1.3 - Au niveau global	259
5.1.3.1 - Cyclones	259
5.1.3.2 - Blanchissement	260
5.2 - Le cadre juridique et administratif de l'environnement marin en Nouvelle-Calédonie	
5.2.1 - Le partage des compétences en matière d'environnement en Nouvelle-Calédonie	262
5.2.1.1 - Territoire et environnement	264

5.2.1.2 - Provinces : gestion de l'environnement, ressources naturelles.....	264
5.2.2 - Les structures et leurs attributions	267
5.2.2.1 - Le service de la Mer de la Province Sud25	267
5.2.2.2 - Le Service de la pêche de la Province Nord.....	268
5.2.2.3 - Protection de l'environnement dans la Province des Iles	268
5.2.2.4 - La responsabilité des Communes en matière d'environnement littoral	269
5.2.3 - La place et le rôle des organismes de recherche	269
5.2.4 - Les associations de protection de la nature	271
5.3 - Les mesures de protection de l'environnement : efficacité et critiques.....	272
5.3.1 - Conservation de la biodiversité par gestion des ressources : quotas, tailles limites, permis, périodes de fermeture.	272
5.3.2 - Effets d'une destruction du milieu corallien sur la diversité spécifique	273
5.3.3 - Conservation de la biodiversité par protection des espaces : aires protégées	274
5.3.3.1 - Les réserves existantes	274
5.3.3.2 - Effets des réserves sur les stocks de poissons	279
5.4 - Prospective et propositions	279
5.4.1 - Création d'autres réserves en Nouvelle-Calédonie	280
5.4.1.1- Réserves lagonaires (Chesterfield, Huon et Surprise, corne sud.....)	280
5.4.1.2 - Faut-il créer des réserves de faune bathyale ?	282
5.4.2 – Recommandations pour l'aménagement du littoral.....	284
Conclusions.....	286
Références bibliographiques.....	291

INTRODUCTION

Découverte par le monde occidental il y a à peine quelques siècles, la zone intertropicale de l'Indo-Pacifique présente, dispersée sur des myriades d'îles, la plus grande richesse spécifique marine de la planète. Cette richesse, encore en grande partie inconnue dans les zones récifales et lagonaire et à peine entrevue pour ce qui concerne les immensités des eaux profondes, est maintenant menacée par une croissance démographique très forte et une certaine conception du développement. Les petites îles, sur lesquelles l'évolution avait développé des écosystèmes particuliers et où étaient apparues de nombreuses espèces endémiques, sont très vulnérables. On assiste, dans ces régions réputées paradisiaques chez les sociétés du Nord, à une érosion accélérée de la biodiversité. Les écosystèmes terrestres sont détruits par la déforestation pour exploiter le bois ou les ressources minières et par les introductions d'espèces ; les zones littorales subissent les conséquences des déséquilibres provoqués en amont et sont par ailleurs victimes de mauvais aménagements ; les zones récifales et lagonaires qui présentent les écosystèmes marins les plus riches, récifs, mangroves, herbiers, sont soumises à l'hypersédimentation, à l'eutrophisation et à la surexploitation.

La récente prise de conscience internationale sur l'érosion de la biodiversité a conduit les "pays développés" à se doter d'un appareil juridique et à adopter des règles de conservation ou de restauration de l'environnement. Ces directives ne s'applique souvent pas aux zones intertropicales qui sont pourtant les plus riches en espèces et souvent les plus menacées.

Après 20 ans de recherches scientifiques de terrain dans l'Indo-Pacifique, consacrés à explorer et à décrire la diversité spécifique du benthos des zones littorales et bathyales, il nous a paru utile de faire part de cette expérience en présentant ces connaissances, souvent inédites, dans le contexte général de perturbation de la biodiversité. Puissent ces quelques données sur le benthos de Nouvelle-Calédonie, confrontées aux problématiques mondiales, aider à réaliser dans cette région du monde un véritable développement durable.

Le premier chapitre est une présentation succincte des principaux écosystèmes marins de l'Indo-Pacifique. Le deuxième expose les manifestations de la crise de la biodiversité dans ces régions. Le troisième expose l'état des connaissances sur la diversité spécifique des zones récifales et lagonaires (0-100 m) de la zone économique de Nouvelle-Calédonie. Toutes ces zones (environ 60 000 km²) ayant été échantillonnées à la drague par nous même au cours du programme LAGON de l'ORSTOM. Le quatrième, traite de la diversité spécifique des zones profondes et principalement de la zone bathyale supérieure (100-1500 m), sur les pentes récifales externes et le sommet des monts sous-marins. Une présentation synthétique est faite pour les très nombreux résultats taxonomiques, pharmacologiques et géomorphologiques issus de nos campagnes océanographiques. Le cinquième et dernier chapitre montre comment la crise mondiale de la biodiversité se manifeste en Nouvelle-Calédonie, quels sont les moyens de protection actuellement mis en œuvre et propose quelques améliorations à y apporter.

Le domaine tropical Indo-Pacifique.

1 - Le domaine tropical Indo-Pacifique

1.1 - Les principaux écosystèmes

Les principaux écosystèmes rencontrés en zone littorale dans l'Indo-Pacifique tropical sont :

- les mangroves, formations végétales composées d'arbres adaptés à vivre avec les racines dans une eau de salinité variable. Elles sont, le plus souvent présentes dans les zones d'estuaires. Par l'abri qu'elles procurent et l'apport organique de leur partie aérienne, elles offrent des conditions favorables au développement d'une grande diversité d'organismes marins fixés ou enfouis.

- les récifs coralliens, formations carbonatées d'origine biologique, les plus caractéristiques des zones intertropicales. Leurs constructions peuvent atteindre des milliers de kilomètres modifiant les conditions hydrologiques locales par formations de zones protégées. A l'échelle géologique, la croissance corallienne, relativement lente (quelques centimètres / an), a modelé les marges continentales, enrobé les îles, formé les lagons d'îles hautes, les atolls et les guyots. Il s'agit donc de l'écosystème majeur, dans l'espace et le temps, qui conditionne l'existence d'autres écosystèmes lagunaires et de profondeurs. Selon leurs positions, on distingue généralement des récifs frangeants formant des platiers, des récifs barrières protégeant la côte de l'action de la houle et délimitant un lagon, des îlots coralliens qui se développent en zone relativement abrité.

- les herbiers de phanérogames, systèmes très productifs des petites profondeurs, se développent sur fonds meubles dans un environnement lagunaire abrité.

1.1.1 - Les mangroves

La mangrove est une formation végétale halophile caractéristique des zones intertropicales, de 31° N aux Ryukyus à 36° S en Nouvelle-Zélande. Elle s'installe généralement sur des fonds meubles dans les zones d'eau saumâtre. Mais il existe également des espèces d'arbres de mangroves se développant sur fonds rocheux (*Bruguiera* spp.).

Dans les îles du Pacifique, ce type d'écosystème occupe environ 146 000 ha, soit 0,7 % des mangroves mondiales. Les plus grandes mangroves sont situées aux îles Salomon, Fidji et en Nouvelle-Calédonie (ELLISON, 1995). La plus grande diversité d'arbres de mangrove est observée aux îles Salomon avec 22 espèces. En Nouvelle-Calédonie, 16 espèces sont présentes. Cette diversité diminue vers l'est du Pacifique et les mangroves de Polynésie sont souvent monospécifiques (Tab. 1). Certaines espèces et en particulier *Rhizophora mangle* ont été introduites dans plusieurs îles où elles se sont acclimatées (Enewetak, Hawaii).

Traditionnellement les mangroves sont exploitées pour le bois (construction, sculpture, cuisine, tapa) et pour les vertus médicinales de certaines plantes (latex de *Excoecaria agallocha*, écorce de *Xylocarpus* sp.). On y pêche les crabes (*Scylla serrata*), des mollusques (*Gafrarium* spp.) et de nombreuses espèces de poissons.

Tab. 1. — Superficies et richesse spécifique des arbres formant les principales mangroves des îles du Pacifique (d'après ELLISON, 1995).

Archipels ou îles	Nombre d'espèces	Superficie (ha)
Ryukyu	9	400
Palau	12	4708
Guam	9	70
Etats fédérés de Micronésie	12	8564
Salomon	22	64200
Vanuatu	14	2750
Nouvelle-Calédonie	16	20250
Tuvalu	2	40
Fidji	8	41000
Samoa Occidentales	3	700
Samoa Américaines	3	52

La mangrove joue un rôle très important en protégeant la côte de l'érosion marine, en retenant l'excès d'apport terrigène et en fournissant abri et nourriture à une faune très diversifiée. Elle marque le niveau des plus hautes mers et s'étend sur toute la zone intertidale.

Il est possible que les mangroves soient des lieux privilégiés pour le développement des juvéniles de crevettes et de poissons. L'étude menée par THOLLOT (1992 ; 1996b) en Nouvelle-Calédonie montre que parmi les 262 espèces recensées, seulement 15 % sont inféodées à la mangrove et que le rôle de nurricerie est restreint à quelques espèces.

1.1.2 - Les récifs coralliens

Les récifs coralliens sont des écosystèmes complexes et d'une extrême biodiversité qui sont strictement limités aux zones tropicales (DUBINSKY, 1990 ; GROOMBRIDGE, 1992 ; VERON, 1995). A l'échelle mondiale, ils couvrent une superficie d'environ 617 000 km² (SMITH, 1978), cette estimation étant toutefois très imprécise. Leur construction dépend à la fois de cnidaires et d'algues calcaires (principalement rhodophytes), celles-ci constituant parfois l'essentiel de la masse calcaire récifale (HILLIS-COLLINVAUX, 1986). Les coraux (Scleractinia) ont pour croître et se maintenir des exigences écologiques assez strictes (Fig. 1) :

- une température des eaux supérieures à 18°C, ce qui cantonne les coraux formant des récifs entre les latitudes 32°S et 34°N (VERON, 1993). En fait, il semble que la plupart des espèces constructrices de coraux à zooxanthelles aient des optimums thermiques situés entre 26 et 29°C mais peuvent tolérer pendant l'hiver des températures de 15°C (SCHUHMACHER &

ZIBROWIUS, 1985). Lorsque les conditions sont proches de leurs limites, les colonies restent peu développées, éparées et ne s'associent pas en formations récifales (îles Kermadec, Norfolk, île de Pâques...).

- une transparence de l'eau permettant aux zooxanthelles contenues dans leurs tissus de recevoir l'énergie lumineuse nécessaire à leur photosynthèse. Cela limite la répartition bathymétrique de ces formations récifales aux 150 premiers mètres environ et réduit considérablement la richesse spécifique dans les zones turbides. Les apports d'eau douce sont néfastes à la croissance corallienne ; les récifs ne se développent donc pas en zones d'estuaires et de fortes pluies cycloniques peuvent les détruire. La gamme de salinité supportée par les scléractiniaires varie de 25 à 42 ‰ (COLES & JOKIEL, 1992).

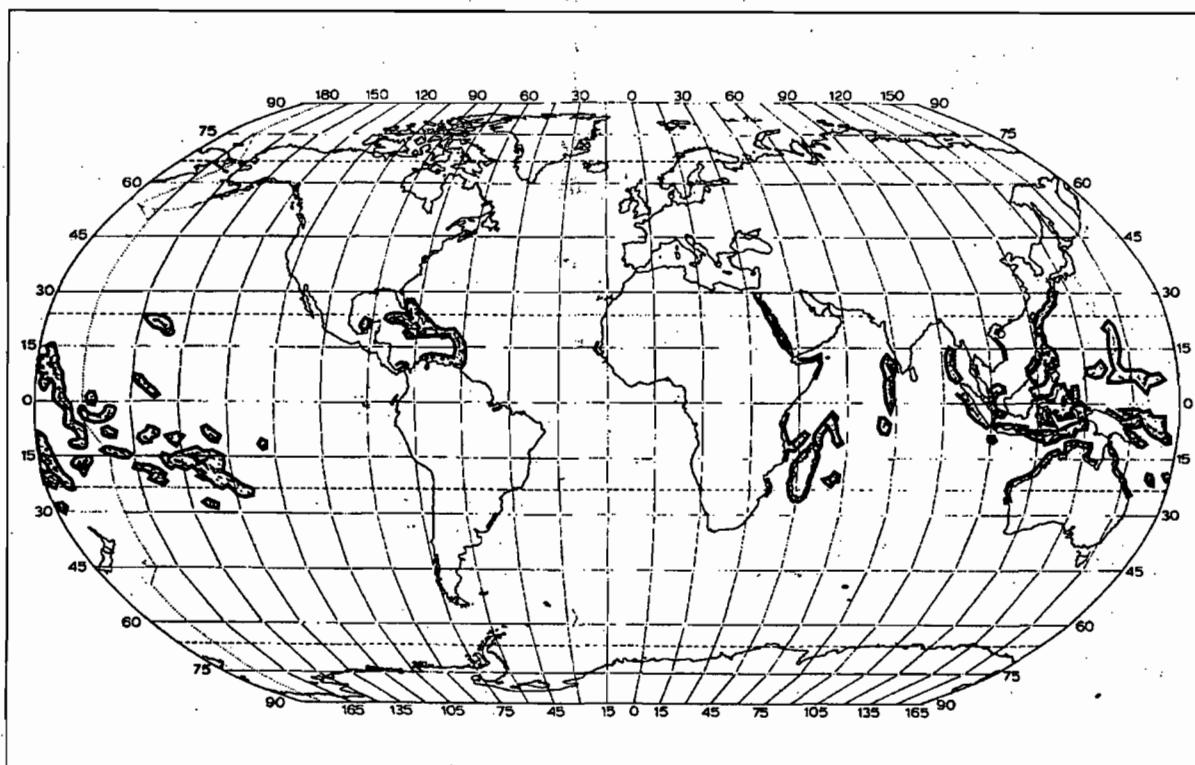


Fig. 1. — Répartition mondiale des récifs coralliens sur la plupart des zones littorales tropicales. 60 % des formations coralliennes sont situées dans l'océan Indien (d'après GROOMBRIDGE, 1992).

- l'agitation de l'eau conditionne également le développement des formations coralliennes. Les zones à fort taux de renouvellement de l'eau sont favorables car l'eau y est bien oxygénée mais lorsque l'énergie des vagues est trop forte, les coraux cèdent la place aux algues calcaires plus résistantes ou adoptent des morphes encroûtantes. Le front d'un récif barrière est principalement constitué d'une "crête algale" (*Neogoniolithon*, *Porolithon*, *Lithophyllum*).

Au point de vue structure de peuplements et diversité, les récifs coralliens sont parfois comparés aux forêts tropicales humides (CONNELL, 1978 ; REAKA-KUDLA, 1997). Ils offrent à la fois nourriture et abri aux invertébrés et aux poissons. Par leur activité constructrice,

ils créent une interface protectrice entre la côte et l'océan et délimitent des zones lagunaires permettant l'installation d'autres écosystèmes, herbiers de phanérogames et de caulerpales, mangroves...

PAULAY (1997), en faisant la synthèse des observations accumulées par divers spécialistes, signale que la répartition des organismes dans les récifs coralliens et leur biodiversité ont généralement été étudiés par groupe et rarement comme un tout. Le plus souvent les études précises n'ont porté que sur de très faibles superficies. La mesure de la diversité dépend de l'échelle d'observation et de la qualité taxonomique des travaux. Compte tenu de la difficulté de trouver et d'identifier les espèces cryptiques, l'utilisation des indices de diversité est presque impossible sur un récif corallien. Par ailleurs ces indices ont le défaut de faire peu de cas des espèces rares qui sont souvent importantes sur le plan de la biogéographie et de l'évolution.

REAKA-KUDLA (1997) estime que le nombre d'espèces récifales décrites se situe entre 35 000 et 60 000 et pense que ce n'est qu'une partie de la réalité. Curieusement il n'existe aucun chiffre crédible de la diversité récifale à l'échelle d'une zone récifale. Des listes préliminaires existent à l'échelle régionale pour quelques archipels ou îles, Hawaïi (7 000), Polynésie française (3 800), Guam (3 400), Galapagos (2 000).

Lorsque des échantillonnages suffisants dans une région permettent d'avancer des estimations, on découvre que la richesse spécifique peut être très élevée : les spongiaires sont estimés à 5 000 espèces en Australie (HOOPER & LEVI, 1994) ; les mollusques à 6 500 espèces en Nouvelle-Calédonie (BOUCHET, 1979, 1994). Il semble cependant que certains taxons tels que les algues et les crustacés amphipodes soient plus riches en espèces dans les zones tempérées qu'en zones coralliennes.

A l'échelle de la faune marine de la planète, la diversité spécifique des écosystèmes coralliens (au sens large) apparaît très grande également : environ 1/3 des poissons marins sont récifaux et dans l'Indo-ouest-Pacifique tropical les 3/4 des 4 000 espèces signalées sont associées aux récifs.

Les raisons invoquées pour justifier la grande diversité spécifique sont les suivantes (PAULAY, 1997) :

- la productivité primaire dans les zones récifales est "modérée" ce qui favorise une forte diversité spécifique ;

- la nature "tridimensionnelle" des scléactiniaires offre aux autres espèces une grande diversité d'habitats ;

- l'efficacité de ces abris est augmentée par la généralisation des relations symbiotiques.

La symbiose la plus connue est celle des scléactiniaires constructeurs (hermatypiques) avec des algues unicellulaires du groupe des dinoflagellés, les zooxanthelles. Plusieurs genres de dinoflagellés sont impliqués dans ce type de symbiose, mais d'autres organismes récifaux présentent des symbioses avec d'autres algues (zoochlorelles, diatomées...) ou des cyanobactéries (*Prochloron*). Les symbioses avec ces cellules photosynthétiques ont été

observés dans une grande diversité d'organismes, Algues, Ciliés, Foraminifères, Spongiaires, Cnidaires, Plathelminthes, Mollusques, Echinodermes et Ascidies (GOIRAN, 1994).

Les récifs coralliens sont menacés à l'échelle mondiale par la surexploitation, les pollutions chimiques et pétrolières, la sédimentation et l'eutrophisation résultant de la déforestation, des constructions littorales et des effluents agricoles (REAKA-KUDLA, 1997). Ces milieux demeurent sous-étudiés et mal connus du fait de la dramatique régression du nombre de taxonomistes tropicaux (WINSTON, 1988).

1.1.3 - Les herbiers de phanérogames

Les herbiers de phanérogames sont répandus dans toute la zone tropicale, dans les petites profondeurs (0-25 m) où ils forment des écosystèmes complexes. Ces milieux à forte productivité végétale jouent un rôle très important dans les cycles de vie des poissons, des invertébrés (crevettes péneïdes) et comme zones d'alimentation des tortues marines et des dugongs (LANYON *et al.*, 1988). Lors du congrès d'Hawaii sur le thème Coastal/marine biodiversity (Novembre 1994) un panorama des connaissances sur les herbiers de phanérogames dans le Pacifique a été présenté (COLES & LEE LONG, 1995). 58 espèces de phanérogames marines appartenant à 12 genres ont été recensées dans le monde. Dans le Pacifique, 16 espèces sont présentes. Le genre *Halophila* comprend des espèces pionnières, seules capables de s'implanter en zones turbides et que l'on rencontre souvent dans les très petites profondeurs (0-6 m). On trouve des traces fossiles des herbiers de phanérogames et de leur faune associée (foraminifères) depuis l'Eocène en Europe mais aucun vestige dans les îles du Pacifique (BRASIER, 1975).

Les principales conséquences de la présence des herbiers sont les suivantes :

- stabilisation des sédiments et donc réduction des effets cycloniques ;
- abri et habitat pour de nombreux invertébrés et pour des juvéniles de poissons ;
- les plantes et leurs épiphytes sont une source de nourriture pour de nombreux herbivores et détritivores ;
- ces herbiers très productifs (environ $550 \text{ g C m}^{-2}\text{an}^{-1}$) constituent un piège pour les débris organiques. Il semble que la productivité des épiphytes soit supérieure à celle leur support (VANDERKLIFT, 1997).

Les principaux facteurs qui influent sur la productivité de cet écosystème sont la lumière et la température, deux paramètres étroitement corrélés aux conditions climatiques et donc saisonnières. Au sein des réseaux trophiques, le transfert entre cette production végétale et les consommateurs secondaires que sont les poissons passe essentiellement par l'intermédiaire des crustacés (KLUMPP & PULFRICH, 1989).

La tortue verte consomme soit des algues soit des phanérogames (*Thalassia*, *Enhalus*, *Syringodium*, *Amphibolis*) et les phanérogames constituent la nourriture principale du dugong. La valeur nutritive des feuilles de phanérogames est probablement assez faible ; leur contenu

calorique est le plus bas connu chez les plantes vasculaires. Il y a cependant de grandes différences d'une espèce à l'autre et entre les feuilles et les rhizomes. Les biomasses habituellement observées dans les herbiers varient de 1,37 à 278 g de poids sec par m² (WAKE, 1975). Les fluctuations saisonnières sont importantes et il semble que les dugongs s'alimentent préférentiellement dans des herbiers peu denses ayant des biomasses de 10 à 30 g de poids sec par m² par moins de 5 m de profondeur. Ils consomment souvent les plantes entières, feuilles et rhizomes. En s'alimentant, les dugongs "labourent" le fond des herbiers où l'on observe nettement les traces de leur passage. Un animal adulte mange jusqu'à 25 kg de poids sec par jour (environ 9 tonnes par an) et son impact sur l'herbier n'est pas négligeable. Il existe un subtil équilibre entre les populations de dugongs qui se déplacent en troupeaux et l'état de santé des herbiers (HEINSOHN *et al.*, 1977).

Les tortues marines (*Chelonia mydas* et *Eretmochelys imbricata*) se nourrissent souvent dans les herbiers de phanérogames (GARNETT *et al.*, 1985). Leur activité alimentaire a lieu de jour et elles ne consomment que les jeunes feuilles. Leur tube digestif héberge des organismes permettant la digestion de la cellulose, bactéries, protozoaires (trichostome et zooflagellés).

Il existe un usage traditionnel des herbiers par les populations indigènes. Les feuilles séchées sont utilisés comme matériaux isolant du froid, de la pluie ou du bruit ou bien comme engrais et même pour leur fibre dans la fabrication des filets en Micronésie.

Certains herbiers ont de fortes interactions avec les mangroves et les récifs coralliens. Par leur effet stabilisant, ils ont un effet bénéfique, à la fois physique et biologique sur les zones littorales. On les rencontre dans les baies et les zones d'estuaires pratiquement au contact de la mangrove (exemple de la Baie de Ouano) et ils s'installent sur la partie sédimentaire des plates-formes coralliennes. En piégeant les particules ils contribuent à maintenir une certaine transparence des eaux favorable au développement corallien.

McROY et HELFFERICH (1980) ont recensé 154 espèces d'invertébrés et de poissons qui sont des consommateurs de phanérogames vivantes. En Australie, les herbiers abritent environ 9000 poissons à l'hectare (appartenant à 134 espèces), une vingtaine d'espèces de crevettes pénéides dont 9 font l'objet d'une pêche (COLES *et al.*, 1987). Une analyse des prises commerciales d'espèces directement liées aux herbiers permettrait sans doute d'attribuer une "valeur économique" à cet écosystème. Ainsi WATSON *et al.* (1993) estiment à 1,2 millions de dollars australiens par an la capture des trois principales espèces de crevettes pénéides capturées sur environ 900 ha d'herbier (environ 6000 FF / ha / an).

Ces plantes à fleurs possèdent des racines qui consolident les sédiments, permettant l'installation d'une faune d'invertébrés sédentaires. Étant localisés dans les petites profondeurs, à proximité des côtes, les herbiers sont affectés par différentes influences d'origine anthropique (pollution, aménagement du littoral, pêche...). Des disparitions d'herbiers ont déjà été signalées en différents endroits généralement à cause de pollution urbaine provoquant une eutrophisation des eaux et une augmentation de la turbidité nuisible au bon fonctionnement photosynthétique de ces plantes.

Pour conserver ces ressources il faut sauvegarder cet écosystème et donc protéger les grandes espèces herbivores qui sont les indicateurs du bon équilibre de ces milieux.

1.1.4 - Les herbiers de caulerpales *Halimeda* et *Caulerpa*

Ces algues vertes sont très répandues dans l'Indo-Pacifique tropical et forment par endroit des herbiers très denses. Ces herbiers contribuent à fixer les sédiments par le développement de rhizomes. Dans le genre *Halimeda*, la production continue de plaquettes calcaires fabrique des sédiments (GARRIGUE, 1985). Le genre *Halimeda* a particulièrement été étudié pour cette production sédimentaire et son rôle dans les lagons, aussi bien par les biologistes que par les sédimentologues. Les parois cellulaires des *Halimeda* contiennent une grande quantité de carbonate de calcium sous forme d'aiguilles d'aragonites (DREW, 1986). Lorsqu'un article d'*Halimeda* tombe, les tissus organiques se décomposent mais la forme de plaquette est conservée par ce "squelette" calcaire avec suffisamment de détails pour que l'espèce productrice reste identifiable. La production d'un pied d'*Halimeda* est d'environ un nouveau segment tous les 3-4 jours ; celle-ci varie selon les espèces et les milieux. Sur les fonds durs de la Grande Barrière australienne on a pu évaluer cette production carbonatée en poids sec à $7 \text{ g / m}^2 / \text{an}$ (DREW, 1986). Il a été calculé que dans les lagons à herbier d'*Halimeda*, la formation sédimentaire était de l'ordre de 13 cm d'épaisseur en 1000 ans (HILLIS-COLINVAUX, 1986). En Nouvelle-Calédonie, l'étude de la composition bioclastique des sédiments dits "coralliens" dans les lagons montre que les plaquettes d'*Halimeda* représentent entre 2 et 10 % des constituants (CHEVILLON, 1990). GARRIGUE (1985) estime à environ $14 \text{ g / m}^2 / \text{an}$ la production de carbonates chez *Halimeda discoidea* et à $24 \text{ g / m}^2 / \text{an}$ celle d'*Halimeda incrassata*.

L'usage des submersibles a permis de découvrir que les peuplements à *Halimeda* se développaient également sur les pentes récifales externes jusqu'à plus de 150 m et couvraient par endroit plus de 50 % de substrat (LITTLER *et al.*, 1985 ; HILLIS-COLINVAUX, 1986a, b).

Ces algues calcaires jouent donc un rôle considérable dans les équilibres des écosystèmes coralliens et le cycle des carbonates. Les herbiers constitués du genre *Caulerpa* sont moins bien connus et l'on commence à s'y intéresser depuis la prolifération de l'espèce *C. taxifolia* en Méditerranée à la suite d'une introduction accidentelle (GARRIGUE, 1994 ; MEINESZ & HESSE, 1991).

Les *Halimeda* et les *Caulerpa* sont le support de nombreuses espèces épiphytes (hydriaires, bryozoaires, foraminifères, spongiaires, polychètes...) et sont consommées par certains poissons.

Ces herbiers sont menacés par les exploitations de sable corallien et les pêches utilisant des engins traînants, dragues et chaluts.

1.2 - La répartition spatiale de la biodiversité

1.2.1 - Le gradient ouest-est

Les auteurs "classiques" de la zoogéographie marine (EKMAN, 1953 ; BRIGGS, 1974) décrivent un "triangle d'or" de la richesse spécifique défini par les Philippines, la Malaisie et la Nouvelle-Guinée. Cette constatation est basée sur de nombreux exemples pris dans différents groupes zoologiques des zones littorales. A partir des connaissances concernant les Echinodermes, EKMAN définit une province Ambonésienne contenant les Philippines, les Moluques, les petites îles de la Sonde et les Célèbes. Dès que l'on s'écarte de cette zone, le nombre d'espèces décroît et l'auteur avance l'hypothèse qu'il s'agit d'un centre de dispersion, à partir duquel les autres régions de l'Indo-ouest-Pacifique auraient été colonisées.

Toutefois des auteurs récents commencent à contester la validité de ce concept ; ainsi, WELLS (1990) qui compare les Mollusques de l'Australie tropicale, d'Indonésie et de Nouvelle-Guinée, conclut qu'il n'y a pas de différence significative de richesse spécifique entre ces régions et forment une même province biogéographique. ALONGI (1990) va plus loin et prétend que les milieux tropicaux ne sont pas plus riches que les zones tempérées si l'on compare les mêmes types de milieux. La plus grande richesse spécifique serait liée uniquement à la diversité des milieux ?

Il faut relativiser ces avis en tenant compte de la densité d'exploration des différentes régions et surtout de l'échelle d'échantillonnage ; en effet, certaines comparaisons qui portent sur des échantillons de très faible dimensions (carottier, benne) ne sont sans doute valable que pour la méiofaune et la petite macrofaune.

En ce qui concerne la macrofaune malacologique littorale, SPIGHT (1977) a démontré que la diversité spécifique des gastéropodes était 5 à 6 fois supérieure en zone tropicale à ce qu'elle est en zone tempérée.

Il y a environ 650 espèces de scléactiniaires décrites dans le et la zone de plus forte richesse spécifique se situe dans l'archipel indonésien et aux îles Philippines où l'on en dénombre 60 à 70 genres. Dans la zone centrale de la Grande Barrière australienne un total de 330 espèces est actuellement recensé (Fig. 2, 3). La faune marine s'appauvrit en espèces selon un gradient ouest-est dans l'océan Pacifique. Ceci est particulièrement net pour les scléactiniaires constructeurs (VERON, 1995) mais se confirme chez les autres groupes tels que les mollusques (ABBOTT, 1960) chez lesquels un gradient similaire est observé. Le nombre d'espèces de poissons diminue également lorsque l'on s'éloigne d'Indonésie où se trouve l'épicentre de la diversité marine (SPRINGER, 1982 ; KULBICKI & RIVATON, 1997).

Lorsque l'on s'éloigne de l'archipel indo-malais vers l'est, la diversité en genres et en espèces de coraux décroît rapidement et devient faible à l'est de Fidji. Vers l'ouest, dans l'océan Indien, cette diminution est beaucoup moins nette et l'on observe même une augmentation de la richesse spécifique en coraux sur la côte est africaine et à Madagascar où il y aurait environ 250

espèces (LABOUTE, *com. pers.*). La diversité des biotopes joue certainement un rôle dans l'installation de certaines espèces.

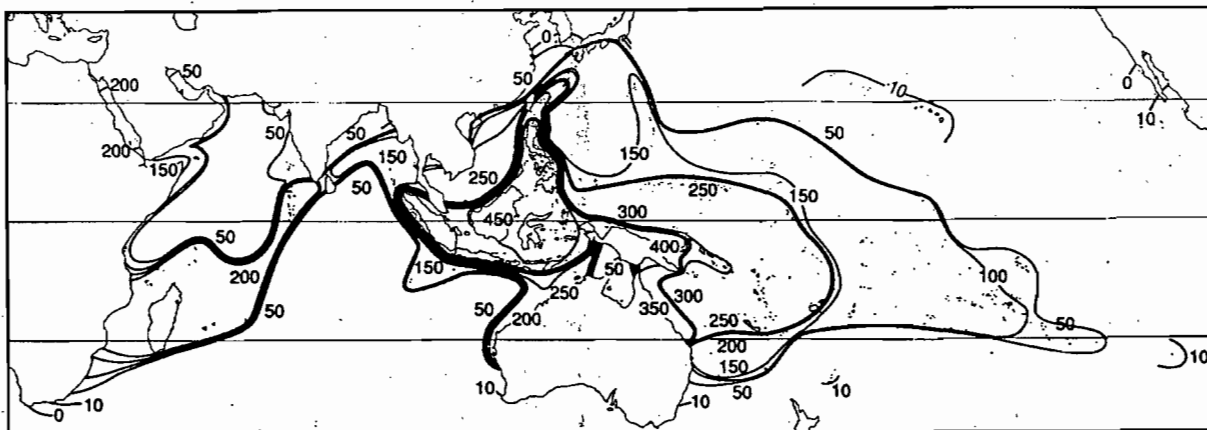


Fig. 2. — Cartographie en isolignes du nombre d'espèces de scléactiniaires dans l'océan mondial (d'après VERON, 1995).

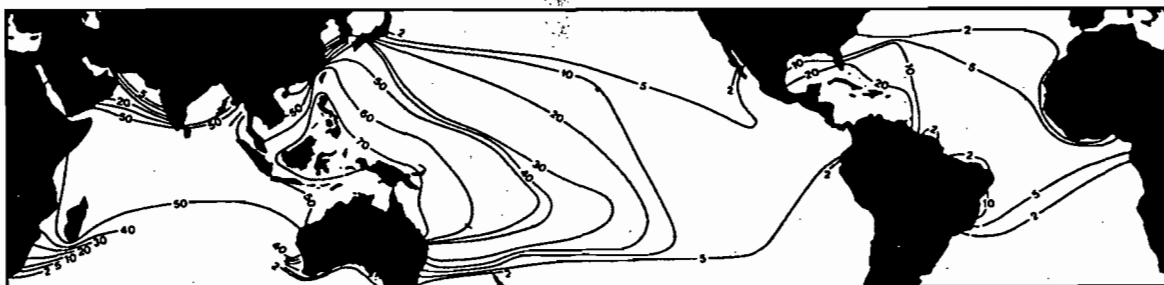


Fig. 3. — Cartographie des isolignes du nombre de genres de scléactiniaires dans l'océan mondial (d'après VERON, 1995). La zone de diversité maximale est observée sur l'archipel indo-malais. Dans le Pacifique le nombre de genres diminue progressivement d'ouest en est alors que dans l'océan Indien la diversité générique se maintient aux alentours de 50 genres d'est en ouest, jusqu'à la côte est africaine.

1.2.2 - Les caractéristiques hydroclimatiques des masses d'eau et la diversité

La décroissance de la biodiversité marine selon un gradient ouest-est dans le Pacifique a souvent été interprétée comme une conséquence des immenses distances océaniques faisant obstacle à la diffusion des espèces (ECKMAN, 1953 ; BRIGGS, 1974 ; SPRINGER, 1982 ; ROSEN, 1988b, SCHELTEMA & WILLIAMS, 1983 ; GRIGG & HEY, 1992). On n'observe pas seulement une diminution du nombre des espèces dans l'est du Pacifique mais aussi la disparition de taxons supérieurs tels que les crinoïdes, les holothuries dendrochirotes, les seiches et les nautilés. Tous ces groupes ont des développements larvaires non planctoniques (PAULAY, 1996).

Pourtant, les mesures de courants utilisant des lâchés de drogues ou des bouées dérivantes dans la zone intertropicale montrent que ces objets passifs parcourent le Pacifique d'ouest en est en moins d'un an (PICAUT, *com. pers.* ; REVERDIN *et al.*, 1994). Les espèces marines à

stades larvaires planctoniques de longue durée pourraient donc coloniser l'ensemble du Pacifique rapidement en utilisant les îles et atolls comme relais (MYERS, 1997). Par ailleurs de nombreuses espèces d'invertébrés et en particulier les scléroractiniaux peuvent être transportés sur de longues distances par des objets flottants, bois, pierres ponce...(JOKIEL, 1984 ; GRIGG & HEY, 1992). Il semble qu'il faille chercher ailleurs l'explication de la plus grande biodiversité dans l'ouest du Pacifique. Si on considère les nombreuses îles qui parsèment l'océan et que l'évolution de ces faunes se déroule sur des millions d'années, la plus faible diversité spécifique dans l'est du Pacifique semble incompréhensible (Fig. 3). Toutes les espèces à larves planctoniques auraient eu la possibilité et le temps de coloniser l'ensemble des îles et on devrait observer un fond faunistique homogène. Si l'explication de l'actuelle répartition des espèces était due uniquement aux courants, les seules espèces qui devraient être absentes de l'est Pacifique seraient celles dont la durée larvaire est inférieure au temps nécessaire pour franchir les espaces inter-îles. Or les distances en question n'excèdent jamais 2000 km et de nombreux monts sous-marins constituent des relais possibles. SCHELTEMA et WILLIAMS (1983), étudiant la dispersion larvaire des mollusques du Pacifique ouest, concluent que : les îles du Pacifique séparées par des longues distances, ont été colonisées par des espèces à larves téléplaniques (longue vie planctonique) ; les espèces à larves téléplaniques ont des répartition géographiques vastes (Architectonicidae) alors que les espèces sans larves planctoniques comme les Volutidae occupent des aires limitées et sont absentes des archipels éloignés et isolés comme les îles Hawaii.

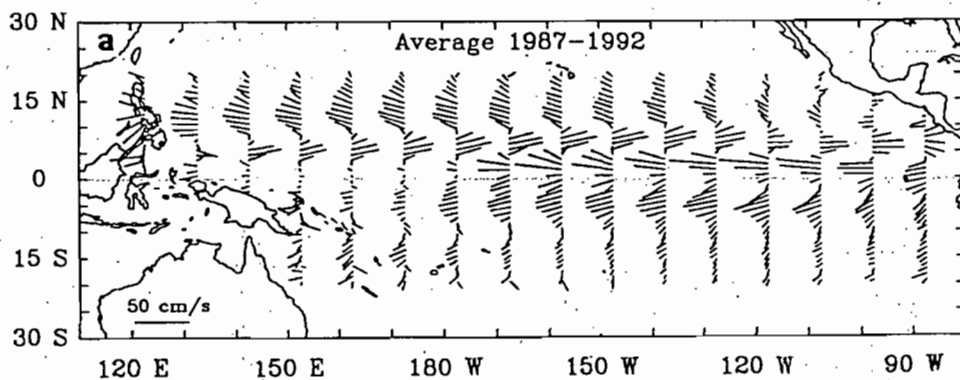


Fig. 4. — Cartographie des courants marins observés à 15 m de profondeur dans la zone intertropicale du Pacifique ; valeurs moyennes sur la période 1987-1992 (d'après REVERDIN *et al.*, 1994). On observe un courant nord équatorial portant vers l'est avec des vitesses de 30 à 50 cm/s. A ces vitesses, des organismes planctoniques pourraient parcourir des distances de l'ordre de 40 km/jour ou 1300 km/mois.

Une hypothèse séduisante serait que la présence permanente des eaux chaudes et dessalées dans l'ouest a permis une spéciation supérieure et maintient un certain confinement des espèces dans cette zone. Cette lentille d'eau chaude, d'une centaine de mètres d'épaisseur et d'une superficie de l'ordre de celle de l'Europe, subit des déplacements oscillants dans le temps vers l'est et reste relativement bien isolée du reste de l'océan par un gradient de salinité (PICAUT, *com. pers.* ; LEHODEY *et al.*, 1997). Cette "warm pool" se dilate également en latitude,

atteignant en été le niveau des tropiques. Si l'on compare la carte des isothermes de surfaces avec celles des isolignes de diversité générique ou spécifique on constate une remarquable analogie, les eaux les plus chaudes étant aussi les plus riches en espèces dans le Pacifique (Fig. 2, 14). A contrario, dans l'océan Indien, où les températures restent homogènes d'est en ouest toute l'année, on n'observe pratiquement pas de variation longitudinale de la diversité.

1.3 - L'endémicité insulaire

Les connaissances sur l'insularité marine sont plus réduites que celles portant sur la partie terrestre mais certains cas remarquables sont connus. La richesse spécifique est proportionnelle à la taille des îles. Ainsi, les grandes îles du Pacifique, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Nouvelle-Calédonie, ont elles beaucoup plus d'espèces de poissons littoraux (0-80 m) que les petites îles de Micronésie.

1.3.1 - L'endémicité dans les petites îles et sur les monts sous-marins.

Les biogéographes considèrent que l'endémicité est l'une des caractéristiques fondamentales de la distribution spatiale des espèces (ROSEN, 1988a). En milieu marin, les niveaux d'endémisme observés sont toujours beaucoup plus faibles qu'en milieu terrestre. Ainsi, les taux observés pour la flore terrestre atteignent plus de 90 % aux îles Hawaii alors qu'ils dépassent rarement 20 % dans les groupes marins (KAY, 1994 ; MLOT, 1995).

L'évaluation des taux d'endémisme observés sur la faune marine des archipels, des îles ou des monts sous-marins de l'Indo-Pacifique met immédiatement en évidence deux choses, la très forte richesse spécifique et le faible niveau des connaissances pour la plupart des régions (PAULAY, 1994). Il n'est pas encore possible d'évaluer des taux d'endémisme globaux par région ou par île mais les données taxonomiques sur certains groupes et dans quelques régions sont suffisamment fiables pour faire des estimations. Il y a cependant de nombreuses causes de biais :

- les îles n'ont pas été toutes échantillonnées avec la même intensité ;
- la gamme de taille des espèces n'a pas été uniformément récoltée, les petites classes de taille sont sous-estimées ;
- l'étude des collections n'est pas homogène, certaines familles ayant fait l'objet d'études taxonomiques exhaustives alors que d'autres ont été négligées ;
- certains groupes anciennement étudiés devraient être révisés pour éclaircir les synonymies entre espèces ;
- les listes faunistiques établies pour certaines régions n'ont pas le degré de fiabilité nécessaire à de bonnes comparaisons.

La jeune île de Pâques (2,5 M. A.), située par 27°S, est séparée des îles les plus proches, Pitcairn et des petits atolls qui l'entourent, par environ 2000 km d'océan. L'endémisme observé

y est particulièrement élevé (42 % pour les mollusques) (NEWMAN & FOSTER, 1983). C'est un cas extrême de petite île très isolée et de plus située complètement à l'est de la zone Indo-Pacifique à l'extrémité la plus pauvre du gradient de richesse spécifique. On y signale seulement 121 espèces de mollusques, contre 1139 à Guam, 1071 à Hawaii et 959 à Tahiti (KAY, 1994).

L'île Henderson (128°22' O - 24°19'S) est un atoll surélevé situé à l'extrême est de l'alignement des Tuamotu, à proximité de l'île de Pitcairn. Vu son isolement on s'attendrait à y trouver une faune présentant un fort taux d'endémisme. Il n'en est rien ! On observe, pour le groupe Henderson-Ducie-Pitcairn, 54 espèces de scléactiniaires, 198 mollusques et 58 échinodermes. Ce sont toutes des espèces à large répartition dans l'indo-ouest-Pacifique apportées par les courants d'ouest. Cette faune est très appauvrie par rapport à celle de Polynésie Française (1159 espèces de mollusques) et, sur l'ensemble de la faune, il y a seulement 8 espèces endémiques sur les 310 recensées, soit 3 % seulement (PAULAY, 1991).

Les îles Hawaii, ont fait l'objet de nombreuses études sur la biodiversité terrestre et de quelques unes sur les peuplements marins littoraux (CARLQUIST, 1965, 1980 ; KAY, 1994 ; MARAGOS *et al.*, 1995 ; ELDREDGE & MILLER, 1995 ; MLOT, 1995). RANDALL (1995) recense 557 espèces de poissons des eaux côtières (0-200 m). L'estimation du taux d'endémisme est actuellement de 24,3 %. L'auteur précise bien que le calcul d'un taux d'endémisme n'est pas définitif et dépend de la connaissance faunistique des autres archipels. La richesse spécifique de cet archipel isolé constitué de petites îles est faible par rapport aux 3392 espèces de poissons connues d'Océanie mais très élevé par rapport aux 24 000 espèces décrites dans l'océan mondial (PYLE, 1995). Par comparaison, la Nouvelle-Calédonie (Grande-Terre, Chesterfield, Loyauté) abrite environ 1659 espèces de poissons littoraux dont seulement 6 % considérées comme endémiques (KULBICKI & RIVATON, 1997 ; SERET *et al.*, 1997).

Chez les invertébrés marins, les taux d'endémismes varient selon les groupes et les stratégies de reproduction. Ainsi chez les mollusques gastéropodes de la famille des Volutidae, sans stades larvaires planctoniques, il y a 13 espèces connues de Nouvelle-Calédonie dont 8 sont endémiques (BOUCHET & POPPE, 1995). Par contre, une famille qui a des larves planctotrophes comme les Strombidae présentera une endémicité moins prononcée. L'apparente endémicité que l'on observe pouvant être uniquement due aux lacunes d'échantillonnages des archipels environnants.

Parmi les 7000 espèces d'échinodermes connues dans le monde, environ 1300 sont signalées dans l'Indo-Pacifique tropical (PAWSON, 1995). Il s'agit de l'un des groupes d'invertébrés marins les mieux connus. Toutefois, la réalisation du guide faunistique des échinodermes de Nouvelle-Calédonie a permis de recenser 246 espèces littorales parmi lesquelles 17 furent décrites comme nouvelles mais 113 (soit 46 %) signalées pour la première fois de la région (GUILLE *et al.*, 1986). Cet exemple situe bien le problème majeur de la biogéographie, comment faire des comparaisons et des hypothèses sur l'évolution des faunes si pour un groupe bien connu près de la moitié des espèces ne sont pas signalées ?

L'atoll d'Enewetak, sur lequel ont eu lieu les essais nucléaires américains, a fait l'objet de nombreux travaux scientifiques et l'on peut considérer que le bilan publié en 1987 présente des inventaires satisfaisants (DEVANEY *et al.*, 1987). Ces inventaires, portant sur environ trente ans de travaux scientifiques ayant concerné plus d'un millier de chercheurs, font état de 902 familles, 2284 genres et 4671 espèces. Sur les 1116 espèces de mollusques répertoriées aucune n'est considérée comme endémique (KAY & JOHNSON, 1987). Sur les 78 espèces d'holothuries connues des îles du Pacifique, seulement 26 % sont recensées de l'atoll d'Enewetak et ce sont toutes des espèces à large distribution.

En Polynésie française, 493 espèces de crustacés décapodes ont été signalés dont 21 ne sont pas encore signalées dans d'autres archipels. Parmi ces dernières, seulement 8 seraient de véritables endémiques (POUPIN, 1996).

Les îles Galapagos, relativement proches des côtes américaines présentent tout de même une faune endémique à 51 % pour les crustacés isopodes, à 75 % pour les pycnogonides, à 35 % pour les amphipodes (BRUSCA, 1987).

Il semble que la plupart des petites îles du Pacifique soient peuplées d'espèces marines à vaste répartition et présentent de faibles taux d'endémisme. Les seules exceptions sont l'île de Pâques et les Hawaii.

Les sommets des monts sous-marins, situés dans le système bathyale et dont la faune est encore très peu connue, sont isolés par les profondeurs abyssales environnantes et présentent les mêmes phénomènes d'endémisme. De même pour les cas extrême "d'insularité" que sont les sources hydrothermales.

En fait, l'insularité et l'endémicité sont extrêmement généralisés à toutes les échelles géographiques. Chaque discontinuité écologique créant un isolement plus ou moins marqué des peuplements.

**Nature de la crise de la biodiversité marine et
conservation de la biodiversité**

2 - Nature de la crise de la biodiversité marine et Conservation de la biodiversité

En 1990, le GESAMP (Groupe Mixte d'Experts OMI/FAO/UNESCO-COI/OMM/OMS/AIEA/ONU/PNUE) chargé d'étudier les aspects scientifiques de la protection de l'environnement marin), rendait son rapport sur l'état du milieu marin et son évolution pendant la décennie 1970-1980. Il y était question essentiellement des pollutions et de leurs effets physiques, l'impact sur les ressources marines y était à peine abordé. Toutefois, ce rapport constatait une diminution localisée de la biodiversité imputable aux activités humaines. La surveillance de la pollution était la préoccupation majeure des spécialistes et des défenseurs du milieu marin sans que la biodiversité soit prise en compte en temps que telle. Un nouveau rapport réalisé par le même groupe d'expert en 1995 met au contraire l'accent sur les menaces que font peser les activités humaines sur la biodiversité marine. Ce rapport constate tout d'abord que la grande majorité des études sur la biodiversité s'intéressent au milieu terrestre et que très peu de travaux synthétiques à l'usage des gestionnaires concernent le milieu marin. Le Secrétaire technique du PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) propose la création d'un groupe de travail international sur "les menaces pour la biodiversité marine et leurs conséquences" (ANONYME, 1995d).

La crise de la diversité marine apparaît de plus en plus nettement avec l'effondrement des stocks résultant d'une surpêche, la dégradation de vastes zones littorales et les introductions d'espèces. Aussi l'étude et la conservation de la biodiversité marine font elles parties des thèmes prioritaires au niveau international (Convention sur la Diversité Biologique en 1996) notamment dans les milieux tropicaux avec l'ICRI (The International Coral Reef Initiative). L'année 1997 a été décrétée "The Year of the Reef".

Le nouveau rapport du GESAMP de 1997 est cette fois consacré entièrement à la crise de la biodiversité marine (GRAY, 1997). Dans ce travail de compilation, l'auteur attire l'attention sur la difficulté d'observer la biodiversité au niveau des écosystèmes. Cette notion est en effet relativement mal définie et il est proposé d'utiliser plutôt la notion d'habitat. Cette terminologie est maintenant utilisée en stratégie de la conservation et la meilleure solution pour protéger les espèces semble être la conservation de leurs habitats (NORSE, 1994).

2.1 - La crise de la biodiversité marine : nature et ampleur

Actuellement, la composition spécifique de la biosphère est encore largement inconnue et cela particulièrement dans le milieu marin où les estimations vont de 10^6 à 10^7 espèces. Les auteurs ne s'accordent pas sur le contenu spécifique des 62 % de la planète couverts de plusieurs milliers de mètres d'eau (GRASSLE & MACIOLECK, 1992 ; POORE & WILSON, 1993 ; PIMM *et al.*, 1995). Toutefois on observe, surtout en zone littorale, une dégradation de cette biodiversité. La crise est beaucoup moins sévère que celle qui décime la biodiversité terrestre

mais elle est préoccupante car elle concerne d'immenses superficies et affecte des processus globaux à l'échelle planétaire (LEAKEY & LEWIN, 1996).

Cette crise s'exerce à différents niveaux : les extinctions d'espèces qui, à notre échelle de temps semblent limitées ; la dégradation des écosystèmes particulièrement dans les zones littorales tropicales ; la crise globale de la biosphère associée au "global change".

2.1.1 - Crise au niveau spécifique : Les extinctions d'espèces

Certaines perturbations graves peuvent conduire à l'extinction des espèces, c'est à dire à leur disparition définitive de la planète. Il s'agit alors d'extinction globale, soit naturelle, soit d'origine anthropique. Ces extinctions dépendent de modifications dans les facteurs du milieu et de la vulnérabilité des espèces (seuil de tolérance, aire de répartition...). On observe également des extinctions locales dues à la destruction ou à la réduction de certains biotopes.

2.1.1.1 - Extinctions naturelles

Indépendamment de toute "crise de la biodiversité", les espèces sont soumises à l'extinction naturelle. L'extinction des espèces est un phénomène inhérent au développement de la vie sur la planète et la conséquence inéluctable de l'évolution. On a estimé d'après les archives fossiles que la durée d'existence d'une espèce variait de 0,5 à 13 millions d'années selon les groupes (MAY *et al.*, 1995). Si l'on considère une durée de vie moyenne des espèces comprises entre 5 et $10 \cdot 10^6$ d'années, cela signifie que la diversité actuelle de la biosphère ne représente qu'un petit pourcentage de toutes les espèces ayant occupé la planète depuis l'origine de la vie. La vie est apparue sur Terre il y a au moins $3,5 \cdot 10^9$ d'années et n'a cessé de se diversifier depuis (SHAPIRO, 1994). Cette augmentation du nombre de taxons avec le temps peut se suivre grâce aux vestiges fossiles de ces espèces. Pendant environ $1,4 \cdot 10^9$ années on n'observe aucun organisme multicellulaire et il semble que la grande diversification du vivant débute il y a $600 \cdot 10^6$ d'années, au début du Cambrien (GLAESSNER, 1985 ; GOULD, 1989 ; BRIGGS *et al.*, 1994).

Indépendamment de l'extinction normale des espèces, il y eut au cours des temps géologiques des périodes relativement courtes durant lesquelles le nombre des espèces constituant la biosphère a été considérablement diminué. Ces périodes d'extinctions massives, au nombre de cinq, sont les marqueurs des changements d'ères géologiques et la traduction de changements environnementaux à l'échelle planétaire (Fig. 5). La limite entre l'ère primaire et le secondaire (Permo-Trias) aurait vu l'extinction d'environ 77 à 96 % des espèces marines. La limite K-T (Crétacé-Tertiaire) qui marque le passage du secondaire au tertiaire, célèbre par l'extinction du groupe des dinosaures, serait caractérisée par une perte de 65 à 85 % des espèces marines (SEPKOSKI, 1993 ; WILSON, 1992 ; JABLONSKI, 1996). Cependant, RAUP (1993), qui est l'un des principaux auteurs de ces estimations, explique que cette notion

d'extinction de masse est à considérer avec beaucoup de précautions. Le phénomène d'extinction semble continu au cours des temps géologiques et il n'y a pas de discontinuité entre les petites et les grandes extinctions. La rapidité de ces extinctions est très relative puisque celle du Permien aurait duré de 5 à 8 millions d'années.

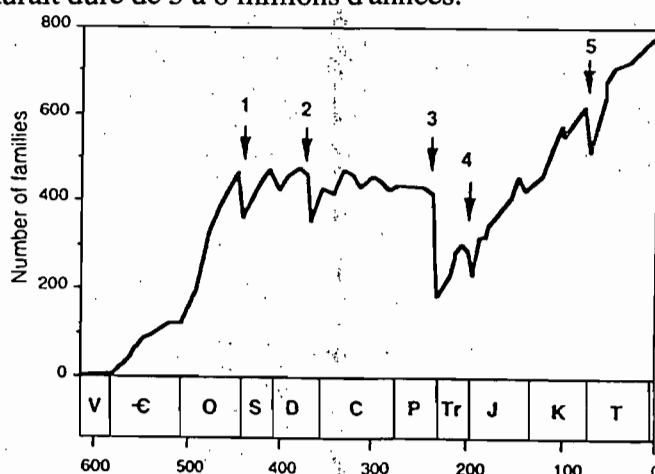


Fig. 5. — Évolution du nombre des familles de fossiles au cours des temps géologiques établie à partir de 77 couples de valeurs. L'échelle des abscisses est en millions d'années (V : Vendien ; C : Cambrien ; O : Ordovicien ; S : Silurien ; D : Dévonien ; C : Carbonifère ; P : Permien ; Tr : Trias ; J : Jurassique ; K : Crétacé ; T : Tertiaire). Les principales extinctions, dites de masse, sont indiquées par des flèches ; 1 : fin de l'Ordovicien ; 2 : fin du Dévonien ; 3 : fin du Permien ; 4 : fin du Trias ; 5 : fin du Crétacé. (d'après SEPKOSKI, 1993).

Des études sur les isotopes stables (^{13}C , ^{18}O) présents dans les sédiments marins indiquent que les eaux de fond de l'hémisphère sud sont devenues plus froides et moins salées il y a 70 M. A., c'est à dire au moment de la grande extinction du Crétacé. Les changements de circulations océaniques déduits de ces observations pourraient être corrélés aux grands bouleversements climatiques du Maestrichtien (6 derniers millions d'années du Crétacé) et avoir provoqué, entre autre, l'extinction des rudistes constructeurs de récifs. La disparition de ces espèces tropicales a, en effet, été attribuée à une diminution de la salinité (MACLEOD & HUBER, 1996).

Les hypothèses sur l'origine des extinctions de masses sont multiples et mettent en causes des phénomènes de grande ampleur, soit cosmiques (chute de météorites), soit volcaniques ou une combinaison des deux. Les hypothèses faisant intervenir des pathologies virales ou bactériennes peuvent être éliminées car elles ne provoqueraient que des extinctions de quelques espèces et n'auraient pas l'impact global qui caractérise les "extinctions de masses" (RAUP, 1993). Il semble qu'actuellement, le scénario le mieux étayé pour expliquer l'extinction K-T soit une chute de météorites dont certains morceaux de grandes tailles auraient provoqué un obscurcissement de l'atmosphère rendant impossible toute photosynthèse. Toutefois, la corrélation entre les datations des gros cratères météoriques (> 32 km de diamètre) et celle des extinctions importantes n'est pas parfaite et plusieurs très gros impacts ne semblent correspondre à aucune rupture dans les séries fossiles ? Certains voient une périodicité d'environ $26 \cdot 10^6$ années dans l'histoire des extinctions.

Depuis peu, on commence à s'intéresser à la forte augmentation de la biodiversité qui semble suivre chaque grande extinction. A partir des données sur l'évolution du nombre de familles fossiles en fonction du temps (Fig. 4) extraites des travaux de SEPKOSKI (1993) et de BENTON (1995), un modèle mathématique simple permet de rendre compte des extinctions de

masse (COURTILLOT & GAUDEMER, 1996). Chaque extinction massive aurait une influence fondamentale sur l'évolution de la biodiversité qui lui fait suite. La rapide augmentation de la diversité au niveau des familles serait une conséquence de la disponibilité de nouvelles niches écologiques libérées par l'extinction massive. A l'échelle de l'histoire du vivant, ces extinctions apparaissent comme essentielles pour l'apparition des taxons supérieurs et l'accroissement de la biodiversité. La disparition de certains groupes ouvrant la voie à de nouvelles radiations adaptatives, "l'extinction est nécessaire à l'évolution" (RAUP, 1993).

Extinctions locales

On parle d'extinction locale lorsque l'aire de répartition d'une espèce diminue et que sa présence n'est plus observée dans une région. Ainsi, le bémolier géant, *Tridacna gigas* qui a une aire de répartition actuelle limitée au sud-ouest Pacifique, a-t-il disparu récemment de Nouvelle-Calédonie (ROSEWATER, 1965 ; LUCAS, 1988). On trouve des coquilles géantes de ce bivalve incrustées dans les platiers en différents endroits de l'île et elles sont même utilisées par l'artisanat local du "lapidaire". La datation de ces coquilles leur donne un âge compris entre 5000 et 10 000 ans (PICHON, *com. pers.*). Il est probable que ce bivalve a vu son aire de répartition régresser lors de la dernière glaciation, lorsque le niveau marin était 130 m plus bas que l'actuel et que la plupart des lagons du Pacifique avaient disparu (PAULAY, 1990). Les espèces des pentes externes récifales ont pu suivre le mouvement, mais les espèces purement lagunaires ont disparu localement et n'ont persisté que dans les rares zones où les lagons sont suffisamment profonds (Fidji, PNG).

Millepora boschmai, espèce endémique du Golfe de Chiriqui (Pacifique tropical Est), a pratiquement disparu à la suite du phénomène El Nino très fort de 1982-83 mais a finalement été retrouvée en 1992 (VERMEIJ, 1993 ; CARLTON, 1993 ; BIRKELAND, 1997).

Extinctions globales

En étudiant l'évolution des séries fossiles, il a été possible d'évaluer des taux d'extinction naturels (LAWTON & MAY, 1995). Ces taux sont environ quatre fois plus lents que ceux dues aux interactions entre l'homme et la biosphère. Les estimations des taux d'extinction des espèces se heurtent à la difficulté d'évaluer la diversité spécifique au cours des temps géologiques. Malgré les incertitudes liées aux lacunes d'échantillonnages, les estimations du nombre d'espèces dans la biosphère seraient comprises entre 10 et 100 millions alors que le nombre d'espèces décrites est bien inférieur à 2 millions. Pour les différents groupes, les auteurs estiment les taux d'extinctions naturels entre 20 et 200 espèces / million d'année. Cette extinction est proportionnelle à la richesse spécifique, les zones tropicales présentant des taux d'extinctions supérieurs à ceux des zones tempérées (JABLONSKI, 1991).

2.1.1.2 - Extinctions d'origine anthropique

Il est établi que, parmi les espèces animales actuellement décrites (environ $1,4 \cdot 10^6$), 485 espèces ont été exterminées par l'homme depuis le début du XVIII^{ème} siècle, soit un taux de 0,04 % (MAY *et al.*, 1995). D'après les critères de l'UICN, beaucoup sont globalement menacées d'extinction (Red list, 1996).

Les cas connus de disparition d'espèces marines sont très rares. Chez les mammifères marins, plusieurs espèces sont menacées et l'une d'elles a disparue pendant la période historique, la Rhytine de Steller. On trouve des vestiges de la Rhytine de Steller (*Hydrodamalis stelleri*) sur les côtes du Pacifique nord, entre le Japon et la Californie. Lorsqu'elle fut signalée par le naturaliste allemand G. STELLER, en 1741, il n'en existait déjà plus qu'une population d'environ 2000 individus localisée sur la côte de Sibérie, dans la mer de Behring. Elle vivait dans les petites profondeurs, parmi les algues brunes (*Laminaria*, *Hedophyllum*, *Alaria*) et était chassée par les habitants du Kamtchatka pour sa viande, sa graisse et son cuir très épais. A tel point qu'elle disparut définitivement en 1768 (SYLVESTRE, 1983 ; ANDERSON, 1995).

Il n'existe qu'un seul cas bien documenté d'espèce marine disparue récemment. Il s'agit d'un petit mollusque gastéropode (*Lottia alveus*) qui vivait sur les feuilles de la phanérogame *Zostera marina* le long de la côte est de l'Amérique du nord (CARLTON *et al.*, 1991 ; VERMEIJ, 1993 ; GOULD, 1994).

CARLTON (1993) discute les cas de quatre espèces de mollusques qui n'ont plus été observées depuis plus de 50 ans et qu'il classe parmi les "neoextinctions". Il s'agit de :

La patelle *Lottia alveus* signalée pour la dernière fois en 1929 ; "*Collisella*" *edmittchelli*, une autre patelle "disparue" de Californie en 1863 ; *Littoraria flammea* de Chine, non revue après 1840 et de *Cerithidea fuscata* de Californie supposée disparue vers 1935.

Jusqu'en 1929, la *Lottia* était très abondante sur les feuilles des herbiers de *Zostera*. Entre 1965 et 1990 elle fut intensivement recherchée sans succès et donc déclarée éteinte. Environ 90 % des herbiers furent détruits entre 1930 et 1933 par une maladie due au champignon *Labyrinthula zostera*. Les quelques herbiers qui subsistèrent se situaient en eau saumâtre "...en dehors des limites physiologiques de *Lottia*". Par ailleurs, elle ne consommait que les cellules épithéliales de cette phanérogame et cette hyperspécialisation trophique ne lui aurait pas permis de survivre à la régression des zostères.

Il ne semble pas que cette disparition puisse être attribuée aux activités humaines. A moins que le champignon responsable de la maladie des Zostères n'ait été introduit par les bateaux ?

Comme le fait remarquer CARLTON (1993), ce n'est pas un hasard si les rares exemples supposés de néoextinctions concernent le groupe des mollusques qui est l'un des mieux étudiés. Il est plus que probable que des extinctions dans d'autres groupes ont eu lieu mais sont passées inaperçues. Les groupes bien connus comme les mollusques ou les crustacés décapodes pourraient être utilisés comme des indicateurs d'extinction.

Une espèce sera vulnérable et facilement menacée de disparition si elle présente l'une ou l'autre des caractéristiques suivantes :

- habite une aire géographique réduite ; est très spécialisée pour son alimentation ; possède une gamme physiologique plus restreinte que celle de ses proies.

Lorsque les effectifs d'une espèce deviennent trop faibles (quelques centaines d'individus) elle est fortement en danger de disparition. Tous les individus peuvent mourir simultanément ou bien la loterie génétique peut ne faire naître simultanément que des individus de même sexe (PIMM *et al.*, 1995). En milieu marin, les importantes lacunes dans la connaissance taxonomique des invertébrés empêchent d'évaluer réellement le phénomène d'extinction actuel et cela ne risque pas de s'améliorer à court terme puisque les taxonomistes eux-mêmes sont en voie de disparition (WINSTON, 1988 ; CARLTON, 1993).

VERMEIJ (1993) montre que même les espèces avec une vaste répartition géographique ne sont pas à l'abri de l'extinction. Il inclut dans les espèces marines récemment éteintes 10 espèces d'oiseaux de mer et trois mammifères marins, dont la Rhytine et deux phoques (*Monachus tropicalis* et *Mustela macrodon*). L'aire de répartition n'est donc pas le seul facteur à prendre en considération dans la vulnérabilité d'une espèce.

Les principales causes actuelles d'extinction des espèces sont la disparition de leurs habitats ou sa fragmentation, la surexploitation ou les introductions d'espèces (SOULE, 1991).

2.1.2 - Crise au niveau des écosystèmes

Dans l'Indo-Pacifique tropical, les écosystèmes littoraux les plus caractéristiques (herbiers de phanérogames, mangroves, récifs coralliens et herbiers de caulerpales) subissent actuellement une grave crise entraînant parfois des disparitions locales, particulièrement dans les zones les plus peuplées, Inde, Indonésie, Philippines... Cette crise est la conséquence des actions anthropiques (hypersédimentation, pollution chimique ou organique, surexploitation, tourisme) qui viennent s'ajouter aux actions destructrices des phénomènes naturels (cyclones, *Acanthaster*...).

Sur les côtes indiennes, parmi les plus peuplées du monde, on observe une dégradation extrême de la biodiversité pour diverses raisons :

- Les pêcheries prélevaient entre 1987 et 1989 environ $1,9 \cdot 10^6$ tonnes de poissons par an (PERNETTA, 1993a) et depuis quelques années les stocks d'espèces de profondeur (*Myctophidae*, *Macrouridae*) sont également pêchés. Les invertébrés sont également intensivement exploités (langoustes, crevettes, céphalopodes, bivalves, holothuries...).

- Plusieurs zones côtières d'estuaires ou de mangroves ont été aménagées pour y faire de l'aquaculture de crevettes ou de poissons.

- Plusieurs espèces sont surexploitées, les mollusques exploités pour la nacre (*Trochus niloticus*, *Turbo marmoratus*) ; les coraux utilisés comme matériaux de construction ; les mangroves exploités pour leur bois dans l'ouest du Bengale.

- La dégradation du littoral due à l'exploitation des minéraux (calcaire...) provoque une régression des peuplements.

2.1.2.1 - Les perturbations d'origine naturelle

Les **cyclones**, par la puissance destructrice des énormes houles qui déferlent sur les côtes, les niveaux marins exceptionnels qu'ils occasionnent et les très fortes pluies qui leurs sont associées, perturbent les récifs coralliens (LE BORGNE, 1986).

Sur la Grande Barrière australienne (GBR), vers 21°S, où l'influence cyclonique est la plus forte, MASSEL et DONE (1993) ont établi que l'action de la houle était destructrice jusqu'à 12 m de profondeur. Cette influence est également observée dans les lagons en perturbant les peuplements des fonds meubles (RIDDLE, 1990). En Polynésie française, HARMELIN-VIVIEN et LABOUTE (1986) décrivent de profondes modifications des pentes externes des atolls des Tuamotu à la suite des forts cyclones de 1983. Dans ces régions où les pentes récifales sont fortes, les scléactiniaires brisés par la houle cyclonique dans les dix premiers mètres forment des éboulis qui dévalent les pentes en y détruisant les peuplements coralliens jusqu'à plus de 50 m de profondeur (BROWN, 1997). En 1972, le cyclone Bebe frappa l'Atoll de Funafuti (8°S - 179°E) formant sur 18 km de longueur un rempart de débris coralliens arrachés à la pente récifale externe d'une largeur moyenne de 37 m, de 3,5 m de hauteur soit d'un volume estimé à $1,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (MARAGOS *et al.*, 1973).

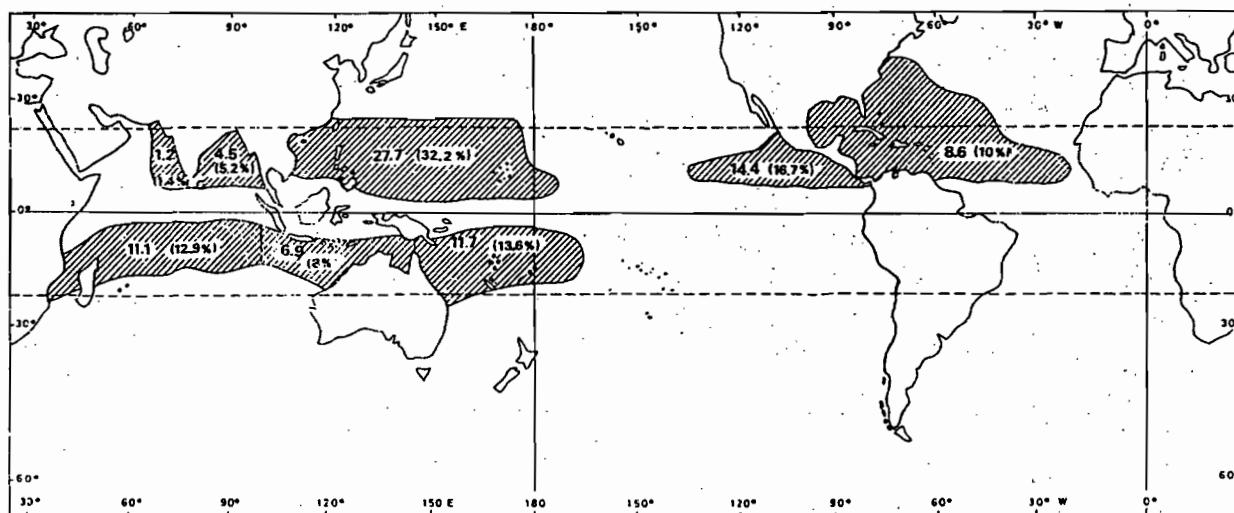


Fig. 6. — Répartition des zones de cyclogenèse (vents > 34 noeuds). Nombre de cyclones par zone entre 1961 et 1980 et pourcentage (d'après LE BORGNE, 1986). Dans le Pacifique, les cyclones se forment au dessus de la "warm pool" mais la zone équatoriale où l'évaporation est intense ne présente pas de formations cycloniques parce que l'influence des forces de Coriolis dues à la rotation de la Terre y est faible.

Les cyclones sont des événements isolés, semblent imprévisibles et suivent des trajets erratiques. Ils obéissent cependant à des "lois" et ne passent pas n'importe où (Fig. 6) : dans le SO Pacifique, ils se forment presque tous aux abords de la Papouasie-Nouvelle-Guinée, près de la "warm pool" (grande piscine d'eau chaude) où les températures de surface sont en permanence supérieures à 27°C ; la présence d'une terre émergée, grande île ou masse continentale, fait dévier les dépressions. Si l'on regroupe sur une même carte les trajets cycloniques depuis 1908 dans la région australienne, on obtient deux enchevêtrements de tracés (Fig. 7) qui suivent les côtes et montrent que les zones coralliennes du Pacifique ouest subissent relativement souvent ces perturbations (DONE, 1993). Dans le Pacifique centrale, les développements cycloniques sont plus rares et d'autant plus dévastateurs.

Cependant, le passage des perturbations cycloniques est nécessaire au développement de certaines structures récifales, comme les îlots et cayes de sable, car l'action destructrice des fortes houles provoque une accumulation de débris (levées détritiques) qui surélève les côtes et les soustrait à l'érosion ordinaire de la houle (SCOFFIN, 1993). Par ailleurs, ces levées détritiques forment un milieu cavitaire offrant des habitats à une riche faune d'une grande diversité (spongiaires, bryozoaires, ascidies, crustacés, mollusques...).

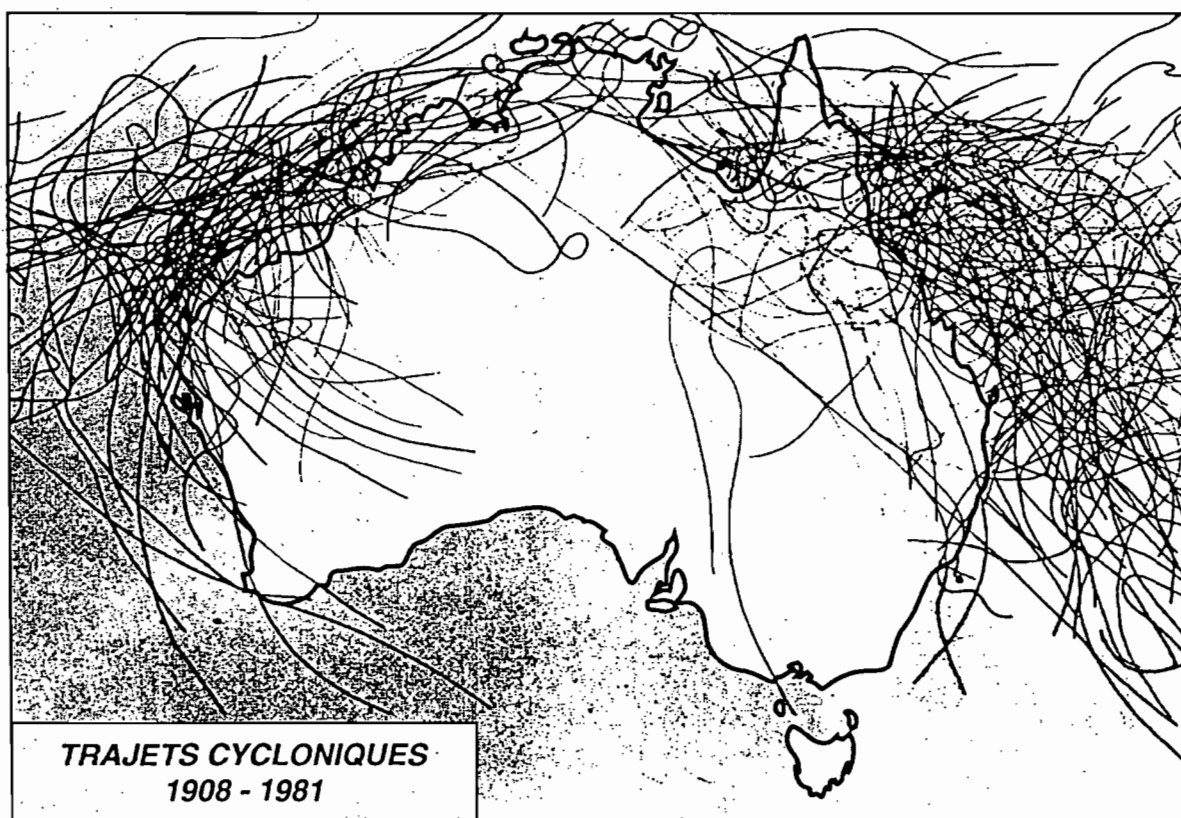


Fig. 7. — Tracés des trajets cycloniques en Australie pour la période 1908 à 1981 (d'après DONE, 1993).

2.1.2.2 - Perturbations d'origine anthropique

- Les mangroves :

La surpopulation de certaines zones côtières (Tonga) entraîne une dégradation des mangroves pour récupérer des terres cultivables ou pour construire. Ces zones ont souvent

mauvaise réputation à cause de leurs substrats vaseux et des populations d'insectes piqueurs qu'elles abritent, ce qui fait que leur destruction peut, à première vue, paraître salubre. Comme elles sont implantées au niveau des plus hautes mers, on peut aisément imaginer ce qui arrivera aux constructions humaines établies sur des terrains gagnés sur la mangrove si, comme cela semble se confirmer, le niveau des océans venait à monter !

Certaines mangroves ont disparu durant la période historique à Guam, à Nauru, à Vanuatu et en Nouvelle-Calédonie. Aux Fidji, on a estimé que 6 % de la superficie des mangroves avaient déjà disparu. La mangrove peut être sérieusement endommagée par les apports massifs de sédiments terrestres charriés lors des pluies cycloniques. Ce phénomène augmente avec la déforestation des îles liée aux exploitations minières ou aux incendies. Lors de l'aménagement du littoral, le tracé d'une route sur une zone de mangrove peut provoquer sa mort en supprimant l'influence périodique de la marée (golf de Tina en Nouvelle-Calédonie).

Une nouvelle nuisance est apparue avec le développement des fermes aquacoles qui sont très souvent installées après arrachage des palétuviers (Tab. 2).

Tab. 2. — Réduction de la superficie (en hectares) des mangroves due aux bassins d'aquaculture dans quelques pays du Pacifique (d'après MARAGOS *et al.*, 1995).

	AVANT	APRES	REDUCTION
Philippines	448 000	110 000	75 % (1988)
Thaïlande	287 300	249 000	13 % (1979)
Indonésie	4 000 000	3 800 000	5 % (?)

- Les récifs coralliens :

- **Les apports terrigènes et les effets anthropiques :** A l'échelle mondiale, la superficie des zones récifales détruites et sévèrement menacées serait très importante (WILKINSON, 1993). Les principales causes de destructions sont d'origine anthropiques : pollutions organiques et minérales provenant des égouts, de l'agriculture et de l'industrie ; hypersédimentation consécutive au déboisement ; surexploitation par des techniques de pêche destructrices. Les zones les plus atteintes sont celles de plus forte diversité spécifique qui sont également les plus peuplées, Madagascar, Philippines, Indonésie, Caraïbes. Les populations humaines tirent une partie de leur subsistance des récifs coralliens mais y exercent une pression de plus en plus importante qui atteint un niveau critique (Fig. 8).

Dans le monde, 10 % de la superficie est déjà détruite, 30 % est dans un état critique et encore 30 % est menacée dans un délai de 20 à 40 ans. Seuls 30 % des récifs, éloignés des concentrations humaines ou efficacement protégés (GBR), seraient encore en bonne santé et

pourraient servir de réservoir larvaire pour recoloniser les zones détruites. Toutefois, même ces récifs éloignés seraient affectés si les conséquences d'un "Global Change" se confirmaient.

La majorité des récifs coralliens bordant le sud-est asiatique sont en très mauvais état. Les récifs déjà détruits sont ceux du Sri Lanka et de l'Inde ; les côtes ayant des récifs dans un état critique sont en Chine, au Viet Nam, Cambodge, Thaïlande, Indonésie et Philippines et en certains endroits du Japon et des Caraïbes. A l'échelle de quelques décennies ce sont environ 70 % des récifs qui sont menacés d'extinction, ce qui à l'échelle planétaire correspondrait à une forte perte de biodiversité. D'après WILKINSON (1993) : "...we can predict a loss of more than half of the world's coral reef resources within 30 years and a consequent massive extinction of many species."

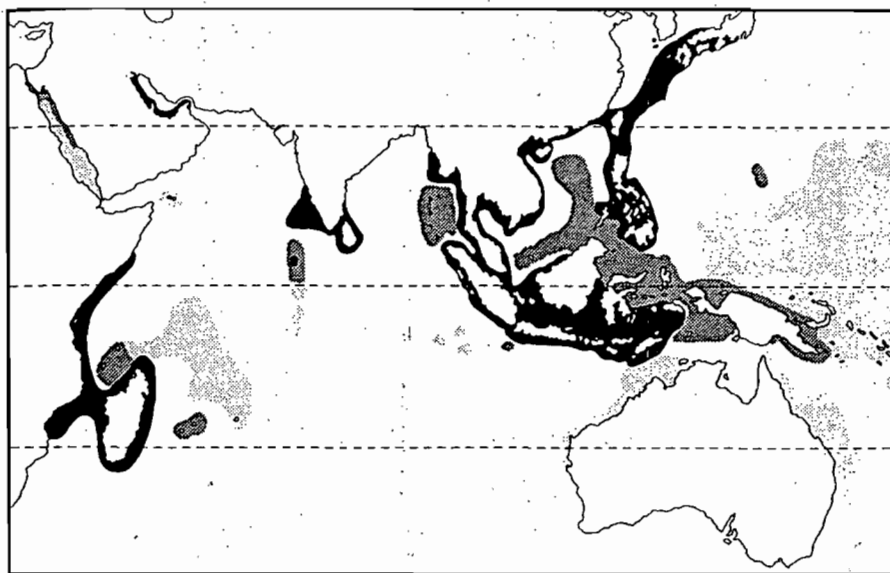


Fig. 8. — Cartographie de l'état de santé des récifs coralliens classés en trois catégories : État critique (en noir), récifs sévèrement endommagés et proches de l'extinction ; Menacés (en gris foncé), récifs montrant des signes de stress et qui pourraient mourir si l'impact anthropique se poursuit au même rythme ; stables (en gris clair), récifs ne présentant pas de signes de destruction. (d'après WILKINSON, 1993).

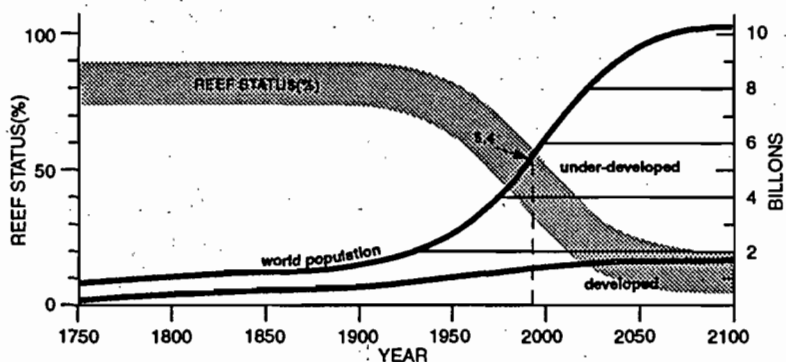


Fig. 9. — Évolution théorique de la superficie récifale en relation avec l'accroissement de la population humaine (d'après WILKINSON, 1993).

Une extrapolation sur l'évolution des récifs conduit WILKINSON (1993) à prédire leur extinction lorsque la population humaine atteindra 10^{10} habitants (Fig. 9).

- Certaines **méthodes de pêche** ont des effets très destructeurs pour l'environnement récifal. Il s'agit principalement de l'utilisation des explosifs qui brisent les coraux ou de substances chimiques qui les tuent. Aux Philippines, ce sont surtout les espèces de poissons pélagiques (Carangidae, Mugilidae, Siganidae) qui sont la cible de pêche à l'explosif. Ce genre de pêche a été également pratiqué intensivement dans le lagon de Wallis qui est devenu très pauvre (RICHARD *et al.*, 1982 ; RICHER DE FORGES & MENOUE, 1993).

En moyenne, les pêcheries des récifs coralliens récoltent 8 tonnes / km² / an. Ce qui, sur les 617 000 km² de récifs mondiaux représente environ $6 \cdot 10^6$ tonnes / an (SMITH, 1978). Ces pêcheries concernent des zones très sensibles où l'on observe la plus grande richesse spécifique en poissons du monde. Une étude menée aux Philippines par McMANUS *et al.* (1991) montre que pour une superficie récifale de 24 km² de platier et 60 km² de pente externe, supportant environ 300 à 500 espèces de scléactiniaires et 1000 espèces de poissons, 50 % était totalement endommagée. Aux Philippines, la perte en coraux par an est estimée en moyenne à 2,84 % et elle résulte par ordre d'influence décroissante, de la pêche chimique, de l'utilisation des explosifs et des mouillages des bateaux. Un modèle de simulation des effets conjugués des explosifs, des mouillages et de la pêche chimique, utilisant ces paramètres (50 % de la surface détruite, 2,84 % de perte / an et un taux de régénération des récifs de 1 % / an) montre la diminution de la diversité pour une durée supérieure à 25 ans (SAILA *et al.*, 1993).

- les **mouillages des bateaux** : Dans les zones lagunaires et récifales très fréquentées l'effet destructeur du mouillage des bateaux de plaisance est significatif. L'ancre du bateau casse les coraux en atteignant le fond, laissant un impact durable, puis la chaîne du mouillage rague sur le fond lorsque l'embarcation évite, détruisant parfois d'importantes surfaces de fragiles coraux branchus ou tabulaires (ceci est également vrai, dans une moindre mesure pour les herbiers). Pour pallier cet inconvénient dû à l'attrait des touristes pour les milieux coralliens, différentes solutions ont été proposées : interdiction de mouillage dans certaines zones, installation de mouillages fixes avec un flotteur en surface sur lequel les petites embarcations peuvent s'amarrer...Aucune de ces solutions n'est pleinement satisfaisante. L'interdiction de navigation ou de mouillage prive un public sensible aux charmes de la nature d'une chance de mieux comprendre son environnement et la mise en place des mouillages fixes est également perturbatrice du milieu. Il s'agit généralement de corps-morts très volumineux auxquels sont fixés une chaîne ou un orin. Une solution plus discrète a été expérimentée en Floride : Un carottage est réalisé dans le substrat et le mouillage fixe est scellé sur le fond. La véritable solution passe par une réglementation limitant la densité des visiteurs et une éducation pour que les amateurs de récifs prennent eux-mêmes conscience de la nécessité de protéger les récifs en

ne mouillant pas n'importe où. Peut-être faudra-t-il en venir à inclure des notions d'écologie dans la formation des permis de navigation ?

Bien qu'il y ait peu d'informations précises sur l'effet toxique du cyanure de sodium sur les coraux, il semble que ce type de pêche soit plus destructeur pour les récifs que la pêche à l'explosif et les mouillages de bateaux réunis.

- Les herbiers de phanérogames :

Les principales causes de la régression ou de la disparition des herbiers sont :

- les maladies (cf. disparition de l'herbier à *Lottia* le long de la côte Est des États-Unis) ;
- travaux sur le littoral entraînant des phénomènes d'érosion et de turbidité des eaux ;
- dragages pour extraction de sable ou creusement de chenaux de navigation ;
- mouillage des bateaux lorsqu'ils sont nombreux ;
- pollution (hydrocarbures, rejets d'eaux usées...) ;

2.1.2.3 - Déséquilibres écologiques

Le milieu marin subit parfois de brusques déséquilibres écologiques pouvant conduire à des mortalités massives de populations et aboutir à un nouveau système très différent de celui d'origine. Les principales causes de ces perturbations sont l'eutrophisation, l'hypersédimentation et la surexploitation, avec parfois comme conséquence des pullulations d'espèces envahissantes.

Dans tous les cas, un déséquilibre écologique aboutit à une diminution, parfois drastique, de la biodiversité.

Eutrophisation :

Le phénomène d'eutrophisation est lié à un apport excessif de sels nutritifs dans l'eau. En mer, à proximité des côtes, il s'observe généralement quelques jours après le passage d'un cyclone qui a provoqué de brusques apports terrigènes et une remise en suspension sédimentaire. Plus fréquemment ce déséquilibre est le résultat d'actions anthropiques, effluents d'égouts, travaux littoraux avec remise en suspension des particules fines, rejets des fermes aquacoles...L'enrichissement du milieu aquatique provoque une forte augmentation de la production phytoplanktonique (bloom), une rapide consommation de l'oxygène dissous, une turbidité accrue et finalement une mortalité de tous les organismes. Dans le milieu benthique, les algues vertes (*Ulva*, *Enteromorpha*) qui croissent plus rapidement prolifèrent puis meurent en masse provoquant un surplus de matière organique et une anoxie de la surface des sédiments. Sur les récifs frangeants soumis à un début d'eutrophisation, les scléroustaciens qui se

développent beaucoup moins vite que les algues, finissent par leur céder la place. Il s'agit souvent d'algues brunes des genres *Turbinaria* ou *Padina*.

L'effet d'une eutrophisation sur les communautés benthiques est différent selon l'intensité des apports en matières organiques : un faible apport provoque une augmentation de la biomasse et peu de changement dans la composition spécifique ; un apport plus important provoque une forte augmentation de la biomasse et une modification de la composition spécifique, certaines espèces opportunistes prolifèrent aux dépens des autres. Un apport massif de matières organiques provoque une disparition de la faune benthique et la formation d'un sédiment azoïque (HEIP, 1995). Dans les zones littorales, où ces phénomènes sont fréquents, on observe généralement un couplage entre système benthique et système pélagique, c'est l'ensemble de l'écosystème qui est eutrophisé. Un modèle mathématique (PEARSON-ROSENBERG) a été développé pour décrire l'évolution d'un écosystème soumis à l'augmentation des apports organiques (Fig. 10). Cette représentation semble correspondre assez bien aux eutrophisations observées dans les eaux tempérées froides d'Europe où la biodiversité est faible mais n'a pas encore été testée en zone tropicale.

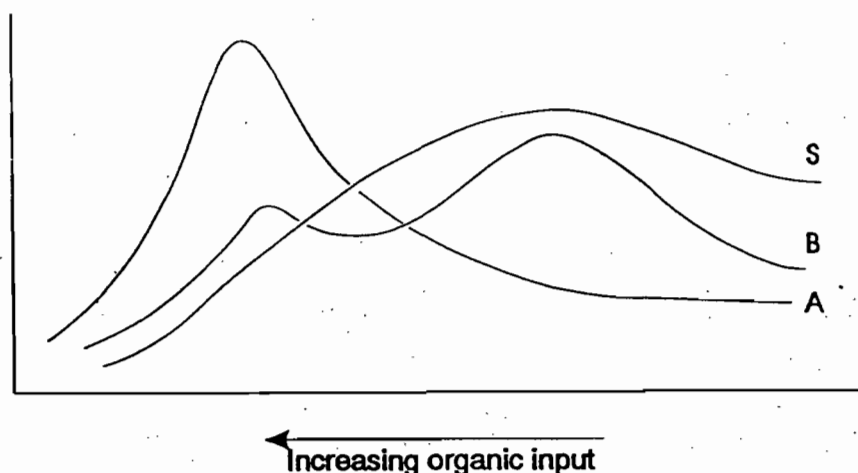


Fig. 10. — Courbes théoriques de l'évolution des peuplements benthiques sous l'effet d'apports organiques. A : évolution de l'abondance ; B : évolution de la biomasse ; S : évolution de la richesse spécifique (d'après HEIP, 1995).

L'eutrophisation a parfois une origine naturelle comme c'est le cas dans le lagon de l'atoll de Clipperton (10°N - 109°O), où elle est la conséquence d'un excédent en phosphates et en nitrates du guano (CARSIN *et al.*, 1985).

D'autres exemples d'eutrophisation chronique existent sur la Grande Barrière, aux Caraïbes et dans de nombreuses zones littorales soumises à un enrichissement en nutriments dû au ruissellement, aux rejets d'égouts ou d'aquaculture, à un upwelling saisonnier lié au vent ou encore à la fixation d'azote atmosphérique (GABRIC & BELL, 1993). En Australie, pays très plat où les bassins versants ont d'énormes superficies, les excès d'apports azotés et phosphatés utilisés en agriculture, sont drainés vers la côte par les pluies. Ceci est particulièrement connu des côtes du Queensland qui ont été fortement déforestées pour planter de la canne à sucre.

Dans cette région, certains épisodes de prolifération des *Acanthaster* dans le lagon de la GBR semblent corrélés aux grosses pluies cycloniques (BRODIE, 1992).

Aux îles Hawaii le développement de l'agriculture a provoqué une augmentation des apports sédimentaires et des nutriments sur les récifs côtiers, provoquant en quelques années un changement dans la composition des peuplements en faveur des algues. Dans le cas des eutrophisations provoquées par les rejets d'égouts, la mortalité corallienne n'est pas liée à la toxicité des effluents mais à la compétition avec les algues dans l'utilisation de la lumière et de l'espace.

Les récifs coralliens sont particulièrement sensibles aux effets de l'eutrophisation : l'augmentation de la densité des algues phytoplanctoniques opacifie l'eau, diminuant la quantité de lumière disponible pour les zooxanthelles des tissus coralliens. Cela peut entraîner une mortalité chez les scléactiniaires qui sont alors rapidement remplacés par des algues benthiques et des organismes filtreurs (mollusques, ascidies). De telles mortalités coralliennes ont été observées à la suite de phénomènes d'eaux rouges dues aux proliférations de la cyanobactérie coloniale *Trichodesmium*.

A long terme, une eutrophisation liée à un rejet d'égout en milieu corallien conduit à une simplification de l'écosystème. Les coraux disparaissent pour laisser la place aux algues et sur les fonds meubles seules subsistent quelques espèces de polychètes qui prolifèrent (*Chaetopterus*). A la périphérie de la zone ainsi modifiée on observe un phénomène de halo où la diversité spécifique est plus grande (GRIGG & DOLLAR, 1990).

Les eaux rouges : Il s'agit d'un déséquilibre localisé des masses d'eaux qui induit la prolifération d'algues planctoniques eucaryotes ou procaryotes. Ces eaux colorées, brunâtres à rougeâtres, sont souvent associées à des fronts thermiques et s'étendent parfois en de longs rubans sur des dizaines de kilomètres. L'imagerie satellitaire est utilisée pour détecter ces déséquilibres planctoniques de grande ampleur (CARPENTER *et al.*, 1992 ; DUPOUY, 1992 ; YODER *et al.*, 1994). Le plus souvent ces proliférations planctoniques résultent d'un déséquilibre hydrologique marquant une frontière entre deux masses d'eau. Certaines diatomées comme les *Rhizosolenia* spp. prolifèrent au point de produire des concentrations en chlorophylle-*a* > 20 mg par m³. Cela provoque une mortalité massive de ces cellules qui coulent et s'accumulent dans les sédiments, laissant une trace fossile de ces phénomènes de courtes durées. Ces proliférations provoquent parfois des mortalités dans la faune marine, soit par diminution de l'oxygène dissous, soit par production de pigments toxiques. Les cas de toxicité sont plutôt le fait des proliférations de dinoflagellés (*Gymnodinium*, *Gyrodinium*...) mais existent également pour d'autres familles. Ainsi, en mai 1997, une très importante mortalité de phoques moines (*Monachus monachus*) a été observée sur les côtes d'Afrique occidentale ; 36 individus sont morts alors que la population totale de cette espèce était estimée de 220 à 300 individus. Cette mortalité massive a été attribuée aux algues planctoniques

Alexandrium minutum, *Gymnodinium catenatum* et *Dynophysis acuta* (Informations diffusées sur InterNet par Don ANDERSON).

Des phénomènes d'eaux rouges sont observés également loin de toutes terres, dans des zones oligotrophes (Fidji, Hawaii). Ils sont alors attribués à la fixation de l'azote atmosphérique par des diatomées (*Hemiaulus*, *Rhizosolenia*) à cyanobactéries (*Richelia*) endosymbiotes (CARPENTER, 1988 ; VILLAREAL, 1992).

Hypersédimentation :

C'est un phénomène qui peut avoir de multiples origines et qui est souvent étroitement associé à l'eutrophisation. La charge sédimentaire agit comme une pollution physique en s'opposant à la pénétration de la lumière dans l'eau et en asphyxiant les organismes benthiques sur lesquels elle se dépose.

L'hypersédimentation est probablement la pollution d'origine anthropique la plus généralisée et la plus dévastatrice pour l'environnement littoral (GRIGG & DOLLAR, 1990). Il existe une hypersédimentation due aux activités humaines sur le récif comme l'extraction des granulats pour la construction ou le creusement de chenaux et de "marinas". De nombreux exemples de l'impact de ces activités ont été décrits en Polynésie française (SALVAT, 1987) ou aux Hawaii (CARPENTER & MARAGOS, 1989). L'extraction de matériaux coralliens dans les lagons ou sur la frange littorale pour l'utilisation directe des granulats ou pour fabrication de la chaux a été pratiquée dans plusieurs régions de l'Indo-Pacifique.

L'hypersédimentation littorale est souvent la conséquence directe de la déforestation pratiquée dans la plupart des îles hautes du Pacifique. Cette destruction du couvert végétal est réalisée soit pour exploiter le bois (îles Salomon, Vanuatu...), soit pour établir de nouvelles terres cultivables, soit pour l'extraction minière utilisant les couches latéritiques superficielles riches en minerais métalliques (Papouasie-Nouvelle-Guinée, Fidji, Nouvelle-Calédonie). Ces différentes causes d'atteintes aux écosystèmes terrestres sont souvent associées et ont des effets synergiques sur l'intensité des apports terrigènes sur les zones littorales. En plus d'une érosion passive, il existe également des cas de rejets sédimentaires actifs de stériles miniers en mer qui sont source de déséquilibre écologique. Ainsi, le projet d'exploitation de la mine de cuivre de Suva, aux îles Fidji, devrait rejeter 100.000 t/j de boues composées essentiellement de particules fines, ce qui pourrait être fatal aux formations coralliennes du sud de l'île (NEWELL, *com. pers.*).

Les scléactiniaires qui renferment des algues symbiotes sont particulièrement sensibles à l'hypersédimentation. Même s'ils ne sont pas totalement recouverts par un dépôt de particules, l'obscurcissement de l'eau suffit à les faire disparaître. Les espèces qui ont formé les récifs frangeants sont mieux adaptés à un apport sédimentaire continu et peuvent résister aux apports occasionnels consécutifs aux fortes pluies. Ces espèces luttent contre "l'encrassement" par une production muqueuse accrue et une croissance accélérée. Dans les cas de formations

coralliennes sur fonds vaseux (Banc Gail en Nouvelle-Calédonie) on observe des morphes en piles d'assiettes correspondant à ces croissances variables conditionnées par les apports sédimentaire (LABOUE, 1988). L'action des sédiments sur les coraux est différente selon les espèces, les branchues seront avantagées par rapport aux encroûtantes qui offrent plus de surface. Il s'ensuivra une modification de la composition spécifique récifale.

La répartition géographique naturelle des récifs coralliens est souvent conditionnée par les apports sédimentaires. Les îles volcaniques jeunes, soumises aux fortes précipitations tropicales, ont ainsi des récifs frangeants peu développés (Salomon, Vanuatu, Hawaii, Marquises...).

L'hypersédimentation n'agit pas seulement sur les organismes adultes. En recouvrant les substrats durs, elle s'oppose également au recrutement larvaire des espèces sessiles (scléactiniaires, stylastérides, gorgones, bivalves...).

Pullulations d'espèces

L'échinoderme *Acanthaster planci* est un prédateur naturel des scléactiniaires qui se nourrit des polypes de différents genres (*Porites*, *Diploastrea*...). Cette étoile de mer a été signalée dans tout l'Indo-Pacifique, de la mer Rouge jusque dans l'est du Pacifique. Des périodes de prolifération ont provoqué d'importantes destructions de coraux sur la GBR dans les années soixante et les années quatre vingt. KENCHINGTON (1987) a fait le point sur les connaissances acquises sur les populations d'*Acanthaster* sur la Grande Barrière de Corail australienne. Les experts ne s'accordent pas sur l'origine des phases de prolifération et l'on ne sait pas si ces phénomènes font partie de la vie normale des écosystèmes coralliens. De très nombreux travaux scientifiques ont eu lieu pour essayer de comprendre ces explosions de populations d'*Acanthaster* et de trouver des moyens d'en limiter l'impact sur les récifs. L'abondance des larves d'*Acanthaster* a pu être corrélée aux précipitations abondantes qui entraînent un enrichissement des eaux en nutriments. Il semble donc que ce phénomène ne soit pas directement lié aux activités humaines, bien que l'homme ait pu accentuer un processus naturel en réalisant une récolte abusive du mollusque prédateur d'*Acanthaster* (*Charonia tritonis*) et surtout en perturbant le couvert végétal qui régulait le cycle de l'eau. Il est probable que ces effets de la modification des milieux terrestres sur les zones littorales aient été sous estimés. Non seulement la déforestation accentue l'érosion et provoque des périodes d'inondations mais le développement des cultures introduit dans le milieu un excès de sels nutritifs qui parviennent finalement dans les lagons induisant une prolifération des larves (BIRKELAND, 1982 ; BRODIE, 1990). Le fait que les proliférations d'*Acanthaster* soient dues à une influence anthropique est actuellement remis en cause par les géologues qui ont trouvé dans les sédiments datant de 200 à 300 ans des accumulations de piquants d'*Acanthaster* (SAPP, 1996).

Il faut entre 5 et 10 ans à un récif pour se remettre d'une forte prédation par les *Acanthaster*. Cependant les espèces massives sont plus lentes à régénérer et l'impact des *Acanthaster* reste inscrit pour longtemps dans la composition des communautés (VERON, 1993).

Les programmes de limitations des populations développés en Australie, en Micronésie et au Japon n'ont obtenu que des résultats négligeables.

De nombreux autres organismes contribuent à la bio-érosion des récifs, ce sont des micro-organismes (bactéries, cyanobactéries, champignons, micro-algues), éponges, polychètes, bivalves, cirripèdes, sipuncles, bryozoaires, mollusques, crustacés et le groupe des poissons perroquets (Scaridae). Ainsi, certains mollusques du genre *Drupella* causent des dommages à certains récifs au sud du Japon et en Micronésie. Ces dégâts seraient, par endroit, du même ordre que ceux causés par les *Acanthaster* (MOYER *et al.*, 1982 ; CARPENTER, 1997).

La ciguatera

La ciguatera est une intoxication allergique provoquée par l'ingestion d'une toxine (ciguatoxine). Cette toxine a son origine dans un dinoflagellé benthique (*Gambierdiscus toxicus*) qui se développe sur les débris coralliens. Elle est donc localisée dans la zone corallienne et provoque des intoxications souvent liées aux stress des écosystèmes. A la suite d'une perturbation du milieu et surtout de bouleversement des constructions coralliennes, ce protoctiste se développe sur les coraux brisés. On a observé des flambées ciguatériques aux Caraïbes à la suite de forts cyclones et en Polynésie Française après des travaux littoraux ayant remué les sédiments coralliens (construction de la piste de Totégéi aux îles Gambier en 1969). Cette toxine, consommée par les organismes brouteurs (poissons, mollusques) passe dans les réseaux trophiques et les organismes marins deviennent toxiques pour l'homme. L'intoxication se présente comme une allergie et ses symptômes sont très variables. Cependant, les formes les plus typiques se caractérisent par des démangeaisons dans les mains et les pieds, d'où son nom de "gratte" et des douleurs musculaires pouvant aller jusqu'à la paralysie (BAGNIS, 1981). Des cas d'intoxications ciguatériques sont signalés par les premiers navigateurs occidentaux à découvrir les régions coralliennes (XVIème siècle), alors peu peuplées. La ciguatera n'est donc pas d'origine anthropique bien que les perturbations récifales dues aux sociétés humaines aient considérablement élargi ce phénomène (LAURENT *et al.*, 1993).

Dans certains cas bien documentés, comme la flambée ciguatoxique des îles Gambier, il semble que tout le réseau trophique devienne toxique (poissons, crustacés, mollusques...). La plupart du temps les intoxications sont constatées à la suite d'ingestion de poisson. Dans le monde, plus de 400 espèces de poissons ont été impliquées dans des intoxications ciguatériques (BABLET *et al.*, 1995).

2.1.2.4 - Les introductions d'espèces et la prolifération

Les introductions d'espèces peuvent être accidentelles ou délibérées. Les milieux terrestres insulaires montrent de nombreux exemples de proliférations dues à des introductions délibérées (lapins en Australie, *Achatina* en Nouvelle-Calédonie...).

Dans les eaux douces, le problème de la modification des faunes par introduction d'espèces a été clairement mis en évidence dans le Lac Victoria. Ce grand lac d'Afrique de l'Est était bien connu pour sa grande diversité en poissons endémiques notamment de la famille des Cichlidae. Plusieurs espèces furent introduites pour améliorer la pêche dans les années cinquante et en particulier la perche du Nil *Lates niloticus*. La présence de ce prédateur bouleversa totalement l'équilibre écologique et fit disparaître de nombreuses espèces endémiques (KAUFMAN, 1992 ; WITTE *et al.*, 1992).

En milieu marin, quelques exemples sont bien documentés comme celui résultant de la réalisation du Canal de Suez mais l'on découvre de plus en plus l'ampleur des cas d'introductions accidentels par les transports maritimes (CARLTON, 1987, 1996). Il existe maintenant un forum sur Internet, animé par le CSIRO, qui permet une diffusion "en temps réel" des informations sur les problèmes écologiques consécutifs aux introductions. Par ailleurs, la question des introductions d'espèces marines a été l'un des thèmes majeurs du VIIème Inter-Congrès de la Pacific Science Association à Fidji en juillet 1997.

Une espèce introduite apporte toujours une perturbation dans l'écosystème où elle s'installe car elle doit y faire sa place. N'ayant pas été modelée par le temps et la co-évolution au contact des autres espèces de ce nouvel environnement, elle y provoque un déséquilibre qui se traduit souvent par une phase de prolifération. Une compétition s'établit entre l'espèce étrangère et les espèces autochtones pour l'utilisation de l'espace et des ressources trophiques. Par ailleurs, il existe un danger potentiel d'introduire en même temps qu'une espèce les parasites et les maladies qui lui sont associées ou simplement des épibiontes. Ainsi de nombreuses espèces d'algues et d'invertébrés (actinies, turbellariés, polychètes, bryozoaires, mollusques, crustacés, ascidies) ont été introduites en Europe avec les huîtres japonaise et américaine (BOUDOURESQUE, 1994).

Ces introductions, qualifiées parfois de "pollution biologiques" sont des phénomènes irréversibles et sont, à l'échelle planétaire, l'un des plus grands facteurs de réduction de la biodiversité à long terme par homogénéisation des peuplements (banalisation).

Introductions délibérées :

Les introductions délibérées sont généralement associées à des projets de développement de nouvelles ressources et sont le plus souvent décidées sur des critères économiques avec une vision à court terme et sans évaluation du risque potentiel pour l'environnement.

Certaines espèces végétales de mangrove du Pacifique ont été volontairement introduites (ELLISON, 1995) :

- *Rhizophora mangle* a été introduite en 1954 dans l'atoll d'Enewetak ; la même espèce en provenance de Floride a été introduite aux îles Hawaii (Molokai et Oahu) en 1902 ;

- *Bruguiera gymnorrhiza* des îles Philippines a été introduite, à Oahu en 1922.

Mollusques : les espèces exploitées pour leur nacre ont été introduites dans différentes îles du Pacifique. Le troca (*Trochus niloticus*), exploité pour sa nacre, a été introduit volontairement à Tahiti en 1957, en provenance de Vanuatu (Fig. 11), puis transporté involontairement avec le "fouling" des bateaux dans les atolls des Tuamotu, Mururoa vers 1970, Fangataufa en 1989 où ils sont en compétition avec des Cerithiidae et le Strombidae *Lambis truncata* (BOUCHET & BOUR, 1979 ; BABLET *et al.*, 1995). Le troca et le burgau ont été introduit en 1994 dans l'archipel de Tonga. Les individus lâchés avaient les provenances suivantes : 1092 trocas de Fidji ; 50 burgaus de Vanuatu ; 320 burgaus du Japon (KIKUTANI *et al.*, 1995).

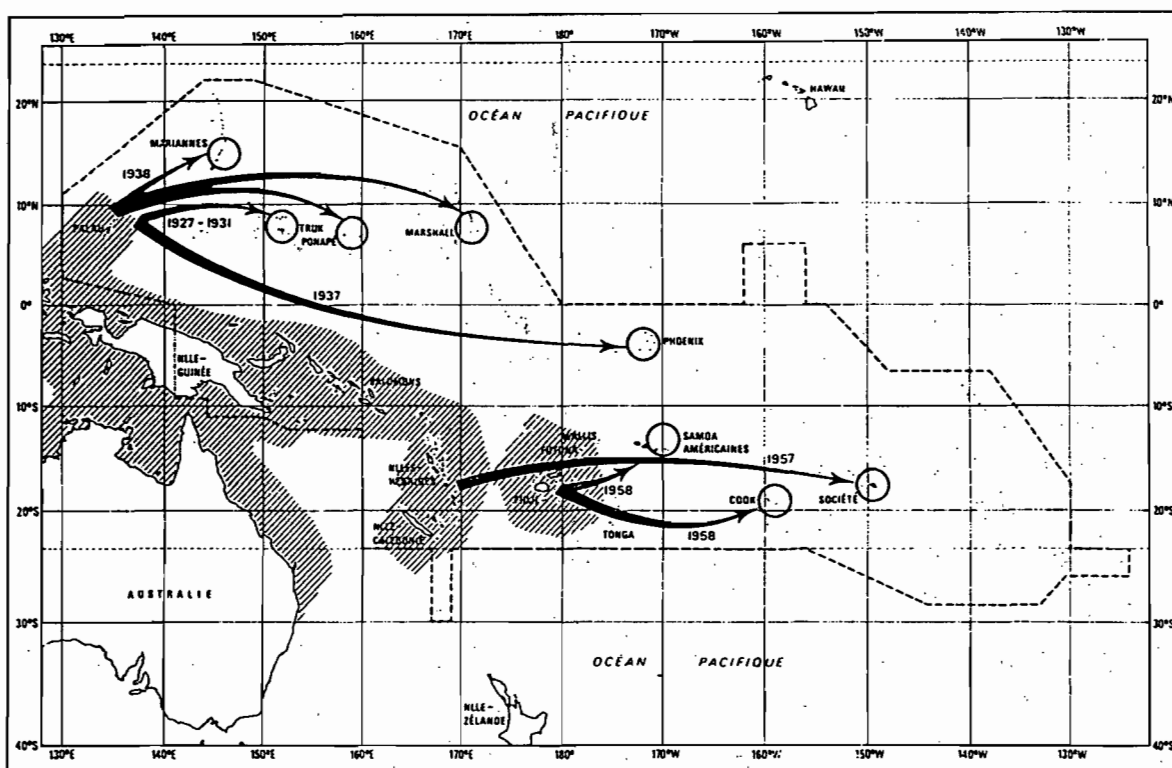


Fig. 11. — Introduction de *Trochus niloticus* dans le Pacifique central (d'après BOUCHET & BOUR, 1979).

Le réensemencement des bémiers (*Tridacna derasa*) a été tenté en Micronésie (Yap) : 25 000 individus ont été transplantés dans plusieurs îles de cet état ; environ 8 % auraient survécu jusqu'à l'âge adulte.

L'huître japonaise, *Crassostrea gigas*, a été introduite en Australie vers 1950 et fait actuellement l'objet d'un élevage.

Parmi les poissons, les saumons et les truites qui sont des espèces anadromes ayant une partie de leur cycle biologique en mer, ont été introduits volontairement à des fins d'élevages ou de pêche d'agrément dans de nombreuses îles. En Australie ces espèces (*Salmo trutta*, *S. salar*,

Oncorhynchus mykiss, *O. tshawytscha*) provenaient d'Europe ou d'Amérique du Nord (POLLARD & HUTCHINGS, 1990a).

L'aquaculture est devenue une source d'introduction d'espèces accidentelles et représente potentiellement une menace pour l'environnement car, malgré les précautions, les espèces peuvent s'implanter dans le milieu naturel et entrer en compétition avec les espèces locales.

Introductions accidentelles :

En dehors de la zone intertropicale, quelques exemples d'introductions d'espèces sont bien documentés.

L'étoile de mer *Asterias amurensis*, est originaire des côtes japonaises et russes où elle est prédatrice des élevages de mollusques. Introduite accidentellement en Tasmanie, dans le port d'Hobart, probablement dans l'eau des ballasts de bateaux venant de l'hémisphère nord, cette espèce s'est mise à proliférer de façon inquiétante. La première récolte de cette espèce dans les eaux de Tasmanie date d'octobre 1986 mais elle ne fut pas correctement identifiée avant mars 1992, ce qui lui laissa le temps d'envahir les environs d'Hobart. La réaction des autorités et l'organisation d'actions pour limiter l'invasion débuta en juillet 1993 seulement. Les problèmes posés par cette invasion sont l'impact écologique sur la faune littorale et l'impact économique sur les fermes aquacoles. En novembre 1993 la répartition connue de cette espèce introduite s'étendait sur environ 200 km de côte. Des tentatives de récoltes en plongée furent réalisées et permirent la destruction de plusieurs dizaines de milliers d'individus (ANONYME, 1994b ; JOHNSON, 1994).

En 1982, une espèce de cténophore (*Mnemiopsis leidy*) fut introduite en mer Noire par des bateaux en provenance d'Amérique du nord. En 1988, l'espèce avait totalement envahi cette mer en atteignant par endroit des densités $> 1 \text{ kg} / \text{m}^2$. Cette prolifération serait directement corrélée à la dégradation de cet écosystème marin à faible diversité spécifique (ANONYME, 1997c). L'invasion de ce cténophore a un impact sur les communautés planctoniques, détruisant les organismes qui sont ordinairement la proie des poissons et également les oeufs de poissons. La réduction de la nourriture des poissons a provoqué la réduction d'un facteur 8 des captures (de 250 000 à 30 000 t / an).

Caulerpa taxifolia en Méditerranée : Cette algue verte du groupe des caulerpales est l'une des espèces caractéristiques des zones tropicales où elle est commune sur fonds sableux (GARRIGUE, 1994). Introduite accidentellement en Méditerranée en 1984, elle colonise par endroit le substrat avec un recouvrement de 100 % et dans d'autres secteurs du littoral, entre en compétition avec les phanérogames marines (*Cymodocea nodosa*, *Posidonia oceanica*). Sa prolifération se poursuit et son implantation perturbe totalement les écosystèmes côtiers et l'on peut parler d'une véritable "pollution biologique". Son extension actuelle sur plusieurs centaines d'hectares répartis sur près de 200 km de côtes exclue toute possibilité d'éradication et son

extension en Méditerranée semble prévisible. L'invasion atteint maintenant l'Italie (150 ha), l'île d'Elbe, la Sicile, la Corse, l'Espagne et les îles Baléares (MEINESZ & HESSE, 1991 ; MEINESZ *et al.*, 1995). Les atteintes à l'environnement benthique sont complexes : elle fabrique un métabolite, la caulerpényne, qui est toxique et joue un rôle de défense contre les brouteurs ; elle ne constitue donc pas un substitut alimentaire aux herbiers qu'elle détruit ; en diminuant la surface utile pour les espèces herbivores, elle provoque une surconsommation des zones d'herbiers non encore colonisées. CHISHOLM *et al.*, (1996), ont démontré que ces caulerpes présentent des bactéries symbiontes dans leurs rhizoïdes, ce qui leur permet d'extraire des sels nutritifs du substrat et explique leur prolifération en Méditerranée sur des côtes enrichies en matières organiques.

- *Espèces lessepsiennes* : On qualifie d'espèces lessepsiennes celles qui ont migré par le Canal de Suez mettant en communication la Mer Rouge et la Mer Méditerranée (POR, 1978, 1990). L'isthme de Suez sépare les deux mers par une barrière terrestre de 162 km qui constituait l'un des obstacles à la communication de deux faunes les plus hermétiques de la biosphère depuis le début du Pliocène. Du sud au nord du canal de Suez, les conditions hydrologiques varient très rapidement : salinité de 41‰ à 38‰ et températures de surface de 18 à 15°C en automne.

Il s'agit d'un cas particulier d'introduction car, à partir du jour de l'ouverture du canal, le contact entre deux faunes, jusqu'alors séparées, devient permanent. Il ne s'agit plus de l'introduction d'une ou plusieurs espèces dans un autre écosystème mais de l'interpénétration de deux faunes. C'est de loin l'introduction la plus massive à l'échelle mondiale. Elle concernerait environ 500 espèces passées de Mer rouge en Méditerranée et seulement une cinquantaine d'anti-lessepsiennes passées de Méditerranée en Mer Rouge. La plupart de ces espèces introduites sont restées cantonnées dans la partie orientale de la Méditerranée (BOUDOURESQUE, 1994). Une trentaine d'espèces de crustacés ont ainsi migré de la mer Rouge vers la Méditerranée (*Penaeus japonicus*, *P. monoceros*, *Charybdis longicollis*...). A la suite de ces introductions, l'espèce méditerranéenne indigène *Peneus kerathurus* qui faisait l'objet d'une pêcherie et qui abondait sur fonds sablo-vaseux a pratiquement disparu, laissant la place aux migrants. Le cirripède rhizocéphale parasite *Heterosaccus dollfusi* a été introduit avec le crabe *Charybdis longicollis* par le canal vers 1954 (GALIL & LÜTZEN, 1995). Tout récemment deux nouvelles espèces introduites viennent d'être signalées de la côte israélienne, la crevette pénéide *Metapenaeopsis mogiensis consobrina* et le crabe *Eucrater crenata* (GALIL, 1997).

Certaines de ces espèces ont eu une phase de prolifération comme la scyphoméduse *Rhopilema nomadica*. Il s'agit d'une grosse espèce très urticante, d'un diamètre de 20 à 60 cm et pouvant atteindre plus de 9 kg. Des densités estimées à 25 individus par m³ ont été observées (GALIL *et al.*, 1990 ; GALIL, 1994). Ces invasions, sur les côtes d'Israël, du Liban et

d'Égypte ont eu un impact sur les pêcheries et sur les activités touristiques. Cette espèce, signalée en Méditerranée en 1977, ne semble ne pas avoir présenté d'explosion de populations avant 1983. Une nouvelle prolifération de cette méduse a eu lieu en 1992.

Le poisson *Upeneus moluccensis* immigrant depuis 1940, se mit à proliférer en 1955 au point d'atteindre 83 % des captures de Mullidae.

Le fait que les eaux de la mer Rouge aient une diversité spécifique bien supérieure à celles de Méditerranée devrait à long terme totalement modifier les peuplements méditerranéens. La faible biodiversité des peuplements méditerranéens semble être un facteur favorisant les introductions d'espèces réussies. Toutefois, il semble que le nombre des espèces migrantes n'augmente plus et que le phénomène ait atteint un "asymptotic equilibrium" (POR, 1978). Compte tenu des incertitudes sur l'origine de certaines espèces et sur l'insuffisance des inventaires de part et d'autre du canal, on estime que le transfert de faune concernerait environ 500 espèces, soit 3% des espèces connues de Méditerranée. En fait, la diversité spécifique de Méditerranée étant la plus faible dans sa partie orientale où les espèces lessepsiennes sont essentiellement installées, le pourcentage relatif de ces migrants serait plutôt proche de 7%.

Ce type de migration due à une mise en relation par l'homme de deux faunes très distinctes est unique. Le canal de Panama traverse deux grands lacs d'eau douce qui constituent une barrière naturelle pour les espèces migrantes. A quelques exceptions près, il n'y a pas eu de transfert d'espèces entre l'Atlantique et le Pacifique par l'eau de ce canal. Cependant quelques unes ont pu voyager dans les ballasts des bateaux.

Les caractéristiques du phénomène migratoire lié à l'ouverture de Suez sont : une progression des espèces accompagnée d'une modification complète des communautés ; les espèces migrantes sont sélectionnées par les conditions hydrologiques du canal par lequel elles effectuent un long transit ; ces espèces sont euryhalines ; il n'a pas été observé de disparition locales d'espèces mais seulement des réajustements dans les populations.

- *Faune fixée sur les coques de bateaux* : La partie immergée des coques de bateaux se couvre rapidement (quelques mois) d'organismes fixés (polychètes tubicoles, ascidies, algues, cirripèdes, hydriaires, bryozoaires, spongiaires...) et constitue ce que les marins baptisent salissures ou fouling et dont ils se débarrassent en faisant des carénages périodiques et en utilisant des peintures "anti-fouling" toxiques (MONNIOT *et al.*, 1991).

Certains produits entrant dans la composition de ces anti-fouling, comme le tributylétain (TBT), sont maintenant interdits en Europe alors que leur utilisation perdure en Nouvelle-Calédonie. Aux îles Fidji, dans le lagon de Suva, des teneurs très élevées de TBT ont été découvertes dans les sédiments et une étude d'écotoxicologie est en cours pour suivre son passage dans les mollusques filtreurs du genre *Anadara* consommés par les populations (NEWELL, com. pers.).

La faune fixée abrite également une faune vagile comprenant des mollusques, des crustacés et polychètes. L'activité maritime actuelle dans le Pacifique est bien moindre qu'au XIX^{ème}

siècle lorsque la "marine en bois" sillonnait l'océan pour la colonisation, la chasse à la baleine ou le commerce (or en Californie, thé en Chine, bois précieux dans le Sud-Ouest Pacifique...) (CARLTON, 1997).

- *Eau des ballasts des bateaux :*

Les introductions accidentelles ont considérablement augmenté au XX^{ème} siècle avec le développement technologique des sociétés et dans le milieu marin menacent d'homogénéiser les faunes littorales faisant régresser et peut-être disparaître, à terme, des espèces indigènes (CARLTON, 1996). CARLTON et GELLER (1993) montrent que des faunes planctoniques pratiquement complètes sont transportées dans l'eau des ballasts et que le mélange des faunes est déjà largement accompli. Des centaines d'espèces (367 espèces dans les bateaux faisant les lignes Japon-Amérique du Nord) appartenant à tous les niveaux trophiques sont concernées. Les principaux groupes trouvés dans les ballasts sont, par ordre de fréquence décroissante : crustacés, polychètes, turbellariés, cnidaires et mollusques. L'intensité du phénomène est telle que ces auteurs pensent que les écosystèmes côtiers des baies et estuaires sont parmi les plus menacés de la planète.

En Australie, continent insulaire, des inventaires des espèces marines introduites ont pu être établis (POLLARD & HUTCHINGS, 1990a, b). Une des sources d'introduction couramment invoquée est le transport à l'état larvaire dans l'eau des ballasts des bateaux (JONES, 1991). Pour l'Australie la quantité d'eau de ballasts en provenance de 150 ports différents, principalement d'Asie (70 %) ou d'Amérique, est estimée à 58. 10⁶ tonnes / an. L'analyse de l'eau des ballasts des bateaux arrivant en Australie a montré la présence des organismes suivants : poissons, crustacés, mollusques, polychètes, chaetognathes, méduses, ascidies, dinoflagellés, diatomées, protozoaires, bactéries et virus. C'est à dire que pratiquement tous les groupes peuvent être introduits par cette voie. La plupart des organismes sont transportés sous forme d'oeufs, de larves ou de juvéniles présents dans les eaux de pompage et parfois associés au sédiment en suspension. En fait, il semble qu'en Australie seulement 14 espèces introduites de cette façon se soient réellement installées, 10 invertébrés (4 crustacés, 3 mollusques, 3 polychètes) et 4 poissons (*Acanthogobius flavimanus*, *Tridentiger trigonocephalus*, *Lateolabrax japonicus*, *Sparidentex hasta*). De plus le dinoflagellé toxique, *Gymnodinium catenatum*, a été introduit en Tasmanie où il contamine les bivalves.

Acanthogobius flavimanus (Yellowfin goby) originaire de la mer de Chine et vivant de préférence en eaux saumâtres a été signalé pour la première fois sur les côtes de Californie en 1960 et en 1976 était devenue l'espèce la plus abondante de la Baie de San Francisco. Elle fut signalée en Australie en 1971 et sa répartition s'est étendue depuis dans les baies proches de Sydney sans toutefois présenter les mêmes explosions démographiques qu'en Californie.

POLLARD et HUTCHINGS (1990b) citent les espèces d'algues et d'invertébrés introduits en Australie par le trafic maritime ; principalement des espèces d'eaux tempérées (*Carcinus maenas*, *Musculista senhousia*) qui se sont implantées dans le sud australien. Pratiquement toutes les espèces introduites sont observées entre Brisbane et Adélaïde et aux alentours de Perth, c'est à dire les zones littorales les plus peuplées d'Australie ayant le plus fort trafic maritime et sans doute les mieux étudiées.

Il est étonnant qu'aucune espèce introduite n'ait été signalée de Abbot Point et Gladstone sur la côte Est et de Port Hedland sur la côte ouest alors que ce sont les zones minières qui connaissent les plus forts tonnages d'eaux de ballasts rejetées (Fig. 12).

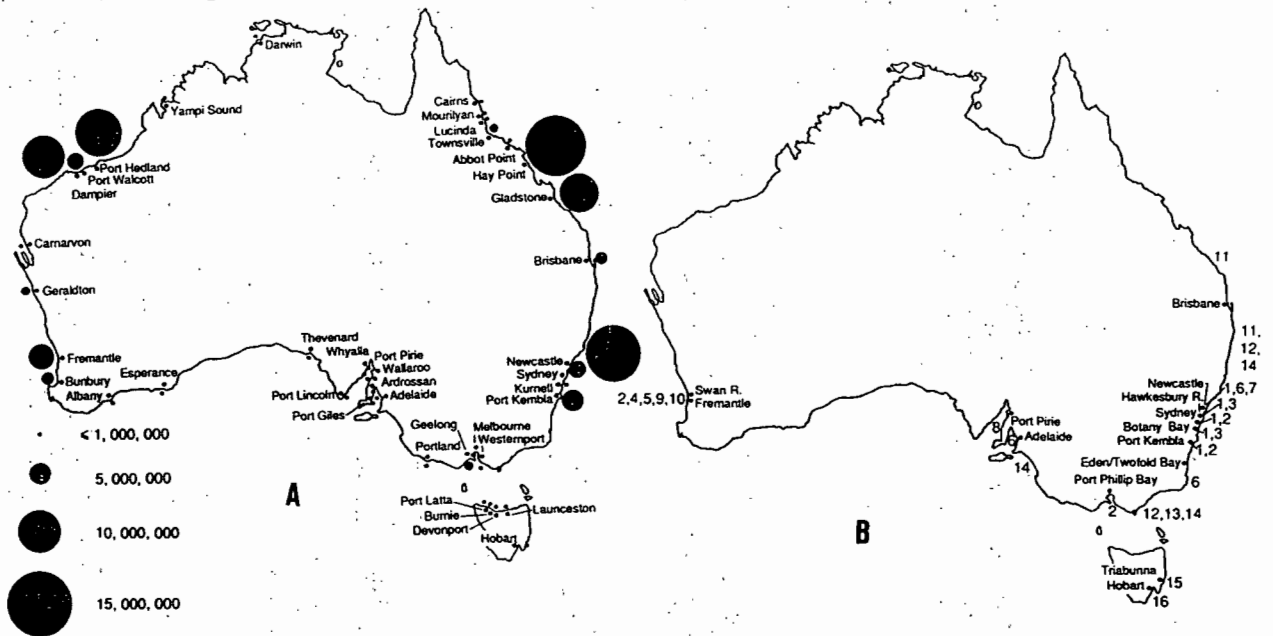


Fig. 12. — A : Répartition des tonnages transportés sur les côtes australiennes entre 1986-87 dans les ports soumis aux rejets d'eau des ballasts. B : Liste des espèces introduites attribuées au transport dans les ballasts ; Poissons : 1 - *Acanthogobius flavimanus*, 2 - *Tridentiger trigonocephalus*, 3 - *Lateolabrax japonicus*, 4 - *Sparidentex hasta*. Crustacés : 5 - *Pyromaia tuberculata*, 6 - *Eurylana arcuata*, 7 - *Neomysis japonica*, 8 - *Tanais dulongi*. Mollusques : 9 - *Musculista senhousia*, 10 - *Theora lubrica*, 11 - *Aeolidiella indica*. Polychètes : 12 - *Mercierella enigmatica*, 13 - *Boccardia proboscidea*, 14 - *Pseudopolydora paucibranchiata*. Algues : 15 - *Undaria pinnatifida*. Dinoflagellé toxique : 16 - *Gymnodinium* @. (d'après JONES, 1991).

CARLTON (1987) décrit les 14 voies principales de dispersion d'espèces marines dans le Pacifique par le trafic maritime (Fig. 13). Les principales zones où l'on a observé des espèces introduites sont les îles Hawaii, la côte Ouest américaine et l'Australasie. Les principaux foyers d'origine de ces espèces se situent sur les côtes asiatiques. L'évaluation de l'impact d'une introduction d'espèce, soit naturelle, soit par effet anthropique, suppose une connaissance de base sur les espèces indigènes (endémiques ou autochtones). Comme ceci est loin d'être le cas dans l'Indo-Pacifique, le nombre d'espèces introduites et leur impact sur les écosystèmes sont certainement sous-estimés. L'implantation volontaire de l'huître *Crassostrea gigas* du Japon en

Australie et en Nouvelle-Zélande fut l'occasion d'introduire involontairement neuf espèces de mollusques, des crabes, une astéride et un brachiopode (CARLTON, 1987).

Malgré la diversité des cas et les lacunes d'informations, la dispersion des espèces par l'homme présentent certaines caractéristiques : le vecteur de transport est lié aux bateaux, soit par fouling, soit dans les ballasts ; les lieux d'implantations sont donc situés à proximité des ports ; il se crée ainsi un fond spécifique cosmopolite consécutif à plusieurs siècles d'introductions accidentelles ; selon les conditions écologiques certaines régions sont préférentiellement donneuses et d'autres receveuses (CARLTON, 1987).

Au Japon une espèce de crabe d'Amérique du Nord a été introduite accidentellement dans les années soixante dix et prolifère dans les baies polluées (Baie de Tokyo). Il s'agit du Majidae *Pyromaia tuberculata* qui est maintenant bien implanté, se reproduit deux fois par an et semble capable de recoloniser les milieux hypoxiques et anoxiques d'où la majeure partie du benthos a disparu (FUROTA, 1996a, b).

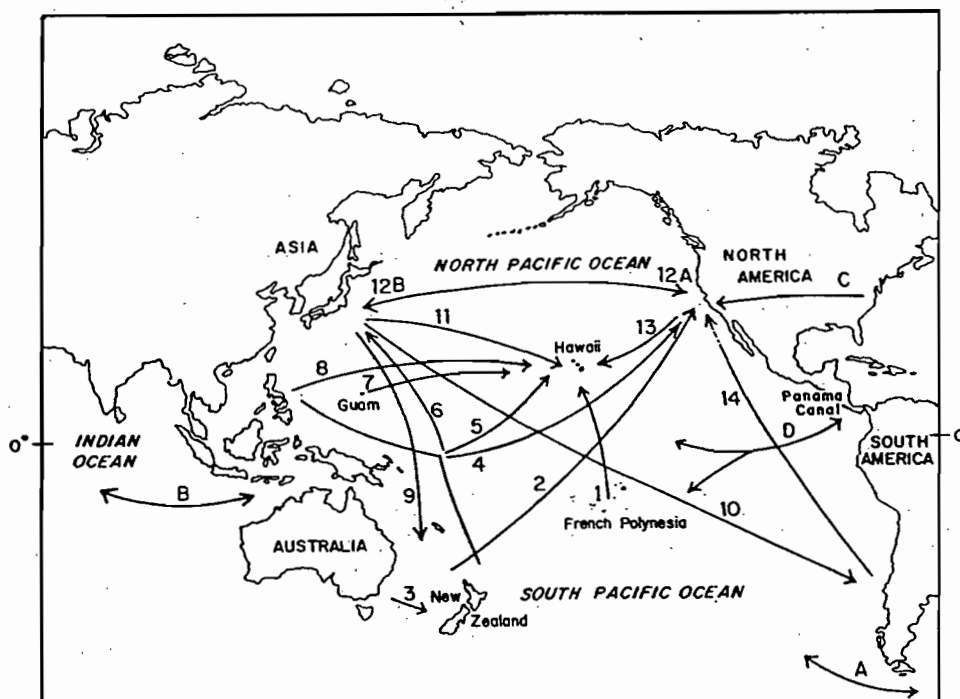


Fig. 13. — Voies principales de dispersion des espèces marines introduites dans le Pacifique (d'après CARLTON, 1987). 1 : de Polynésie française aux îles Hawaii ; 2 : d'Australasie au nord-est du Pacifique ; 3 : d'Australie en Nouvelle-Zélande ; 4 : du sud-ouest Pacifique au nord-est du Pacifique ; 5 : du sud de l'Asie aux îles Hawaii ; 6 : du sud-ouest Pacifique au nord-ouest Pacifique ; 7 : des îles Mariannes aux îles Hawaii ; 8 : des îles Philippines aux îles Hawaii ; 9 : du Pacifique nord-ouest en Australasie ; 10 : du nord-ouest Pacifique au Chili ; 11 : du nord-ouest Pacifique aux îles Hawaii ; 12 A et B : du nord-ouest Pacifique au nord-est du Pacifique et réciproquement ; 13 : du nord-est Pacifique aux îles Hawaii ; 14 : du Chili au nord-est du Pacifique ; A : transfert Atlantique Pacifique par le Cap Horn ; B : échanges entre Indonésie et océan Indien ; C : transfert d'espèces par voie terrestre ou aérienne à travers l'Amérique du Nord ; D : transfert par le Canal de Panama dans les ballasts.

Aux îles Hawaii, 21 espèces introduites de poissons marins ou d'estuaires ont été recensées. Parmi celles-ci, seules 7 espèces auraient établi des populations permanentes. Aucune des

introductions volontaires n'a atteint son objectif alors que toutes ont été critiquées pour leurs effets néfastes (RANDALL, 1987). Avec l'introduction volontaire de la sardine marquisienne (*Sardinella marquesensis*), fut introduit accidentellement le mulot (*Valamugil engeli*) et le "poisson chèvre" (*Upeneus vittatus*).

Les prétextes invoqués pour les introductions volontaires concernent, la lutte biologique contre un organisme "peste" (ex. les gambusies pour manger les larves de moustiques), l'élevage d'espèces décoratives en aquariologie, la création de stocks pour la pêche industrielle (appât vivant) ou même sportive ! Les introductions accidentelles résultent généralement de négligences, commises fréquemment par des organismes officiels incompetents. Ainsi, la sardine marquisienne fut introduite aux Hawaii à bord d'un bateau de recherche en 1955, à la demande du National Marine Fisheries Service ! Avec une remarquable inconscience furent prélevés simultanément et relâchés sciemment, par des biologistes, plusieurs autres genres (*Caranx*, *Albula*, *Valamugil* et *Upeneus*). Finalement la sardine ne fut pas utilisée comme appât vivant et de plus il semble que cette espèce soit toxique dans certaines conditions. En 1966, *Valamugil engeli* introduite en même temps que cette sardine fut signalée dans le milieu où elle est en compétition avec l'espèce autochtone *Mugil cephalus* (RANDALL, 1987).

Dans un milieu extrêmement perturbé comme les côtes de Honk Hong (zone subtropicale, eaux de 13-27°C) plusieurs espèces introduites ont été signalées (MORTON, 1987). Ces introductions se seraient produites en majorité dans les années soixante dix et concerneraient des crustacés isopodes, des ascidies, des mollusques gastéropodes et bivalves. Toutes les espèces seraient des organismes fixés introduits parmi les salissures des coques de bateau. Leur lieu d'origine est principalement le Japon et il est possible de corréler ces introductions avec le développement des routes commerciales liées à l'expansion économique de Honk Hong entre 1975 et 1980.

Bien que l'impact des introductions d'espèces en milieu marin soit beaucoup moins bien documenté que pour les eaux douces ou les milieux terrestres, c'est un phénomène à ne pas négliger et qui à long terme est sans doute plus perturbant pour les écosystèmes qu'une pollution chimique. POLLARD et HUTCHINGS (1990b) suggèrent que l'implantation d'espèces introduites dans des zones portuaires polluées pourraient accélérer le transfert de polluants comme les métaux lourds dans les réseaux trophiques jusqu'aux espèces carnivores d'intérêt commercial (cas du Tanaïdace *Tanais dulongi* originaire d'Europe et introduit en Australie vers 1978).

Pendant longtemps la croyance générale était que seules les introductions d'espèces pathogènes présentaient un danger et la plupart des introductions volontaires devaient "améliorer" l'utilisation des ressources vivantes. Il s'avère cependant que toutes les introductions sont perturbatrices pour les écosystèmes, parfois gravement, et que les effets bénéfiques pour les sociétés humaines sont faibles ou discutables. Une législation commence à se mettre en place pour réglementer les introductions volontaires pour élevage mais il semble très difficile de contrôler les introductions accidentelles. Même en Australie où des tentatives

sont faites pour réglementer les introductions volontaires ou accidentelles, "les amendes dans ce domaine sont généralement très faibles, le législateur ne semblant pas considérer que l'introduction d'espèces soit un délit majeur" (DE KLEMM, 1994).

Les introductions intentionnelles pour des raisons économiques ou ludiques soulèvent un problème éthique que les fonctionnaires des administrations ne se posent pas : l'homme a-t-il le droit de modifier les écosystèmes en remplaçant les espèces indigènes par d'autres qui lui conviennent mieux, sur le moment, sans en avoir réellement évalué les conséquences ? La décision de ces actes graves, car "irréversibles", est généralement laissée à quelques techniciens inconséquents (tentative d'introduction de *Macrocystis* en France par l'ISTPM (PEREZ, 1972) et celle de la sardinelle des Marquises aux Hawaii...) alors que chaque cas devrait être mûrement réfléchi par une commission internationale d'experts.

A la suite de la catastrophe écologique liée à l'introduction de la moule zébrée (*Dreissena polya*) dans les Grands Lacs, la législation américaine est en train de changer pour essayer de freiner le processus d'introduction d'espèces par les bateaux et de cesser de jouer à l'"invasion roulette" (CARLTON, 1996).

2.1.2.5 - Impact de la pêche

La surpêche au niveau international entraîne une évolution de la diversité des stocks de poissons :

Les dernières analyses des pêcheries au niveau mondial conduisent les halieutes à s'interroger sur l'évolution des captures. Certains groupes de poissons font l'objet d'une intense prédation humaine (thons, requins, saumons, mérus...) et les stocks de plusieurs espèces sont en déclin. En contrepartie, on s'attend à voir proliférer les populations ichtiques qui sont les proies habituelles de ces espèces (Myctophidae, Chaetodontidae, Blennidae...) et à voir apparaître un total bouleversement des écosystèmes marins (PARRISH, 1995). Cet auteur donne les estimations suivantes :

- avant la motorisation des flottilles de pêches les captures mondiales étaient inférieures à 3.10^6 tonnes / an ;

- depuis le 19ème siècle, la pêche a considérablement augmenté (4 à 8 % / an entre 1950 et 1960) pour atteindre actuellement environ 90.10^6 t / an, avec une extension géographique et bathymétrique.

Les tonnages exploités ont augmenté régulièrement par extension géographique à des zones de pêches vierges et cela a masqué en partie le fait que les zones côtières ont été en maints endroits surexploitées. Le seuil de dégradation des ressources renouvelables a été dépassé. Les sélaciens, raies et requins, qui ont de faibles taux de fécondité sont particulièrement atteints par la surexploitation. Beaucoup de petites espèces de poissons benthiques qui ne sont pas les

cibles directes des chalutages ont vu leur habitat détruit par plusieurs siècles de chalutages intensifs.

Récemment, devant le déclin des ressources des plateaux continentaux, la pêche mondiale s'est étendue en profondeur, sur les talus jusqu'à plus de 500 m et même jusque dans la zone bathyale supérieure (800-1500 m). Cependant, après quelques années fastes, il s'avère que les stocks de profondeur concernent des espèces à croissance très lente qui pourraient bien s'épuiser rapidement.

Les modèles de fonctionnement océanique qui essaient d'évaluer réellement la prédation humaine (capture totale = pêche débarquée + "bycatch") montrent qu'elle se situe en 1995 aux environs de $120 \cdot 10^6$ t (CHRISTENSEN & PAULY, 1995). Ceci représente 8 % de la production primaire globale des océans mais l'estimation atteint 25 à 35 % pour les seuls plateaux continentaux (PAULY & CHRISTENSEN, 1995).

Les captures non retenues ou "bycatch" sont évaluées par ALVERSON *et al.*, (1994) à $27 \cdot 10^6$ tonnes en moyenne avec des valeurs extrêmes variant de 17,9 à $39,5 \cdot 10^6$. Dans l'Indo-Pacifique, ces auteurs indiquent les chiffres suivants : Pacifique central occidental, 2 700 000 t ; sud-ouest Pacifique, 293 000 t ; océan Indien oriental, 802 000 t ; océan Indien occidental, 1 470 000 t.

La survie des espèces rejetées est certainement très faible et la pêche mondiale a ainsi un impact non évalué sur les espèces non commerciales dont la diminution perturbe le fonctionnement global des écosystèmes marins. Certaines pêcheries comme celle des thoniers senneurs posent d'importants problèmes écologiques tels les captures accessoires de petits cétacés. Les pêcheries des ligneurs capturent énormément d'oiseaux de mer (albatros, pétrels...), de requins et de tortues (ALEXANDER *et al.*, 1997).

Les élasmobranches (requins et raies) représentent entre 0,7 et 1,2 % des captures débarquées mais sont très abondants dans la catégorie "bycatch". En réalité, il se pêcherait environ $1,4 \cdot 10^6$ tonnes de "requins" par an soit 1,4 % de la pêche mondiale (SERET, 1995). Plusieurs populations de requins sont très surexploitées. C'est le cas du Grand requin blanc (*Carcharodon carcharias*), du requin tigre (*Galeocerdo cuvieri*), du requin citron (*Negaprion acutidens*), des requins-marteaux (*Sphyrna* spp.). Par contre d'autres populations de petites espèces sont peu exploitées et leur abondance masque la surexploitation des autres espèces. Il semble que les grandes espèces pélagiques, qui se prennent sur les longues lignes, comme le Mako (*Isurus oxyrinchus*) ou le peau bleue (*Prionace glauca*) soient en déclin (STEVENS, 1992). Cette dernière espèce est la plus communément capturée et représente plus de 33 % des prises ; la pêche thonière des îles Hawaii a capturé environ 500 000 requins peaux bleues entre 1991 et 1995 et 93 % d'entre eux ont été rejetés à la mer, parfois sans leurs ailerons (HE, 1996). Leur faible taux de fécondité et leur longue période de gestation en font des espèces très vulnérables. Ces caractéristiques biologiques les rendent sensibles à la surpêche et beaucoup de pêcheries axées sur le requin ont fait décliner ou disparaître les stocks. Le fait que le requin soit considéré comme un prédateur nuisible et agressif lui donne une très mauvaise image dans

l'inconscient collectif qui ne facilite pas les mesures de protection à son égard. La baisse considérable des stocks de requins du Pacifique Sud (60 à 90 % entre 1970 et 1986) a entraîné une prise de conscience du problème et la proposition d'un plan de gestion (CAMPBELL *et al.*, 1992).

La pêche mondiale exerce une telle pression sur les stocks que certaines ressources peuvent s'épuiser soudainement. FONTENEAU (1996) cite l'exemple spectaculaire de l'effondrement imprévu par les halieutes (qui critiquaient les "Cassandre de l'écologie") de la morue canadienne dans les années 90 essentiellement parce que les modèles de gestion étaient faux et que l'accroissement de l'efficacité des chalutiers masquait l'affaiblissement du stock. Il semble que les scientifiques portent une large part de responsabilité dans cette catastrophe écologique entraînant un fiasco économique (COOK *et al.*, 1997). Peut-on véritablement prétendre faire de la "gestion halieutique" s'il faut attendre l'épuisement d'un stock pour envisager une réglementation des pêches ?

Selon certains auteurs, seule une prise de conscience du public pourrait enrayer la surpêche mondiale. Il s'agirait d'un véritable changement de paradigme au sein de la gestion des pêcheries : passer des notions de développement et d'exploitation à celles de conservation et de "durabilité". Cet objectif sera difficile à atteindre car les poissons ne présentent pas la même image dans l'inconscient collectif que les baleines, les éléphants ou les pandas. Mais l'enjeu est considérable puisqu'il s'agit de la conservation des écosystèmes marins et du maintien d'activités économiques dont dépendent la subsistance alimentaire de centaines de millions d'humains (SUTTON, 1996).

Il est donc fortement conseillé par tous les experts de protéger les herbiers de phanérogames pour une protection plus efficace des grands herbivores qui en vivent.

Pour le siècle à venir, la priorité pour la gestion des ressources marines pourrait bien être la protection des habitats en vue de la reconstruction des stocks surexploités (CADDY, 1996). Un nouveau paradigme halieutique émerge : la ressource n'est plus perçue comme un stock à exploiter mais comme un patrimoine à préserver. On peut rêver d'un monde scientifique où les halieutes qui raisonnent en ingénieurs fixant les paramètres d'exploitation d'un stock et les biologistes marins décrivant la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes travailleraient enfin ensemble ?

Surexploitation en zone tropicale

Les récifs coralliens sont des écosystèmes très productifs et très vulnérables à la surpêche (GRIGG & DOLLAR, 1990).

Dans le monde les captures réalisées dans les zones côtières tropicales et les récifs coralliens sont estimées comme suit, en milliers de tonnes (PAULY & CHRISTENSEN, 1995) :

bivalves et autres mollusques	5 150
poissons côtiers	3 424
petits poissons pélagiques	2 319
algues	1 683
crevettes	748
autres invertébrés	566
tortues	2

Il existe également des pêcheries industrielles sur les plateaux continentaux tropicaux qui capturent des poissons (Thunnidae), des céphalopodes, des crevettes, des langoustes et dont les captures totales sont estimées à 18. 10⁶ t. PAULY et CHRISTENSEN (1995) estiment que ces captures sur les côtes et les plateaux représentent 24 % de la production primaire globale de ces zones, c'est à dire trois fois plus que le chiffre moyen pour l'océan mondial. Cette surpêche cause une perte de la biomasse et des changements de la biodiversité des fonds meubles dans les zones chalutées. Les espèces à vie longue sont remplacées par d'autres à vie plus courte.

Dans les îles du Pacifique, les taux de croissance démographique sont parmi les plus élevés du monde (2,15 % / an) et les ressources marines sont limitées. Il est à craindre que ces deux faits ne conduisent à une surexploitation de nombreuses espèces littorales (CRAIG, 1995).

Projections démographiques mondiales : Compte tenu des connaissances actuelles sur l'évolution des taux de natalité et de mortalité, les Nations Unies ont fait les projections suivantes : la population mondiale devrait atteindre 11,5.10⁹ d'habitants en 2150 (6 générations), les hypothèses hautes donnant 28.10⁹ ; cette population se répartirait entre 1,2.10⁹ pour Europe, Amérique du Nord, Océanie et USSR et 10,3.10⁹ pour Afrique, Amérique latine, Chine, Inde et Asie ; pour l'Océanie les estimations moyenne et haute sont de 41.10⁶ et 96.10⁶ habitants (GRINBLAT, 1993 ; ANONYME, 1995f). Une autre estimation récente de l'évolution de la population humaine jusqu'en 2100 montre un amortissement des courbes démographiques après 2070 et souligne qu'en 2100 près d'un tiers de la population aura plus de 60 ans (LUTZ *et al.*, 1997).

Dans les îles du Pacifique la production totale de la pêche côtière dépasse actuellement 100 000 tonnes par an (DALZELL *et al.*, 1995). Une surexploitation liée à la surpopulation et à l'amélioration des techniques de pêche est signalée le long des côtes de Papouasie-Nouvelle-Guinée pour l'ensemble des ressources ou certains organismes comme les holothuries. L'appauvrissement des stocks dans le sud-est asiatique, très peuplé, devrait provoquer pour le prochain siècle une demande en produits de la mer provenant des îles du Pacifique (DALZELL *et al.*, 1995).

Depuis quelques années on assiste au développement d'un nouveau type de pêche portant sur de nombreuses espèces de poissons récoltées pour leur qualité esthétique ou comportementale en aquariologie. Cette pêche est pour l'instant relativement limitée aux récifs coralliens des îles Palau et débute en Nouvelle-Calédonie.

Pour la récolte des poissons d'aquarium et surtout pour la pêche des poissons alimentaires vendus vivants des méthodes chimiques sont utilisées. La substance généralement utilisée est du cyanure de sodium, d'une grande toxicité, très néfaste aux écosystèmes coralliens. Ce type de pêche, a débuté en 1991 en Papouasie-Nouvelle-Guinée, en Nouvelle-Irlande et Nouvelle-

Bretagne. D'autres pêcheries de ce type existent à Palau, aux îles Salomon et du braconnage aurait lieu au Kiribati. Elle est couramment pratiquée aux Philippines et en Indonésie et produirait actuellement entre 20 000 et 25 000 tonnes de poisson par an (SMITH, 1996). Les poissons sont "rabattus" par des plongeurs dans un creux du récif, le produit mis dans l'eau paralyse les poissons qui sont récoltés vivants et ramenés dans des bateaux viviers. Cette méthode est destructive pour les stocks de poissons (mérus) récoltant indifféremment toutes les classes de taille. Devant l'importance de la demande en poissons vivants, il est à craindre que cette technique destructrice ne se propage dans les îles du Pacifique Sud-ouest. Les pays importateurs de poissons vivants sont la Chine du sud et surtout Hong Kong.

La biologie des espèces récoltées est encore mal connue de même que l'impact des récoltes sélectives de certaines espèces sur l'ensemble des peuplements. Par ailleurs, cette méthode de pêche chimique affecte beaucoup plus que les poissons visés. Les poissons de petite taille sont tués et les invertébrés, beaucoup moins résistants à ce poison, sont en grande partie détruits. Les scléroractiniaux semblent particulièrement sensibles et meurent sur de grandes superficies autour de chaque lieu de capture provoquant une réduction de l'habitat de nombreuses espèces.

Il semble que l'appauvrissement des pêcheurs et les prix élevés offerts pour les poissons vivants provoquent une augmentation rapide de ce type de pêche et des quantités de cyanure utilisées. Les récifs ainsi pollués sont détruits pratiquement définitivement car il est peu probable que les coraux se réinstallent dans des zones côtières surpeuplées et déjà soumises à d'autres stress (eutrophisation, surexploitation, hypersédimentation).

Les solutions proposées pour enrayer le véritable fléau que constitue cette pêche destructrice consistent à développer d'autres moyens d'obtenir des poissons vivants sur le marché et en particulier l'aquaculture.

Chez les tortues comme chez les dugongs on assiste à une réduction des populations. Leur faible taux de reproduction et la prédation humaine, volontaire ou accidentelle, sont en cause mais il est également probable que la régression des zones d'herbiers participe à ce déclin (CAUGHLEY, 1985). LIMPUS et NICHOLLS (1988) ont mis en évidence une corrélation entre le phénomène ENSO (El Nino Southern Oscillation) et l'abondance des tortues dans les aires de reproduction de l'Est australien. Cette influence, décalée de trois ans par rapport aux années El Nino, pourrait être la conséquence de l'influence des conditions hydroclimatiques sur les herbiers ?

Dans le cas des baleines, la surexploitation a été telle que le stock observé actuellement ne représenterait que 5 % de ce qu'il était avant 1900 (BUTMAN & CARLTON, 1995). BEST (1993) parle des stocks de baleines à fanons qui seraient d'environ 10 % de leur abondance naturelle. Pour la plupart des espèces l'exploitation a commencé il y a plus de 900 ans et en Atlantique vers 1800 les populations de *Balaena mysticetus* étaient déjà pratiquement exterminées. La diminution des stocks s'est considérablement accentuée avec le développement industriel et l'invention du canon lance-harpon et des machines à vapeur à la fin du 19^{ème} siècle. La diminution des stocks de baleines grises conduisit les baleiniers à reporter leurs

efforts sur les baleines à bosse et les cachalots (NORSE, 1993). La baleine franche dite "de Biscaye" ou baleine des Basques (*Eubalaena glacialis*) est sans doute la plus proche de l'extinction (CARWARDINE, 1995). Sa population de la partie orientale de l'Atlantique Nord semble avoir déjà disparue. Les mesures internationales de protection des baleines commencent à porter leurs fruits et les stocks augmentent (pour la baleine à bosse). Toutefois, il est difficile actuellement d'avoir des observations non biaisées car seuls les stocks suffisamment importants peuvent faire l'objet d'études statistiques.

2.1.3 - Crise au niveau global

Certaines perturbations de l'environnement qui ont des conséquences sur la biodiversité ne sont pas limités à des effets sur certaines espèces ni même sur certains écosystèmes. Elles affectent l'ensemble de la biosphère et sont liées à des changements globaux.

2.1.3.1 - Les incidences possibles du "Global Change"

Le "Global Change" et les fluctuations des niveaux marins :

La notion de "Global Change" est apparue vers 1980 par la découverte, d'une part, de la réduction de la couche d'ozone dans la haute atmosphère dans certaines régions du globe (pôles) et, d'autre part, d'une augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère corrélée aux activités industrielles. A partir de quelques déclarations hâtives des scientifiques, des scénarios catastrophes ont été décrits :

- l'augmentation du taux de CO₂ accroîtrait l'effet de serre, provoquant une élévation de la température. Celle-ci ferait fondre les masses glaciaires des pôles induisant une remontée du niveau moyen des océans. Il semble toutefois qu'un simple réchauffement des masses d'eau océaniques suffirait à provoquer une dilatation et l'élévation des niveaux marins.

- la disparition de la couche d'ozone mettrait en péril les êtres vivants soumis à un rayonnement ultraviolet intense.

Les gaz à "effet de serre" sont des gaz polyatomiques, le gaz carbonique (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O), l'ozone (O₃) mais surtout la vapeur d'eau (H₂O) qui ont la propriété d'absorber les rayonnements infrarouges de grandes longueurs d'ondes renvoyés par la surface de la Terre. La plus grande partie de ces gaz ont une origine naturelle, volcanisme, hydrothermalisme, évaporation due à l'ensoleillement...(LAMBERT, 1992). On estime à 90.10⁹ t C / an les échanges atmosphère-océans, à 110.10⁹ t C / an ceux entre l'atmosphère et la végétation, alors que l'activité humaine n'en produirait que 7.10⁹ t C / an, essentiellement sous forme de CO₂ (SADOURNY, 1992). Il semble cependant que cette quantité supplémentaire, due à la combustion des carburants fossiles et à la destruction des forêts,

provoque un déséquilibre et une rapide augmentation du gaz carbonique de 0,5 % / an et d'oxyde nitreux de 0,25 % / an. S'y ajoutent les gaz chlorofluorocarbonés beaucoup plus absorbants en IR que le CO₂ et qui augmentent de 4 % / an. Quant à la teneur de l'atmosphère en vapeur d'eau, elle est directement liée à la température et provoque donc un "feed back" positif amplificateur de ce déséquilibre.

Cependant, d'éminents scientifiques mirent en doute ces "théories catastrophistes" en faisant valoir qu'il n'était pas encore certain que la température moyenne de l'atmosphère augmente, et que, même si cette élévation se confirmait, elle n'avait peut-être rien à voir avec l'activité humaine (LINDZEN, 1989 ; 1994). Cet auteur met l'accent sur le fait que les équilibres atmosphériques entre vapeur d'eau et nuages sont certainement fondamentaux alors qu'ils sont souvent relégués au rang de feed-backs consécutifs à l'augmentation du CO₂. Depuis 150 000 ans, les températures atmosphériques n'ont cessé de subir des oscillations et l'apparent réchauffement observé actuellement pourrait être seulement la phase montante d'une nouvelle fluctuation due à des raisons astronomiques (cycles de MILANKOVITCH) et non aux activités humaines ?

Bien que les spécialistes ne s'accordent ni sur la qualité des mesures ni sur leur interprétation, mais tout de même sur le fait qu'il y a une augmentation des gaz à "effet de serre" dans l'atmosphère, il y a lieu d'appliquer le "principe de précaution" en essayant de réduire toute source de pollution atmosphérique.

La perturbation anthropogénique de la planète est liée à deux causes principales, l'altération massive de la couverture végétale et les modifications dans la composition chimique de l'atmosphère (SADOURNY, 1992). La mise en évidence de l'effet de serre et son évolution est très complexe parce que les mesures systématiques du taux de CO₂ n'ont débuté qu'en 1958, que la vapeur d'eau contribue pour plus de la moitié à ce phénomène et que l'atmosphère n'est pas isotrope. Ainsi l'ozone diminue dans la stratosphère mais augmente dans la basse atmosphère et les vastes perturbations climatiques telles que celles induites par El Nino se traduisent par un dégagement supplémentaire de CO₂ (LAMBERT, 1992 ; LE BORGNE, 1993). La cause dominante de la perte d'ozone est attribuée aux radicaux chlorés résultants de la photolyse des chlorofluorocarbonés d'origine anthropique (il y a également des radicaux chlorés stratosphériques d'origine volcanique). Cette diminution détectée au dessus de l'Antarctique au printemps austral en 1985 a été suivie depuis et cette déperdition semble se confirmer (JONES & SHANKLIN, 1995).

DELCROIX (1993) montre qu'une variation de plus ou moins 30 cm du niveau marin dans le Pacifique tropical est lié au phénomène ENSO et qu'une telle fluctuation masque une éventuelle remontée moyenne du niveau attribuable à l'effet de serre.

Bien que les nombreux travaux qui ont porté sur l'évolution climatique de la planète n'aient pas toujours confirmé les propos alarmistes des débuts, cette prise de conscience de la vulnérabilité de notre planète a tout de même été bénéfique. Il faut dire qu'après l'extraordinaire réussite explicative de la théorie de la tectonique des plaques et l'utilisation courante des

satellites pour ausculter l'atmosphère et l'océan, la pensée humaine était mûre pour émettre des concepts globalistes (HALLAM, 1976 ; ALLEGRE, 1983).

Le terme "Global" ne couvre pas uniquement la notion d'espace planétaire mais aussi le fait que l'évolution de la planète résulte d'interactions entre océans, atmosphère, zones glaciaires et biosphère. Ce qui n'est en grande partie qu'une redécouverte de l'importance du cycle de l'eau sur la Terre.

Conséquences sur les milieux coralliens :

Les écologistes tropicaux ont tout de suite tenté d'adapter ces nouveaux paramètres dans leurs interprétations du fonctionnement des écosystèmes coralliens (WILKINSON & BUDDEMEIER, 1994 ; BUDDEMEIER, 1994). Les scléactiniaires, les algues calcaires et les foraminifères étant des fabricants de CaCO_3 , ils devaient forcément intervenir dans le cycle du CO_2 . Par ailleurs la montée du niveau marin devait influencer sur les vitesses de croissance des récifs coralliens permettant ou non aux atolls de subsister (NEUMANN & MACINTYRE, 1985). On sait peu de choses sur la croissance d'un récif car la masse récifale est composée principalement d'algues calcaires alors que les vitesses mesurées concernent des scléactiniaires. De nombreuses études de physiologie, en laboratoire et *in situ*, ont essayé de mesurer les flux de carbone dans les scléactiniaires pour déterminer si les récifs coralliens étaient des puits ou des sources de CO_2 . L'utilisation du CO_2 atmosphérique pour la fabrication du squelette carbonaté immobilise ces molécules pour de très longues périodes ($>10^3$ ans) alors que le métabolisme respiratoire libère du CO_2 quotidiennement. Ces estimations sont très délicates car la partie organique d'un madrépore ne représente pas plus de 1% de son poids et les phénomènes observés ne se déroulent pas aux mêmes échelles de temps. Il semble que globalement un récif soit plutôt une source de CO_2 (GATTUSO *et al.*, 1996).

En 1993, à l'initiative du Programme Régional Océanien pour l'Environnement (PROE en français ; SPREP en anglais : South Pacific Regional Environment Programme) un congrès fut organisé à Nouméa sur le thème : Climate change and Sea Level Rise in the South Pacific Region (HAY & KALUWIN, 1993). Les physiciens de l'océan ont rappelé que la circulation des eaux dans la zone intertropicale joue un rôle fondamental sur l'évolution climatique de la planète (PICAUT, 1993). Ils surveillent particulièrement la température des eaux de surface de la zone équatoriale située au N-NE de la Nouvelle-Guinée. Cette région est caractérisée par des eaux de surface de température $> 29^\circ\text{C}$ qualifiée de "grande piscine d'eau chaude" et l'évolution pluriannuelle de cette masse d'eau est directement corrélée au phénomène ENSO (Fig. 14). Les formations coralliennes qui sont situées dans cette zone intertropicale baignées par des eaux de 20 à 29°C et ont enregistré dans leur squelette calcaire les fluctuations climatiques passées. Il y a donc espoir d'une fructueuse collaboration entre climatologues, biologistes marins et géologues pour une meilleure compréhension de l'évolution à long terme de l'Indo-Pacifique.

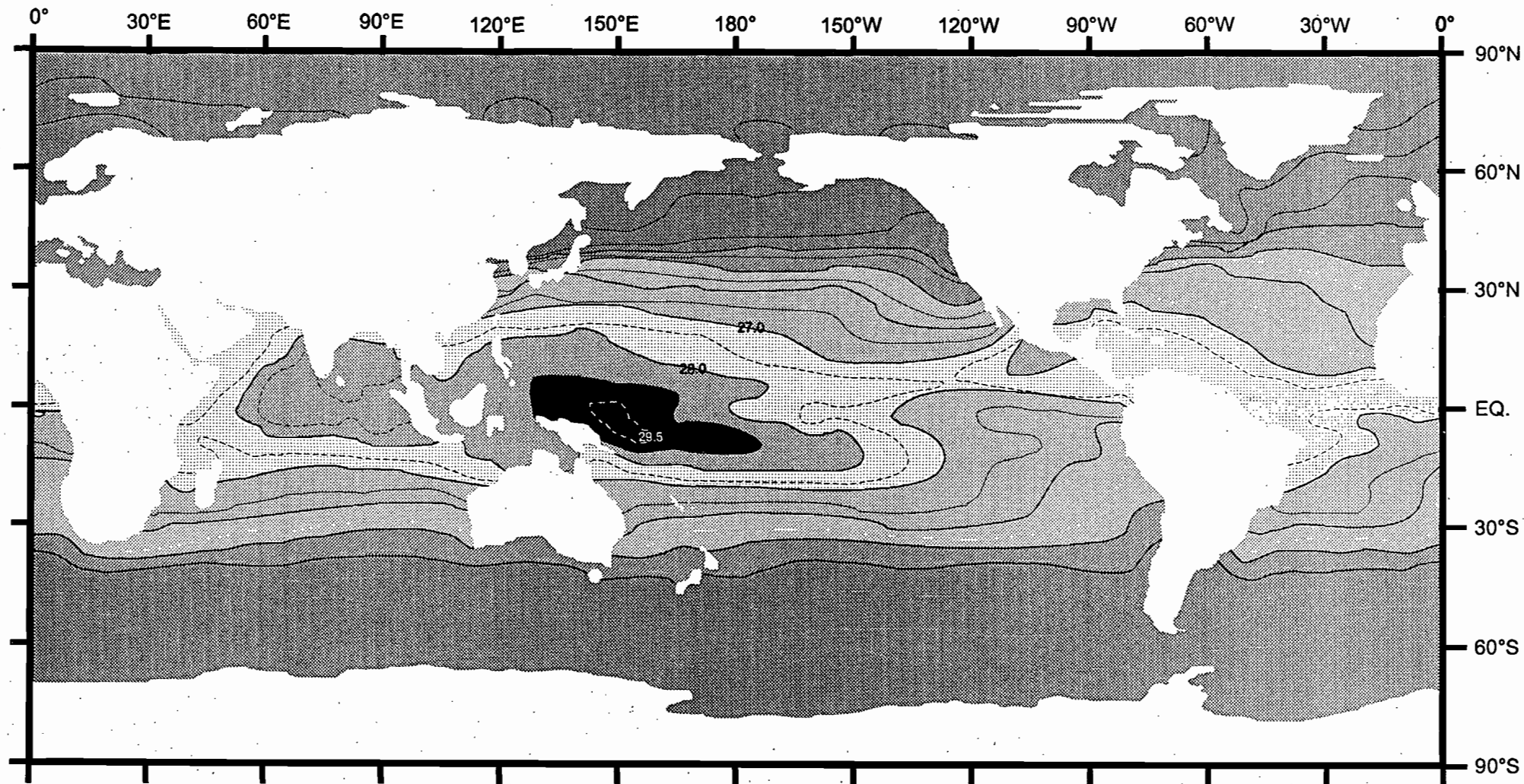


Fig. 14. — Répartition mondiale des isothermes moyennes de surface dans les océans (d'après LEVITUS, 1982). La zone délimitée par l'isotherme 29°C constitue la "warm pool" probablement fortement corrélée à la répartition de la biodiversité marine.

- Analyse des coraux : Certaines colonies de coraux massifs (*Porites*) atteignent de très grandes dimensions et vivent très longtemps ; VERON (1995) signale une colonie de la GBR de plus de 677 ans. De plus, ils présentent un squelette à texture finement grenue et solide permettant de réaliser des carottages (ISDALE, 1986). On peut utiliser les stries de croissance correspondantes aux couches de carbonates de calcium pour dater les colonies mais aussi pour reconstituer les paléoenvironnements. Des carottes de plus de 6 m de longueur ont ainsi pu être prélevées dans des *Porites* des récifs internes de la GBR. L'examen des bandes de croissance de ce scléactiniaire permet d'y distinguer des bandes saisonnières dues à la présence d'acides fulviques qui correspondent aux périodes de moussons caractérisées par des pluies abondantes qui apportent dans le lagon des eaux de ruissellement qui en sont chargées. Les datations de ces bandes ont pu être corrélées aux événements ENSO et permettre des reconstitutions climatiques sur une période de 400 ans (BOTO & ISDALE, 1985). Les différences de densités observées sous un éclairage en rayonnement X permet d'évaluer l'intensité d'éclairement reçu par la colonie au moment de la fixation du Ca CO_3 et donc d'estimer la nébulosité.

D'après les premiers résultats obtenus en Nouvelle-Calédonie, à Tahiti et aux Seychelles, il semble que pendant l'Holocène, la température des eaux de surface de l'Indo-Pacifique tropical était plus froide de plusieurs degrés par rapport à l'actuel (CASTELLARO *et al.*, 1997).

D'après les synthèses réalisées par les spécialistes d'écologie récifale sur les effets potentiels du "Global Change", les changements climatiques prévisibles ne risquent pas de faire disparaître les récifs mais provoqueront des modifications profondes dans la structure et la diversité des peuplements (WILKINSON & BUDDEMEIER, 1994). A l'heure actuelle les impacts anthropiques directs sont beaucoup plus néfastes aux récifs coralliens que les modifications climatiques. Il se pourrait toutefois que les deux types de nuisances aient des effets synergiques ?

BIRKELAND (1995) fait le point sur les implications des changements climatiques au niveau des récifs coralliens et montre qu'il y a peu de cas bien documentés sur l'évolution d'un récif corallien à long terme. Par exemple, il semble que les récifs de Dry Tortugas cartographiés par A. AGASSIZ en 1888 et revisités en 1976 aient considérablement changé. L'espèce dominante au 19^{ème} siècle, *Acropora palmata*, y a totalement disparue et *A. cervicornis* a présenté plusieurs épisodes de mortalité en masse.

Les enseignements du passé et la réponse des faunes aux fluctuations climatiques :

Pour tenter d'interpréter les actuels changements, les études visant à reconstituer les paléoclimats se sont intensifiées (LABEYRIE, 1985 ; DUPLESSY & MOREL, 1990). Les variations climatiques du Quaternaire (3 M. A.) peuvent être reconstituées en observant les traces des anciens niveaux marins, en mesurant la teneur en CO_2 contenu dans les calottes glaciaires (Antarctique, Groenland), en calculant les paléotempératures enregistrées dans le squelette des scléactiniaires.

- L'analyse des bulles d'air contenues dans les carottes de glaces de l'Antarctique a permis de suivre l'évolution des gaz à effet de serre dans l'atmosphère depuis deux siècles et de montrer la corrélation positive entre leurs augmentations et celle de la population mondiale (Fig. 15a, b). A partir de ces données, l'effet de serre simulé donne une augmentation de la température moyenne en 2100 de 2 à 4°C. Une telle variation serait du même ordre de grandeur que celle observée lors du passage d'une période glaciaire à une interglaciaire sur plusieurs milliers d'années. En conséquence, si ces observations se confirment, il en résulterait la fusion des glaciers, une expansion thermique des eaux et donc une élévation du niveau des mers. Compte tenu des estimations d'augmentation des températures au cours du prochain siècle, la fourchette d'élévation estimée serait de 0,3 à 1,1 m (LORIUS, 1993).

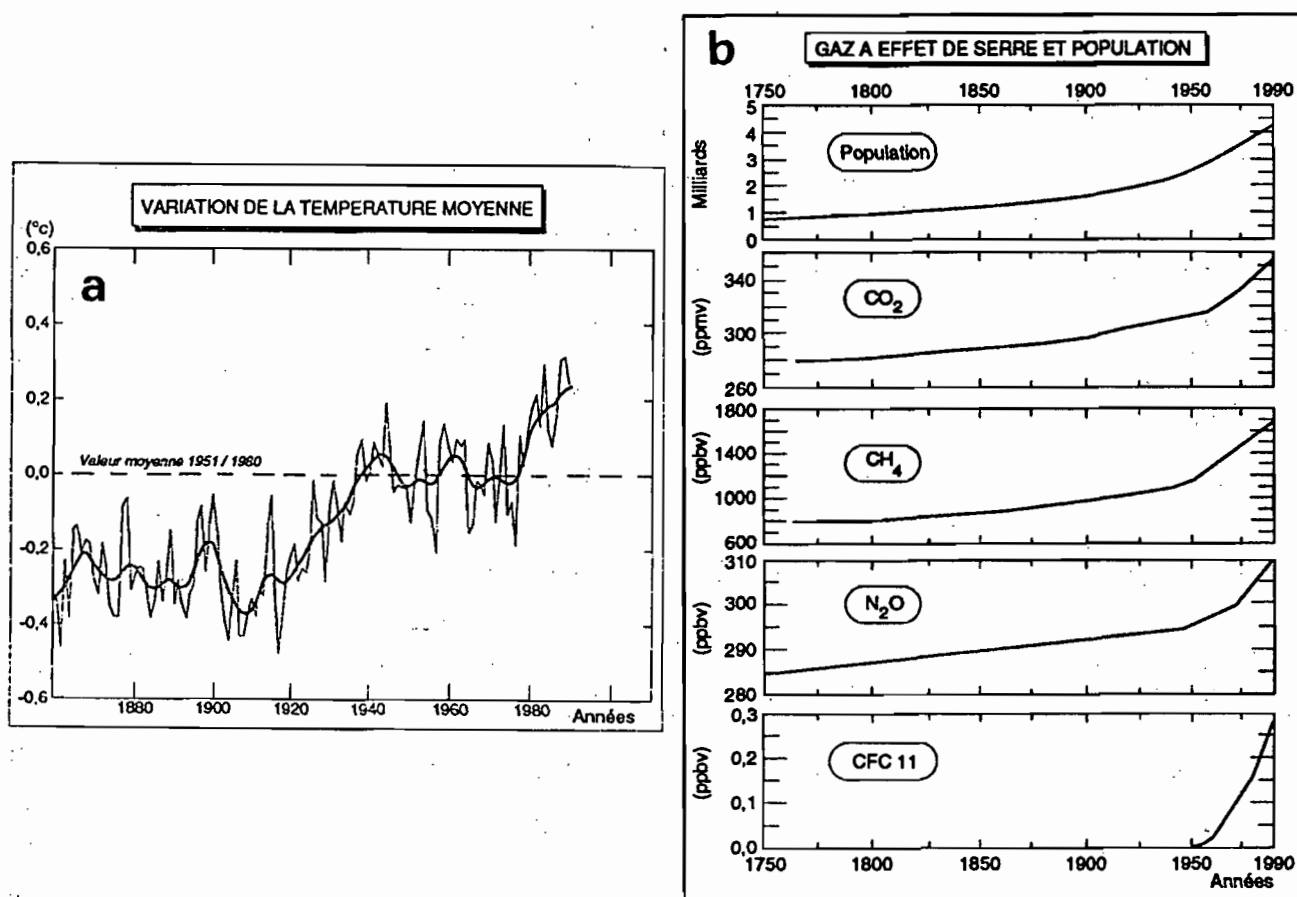


Fig. 15. — a : Anomalies annuelles de températures atmosphériques par rapport à la moyenne calculée sur les années 1951 à 1980 ; b : courbes comparées de la démographie humaine et de la teneur atmosphérique en gaz à effets de serre (d'après LORIUS, 1993).

Les anciens niveaux marins : les datations isotopiques U/Th réalisées sur des récifs coralliens des Caraïbes ont permis de reconstituer les variations de niveaux sur 130 000 ans et plus précisément sur les derniers 30 000 ans (PETIT-MAIRE, 1992). Une différence moyenne maximale de 130 m est observée entre le dernier maximum froid et le dernier maximum chaud et les vitesses estimées de remontée des eaux sont de 3,7 m par siècle il y a 14 000 ans et de 2,5 m

il y a 11 000 ans. A la période actuelle, il semble que l'on ait observé une remontée du niveau marin global de 0,15 m depuis un siècle (1882-1984).

Les formations coralliennes sont des archives particulièrement précieuses puisqu'elles ont en mémoire à la fois les conditions thermiques durant leur construction et les données sur l'élévation des niveaux marins qu'elles ont suivies. HOPLEY (1982) avait fait le bilan des connaissances sur les changements des niveaux marins au Quaternaire dans son ouvrage sur la géomorphologie de la Grande Barrière de Corail australienne (Fig. 16, 17). Ces données générales mettent en évidence un niveau marin 130 m plus bas il y a 18 000 ans. Un événement climatique d'une telle ampleur a eu des conséquences considérables sur la répartition actuelle de la biodiversité marine littorale.

En Nouvelle-Calédonie, les études portant sur les récifs coralliens fossiles ont permis de suivre l'évolution des variations des niveaux marins depuis le Pléistocène (CABIOCH, 1988). Le maximum de transgression marine est daté de l'Holocène (5500 ans). Ces variations sont toujours relatives car la ligne de rivage varie également en fonction des mouvements tectoniques (eustatisme). Une discontinuité dans les formations calcaires récifales Holocène-Pléistocène a été mise en évidence et se situe actuellement entre 4 et 6 m de profondeur et correspond à la phase d'émersion déjà observée dans d'autres régions du Pacifique.

Ces anciens niveaux marins plus élevés que l'actuel ont pu être contemporains de l'installation des premiers hommes en Nouvelle-Calédonie puisque les plus anciens gisements Lapita sont datés de 3 000 ans (SEMAH *et al.*, 1995).

Une remontée des niveaux marins est donc tout à fait naturelle sur des périodes de temps relativement brèves de l'ordre du millier d'années mais il est possible que les activités humaines aient accéléré ce processus ?

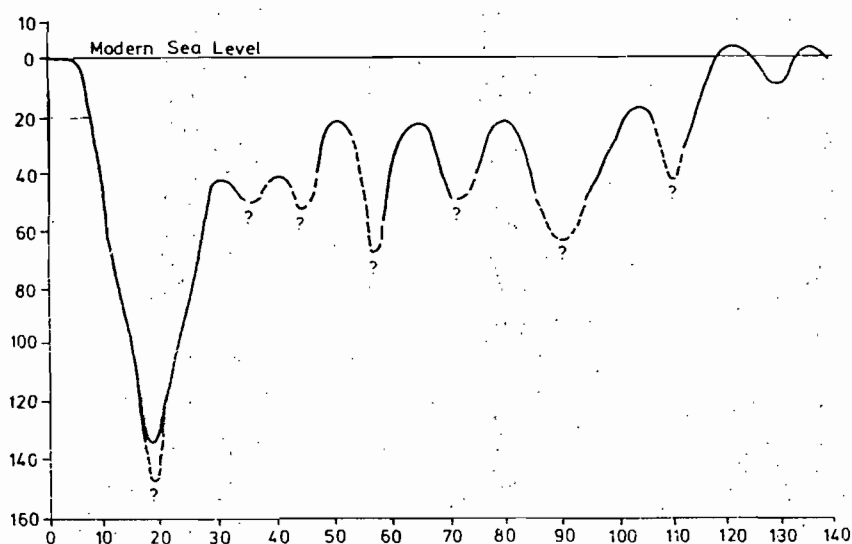


Fig. 16. — Evolution des niveaux marins dans le sud-ouest Pacifique pendant les derniers 140 000 ans (d'après HOPLEY, 1982).

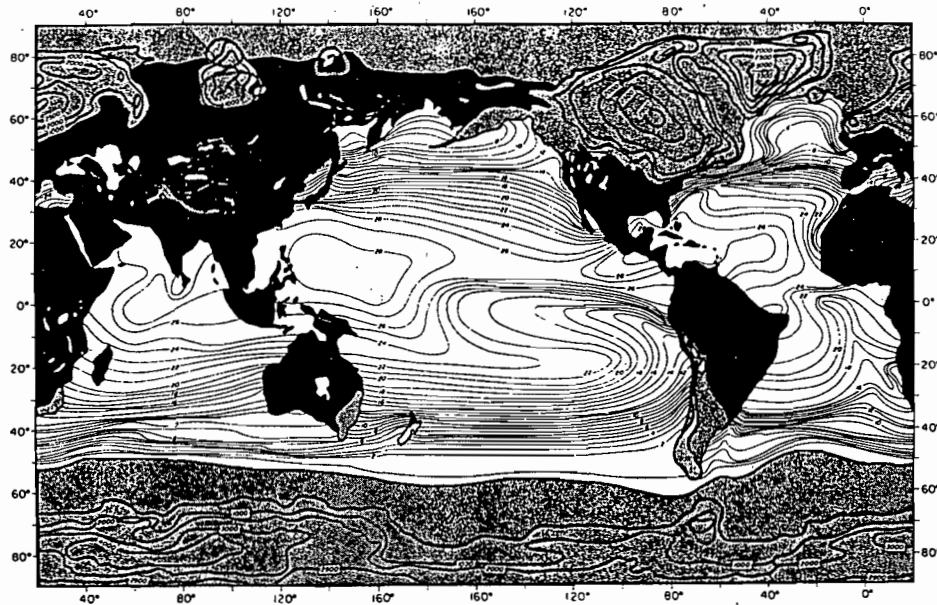


Fig. 17. — Isothermes de surface il y a 18 000 ans. Carte reconstituée d'après les données du programme CLIMAP montrant l'existence à long terme de la "warm pool" (d'après DUPLESSY & MOREL, 1990).

Conséquences prévisibles d'une remontée du niveau marin (Fig. 18 a, b) :

Les conséquences d'une remontée du niveau marin seraient très importantes pour l'humanité car la majorité des populations vit dans des zones littorales de moins de 50 m d'altitude et certains pays constitués d'atolls coralliens culminent à seulement 4 m d'altitude (Maldives, Kiribati, Tuvalu...). Cette remontée est d'autant plus inquiétante que les zones coralliennes risquent d'être soumises de surcroît à une augmentation des perturbations cycloniques liées à celle de la température (PERNETTA, 1993b). La frange corallienne, barrière protectrice naturelle des côtes risquerait ainsi de disparaître avec toutes les conséquences que cela entraîneraient pour les espèces et les écosystèmes associés (herbiers de phanérogames...).

Toutefois, ces variations étant relativement lentes, les espèces ne sont pas menacées même si leur actuelle répartition risque d'évoluer. L'observation des faunes qui peuplent la partie sommitale des guyots et les sédiments de certains lagons montrent des exemples d'espèces littorales du Quaternaire récent qui ont disparu localement lors de la remontée des niveaux marins ou à la suite d'une subduction de ces reliefs (RICHER DE FORGES & MENOUE, 1993).

2.1.3.2 - Blanchissement des coraux :

Le blanchissement des coraux ou "bleaching" est un phénomène qui correspond à un rejet des zooxanthelles symbiotes par les colonies de coraux. Il s'observe généralement à la suite

d'un stress et concerne plusieurs genres (*Acropora*, *Pocillopora*, *Montipora*, *Porites*...). Les colonies sans zooxanthelles sont blanches et meurent lentement. Cette situation a été observée en de nombreux endroits (Polynésie, Nouvelle-Calédonie, Caraïbes, Mer Rouge) et plusieurs interprétations des causes de ce blanchissement ont été proposées. Pour certains il s'agirait d'une pathologie en réaction à un stress thermique (ROUGERIE *et al.*, 1992 ; JOKIEL & COLES, 1990) et pour d'autres d'une simple tentative d'adaptation à de mauvaises conditions du milieu (BUDDEMEIER & FAUTIN, 1993). Les blanchissements en masse sont apparus très récemment. La première observation date de 1931 et en 1979 il y avait seulement une vingtaine d'observations de coraux blancs. Il semblait donc logique de relier ce phénomène mondial à un impact anthropique et plus particulièrement aux changements globaux tels que l'augmentation du taux de CO₂ dans l'atmosphère. La relation hôte/symbiote est perturbée au niveau de la réalisation de la photosynthèse et de la fixation du CaCO₃.

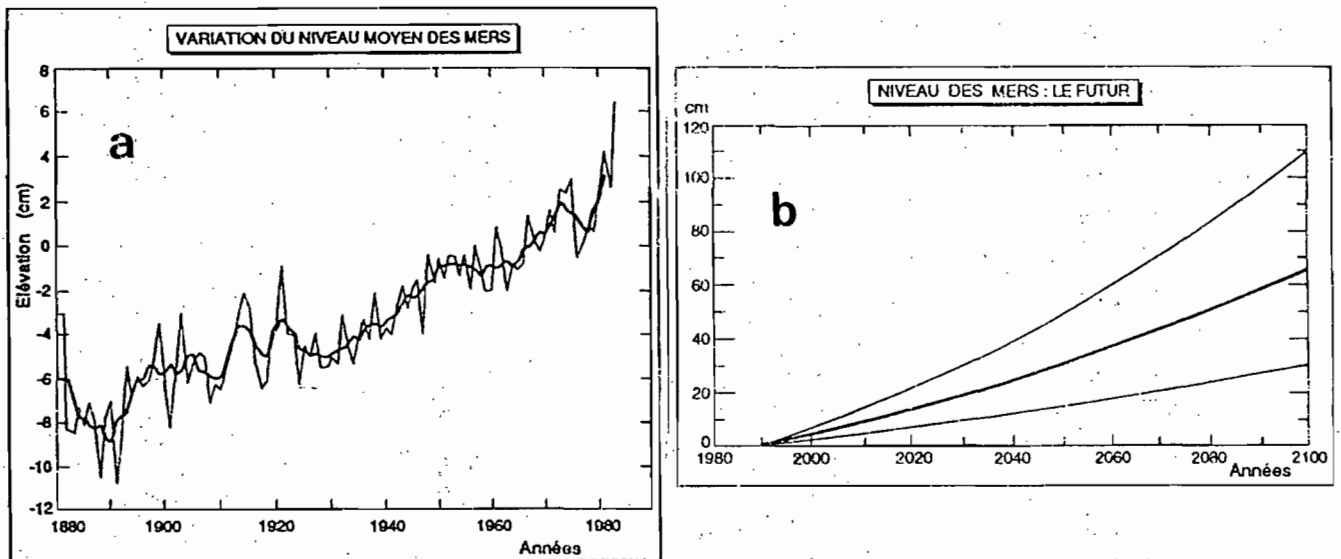


Fig. 18. — a : Variation observée du niveau moyen des mers ; b : Prospective sur la remontée du niveau au cours du 21^{ème} siècle (d'après LORIUS, 1993).

Par ailleurs, les scléactiniaires ne sont pas les seuls atteints par le blanchissement et l'on a pu également observer un rejet des zooxanthelles symbiotes chez des zoanthaires (*Palythoa caribaeorum*), des actiniaires et les grandes espèces de foraminifères (LESSER *et al.*, 1990). C'est donc les écosystèmes coralliens dans leurs différentes composantes qui sont stressés.

Les blanchissements les plus importants ont été observés en 1983 dans l'Indo-Pacifique et en 1987 aux Caraïbes (BROWN, 1990). Certains auteurs ont pu corrélérer les blanchissements et les mortalités qui en résultent au phénomène hydroclimatique ENSO (GLYNN & D'CROZ, 1990). Il semble que le déclenchement du blanchissement soit lié à la conjonction d'une température des eaux plus élevée que la normale et d'une plus forte irradiation dans les fréquences UV (les rayons UV pénètrent jusqu'à plus de 20 m de profondeur). ROUGERIE *et al.* (1992) font même l'hypothèse hardie que ce phénomène pourrait être une réaction biologique à l'effet synergique de la réduction de la couche d'ozone et de l'augmentation du taux de CO₂,

perturbations planétaires toutes deux d'origine anthropique. Ces auteurs suggèrent même que si les tendances actuelles au réchauffement (+ 0,5°C/10 ans) et à la diminution de la couche d'ozone (- 4 à 5 % par décennie) se confirment, on assisterait à une totale extinction des récifs coralliens au 21^{ème} siècle ! Cette dégradation généralisée des récifs coralliens a été mise en évidence à plusieurs occasions ces dernières années, en particulier lors du Congrès sur le blanchissement corallien en 1991 et du 7^{ème} Symposium international des récifs coralliens à Guam en 1992 (JAMESON *et al.*, 1995).

Bien que l'évolution des paramètres physico-chimiques concernant le "Global Change" restent à vérifier, la validité d'une telle hypothèse catastrophiste n'est malheureusement pas exclue et les conséquences de l'extinction des récifs coralliens seraient incalculables sur la biodiversité marine et l'existence même de certains États de l'Indo-Pacifique.

Des chercheurs israéliens (KUSHMARO *et al.*, 1996) semblent avoir démontré que le blanchissement observé en Mer Rouge en 1993 aurait été due à l'action d'une bactérie (*Vibrio*). Si cette observation se confirme, cela signifierait que le facteur de stress, température ou UV, ne serait que le déclencheur qui affaiblit l'organisme et permettrait à l'agent pathogène d'agir ?

2.1.4 - Pollution chimique

La plupart des pollutions d'origine anthropiques sont directement liées à la densité de populations humaines. Il s'agit soit de rejets urbains soit de rejets industriels de produits chimiques (hydrocarbures) ou d'eaux chaudes. Un cas particulier est celui des expérimentations nucléaires qui provoquent des perturbations physiques et des pollutions chimiques intenses.

Pollution pétrolière :

La pollution par les hydrocarbures est l'une des plus à craindre. Dans certaines régions coralliennes telles que le Détroit de Torrès, le trafic maritime est intense et des accidents ont déjà eu lieu. En 1970, le pétrolier "Oceanic Grandeur" fit naufrage dans le Détroit de Torrès mais la nappe de pétrole n'atteignit pas les récifs. Le passage des pétroliers dans le parc de la GBR est interdit depuis 1975.

Quelques cas d'action des produits pétroliers sur les zones coralliennes ont été observés à Panama, en Mer Rouge et dans le golfe Persique (GRIGG & DOLLAR, 1990 ; BROWN, 1997). Il semble qu'il n'y ait pas absorption par les coraux et que l'effet néfaste soit surtout physique. Les détergents utilisés pour faire disparaître les nappes pétrolières sont plus toxiques pour les coraux que le pétrole. Les effets chroniques de petites pollutions pétrolières comme celles du golfe d'Eilat sont plus destructeurs pour les récifs que l'action ponctuelle d'une petite marée noire. Les effets destructeurs d'une nappe pétrolière sur des récifs coralliens seraient probablement beaucoup plus intenses si l'arrivée du pétrole coïncidait avec une forte marée basse. Au Panama les effets d'une pollution pétrolière en milieu corallien, due à la fuite d'une

cuve de stockage sur le littoral, ont été décrit par CUBIT *et al.* (1987). Dans les zones de mangroves atteintes par la nappe de pétrole, sur environ 15 km, on observa une défoliation et la mort des *Rhizophora mangle* lorsque le pétrole se fut imbibé dans le sédiment entourant les racines. Les organismes fixés sur les racines de palétuviers (algues, éponges, bryozoaires, hydraires, huîtres, moules, balanes) furent détruits. Sur les platiers coralliens, les scléractiniaux moururent et les peuplements d'algues furent considérablement réduits en superficie.

Pollutions liées à l'utilisation de l'énergie nucléaire :

Dans le Pacifique, des explosions nucléaires ont été réalisées par les américains dans les atolls de Bikini (1946) et Enewetak (1947-1958) au nord des îles Marshall et par les français dans les atolls de Mururoa et Fangataufa, en Polynésie Française (1966-1995). L'intense activité occasionnée par ces expérimentations a été source de perturbation de l'environnement (routes, ports, pistes d'aviation, bâtiments, trafic maritime, ouverture d'une passe dans la barrière corallienne de l'atoll de Fangataufa...). Bien entendu, les explosions elles même furent extrêmement polluantes localement lorsque ces tirs furent aériens (de 1966 à 1975 pour les français). Au total il y eut 43 essais à Enewetak (8 kt-11 Mt de puissance), 23 à Bikini et 193 en Polynésie Française dont 100 sous terrains (DEVANEY *et al.*, 1987 ; BABLET *et al.*, 1995). En plus d'un effet physique destructeur dû aux ondes de chocs et à la remise en suspension de particules fines, plusieurs radioéléments furent dispersés dans le milieu marin. Nombre de ces éléments radioactifs avaient une période de vie courte et s'estompèrent rapidement (Iode 131...). Par contre certains radioéléments à longue période de vie persistent dans l'environnement et les plus préoccupants rentrent dans les cycles biologiques comme le Strontium 90, le Césium 136 ou le Cobalt 60.

Si l'effet de fortes doses de rayonnement radioactifs sur des cellules vivantes pendant des temps brefs est connu, il n'en est pas de même de l'action de longue durée de faibles doses radioactives. En Polynésie Française, des mesures ont été réalisées sur des organismes marins planctoniques, micronectoniques et pélagiques (Thunnidae) pour rechercher des traces de ces radioéléments, évaluer leur dispersion géographique et leurs éventuelles concentrations dans les réseaux trophiques. Sur l'atoll de Mururoa, les traces de ces radioéléments provenant des tirs aériens n'étaient détectables que dans le lagon et à de très faibles doses (quelques picocuries). Cependant les zones récifales où ont eu lieu les tirs aériens resteront définitivement contaminées par des radioéléments à très longue période (Plutonium) qui fort heureusement n'émettent que des rayonnements alpha, très énergétiques mais peu pénétrants.

Pour donner une idée de la puissance destructrice d'une explosion nucléaire sur les milieux coralliens, il suffit de considérer les 6 cratères formés lors des tirs américains sur des îlots coralliens : le plus grand cratère provoqué par la bombe thermonucléaire MIKE en 1952 à Enewetak (10,4 Mt) mesure 1800 m de diamètre et 56 m de profondeur soit environ 12.10^6 m^3

de formations récifales pulvérisés (DEVANEY *et al.*, 1987). L'onde de choc brise les madrépores et fait exploser les organes des poissons (vessie gazeuse, foie, rate, gonades) dans un rayon de plusieurs kilomètres. En Polynésie Française, la fissuration des calcaires récifaux consécutive aux tirs répétés dans la couronne récifale a provoqué en 1979 le glissement d'une énorme masse rocheuse de la pente externe provoquant localement un raz de marée. A la suite de cet "incident", les forages eurent lieu dans le lagon lui même et non plus sur la couronne récifale (BABLET *et al.*, 1995).

Les effets directs des explosions nucléaires aériennes sur les coraux sont décrits par BABLET *et al.*, (1995). Ces effets sont fonction de la distance du point zéro et sont la conséquence des ondes de choc et du flash thermique qui brûle toute les parties émergées. Les plus importants dégâts furent causés par l'onde de choc ou onde de souffle : en milieu aérien elle produit des effet équivalents à ceux d'un vent très violent et une surpression proportionnelle au carré de la distance du point zéro. Le milieu marin, environ 800 fois plus dense que l'air, réagit différemment. Dans l'eau, l'influence de l'onde thermique se limite au premier mètre, les effets de surpression due à l'onde de choc se font sentir à plusieurs kilomètres et provoquent parfois une oscillation de la masse d'eau remettant les sédiments en suspension. Les essais souterrains ont des effets comparables à ceux des tremblements de terre.

Lors des tirs sur barge à Mururoa (environ 200 kt), pratiquement toutes les formations coralliennes furent détruites dans un rayon de 500 m autour du point de tir ; entre 500 et 1500 m seules subsistèrent les formes coralliennes massives ou encroûtantes (*Acanthastrea*, *Lobophyllia*, *Favia*) et les *Fungia* ; entre 1500 et 2000 m l'effet de l'onde choc n'est observable que sur les coraux branchus. La destruction d'une grande partie des coraux libérant des substrats durs a été suivie d'une prolifération algale et sur les platiers externes de développement d'alcyonaires.

Cette période d'expérimentation nucléaire a pris fin en milieu océanique en 1958 pour les américains et 1996 pour les français. Les observations de l'impact de ces conditions extrêmes de perturbations de l'environnement et de l'évolution consécutive des écosystèmes donnent un aperçu du pouvoir de régénération des récifs coralliens. Les effets des destructions mécaniques ont en apparence disparu en quelques années. Les coraux brûlés et blanchis se couvrent tout d'abord d'algues, mais la restauration des peuplements coralliens a été relativement rapide après l'arrêt des tirs aériens (10 ans) bien que par endroits des développements de cyanophycées s'oppose à la recolonisation. Il faudrait toutefois analyser finement la composition spécifique des récifs régénérés pour voir si la biodiversité d'origine s'est effectivement reconstituée. BABLET *et al.* (1995) observent que cela est vrai pour les scléactiniaires et également pour les peuplement de poissons, mollusques et d'échinodermes dont les populations se sont reconstituées entre 1966 et 1990. Les mollusques fixés (*Tridacna*, *Pinctada*, *Chama*) se sont réimplantés sur les sites d'expérimentations aériennes au bout de 13 ans.

Pour le devenir des radioéléments dans l'environnement, l'impact réel est très difficile à évaluer même si le suivi dans les réseaux trophiques pendant de longues années ne montre rien

d'alarmant. Les radiations ont des pouvoirs mutagènes bien connus qui pourraient ne devenir perceptibles que par des études à long terme des populations et de la diversité.

Il est remarquable que la pollution la plus visible et persistante des tirs nucléaires soit l'hypersédimentation ; les fines particules déposées sur les substrats lagonaires s'opposent à la fixation larvaire de nombreux organismes et ainsi à la régénération des écosystèmes.

L'un des plus intéressants résultats des expérimentations nucléaires, faites à grand frais par l'espèce humaine, pourrait bien être celui-ci : lorsqu'il n'y a pas disparition des espèces, aucune perturbation de l'environnement n'est irrémédiable ; la nature a de considérables capacités de régénération. Supprimons les sources de pollution et les écosystèmes feront le reste.

Il semble que l'utilisation de l'énergie nucléaire pour produire de l'électricité soit également très perturbatrice de l'environnement. A Taiwan, les rejets d'eaux chaudes produites par le refroidissement des centrales électriques provoquent une modification des peuplements benthiques. L'élévation de la température est responsable, chez les coraux, d'une réduction de l'alimentation, d'une réduction du taux de reproduction, d'une augmentation du nombre de zooxanthelles et d'une surproduction de mucus. En Floride, les coraux situés dans une zone de 50 ha autour d'une émission d'eau chaude, relevant la température de 4°C, furent totalement détruits. Dans les zones périphériques, où l'élévation de température est de 3°C, on observe une augmentation des populations de suspensivores. L'impact de ces rejets n'est pas simple à interpréter car les eaux chaudes rejetées contiennent des "antifouling" (chlore, sulfate de cuivre...). Toutefois l'influence thermique est nettement en cause car la zone corallienne détruite s'élargit lorsque la puissance des centrales augmente (GRIGG & DOLLAR, 1990).

Rejets de déchets nucléaires en mer dans la zone Indo-Pacifique : Compte tenu des immenses distances et des grandes profondeurs aisément accessible il était tentant pour les pays périphériques de se débarrasser de leurs déchets par immersions. De 1946 à 1970, les Etats-Unis ont ainsi jeté dans le Pacifique des déchets de l'industrie nucléaire civile et militaire estimés à environ 10^5 curies. Ces immersions ont eu lieu principalement à proximité des îles Hawaii et au large de la Californie (BRANCH, 1984). Il existe une réglementation internationale interdisant le rejet en mer de déchets hautement radioactifs (London Dumping Convention). Cependant, cette pratique de rejets nucléaires en mer s'est poursuivie jusqu'en 1983.

2.1.5 - Comparaison avec la dégradation de la biodiversité terrestre

Dans les milieux terrestres et marins, la répartition de la diversité spécifique diffère grandement et les menaces n'ont pas la même acuité. Sur terre, la diversité au niveau spécifique semble plus grande surtout à cause du groupe des insectes. En mer la diversité au niveau des phylum, des classes et des ordres est très supérieure à celle des milieux terrestres. L'hypothèse expliquant cet état de fait serait que l'origine de la vie est marine et que l'évolution a eu

beaucoup de temps pour diversifier les taxons supérieurs dans des conditions d'environnement relativement stables alors que sur terre, la fragmentation des biotopes et les rapides fluctuations climatiques engendrent une spéciation plus active (MAY, 1994 ; PAULAY, 1997). Environ 15 % seulement des espèces décrites sont marines mais il semble que la diversité spécifique des immenses zones profondes aient été très sous-estimée, ce qui pourrait faire évoluer cette proportion (GRASSLE & MACIOLECK, 1992 ; POORE & WILSON, 1993). Ceci est d'autant plus vrai que certains groupes comme les champignons, les bactéries et les virus sont peu connus et que certains milieux sont encore inexplorés (PARKES *et al.*, 1994 ; KERR, 1997). Malgré tout, en se basant sur le nombre d'espèces nouvelles découvertes lors de l'exploration du benthos de profondeur (56 %), certains auteurs continuent à croire que la proportion entre les espèces terrestres et marines (85 / 15 %) ne variera pas beaucoup (MAY, 1994 ; GRAY, 1994).

Dans les taxons de niveau supérieur, la situation est inversée, sur 33 phylums, 32 sont présents dans le milieu marin et seulement 12 dans le milieu terrestre. 17 phylums sont exclusivement marins (64 %).

Dans l'élément aquatique, les espèces ont le plus souvent de vastes aires de répartition alors que les écosystèmes terrestres sont restreints et donc plus vulnérables (GROOMBRIDGE, 1992 ; WILSON, 1992 ; HEYWOOD & WATSON, 1995).

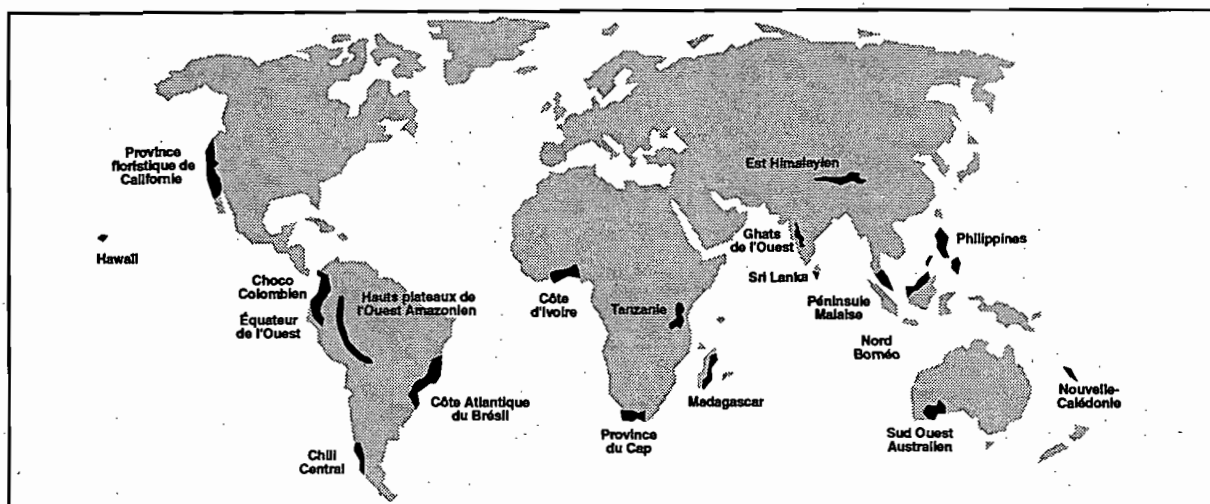


Fig. 19. — Répartition mondiale des zones où la biodiversité terrestre est particulièrement grande et menacée par l'homme (d'après WILSON, 1987).

La menace qui pèse sur la biodiversité n'est pas du même niveau dans les milieux terrestres que dans les milieux marins. Sur terre, de nombreuses espèces sont menacées d'extinction globale alors qu'en milieu marin il s'agit généralement de disparition locales uniquement. Sur terre la biodiversité présente également une répartition géographique hétérogène avec des zones intertropicales plus riches. Mais ce schéma général est modifié par le relief et surtout les climats. En tenant compte de la répartition de la richesse spécifique et du niveau des menaces qui pèsent

sur elle, MYERS (1987) a pu définir sur la planète des zones qualifiées de "biodiversity hot spot" (Fig. 19). La Nouvelle-Calédonie figure parmi les 10 zones les plus riches du monde, surtout grâce à sa flore endémique d'environ 3 200 espèces sur un territoire d'une superficie inférieure à 20 000 km². Il s'agit d'une île où cette exceptionnelle biodiversité est très menacée par la déforestation (exploitation minière, incendies) et les introductions d'espèces. GARGOMINY *et al.*, (1996) montrent que le nombre d'espèces introduites a beaucoup augmenté dans les années soixante dans un but utilitaire ou, le plus souvent, pour des activités "de loisir".

Malgré la disparité de l'acuité des problèmes environnementaux entre les milieux terrestres et marins, il faut cependant observer que les deux sont fréquemment liées. La destruction du couvert végétal induit l'érosion et l'augmentation des apports terrigènes en mer ; le développement d'une agriculture à haut niveau d'intrants (engrais, insecticides, herbicides...) modifie les apports chimiques en mer et peut provoquer des déséquilibres dans les écosystèmes (prolifération d'*Acanthaster*).

2.2 - La conservation de la biodiversité marine : les bases scientifiques

2.2.1 - La vulnérabilité définie par l'UICN

Pour rendre plus efficace son action, la Commission de la sauvegarde des espèces de l'UICN (Union Mondiale pour la Nature, anciennement Union Internationale pour la Conservation de la Nature) a publié en 1994 un système de classification des espèces qui permet d'établir des "Listes Rouges". Ces catégories sont acceptées au plan international (ANONYME, 1994 ; BAILLIE & GROOMBRIDGE, 1996).

Ces catégories tiennent compte du niveau de connaissance sur les espèces. Selon les espèces considérées, ce niveau peut-être évalué ou non. Pour les espèces évaluées, la qualité des données peut-être suffisante ou non. Lorsque les données sont suffisantes, il existe alors trois possibilités : espèce éteinte (définitivement ou seulement n'existant plus à l'état sauvage), espèce menacée (gravement menacé d'extinction, menacé d'extinction ou vulnérable). Si le risque est faible actuellement l'espèce pourra être classée dans l'une des trois sous-catégories : dépendant des mesures de conservation ; quasi menacé ; préoccupation mineure (Fig. 20).

Dans le cadre ainsi défini, chaque espèce doit pouvoir être classée selon les facteurs de risque auxquels elle est soumise.

Éteint (EX : EXTinct) : Un taxon est dit "Éteint" lorsqu'on ne peut raisonnablement douter que le dernier représentant est mort.

Éteint à l'état sauvage (EW : Extinct in the Wild) : ne survit qu'en captivité, en dehors de son aire de répartition d'origine.

Gravement menacé d'extinction (CR : CRitically endangered) : taxon confronté à un risque d'extinction à l'état sauvage extrêmement élevé et à court terme. Cette désignation est donnée si l'un au moins des critères suivants est observé : au moins 80 % de réduction des effectifs au cours des dix dernières années ou des 3 dernières générations ; zone d'occurrence < 100 km² ; population estimée à moins de 250 individus matures.

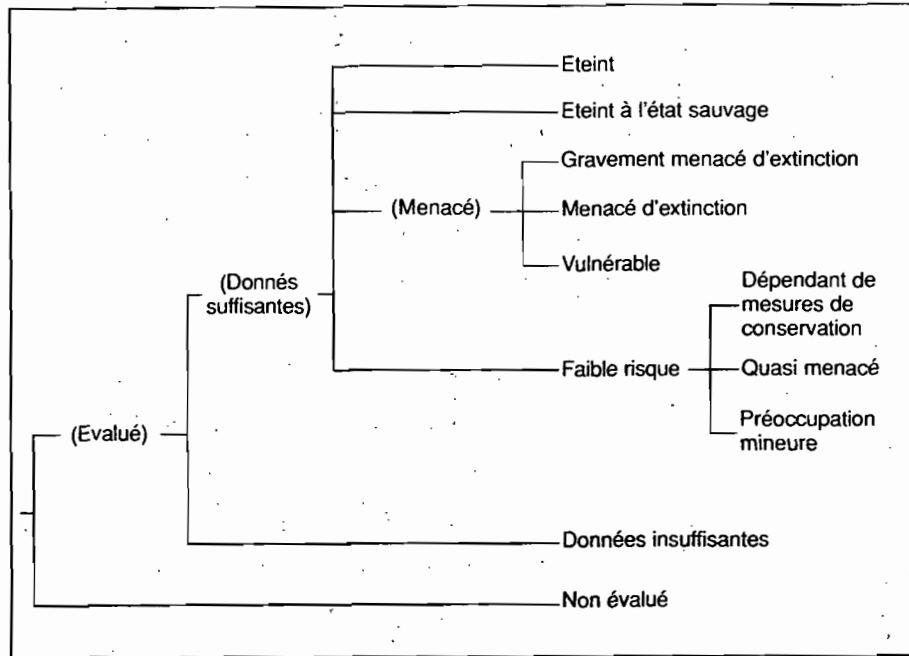


Fig. 20. — Hiérarchie des catégories utilisées par l'UICN (ANONYME, 1994).

Menacé d'extinction (EN : ENdangered) : risque d'extinction très élevé à court terme. Diminution d'au moins 50 % au cours des 10 dernières années ; zone d'occurrence < 5 000 km² ; population estimée < 2 500 individus matures.

Vulnérable (VU : VULnerable) : taxon qui n'entre pas dans les catégories précédentes mais est confronté à un risque à moyen terme. Il a subi au moins 20% de réduction au cours des 10 dernières années ; sa zone d'occurrence < 20 000 km² ; population estimée à moins de 10 000 individus.

Faible risque (LR : Lower Risk) : lorsque l'évaluation a montré que les catégories précédentes ne s'appliquaient pas et que l'espèce considérée est suffisamment documentée.

Insuffisamment documenté (DD : Data Deficient) : On ne dispose pas d'assez d'informations pour évaluer directement ou indirectement le risque d'extinction. L'inscription dans cette catégorie indique la nécessité d'informations supplémentaires. L'appellation DD indique que l'espèce n'entre pas dans les catégories menacées mais que les informations disponibles sur son aire de répartition et ses effectifs sont insuffisantes.

Non évalué (NE : Not Evaluated) : réservé aux taxons qui n'ont pas encore été confrontés aux critères de classification.

Pour la grande majorité des espèces marines c'est évidemment les catégories "non-évalué" ou "insuffisamment documenté" qui devraient s'appliquer. Dans un tel cas, l'UICN recommande de "leur accorder le même degré de protection qu'aux espèces menacées". Cette opinion montre bien que ces textes ont été établis essentiellement pour les espèces de grands vertébrés terrestres pour lesquels on a de bonnes connaissances démographiques. Les critères UICN ont cependant été appliqués à quelques espèces de poissons marins dont certaines espèces commerciales. En mer, comme dans les forêts tropicales, les inventaires des écosystèmes sont à peine ébauchés pour une grande partie de la planète. Lorsque les espèces sont connues, on sait généralement peu de choses sur leur abondance et leur distribution géographique. Même lorsqu'il s'agit de taxons bien connus comme dans le cas des espèces exploitées il est fréquent que les informations nécessaires à l'estimation du "degré de menace" manquent. Sauf dans des cas très particuliers où une espèce serait limitée à un unique habitat menacé (cas de *Lottia*), il sera difficile de classer les espèces marines dans une autre catégorie que "insuffisamment documenté". Ces cas existent cependant probablement dans les microécosystèmes de profondeur que l'on rencontre autour des sources hydrothermales et sur le sommet de certains monts sous-marins. Peu d'études permettent actuellement de tester l'endémicité de ces oasis et des mesures de protection préventives devraient être prises.

Le principe annoncé par l'UICN est : "un taxon requiert un programme de conservation même s'il ne figure pas dans les catégories menacées" (ANONYME, 1994).

Récemment des critiques ont été portées contre la façon dont les espèces sont inscrites sur les "Listes rouges" des espèces menacées ; "We re-emphasize that the data in the Red Lists have been compiled opportunistically rather than systematically..." (SMITH *et al.*, 1993a, b).

2.2.2 - Les bases scientifiques de gestion des espèces exploités :

Le but de la dynamique des populations marines exploitées est d'établir des modèles prévisionnels qui rendent compte de l'impact de la pêche sur les stocks (LAUREC & LE GUEN, 1981). Les dynamiciens halieutes s'intéressent peu à l'espèce mais travaillent plutôt sur les notions de population et de stock. Une population est censée présenter un pool génétique (population panmictique) commun et occuper un écosystème déterminé. Elle serait plus proche de la conception des races géographiques des taxonomistes. Par définition, la population au sens halieutique est totalement isolée génétiquement des autres populations de la même espèce. Isolement et homogénéité sont les caractéristiques de la population pour laquelle l'halieute définit les paramètres suivants : reproduction, croissance, mortalité naturelle, mortalité par pêche. La dynamique des populations s'attachera à définir comment ces différents facteurs influent sur la biomasse de la population.

La structure démographique d'une population est l'ensemble des groupes d'âges, c'est à dire des individus nés la même année (la plupart des définitions et des modèles s'appliquent aux

poissons). Chaque groupe d'âge constitue une cohorte, mais si la période de reproduction est relativement longue, comme c'est le cas en zone tropicale, cette notion devient floue.

Le recrutement est une notion propre à l'halieutique, il correspond à l'arrivée des jeunes dans "l'ensemble des poissons accessibles à la pêche". Souvent, l'âge au recrutement ne correspond à aucun phénomène biologique particulier et se définit seulement par l'âge des plus jeunes captures. Il est à souligner que cet âge dépend totalement du moyen de capture utilisé. Il existe de même un âge de réforme, au-delà duquel les individus ne sont plus exploitables. L'ensemble des animaux exploitables constitue un stock qui contient tous les individus d'âge compris entre recrutement et réforme. Sur le stock ainsi défini, on applique des critères d'abondance et de densité. Selon l'engin de capture utilisé et les phénomènes d'échappement et d'évitement des individus, on définit généralement une "phase exploitée" comprise entre l'âge des plus jeunes proies et l'âge maximum des captures.

On définit également les caractéristiques de la pêche en termes d'efforts et la mortalité par pêche qui en résulte.

A partir de ces quelques paramètres, de nombreux modèles mathématiques ont été proposés pour suivre l'évolution de la pêcherie, surveiller l'état du stock et proposer des règles de gestion. On trouvera une analyse critique et comparative des principaux modèles dans l'ouvrage de LAUREC et LE GUEN (1981). Les difficultés d'application sont nombreuses et souvent ils ne sont pas utilisés à bon escient parce que le critère d'homogénéité n'est pas respecté (plusieurs stocks ou plusieurs espèces mélangés) ou que des données fondamentales sur la biologie ou l'éthologie manquent. Beaucoup de modèles utilisent comme prémisses le modèle de croissance de Von BERTALANFFY.

Il apparaît de plus en plus clairement que la qualité des données de pêche que l'on utilise dans les modèles est très mauvaise et qu'en conséquence les conclusions sont peu fiables. Certains concepts couramment utilisés par les halieutes comme la constance du paramètre "mortalité naturelle" sont remis en question. En fait ce facteur dépendrait à la fois de la taille de l'animal et de l'abondance relative des prédateurs (MUNRO, 1995).

2.2.3 - Théorie de la biogéographie insulaire et aires protégées

2.2.3.1 - Biogéographie insulaire

Quel que soit le niveau de biodiversité considéré (génétique, spécifique, populationnel ou systémique) on est amené à définir les zones géographiques sur lesquelles on observe telle espèce ou telle biocénose. Les études de la répartition des êtres vivants font l'objet de la biogéographie, science qui se veut synthétique en tenant compte de la dynamique des peuplements et de l'évolution temporelle à long terme. L'un des thèmes particulièrement

intéressant de la biogéographie est le problème de l'insularité, soit des véritables îles océaniques, soit plus généralement de toute population ou espèce isolée par des barrières écologiques (BLONDEL, 1986).

Au concept d'insularité sont étroitement attachées les notions de colonisation ou d'immigration et celle d'extinction qui permettent de définir un renouvellement des populations. Sur la partie terrestre des îles océaniques, l'isolement des populations a permis de tester les hypothèses de biogéographie dynamique mais la compréhension du déterminisme de l'insularité reste très imparfaite. Il existe une relation entre le nombre d'espèces présentes sur une île et sa surface. L'idée de base consiste à considérer que malgré l'isolement, des espèces arrivent tout de même sur les îles en provenance des milieux environnants, même très éloignés, permettant un certain taux de renouvellement des biocoenoses. "Il existe un équilibre dynamique entre colonisation et extinction et cet équilibre se traduit par un renouvellement d'espèces" (BLONDEL, 1986). Le taux d'immigration est fonction de l'aptitude de l'espèce à la dispersion, de la distance de l'île par rapport à la source et de ses dimensions. Plus l'île sera petite et éloignée et plus son endémicité sera élevée. A la limite, une île très isolée ne présentera que des espèces endémiques ; le taux d'extinction des espèces locales sera nul alors que celui des espèces migrantes sera de 100 %. Un aspect de l'implantation d'une espèce sur une île isolée est paradoxal. D'une part elle doit posséder un système de dispersion efficace pour arriver dans l'île, mais d'autre part, une fois l'espèce installée, elle sera favorisée si elle devient sédentaire. Cette perte de la capacité de dispersion, souvent liée à la réduction de la compétition interspécifique, peut aller jusqu'à une modification morphologique des adultes tels que l'aptérisme observé chez certains insectes ou oiseaux. A partir des phénomènes observés sur les populations des îles il est possible de définir un "syndrome d'insularité" : diminution du nombre des espèces ; réduction de taille des individus, élargissement des niches écologiques, tendance à la sédentarité, diminution des fonctions prédatrices. Ces caractéristiques font que les milieux insulaires deviennent particulièrement vulnérables aux brutales introductions d'espèces (PAULAY, 1994).

SHAFER (1990) retrace les grandes lignes de la théorie de la biogéographie insulaire mise au point par MacARTHUR et WILSON (1967) pour les milieux terrestres et en commente les conséquences. L'appauvrissement observé dans les îles serait dû d'une part à la sélection des espèces aptes à la dispersion sur une grande distance et à la réduction de l'espace et des niches écologiques existant sur l'île. La relation aire-espèce ($S = cA^z$ où S est le nombre d'espèces, A la surface, z et c des constantes) aurait été mal interprétée comme une preuve de l'équilibre dynamique. Toutes les espèces seraient considérées comme équivalentes, ce qui est loin d'être exact. Pour la plupart des cas observés, le nombre d'espèces double lorsque la surface augmente d'un facteur 10.

2.2.3.2 - La dimension des réserves :

La relation aire-espèce a été parfois utilisée pour définir la taille minimale à donner à une réserve.

La création d'une réserve résulte d'une volonté de la société de préserver son patrimoine naturel et suppose donc que cette société reconnaisse implicitement que ses activités menacent l'environnement. Créer une réserve n'a pas que des effets bénéfiques ; la délimitation d'une aire protégée donne bonne conscience pour continuer à perturber ou détruire ce qui n'est pas régi par la réserve. Il est donc très important de savoir si la superficie protégée est suffisante pour assurer la conservation des espèces et des écosystèmes.

Si la dimension d'une population est trop réduite, elle devient vulnérable aux maladies ou aux variations de l'environnement ; il est donc théoriquement possible de définir une taille de population minimale la mettant à l'abri de l'extinction. Cette population minimale sera variable selon le groupe zoologique, la dimension, le niveau trophique, la fécondité, le mode de reproduction... En milieu marin l'estimation numérique des populations est souvent difficile, voire impossible et il sera préférable de protéger une aire minimale plutôt qu'une population minimale. Une réserve doit avoir une dimension suffisante pour représenter la diversité spécifique naturelle et pour que toutes les espèces présentes soient représentées par des populations nettement supérieures au minimum théorique.

Dans le monde, en 1986, 97,9 % des réserves terrestres et marines avaient une superficie inférieure à 10 000 km². En écologie terrestre une notion de taille minimum critique a été introduite pour la conservation. Cette dimension critique devrait se déterminer par l'asymptote de la courbe aire-espèces. Cette estimation permet également d'aborder le problème du maintien de la diversité spécifique lors de la fragmentation des habitats (SHAFER, 1990).

Se pose le problème des mouvements de populations et des déplacements pour les grandes espèces. En milieu terrestre, on a pu montrer que la dimension minimale pour préserver une population de 8 ours grizzly était de 600 km². Il n'y a pas d'études comparables en milieu marin dans lequel les grandes espèces sont nombreuses (poissons, mammifères, reptiles). Ces grandes espèces et en particulier les espèces prédatrices pourraient être utilisées comme indicateurs de l'état des zones protégées. Certaines espèces effectuent de très vastes migrations, en dehors des zones protégées. Ainsi, les populations de langoustes porcelaine (*Panulirus ornatus*) du parc national de la Grande Barrière australienne, qui est pourtant l'un des plus vastes du monde (348 700 km²), vont pondre dans le golfe de Papouasie-Nouvelle-Guinée en zone non protégée où elles font l'objet d'une pêche intensive par les papous et les australiens (RICHER DE FORGES & LABOUTE, 1996). Une telle situation ne peut qu'affaiblir à long terme les stocks de la zone protégée. Or, l'intérêt de la création de réserves est la préservation des écosystèmes et des espèces qu'elles contiennent de façon durable, sinon définitive.

Dans le domaine de la conservation, les résultats de la biogéographie insulaire pourront être utilisés pour définir la taille optimale d'une réserve et évaluer s'il vaut mieux créer une seule

grande aire protégée plutôt que plusieurs petites (SLOSS = Single Large or Several Small). Les deux positions présentent de bons arguments : une grande réserve protège bien la plupart des petites espèces et permet un bon maintien d'une variété d'écosystèmes ; elle ne sera toutefois jamais assez grande pour résoudre les problèmes migratoires. La théorie de la biogéographie insulaire serait plutôt en faveur de plusieurs petites réserves judicieusement choisies qui protégeraient non seulement des écosystèmes mais certaines zones de reproduction importantes pour les animaux migrants. Par ailleurs, répartir la protection en plusieurs zones géographiques est une garantie contre une atteinte régionale de l'environnement (ne pas mettre tous ses oeufs dans le même panier). Cependant, le fait de fragmenter une réserve en plusieurs morceaux disjoints pose des problèmes de frontières. Les zones de contact entre réserve et non-réserve sont multipliées et les risques également. Devant ces désaccords, SHAFER (1990) recommande pour la zone tropicale qui présente une grande diversité, particulièrement menacée d'extinction dans les îles, de créer le plus de réserves possible et les plus grandes possibles.

En milieu marin où les conditions hydroclimatiques sont plus stables qu'en milieu terrestre et où beaucoup d'êtres vivants ont une diffusion larvaire planctonique le choix de la dimension optimale d'une réserve se fera pour protéger un ou plusieurs écosystèmes. Cependant, beaucoup de réserves "marines" ont dans leur périmètre des îlots ou une marge littorale terrestre et c'est dans cette zone d'interface terre-mer que la biodiversité est la plus menacée. L'impact de l'homme sur les zones littorales a tendance à morceler les milieux et à généraliser le phénomène d'insularité des peuplements.

Prédictions des extinctions :

Des estimations ont été faites par REAKA-KUDLA (1997) pour savoir combien d'espèces associées aux récifs coralliens pouvaient s'éteindre lorsque ceux-ci étaient détruits. Cet auteur postule que la connaissance actuelle des espèces associées aux récifs ne dépasse pas 10 % de la réalité et que beaucoup de petites espèces ont une dispersion larvaire réduite. Considérant que 10 % de la superficie récifale planétaire est détruite et que 30 % est sérieusement menacée (WILKINSON, 1992), l'auteur estime alors le nombre d'espèces éteintes par l'action humaine à 2400 et prévoit pour les 40 prochaines années l'extinction de 17 000 espèces ! Ces chiffres énormes et inquiétants situeraient l'érosion spécifique au même niveau que les grandes extinctions des temps géologiques en un temps beaucoup plus court (PAIN, 1996). Cette interprétation catastrophiste de la destruction des écosystèmes récifaux est toutefois sujette à caution. Ce n'est pas parce qu'un récif disparaît que les espèces qu'il abrite s'éteignent. Sauf exception les espèces ont une répartition géographique suffisamment vaste pour survivre. Il est vrai cependant que l'on a une très mauvaise connaissance des espèces cryptiques de l'écosystème récifal et en particulier des groupes fixés (spongiaires, bryozoaires, ascidies, hydriaires) et qu'il y a une lacune dans l'évaluation de la diversité spécifique entre l'échelle stationnelle (m^2) et l'échelle régionale ($10^3 km^2$).

Ce genre d'interprétation catastrophiste des conséquences de la destruction des récifs coralliens avait déjà été critiqué par GRIGG (1991) qui parle des "Cassandra de l'écologie". Ce dernier critique l'attitude peu scientifique de nombreux chercheurs qui crient à la catastrophe écologique par effet de mode. Cela a été le cas pour les explosions de populations d'*Acanthaster* et l'est encore pour les phénomènes de blanchissement (ROUGERIE *et al.*, 1992).

- conclusions et recommandations pour les réserves marines

Les bases théoriques des phénomènes d'insularité et de population minimale sont extrêmement ténues et bien souvent empiriques. De plus, la majorité des exemples portent sur l'écologie terrestre des vertébrés. Il est donc des plus hasardeux de vouloir appliquer directement ces concepts aux milieux insulaires marins d'une part et à un large spectre d'invertébrés dont on ne connaît pas bien la stratégie de reproduction et la dispersion larvaire d'autre part. La seule règle qui semble valable est l'augmentation du nombre des espèces avec la superficie. Il conviendra donc de prévoir des réserves de grandes dimensions pour que leur protection à long terme soit effective sur tous les êtres vivants. Cela rejoint le principe de précaution avancé à la conférence de Rio : il faut créer de grandes réserves même si nous n'avons pas de connaissance exacte de ce que l'on protège, d'une part par manque de modèle théorique et surtout parce que les inventaires sont très incomplets. En dehors des régions tempérées où la diversité spécifique est faible et la densité des chercheurs est forte depuis de nombreuses décennies, les connaissances sur la répartition spatiale de la diversité sont inexistantes. Dans l'Indo-Pacifique, il existe quelques informations sur la biodiversité à l'échelle stationnelle (quelques m²) et d'autres déjà moins précises à l'échelle régionale (faune de la GBR, de l'Atoll d'Enwetak, des îles Hawaii, de Nouvelle-Calédonie...). Par contre les inventaires à mésoéchelle (100 km²), qui est celle de nombreuses réserves et celle de nombreux impacts anthropiques sont presque inexistantes. Un effort est actuellement réalisé pour dresser des inventaires par pays, par régions et par îles afin de mieux gérer la biodiversité localement et globalement (MARAGOS *et al.*, 1995).

2.2.4 - Les Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF)

Parmi les éléments nécessaires au Ministère de l'Environnement, pour pouvoir proposer des règles de protection du patrimoine naturel et organiser une gestion durable, une description précise des écosystèmes est primordiale. En 1982, le Secrétariat de la Faune et de la Flore de France du MNHN (Muséum national d'Histoire naturelle) a donc entrepris de dresser l'inventaire des Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF). Une typologie des habitats a été définie et un inventaire national des zones particulièrement

intéressantes dans chaque région a été dressé. Ces Zones, définies sur des critères scientifiques, sont utilisées pour définir "une politique de conservation, de gestion et de valorisation du patrimoine naturel" (DAUVIN, 1994). Pour les milieux terrestres 13600 ZNIEFF ont été définies et concernent le territoire métropolitain et les DOM.

Pour pouvoir appliquer cette méthode au littoral, des ZNIEFF-MER ont été décrites depuis 1988. A la base de toute description d'une ZNIEFF, on trouve : une description des biotopes, une liste d'espèces remarquables, une cartographie. La description doit comporter toutes les informations géomorphologiques, sédimentologiques et hydroclimatiques ainsi que les influences anthropiques. La liste des espèces contient celles qui sont protégées, exploitées ou menacées et pour chacune les principales connaissances sur leur biologie et la répartition des populations. La typologie des milieux englobe toute la zonation des biocoenoses, du supra au circalittoral.

La description de ces biocoenoses et les inventaires taxonomiques qui leurs sont associés bénéficient des nombreux travaux antérieurs réalisés par les naturalistes et les écologistes. La tâche est également simplifiée du fait de la faible diversité spécifique des eaux tempérées européennes. En zone intertropicale et plus particulièrement dans l'Indo-Pacifique, ce type de démarche est en cours pour les "Départements et Territoires d'Outre Mer" et envisagé pour la Polynésie Française. Cette classification sera très bénéfique mais sa réalisation se heurtera à des difficultés supplémentaires : la fréquente disposition des peuplements en mosaïque et surtout à une diversité spécifique très supérieure et beaucoup moins bien étudiée. Une telle typologie a déjà été entreprise pour les différents récifs coralliens mais s'est contentée de dresser un inventaire bilingue (français-anglais) des différents types de récifs rencontrés dans le monde (CLAUSADE *et al.*, 1971 ; BATTISTINI *et al.*, 1975). L'aspect cartographique des principales biocénoses que sont les récifs, les herbiers de phanérogames et les mangroves a été entrepris au niveau international par le World Conservation Monitoring Centre (WCMC).

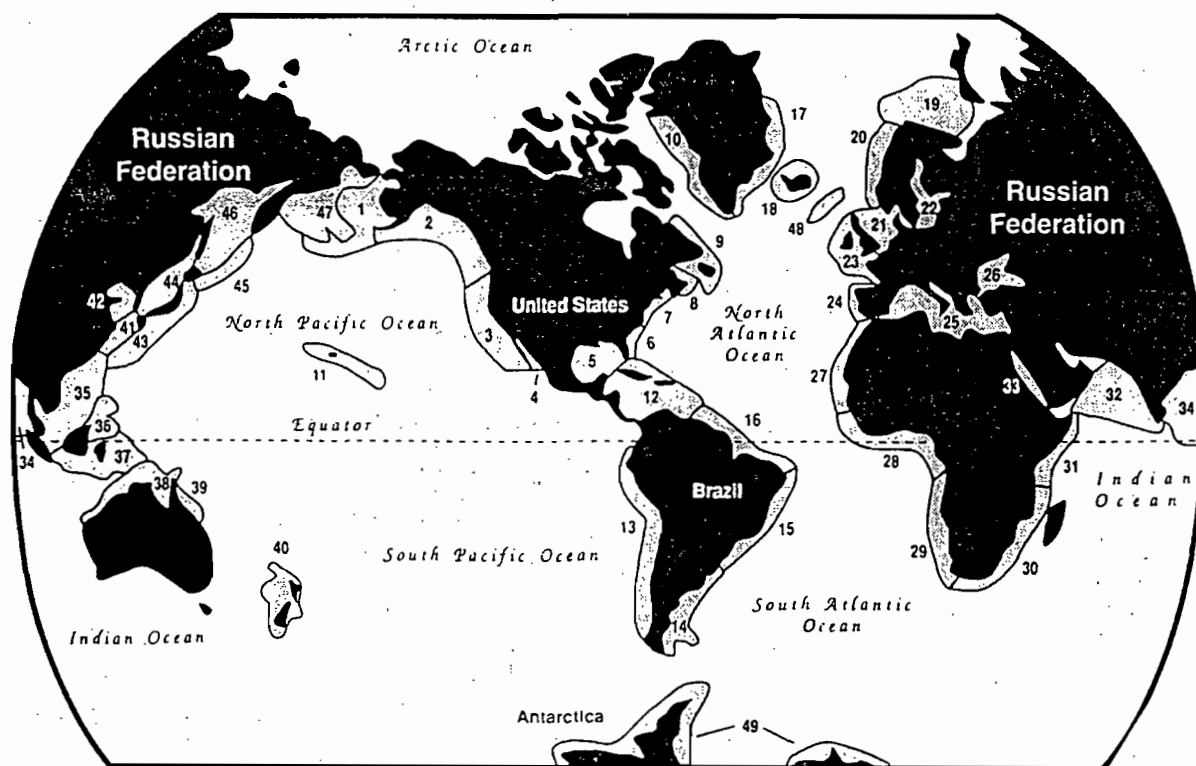
Une typologie des milieux tropicaux en vue de leur protection et d'une exploitation durable est donc possible même si le niveau de connaissance sur la biodiversité spécifique et les espèces remarquables est loin d'atteindre celui des côtes de France.

2.2.5 - Concept de "Large Marine Ecosystem" (LMEs)

La notion de "Large marine Ecosystem" est apparue à la suite des programmes de conservation des grandes espèces de mammifères marins, de tortues ou de grandes espèces de requins. Pour arriver à protéger valablement ces espèces à vastes répartition sur le long terme, il devient nécessaire de protéger de vastes zones englobant plusieurs écosystèmes (SHERMAN *et al.*, 1993). Au lieu de s'attacher à la protection d'un écosystème particulier, c'est tout un système qui est pris en compte. Le milieu corallien sera vu comme la somme des écosystèmes de récifs, de mangroves et d'herbiers d'une région. Les changements au sein d'un de ces vastes

écosystèmes seront suivis par des méthodes classiques de prélèvements et par la désignation d'espèces indicatrices pour l'étude des pollutions.

Les LMEs sont des régions de l'océan assez grandes (> 200 000 km²) comprenant une portion de côte avec leurs estuaires et leurs plateaux continentaux ainsi que les systèmes de courants côtiers au sein des masses d'eau. Les frontières entre les LEMs sont souvent imprécises puisqu'elles dépendent de phénomènes hydrologiques (ALEXANDER, 1993). 49 zones de LMEs ont été définies (Fig. 21) en fonction de leurs caractéristiques bathymétriques et hydrologiques, de leurs ressources vivantes et des populations qui en vivent. C'est dans ces zones que se produisent les principales perturbations de la biodiversité, les pollutions et les surexploitations. Les LMEs ne sont pas purement marins puisqu'ils prennent en compte les zones littorales au sens large soumises aux apports terrigènes par les rivières et aux pollutions continentales. Ainsi, il est clair que la mort des récifs coralliens aux îles Philippines ces dernières années est la conséquence de la déforestation loin à l'intérieur des terres et de l'hypersédimentation qui en a résulté (McINTYRE, 1993).



- | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1. Eastern Bering Sea | 14. Patagonian Shelf | 27. Canary Current | 40. New Zealand Shelf |
| 2. Gulf of Alaska | 15. Brazil Current | 28. Guinea Current | 41. East China Sea |
| 3. California Current | 16. Northeast Brazil Shelf | 29. Benguela Current | 42. Yellow Sea |
| 4. Gulf of California | 17. East Greenland Shelf | 30. Agulhas Current | 43. Kuroshio Current |
| 5. Gulf of Mexico | 18. Iceland Shelf | 31. Somali Coastal Current | 44. Sea of Japan |
| 6. Southeast US Continental Shelf | 19. Barents Sea | 32. Arabian Sea | 45. Oyashio Current |
| 7. Northeast US Continental Shelf | 20. Norwegian Shelf | 33. Red Sea | 46. Sea of Okhotsk |
| 8. Scotian Shelf | 21. North Sea | 34. Bay of Bengal | 47. West Bering Sea |
| 9. Newfoundland Shelf | 22. Baltic Sea | 35. South China Sea | 48. Faroe Plateau |
| 10. West Greenland Shelf | 23. Celtic-Biscay Shelf | 36. Sulu-Celebes Seas | 49. Antarctic |
| 11. Insular Pacific - Hawaiian | 24. Iberian Coastal | 37. Indonesian Seas | |
| 12. Caribbean Sea | 25. Mediterranean Sea | 38. Northern Australian Shelf | |
| 13. Humboldt Current | 26. Black Sea | 39. Great Barrier Reef | |

Fig. 21. — Découpage géographique en "Large Marine Ecosystems" (d'après SHERMAN *et al.*, 1993).

La création des LMEs permet de réduire l'immensité océanique aux zones les plus menacées qui bordent les côtes et pour y focaliser les efforts d'études et de protection. Au sein de chacune de ces zones, l'objectif est d'appliquer la Convention pour la protection de la biodiversité. La priorité de réalisation est donnée aux LMEs les plus riches et les plus menacés : Mer de Chine du Sud, Mer de Chine de l'Est, Courant des Canaries, Courant de Benguela, Mer Rouge et Courant de Somalie. Toutes ces zones sont extrêmement productives, d'une grande richesse spécifique et abondamment exploitées.

Seule la zone de la Grande Barrière de Corail de la côte est australienne correspond à un littoral déjà protégé (KELLEHER, 1993). Sur les côtes du Pacifique, la création des LMEs a été commentée par MORGAN (1993) puis TANG et SHERMAN (1995).

Parmi les LMEs définis dans le monde, ceux qui concernent l'Indo-Pacifique sont : les îles Hawaii (11), le Courant des Aiguilles (30), le Courant de Somalie (31), la Mer d'Arabie (32), la Mer Rouge (33), la Baie du Bengal (34), le sud de la Mer de Chine (35), les mers de Sulu et des Célèbes (36), les mers d'Indonésie (37), le plateau continental du nord australien (38) et la Grande Barrière de Corail (39).

2.3 - La conservation de la biodiversité marine : les bases juridiques et administratives

2.3.1. - Le Conservatoire du Littoral :

En France, devant la pression démographique et la dégradation de certains rivages, il a été créé en 1975 un Conservatoire du Littoral. Le but de cet organisme est de protéger un "patrimoine de nature et de liberté" en France et dans les DOM. Depuis cette création, 45 000 ha ont été acquis et protégés, ce qui représente 340 sites, 620 km de rivages ou environ 10 % du littoral métropolitain : dunes, falaises, bois et forêts, marais, vasières, landes, maquis, criques, abers, îles et îlots. Ce Conservatoire est un établissement public de l'Etat qui poursuit deux objectifs, parfois contradictoires : protéger de façon définitive des milieux naturels fragiles et menacés tout en les laissant librement accessibles au public.

Sur le terrain, le Conservatoire dispose de 120 gardes chargés de la surveillance, du nettoyage et de l'entretien des sites. Certains s'occupent également d'accueil et d'animation et jouent un rôle pédagogique.

La mise en route et le fonctionnement de ce Conservatoire a nécessité la réalisation de plusieurs sondages d'opinions dans la population française. L'analyse de ces sondages est particulièrement intéressante pour connaître la perception de la nature et de la faune par le public et pour juger des mesures de protections à adapter aux vœux de la population humaine (BRAÏVE *et al.*, 1996).

Les enquêtes ont eu lieu en 1983, 1991 et 1994 et il s'avère que l'opinion public a changé sur plusieurs points importants et parfois d'étonnante façon. Ainsi, l'Etat français n'apparaît plus légitime, ni pour faire respecter la loi, ni pour garantir l'intégrité du territoire. Les associations, par contre, ont acquis une forte légitimité dans l'opinion dans le domaine de la protection. Le public reproche généralement à l'Etat un manque de sévérité dans l'application des réglementations.

L'enquête de 1994 qui portait sur la fréquentation du littoral apporte l'information suivante : la protection est vue beaucoup plus comme protection d'un milieu remarquable que comme protection d'un milieu sauvage. L'attachement à l'idée de protection reste donc un attachement de type patrimonial. 70 % des personnes interrogées s'intéressent à la sauvegarde des paysages alors que seulement 26 % se sentent concernés par la faune et la flore ; néanmoins 26 autres % considèrent que dans une zone protégée "la nature est rétablie dans son état originel".

Ce que le public recherche en visitant des portions du littoral protégé, c'est l'illusion du sauvage, une nature sans risques, apprivoisée. "La fiction est plus émouvante que la réalité" (BRAIVE *et al.*, 1996). Il ne faudrait pas croire à une sagesse populaire innée. Bien souvent les souhaits du public sont incohérents : il faudrait une nature à la fois sauvage et préservée et des aménagements pour la découvrir ; parmi les nuisances invoquées, 11 % citent le naturisme mais 1 % seulement les jet-skis ! Les auteurs de ces enquêtes pensent que la notion de nature dans les îles est encore plus caricaturale car s'y ajoute l'isolement. Il y a des "désirs contradictoires entre la demande de services, de confort et celle d'isolement et de virginité du site".

Il semble donc que l'image que les scientifiques se font de la nature et de sa protection ne coïncide pas avec celle du public à l'usage duquel ces réserves sont créées et qui participe à leur financement. Les collectivités locales ont intérêt à augmenter la fréquentation touristique et à faire de la nature un lieu emblématique de consommation. La notion de développement durable ne passera dans les faits que si les pouvoirs publics sont persuadés qu'il y va de l'intérêt économique des sociétés à long terme.

2.3.2 - Réglementations et structures régionales

2.3.2.1 - Le Programme Régional Océanien de l'Environnement (PROE)

Le PROE (en anglais SPREP), accueilli en 1978 au siège de la Commission du Pacifique Sud à Nouméa, est installé aux Samoa occidentales, à Apia, depuis 1992. C'est une organisation régionale créée par les gouvernements de 22 États et Territoires (États Fédérés de Micronésie, Fidji, Guam, Cook, Mariannes du Nord, Salomon, Kiribati, Nauru, Niue, Nouvelle-Calédonie, Palau, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Polynésie Française, Marshall, Pitcairn, Samoa Occidentales, Samoa Américaines, Tokelau, Tonga, Tuvalu, Vanuatu, Wallis et Futuna) auxquels sont associés, l'Australie, les États-Unis, la France et la Nouvelle-Zélande

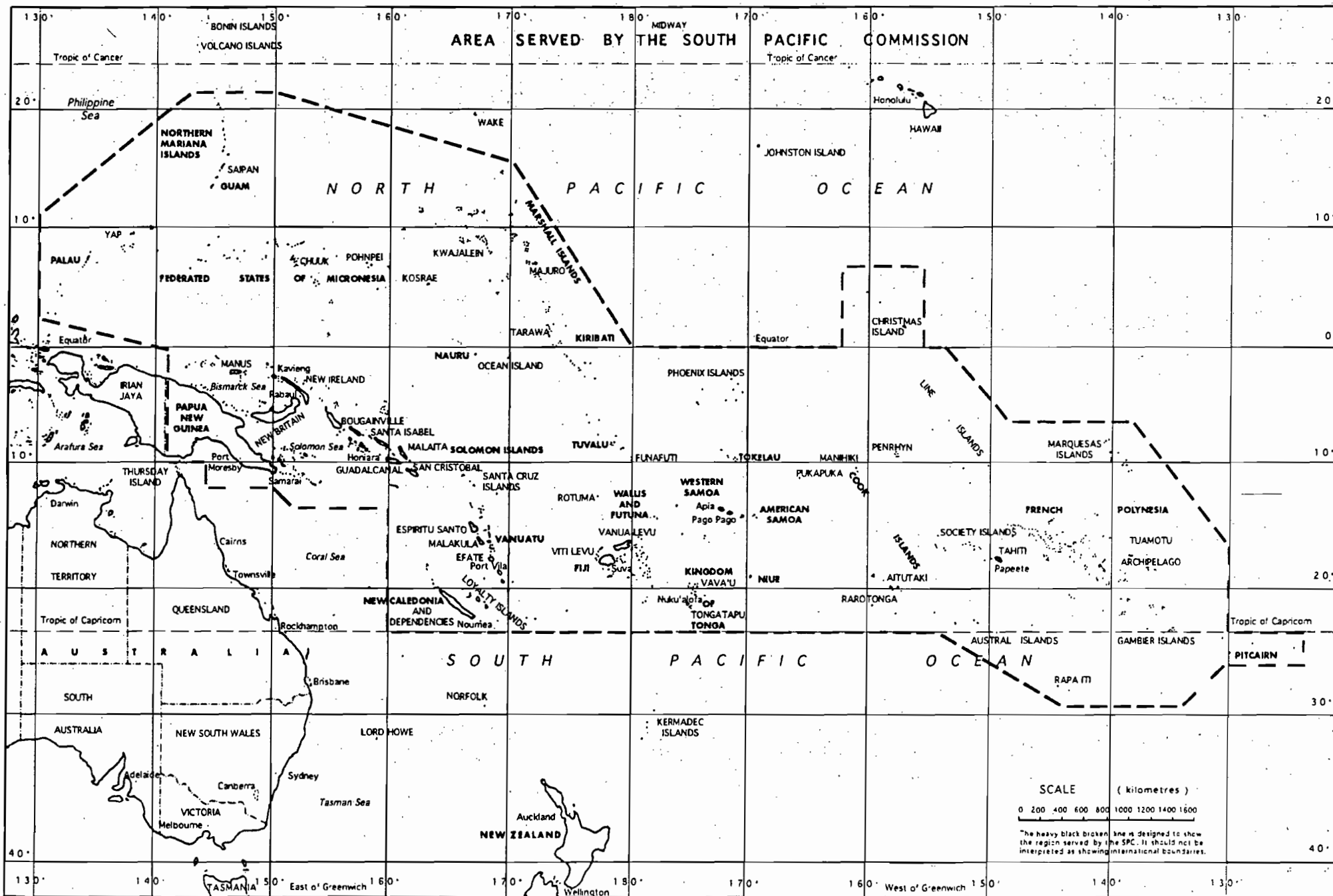


Fig. 22. — Zone concernée par la Commission du Pacifique Sud et champ d'action du PROE.

(Fig. 22). Il a été créé pour aider les Etats et les Territoires du Pacifique Sud à protéger et améliorer leur environnement pour les générations présentes et futures. Ses actions concernent : la conservation de la biodiversité et la gestion des zones côtières. Il reçoit une aide financière du PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement) et de diverses autres sources internationales ; en 1992 son budget était de $5,2.10^6$ \$ US pour des effectifs permanents d'une quarantaine de personnes ; il était de $5,9.10^6$ \$ US en 1994.

Il s'intéresse aux problèmes posés aux océaniens par les variations climatiques, la remontée des niveaux marins, la prévention et le contrôle des pollutions. Il essaye donc d'organiser des stratégies nationales de gestion de l'environnement et en particulier l'information et l'éducation en vue d'un développement durable. Les priorités des programmes pour l'environnement sont définies par des SNAGE (Stratégies Nationales de Gestion de l'Environnement ; en anglais NEMS) dans chacun des États. Ces plans ont actuellement été définis pour les Etats suivants : îles Cook, Etats Fédérés de Micronésie, îles Marshall, îles Salomon, Royaume des Tonga. La mise en oeuvre de ces stratégies nationales suppose la réalisation systématique d'études d'impact sur l'environnement pour tout projet de développement.

La préservation de la diversité biologique est l'un des thèmes récemment abordés compte tenu de la grande richesse spécifique et de la vulnérabilité des petits écosystèmes insulaires. Dans ce domaine, le PROE apportera son soutien aux projets concernant la collecte des données sur la biodiversité, la création de zones de conservation, la protection des espèces menacées et des écosystèmes, la promotion des connaissances et des techniques traditionnelles garantissant une utilisation durable des ressources.

Le PROE est le secrétariat de deux conventions régionales :

- La Convention sur la Conservation de la Nature dans le Pacifique Sud ou **Convention d'Apia** a été adoptée en 1976 pour protéger la nature, fut ratifiée par la France en 1988 et 4 autres pays, elle est entrée en vigueur en 1990. Axée sur la conservation des ressources terrestres dans les États du Pacifique (HUMBERT, 1995), son objectif est la création de zones protégées pour les écosystèmes naturels, des paysages et formation géologiques et du patrimoine culturel. Ces zones de parcs nationaux et réserves nationales devront protéger aussi bien les sites que les espèces. En dehors de ces zones protégées, les pays signataires s'engagent à sauvegarder les espèces de la faune et de la flore de toute exploitation inconsidérée et autres menaces pouvant aboutir à leur extinction. L'application de cette convention est laissée à la convenance des États.

- La Convention sur la protection des ressources naturelles et de l'environnement dans le Pacifique Sud ou **Convention de Nouméa** du 25 novembre 1986, entrée en vigueur en 1990 et ratifiée par la France et 11 autres États, a adopté les textes conformes à ceux des Nations Unies sur le droit de la mer. Cette convention met en exergue la valeur économique et sociale des ressources naturelles du Pacifique Sud et concerne toute l'étendue des zones économiques. Son but est la protection de l'environnement et la prévention de la pollution des mers. Cette convention prévoit la réalisation d'études d'impact avant le début de grands projets sur l'environnement. Tout d'abord placée sous la responsabilité de la CPS (Commission du Pacifique Sud), l'administration de la Convention de Nouméa est depuis 1991 du ressort du

PROE. Le plan d'action du PROE est directement élaboré et approuvé annuellement par les représentants officiels des pays membres. Le plan d'action pour la période 1991-1996 concerne les secteurs suivants :

préservation de la biodiversité ; changements planétaires ; planification et gestion en matière d'environnement ; gestion des ressources côtières et planification de leur utilisation ; gestion et prévention de la pollution ; planification des interventions d'urgence en cas d'incidents générateurs de pollution ; éducation et formation écologique ; information écologique ; préoccupations régionales en matière d'environnement.

Le PROE est également impliqué dans l'application d'autres conventions internationales : Convention de Londres sur la Pollution des Mers (1972), Convention cadre sur les changements climatiques (Rio, 1992), Convention sur la Diversité Biologique (Rio, 1992), Convention de Washington sur le Commerce International des Espèces Menacées (1975), Convention de Ramsar sur les zones humides (1975).

Lors de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED) à Rio de Janeiro, la stratégie globale d'action pour le développement durable faisant l'objet de "l'Agenda 21" a été approuvé par le PROE.

En 1993, le PROE a lancé le projet régional Population et Environnement qui doit s'attaquer en priorité aux problèmes démographiques particulièrement préoccupants dans certaines petites îles (Fig. 23).

L'un des actuels programmes du PROE s'intitule Programme de Conservation de la Biodiversité dans le Pacifique Sud (PCBPS). Il a défini des zones de conservation dans les pays suivants : Fidji, Etats Fédérés de Micronésie, Kiribati, Niue, Palau, Salomon, Tonga, Tuvalu, Vanuatu, Samoa occidentales. Dans le cadre d'un autre programme de conservation des ressources naturelles, des actions de protections des tortues, des oiseaux et des mammifères marins ont été menées.

Bien que ses objectifs soient louables, le PROE est une organisation complexe, politisée, noyée dans ses "plans d'actions" et ses "statuts juridiques" et qui pour l'instant est inefficace et curieusement absente des manifestations scientifiques concernant la biodiversité dans l'Indo-Pacifique (DIWPA, BIONET, congrès Marine and Coastal Biodiversity in the tropical Island Pacific Region, organisé en 1994 à Honolulu, Congrès du Pacific Science Association à Beijing en 1995, 8th Pacific Science Congress à Suva en 1997).

2.3.3 - Réglementations et structures internationales

2.3.3.1 - La Conférence de Rio et la notion de développement durable

Sensibilisés par l'évolution de la notion de crises climatiques dans l'opinion publique, les Etats se réunirent pour définir une stratégie internationale afin de réduire l'impact de ces changements sur la biodiversité. Il apparut ainsi la notion de développement durable qui doit répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures.

Cette notion s'est avérée très ambiguë car, si pour un biologiste il s'agit d'empêcher que l'environnement ne soit perturbé de façon durable, pour un économiste il s'agirait plutôt de permettre que les schémas de croissance des sociétés perdurent. Cette notion semble de toute façon incompatible avec la croissance démographique actuelle (10^{10} habitants en 2100), source de tous les déséquilibres et de toutes les pollutions.

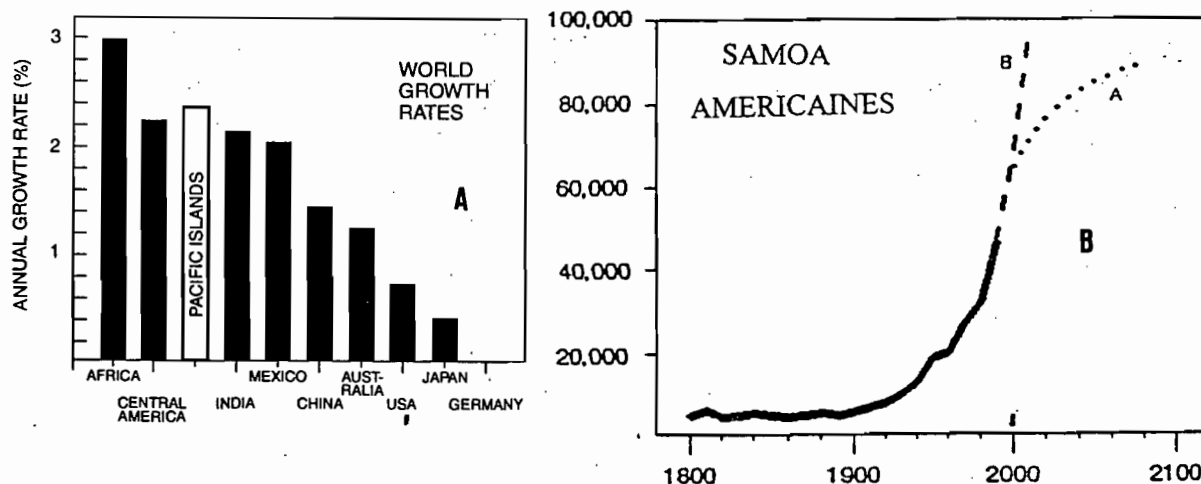


Fig. 23. — A : Taux de croissance démographique moyen dans le Pacifique Sud, comparée à ceux d'autres régions du monde ; B : Croissance démographique des Samoa américaines et projections, avec et sans application d'une planification familiale (d'après CRAIG, 1995).

Les sociétés humaines continuent à fonctionner comme si les ressources étaient inépuisables et la nature immuable à notre échelle temporelle. Vraies ou fausses, les alertes lancées par le "Global Change" et ses éventuelles conséquences sur l'élévation du niveau de la mer montrent clairement qu'il est temps pour l'humanité de réviser ces concepts ancestraux et de réfléchir sur son existence à long terme. La gestion économique et politique des sociétés est actuellement conduite à court et moyen termes alors que l'évolution de l'environnement se fait sur le long terme. La mise en évidence d'un "Global Change" concernant l'évolution physico-chimique et biologique de notre planète pourrait conduire dans l'avenir les économistes à prendre en compte des paramètres écologiques dans leurs schémas de développement (WATSON *et al.*, 1995 ; LEVEQUE & GLACHANT, 1992). Ainsi, la réduction de consommation des carburants fossiles est souhaitée aussi bien par les économistes que par les écologistes.

2.3.3.2 - La Convention sur la Biodiversité

La Convention sur la diversité biologique présentée au cours de la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement (Rio de Janeiro, 3-4 juin 1992) - Sommet planète Terre, vise à garantir la mise en oeuvre d'une action internationale efficace pour ralentir la destruction des espèces et des écosystèmes. Dans un premier temps, 57 Nations ont signé cette Convention dont ceux de la Communauté européenne. Les États-Unis ont refusé de signer pour ne pas freiner leur développement biotechnologique.

Les recommandations principales sont : chaque pays doit adopter des règles pour la protection des ressources biologiques ; assurer la conservation de la biodiversité ; utilisation durable des ressources naturelles.

Cette convention, très importante pour la conservation de la Nature, marque également une prise de conscience des Etats, de la valeur économique de la diversité biologique. Plusieurs articles concernent les "ressources génétiques" et les droits de propriété des substances naturelles extraites de la biodiversité et leur exploitation : protocole "bio-sécurité (organismes génétiquement modifiés) ; accès aux ressources génétiques ; partage des "bénéfices" issus de l'exploitation des ressources vivantes.

2.3.3.3 - La Convention de Ramsar

La Convention de Ramsar a été établie en 1971 pour protéger les "zones humides" qui sont globalement menacées. Cette convention est entrée en vigueur en France en 1986. Actuellement, 79 pays l'ont ratifiée et 592 sites sont inscrits sur la liste des zones protégées. Il s'agit principalement des eaux douces et saumâtres, et plus spécialement de celles qui abritent des populations d'oiseaux, mais les textes prévoient aussi la protection des zones marines peu profondes. L'article premier de la Convention de Ramsar définit ainsi les zones humides : "Au sens de la présente Convention, les zones humides sont des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres."

Si l'on suit cette définition à la lettre tous les récifs frangeants sont des "zones humides" ainsi que la partie supérieure des barrières récifales, le pourtour des îlots et le sommet des récifs isolés.

Chaque État doit proposer des sites répondant à cette définition à classer sur la liste des zones protégées par la Convention. La France peut et doit le faire pour tous les territoires sous sa juridiction, y compris les DOM-TOM. Effectivement il existe des sites classés en Guyane Française et à la Guadeloupe. En 1994, une demande émanant des ONG de faire protéger par la Convention de Ramsar un site de Nouvelle-Calédonie particulièrement riche en faune et flore endémiques (Plaine des lacs) n'a pas été suivi d'effet. Les autorités provinciales, responsables en matière d'environnement, ayant refusé de présenter ce dossier.

2.3.3.4 - La Convention de Washington

Dans le but d'éviter la raréfaction ou la disparition des espèces animales ou végétales sauvages, la Convention de Washington fut signée le 3 mars 1973 (ratifiée par la France en 1978). Cette convention, connue sous le nom de C.I.T.E.S (Convention on the International Trade of Endangered Species), définit des règles concernant le commerce international des

espèces sauvages. Les espèces protégées par la réglementation C.I.T.E.S sont classées en trois annexes correspondant à leur degré de rareté, à leur vulnérabilité et aux menaces qui pèsent sur elles.

- L'annexe I regroupe les espèces menacées d'extinction dont le commerce international est interdit (tortues marines, certains cétacés, certains oiseaux de mer, le coelacanth, certains coquillages...);

- L'annexe II concerne les espèces considérées comme menacées mais dont le commerce international reste possible avec des permis établis par les pays exportateurs et importateurs (crocodiles, dugong, corail noir, coraux, stylastérides...);

- L'annexe III ne s'applique que sur demande d'un Etat à des espèces ne figurant pas dans les deux annexes précédentes.

Actuellement, l'annexe I concerne 600 espèces animales et 180 espèces de plantes et l'annexe II 2 500 espèces animales et 35 000 espèces végétales.

Le budget annuel du secrétariat de la C.I.T.E.S est de l'ordre de 6,5 millions de francs Suisses. Preuve, s'il en est, que la Nature a une valeur.

Les défauts du système :

- seul le commerce entre états signataires de la convention est réglementé (136 pays). Ce qui n'empêche pas le trafic d'espèces rares à l'intérieur d'un même pays (perruche d'Ouvéa);

- le fait qu'une espèce rare soit inscrite sur la liste C.I.T.E.S fait monter les cours auprès des trafiquants qui approvisionnent les collectionneurs.

- dans bien des cas les listes sont inadéquates. Ainsi, les bénitiers, dont la seule espèce menacée d'extinction est *Tridacna gigas*, les autres montrant seulement une réduction des stocks exploités, sont tous inscrits en annexe II. Par contre, diverses espèces de volutes, plus vulnérables, n'y figurent pas. Aucun Etat n'ayant probablement jugé utile d'en faire la demande.

- des spécimens d'une espèce élevée en captivité ne pourront être commercialisés s'il s'agit d'une espèce inscrite en annexe I (cas de la tortue verte, *Chelonia mydas*), alors que cet élevage ("ranching") permettrait peut-être de diminuer la pression de pêche sur le stock sauvage et de faire du repeuplement. Un risque certain de braconnage est mis en avant pour interdire le commerce de la chair et de l'écaille de tortue puisqu'il serait difficile de distinguer sur le marché l'origine réelle de la marchandise. Actuellement, les antiquaires, qui utilisent l'écaille pour la restauration de certains vieux objets (meubles, boîtes...) essayent de jouer la carte du "sauvetage du patrimoine historique" pour obtenir des dérogations.

- certains États signataires de la convention n'ont pas la volonté ou les moyens de faire respecter les règlements. La biodiversité étant très inégalement répartie sur la planète, le plus grand nombre d'espèces protégées par la Convention de Washington se trouve dans la zone intertropicale. Pour les Etats de cette zone, pour la plupart peu développés, cette biodiversité constitue une ressource. Ils sont placés devant le dilemme développer ou protéger. Ils

choisissent souvent la rentabilité à court terme en vendant ou en laissant dégrader leur environnement plutôt que d'envisager un "développement durable". La vitesse d'érosion de la biodiversité est fonction du marché de l'offre et de la demande ; ce sont donc les acheteurs (marchands de bois, mineurs, chasseurs, collectionneurs...) des pays développés qui contribuent le plus à la disparition des espèces. Ce sont les pays qui ont mis en oeuvre cette convention réglementant le commerce des espèces sauvages qui finalement sont à l'origine de leur exploitation.

2.3.3.5 - The International Coral Reef Initiative (ICRI)

Les scientifiques concernés par les zones tropicales ont lancé l'idée d'initiative internationale sur les récifs coralliens. Cette action devrait conduire à long terme à la conservation, la restauration et la gestion des écosystèmes coralliens. Cette initiative reprend donc le concept de développement durable et la nécessité de conserver globalement les zones littorales en tant que réservoir de biodiversité. Le problème est planétaire puisque les récifs coralliens existent dans toute la ceinture tropicale et sont partout menacés. Le déclin des formations récifales est déjà constaté pour les récifs frangeants dont environ 10 % seraient déjà détruits et 30 % dans un état critique (WILKINSON, 1993).

Il faut comprendre "Coral Reef" au sens large, c'est à dire tous les écosystèmes des milieux coralliens, récifs, herbiers et mangroves. Le but de cette initiative est une amélioration des connaissances sur les écosystèmes et les espèces afin de protéger et conserver les zones coralliennes.

Une première réunion destinée à définir les objectifs généraux a eu lieu en mai 1995 aux Philippines. Des réunions régionales destinées à obtenir des gouvernements des mesures pour assurer la conservation des récifs et un développement durable sont prévues. La première s'est tenue en novembre 1995 à Fidji. Ces perspectives régionales concernent : l'Amérique tropicale, le Moyen Orient, l'Océan Indien, le Sud-Est asiatique, le Pacifique. Il a été annoncé en juin 1996 au 8ème congrès des récifs coralliens à Panama, que l'année 1997 serait déclarée "Year of the Reef".

Les recommandations faites par l'ICRI pour venir au secours des zones coralliennes concernent (CROSBY & MARAGOS, 1995) :

- des décisions gouvernementales pour un aménagement du littoral qui prennent en compte la conservation des récifs ; ces décisions devraient aussi inclure l'éducation pour une utilisation durable des récifs, la gestion des réserves marines, la réglementation de l'exploitation des ressources, l'organisation du tourisme et l'aménagement des zones récifales, le suivi des écosystèmes coralliens grâce à des procédés cartographiques et à des "bases de données".

- la création d'un système de réserves marines qui englobe au moins 20 % des zones récifales. L'idéal serait un grand nombre de petites réserves dispersées de quelques dizaines de

km² et quelques grandes réserves stratégiquement placées d'une superficie de quelques centaines à quelques milliers de km².

- l'amélioration des connaissances scientifiques par la création d'un réseau mondial de surveillance des récifs (Global Coral Reef Monitoring network).

L'ICRI devrait donc devenir un outil pour la conservation et l'usage durable des ressources marines en zone corallienne.

2.4 - La conservation de la biodiversité marine : les aires protégées

Dans un guide des zones protégées d'Océanie, l'UICN a recensé les principales caractéristiques écologiques des différents archipels du Pacifique et les différentes manières dont les États ont tenté de limiter l'impact du développement des sociétés humaines sur l'environnement (PAINE, 1991). Même dans un pays peu peuplé et aux populations respectueuses de la Nature, les réserves marines sont très récentes. La première réserve marine de Nouvelle-Zélande date de 1977 et protège 500 ha de rivage et de fonds sous-marins (BALLANTINE, 1991). En Nouvelle-Zélande, il a été proposé qu'au moins 10 % des zones littorales soient mises en réserves et donc 90 % laissées pour l'exploitation et l'aménagement, l'idéal étant que ces 10 % soient répartis tout autour du pays et prennent en compte tous les types de biotopes.

Les raisons qui conduisent les sociétés à créer des réserves sont diverses :

- esthétiques et morales : pour le plaisir d'observer une nature intacte et la satisfaction de la transmettre aux générations futures ;

- ludiques et récréatives : le public se rend dans une réserve pour se distraire, voir des espèces et des milieux particuliers difficilement observables ailleurs. La réserve devient le seul endroit où l'on est hors d'atteinte du développement ;

- éducatives : une réserve permet de sensibiliser les jeunes à la diversité du vivant et fournir un complément indispensable aux connaissances théoriques ;

- sauvegarde des espèces permettant le repeuplement d'autres zones surexploitées. Toutefois, on se pose rarement la question de l'aire minimale à protéger pour que cet objectif soit atteint ;

- protection du patrimoine d'habitats particuliers ou d'espèces rares.

2.4.1 - Les réserves marines

Parmi la diversité des cas existant, deux exemples de pays développés dans lesquels des réserves marines en zone tropicale ont été créées peuvent être comparées à la situation de la Nouvelle-Calédonie : les îles Hawaii, aux petites îles volcaniques relativement très peuplées et aux récifs coralliens réduits ; l'Australie, avec la plus grande formation récifale du monde bordant un immense continent sous-peuplé.

2.4.1.1 - Îles Hawaii :

L'archipel des îles Hawaii résulte de l'activité volcanique liée à un point chaud actuellement situé au niveau de l'île Hawaii et du mouvement SE-NO de la plaque Pacifique (MENARD, 1986 ; MacDONALD *et al.*, 1990). L'Atoll de Midway, le plus ancien, est daté de 27 + ou - 0,6 M.A. alors que l'île la plus jeune est Hawaii avec 0.8 M.A. Cet alignement d'îles constitue un état des Etats Unis d'Amérique pour lequel une abondante littérature a été consacrée à l'environnement, à l'histoire naturelle et aux espèces marines en particulier (CARLQUIST, 1980 ; KAY, 1994 ; ELDREDGE & MILLER, 1995). Elles couvrent une superficie totale de 16749 km² réparties en 8 îles principales dont l'île Hawaii est la plus grande (10451 km²) mais dont la plus peuplée est Oahu (1600 km²) où se trouve la capitale Honolulu (Fig. 24). La biodiversité de ces îles très isolées s'étendant sur 2300 km entre Hawaii et l'atoll de Kure se caractérise par un taux élevé d'espèces endémiques.

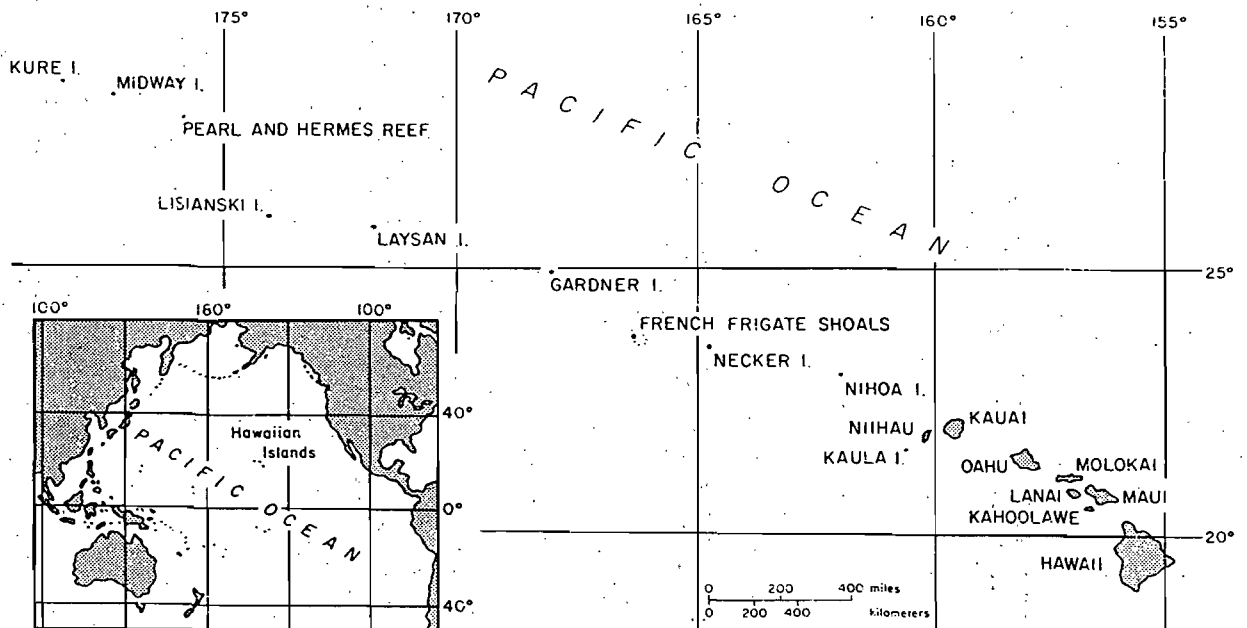


Fig. 24. — Archipel des îles Hawaii.

Une législation très complète protège l'environnement : Federal Land Policy and Management Act de 1976 pour la faune et la flore terrestre, Fish and Wildlife Act de 1956 et Coastal Zone Management Act de 1972 pour la partie marine. Par ailleurs le "Endangered Species Act" de 1973 protège les espèces.

Le Parc National d'Hawaii fut créé le 1er août 1916 sur les îles Hawaii et Maui. Le Hawaii Natural Area Reserves System fut établi pour : "preserve in perpetuity specific land and water areas which support communities, as relatively unmodified as possible, of the natural flora and fauna, as well as geological sites of Hawaii". L'objectif principal des multiples zones de réserves est la protection de la faune et de la flore terrestre ; celles-ci incluent parfois des zones

côtières protégeant par exemple une zone de dunes où pondent les tortues vertes (Mo'omomi sur l'île Moloka'i).

Les récifs coralliens sont bien développés mais présentent une faible richesse spécifique (43 espèces) ; c'est là que l'on trouve le plus fort pourcentage d'endémisme chez les scléractiniaires (GRIGG, 1983 ; VERON, 1995).

Le Hawaiian Islands National Wildlife Refuge créé en 1966 couvre 122 443 ha de zone marines dont les récifs coralliens les plus septentrionaux du Pacifique (27°50'N). Cette réserve inclut aussi bien des rochers ou îlots volcaniques que des atolls coralliens (Pearl et Hermes) ou des bancs coralliens (French Frigate Shoals). Cette zone est fréquentée par des cétacés, des pinnipèdes (*Monachus schauinslandi*), la tortue verte et de nombreuses espèces d'oiseaux de mer, sternes, fous, puffins, frégates et albatros (*Diomedea albatrus*, *D. immutabilis*, *D. nigripes*). Environ 99 familles comprenant 585 espèces de poissons y ont été recensées (PAINE, 1991 ; PYLE, 1995 ; RANDALL, 1995).

Les formations coralliennes des îles habitées sont fortement perturbées par des facteurs anthropiques. La déforestation liée au développement agricole a provoqué l'érosion des sols et entraîné une turbidité des eaux néfastes à la croissance corallienne. L'effet de la pollution urbaine se fait également sentir dans certaines baies (Kaneohe Bay) (SMITH *et al.*, 1973). L'aménagement du littoral a été le principal facteur de destruction récifale dans certaines zones, en particulier lors de la construction des ports, chenaux, aéroports. Malgré les bonnes connaissances scientifiques sur la faune marine des îles Hawaii et l'arsenal de mesures conservationnistes, il n'existe pas de véritable programme d'aménagement qui évalue les causes et les conséquences du déclin des récifs. Une vingtaine de zones marines sont protégées aux Hawaii mais les zones récifales ne le sont pas suffisamment (MARAGOS, 1993).

2.4.1.2 - Australie (GBRMPA : Great Barrier Reef Marine Park Authority) :

La côte est australienne est bordée sur près de 2000 km de récifs coralliens qui marquent la limite de son plateau continental et définissent un immense lagon (MAXWELL, 1968). Il s'agit du plus grand ensemble corallien du monde et même si les récifs ne forment une réelle barrière qu'au nord de Cairns (Fig. 25), ces formations ont reçu la dénomination de Grande Barrière de Corail (Great Barrier Reef ou GBR). C'est sur cette côte que les premières descriptions scientifiques des récifs coralliens ont eu lieu, en particulier lors de la Great Barrier Reef Expédition dirigée par Sir Maurice Yonge en 1928-29 (YONGE, 1931).

En 1972, l'UNESCO classait la GBR "patrimoine de l'humanité" en l'inscrivant sur la "World Heritage List". En 1975, le parc national destiné à protéger toutes les formations récifales de la côte est était créée sous le nom de Great Barrier Reef Marine Park Authority (GBRMPA). Cette gigantesque "réserve" est sous la double tutelle du Gouvernement australien et du Gouvernement de l'État du Queensland, ce qui ne va pas sans créer quelques désaccords sur l'application des règlements. La zone sous juridiction du GBRMPA s'étend de Fraser Island

au sud (24°30'S) jusqu'au Cap York au nord (10°41'S) et couvre une surface de 348 700 km² (Fig.25). Elle comprend environ 2 500 récifs de taille allant de 100 à 10 000 ha et 71 cayes de sables. Les très nombreux travaux scientifiques traitant de l'écologie de la GBR ont été recensés dans l'ouvrage bibliographique de FRANKEL (1988).

Dans ce parc se déroulent des activités touristiques, de pêche et un trafic maritime important. Différentes sections géographiques ont été définies permettant une gestion régionale : les quatre grandes sections sont, Northern section (83 000 km²), Cairns section (35 000 km²), Central section (77 000 km²), Capricorn section (137 000 km²) et une "petite" zone entourant le groupe des îles Capricorn, Capricornia section (11 800 km²) définie en 1979. La GBR contient pratiquement tous les modèles de formations récifales, récifs frangeants autour d'îles hautes ou côtiers, bancs submergés, cayes de sable, récifs barrières avec des zones sous influences terrigènes et d'autres totalement océaniques, les récifs les plus proches étant situés par endroit à plus de 100 km de la côte. Les conditions environnementales sont variables d'un bout à l'autre de la réserve, les récifs du sud étant baignés d'eaux tempérées alors que la partie nord subit l'influence des eaux équatoriales. Par ailleurs, le marnage atteint par endroit plusieurs mètres provoquant des courants très violents (>8 noeuds), en particulier dans la zone proche du Détroit de Torrès. Les apports d'eaux douces et d'éléments terrigènes sont variables du sud au nord. Dans l'ensemble, ce sont plutôt les sections centrale et sud qui subissent l'influence de grands fleuves bien que le lagon y soit plus large que dans la section nord (Fig. 25). La largeur du plateau continental varie de 290 km au large du Cap Townshend à 24 km près du Cap Melville et l'on y trouve les traces fossiles des barrières récifales qui ont suivi l'évolution des niveaux marins liés aux fluctuations climatiques (HOPLEY, 1982).

L'intérêt touristique pour les milieux coralliens a augmenté d'un facteur 40 entre 1940 et 1980 et atteignait 140 000 visiteurs par an en 1984. De nombreuses structures hôtelières se sont développées, proposant des sorties sur les récifs en bateau ou même en submersible. Une tentative a même été faite d'implanter un hôtel flottant directement sur le récif au large de Townsville.

2.4.1.3 - Vers la création de réserves halieutiques :

Au cours du Symposium d'halieutique de Vancouver de février 1996 sur le thème "Reinventing fisheries management", les experts, halieutes et économistes, sont parvenus à la conclusion que la création de zones totalement interdites à la pêche présenterait de nombreux avantages :

- maintien d'une biomasse cryptique contribuant à la productivité du stock exploité ;
- la biomasse mise en réserve serait une assurance contre les erreurs de gestion des stocks ;
- la biodiversité globale de l'écosystème serait préservée ;
- ces réserves constitueraient des laboratoires pour les études d'halieutique comparée.

La gestion de telles réserves serait relativement simple puisqu'il suffirait d'établir un contrôle faisant respecter l'interdiction totale de pêche. Par ailleurs, les écosystèmes ainsi reconstitués pourraient se prêter au développement d'un écotourisme (FONTENEAU, 1996).

Il semble que les nombreux travaux d'halieutique et les modèles de gestion des stocks établis pour les pêcheries tropicales aient rarement (sinon jamais ?) eu d'application pratique et que les stocks soumis à un effort de pêche très élevé se soient maintenus parce qu'il existait des zones naturelles de réserves.

2.4.2 - La protection des écosystèmes

Certains écosystèmes des zones tropicales ont été reconnus pour leur intérêt écologique et sont protégés pour eux même, indépendamment de toute délimitation géographique de réserves. C'est le cas des mangroves, des herbiers de phanérogames ou des récifs coralliens dans lesquels la pêche est réglementée ou interdite.

Pour effectuer une conservation efficace des herbiers il faut réaliser une cartographie précise permettant de suivre l'évolution des superficies occupées par les phanérogames et de leur densité. Pour ce faire, l'imagerie aérienne et satellitaire semble être un moyen privilégié (LEE LONG *et al.*, 1993). Les paramètres à suivre sur de longues périodes de temps sont la superficie totale, la biomasse, la diversité spécifique et le pourcentage de recouvrement du fond. Une méthode standard de suivi des herbiers a été proposée dans un projet conjoint entre les pays d'Asie du sud-est et l'Australie (ASEAN-Australia Marine Science project : Living Coastal Resources) par ENGLISH *et al.* (1994).

Pour les mangroves, les moyens de protection sont variables selon les États : aux Salomon la protection dépend d'une législation forestière qui est peu appliquée ; au Samoa Occidental, un traité sur la protection et l'aménagement de l'environnement signé en 1989 protège la mangrove (Lands and Environment Act) ; aux Fidji, toutes les mangroves avaient le statut de "Forest Reserve" de 1933 à 1975, ensuite elles furent exploitées et actuellement elles ne sont plus protégées ; en Nouvelle-Calédonie, les mangroves ne sont pas protégées et souffrent d'un aménagement du littoral destructeur.

Le principe de précaution adopté lors des discussions du Sommet de Rio va dans le sens d'une meilleure protection : faute d'avoir les connaissances scientifiques complètes permettant de comprendre l'évolution des écosystèmes, protégeons-les.

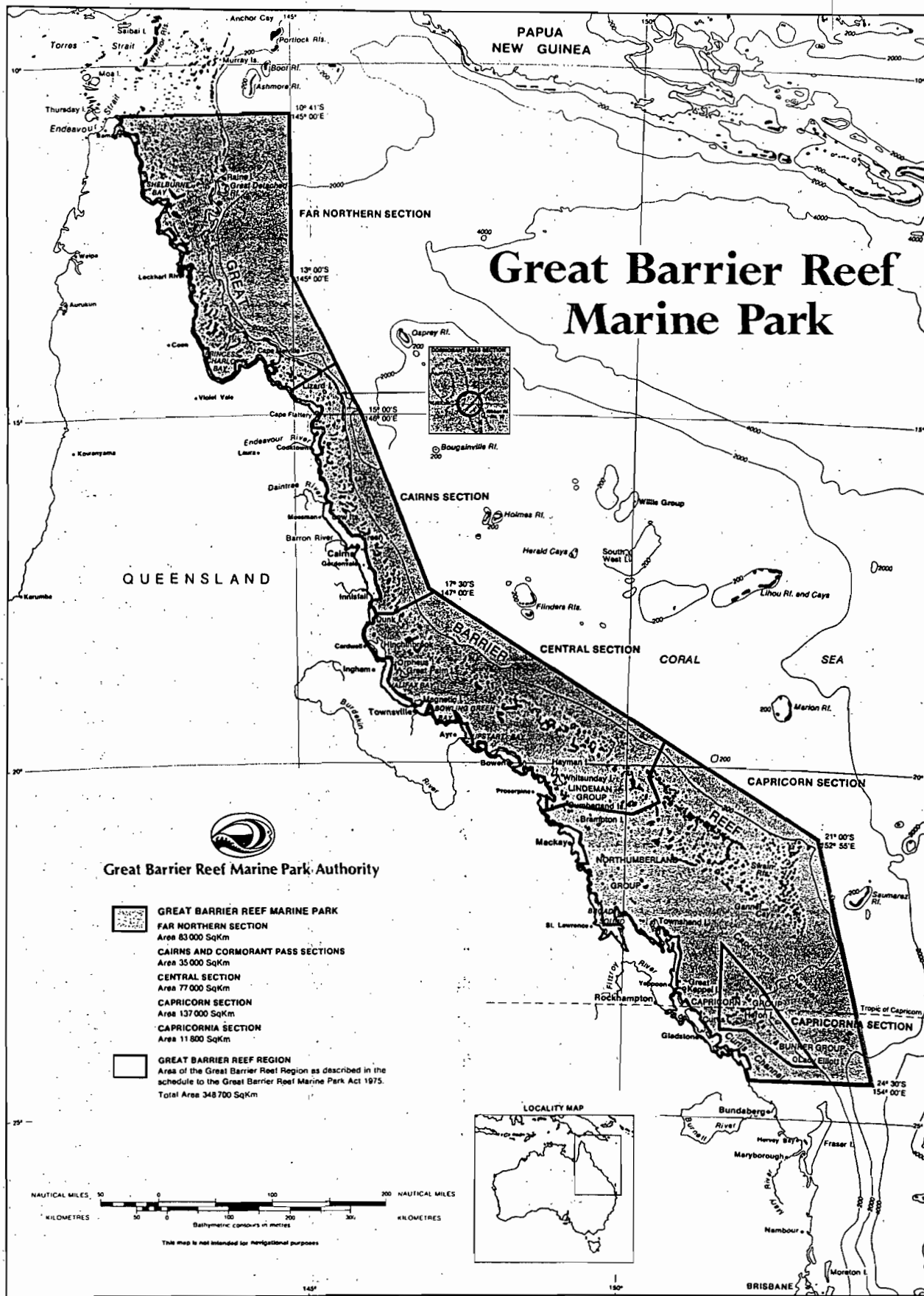


Fig. 25. — Le parc national de la Grande Barrière de Corail (GBR) sur la côte nord-est de l'Australie.

2.5 - Diffusion des connaissances et éducation

2.5.1 - La création de bases de données sur la biodiversité

Depuis quelques années, avec la vulgarisation et l'augmentation de la capacité des micro-ordinateurs, la notion de bases de données concernant le vivant est apparue. Il s'agit de saisir sur support informatique (disques magnétiques, CD-ROM...) les informations sur les espèces d'un écosystème, d'une région ou d'un archipel. Lorsque les espèces sont correctement identifiées par des taxonomistes, on obtient alors un outil très puissant pour faire des comparaisons biogéographiques, faire ressortir les associations d'espèces, les corrélations entre la présence des espèces et les caractéristiques écologiques des milieux et fournir les éléments de base à une gestion de l'environnement.

Des bases de données faunistiques et floristiques ainsi que des cartographies de certains écosystèmes (récifs coralliens, mangroves) commencent à voir le jour.

Le réseau international pour Diversitas in Western Pacific and Asia (DIWPA), coordonné depuis Tokyo, a pour objectifs de promouvoir les études sur la biodiversité en collaboration et les échanges d'informations dans l'ouest du Pacifique et en Asie. C'est un groupement régional (16 pays) issu depuis 1993 du programme international Diversitas sous l'égide de l'UNESCO. Les thèmes actuellement abordés sont les fonctions écologiques de la biodiversité, les mécanismes d'origine, de maintien et d'extinction des espèces, l'inventaire spécifique et la gestion de l'environnement, les programmes de conservation.

BioNET-International : Installé à Londres, c'est un réseau global de biosystématique constitué de plusieurs composantes régionales ou LOOPs (Locally Organised and Operated Partnerships). Son but est de mobiliser et maintenir les compétences et les ressources en systématique dans le monde pour que les nations puissent tenir leurs engagements pris lors du Sommet de Rio (Agenda 21 et Convention sur la diversité biologique). Les objectifs sont la création de moyens de communication et d'information, la formation de biosystématiciens et de techniciens, la réhabilitation des collections des Muséums d'histoire naturelle, le développement et l'utilisation de technologies nouvelles pour l'aide à l'identification.

WCMC : The World Conservation Monitoring Centre, établi à Cambridge depuis 1988 est une émanation de l'UICN et du PNUE (SPALDING, 1995). Il réalise des bases de données sur les écosystèmes du monde entier et en particulier des zones de mangroves et de récifs coralliens. Le point de départ de cette entreprise fut la réalisation des "Red Data Books" pour les espèces de différents groupes puis de "Listes des espèces menacées". Cet organisme collecte toutes les informations possibles sur les écosystèmes terrestres et marins afin d'enrichir d'énormes bases de données et de produire des cartes (échelles comprises entre 1/250 000ème et 1/50 000ème).

I'CLARM (International Center for Living Aquatic Resources Management), aux Philippines, a développé une base de données sur les poissons récifaux du Pacifique,

commercialisée sur CD-ROM (FROESE & PALOMARES, 1995) et une cartographie (ReefBase) concernant 6000 récifs coralliens (McMANUS *et al.*, 1995).

Une autre base de données (CoralBase) sur les espèces de coraux a été réalisée par l'Australian Institute of Marine Science et concerne 900 espèces (NAVIN & VERON, 1995).

Certaines bases sont développées spécialement dans un but de conservation de la nature. Les principales bases fonctionnelles concernent les espèces, les zones protégées et la cartographie de la biodiversité (mangroves, récifs coralliens, forêts humides...). La qualité de ces banques de données dépend de la constitution d'un réseau d'experts et du niveau d'exploration des zones considérées. En 1995, le WCMC disposait d'informations concernant 81 000 taxons végétaux et 27 000 animaux avec des fichiers spéciaux pour 6 000 espèces menacées et 12 000 espèces endémiques. Des fichiers très complets concernent les noms des taxons, l'origine de l'identification, les synonymes et les noms vernaculaires.

A l'heure où une volonté politique se manifeste à l'échelle internationale pour une conservation de la biodiversité en vue d'un développement durable, les bases de données biologiques apporteront les éléments d'une saine gestion. Ces outils sont cependant totalement dépendant de la qualité des informations taxonomiques saisies. Or, si tout le monde s'accorde à vouloir créer les outils, aucun Etat ne fait l'effort nécessaire pour former les taxonomistes indispensables au bon fonctionnement de ces ambitieux projets.

2.5.2 - Les S.I.G. (Systèmes d'Informations Géographiques)

Le principe de fonctionnement d'un SIG consiste à superposer plusieurs couches de données extraites d'une ou plusieurs bases de données dans le but de corréler ces diverses informations visuellement sous forme de cartes thématiques. Bien que ces systèmes soient en théorie très efficaces, les documents qu'ils produisent, aussi beaux soient-ils, ne sont que le reflet de la qualité des bases de données. Il est donc toujours nécessaire d'évaluer la qualité des documents produits par un SIG en se référant à la densité des observations et à leur fiabilité. Les aménageurs sont friands de cartes faciles à lire qui leur disent du premier coup d'oeil ce qu'il faut conserver et du même coup ce qu'ils peuvent sacrifier.

Aussi bien, les bases de données que les SIG, sont des outils de gestion de l'environnement très prometteurs. Encore faudrait-il que s'établisse un code de bonne utilisation.

2.5.3 - La réalisation de Guides faunistiques

Partant du principe que l'on protège mieux ce que l'on connaît, la description des espèces et des milieux conduit à réaliser des documents accessibles au grand public vulgarisant les connaissances acquises par les scientifiques. La plupart des études écologiques réalisées en milieu récifal ont donné lieu à des travaux de taxonomie permettant d'établir des inventaires faunistiques et floristiques : DEVANEY *et al.* (1987) pour l'atoll d'Eniwetak, RICHARD (1985)

pour la Polynésie Française. Une bonne identification au niveau spécifique est, en effet, indispensable à l'exploitation des données zoologiques et écologiques, notamment pour corréler la présence des espèces et les paramètres du milieu (sédiments, courants, distance de la côte ou des récifs), pour cartographier la répartition des espèces, et pour définir les communautés par les groupes d'espèces les plus fréquents. Cette fiabilité des identifications est également indispensable dans le cas de comparaisons biogéographiques (VECCHIONE & COLLETTE, 1996).

La faune benthique du sud-ouest Pacifique est encore très mal connue. L'inventaire et la description des espèces présentes est cependant un préalable nécessaire à la description des écosystèmes, à l'étude de leur évolution et à la gestion rationnelle du patrimoine, qu'il s'agisse d'exploitation des ressources vivantes ou de protection de l'environnement.

Les difficultés d'identifications des espèces récifales sont multiples : la diversité est grande, de nombreuses espèces ont été anciennement décrites et des groupes entiers demanderaient des révisions pour redécrire les espèces et éliminer les synonymes. La littérature scientifique fournissant les informations nécessaires aux identifications est très dispersée et peu d'efforts ont été fait pour synthétiser ces travaux sous formes de faunes régionales. Par ailleurs, la grande majorité des descriptions taxonomiques ne concerne que du matériel fixé et sont difficilement utilisable sur le terrain pour identifier du matériel frais.

Pour que la situation actuelle s'améliore, il faudrait que les Muséums jouent pleinement leurs rôle de conservation, d'identification et d'accessibilité des échantillons de références.

Dans l'Indo-Pacifique, les guides faunistiques permettant d'identifier la faune littorale ne sont pas nombreux et ne couvrent ni l'ensemble des îles ni l'ensemble des organismes marins. Les groupes les mieux documentés sont les poissons et les coraux, surtout sur la GBR australienne et aux îles Hawaii.

La Nouvelle-Calédonie fait aussi partie des zones où la faune a été bien échantillonnée et une série de guides est en cours d'édition. Réunissant les connaissances acquises au cours du programme LAGON à celles obtenus par les programmes antérieurs, SNOM, SMIB..., des guides faunistiques régionaux pour la Nouvelle-Calédonie ont été préparés.

Le premier guide publié dans la série "Faune Tropicale" concerne le groupe des échinodermes (GUILLE *et al.*, 1986). Il traite de 240 espèces des lagons parmi lesquelles 31 crinoïdes, 55 holothuries, 43 oursins, 54 étoiles de mer et 57 ophiures. La rédaction de chaque chapitre par un spécialiste présente sous forme de fiches pour chaque espèce : les caractéristiques morphologiques, les colorations, les notes écologiques et des remarques sur la distribution géographique. Chaque classe fait l'objet d'une introduction synthétique et d'une clef d'identification bilingue (français/anglais) valable pour la région.

Le deuxième guide de la série, publié en anglais, traite des ascidies (MONNIOT *et al.*, 1991). Ce groupe d'organismes benthiques fixés étant moins bien connus et d'une systématique difficilement utilisable par des non-spécialistes, la présentation du guide privilégie plutôt les données biologiques et écologiques. Actuellement, 11 familles comprenant 166 espèces ont été

recensées et décrites des lagons de Nouvelle-Calédonie. Toutes ne sont pas traitées dans le guide qui fournit cependant les éléments nécessaires pour séparer les ordres, les familles et reconnaître les espèces les plus caractéristiques de chacune d'entre elles. Au-delà des espèces de Nouvelle-Calédonie, ce guide apporte des informations sur la plupart des genres de l'Indo-Pacifique.

Plusieurs autres guides faunistiques sont actuellement en chantier, les manuscrits étant dans leur phase d'édition pour trois d'entre eux :

- le guide des spongiaires qui résulte des travaux de systématique réalisés à Nouméa au cours de trois "ateliers" organisés par le programme SMIB en 1991, 1992 et 1994. Environ 600 espèces d'éponges des lagons ont été recensées, parmi lesquelles une centaine seront décrites et illustrées dans le guide dont la parution est prévue pour 1996 (LEVI *et al.*, en préparation). Cet ouvrage collectif, fruit du travail des chercheurs de Nouvelle-Calédonie et des taxonomistes français, australiens et néo-zélandais, est très attendu par les écologistes de l'Indo-Pacifique, ce groupe zoologique étant par endroit un constituant majeur des peuplements ;

- le guide des gorgones qui traitera de 92 espèces, dont environ 80 sont décrites comme nouvelles pour la science, aura mis longtemps à voir le jour compte tenu du très petit nombre de spécialistes mondiaux. La biologie de cet ordre d'octocoralliaires coloniaux y sera détaillée et une présentation avec clefs et fiches permettra l'identification au niveau spécifique (GRASSHOFF & BARGIBANT, en préparation). Une abondante illustration en couleurs des espèces *in-situ* montrera les différentes morphoses résultant des conditions du milieu. La description des espèces avec les détails morphologiques mis en évidence par microscopie électronique à balayage ainsi que les synonymies seront publiées séparément ;

- le manuscrit du guide des mollusques nudibranches de Nouvelle-Calédonie était pratiquement terminé début 1993 et traitait de 380 espèces (RUDMANN & LABOUE, en préparation). La réalisation en octobre 1993 d'un atelier sur la biodiversité des mollusques des côtes nord-est et nord-ouest a permis la récolte d'une centaine d'espèces supplémentaires ! Cet exemple illustre bien la difficulté de décrire la diversité d'un milieu aussi riche et aussi peu connu.

Ces guides constituent une base de données fiables à l'usage du public et des écologistes. En effet, pour la première fois, ce sont les spécimens photographiés qui ont été étudiés par les taxonomistes, évitant ainsi les habituelles confusions, et la nomenclature utilisée est valide. La durée de vie de tels ouvrages se compte en dizaines d'années et concerne le plus souvent l'ensemble du sud-ouest Pacifique.

Grâce à cet ensemble de travaux, la Nouvelle-Calédonie devient l'une des régions du Pacifique la mieux échantillonnée et la mieux étudiée. Elle apparaît comme possédant une grande diversité spécifique. Seules des études biogéographiques permettront de dire si le grand nombre d'espèces nouvelles décrites au cours de ces études traduit la faible connaissance générale de la faune Indo-Pacifique en général ou une réelle originalité de cette région. Toutefois

d'importantes lacunes demeurent dans les connaissances zoologiques sur les groupes majeurs que sont les mollusques, les crustacés et les annélides polychètes.

Les principaux ouvrages généraux, utilisables pour identifier la faune Indo-Pacifique sont :

Sclérentaires (VERON, 1993) ; Echinodermes (GUILLE *et al.*, 1986) ; Mollusques (CERHNORSKY, 1972, ABBOTT, 1986) ; Crustacés (SAKAI, 1976, GRIFFIN & TRANTER, 1988, BARNARD, 1950) ; Ascidies (MONNIOT *et al.*, 1991) ; Poissons (RANDALL *et al.*, 1990).

2.6 - Pourquoi conserver la biodiversité ?

2.6.1 - Protection du patrimoine

L'espèce humaine, en accédant à un certain niveau de connaissance, a rompu avec les lois naturelles qui équilibrent la démographie des espèces au sein des écosystèmes. Cette prolifération perturbe les écosystèmes naturels et provoque une rapide érosion de la biodiversité. Il est du devoir des scientifiques de fournir aux décideurs les éléments permettant de limiter l'action néfaste des sociétés humaines.

Les sociétés développées essayent de s'autopersuader que la technique permettra de pallier les graves lésions apportées à l'environnement. La réalité est toute autre. Les extinctions d'espèces sont définitives et la destruction de certains écosystèmes l'est également à l'échelle humaine. Par ailleurs les mécanismes les plus simples à la base du fonctionnement du vivant sont encore hors de portée de la technologie (photosynthèse). Ainsi, malgré les progrès de la chimie, est-on incapable de fabriquer l'humus, indispensable au maintien du couvert végétal, sans demander de l'aide aux bactéries. La connaissance d'un génome ne permet pas de reconstituer un être vivant.

"Ingenuity can replace a whale-oil lamp with an electric light bulb, but not the whales we may hunt to extinction." (PIMM *et al.*, 1995).

2.6.2 - Pourquoi faut-il conserver la biodiversité spécifique ?

Au cours de son histoire, l'humanité (et en particulier le monde occidental) s'est octroyé le droit de coloniser et parfois d'exterminer des "peuplades primitives" avec l'idée plus ou moins avouée qu'il s'agissait d'autres espèces, pas tout à fait humaines (Indiens d'Amérique, Aborigènes d'Australie...). L'attitude qui prévaut actuellement au sujet de la biodiversité est très similaire. On ferme les yeux sur la dramatique disparition des espèces de la planète qui accompagne la destruction de certains écosystèmes sous prétexte de développement des sociétés humaines. Mais la disparition d'une espèce est au sens propre un génocide ! L'homme vit encore sur des restes de "mentalité prélogique" décrite par les préhistoriens et les ethnologues. Le comportement individuel et collectif est encore imbibé de schémas mythiques et religieux qui

ont pour effet de transcender l'espèce humaine par rapport à l'ensemble du tissu vivant de la biosphère qui a permis son émergence. L'homme se définissant comme supérieur aux autres espèces s'arroge le droit de dominer, d'asservir et bien souvent de détruire son environnement à des fins de profit. De même que la révolution copernicienne, en démontrant que la Terre n'était pas le centre de l'univers, a permis à l'homme de comprendre que sa position spatiale n'avait rien de privilégiée, la révolution darwinienne a montré que l'homme n'est qu'une espèce parmi des millions d'autres dans la biosphère. Il n'y est pas seulement inclus géographiquement mais a des liens de parenté avec tous les autres êtres vivants.

Au delà des avantages que l'homme retire de l'exploitation des ressources vivantes et de ceux que la future biotechnologie apportera, c'est pour des raisons éthiques qu'il faut protéger, autant que faire se peut, la biodiversité spécifique en sauvegardant les écosystèmes.

Ainsi, la protection des baleines est maintenant considérée comme naturelle par la plupart des Nations et l'arrêt total de la chasse est proche. Les raisons habituellement invoquées par les écologistes pour la défense de ces mammifères marins sont d'ordre éthique : conservation du patrimoine biologique pour les générations futures. Une nouvelle conséquence vient d'être mise en évidence et montre comment la perturbation anthropique de l'environnement peut avoir des effets lointains et de vaste ampleur : des chercheurs américains ont montré que lors de la mort naturelle d'un cétacé survient, sa dépouille coule rapidement et va se déposer dans les zones bathyales ou abyssales où elle devient source de matière organique pour le développement d'un écosystème benthique temporaire (>10 ans). De tels écosystèmes riches, présentant des peuplements proches de ceux des sources hydrothermales ont été décrits dans le Pacifique, au large de la Californie (SMITH, 1985) et au large des îles Hawaii (SMITH, *comm. pers.*). Il semble que, loin d'être des phénomènes isolés et anecdotiques, les écosystèmes exploitant les cadavres de Cétacés soient le cas général et jouent un grand rôle dans la dispersion des espèces benthiques (ANONYME, 1995a). En exploitant à outrance ces espèces de surface, l'homme a donc court-circuité le cycle naturel de la matière organique et perturbé de façon imprévisible les écosystèmes benthiques de profondeur (BUTMAN & CARLTON, 1995).

2.6.2.1 - Justifications d'ordre économique direct

Les espèces marines sont exploitées par l'espèce humaine pour son alimentation et pour les matières premières utilitaires ou décoratives (huile de baleine, écaille de tortues...). Depuis quelques décennies on recherche également dans le milieu marin des molécules utiles en pharmacologie. Cette exploitation très ancienne profite de la diversité du vivant.

- intérêt alimentaire :

L'activité de "cueillette" dans le milieu naturel est vieille comme l'humanité et le phénomène a pris de l'ampleur en raison de la croissance démographique. L'homme exerce donc une prédation alimentaire sur les animaux et les algues. En zone tropicale, la plupart des groupes

sont concernés, les invertébrés (méduses, actinies, polychètes, mollusques, crustacés, échinodermes, ascidies), les vertébrés (poissons, reptiles, mammifères).

Les **tortues marines** (7 espèces) sont exploitées pour leur chair, leur graisse, leur cuir, leurs oeufs ou leur écaille. Dans l'Indo-Pacifique, les populations des principales espèces ont régressé. HIRTH, 1993 (*in* WRIGHT & HILL) signale dans le SO Pacifique les espèces suivantes : *Caretta caretta*, *Lepidochelys olivacea*, *Eretmochelys imbricata*, *Chelonia mydas* et une espèce australienne, *Natator depressa*. Toutes ces espèces sont maintenant en annexe I de la C.I.T.E.S.

Les **baleines** : Bien que protégées par la Convention Baleinière Internationale (CBI) depuis 1982, les cétacés font toujours l'objet d'une chasse active de la part de certains pays (Japon, Norvège...). En effet ces pays n'ont pas accepté le moratoire provisoire de 50 ans décidé par la CBI et font leur possible pour poursuivre ou reprendre la chasse. Faute de pouvoir supprimer complètement la chasse, la création d'un "sanctuaire baleinier" situé dans l'océan Austral a été décidé en 1992. Il s'agit d'une zone entourant le continent Antarctique en dessous de 40° S qui constitue la zone d'alimentation fréquentée par les baleines pendant l'été Austral (novembre-mars). Il existe déjà, depuis 1979, un sanctuaire de l'océan Indien qui protège les baleines dans leurs zones de reproduction hivernales.

Ces animaux sont très vulnérables aux actuels moyens de chasse et ont une faible fécondité. La survie de ces espèces supposerait une totale protection que plusieurs États refusent pour des raisons coutumières ou économiques (COHAT, 1986). La population de baleines bleues aurait été la plus touchée avec un niveau actuel de quelques centaines d'individus c'est à dire proche de l'extinction.

Les substances naturelles d'intérêt biologique :

On sait que certaines espèces fabriquent des molécules utiles pour l'espèce humaine. Ces molécules sont très variées et vont des protéines qui nous font apprécier la consommation de certaines espèces aux molécules d'intérêt pharmacologique. En Nouvelle-Calédonie, la découverte dans l'éponge *Pseudaxynissa cantharella* d'une molécule aux propriétés anticancéreuses fut l'un des résultats prometteurs du programme ORSTOM SMIB (Substances Marines d'Intérêt Biologique).

Intérêt culturel :

La biodiversité marine fait partie de la culture des océaniens et la découverte des paysages marins, des écosystèmes et de certaines espèces d'intérêt alimentaire contribuent à leur éducation. Les anthropologues de l'École Structuraliste ont montré qu'il n'y a pas de corrélation entre l'importance pratique et l'importance symbolique des espèces (FISCHLER, 1993). Même

si les espèces marines contribuent relativement peu à la nutrition des populations mélanésiennes, certains poissons, coquillages et poulpes font partie de leur héritage culturel. Les populations d'origine Maori, traditionnellement beaucoup plus tournées vers la mer en retirent d'importants apports protéiniques.

Les coquillages sont utilisés depuis les débuts de l'installation humaine en Nouvelle-Calédonie ainsi que l'attestent les objets recensés sur les sites Lapita (parures, outils, débris alimentaires). Ces espèces à usage alimentaire ou décoratif ont été inventoriées par LOCARD (1896) : poulpes ; bénitiers et Lingules (brachiopodes) consommés crus ; gastéropodes (*Terebra*, *Oliva*, *Mitra*, *Conus*, *Cypraea*...), mais surtout *Turbo*, *Trochus*, *Strombus*, *Lambis*, *Patella*, *Lotia*, *Chiton* ; Lamellibranches (*Ostraea*, *Chama*, *Spondylus*, *Perna*, *Pecten*, *Pinna*, *Mytilus*, *Avicula*, *Arca*, *Cardium*, *Venus*, *Mactra*, *Lucina*, *Tellina*, *Tapes*, *Hippopus*, *Tridacna*.

Les valves de *Meleagrina margaritifera* et *Avicula macroptera* auraient été utilisées traditionnellement comme couteaux et comme accessoires de pêches (hameçons, leurres).

Selon leur forme, leur dureté ou leur brillance, les coquilles furent utilisés comme perçoirs (*Terebra*), racloirs (*Arca fusca*, *Anomalocardia scapha*, *Cardium enode*, *Pecten squamosus*, *Modiola*, *Mytilus*), polissoirs (*Nautilus*, *Lucina*, *Tellina*), hameçons (*Avicula*, *Meleagrina*), instruments de musique (*Charonia variegatum*, *Cassis decussatus*), décorations (*Cypraea*, *Strombus*, *Natica*, *Columbella*, *Oliva*), "perles-monnaies" (*Oliva*), parures de chefs (*Dolium melanostomum*, *Ovula ovum*), bijoux (nombreuses espèces utilisées pour la fabrication de bracelets, jarretières, ceintures et colliers). Les coquillages ont enfin été utilisés par les mélanésien pour leurs vertus médicinales.

Utilisation des dents de requins : Les dents des différentes espèces de requins tropicaux ont été de tous temps utilisées par l'homme comme outils et comme parures. Ceci est particulièrement évident dans l'art Maori où des armes (couteaux, lances, flèches) utilisent le pouvoir tranchants des dents du requin tigre ; la dureté de ces objets est utilisée également pour confectionner des casques, plastrons et même des armures. Le requin symbolise la force et l'agressivité et ses dents sont aussi symbole de pouvoir.

Cette symbolique existe toujours et contribue maintenant à la destruction des espèces de requins pour monter leurs dents en pendentifs pour les touristes, les espèces les plus touchées étant le requin tigre, le requin blanc et le requin mako.

2.6.2.2 - Raisons économiques indirectes et patrimoniales (écotourisme)

Raisons esthétiques et écotouristiques - Si l'on en juge par l'expérience des îles Hawaii, un écotourisme bien géré peut être à la fois rémunérateur et protecteur de l'environnement (KAUFMAN & FORESTELL, 1994). Mise à part la petite clientèle touristique vraiment attirée par la Nature et la découverte des espèces rares, les touristes ordinaires cherchent également des paysages "naturels", des plages non-polluées et des récifs coralliens en bonne santé. Tous ces

critères font partie de ce que les professionnels du tourisme appellent l'esprit d'évasion. Si le milieu est trop perturbé et excessivement développé, cette qualité d'"évasion" disparaît et le tourisme s'éteint.

Ecotourisme marin et protection des espèces :

Depuis quelques années, on assiste à l'essor d'un écotourisme portant sur le milieu marin qui exploite la soif de connaissances d'un certain public sensibilisé par les médias. Cette nouvelle tendance a valeur éducative et récréative.

Ce nouveau volet de développement des loisirs s'est pour l'instant concrétisé dans les pays anglo-saxons où la sensibilité naturaliste est plus traditionnelle. En Nouvelle-Zélande, comme en Australie, une activité touristique importante est axée sur la découverte d'espèces marines (cétacés, manchots...) ou de biotopes particuliers (récifs coralliens, stromatolithes...). Exploités de longues dates pour leurs paysages récifo-lagonaires, les îles et rivages du Pacifique voient poindre un nouveau type de tourisme beaucoup plus naturaliste. Les clients ne veulent plus seulement avoir une vue d'ensemble mais voir les espèces rares ou présentant des comportements particuliers ou bien avoir des explications sur les écosystèmes (récifs, mangroves...). Il semble que pour les petits états insulaires, la Nature devienne enfin une ressource inépuisable.

Si elle est bien gérée, cette nouvelle activité pourrait devenir extrêmement bénéfique :

- en sensibilisant les populations à la diversité de la biosphère ;
- en donnant une réelle valeur patrimoniale à l'environnement et des arguments pour sa protection ;
- en créant des emplois locaux à différents niveaux (guides ou "rangers"...);
- en permettant aux scientifiques de réaliser des études sur des espèces peu connues ;
- en favorisant la parution de documents de vulgarisation.

Les cibles prévisibles de cet écotourisme dans le sud-ouest Pacifique sont :

- les *cétacés* et en particulier les baleines à bosse (*Megaptera novaeangliae*) de l'hémisphère austral qui passent la période hivernale dans les eaux tropicales, le long des côtes australiennes, aux îles Fidji, Tonga et en Nouvelle-Calédonie (GARRIGUE & GILL, 1994 ; GILL *et al.*, 1995 ; GREACES & GARRIGUE, 1997). Aux États-Unis le "Whale watching" a pris une telle ampleur qu'il concerne environ un million de touristes par an soit un revenu de \$ US 100.10⁶ (KAUFMAN & FORESTELL, 1994).

- les *dugongs* (*Dugong dugon*) dont les populations peu étudiées vivent dans les lagons en s'alimentant dans les herbiers de phanérogames d'Australie, de Papouasie Nouvelle-Guinée, de Nouvelle-Calédonie et de Vanuatu. Leur aire de répartition actuelle (entre 30° N et 30° S) va de l'Afrique de l'est à Vanuatu (soit dans les zones littorales de 43 pays) avec un maximum

d'abondance sur la côte nord de l'Australie (Fig. 26). Cette espèce très vulnérable semble avoir déjà disparu localement en Afrique, en Asie et dans quelques îles du Pacifique. Le taux de reproduction est faible (un seul petit à la fois et 3 à 7 ans entre les naissances) et ces animaux sont décimés par les catastrophes naturelles telles que les cyclones auxquelles s'ajoute la prédation humaine (NISHIWAKI & MARSH, 1985 ; MARSH, 1985, 1988).

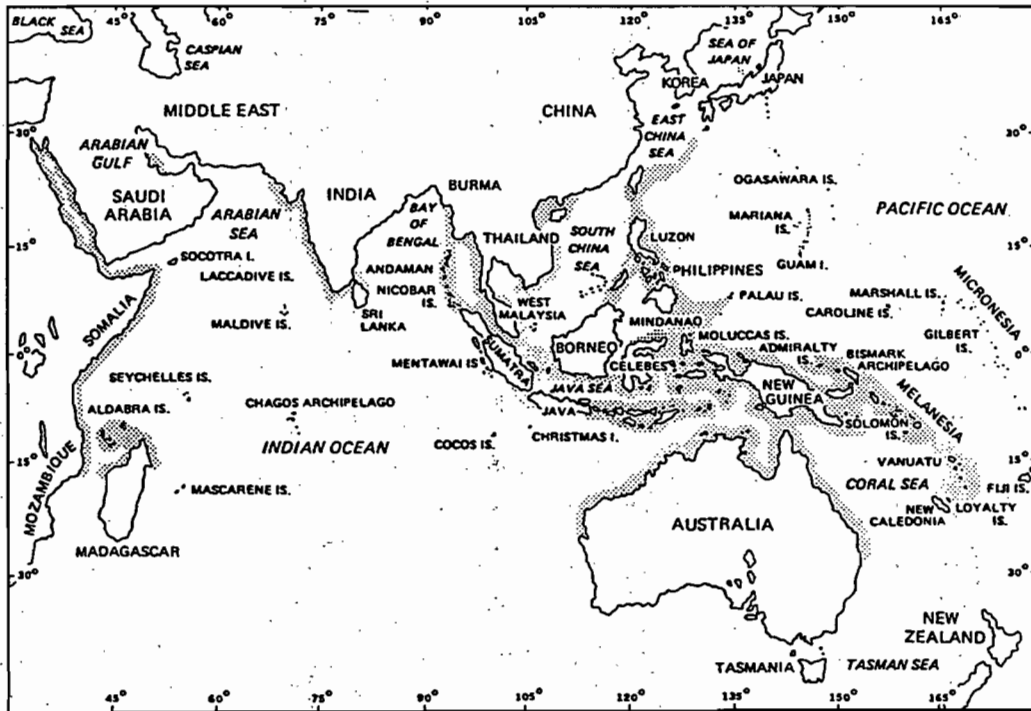


Fig. 26. — Répartition géographique du Dugong (d'après NISHIWAKI & MARSH, 1985).

Bien que classée en Annexe I des listes CITES; dans plusieurs pays des droits de chasse sont délivrés aux autochtones pour raisons "coutumières". Si cette pratique était admissible lorsque la capture de ces animaux jouait un rôle dans l'alimentation et qu'elle se pratiquait de façon traditionnelle et limitée, elle ne l'est plus à l'heure actuelle où la technicité apportée par les civilisations occidentales a accru l'efficacité de la chasse et accéléré la destruction de l'espèce (bateaux à moteur, fusils, congélateurs...). Cette espèce devrait maintenant être intégralement protégée, sans dérogation d'aucune sorte. La population mondiale, estimée à 30 000 individus dont 1/3 en Australie, semble décliner rapidement malgré la mise en réserve naturelle de vastes secteurs des côtes australiennes (cf. GBRMPA). La prédation humaine, connue d'après les captures déclarées et les estimations du braconnage, excède par endroit le taux de renouvellement de l'espèce et si des mesure efficaces ne sont pas prises rapidement, l'extinction de ce mammifère est prévisible. Même si les hommes devenaient soudain raisonnables et cessaient la chasse, l'espèce aurait une survie précaire car une importante mortalité accidentelle est liée aux activités de pêche côtière au filet. En Australie, les filets de protection anti-requins

capturent des dugongs ; à Townsville, 249 dugongs ont ainsi été pris entre août 1964 et juillet 1983 (KROGH & REID, 1996). Il est remarquable de constater que les programmes de recherche scientifique se désintéressent de cette espèce en voie de disparition dont le cycle biologique demeure mal connu. Le seul espoir de la sauver serait qu'elle devienne l'objet d'une demande écotouristique et donc acquière une "valeur économique".

Les véritables raisons pour lesquelles on laisse les populations indigènes chasser les dugongs seraient intéressantes à éclaircir mais cela demanderait le concours d'ethnologues, de sociologues et de psychologues. Les sociétés dites développées et capables de concevoir des réglementations rationnelles à l'échelle planétaire sont pratiquement toutes des civilisations colonisatrices. Elles conservent de cette période de leur histoire des complexes ou des remords qui les empêchent d'imposer de nouveau des règles de vie aux populations autochtones. Cette attitude est particulièrement nette en Australie où, après avoir pratiquement exterminé les Aborigènes lors de la colonisation, les nouvelles générations d'ethnies anglo-saxones s'ingénient à restaurer un patrimoine culturel Aborigène évanescent. De plus, le développement de la sensibilité écologique va de pair avec une certaine conception d'une société humaine en équilibre avec la nature. Les "sociétés primitives" relativement réduites démographiquement et n'ayant pas un mode de vie basé sur une forte technologie, sont donc supposées être des exemples de cet équilibre (notion du "bon sauvage" chère à ROUSSEAU). Une société dont la survie dépend directement de la nature est supposée avoir acquis une certaine sagesse quant à l'exploitation de la biodiversité. Par ailleurs, il est toujours difficile de donner des leçons de bonne conduite à des gens qui exploitent ces espèces pour leur alimentation alors que les pays développés détruisent des écosystèmes ou des espèces pour des motifs beaucoup moins nobles (ours des Pyrénées, baleines...) !

- les *tortues marines* : Il existe dans le monde sept espèces de tortues marines parmi lesquelles six fréquentent les eaux de l'indo-pacifique tropical (HIRTH, 1993) : la tortue luth ou Leatherback (*Dermochelys coriacea*) ; la tortue "grosse tête" ou loggerhead (*Caretta caretta*) ; la tortue olive ou olive ridley (*Lepidochelys olivacea*) ; la tortue "bonne écaille" ou hawksbill (*Eretmochelys imbricata*) ; la tortue verte (sa graisse est verdâtre) ou green (*Chelonia mydas*) dont une sous espèce est connue sous le nom de tortue noire ou black (*Chelonia mydas agassizi*) ; la flatback (*Natator depressa*) endémique d'Australie.

Les tortues ont été pêchées de tous temps pour leur chair et leur graisse mais aussi pour leur carapace couverte d'écailles et leur cuir. Elles sont très vulnérables lorsqu'elles accostent sur les plages de sable pour y pondre et leurs oeufs font également l'objet d'une prédation humaine (certains leur prêtent des vertus médicinales). La technologie a considérablement accentué cette prédation en multipliant les débarquements des marins sur les îles isolées, en introduisant le masque, le fusil sous-marin et les filets dormants. Les prédateurs naturels des tortues adultes sont les requins et en particulier les requins tigres (*Galeocerdo cuvieri*).

Devant la réduction rapide des populations, toutes les espèces de tortues marines furent classées en Annexe I de la liste CITES interdisant totalement le commerce international de la chair et de l'écaïlle.

Il est étonnant de constater les lacunes importantes dans les connaissances du cycle biologique de la plupart des espèces.

La tortue verte pond deux ou trois fois par an environ une centaine d'oeufs qui incubent dans le sable. A l'éclosion, les petits subissent une forte mortalité due aux oiseaux de mer (frégates), aux crabes (Ocypodes) et aux requins. On sait peu de choses sur la vie des juvéniles qui semblent passer de longues années en mer. Les jeunes sub-adultes qui s'alimentent dans les herbiers d'algues ou de phanérogames littoraux sont déjà âgés. Il semble que cette espèce n'acquière la maturité sexuelle qu'entre 30 et 50 ans. Au cours de leur existence les tortues marines effectuent des migrations sur de longues distances (plusieurs milliers de km). Les techniques de marquage ont permis de mettre en évidence un phénomène de "philopatrie" c'est à dire un retour des adultes sur les même lieux de pontes à des intervalles de 2 à 4 ans.

Si la tortue verte adulte est une espèce essentiellement herbivore, toutes les autres espèces sont carnivores et ont des régimes variés (MORTIMER, 1982) : la tortue luth plonge profondément pour consommer de nuit les organismes du micronecton concentrés dans la DSL (Deep Scatering Layer) et des méduses ; la tortue olive consomme des crabes, crevettes ascidies et méduses ; la tortue ridley mange des crabes ; la tortue "grosse tête" est prédatrice d'invertébrés, principalement de mollusques et de crabes ; la tortue "bonne écaïlle" a un régime composée d'éponges, d'algues, de mollusques et d'ascidies ; l'espèce australienne (flatback) mange également des invertébrés.

La grande variété de ces régimes alimentaires font que les mesures de protection n'ont pas la même efficacité selon les espèces.

Les espèces les plus exploitées dans le SO Pacifique sont les tortues vertes et les tortues "bonne écaïlle". La conservation de ces espèces passe avant tout par la protection de leur lieux de pontes.

Étant donné la très longue période qui s'écoule entre le départ des juvéniles en mer et le retour des sub-adultes à la côte, il n'est pas encore possible d'observer les effets de la protection des lieux de pontes sur les populations. De même, les effets néfastes de l'excessive récolte d'oeufs pratiquée dans certains archipels ne seront quantifiables que dans plusieurs années. D'où la nécessité de maintenir des programmes d'observations et d'études sur le long terme.

- *Les oiseaux marins* (HARRISON, 1983) : Il s'agit d'espèces qui nichent sur le littoral ou sur les îlots et les cayes de sable et qui trouvent leur alimentation dans le milieu marin. Certaines îles isolées telles que Huon, Surprise et Chesterfield présentent de vastes colonies d'oiseaux qui n'ont jamais fait l'objet d'études (COHIC, 1959 ; CONDAMIN, 1977). Pourtant, ils influent sur les activités humaines, en exerçant une forte prédation sur les poissons littoraux et en produisant les gisements de guano.

Les espèces qui nichent sur les îlots isolés du sud-ouest Pacifique sont principalement :

- les Frégates (*Fregata ariel*, *F. minor*) célèbres pour les couleurs flamboyantes que prend le jabot du mâle pour la parade nuptiale ;
- le Paille en queue (*Phaeton rubricauda*), en voie de disparition dans le sud-ouest Pacifique ;
- les Fous qui sont les plus fréquents (*Sula leucogaster*, *S. dactylatra*, *S. sula*) ;
- les Sternes et Noddies (*Anous stolidus*, *A. minutus*) ;
- les Puffins et les Pétrels.

Le spectacle offert par les différentes phases du cycle biologique de ces colonies d'oiseaux de mer serait certainement l'un des plus attractif pour l'écotourisme. Toutefois, ces espèces sont vulnérables pendant la nidification et les lieux de pontes devraient être mis en réserves.

La Nouvelle-Calédonie, située à la limite sud de la zone tropicale, reçoit même parfois en hiver la visite d'espèces subantarctiques telles que l'Albatros royal (*Diomedea epomophora*) et le Damier du Cap (*Daption capense*) qui suivent les navires (observations personnelles).

2.6.2.3 - Raisons scientifiques

La biodiversité est l'une des caractéristiques du vivant et la résultante de l'évolution. Les millions de génomes existants ont été longuement élaborés au cours des temps géologiques et sont "matérialisés" dans la diversité morphologique et la parenté des espèces. Laisser détruire et disparaître des espèces de la planète, c'est diminuer les chances de l'humanité de comprendre vraiment sa filiation et les raisons de sa propre émergence. C'est dans la mer, lieu d'origine probable du vivant, et plus particulièrement dans les zones intertropicales que l'on observe les plus grandes diversités taxonomiques et le maintien de groupes "archaïques". Il faut donc préserver cette diversité et utiliser le potentiel d'information de chacune de ces espèces pour tenter de reconstituer une véritable phylogénie.

La biogéographie évolutive est également un élément important dans la compréhension de la biosphère. Dans cet immense puzzle spatio-temporel, chaque modeste espèce contribue à expliquer l'ensemble. De même qu'une simple trace du passage d'une particule dans une chambre à bulles permet au physicien d'accéder à la compréhension intime de la structure de l'univers, l'observation dans le présent d'une espèce donne au biologiste des informations sur le passé et la "prescience" du futur.

La grande diversité spécifique des écosystèmes tropicaux semble bien être une garantie pour leur sauvegarde. Lorsque les écosystèmes sont perturbés, déséquilibrés ou même localement entièrement détruits, c'est la diversité spécifique qui permet la résistance du système, ou sa recolonisation. L'espèce qui possède le génome le mieux adapté aux nouvelles circonstances prolifère. La richesse spécifique d'un milieu serait donc une assurance de durée pour l'écosystème qui possède en son sein les potentialités évolutives capables de répondre aux modifications des paramètres physico-chimiques.

En milieu terrestre, des expériences ont pu montrer qu'une diminution de la diversité spécifique entraînait la diminution des performances de l'écosystème. Une conséquence de cette observation pourrait être que : "the loss of diversity may reduce the ability of terrestrial ecosystems to absorb anthropogenic CO₂." (NAEEM *et al.*, 1994).

Certains auteurs ont tenté d'attribuer une "valeur" scientifique aux taxons en effectuant des analyses cladistiques. A partir de ces analyses un index taxonomique de la diversité spécifique est établi pour définir des priorités et aider à la conservation. Au lieu d'une simple mesure de diversité spécifique, un indice de "rareté" sera introduit au vu des résultats de ces analyses et de la forme des arborescences obtenues. Par ailleurs, la répartition géographique des espèces est également prise en compte et la "valeur" des espèces et les priorités de conservation proposées croisent les informations cladistiques et les informations géographiques (VANE-WRIGHT *et al.*, 1991). Les limitations de cette méthode qui tente de baser la conservation sur des éléments moins subjectifs sont le faible niveau de description taxonomique et les énormes lacunes d'échantillonnage qui rendent très imprécises la connaissance de la répartition géographique des espèces (particulièrement en milieu marin). Cette méthode prenant en compte à la fois les connaissances taxonomiques et biogéographiques ne pourra donc s'appliquer qu'aux espèces déjà bien connues qui ne représentent qu'une petite fraction de la biosphère.

- *Exemple d'utilisation d'analyses cladistiques pour aider à établir une classification phylogénétique des décapodes brachyours :*

Depuis l'utilisation courante de la microscopie électronique, les biologistes ont pu décrire finement l'anatomie cellulaire, la structure des organites et interpréter leurs fonctions. Parmi les cellules très différenciées qui ont fait l'objet d'une attention particulière, se trouvent les cellules reproductrices mâles ou spermatozoïdes. Ces cellules existent depuis très longtemps et marquent, avec l'apparition de la reproduction sexuée, l'une des étapes les plus importantes de l'évolution du vivant. Bien que leur fonction de transmission du patrimoine génétique soit identique chez tous les êtres vivants sexués, ils présentent une extrême diversité morphologique et sont caractéristiques de chaque groupe. On considère que ces cellules complexes ont des formes peu influencées par l'environnement et sont ainsi de bons marqueurs phylogénétiques.

Chez les Crustacés, la diversité morphologique des spermatozoïdes est particulièrement grande et des essais de classifications cladistiques au niveau des ordres ont été tentés (JAMIESON, 1991). Dans le groupe des crustacés décapodes, qui sont les plus évolués, on peut utiliser leur morphologie pour améliorer la compréhension de l'évolution au sein de cet ordre et en particulier pour déterminer si les brachyours descendent plutôt des anomoures que des macroures. Cependant, jusqu'alors, la diversité des formes au niveau familial n'était pas connue et les spermatozoïdes de nombreuses familles de profondeur n'avaient pas encore été décrits.

L'étude de l'abondant matériel que j'ai récolté au cours des campagnes réalisées depuis 1992 en Nouvelle-Calédonie est encore en cours mais plusieurs articles décrivant la morphologie des

spermatozoïdes sont déjà parus pour les familles suivantes : Homolidae et Dromiidae (GUINOT *et al.*, 1994 ; JAMIESON *et al.*, 1993a) ; Dynomenidae (JAMIESON *et al.*, 1993b) ; Trapeziidae (JAMIESON *et al.*, 1993c) ; Cyclodorippidae (JAMIESON *et al.*, 1994b) ; Raninidae (JAMIESON *et al.*, 1994c), Hymenosomatidae (RICHER DE FORGES *et al.*, 1997).

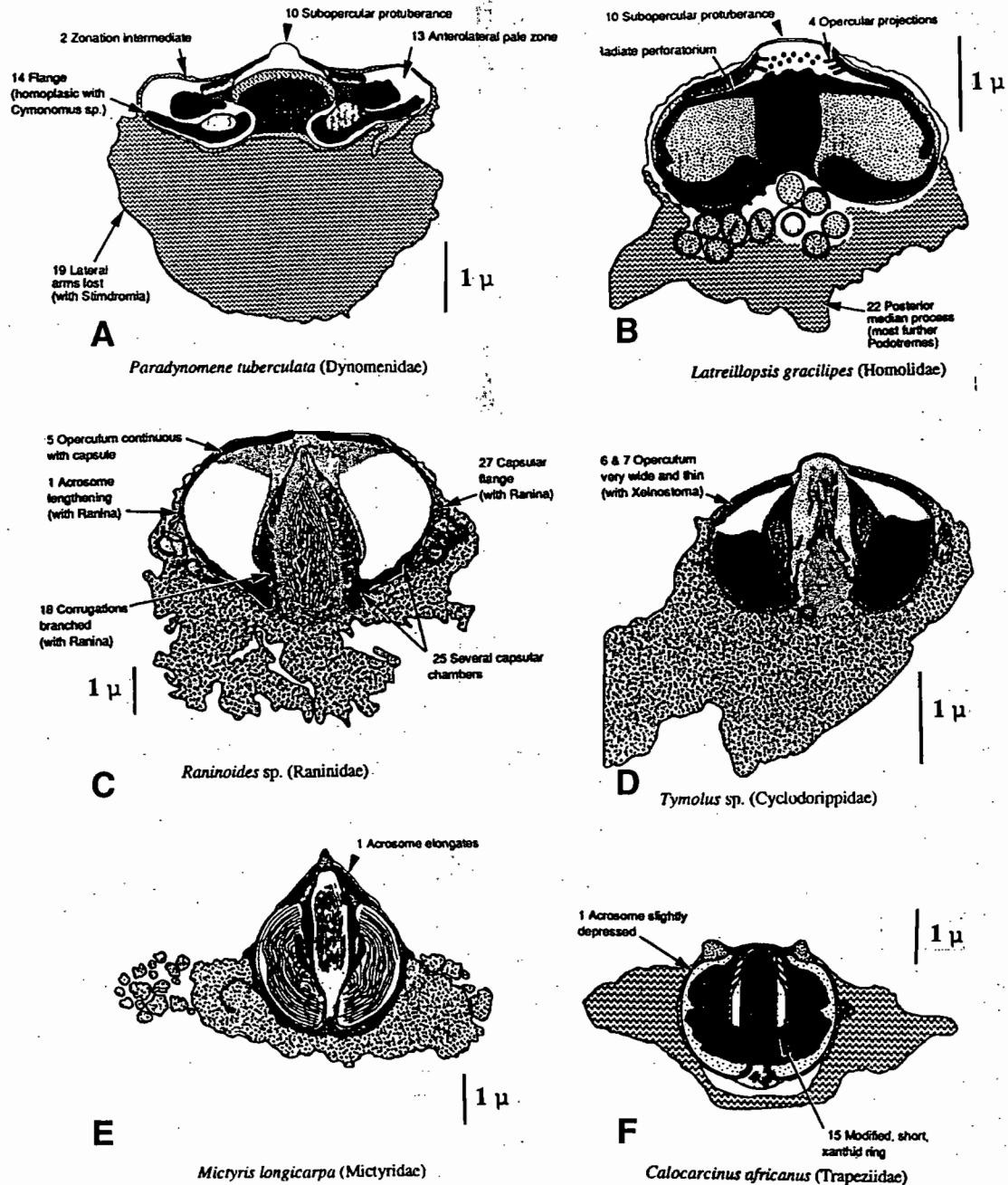


Fig. 27. — Variation de la morphologie ultrastructurale des spermatozoïdes au sein du sous-ordre des brachyours : A : Dynomenidae (*Paradynomene tuberculata*) ; B : Homolidae (*Latreillopsis gracilipes*) ; C : Raninoidea (*Raninoides* sp.) ; D : Cyclodorippoidea (*Tymolus* sp.) ; E : Mictyridae (*Mictyris longicarpa*) ; F : Xanthidae (*Calocarcinus africanus*) (d'après JAMIESON, 1995).

En utilisant ces nouvelles données sur le sperme, une analyse cladistique a été faite sur le groupe des Podotremata (JAMIESON *et al.*, 1996). Elle confirme la position des Homolidae comme groupe de crabes archaïques séparé des Dromioidea et l'existence du groupe des Archaeobrachyura composé des Homoloidea, des Raninoidea et des Cyclodorippoidea (Fig. 27, 28). De plus la classification des brachyours proposée par GUINOT (1978) et basée sur la position des orifices génitaux (Podotrèmes, Hétérotrèmes, Tharacotrèmes) est confirmée par les analyses basées sur les caractères morphologiques des spermatozoïdes.

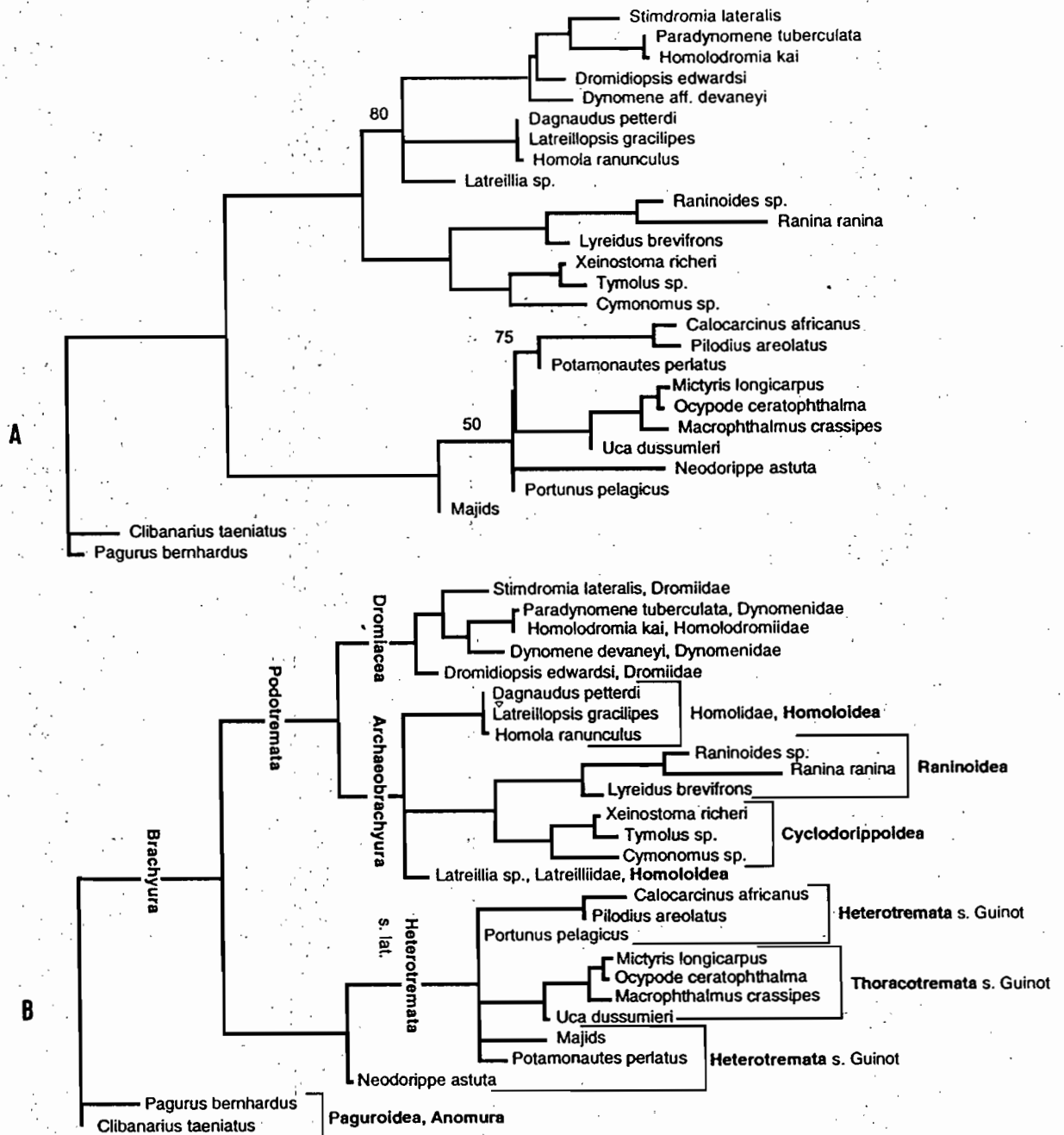


Fig. 28. — Exemple d'analyse cladistique utilisant à la fois les caractères morphologiques somatiques et l'ultrastructure des spermatozoïdes dans le groupe des Crustacés brachyours (d'après JAMIESON *et al.*, 1995). **A** : analyse utilisant seulement la morphologie spermatique ; **B** : analyse utilisant tous les caractères morphologiques, corporels et spermatiques.

2.6.2.4 - Raisons éthiques

L'homme porte la responsabilité du monde où il vit au-delà de sa propre existence et se doit de léguer aux futures générations une nature la moins dégradée possible et donc de conserver les espèces existantes.

Les estimations sur la croissance démographique de l'espèce humaine sont diverses sur des échéances à quelques décennies (COHEN, 1995). La population actuelle est d'environ 6.10^9 et devrait atteindre 10^{10} habitants avant la fin du 21ème siècle. Certains pensent que l'on observe déjà un ralentissement de la natalité corrélatif à l'éducation et à l'accession généralisée à l'information (CHESNAIS, 1995). Quoiqu'il en soit, l'impact de l'homme sur son environnement va encore augmenter par surexploitation des ressources, dégradation des zones littorales et pollutions diverses. Les écosystèmes ont d'extraordinaires capacités à cicatrifier les plaies occasionnées par l'homme et l'on peut espérer qu'avec la prise de conscience progressive au niveau international, les principales sources de nuisances soient progressivement contrôlées et réduites. Par contre, la "pollution" la plus grave, parce qu'elle est définitive, est celle qui entraîne l'extinction des espèces. Cette extinction est corrélée à la démographie et surtout aux développements technologiques associés.

Les êtres vivants et leur environnement doivent être protégés pour des raisons éthiques et non pour une hypothétique valeur pour l'homme. S'il en était autrement, la conservation serait à placer sur le même plan que l'exploitation, une forme d'exploitation différée pour le bien être de l'homme (EHRLICH & WILSON, 1995 ; DOBSON, 1996). Toutefois, il y a là un problème philosophique, la morale étant établie uniquement pour et par l'homme et ne s'appliquant pas aux autres êtres vivants. Il est difficile de trouver un équilibre entre le prélèvement biologique que l'homme doit faire sur la nature pour sa survie (alimentation, molécules actives, ...) et les abus technologiques qui conduisent à la dégradation des écosystèmes et à la disparition des espèces. Un concept d'"éthique de l'environnement" a été proposé en faisant valoir que l'homme n'existe que comme partie des écosystèmes et qu'il était donc responsable des autres parties. Il y a donc des conservationnistes "anthropocentriques" qui évoquent l'utilité de la biodiversité pour l'homme et des "écocentriques" qui veulent protéger la biodiversité pour elle-même. Certains écologistes n'hésitent pas à rappeler que l'homme ne diffère des autres êtres vivants que par quelques séquences génétiques et donc à étendre la morale à toute la nature formant ainsi l'école de "deep ecology".

On a beaucoup critiqué cette nouvelle "religion de la Nature" mais les propositions de créer une véritable morale de la nature et un droit de la biosphère devraient être prises plus au sérieux à l'époque où l'homme devient capable de manipulations génétiques. L'éthique du vivant est appelée à un bel avenir : ce qu'il y a de vraiment humain dans l'homme ne serait-il pas cette faculté de transcender sa propre espèce pour se resituer dans l'univers du vivant ?

Vers une Éthique de la nature :

Il y a quelques années, une commission internationale de sages s'est réunie pour décider s'il fallait ou non détruire les dernières souches du virus de la variole maintenues en cultures dans quelques laboratoires. Il semble en effet que la forme sauvage de cette espèce ait disparu de la planète suite aux campagnes de vaccinations intensives. De nombreux scientifiques ont alors fait valoir que nous n'avons pas éthiquement le droit d'éradiquer une espèce, aussi dangereuse soit-elle pour notre propre espèce. Cette prise de position, d'une haute portée philosophique, contraste avec l'attitude désinvolte que la plupart des gens et des Etats adoptent vis à vis de la conservation de leur patrimoine biologique !

Finalement, le 30 juin 1999, d'après une décision du Conseil exécutif de l'Organisation mondiale de la santé, les stocks de virus de la variole devraient être détruits.

La biodiversité des zones littorales en Nouvelle-Calédonie

3 - La biodiversité des zones littorales en Nouvelle-Calédonie

Située dans le Pacifique sud-ouest, sur le tropique du Capricorne, la Nouvelle-Calédonie est une île haute de grandes dimensions (environ 19 000 km²). D'origine gondwanienne, elle est séparée de la côte est australienne depuis environ 80 millions d'années. Pour des raisons, géologiques, géographiques et hydroclimatiques, cette île présente une très grande biodiversité terrestre et marine. Un récif barrière, parmi les plus longs du monde, délimite autour de l'île principale de vastes lagons qui abritent de nombreux îlots coralliens, des récifs frangeants, des herbiers de phanérogames et de caulerpales et des zones de mangroves (RICHER DE FORGES, 1991b). Cette diversité d'écosystèmes offre une forte biodiversité spécifique dont la connaissance est loin d'être complète.

3.1 - Caractéristiques physiques de la Nouvelle-Calédonie

Les éléments concernant le milieu physique font généralement l'objet de chapitres d'introduction des thèses réalisées sur la région (DEBENAY, 1985 ; CONAND, 1989 ; CHEVILLON, 1990) ; seuls quelques traits importants pour la compréhension des écosystèmes benthiques seront résumés ici. Par ailleurs, les caractéristiques géomorphologiques et les facteurs du milieu sont résumés dans l'Atlas de la Nouvelle-Calédonie. Pour la partie strictement lagonaire, on consultera DANDONNEAU *et al.*, (1981). Un catalogue bibliographique indexé du milieu marin de la Nouvelle-Calédonie regroupe 2 938 références traitant des caractéristiques physiques et biotiques de la zone économique (FROMAGET & RICHER DE FORGES, 1992).

3.1.1 - Géomorphologie

La Nouvelle-Calédonie est une grande île (400 x 50 km) orientée nord-ouest sud-est qui, contrairement à la plupart des îles du Pacifique, n'est pas d'origine volcanique. Elle est la partie émergée d'une grande ride, la ride de Norfolk, qui s'étend depuis les récifs d'Entrecasteaux jusqu'à l'île du Nord de la Nouvelle-Zélande (Fig. 29). Cette ride est interprétée comme l'ancienne marge continentale du continent de Gondwana qui se serait séparée du bloc australien il y a 80 M. A. (fin du Crétacé) lors de l'ouverture de la mer de Tasman (GRIFFITHS, 1971 ; HAYES & RINGIS, 1973 ; STEVENS, 1980).

A l'Éocène supérieur (37 M. A.), une nappe ophiolithique, arrivée par obduction, a modifié la partie sud-est de l'île, mettant en place les terrains qui sont de nos jours à l'origine des ressources minières (PARIS, 1981 ; DEBENAY, 1985 ; RECY, 1982).

Autour des rivages de la Nouvelle-Calédonie (Grande Terre) les récifs coralliens se sont installés dès le Miocène et ont construit une barrière pratiquement continue s'étendant sur environ 1 600 km (HOPLEY, 1982 ; CARTER & JOHNSON, 1986 ; COUDRAY, 1982). Cette immense barrière corallienne délimite autour de la Grande Terre des lagons dont la surface est estimée à 23 400 km² (TESTAU & CONAND, 1983).

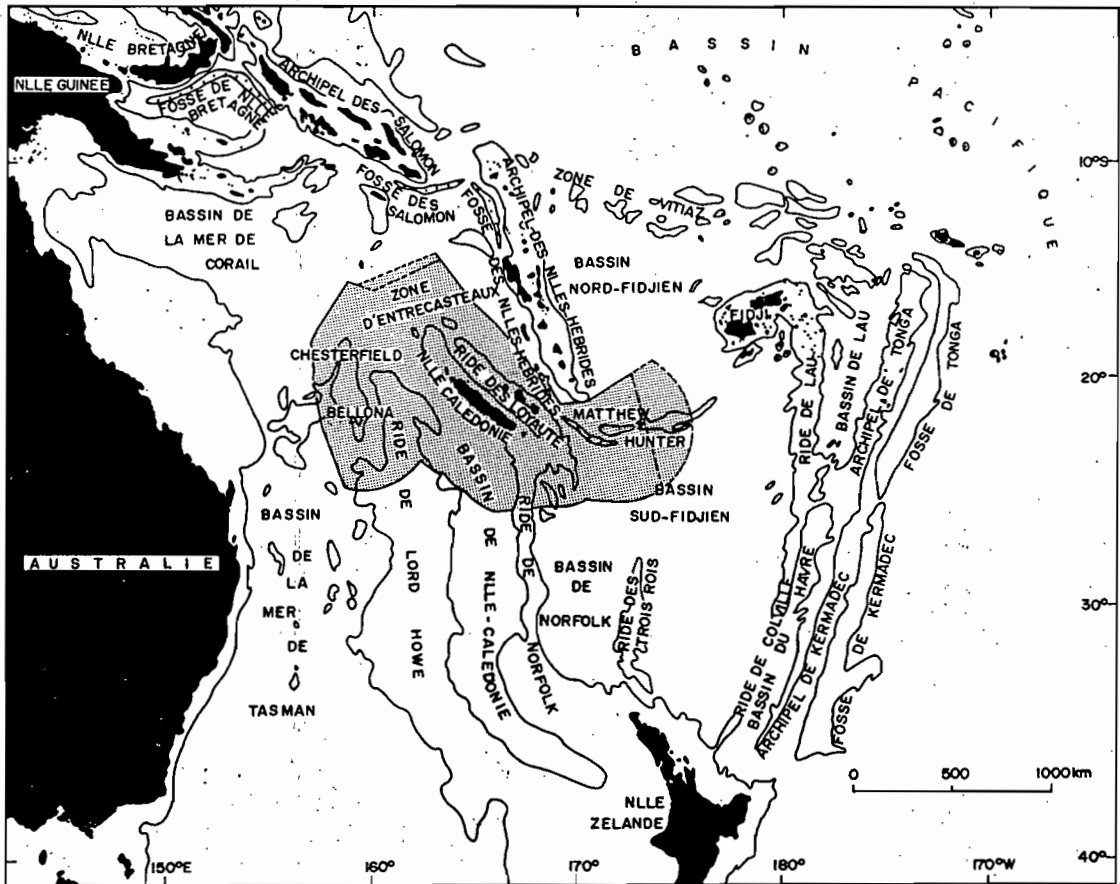


Fig. 29. — Carte bathymétrique du Sud-Ouest Pacifique avec la Zone économique de Nouvelle-Calédonie (En trait plein le contours des 2000 m).

Seule une partie de la Côte Ouest de l'île, comprise entre les rivières de Moindou et de Poya (Fig. 30), ne possède pas de véritable lagon, le récif frangeant étant séparé du récif barrière seulement par un chenal d'embarcation peu profond (< 5 m).

On peut diviser ce grand lagon néocalédonien en plusieurs entités géographiques (Fig. 30) : le Lagon Sud-Ouest, compris entre Téremba au Nord et l'île des Pins au Sud ; le Lagon Est, entre le canal de la Havanah au sud et la passe d'Amios au nord ; le Lagon Nord, compris entre l'estuaire du Diahot au sud et le Grand Passage au nord qui sépare le Lagon Nord proprement dit de l'atoll de Surprise ; le Lagon Nord-Ouest, compris entre Poya et l'île de Yandé. Ces lagons sont très différents en structure, forme, superficie et bathymétrie.

Parmi les dépendances de la Nouvelle-Calédonie se trouvent d'autres lagons : aux îles Loyauté, les lagons d'Ouvéa et de Beautemps-Beaupré ; les récifs d'Entrecasteaux comprenant les atolls de Huon et de Surprise ; les deux grands atolls de Chesterfield et de Bellona ; les "atolls" submergés de Fairway et de Lansdowne (Fig. 31).

Dans la zone économique de la Nouvelle-Calédonie, existe également de nombreux guyots, vestiges d'anciens atolls ennoyés par subsidence (SCOTT & ROTONDO, 1983 ; RICHER DE FORGES *et al.*, 1987 b), qui présentent encore une partie sommitale située dans la zone euphotique.

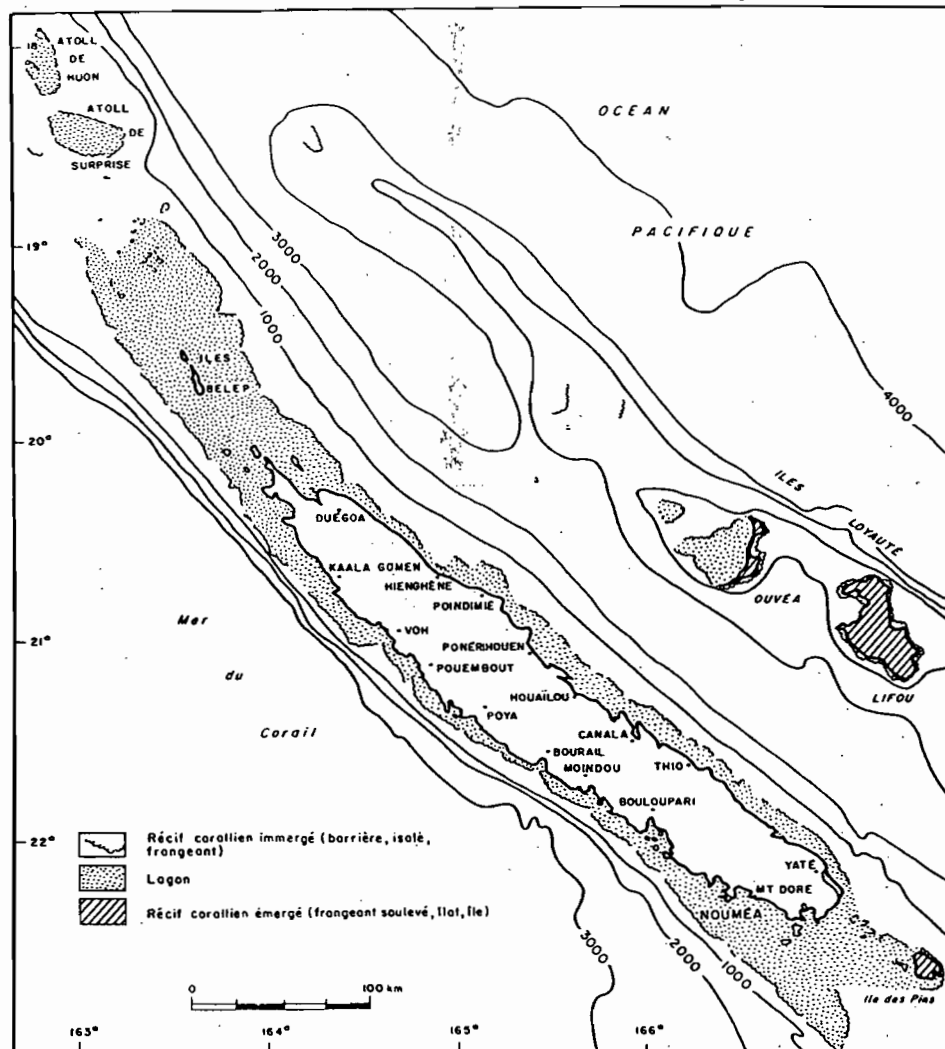


Fig. 30. – Les lagons de la Nouvelle-Calédonie, délimités par une barrière corallienne d'environ 1 600 km de longueur, couvrent, avec les atolls de Huon et de Surprise, près de 23 400 km².

Les lagons de la Grande Terre de Nouvelle-Calédonie reçoivent d'importants apports terrigènes, alors que les autres formations sont entièrement coralliennes.

Des reliefs d'îles hautes volcaniques très jeunes situés sur "l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides" existent dans les eaux néocalédoniennes. Ce sont les volcans actifs de Matthew et Hunter sur lesquels on assiste aux premiers stades du développement de scléactiniaires sur support basaltique (MAILLET & MONZIER, 1982 ; LABOUTE *et al.*, 1989).

Une autre particularité de cette partie du Pacifique sud-ouest est la présence de la ride des îles Loyauté située en bordure de la "fosse des Nouvelles-Hébrides". A ce niveau, le plongement de

la plaque indo-australienne sous la plaque Pacifique a provoqué la surélévation de la ride et des formations coralliennes qu'elle supporte : Walpole, Maré, Lifou, Ouvéa, Beautemps-Beaupré, récif de l'Astrolabe, récif Pétri (CHEVALIER, 1968 ; BITOUN & RECY, 1982).

La limite du lagon sera définie par l'isobathe 100 m qui correspond approximativement à la profondeur inférieure de développement des coraux hermatypiques.

3.1.2 - Climatologie

La mer du Corail qui baigne les côtes de la Nouvelle-Calédonie a fait l'objet de plusieurs études hydroclimatiques. Au sud de la Grande Terre, les courants superficiels vont vers l'ouest alors que les récifs d'Entrecasteaux et le nord des îles Loyauté sont tangents par le contre courant équatorial dirigé vers l'est (HENIN *et al.*, 1984).

La Nouvelle-Calédonie se situe entre 18 et 23° de latitude sud, à proximité du tropique du Capricorne ; il en résulte un ensoleillement important, des températures modérées toute l'année (23°C de moyenne à Nouméa) et un régime de vents alizés d'est et de sud-est.

En raison du relief montagneux de l'île et de la direction des vents dominants, une nette dissymétrie apparaît dans les précipitations, la Côte Est pouvant recevoir plus de 3 000 mm d'eau par an alors que la Côte Ouest est beaucoup moins arrosée (environ 1 000 mm / an pour la presqu'île de Nouméa).

L'île est affectée chaque année par des dépressions tropicales pouvant évoluer en cyclones. Ces événements ponctuels peuvent avoir des conséquences considérables sur les précipitations et sur les apports terrigènes dans les lagons (DUGAS & DEBENAY, 1982 ; BALTZER & TRESCASES, 1971).

Toutes les données météorologiques disponibles proviennent de stations d'observations situées à terre alors que les conditions climatiques régnant au niveau de la barrière récifale s'en écartent notablement ; les vents y sont plus forts et l'agitation de surface presque constante.

3.1.3 - Réseau hydrographique et sédimentologie

Un réseau hydrographique très dense est présent sur la Grande Terre (Fig. 31) ; les rivières transportent dans le lagon de grandes quantités de matériaux, soit sous forme dissoute, soit sous forme particulaire.

Les exploitations minières des croûtes latéritiques (mines de fer, de nickel et de chrome) ont accentué les effets de l'érosion pluviale ; les éléments fins entraînés se déposent ainsi dans les zones côtières (TRESCASES, 1969 ; BIRD *et al.*, 1984). Environ 50 % des côtes sont bordées

de mangroves, couvrant une surface estimée à 200 km² pour l'ensemble de l'île ; elles sont plus particulièrement développées dans les baies de la Côte Ouest (THOLLOT, 1989, 1996a).

Les fonds meubles des lagons de Nouvelle-Calédonie sont constitués de sédiments ayant deux origines : d'une part les apports terrigènes provenant de la Grande Terre qui sont dus à l'érosion pluviale de la croûte latéritique ; d'autre part à la dégradation des récifs coralliens composés de carbonates qui subissent l'agression de la houle et à la production biogène des organismes à squelette calcaire (Mollusques, Algues calcaires, Foraminifères, Echinodermes, Crustacés, Bryozoaires...). On observera donc deux gradients sédimentaires inverses : les sédiments carbonatés qui décroissent de la barrière vers la côte et les sédiments terrigènes silicatés diminuant de la côte vers le récif. Il résulte de cette double origine des particules une zonation des fonds des lagons que l'on distingue aussi bien dans les sédiments que dans les communautés benthiques : une zone côtière envasée, une zone de "fonds blancs" carbonatés en arrière récif et une zone de mélange (fonds gris) entre les deux précédentes.

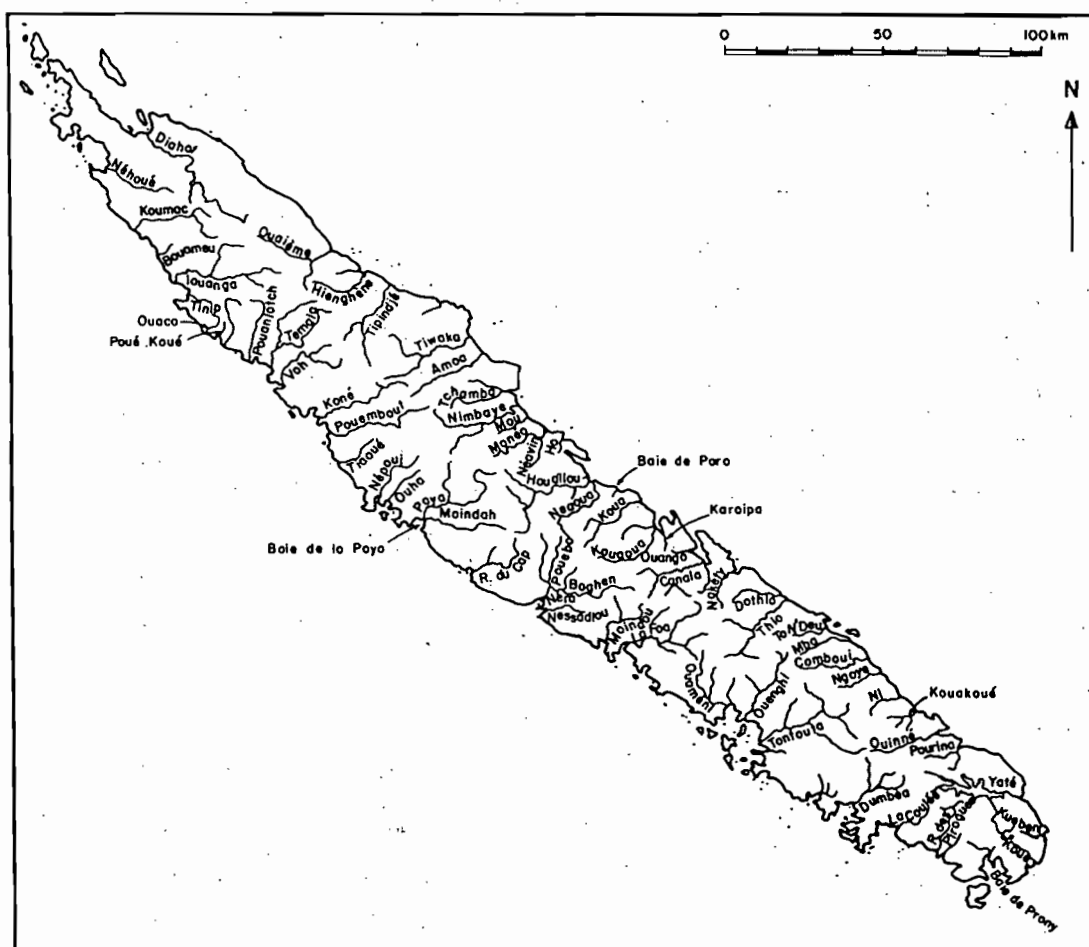


Fig. 31. – Carte de la Grande Terre de Nouvelle-Calédonie avec le réseau hydrographique (d'après BIRD *et al.*, 1984).

3.2 - L'origine des connaissances sur la biodiversité marine en Nouvelle-Calédonie

3.2.1 - Historique

Lorsque les auteurs parlent du lagon de Nouvelle-Calédonie, ils font généralement allusion à la zone du Lagon Sud-Ouest comprise entre l'île Ouen et la baie de St. Vincent. Le présent travail, au contraire, considère le Lagon Sud-Ouest au sens large, depuis Téremba au Nord jusqu'au grand "thalweg" du Sud.

Le Lagon Sud-Ouest de la Nouvelle-Calédonie avait fait l'objet de plusieurs investigations dont les plus importantes pour la connaissance de la biodiversité furent :

- la mission Singer-Polignac qui travailla en 1962-1963 devant Nouméa, dans la Baie de St. Vincent et fit quelques incursions sur la Côte Est au niveau de la Baie de Canala, et aux îles Loyauté (SALVAT, 1964, 1965 ; TAISNE, 1965 ; CHEVALIER, 1968) ;
- les travaux de faunistique et d'écologie de CATALA (1950, 1958, 1964, 1979) ;
- les inventaires faunistiques établis par l'ORSTOM lors du programme SNOM (Substances Naturelles d'Origine Marine) à partir de récoltes effectuées en plongée sous-marine et qui sont à l'origine de la réalisation des Guides faunistiques ;
- les travaux d'écologie, réalisés par des chercheurs de la Station Marine d'Endoume, qui traitent essentiellement des fonds meubles (THOMASSIN, 1981 ; LEDOYER, 1984a,b). Par ailleurs, une étude sédimentologique du Lagon Sud-Ouest avait permis la réalisation d'une carte des fonds en quatre feuilles (DUGAS & DEBENAY, 1978, 1980, 1981, 1982) présentant la granulométrie et la teneur en carbonates

L'ensemble de ces recherches ont porté essentiellement sur le lagon sud-ouest et plus particulièrement sur les environs de la presqu'île de Nouméa, c'est à dire sur une faible fraction de la superficie des lagons de la zone économique de la Nouvelle-Calédonie.

3.2.2 - Le programme LAGON

Entre 1984 et 1989 les lagons de la Nouvelle-Calédonie ont fait l'objet d'un échantillonnage intensif par dragages et chalutages (RICHER DE FORGES *et al.*, 1987 ; RICHER DE FORGES, 1991b). Ces récoltes ont eu lieu dans le cadre du programme "LAGON" lancé par l'ORSTOM et qui avait pour objectifs : l'inventaire de la faune et de la flore benthique ; la cartographie bionomique des lagons et l'étude des sédiments ; l'évaluation des biomasses au sein des différentes communautés ainsi qu'une modélisation des flux d'énergie dans les réseaux trophiques. Ce dernier point impliquant une connaissance des transports particuliers par les masses d'eau, une étude des courants fut réalisée dans le Lagon Sud-Ouest où elle permet une modélisation de la circulation.

Plus de 1 200 dragages et chalutages ont été effectués dans les lagons entre 5 et 100 m de profondeur entraînant la constitution d'importantes collections d'organismes benthiques qui sont déposées au Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) à Paris d'où elles ont été réparties pour études auprès des taxonomistes.

Pour compléter les collections des dragages et tenter d'évaluer la biodiversité en Mollusques, un "Atelier" fut organisé en Nouvelle-Calédonie en 1993 sous le nom d'Expédition Montrouzier. Deux chantiers d'un mois, l'un à Touho, sur la côte Est et l'autre à Koumac dans le lagon Nord-Ouest réunirent une vingtaine de personnes et permirent la récolte d'environ 4 000 espèces de Mollusques sur quelques centaines de km² de lagon (BOUCHET, 1994).

En 1995, un échantillonnage intensif d'un mois dans le lagon Sud-Ouest permis de dresser un premier inventaire de la faune des Crustacés Amphipodes en récoltant 180 espèces dont plus de la moitié sont nouvelles pour la science (LOWRY, *comm. pers.* ; MYERS, 1997).

3.2.2.1 - Matériel et méthodes

Le programme "LAGON", et plus particulièrement son opération de bionomie benthique, disposait donc de quelques éléments pour s'orienter et généraliser à l'ensemble des lagons les connaissances résultant des recherches citées ci-dessus (RICHER DE FORGES *et al.*, 1987 a ; GRANDPERRIN & RICHER DE FORGES, 1989b). Certaines zones du lagon ont été étudiées de façon plus précise sur le plan sédimentaire (CHEVILLON, 1985) et une étude sédimentologique et bioclastique a été effectuée pour les Lagons Est et Nord (CHEVILLON, 1989, 1990, 1997) et pour l'atoll d'Ouvéa (CHEVILLON, 1996).

La surface à échantillonner étant très importante (23 400 km²), le moyen de prélèvement retenu pour les fonds meubles fut la drague car cet engin permet de récolter rapidement à la fois le sédiment et la faune, vagile ou fixée, épigée ou endogée.

Les bateaux

Les récoltes par dragages numérotées de 1 à 903 ont été réalisées à partir du N. O. "Vauban", chalutier de 24 m qui travailla pour l'ORSTOM jusqu'en 1987. A partir de 1988, le N. O. "Alis", chalutier de pêche par l'arrière de 28 m, réalisa les stations 904 à 1217.

Certaines récoltes proviennent de plongées à partir d'une autre embarcation de l'ORSTOM, le N. O. "Dawa", vedette de 11 m.

Les récoltes concernant le lagon des îles Chesterfield (Campagnes CHALCAL 1 ; CORAIL 2) ont eu lieu à partir du N. O. "Coriolis", chalutier de pêche par l'arrière de 35 m.

Les engins de prélèvement

Trois modèles différents de dragues ont été utilisés : une drague CHARCOT (80 cm d'ouverture), une drague WAREN de 70 cm de largeur utile (RICHER DE FORGES & LABOUTE, 1989) et une petite drague épibenthique. Chacune de ces dragues était équipée d'un sac composé de trois mailles : une maille intérieure de 5 mm, deux sacs en filet de mailles 30 mm, l'ensemble étant protégé soit par une cotte de maille métallique, soit par un épais tapis de caoutchouc. Une "manille cassante" était placée sur l'un des bras de la drague comme sécurité en cas de "croche". Bien qu'essentiellement composés de sédiments meubles, les fonds ne sont pas toujours homogènes, il est fréquent que la drague ramène des coraux, des fragments de dalle de grès ou encore des blocs de taille décimétrique composés d'algues calcaires (rhodolithes). Or, pour certains groupes tels que les Crustacés, la présence de formations rocheuses sur un fond meuble est très importante ; c'est ainsi que les Stomatopodes vivent souvent sous les blocs, les crabes Xanthidae dans les anfractuosités des madrépores, etc...

Certaines zones du lagon particulièrement planes, notamment en Baie de Boulari, dans le Lagon Nord et dans le lagon de Chesterfield ont permis l'utilisation d'un chalut à perche de 4 m (FOREST, 1981).

L'échantillonnage

Une drague travaille différemment selon la granulométrie des sédiments, le relief et la rugosité des fonds. D'une manière générale, les traits ont duré 5 mn, la drague étant tirée à la vitesse de un noeud. Toutefois, ils ont souvent été interrompus par la présence de reliefs imprévus. Quand le fond est très vaseux, la drague s'enfonce dès les premiers mètres ; en revanche, quand les fonds sont durs (dalles gréseuses) ou très rugueux (rhodolithes ou blocs coralliens) elle rebondit et ne reste qu'une partie du temps en contact avec le fond. Dans des conditions optimale de travail la surface échantillonnée est d'environ 120 m², mais il est illusoire d'espérer utiliser ce moyen pour un échantillonnage quantitatif puisque la surface réellement parcourue demeure inconnue.

Les dragages ont été réalisés selon un plan d'échantillonnage régulier tous les deux milles le long de radiales allant de la côte au récif barrière. Les radiales étant espacées de deux milles (3 704 m). Pour des raisons logistiques, le maillage fut de 3 milles dans le Lagon Nord et de 1 mille à proximité de Nouméa. A chaque extrémité des radiales, les stations les plus proches de la côte ou du récif ont été choisies de manière à conserver une distance et une profondeur de sécurité pour le bateau (profondeur > 5 m ; distance à la côte > 600 m). Il résulte de ces contraintes que les organismes des petits fonds sont très mal échantillonnés et restent paradoxalement les moins bien connus.

Dans la mesure du possible, la morphologie des rivages (baies, estuaires, chenaux) et des récifs (passes, îlots, cayes) a été prise en compte dans la répartition des stations. De même, plusieurs zones non-hydrographiées (Corne Sud-Ouest, Lagon Nord) n'ont été échantillonnées qu'en fonction des possibilités de navigation.

Les listes de stations, contenant les informations suivantes : numéro de station, profondeur en mètres, position en latitude et longitude (au 1/10 ème de minute) et une indication de la nature du substrat et des organismes caractéristiques, ont été publiées par RICHER DE FORGES (1991). Le positionnement des stations sur les cartes a été réalisé à partir de la cartographie au 1/60 000 ème disponible pour une partie des lagons (Service Hydrographique de la Marine, cartes n° : 3 806, 6 656, 6 827, 6 933, pour le sud-ouest ; n° : 6 768, 6 949, 6 529, pour l'est ; n° : 2 759, 2 985, 2 769, 2 803 pour le nord-ouest).

13 campagnes de dragages ont été nécessaires pour couvrir toute la superficie des lagons au rythme moyen de 15 opérations par jour. Les dragages du Lagon Sud-Ouest (5 554 km²) ont nécessité huit campagnes ; le Lagon Est (4 417 km²) deux campagnes ; le Lagon Nord-Ouest (2 242 km²) a été couvert en une seule campagne ; le Lagon Nord et les atolls de Huon et de Surprise (10 075 km²) ont été échantillonnés en deux campagnes très espacées dans le temps.

Le tri et le traitement des récoltes

Chaque prélèvement a été trié sur mailles de 5 et 2 mm ; la mégafaune, la macrofaune et la macroflore ont été séparées du sédiment. Un tri préliminaire a été réalisé à bord afin d'isoler les grands organismes sessiles : Algues, Spongiaires, Gorgones, Alcyonaires, Hydraires, Antipathaires, Ascidies. Les autres groupes, représentés souvent par de très grands nombres d'individus de petite taille, ont été conservés dans un fixateur (formol à 4 % neutralisé ou alcool à 75°) puis triés au laboratoire ; les plus fréquents sont les Mollusques, les Echinodermes, les Crustacés et les Annélides Polychètes.

La plupart des échantillons ont été expédiés au Muséum national d'Histoire naturelle (Paris) pour y être enregistrés et confiés pour étude à des taxonomistes. Certains groupes font cependant exception ; les Poissons pour lesquelles une identification préliminaire a été faite à Nouméa (RIVATON & RICHER DE FORGES, 1990) ; les Annélides Polychètes confiées directement à l'Australian Museum de Sydney (P. HUTCHINGS). Une partie des Echinodermes (Astérides, Holothurides, Echinides) a pu être identifiée à Nouméa grâce à l'existence du Guide illustré (GUILLE *et al.*, 1986). Des identifications préliminaires des macrophytes ont été réalisées pour le Lagon Sud-Ouest et une partie des échantillons a été confiée à des taxonomistes (GARRIGUE, 1987 ; GARRIGUE & TSUDA, 1988).

3.3. - Particularités des différents lagons

3.3.1 - Lagon Sud-Ouest

C'est dans le Lagon Sud-Ouest (5 554 km²), dans lequel se situe la presqu'île de Nouméa, que se sont déroulées la plupart des études antérieures au programme "LAGON".

Bathymétrie

Le Lagon Sud-Ouest est délimité par une barrière récifale continue, ponctuée seulement de quelques passes profondes et étroites ; au sud-est, cette barrière s'interrompt sur près de 30 milles (entre la Corne Sud-Ouest et l'île des Pins), le lagon y subit directement l'influence océanique ; la partie est du Lagon Sud-Ouest est délimitée par un ensemble complexe de récifs et d'îlots coralliens, ouvert sur le bassin des îles Loyauté par deux grandes passes (Passe de la Sarcelle et Passe de la Havannah).

Pour la plus grande partie du Lagon Sud-Ouest, il existe des cartes bathymétriques au 1/60 000 ème éditées par le Service Hydrographique de la Marine. Schématiquement, et en faisant abstraction des formations coralliennes éparées de petite taille (< 0,5 milles), on peut diviser le Lagon Sud-Ouest en trois zones (Fig. 32) :

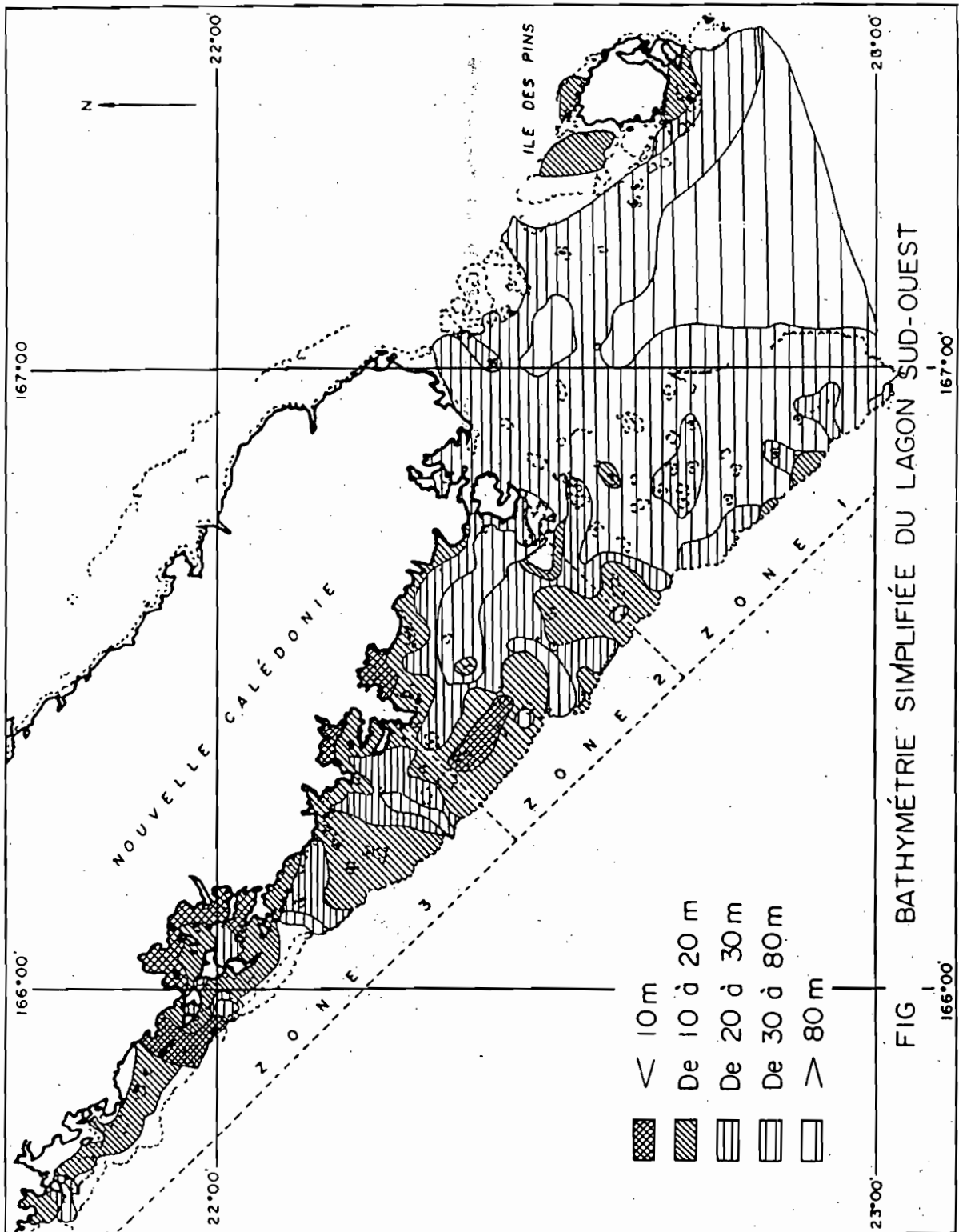
Zone 1 - Elle est située au sud de la Grande Terre ; le lagon y est très ouvert par de grandes passes : La Havannah, la Sarcelle et par le grand "thalweg" du Sud ; la profondeur varie de 50 à 80 m. Cette partie sud se termine d'un côté par la Corne Sud-Ouest fermée par une barrière corallienne presque continue (GUILCHER, 1965) et de l'autre par les ensembles récifaux de l'île des Pins. Entre ces deux structures se trouve un vaste "thalweg" sous-marin qui descend en pente faible jusqu'à 500-600 m de profondeur (CHEVILLON, 1986 ; RICHER DE FORGES, 1986).

Zone 2 - Il s'agit d'un bassin compris entre l'île Ouen et la presqu'île de Nouméa avec des fonds de 10 à 30 m ; il présente une cuvette entre 30 et 40 m ; les anciens lits de rivières sont nettement marqués par de petits canyons sous-marins (THOMASSIN, 1984 ; DEBENAY, 1985). Un seuil à moins de 20 m sépare ce bassin du suivant, situé plus au nord, la présence de l'îlot Maître et des récifs de Crouy et des Goélands contribuant à renforcer l'effet de seuil. Cette zone correspond au "bassin sud du Lagon Sud-Ouest" de CHEVILLON (1986). Deux formations particulières situées à la frontière des zones 1 et 2 sont à signaler : d'une part la baie du Prony très fermée et très profonde (30-50 m), d'autre part le Canal Woodin situé entre l'île Ouen et la côte.

Zone 3 - Elle correspond au nord-ouest de la presqu'île de Nouméa ; le lagon s'y resserre pour atteindre 5 milles de large au niveau de la baie de St. Vincent. Dans cette partie, les profondeurs sont moindres (10-20 m) à l'exception des anciens lits de rivières aboutissant au niveau des passes de Dumbéa, Uitoe, St. Vincent et Ouarai. Cette zone correspond au "bassin nord du Lagon Sud-Ouest" de CHEVILLON (1986).

Hydrologie

Les caractéristiques hydrologiques du Lagon Sud-Ouest ont été exposées par ROUGERIE (1986) : les températures des eaux de surface oscillent en moyenne entre 26,5°C en été (janvier) et 21°C en hiver (juillet) ; la marée de type semi-diurne atteint une amplitude maximale de 1,8 m ; la houle lagonaire levée par un alizé modéré à fort (15-25 noeuds) présente des amplitudes de 1 à 2 m pour une période de 3 à 6 secondes ; la salinité oscille au cours de l'année de 31,5 ‰ en



mars à 36 ‰ en octobre. La circulation des eaux dans le lagon et les échanges au niveau des passes reflètent les mouvements des marées (JARRIGE *et al.*, 1975). Ainsi, la passe de Dumbéa présenterait, par alizé de SE, un courant sortant pendant environ 46 % du temps avec des intensités variant de 50 à 65 cm / s (1 à 1,3 noeud). Il existe un courant général de surface SE-NO, dû au vent dominant et à l'arrivée de l'onde de marée par la partie ouverte du lagon au sud. Les masses d'eaux s'engouffrent dans "l'entonnoir" formé entre la Grande Terre et le récif barrière ; l'écoulement se ferait par les passes et par un courant de fond NO-SE situé dans l'axe du lagon, courant de compensation de DEBENAY (1985).

De 1988 à 1990, des mesures de courants, de marées et de vents, ont permis la réalisation de modèles de circulation bi et tridimensionnel du lagon Sud-Ouest (DOUILLET *et al.*, 1989, 1990). Ces études montrent que les déplacements liés à la marée sont négligeables devant ceux liés au vent.

Géomorphologie et sédimentologie

Les trois unités sédimentaires, fonds vaseux, fonds gris et fonds blancs, ont été décrites par tous les auteurs ayant travaillé dans le Lagon Sud-Ouest, devant Nouméa où le lagon est large (SALVAT, 1964 ; THOMASSIN, 1981 ; RICHER DE FORGES *et al.*, 1987 a ; CHARDY *et al.*, 1988).

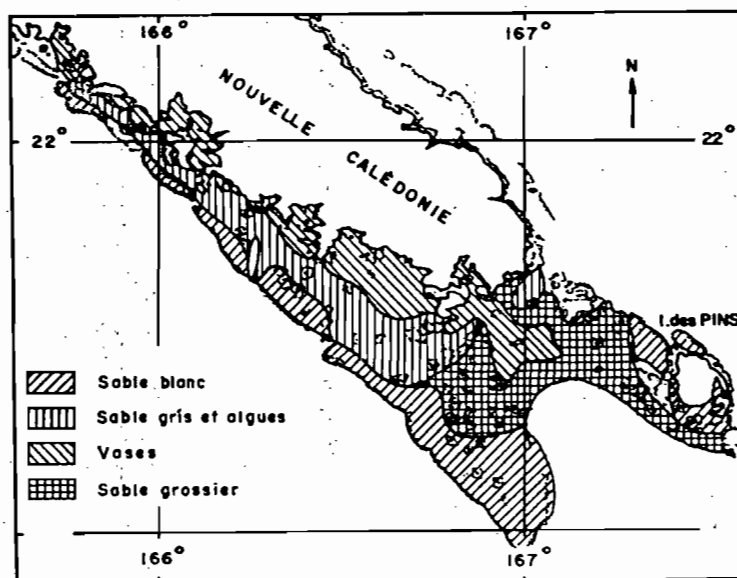


Fig. 33. – Cartographie sommaire des types de fonds du Lagon Sud-Ouest établie d'après les dragages (d'après RICHER DE FORGES *et al.*, 1987 a).

Cette répartition schématique des sédiments varie dans le détail selon la morphologie du bassin lagonaire. Dans la zone 1 du Lagon Sud-Ouest, la frange côtière envasée disparaît au sud de l'île Ouen, ainsi que la zone médiane de mélange (Fig. 33). Cette portion du lagon n'étant

entourée que de formations carbonatées (récif barrière au sud-ouest, îlots coralliens à l'est, et des récifs de l'île des Pins au sud-est), se comporte comme un atoll et présente des sédiments de granulométrie variée mais où l'origine bioclastique domine (CHEVILLON, 1985 ; CHEVILLON & RICHER DE FORGES, 1988). Dans la partie nord du bassin sud-ouest, le lagon se rétrécit pour ne mesurer que 2 milles au niveau de Téremba ; il se réduit à une sorte de chenal ne dépassant par 15 m de profondeur, et la zone de mélange n'est plus nettement distincte.

Le schéma sédimentaire à trois zones disparaît au niveau des baies (Prony, Boulari, Dumbéa, St. Vincent) dans lesquelles se jettent des rivières. Ces baies sont très envasées et les zones d'estuaires sont généralement bordées de mangroves (THOLLOT, 1989).

Au cours du Quaternaire, les niveaux marins ayant subi d'importantes fluctuations, avec un retrait jusqu'à 120 m plus bas que le niveau actuel il y a 18 000 ans (COUDRAY, 1982 ; CARTER & JOHNSON, 1986), les lagons se sont asséchés et les rivières ont creusé leurs lits jusqu'aux passes dans les anciennes plaines côtières correspondant aux lagons actuels. Ces anciens lits sont encore bien marqués dans la bathymétrie (Fig. 34) et permettent une pénétration des sédiments fins terrigènes au sein des zones médianes et même récifales (DEBENAY, 1985 ; CHARDY *et al.*, 1988).

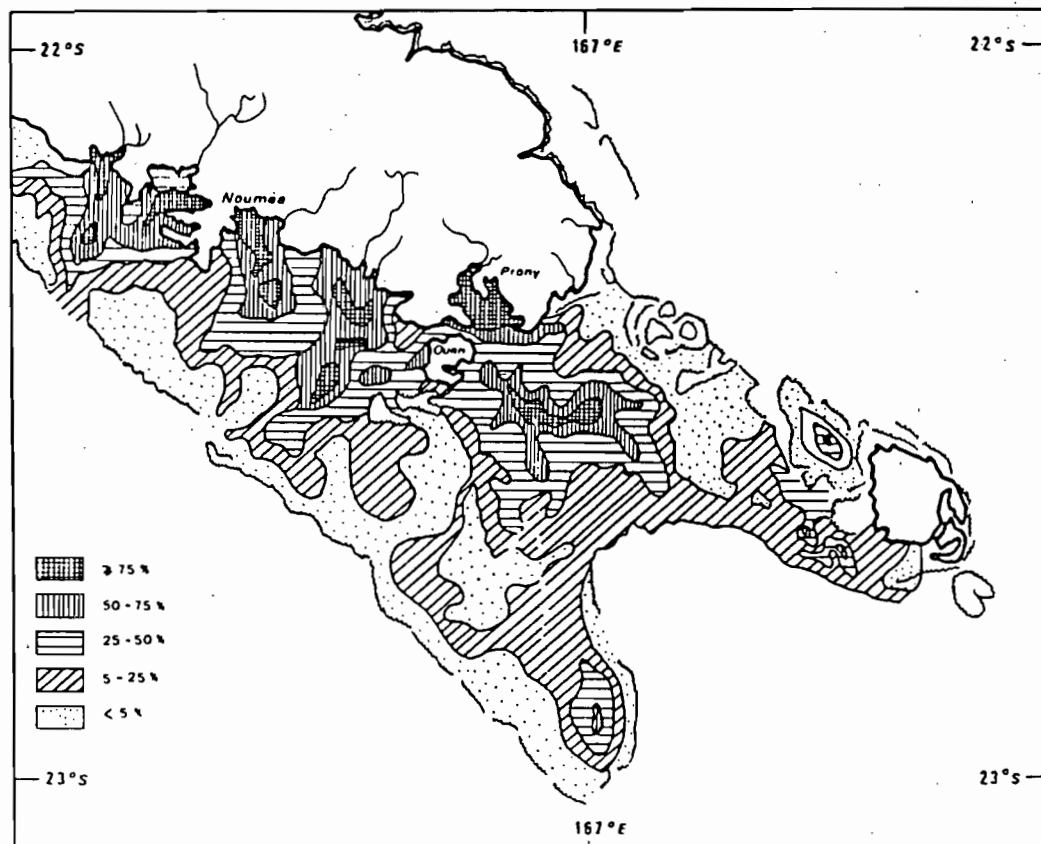


Fig. 34. – Carte sédimentologique de la répartition des vases (< 0,063 mm) dans le Lagon Sud-Ouest (d'après CHEVILLON & RICHER DE FORGES, 1988).

Les principales rivières débouchant dans le Lagon Sud-Ouest sont, du Sud vers le Nord : la rivière de Prony dans la baie du Prony, la rivière des Pirogues et la Coulée en baie de Boulari, la Dumbéa en baie de Dumbéa, la Tontouta, la Ouenghi et la Ouaméni en baie de St. Vincent, la Foa en baie de Téremba (Fig. 31). Elles déversent dans le lagon des eaux douces chargées en particules ; du fait des pluies abondantes sur les reliefs et des travaux miniers réalisés sur la Grande Terre, l'érosion pluviale est intense. On retrouve des "boues rouges", caractéristiques des terrains miniers latéritiques, à plusieurs kilomètres de la côte devant l'estuaire de la rivière des Pirogues. Il existe peu de données sur les transports solides par les rivières ; BRUNEL (1980) cite les chiffres de 1 à 61 mg / l pour la Ouenghi en période de crues. Ce transport peut varier énormément en fonction de la violence des pluies ; DUGAS et DEBENAY (1982) estiment à 15 000 t les matériaux transportés dans le lagon par la Dumbéa lors du cyclone Brenda en janvier 1968.

Les eaux des rivières sont également chargées en substances dissoutes notamment en sels minéraux. Cette charge a été estimée pour la Dumbéa à 10 000 t / an (DEBENAY, 1985). Pour cette même rivière, les débits mensuels moyens varient de 0,9 m³ / s en mai à 13 m³ / s en janvier, pour une année sans cyclone.

Dans les notices accompagnant leurs cartes sédimentologiques du Lagon Sud-Ouest, DUGAS et DEBENAY (1978, 1980, 1981, 1982) décrivent les grands traits morphologiques du lagon : récif barrière découpé par des passes profondes, récifs frangeants, récifs d'îlots. Selon eux, l'ensemble de ces formations récifales délimitent un lagon interne et un lagon externe. Le lagon interne est constitué par les baies de St. Vincent, Dumbéa, Boulari. Le lagon externe est situé entre le récif barrière et l'alignement des îlots coralliens M'Ba, M'Bo, N'Gé, Crouy, Goélands et Amédée. COUDRAY (1982) et THOMASSIN (1984) ont développé cette idée d'un lagon Sud-Ouest portant la trace des étapes du basculement de la partie sud de l'île. Les alignements d'îlots correspondraient donc à des vestiges d'anciennes barrières coralliennes.

La morphologie récifale influence également sur la nature des dépôts sédimentaires qui ont eux-mêmes, en retour, une action sur le développement des madrépores (THOMASSIN & MASSE, 1985).

A l'intérieur du lagon, de nombreuses formations récifales sont présentes : pinacles, cayes, îlots, qui sont autant d'anomalies dans le schéma sédimentaire général. Autour de chacun de ces reliefs "rocheux", on rencontre des sédiments plus grossiers contenant de nombreux débris de coraux (en particulier d'*Acropora*) formant une auréole périrécifale.

Les communautés benthiques

A partir des 481 dragages réalisés dans le lagon Sud-Ouest, les travaux qui ont été réalisés (RICHER DE FORGES *et al.*, 1987b, 1991) ont conduit à définir trois grandes unités sédimentaires, fonds blancs, fonds gris et fonds envasés qui conditionnent la répartition des peuplements (Fig. 35).

Les **fonds blancs** décrits par SALVAT (1964) sont soumis à l'influence du récif barrière et des eaux qui le franchissent. Composés exclusivement de matériaux biogènes carbonatés, ces fonds abritent une très riche macrofaune : Crustacés (pagures et crabes), Mollusques (Strombidae, Terebridae et Cerithiidae), Echinodermes. Par endroit ils sont tapissés de Cyanophycées. D'après les résultats des dragages, cette zone s'étend jusqu'à 15 m de profondeur soulignant le bord interne de la barrière. Dans la partie sud du lagon (zone 1, Fig. 32), ces fonds tendent à occuper toute la superficie de la Corne Sud-Ouest et l'on observe alors des variations dans les peuplements, en fonction de la profondeur et de la distance au récif. La zone des fonds blancs proche de la barrière (< 10 m) est constellée de formations coralliennes (Acroporidae, Poritidae, Faviidae). Parmi les Mollusques, les Strombidae (*Strombus luhuanus*, *S. gibberulus*, *Terebellum terebellum*) et le Cerithiidae *Rhinoclavis fasciata* sont très fréquents (RICHER DE FORGES *et al.*, 1988 b ; GOIRAN, 1990).

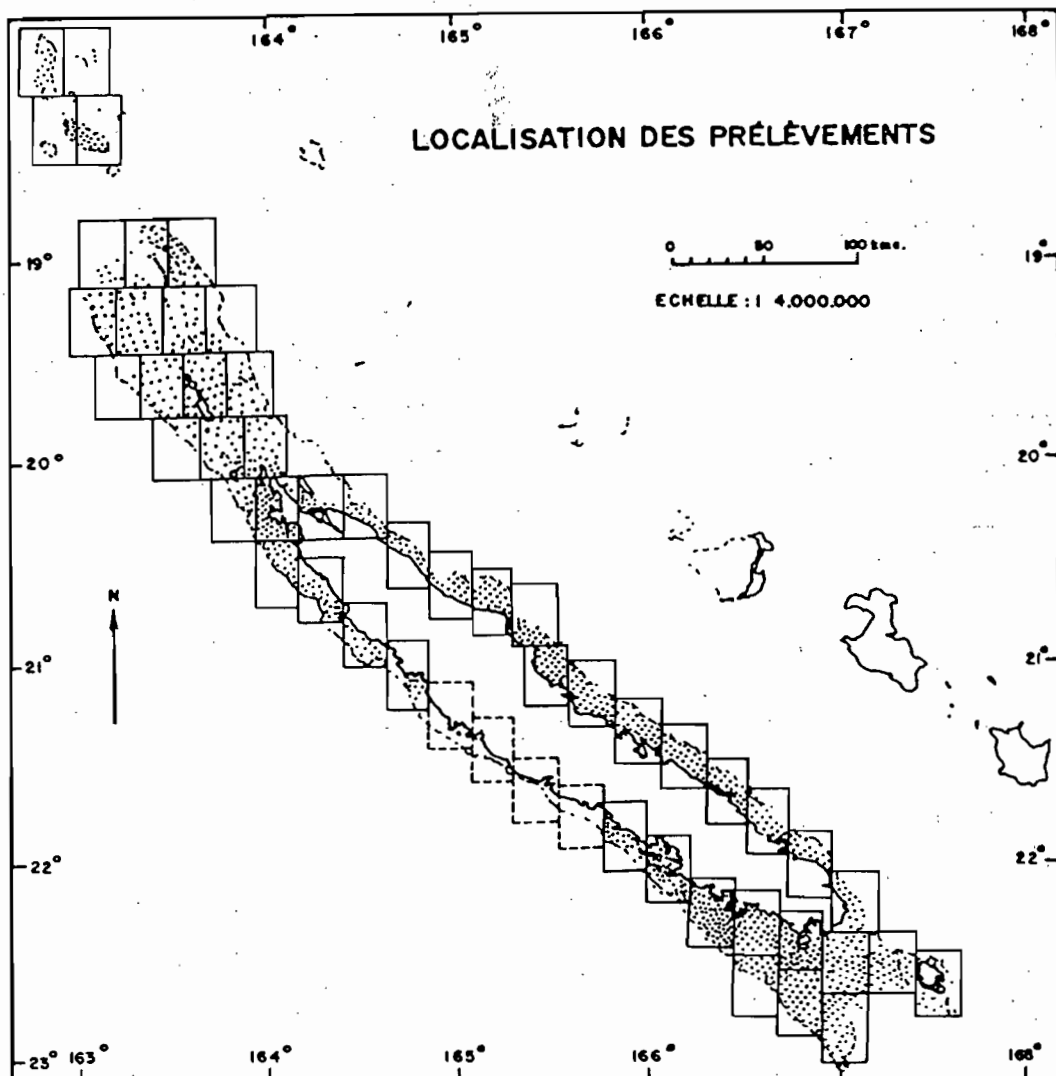


Fig. 35. — Localisation des 1 217 stations de dragages réalisées dans les lagons de Nouvelle-Calédonie. Chaque point représente un dragage. Les stations sont espacées de 2 milles, sauf dans le Lagon S-O, devant la presqu'île de Nouméa où la maille est de 1 mille et dans le Lagon N où elle est de 3 milles. La zone médiane de la Côte Ouest, non navigable, n'a pas été échantillonnée (d'après RICHER DE FORGES, 1991b).

Sur les **fonds gris**, qui occupent la partie médiane du lagon, on observe des herbiers de Caulerpales et par endroit des coraux libres des genres *Heteropsammia*, *Heterocyathus*, *Trachyphyllia*, *Diaseris* et *Cycloseris*. Au cours de leur étude à la benne, CHARDY *et al.*, (1987) mentionnent des densités de l'espèce *Heteropsammia cochlea* pouvant atteindre 314 individus / m². Les Mollusques sont abondants avec les Pectinidae, *Bractechlamys vexillum* et les Strombidae, *Strombus erythrinus* et *S. luhuanus*. Parmi les Echinodermes, les plus fréquemment rencontrés sont les astérides *Protoreaster nodosus*, *Pentaceros alveolatus*, les échinides *Maretia planulata*, *Gymnechinus epistichus* et l'holothurie *Halodeima edulis*. Dans la partie nord du Lagon Sud-Ouest, à partir de la baie de St. Vincent, ce type de fond se réduit et disparaît au niveau de Téremba. Les fonds gris disparaissent au sud de la Grande Terre (Fig. 33).

Les **fonds vaseux** occupent toute la frange côtière et plus particulièrement les baies de St. Vincent, Dumbéa, Boulari et du Prony. Ces vases, généralement rougeâtres, sont très pauvres en macrofaune (la drague utilisée échantillonne mal ces milieux) ; on y trouve en abondance des turritelles et par endroit de grosses huîtres dont les coquilles servent de substrat à une faune fixée : Hydraires, Anthipathaires, Spongiaires, Ascidies, Mollusques lamelibranches. Au large de la rivière des Pirogues, sur une zone d'environ 100 km², vers 30 à 35 m de profondeur, se trouvent des sortes de crêtes de vases portant de riches peuplements coralliens (48 % de recouvrement). Ce milieu très turbide (banc Gail) a fait l'objet de quelques études sur la morphologie et la fluorescence des coraux (CATALA, 1958 ; JOANNOT *et al.*, 1983 ; LABOUTE, 1988). Vers le sud les fonds vaseux se prolongent sur plus de 20 milles au sud de la baie du Prony (Fig. 34). Dans cette baie, la vase rouge est très pauvre ; on y trouve cependant quelques Sipunculides et un Poisson du genre *Ctenotrypauchen*.

3.3.2 - Lagon Est

Le Lagon Est de la Nouvelle-Calédonie (4 417 km²) est délimité par une barrière corallienne parallèle à la côte et distante de celle-ci d'environ cinq milles. Au Sud, il se termine au niveau d'une très large passe, le canal de la Havannah ; au Nord, il rejoint le Lagon Nord au niveau de l'île Balabio. La distinction entre le nord du Lagon Est et le sud du Lagon Nord n'étant pas très nette, on peut fixer leur limite au niveau du chenal Devarenne.

Aucune étude n'avait encore eu lieu sur ce versant de l'île, à l'exception de quelques plongées réalisées en baie de Canala lors de la Mission Singer-Polignac (SALVAT, 1964) et de l'étude d'évaluation des stocks de "bêches-de-mer" (CONAND, 1989).

Bathymétrie

Le lagon de la Côte Est, est plus profond que le lagon du Sud-Ouest. La côte est accore et les fonds atteignent rapidement 45 à 50 m, voire 70 m dans les lits fossiles de rivières.

Au niveau des passes de Hienghou et de Hienghen, qui correspondent à des zones de fractures et d'effondrement, les profondeurs passent brusquement de 60 à 200 m.

Au nord de la Ouaième, les profondeurs sont de 20 à 30 m avec des chenaux de plus de 50 m devant les passes Le Leizour et de Pouebo. L'estuaire du Diahot est pratiquement fermé par l'ensemble de récifs qui entourent l'île Balabio et les profondeurs n'y dépassent pas 15 m.

Hydrologie

Les nombreuses rivières qui s'écoulent sur le versant est de l'île ont profondément creusé le fond du lagon lors de la dernière glaciation (18 000 à 12 000 ans) quand le niveau marin était beaucoup plus bas qu'actuellement. Ces lits fossiles, encore très bien marqués, sont le siège de dépôts de particules fines.

Les principales rivières sont, du Sud au Nord : la Yaté, la Ouinné, la Thio, la Canala, la Houailou, la Tchamba, la Tiwaka, la Tipindjé et la Ouaième. Dans la partie nord du Lagon Est se déverse la plus grande rivière de Nouvelle-Calédonie, le Diahot (Fig. 31).

Géomorphologie et sédimentologie

Par suite d'un basculement général de la Nouvelle-Calédonie vers l'est, la barrière récifale est submergée sous quelques mètres d'eau et n'offre donc pas un rempart efficace à la houle de sud-est levée par l'alizé.

La Côte Est de l'île est plus abrupte que le versant ouest et les précipitations y sont plus abondantes entraînant d'importants apports terrigènes dans le lagon. Ce phénomène est accru par les exploitations minières au point de modifier la topographie des estuaires (BIRD *et al.*, 1984 ; CHEVILLON, 1997)

Des cartes sédimentologiques ont été publiées (CHEVILLON, 1989), à partir de prélèvements de sédiments réalisés lors des dragages, et complétés par quelques stations à la benne. Il s'agit de trois feuilles au 1/400 000 ème : 1ère feuille - répartition des types granulométriques ; 2ème feuille - répartition des carbonates ; 3ème feuille - répartition des lutites. Ces différentes approches montrent une zonation parallèle à la côte : frange côtière très vaseuse s'étendant parfois jusqu'au milieu du lagon, zone sablo-vaseuse avec des articles d'*Halimeda*, puis en se rapprochant de la barrière récifale, sables grossiers plus clairs avec d'importantes quantités de foraminifères.

Des baies profondes entaillent la Côte Est ; leurs fonds sont entièrement constitués de vases rouges d'origine latéritique. Les principales sont : baie de Nakéty, baie de Canala, baie de Kouaoua, baie Lebris.

Dans la partie sud, au niveau de Goro, le lagon atteint plus de 80 m de profondeur et présente des fonds durs de dalles gréseuses couvertes de sables grossiers coquilliers et de

foraminifères. Une autre particularité de ce lagon, est l'existence dans sa partie nord, de zones d'estuaires composées de vases grises contenant beaucoup de débris végétaux.

La barrière récifale présente de nombreuses passes dont certaines sont très larges (passe de Touho, passe de Hienghen).

Vers le nord, à partir de la passe de Touho, le lagon change de forme ; il s'élargit beaucoup au niveau du grand récif Mengalia jusqu'à atteindre plus de 10 milles de largeur, puis la barrière subit un double décrochement au niveau des passes de Hiengou et de Hienghen. Ensuite le lagon devient très étroit (2 à 3 milles) ; il est alors encombré de formations récifales qui semblent alignées et correspondent probablement à une ancienne barrière.

Comme l'avait signalé GUILCHER (1963), on observe en plusieurs endroits un dédoublement de la barrière récifale, les deux branches laissant entre elles un microlagon (récif aux trois bras, passe de Kouaoua, au large du cap Bayes).

Peuplements

Le Lagon Est a une structure plus régulière que le Lagon Sud-Ouest, mais on y retrouve les trois grandes communautés décrites par RICHER DE FORGES *et al.* (1987b) et CHARDY *et al.* (1988) :

- La zone côtière vaseuse est plus large et plus régulièrement répartie du Sud au Nord, avec une vase rouge latéritique très pauvre en macrofaune et ne portant aucune macroflore. Les organismes dominants sont : les Mollusques gastéropodes (*Turritellidae* et *Cerithiidae*) ; les Crustacés, brachyours (*Hexapus sexpes*, *Macrophthalmus latreillii*, *Iphiculus spongiosus*), thalassinides et stomatopodes ; les Echinodermes (*Brissopsis luzonica*, *Schizaster lacunosus*, *Anametalia sp.*). Dans les fonds de baies très envasés on rencontre le petit Poisson aveugle *Ctenotrypauchen microcephalus*, des Sipunculides et des Echiuriens.

Vers le nord, la zone côtière vaseuse est constituée de vases grises terrigènes et les peuplements associés sont plus riches en Crustacés (*Lybistes sp.*) et en Echinodermes (*Lovenia elongata*) ; on y trouve également des huîtres du genre *Pteria* et des lingules.

Dans la partie très étroite du lagon au nord de la passe de Hienghen, on observe des vases réduites presque noires renfermant des débris de végétaux terrestres charriés par la Ouaième.

- La zone la plus proche du récif présente des fonds de sables grossiers coquilliers à foraminifères sur lesquels la macrofaune et la macroflore abondent. Les principaux macrophytes rencontrés sont des caulerpes (*Caulerpa taxifolia*, *C. sertularioides*), des *Halimeda* (*H. discoidea*, *H. cylindracea*), des phanérogames (*Halophila ovalis*). Parmi la macrofaune, on trouve fréquemment les astérides *Linckia multifora*, *Leiaster coriaceus*, les oursins *Laganum depressum*, *Gymnechinus epistichus* et des Mollusques (*Cerithiidae* et *Strombidae*).

Dans la partie nord du lagon qui est étroite, les courants de marées sont forts et l'on trouve des fonds de sables grossiers coquilliers caractérisés par l'abondance des *Pectinidae*

(*Gloripallium pallium*, *Amusium balloti*) et des Gorgones (*Subergorgia suberosa*, *Melithaea ocracea*).

- Les fonds intermédiaires sont plus inégalement répartis que dans le Lagon Sud-Ouest et ne constituent pas réellement une zone continue entre les fonds vaseux et les fonds de sables grossiers coquilliers à foraminifères ; on passe parfois très rapidement de la vase aux sables grossiers. Cependant, cette zone de sable vaseux à articles d'*Halimeda* existe en différents endroits ; elle est souvent parsemée de blocs coralliens. Elle présente des peuplements d'Algues (*Halimeda discoidea*, *Caulerpa taxifolia*, *Udotea sp.*) et d'invertébrés tels que les Echinodermes *Astropecten polyacanthus*, *Laganum depressum* et les Crustacés *Huenia proteus*, *Myra eudactylus* et *Arcania quinquespina*.

3.3.3 - Lagon Nord-Ouest

Les stations ont été réalisées dans ce lagon (2 242 km²) à bord du N. O. " *Alis* ".

Géomorphologie et sédimentologie

Le Lagon Nord-Ouest de la Nouvelle-Calédonie s'étend entre 21° et 20°05' S ; il est étroit vers le sud et va en s'élargissant vers le nord. L'île de Yandé forme, au Nord, la limite naturelle de ce lagon, bien qu'elle soit distante d'une dizaine de milles de la presqu'île de Paaba. La barrière récifale qui délimite ce petit Lagon Nord-Ouest est pratiquement continue et ne présente que quelques passes étroites et profondes : coupée de l'Alliance, passe Deverd, passe de Koumac, passe de la Gazelle, passes de Poum et de Yandé .

Ce lagon renferme de nombreux îlots coralliens et la côte est bordée par endroit de récifs frangeants ; quelques baies larges et envasées sont présentes : baie de Chasseloup, baie de Gomen, baie de Néhoué, baie de Tanlé et baie de Banaré.

Par plusieurs de ces caractères, ce lagon rappelle le Lagon Sud-Ouest ; il en diffère cependant par la profondeur et l'envasement. Les profondeurs sont généralement comprises entre 10 et 15 m et ne dépassent 25 m qu'au Nord, au niveau de l'île de Yandé.

Les principales rivières qui se jettent dans le Lagon Nord-Ouest sont, du Sud vers le Nord : la Temala, la Iouanga, la Koumac, la Néhoué et la Pouédiane.

Les types de fonds rencontrés dans le Lagon Nord-Ouest diffèrent en partie de ceux du Lagon Sud-Ouest sur lesquels ont porté la plupart des travaux de bionomie benthique. La zone côtière envasée se limite aux baies et à une étroite frange littorale ; l'influence terrigène est cependant sensible dans toute la partie médiane du lagon où se trouvent des fonds gris de sables grossiers. Devant les baies, cette influence est sensible jusqu'à la barrière récifale où l'on observe alors des sables fins " blancs-gris ".

Peuplements

Bien que de couleur grise, ces sables présentent des peuplements caractéristiques des fonds blancs : crabes Raninidae ; gastéropodes *Terebellum terebellum*...

La zone équivalente aux fonds gris du Lagon Sud-Ouest est plus envasée ; elle présente des peuplements d'*Halimeda*, d'*Udotea* et des coraux libres *Heteropsammia*, *Heterocyathus* et *Cyclôseris*, mais également par endroit une faune caractéristique des milieux envasés : Sipunculides, turrnelles, crabes *Hexapus sexpes* et oursins *Brissopsis luzonica*.

Les véritables fonds blancs sont rares et généralement situés dans des zones de faibles profondeurs où les nombreuses formations coralliennes faisant obstacle à la navigation n'ont pas permis d'échantillonner.

L'une des caractéristiques des peuplements des fonds meubles du Lagon Nord-Ouest est leur richesse en Mollusques gastéropodes et lamellibranches qui produisent par endroit des accumulations de sables coquilliers. On observe également un décalage des peuplements de la côte vers le récif avec la présence dans les fonds gris d'espèces qui, dans le Lagon Sud-Ouest, sont strictement inféodées aux baies très envasées. Ceci est dû à la faible largeur du lagon, à sa profondeur réduite et aux apports terrigènes importants. Les indicateurs de cet envasement sont :

- la présence du Poisson *Ctenotrypauchen microcephalus* en plusieurs points de la côte (RIVATON & RICHER DE FORGES, 1990) ;
- le pourcentage élevé d'occurrence de l'oursin fouisseur *Brissopsis luzonica* (32,03 % des stations) dans la zone de fonds gris ;
- la quasi disparition des fonds blancs vrais et leur substitution par un sable gris clair.

Les espèces caractéristiques des fonds vaseux sont *Astropecten polyacanthus*, *Brissopsis luzonica* et *Laganum depressum* pour les Echinodermes ; *Macrophthalmus latreillii* et *Hexapus sexpes* pour les Crustacés ; les turrnelles et *Rhinoclavis sordidula* pour les Mollusques.

Les fonds sablo-vaseux gris du milieu du lagon sont les plus riches et l'on y trouve des herbiers avec, par ordre d'occurrence décroissante : *Halimeda cylindracea*, *Halophila ovalis*, *Halimeda incrassata*, *H. discoidea*, *Udotea geppii*. Les invertébrés dominants sont les coraux libres *Heteropsammia cochlea*, *Heterocyathus aequicostatus*, *Cycloseris cyclolites* et *Trachyphyllia geoffroyi*, les Echinodermes *Halodeima edulis*, *Holothuria hilla*, *Brissopsis luzonica*, les Mollusques *Stombus erythrinus* et *S. luhanus*.

3.3.4 - Lagon Nord

Le Lagon Nord de la Nouvelle-Calédonie (10 075 km² avec les récifs d'Entrecasteaux), éloigné de plus de 400 km de la ville de Nouméa, a toujours été le plus mal connu des lagons. Jusqu'à une époque très récente aucune carte hydrographique fiable n'existait ; les relevés topographiques des récifs étaient grossièrement faux et la bathymétrie quasiment inexistante.

Depuis 1984, l'utilisation de photographies aériennes, des images produites par le satellite LANDSAT et l'exploitation des données de bathymétrie collectées par la Mission Océanographique du Pacifique et par l'ORSTOM ont permis de rectifier sur les cartes la forme des récifs d'Entrecasteaux et d'élaborer récemment l'édition d'une carte bathymétrique au 1/515 005 ème (COLLOT *et al.*, 1988).

Corrélativement, les renseignements concernant cette région sont très peu nombreux et lorsque la première campagne de dragage eut lieu en 1985, ils se limitaient à des généralités concernant les récifs d'Entrecasteaux (HAEBERLE, 1952 ; RANCUREL, 1974 ; PISIER, 1979).

Géomorphologie et sédimentologie

Le Lagon Nord (sans les récifs d'Entrecasteaux) est délimité par deux grands récifs barrières qui prolongent ceux qui entourent la Grande Terre (Fig. 36), le récif de Cook dans l'alignement de la Côte Est et le récif des Français dans celui de la Côte Ouest. Cet immense lagon, d'environ 50 km de large par 170 km de long, de forme pratiquement rectangulaire, représente, avec une surface estimée à 8 400 km², plus du tiers de la superficie des lagons de Nouvelle-Calédonie (TESTAU & CONAND, 1983).

Il est extrêmement différent du Lagon Sud-Ouest du fait de sa latitude plus élevée (19°50' à 20°10'S), de sa profondeur plus grande (Fig. 38) et de l'absence presque totale d'îlots coralliens. Deux éléments importants le caractérisent : d'une part la présence des îles Belep, fragments de la chaîne de montagne qui traverse la Nouvelle-Calédonie, d'autre part l'arrivée des eaux du fleuve Diahot dans sa partie sud.

La partie nord de ce lagon reste ouverte sur environ 20 milles et débouche sur le Grand Passage qui sépare le Lagon Nord proprement dit des récifs d'Entrecasteaux (RICHER DE FORGES & BARGIBANT, 1985 ; COLLOT & MISSEGUE, 1986 ; RICHER DE FORGES, 1986 ; COLLOT *et al.*, 1988 ; CHEVILLON, 1990). Dans sa terminaison nord-est, le récif de Cook se recourbe sur lui-même formant une sorte d'atoll allongé NO-SE, long de 16 milles et large de 5 milles.

Les principales caractéristiques des dépôts sédimentaires du Lagon Nord de la Nouvelle-Calédonie ont été exposés par CHEVILLON et CLAVIER (1988), et CHEVILLON (1990) et peuvent être résumées de la façon suivante :

Un échantillonnage à la benne dans le Lagon Nord a permis de dresser les cartes des types granulométriques, des carbonates et des teneurs en vases (Fig. 37). La teneur en carbonates des sédiments est pratiquement toujours supérieure à 80 % excepté à proximité de l'extrémité nord de la Grande Terre (presqu'île de Paaba).

La teneur en vase est faible le long des récifs barrière et vers l'extrémité nord du lagon (fonds blancs) ; elle est maximale au débouché de l'estuaire du Diahot, sous le vent des îles Belep (vases terrigènes) et dans la cuvette d'accumulation située dans la partie centrale nord (vases

biogènes). Par rapport au Lagon Sud-Ouest, l'origine principalement biogène des sédiments est nette. On observe cependant dans le sud une influence des apports terrigènes par le Diahot, qui est particulièrement visible au niveau de la couleur des sédiments. Les fonds vaseux sont limités aux zones de décantation ; les fonds gris, formés par le mélange des sables coralliens et des apports terrigènes se situent dans l'axe du lagon. La teneur en vase des sédiments du Lagon Nord varie de 1,3 à 88,8 % du poids sec de l'échantillon. Les faciès d'envasement sont à peu près concentriques surtout dans la moitié nord où l'on observe un gradient d'envasement de la barrière corallienne vers la cuvette centrale (CHEVILLON, 1990):

On distingue donc trois types de fonds selon leur teneur en vase :

- les fonds périphériques (vase < 10 %)
- les fonds de la plaine (vase 10 à 40 %)
- les aires de sédimentation (vase 40 à 80 %)

La sédimentation est essentiellement carbonatée et l'influence terrigène des îles Belep, et de la presqu'île de Paaba est à peine décelable. Ceci se conçoit si l'on sait que les terres émergées (île Belep, île Yandé, presqu'île de Paaba) ne représentent que 6 % de la surface du Lagon Nord et qu'il n'existe aucun cours d'eau permanent sur ces reliefs. L'embouchure du Diahot est séparée du Lagon Nord proprement dit par un passage compris entre l'île Balabio et la partie nord de la Nouvelle-Calédonie ; ce passage est, de plus, pratiquement obturé par des formations récifales et ne laisse libre qu'un étroit chenal où l'on observe de forts courants de marée (Canal Devarenne). Cependant, CLAVIER et LABOUTE (1987) ont observé grâce à des mesures réalisées au disque de SECCHI, un net gradient de la turbidité des eaux, diminuant du sud vers le nord.

Parmi d'autres paramètres descriptifs des sédiments, CHEVILLON (1990) a utilisé leurs couleurs. Ce caractère qui permet une différenciation immédiate des fonds sur le terrain est aisément utilisable par les écologistes. Les organismes marins présentent d'ailleurs de remarquables adaptations à la couleur des fonds (homochromie). Cette couleur est directement liée à la profondeur et à l'envasement ; le long des barrières coralliennes on observe les véritables fonds blancs jusqu'à 45 m de profondeur. Les sédiments de couleur vert-olive ont une teneur en carbonates < 70 % ce qui confirme la présence d'éléments terrigènes.

Peuplements

Les peuplements des fonds meubles observés dans le Lagon Nord de la Nouvelle-Calédonie diffèrent notablement de ceux du Lagon Sud-Ouest. Suivant les caractéristiques géomorphologiques et sédimentaires précédemment décrites, ils ont une répartition beaucoup plus homogènes et couvrent des aires plus importantes.

Les peuplements observés sur les fonds meubles du Lagon Nord reflètent les différences observées au niveau sédimentaire. Sur les fonds de sables blancs bordant les récifs barrière et

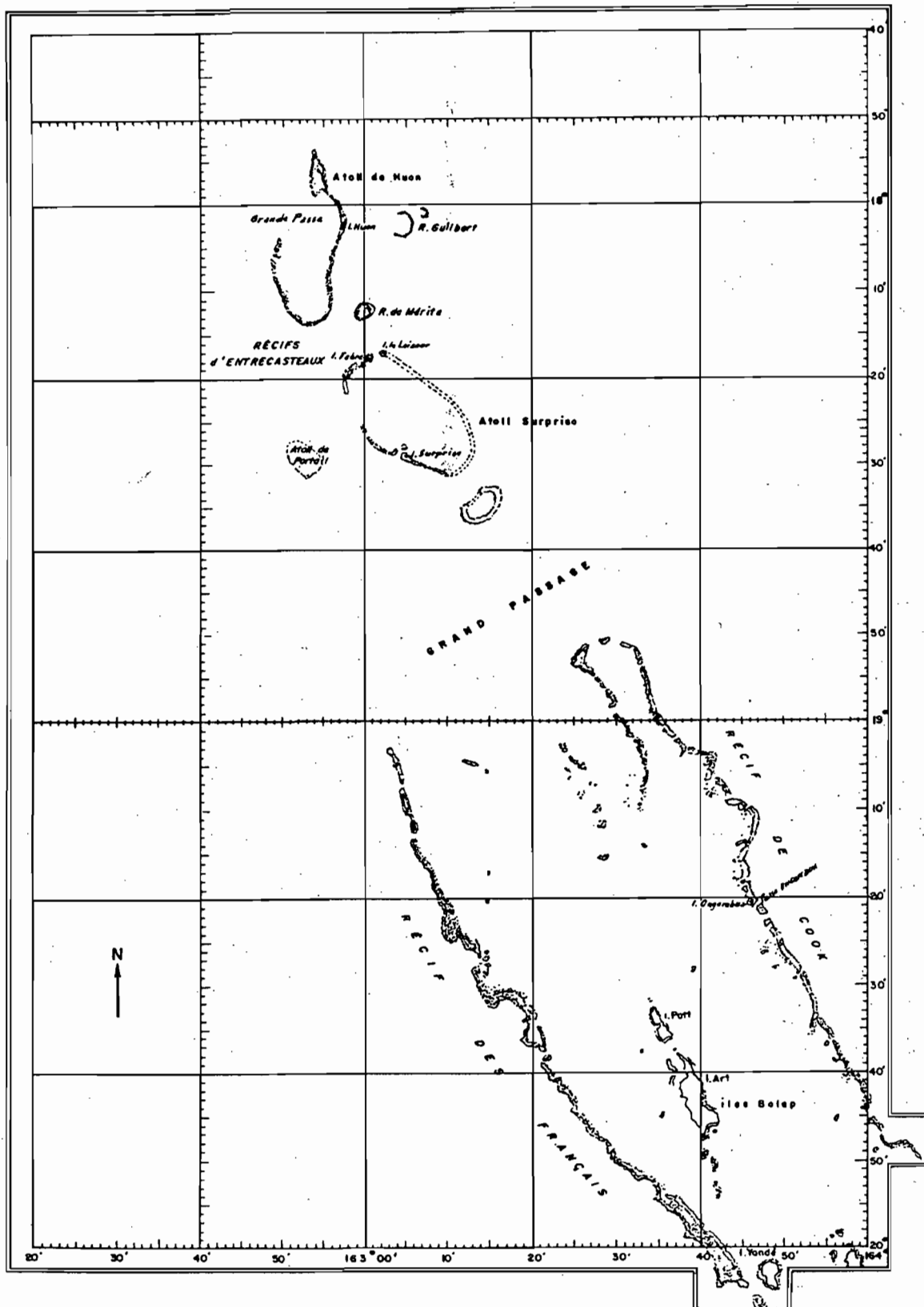


Fig. 36. — Carte du Lagon Nord de Nouvelle-Calédonie avec les récifs d'Entrecasteaux (atolls de Huon et de Surprise).

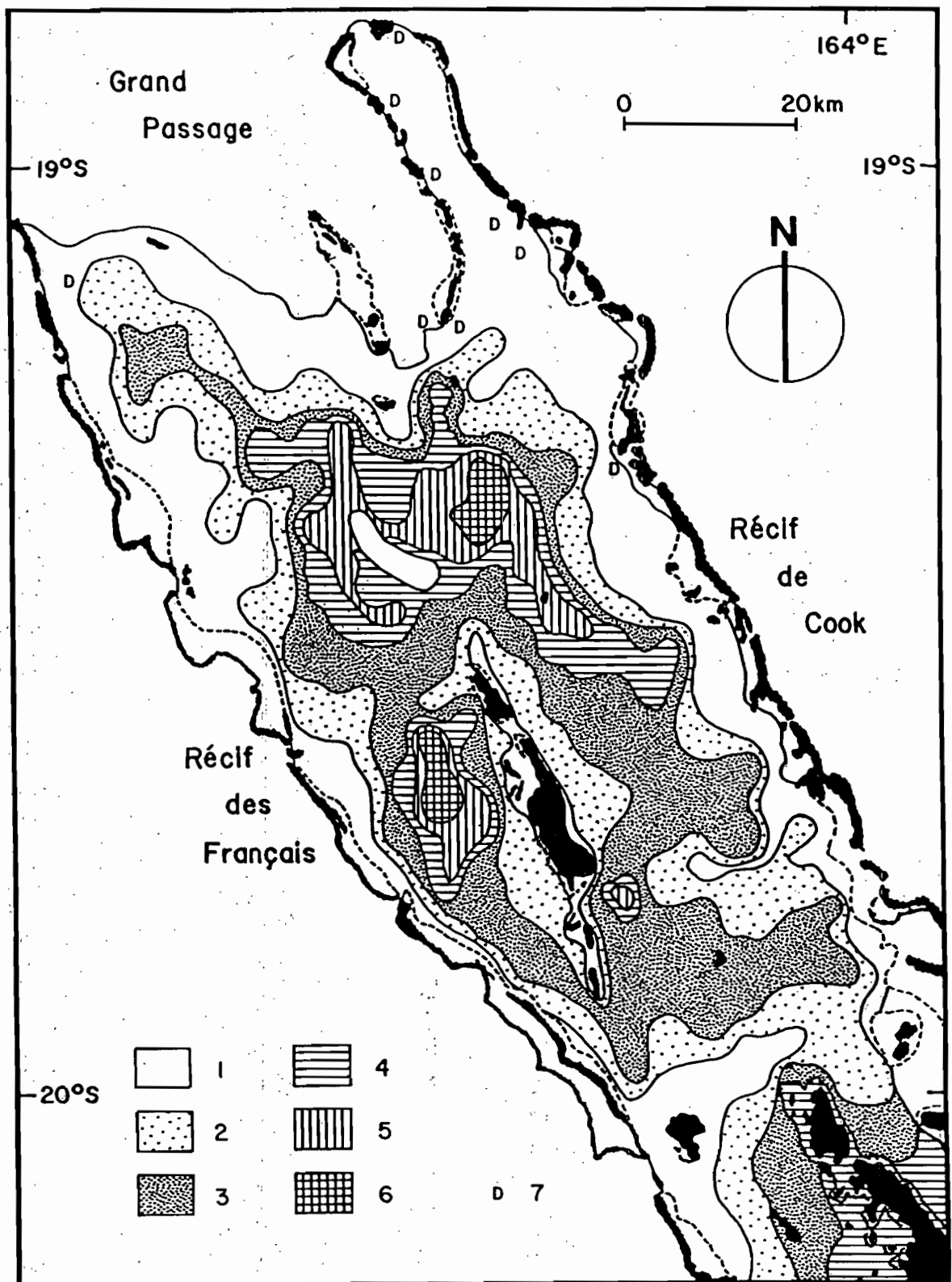


Fig. 37. – Carte sédimentologique du Lagon Nord de Nouvelle-Calédonie, répartition de l'envasement. 1 : moins de 10 % ; 2 : de 10 à 20 % ; 3 : de 20 à 40 % ; 4 : de 40 à 60 % ; 5 : de 60 à 80 % ; 6 : > 80 % ; 7 : fonds durs (d'après CHEVILLON & CLAVIER, 1988).

dans la Corne Nord-Est, on observe des herbiers de Caulerpales avec *Halimeda discoidea*, *H. incrassata*, *H. cylindracea*, *Caulerpa cactoides*, *C. taxifolia*, *C. racemosa*, *C. serrulata* et *C. bikinensis*. Parfois, ces sables sont coquilliers et contiennent des foraminifères. Les deux scléactiniaires libres (*Heteropsammia cochlea* et *Heterocyathus aequicostatus*) y sont très abondants. Les Mollusques les plus fréquents sont les Strombidae, les Xenophoridae et les Naticidae.

La bordure nord du lagon n'est pas close par une barrière récifale. On y observe des sédiments blancs fins sur lesquels l'espèce *Xenophora lamberti* est abondante (RICHER DE FORGES & ESTIVAL, 1985). Cette espèce semble caractéristique des profondeurs de 40 à 70 m sur sédiments fins avec un hydrodynamisme fort ; elle a également été récoltée dans le Lagon Sud-Ouest dans la passe de la Sarcelle et dans la partie centrale du lagon de Chesterfield (RICHER DE FORGES *et al.*, 1988 a).

La plaine centrale du Lagon Nord composée de sédiments sablo-vaseux gris clair, présente de grandes quantités de coquilles de turritelles. Dans les parties les plus envasées, on récolte des crabes de la famille des Hexapodidae, des Sipunculides et parfois quelques lingules (*Lingula adamsi*). Ces fonds plats sont suffisamment peu accidentés pour permettre le chalutage. Les chaluts à perche y capturent des Poissons plats, des stomatopodes, des crevettes pénéides et quelques Pectinidae (*Amusium balloti*). Parmi les Mollusques gastéropodes, les espèces les plus fréquentes sont : *Xenophora solaroides*, *Strombus erythrinus*, *Murex tribulus*. Parmi les Echinodermes, on remarque la présence de *Euretaster insignis*, *Poraster superbus*, *Astropecten polyacanthus*, *Laganum depressum*, *Brissopsis luzonica*, *Gymnechinus epistichus*. Les Crustacés sont représentés surtout par des brachyours (Leucosidae, Portunidae, Majidae, Hexapodidae) et des stomatopodes (RICHER DE FORGES & MOOSA, 1991).

L'espèce de Pectinidae *Amusium balloti* (considérée par certains comme une sous espèce d'*A. japonicum*) avait été signalée en différents points du Lagon Nord (RICHER DE FORGES & BARGIBANT, 1985) et sa présence en quantité importante a suscité une étude de stock. Cette étude, réalisée en quatre campagnes de chalutage (chalut à crevettes de 14 m de corde de dos) a permis d'estimer le stock à environ 3 000 tonnes dont l'essentiel est confiné dans une zone de 700 km² située entre les îles Belep et la presqu'île de Paaba (CLAVIER & LABOUTE, 1987 ; CLAVIER *et al.*, 1990). Au cours de ces chalutages, la macrofaune benthique a été récoltée et sommairement identifiée. Les organismes les plus fréquents récoltés par ce type d'engins sont des Spongiaires, des Algues et des Echinodermes.

3.3.5 - Lagon d'atolls (Chesterfield, Huon et Surprise, Beautemps-Beaupré et Ouvéa)

3.3.5.1- Les récifs d'Entrecasteaux

Au-delà du Grand Passage, qui est un seuil étroit et profond de 500 à 600 m, se situent les récifs d'Entrecasteaux dont les plus vastes sont les atolls de Huon et de Surprise. Ces

formations récifales sont très intéressantes car elles constituent les seuls véritables atolls dans cette zone du Pacifique Sud-Ouest.

L'atoll de Huon (Fig. 39) est la formation corallienne la plus au nord des dépendances de la Nouvelle-Calédonie (18°S) ; la barrière corallienne, presque continue sur les façades est et sud-est, est submergée à marée haute à l'exception d'un petit motu sablonneux, l'île Huon. Sur sa façade nord-ouest, cet atoll s'ouvre sur plus de 5 milles par une passe large et profonde qui semble correspondre à une zone d'effondrement. Son lagon, constellé de pinacles coralliens, atteint par endroit 40 m de profondeur.

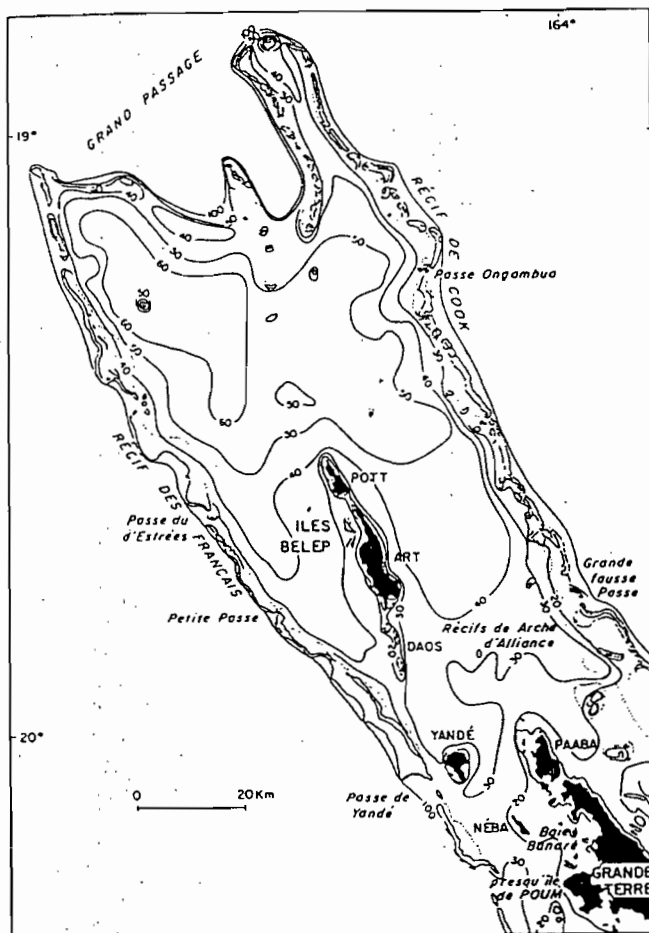


Fig. 38. — Carte bathymétrique (m) du Lagon Nord de Nouvelle-Calédonie (d'après CHEVILLON, 1990).

L'atoll de Huon, ouvert par une large passe au Nord-Ouest, présente des fonds légèrement inclinés d'est en ouest avec des sables coralliens et des blocs de coraux et de rhodolithes (Fig. 39)

L'atoll de Surprise, situé par 18°20'S, est plus grand et plus circulaire que celui de Huon (Fig. 40) ; comme ce dernier, il présente une barrière corallienne submergée à l'est et une large passe sur sa face ouest (6 milles) ; trois îles (motu) émergent et portent de la végétation (île Surprise, île Fabre, île Le Leizour). Le lagon, profond par endroit de 50 m, est libre de tout pinacle corallien et les fonds sont constitués entièrement de sables blancs coralliens.

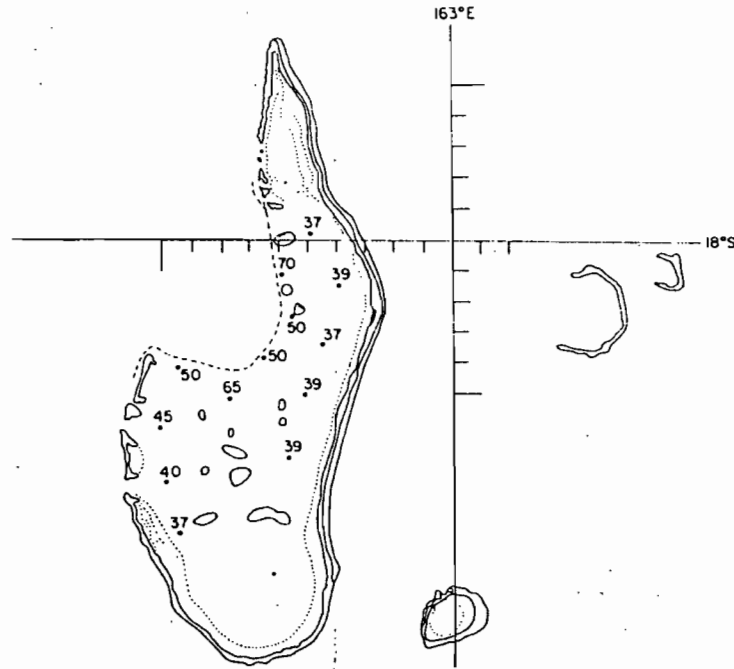


Fig. 39. — Carte bathymétrique (m) de l'atoll de Huon (dressée par RICHER DE FORGES & BARGIBANT, 1985).

Dans l'atoll de Huon, les dragages ont montré des fonds durs composés de blocs de rhodolithes dans la partie ouest et des peuplements de coraux, Algues et Gorgones. Les Algues les plus abondantes appartiennent aux genres *Halimeda*, *Caulerpa*, *Bornetella*, *Phacelocarpus*, *Codium*, *Dictyota*, *Microdictyon*. Les Gorgones les plus courantes sont les *Subergorgia*, *Astrogorgia*, *Melithraea*, *Siphonogorgia*, *Juncella*, *Plexauroides*.

Dans les parties est et sud-est, exposées à l'alizé, les fonds sont constitués de sables blancs coralliens avec quelques madrépores. Ces fonds sont d'une extrême richesse faunistique en Mollusques, Crustacés (pagures, brachyours, pénéides) et Echinodermes (ophiures, oursins fouisseurs). Parmi les Crustacés brachyours signalons l'abondance des Leucosiidae, Portunidae et Raninidae ; chez les Mollusques, les familles les plus fréquentes sont les Strombidae et les Pectinidae.

Le lagon de l'atoll de Surprise est une cuvette de plus de 50 m de profondeur en son centre et présente des fonds de sables coralliens.

La partie ouest est composée de fonds durs avec des madrépores et des rhodolithes ; les principales Algues sont : *Halimeda discoidea*, *H. macroloba*, *H. opuntia*, *Caulerpa cactoides*, *C. racemosa*, *C. lentillifera* et *Dictyosphaeria cavernosa*. Les Alcyonaires y sont également très abondants avec des *Lobophyton* et *Sarcophyton*.

Les parties centrale et est du lagon sont composées de fonds meubles de sable blanc avec parfois des articles d'*Halimeda* et des foraminifères *Marginopora* et *Amphisorus*. Signalons la

présence de nombreux madrépores libres (*Heteropsammia* et *Heterocyathus*) et de grandes quantités de Mollusques Strombidae (*Terebellum terebellum*, *Strombus luhuanus*).

Certains fonds, proches de la barrière corallienne de l'est, sont couverts d'un feutrage de Cyanophycées.

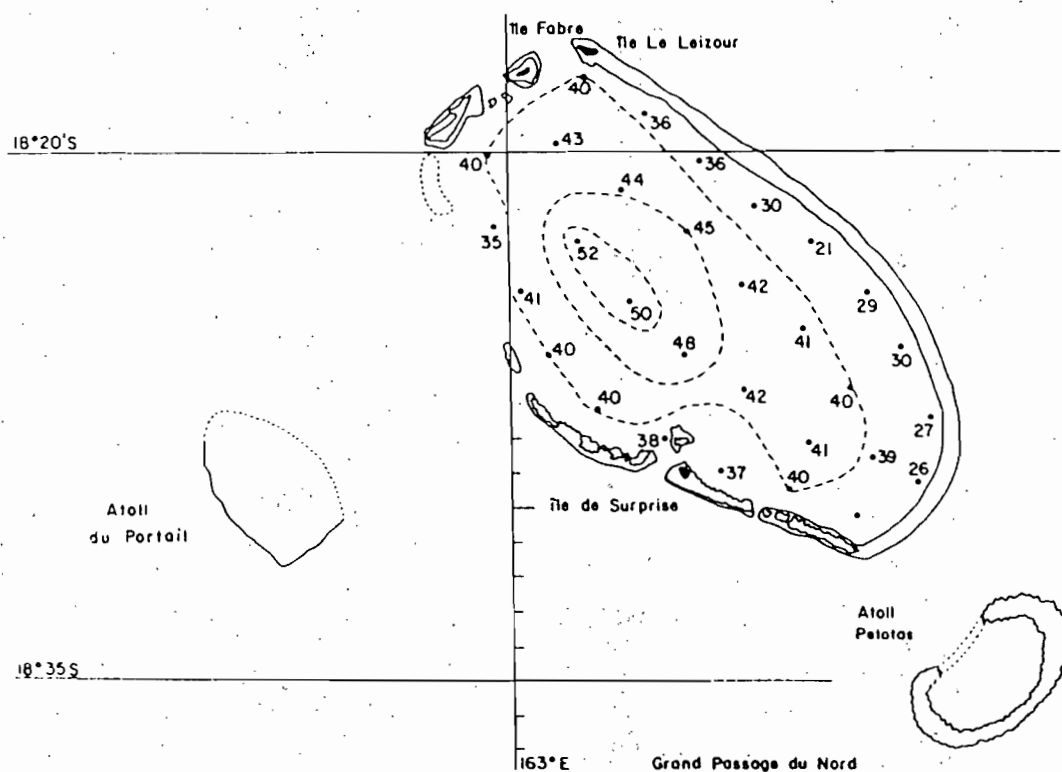


Fig. 40. — Carte bathymétrique (m) de l'atoll de Surprise (dressée par RICHER DE FORGES & BARGIBANT, 1985).

Les peuplements des deux atolls de Huon et de Surprise sont particulièrement intéressants car il existe peu de véritables atolls dans cette partie du Pacifique Sud-Ouest. Leur étude permettra ainsi des comparaisons biogéographiques avec d'autres atolls du Pacifique. L'isolement de ces structures entièrement coralliennes à proximité des côtes de Nouvelle-Calédonie permet également de juger de l'influence des apports terrigènes dans l'implantation de certaines espèces. Ainsi une étude écologique de la répartition de la famille des Mollusques Strombidae dans le Lagon Sud-Ouest de la Nouvelle-Calédonie établit une corrélation positive entre la présence de l'espèce *Strombus erythrinus* et une teneur en vase élevée des sédiments (RICHER DE FORGES *et al.*, 1987 b). L'étude des dragages du lagon des îles Chesterfield montre que cette même espèce vit également en abondance sur des fonds de vases carbonatées (RICHER DE FORGES *et al.*, 1988 a). C'est donc bien la granulométrie qui détermine le préférendum de cette espèce et non une origine des particules terrigène ou biogène.

3.3.5.2 - Le Lagon de l'Atoll de Chesterfield

Les formations récifales du groupe des îles Chesterfield font parties des "petites dépendances" de la Nouvelle-Calédonie (PISIER, 1979). Leur isolement et la position qu'elles occupent, intermédiaire entre la Nouvelle-Calédonie et la Grande Barrière de Corail de la côte est australienne, leur confèrent un intérêt biogéographique particulier.

Jusqu'à une période récente, cette région était restée quasiment inexplorée et connue seulement comme zone dangereuse pour la navigation (Fig. 41). Depuis quelques années, ces atolls ont été étudiés par les géologues (MISSEGUE & COLLOT, 1987) et une carte bathymétrique a été dressée (MISSEGUE *et al.*, 1987). Sur le plan biologique, cependant, les rares incursions de navires océanographiques français, néo-zélandais et australiens n'avaient permis que des observations fragmentaires.

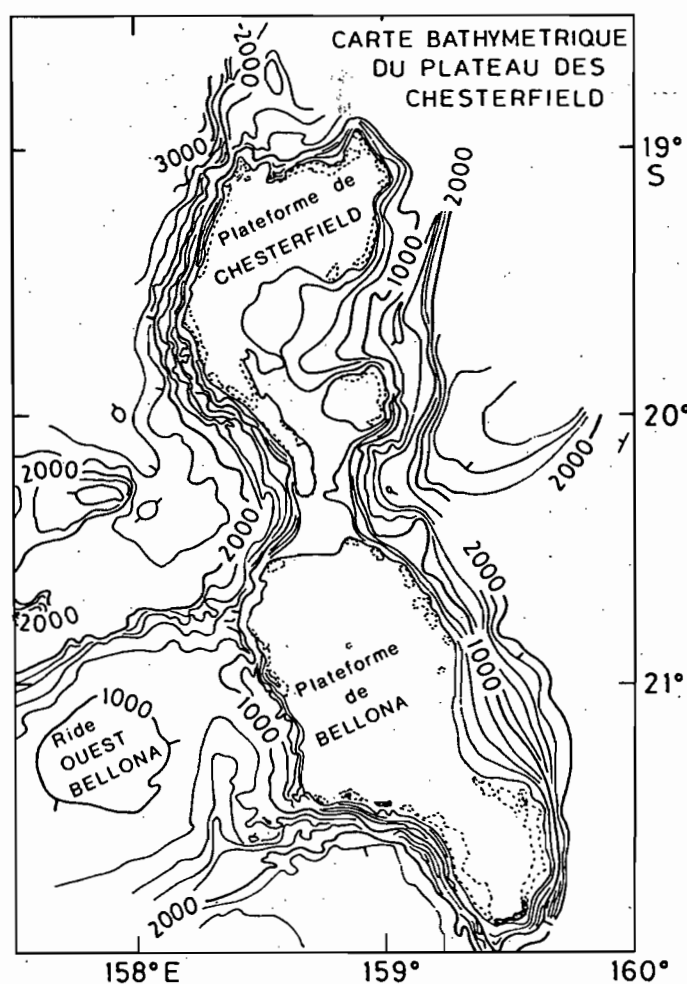


Fig. 41. — Les atolls de Chesterfield et Bellona (d'après MISSEGUE *et al.*, 1987).

En 1979, un navire néo-zélandais, le R. V. "Tangaroa" réalisa une campagne d'étude des monts sous-marins de la mer de Tasman et principalement de l'alignement nord-sud qui s'étend de l'atoll de Chesterfield jusqu'à 36°S. A cette occasion des récoltes par dragages et plongées sous-marines eurent lieu dans le lagon de l'atoll de Bellona (Stations I 746 - I 766). Bien que le

matériel de cette campagne n'ait pratiquement pas été étudié, une nouvelle espèce de Mollusque Volutidae fut décrite, *Lyria grangei* Cernohorsky, 1980. Le matériel provenant de cette campagne est actuellement en collection au New Zealand Oceanographic Institute (Wellington).

En 1980 un navire de l'Australian Institute of Marine Science (Townsville), le R. V. "*Lady Basten*", fit escale quelques jours dans l'atoll de Chesterfield pour y dresser l'inventaire des espèces de madrépores. Le matériel récolté à cette occasion, en plongée sous-marine, a donné lieu à quelques travaux de systématique : VERON et WALLACE (1985) pour les coraux, BRUCE (1982) et HAIG (1987) pour les Crustacés (Isopodes flabellifères et décapodes Porcellanidae).

En 1984, la campagne CHALCAL 1 réalisée à bord du N. O. "*Coriolis*" effectua une exploration de ces atolls par dragages et plongées sous-marines (RICHER DE FORGES & PLANET, 1984). Plusieurs dragages et chalutages réalisés dans le lagon de l'atoll de Bellona montrèrent la présence du Pectinidae *Amusium balloti* et d'une abondance de fonds à Bryozoaires. L'espèce de Mollusques Xenophoridae *Xenophora lamberti*, qui était connue seulement de deux spécimens des îles Loyauté et supposée éteinte (PONDER, 1983), fut retrouvée en de nombreuses localités des lagons de Chesterfield et Bellona. Les Poissons récoltés par les chaluts donnèrent lieu à la première description de la faune ichthyologique de cette partie de la mer du Corail (RIVATON, 1989).

En 1986, la campagne MUSORSTOM 5 explora les pentes externes et les guyots environnants (RICHER DE FORGES *et al.*, 1986).

En 1988 deux campagnes (CORAIL 1 et 2) réalisées conjointement par le N. O. "*Alis*" et le N. O. "*Coriolis*" permirent de faire un échantillonnage intensif (par dragages et à la benne Smith Mc INTYRE) des fonds meubles du lagon de l'atoll de Chesterfield, d'échantillonner la faune ichthyologique et de décrire les fonds durs observés en plongée sous-marine (RICHER DE FORGES *et al.*, 1988 a ; KULBICKI *et al.*, 1990a, b). Bien que l'étude du matériel provenant de ces différentes campagnes soit loin d'être achevée, il est possible de dégager les traits généraux de ces grandes structures coralliennes.

Géomorphologie et sédimentologie

Le groupe des îles Chesterfield fait partie d'un alignement de volcans issus d'un point chaud qui se situe actuellement au sud de Lord Howe, vers Ball's Pyramid (31°35'S - 159°05'E) ; les édifices les plus anciens sont Chesterfield et Bellona dont les datations indiquent un âge de 28 M. A. (SLATER & GOODWIN, 1973 ; MISSEGUE & COLLOT, 1987).

Les deux grands atolls de Chesterfield et Bellona étendent leurs barrières récifales entre 19°S et 22°S ; sur leur façade ouest, cette barrière est continue alors qu'elle est en partie interrompue à l'est. Les lagons sont profonds (> 70 m) et présentent des fonds meubles carbonatés parsemés de formations coralliennes. Les données sédimentologiques sont présentées dans le rapport de

la campagne CORAIL 2 (RICHER DE FORGES *et al.*, 1988 a) qui donne également un inventaire exhaustif des études antérieures sur cette région.

Les profondeurs du lagon de Chesterfield dépassent 70 m dans sa partie nord-ouest (Fig. 42 B) ; les pentes récifales internes sont abruptes jusqu'à 30 m. La partie sud-est du lagon est largement ouverte et expose le lagon à l'influence de la houle du large levée par l'alizé. Dans cette zone, sur plus de 20 milles, les fonds ne montrent aucune trace d'ancienne barrière récifale et la rupture de pente entre 70 et 200 m de profondeur laisse supposer qu'il s'agit d'une zone d'effondrement. Tout le reste de l'atoll est bien circonscrit par une barrière corallienne portant par endroit des cayes de sable ou des motu : îlot Renart (ou Reynard), îlot Bampton, îlot Avon, île Longue, île Loop, îlots du Mouillage (Fig. 41).

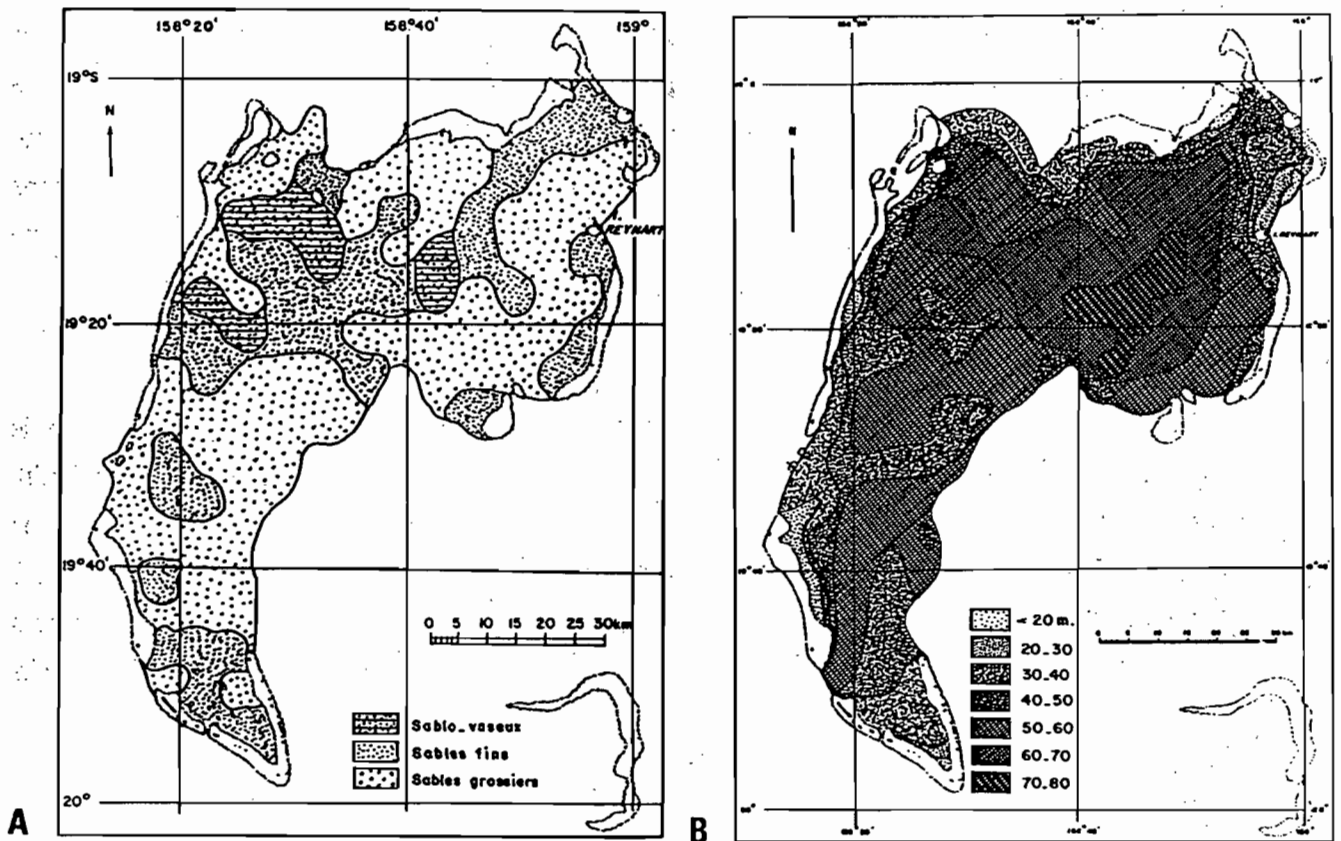


Fig. 42. — A : Carte sédimentologique du lagon de l'atoll de Chesterfield ; B : Carte bathymétrique du lagon de l'atoll de Chesterfield (m) (d'après RICHER DE FORGES *et al.*, 1988 a).

De grandes superficies de fonds meubles sont composées de sables fins ou de sables grossiers, plus ou moins envasés (Fig. 42 A). Parmi ces sables, on note une grande abondance d'articles d'*Halimeda* et de foraminifères (*Marginopora*) et sur les sables vaseux de nombreuses turtelles ; certaines zones de dépôt présentent des vases blanches carbonatées ; dans les zones à fort courants, on rencontre des fonds à Algues calcaires (rhodolithes, maërl).

Peuplements

Pour l'instant, seuls quelques échantillons provenant de la campagne CHALCAL 1 ont été étudiés en partie et ont fait l'objet de publications : D'HONDT (1986) pour les Bryozoaires, RICHER DE FORGES et ESTIVAL (1985, 1986) et HOUART (1986) pour les Mollusques (Xenophoridae, Conidae, Muricidae), RIVATON (1989) pour les Poissons. Signalons également dans les récoltes de la campagne CORAIL 2 la présence d'un genre de crabe Raninidae (*Symethis*), jusqu'alors inconnu du Pacifique Ouest, (DAVIE, 1989 b) et celle d'un nouveau genre de crabe Pilumnidae (*Takedana eriphioides* Davie, 1989 a).

On retrouve dans cet atoll (ceci est également vrai pour l'atoll de Bellona échantillonné lors de CHALCAL 1) l'équivalent des fonds blancs d'arrière récif de Nouvelle-Calédonie ; ils se prolongent toutefois plus profondément jusqu'à 35 m et les Mollusques Strombidae y sont très abondants (*Strombus variabilis*, *Terebellum terebellum*), ainsi que les Conidae (50 % des stations).

Les lamellibranches de la famille des Pectinidae sont fréquents (78 % des stations) ; vingt trois espèces ont été récoltées lors de CORAIL 2 avec notamment les grosses espèces *Amusium balloi*, *Annachlamys iredalei*, *Annachlamys flabellata kuhnoltzi* et *Gloripallium pallium*.

Les fonds sablo-vaseux portent des herbiers d'*Halimeda*, de grandes quantités de coraux libres (*Heteropsammia*, *Heterocyathus*, *Diaseris*, *Trachyphyllia*) et des Mollusques de la famille des Cerithiidae.

Sur les fonds de vases blanches carbonatées, on rencontre des Mollusques gastéropodes, Turritellidae et Xenophoridae (6 espèces) avec notamment l'espèce *Xenophora lamberti* en abondance.

Parmi les Echinodermes, une liste préliminaire a été présentée dans RICHER DE FORGES *et al.* (1988 a) ; elle comporte 19 espèces d'échinides, 21 espèces d'astérides, 32 espèces d'ophiurides et 6 espèces d'holothurides (groupe très mal échantillonné par ce type de drague). Les espèces les plus fréquentes sont : *Laganum depressum* (38,34 % des stations), *Eucidaris metularia* (21,8 %), *Gymnechinus epistichus* (18,8 %) pour les échinides et *Tamaria fusca* (27,05 %) pour les astérides.

3.3.5.3 - Les atolls de Beautemps-Beaupré et d'Ouvéa

3.3.5.3.1 - L'atoll d'Ouvéa

Géomorphologie et sédimentologie

L'atoll d'Ouvéa situé au nord de l'alignement des îles Loyauté, entre les latitudes 20°23'S et 20°44'S et les longitudes 166°10'E et 166°40'E, a été surélevé dans sa partie est qui culmine maintenant à 46 m (RICHER DE FORGES & LABOUTE, 1989). Sa superficie est estimée à

850 km² et la profondeur du lagon, augmentant d'est en ouest, est en moyenne de 20 m. La composition sédimentaire et bioclastique des fonds a été décrite par CHEVILLON (1996). La structure sédimentaire est homogène aussi bien pour la texture granulométrique que pour les teneurs en vases et en carbonates. Il s'agit de sables moyens mal triés d'une teinte gris clair à blanche avec une teneur en carbonate comprise entre 85 et 96 % de CaCO₃ et seulement 5,6 % de vase en moyenne. 95 % de la biophase est constitué de débris de mollusques, les autres composants bioclastiques étant des foraminifères, des articles d'*Halimeda* et des madrépores. Il est remarquable que, même dans un atoll purement corallien, les sables communément baptisés "coralliens" ne sont pas produits par l'érosion des coraux eux-mêmes (seulement 4 % de la biophase) mais essentiellement par la forte production en coquilles des mollusques. L'épaisseur sédimentaire est très faible (5,4 cm en moyenne), et 31 % de la superficie des fonds lagunaires étant constitué de fonds durs.

Peuplements

KULBICKI (1995) résume les connaissances sur peuplements benthiques obtenus au cours des prélèvements de macrofaune à la benne et des comptages de mégafaune en plongée. Parmi le megabenthos, 250 taxons ont été distingués.

Les principaux groupes du macrobenthos récoltés à la benne sont par ordre d'abondance décroissante, les mollusques, les annélides polychètes et les crustacés.

Malgré un effort de recherche très important développé sur cet atoll, pratiquement aucune collection zoologique n'a été constituée et les connaissances sur la biodiversité benthique ont peu progressé. 62 stations de prélèvements ont été échantillonnées à la benne et en plongée apportant quelques données sur les biomasses présentes et la répartition pondérale des groupes trophiques (CLAVIER, 1993). La richesse spécifique du macrobenthos observée à la benne (1/10 m²) varie de 0 à 89 taxons par station et atteint au total 341 taxons.

Seulement 15 opérations de dragages ont pu être réalisés pendant la campagne PLOUVEAL d'étude du plancton. la grosse macrofaune extraite de ces opérations montrait une nette dominance des mollusques gastéropodes de la famille des Cerithidae (LEBORGNE *et al.*, 1993).

Au cours des échantillonnages, 72 familles et 626 espèces de poissons ont été dénombrées. Parmi celles-ci, 48 espèces n'étaient pas encore signalées de Nouvelle-Calédonie (KULBICKI *et al.*, 1994).

3.3.5.3.2 - L'atoll de Beautemps-Beaupré

Situé sur la ride des îles Loyauté, au nord-ouest de l'atoll d'Ouvéa, ce petit atoll en forme de triangle équilatéral de 8 milles de côté a pu être échantillonné pendant la campagne MUSORSTOM 6 (RICHER DE FORGES & LABOUTE, 1989).

La seule carte bathymétrique existante pour cette zone (SH. n° 5228 au 1/115 900 ème) donne des contours très imprécis pour cet atoll et très peu de sondes. Les dragages ont eu lieu entre 21 et 33 m ; il ne semble pas que ce lagon ait de plus grandes profondeurs.

Les dragues ramenèrent des blocs, des madrépores, des graviers et du sable corallien avec une faune très riche. On note la présence de Crustacés (crabes Portunidae, Calappidae, Xanthidae ; crevettes Stenopidae, Peneidae, Alpheidae), Echinodermes (ophiures et holothuries) et nombreux Mollusques (62 espèces de gastéropodes pour le seul dragage DW 430). La station DW 436, à proximité de la passe a ramené des sables coquilliers à Prochordés du genre *Asymmetron* (WICKSTEAD, 1970).

3.3.6 - Autres formations coralliennes de la zone économique

Au cours de différentes campagnes océanographiques réalisées dans la zone économique de la Nouvelle-Calédonie, des reliefs sous-marins situés à moins de 100 m de profondeur et présentant donc des peuplements comparables à ceux des lagons ont pu être échantillonnés. Il s'agit, d'une part de la partie sommitale des guyots du sud des îles Chesterfield et des rides de Norfolk et de Lord Howe, d'autre part des pentes des îles volcaniques Matthew et Hunter (Fig. 43).

Les guyots

Les guyots sont des reliefs sous-marins présentant un sommet tabulaire ; ils sont souvent qualifiés de monts sous-marins (seamounts) ; en fait cette dénomination recouvre deux sortes de structures : les volcans sous-marins et les guyots. En zone tropicale ces guyots sont d'anciens atolls qui, transportés par la dérive des planchers océaniques, se sont enfoncés par subsidence et représentent le stade ultime de l'évolution d'une île corallienne (SCOTT & ROTONDO, 1983). Dans le Pacifique Sud-Ouest ces guyots sont beaucoup plus nombreux que les îles émergées et sont à différents stades de leur évolution, depuis les atolls à peine submergés jusqu'aux guyots profonds dont le sommet se situe dans la zone bathyale.

La ride de Lord Howe

Sur le flanc ouest de la ride de Lord Howe (Fig. 43), parmi l'alignement (N-S) de guyots qui commence au Nord par l'atoll de Chesterfield, certains ont un sommet situé à moins de 100 m de profondeur.

Lors de la campagne MUSORSTOM 5, dont l'objectif était l'exploration de la faune bathyale, le sommet du banc Capel (25°S - 159°40'E) a été échantillonné à la drague par 56 m de profondeur. Ce guyot est le plus au sud de cet alignement, dans la zone économique de la Nouvelle-Calédonie (RICHER DE FORGES *et al.*, 1986). Il a une structure en gradins qui

correspond à différents stades de submersion. La terrasse supérieure, très plane, se situe vers 60 m de profondeur et occupe la partie centrale du guyot sur 20 milles de long et 6 de large. La drague (DW 264) a rapporté des madrépores vivants, du sable corallien grossier et du maërl. Ce haut-fond est couvert d'un herbier de Caulerpales (*Halimeda*) et l'on y rencontre une très riche macrofaune caractéristique de fonds coralliens ayant un fort hydrodynamisme : Crustacés (crabes Portunidae et Xanthidae, crevettes Alpheidae), Gorgones, Ascidies, Echinodermes (crinoïdes).

Situé à 25 milles au nord du banc Capel, le banc Kelso est un guyot qui culmine à 15 m de profondeur mais n'a pas fait l'objet de prélèvement lors de MUSORSTOM 5. Par contre, ce relief, de même que le banc Capel, ont été échantillonnés en plongée sous-marine et par dragages lors de la campagne néo-zélandaise "Tasman seamount 1979" à bord du R. V. "Tangaroa".

Les bancs Lansdowne et Fairway

A l'extrémité nord de la ride de Lord Howe, à mi-distance entre le plateau des îles Chesterfield et le nord de la Nouvelle-Calédonie, se situent deux grandes formations coralliennes tabulaires, en partie submergées, les bancs Lansdowne et Fairway. Ces bancs sont signalés sur les cartes par leurs parties découvrant à marée basse, le récif Fairway et le récif Nereus (KROENKE *et al.*, 1983).

D'après les relevés bathymétriques effectués lors des campagnes CHALCAL 1, MUSORSTOM 5 et CORAIL 2, il semble que ces structures correspondent à deux grands atolls submergés. En effet, on y distingue une pente externe abrupte, une bordure corallienne située vers 40 m de profondeur et une cuvette centrale, analogue à un lagon, ayant 90 m de profondeur en son milieu et contenant des sables à articles d'*Halimeda*. Pour cette zone, des cartes en courbes de niveau ont été réalisées par l'ORSTOM au cours de prospections pétrolières (campagne AUSTRADDEC), mais non publiées. La superficie de ces bancs est très importante, environ 8000 km² compris entre les isobathes 0 et 500 m ; les dimensions du banc Lansdowne sont de 75 x 28 milles et celles du banc Fairway de 22 x 10 milles.

Des récoltes sur ces reliefs ont eu lieu, à bord du N. O. "Coriolis", lors de la campagne CHALCAL 1 (RICHER DE FORGES & PIANET, 1984) par dragages, chalutages, plongées sous-marine et poses de palangres de fond.

La campagne CORAIL 2 (RICHER DE FORGES *et al.*, 1988 a), à bord du N. O. "Coriolis", travailla également par dragages et chalutages dans les cuvettes sommitales des bancs Fairway et Lansdowne.

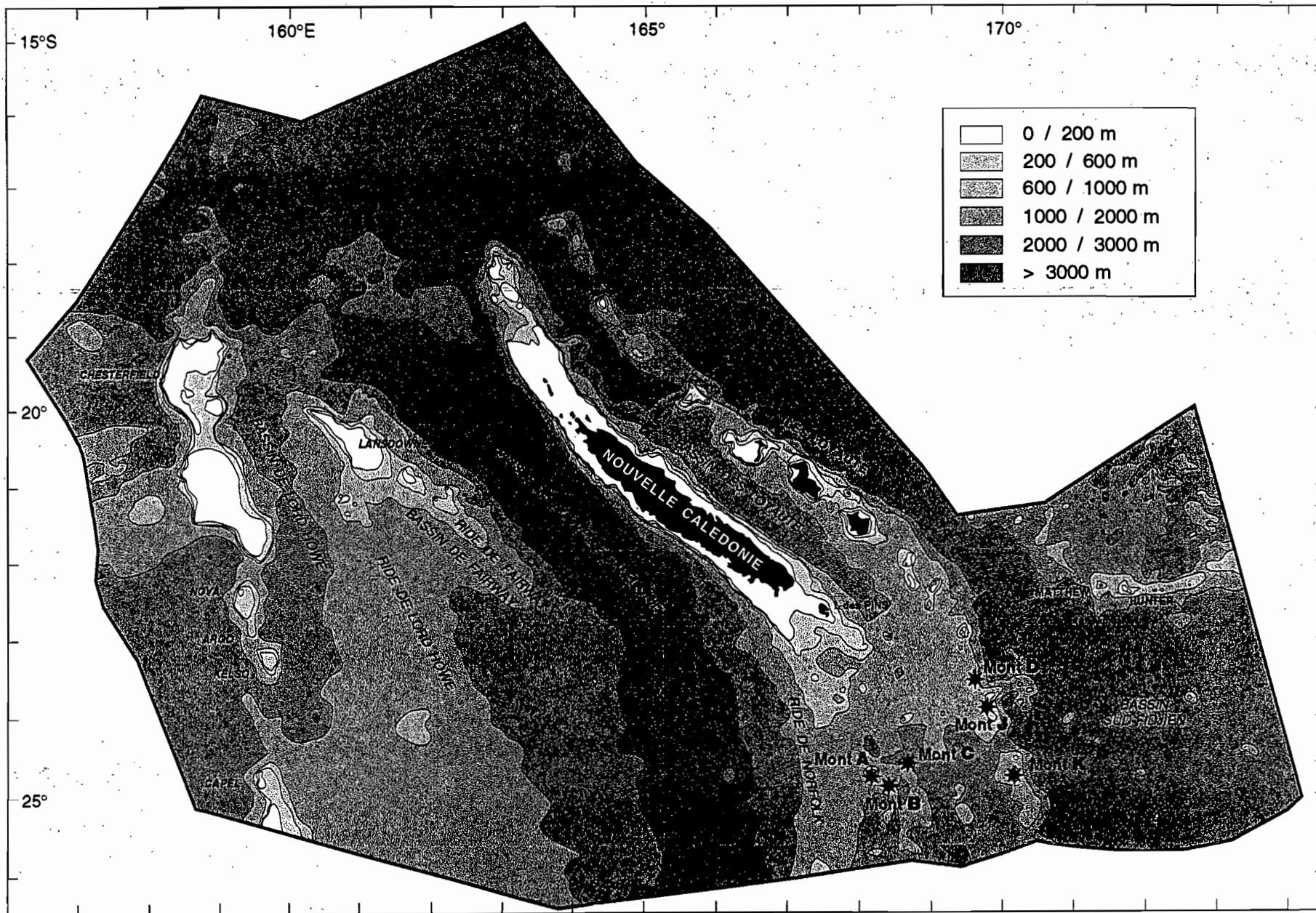


Fig. 43. – Carte bathymétrique du Sud-Ouest de la Zone Économique de Nouvelle-Calédonie montrant les principaux reliefs sous-marins (d’après KROENKE *et al.*, 1983 et la base de données bathymétrique de l’ORSTOM).

Sur ces structures les dragages ont montré la présence de madrépores, d'Algues calcaires et de Caulerpales ; les blocs sont encroûtés d'Algues, de Spongiaires et d'Ascidies. Ces fonds sont très riches en Crustacés (crabes Parthenopidae, Leucosiidae, Palicidae), Mollusques (Strombidae, Xenophoridae, Conidae) et Echinodermes (oursins *Prionocidaris australis* et *Asthenosoma varium*). Parmi les Mollusques signalons la présence du Pectinidae *Amusium balloti* jusqu'à plus de 80 m de profondeur et la capture d'une espèce de Conidae extrêmement rare, *Conus lamberti*.

La ride de Norfolk

Au sud de la Nouvelle-Calédonie existent de nombreux guyots formant des alignements parallèles à celui des Chesterfield et témoignant d'une activité volcanique du Miocène inférieur qui recoupe les structures anciennes de la ride de Norfolk (RIGOLOT, 1988). Les parties sommitales de certains de ces guyots, situées à moins de 100 m de profondeur, ont fait l'objet de récoltes par dragages et plongée sous-marines. Lors de la campagne CHALCAL 2 à bord du N.O. "Coriolis" (RICHER DE FORGES *et al.*, 1987a), un dragage de 80 à 160 m de profondeur sur le plus au nord des "Trois bancs", a ramené des blocs et des sables détritiques avec une riche macrofaune composée de Spongiaires, Gorgones, Crustacés, Echinodermes, Alcyonaires et Hydriaires.

Au cours de la campagne SMIB 5 à bord du N. O. "Alis", des récoltes par dragages et plongées sous-marines eurent lieu sur le sommet du banc "Azèque" entre 50 et 80 m de profondeur. Ce banc, présente un plateau supérieur orienté nord-sud d'environ 8 milles de long sur 3 milles de large. Les dragages ramenèrent des blocs de rhodolithes, du maërl et un peu de sable grossier avec des Crustacés et des Mollusques dont une grande quantité de Strombidae (*Strombus thersites*). La plongée, réalisée au même endroit par 58 m, permit de décrire un fond de sable avec des blocs d'Algues calcaires et de récolter des Spongiaires et des Mollusques (Pectinidae).

Les volcans actifs de Matthew et Hunter

La majeure partie de la zone économique de la Nouvelle-Calédonie se situe sur la plaque Indo-australienne (Fig. 43). Cependant, de l'autre côté de la fosse de subduction "des Nouvelles-Hébrides", deux îles, Matthew et Hunter, font parties des "petites dépendances" (PISIER, 1979) et prolongent cette zone économique sur la plaque Pacifique ("micro-plaque des Nouvelles-Hébrides"). L'affrontement des plaques Indo-australienne et Pacifique a provoqué un volcanisme d'arc dont les plus importants édifices constituent l'état de Vanuatu. Vers le sud, cet "arc des Nouvelles-Hébrides" s'infléchit vers l'est et de nombreux volcans sous-marins soulignent le bord de la plaque. Deux petites îles à volcanisme actif émergent de cet ensemble de structure, l'île Hunter et l'île Matthew.

Une première exploration de la faune et de la flore marine qui colonisent ces substrats récents (pas plus de 40 ans pour la coulée N-O de l'île Matthew) a pu être réalisée au cours des campagnes du N. O. "Alis", VOLSMAR et GEMINI (LABOUTE *et al.*, 1989 ; BARGIBANT *et al.*, 1989). Au cours de ces campagnes des échantillons furent récoltés par plongée sous-marine et dragages.

Malgré une forte activité sismique et de continuelles émissions soufrées qui forment des nappes jaunâtres sur plus de 30 m d'épaisseur, on observe de nombreux organismes fixés sur les pentes de l'île Matthew. Des Algues brunes sont présentes jusqu'à 20 m de profondeur et les madrépores jusqu'à 40 m (*Pocillopora*, *Leptoria*, *Porites*, *Leptoseris*, *Favia*, *Dendrophyllia*).

Un petit cône adventif fut découvert sur le flanc du volcan Matthew et baptisé mont Charlotte. Son sommet, situé à plus de 1,4 milles dans l'est de l'île, par 37 m de profondeur n'est plus soumis aux émissions de soufre ; malgré cela, il ne porte que quatre espèces de madrépores.

Sur les pentes de l'île Hunter, qui est un volcan plus ancien et moins actif que Matthew, les espèces de coraux sont plus nombreuses et les colonies plus développées. On y trouve, en compétition avec les coraux, des Alcyonaires du genre *Sarcophyton*, des Spongiaires et des Algues du genre *Halimeda* jusqu'à 40 m.

Lors de la campagne GEMINI réalisée sur les volcans sous-marins situés juste au sud de Vanuatu, quelques prélèvements eurent lieu par dragages et plongée sous-marine. Ces volcans sous-marins sont très récents comme le montre le résultat d'un dragage par 60 m de profondeur, qui ramena de la lave noire, scoriacée et presque azoïque (en 1996, une forte activité sismique semble avoir accompagné la montée de ce volcan jusqu'en surface). Par contre l'observation en plongée du sommet du mont Gemini Ouest situé par 40 m de profondeur permit la description et la récolte d'une faune et d'une flore fixée assez riches, coraux, Spongiaires, Algues calcaires encroûtantes.

3.4 - La biodiversité : Faune et flore des fonds meubles

L'ensemble de la faune marine littorale de Nouvelle-Calédonie présente une grande richesse spécifique, comparable à celle de la Grande Barrière de Corail, située à plus de 2000 km vers l'ouest. L'originalité de cette faune est suffisante pour que les auteurs fassent de cette région une province biogéographique séparée de celle de l'est australien (Solanderienne) (HOOPER & LEVI, 1994 ; BRIGGS, 1996 ; PAULAY, 1997).

3.4.1 - Algues et phanérogames

Les peuplements végétaux du Lagon Sud-Ouest ont été étudiés sur le plan qualitatif par GARRIGUE (1987, 1995). Cet auteur signale : 1 espèce de Cyanophycées, 72 espèces de Chlorophycées, 8 espèces de Phéophycées et 18 espèces de Rhodophycées, contenues dans les

dragages, soit un total de 99 espèces seulement sur les 336 signalées de Nouvelle-Calédonie par GARRIGUE et TSUDA (1988). Il faut cependant rappeler que les fonds de moins de 5 m étaient inaccessibles pour cet échantillonnage à la drague alors qu'il s'agit justement de la zone la plus riche en macrophytes. Dans le groupe des Phanérogames, quatre genres comprenant au total 6 espèces sont présents : *Halophila*, *Syringodium*, *Cymodocea* et *Halodule*. 49 % des stations du Lagon Sud-Ouest contenaient des macrophytes et en majorité des Caulerpales (95 % des macrophytes récoltées). La moitié de la superficie de ce lagon (environ 2 726 km²) serait donc colonisée par des macrophytes.

Les macrophytes (Algues et Phanérogames) sont présentes sur les fonds gris dans toute la zone médiane du lagon. Dans les faibles profondeurs, sous le vent des îlots, on observe des herbiers de Phanérogames (Fig. 44).

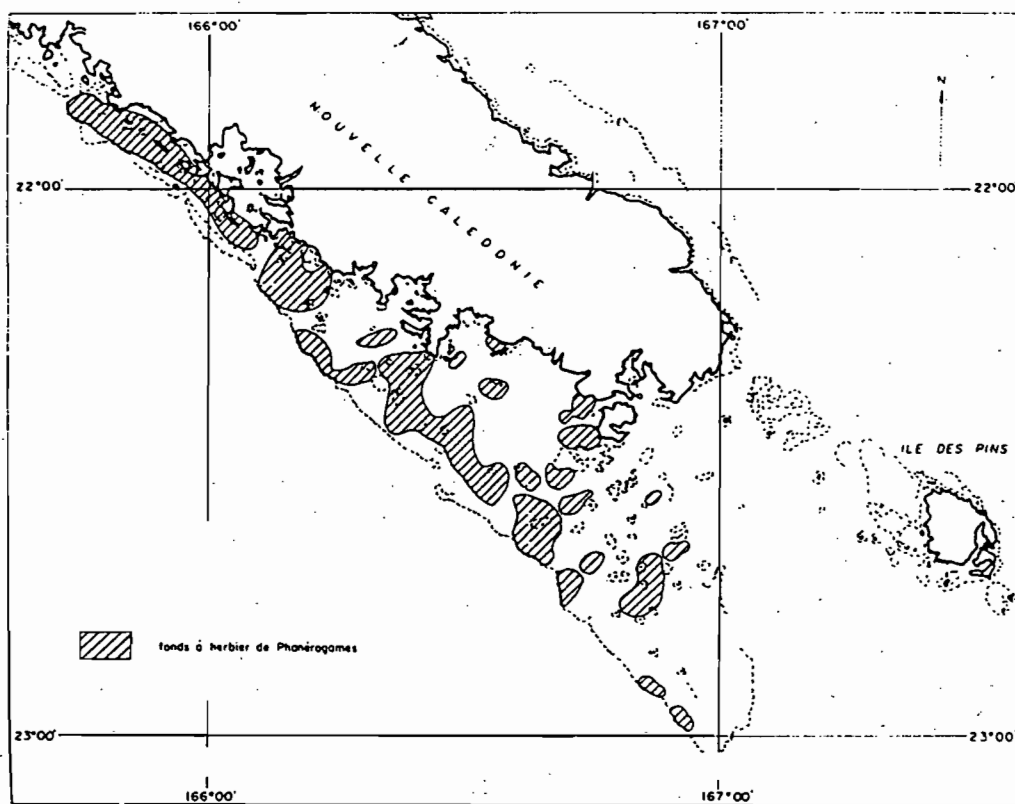


Fig. 44. – Carte de répartition des herbiers de phanérogames dans le Lagon Sud-Ouest (d'après GARRIGUE, 1987).

Certaines zones de fonds indurés (dalle) portent des algueraies de Sargasses (*Sargassum*) ; les seules zones du Lagon Sud-Ouest dépourvues de macrophytes sont les franges côtières très envasées et la partie sud où les fonds dépassent 50 m de profondeur. Le groupe des Caulerpales (*Halimeda* et *Caulerpa*) est le plus abondant ; il occupe d'importantes superficies, les espèces les plus fréquentes étant : *Halimeda incrassata* (19 % des stations), *H. discoidea* (17 %), *H. macroloba* (13 %), *H. cylindracea* (11 %), *H. simulans*, *Caulerpa taxifolia* (15 %) et *C. sedoides*. Pour les trois espèces les plus fréquentes des distributions selon la profondeur

montrent que *Halimeda incrassata* vit jusqu'à 80 m de profondeur avec une zone préférentielle entre 10 et 30 m ; *H. discoidea* présente jusqu'à 70 m, est plus fréquente de 15 à 30 m ; *Caulerpa taxifolia* ne dépasse pas 50 m de profondeur et préfère les fonds de 12 à 20 m (GARRIGUE, 1995).

Par ailleurs, quelques informations quantitatives disponibles sur les macrophytes concernent la production organique et minérale du groupe des Caulerpales (GARRIGUE, 1985). Le genre *Halimeda* joue un rôle particulier dans la sédimentologie du lagon, d'une part en produisant énormément de sédiments carbonatés sous forme d'articles (de 13,8 à 15,1 g de Ca CO₃ / m² / an), d'autre part en formant souvent des algueraies assez denses ayant un rôle fixateur pour les particules fines que ces Algues retiennent par leurs crampons (de même pour les stolons des caulerpes).

Actuellement, 328 espèces d'algues appartenant à 46 familles sont signalées en Nouvelle-Calédonie (GARRIGUE & TSUDA, 1988). Un grand nombre d'espèces des petites profondeurs et en particulier parmi les algues rouges demeurent non étudiées.

3.4.2 - Les Echinodermes

Dans ce groupe, les identifications furent facilitées du fait de l'existence d'un Guide pour le lagon de Nouvelle-Calédonie et de la connaissance générale du groupe dans l'Indo-Pacifique (CLARK & ROWE, 1971 ; GUILLE *et al.*, 1986). Par ailleurs, les holothuries faisant localement l'objet d'une petite exploitation, l'étude de ces "bêches-de-mer" avait permis d'en avoir une bonne connaissance biologique et écologique (CONAND, 1988, 1995).

Dans les lagons de Nouvelle-Calédonie, la diversité connue des Echinodermes se répartit de la façon suivante pour les 240 espèces signalées : Astérides, 17 familles et 54 espèces ; Crinoïdes, 8 familles et 31 espèces ; Holothurides, 5 familles et 55 espèces ; Ophiurides, 10 familles et 57 espèces ; Echinides, 14 familles et 43 espèces (CHERBONNIER & FERAL, 1984a, b, JANGOUX, 1986, GUILLE *et al.*, 1986).

Les Echinodermes sont présents dans 38 % des dragages du lagon Sud-Ouest. La répartition des espèces fouisseuses (*Laganum depressum*, *Maretia planulata*, *Brissopsis luzonica*) est bien corrélée à la granulométrie et en particulier à la teneur en vase des sédiments (RICHER DE FORGES & MENOUE, 1988).

22 espèces d'échinides ont été capturées à la drague sur les 43 espèces signalées de Nouvelle-Calédonie. Les espèces les plus fréquentes sont *Laganum depressum* (18,6 % des stations), *Maretia planulata* (10,7 %), *Gymnechinus epistichus* (9,5 %) et *Brissopsis luzonica* (6,6 %).

Parmi les 54 espèces d'astérides signalées de Nouvelle-Calédonie, 21 ont été récoltées par dragages et les plus fréquentes sont : *Astropecten polyacanthus* (8,5 % des stations), *Echinaster luzonicus* (4,1 %), *Euretaster insignis* (3,5 %) et *Tamaria fusca* (3,1 %).

Chez les holothurides, 18 espèces sur les 55 connues ont été capturées. Les plus fréquentes sont *Holothuria (Halodeima) edulis* (4,5 % des stations), *Thelenota anax* (2,9 %) et *Stichopus chloronotus* (2,7 %). Ce groupe a été bien échantillonné en plongée sous-marine et a fait l'objet d'études taxonomiques antérieures au programme "Lagon" (CHERBONNIER, 1980 ; CHERBONNIER & FERAL, 1984 a, b ; FERAL & CHERBONNIER, 1986).

Certaines espèces d'Echinodermes et en particulier les oursins fouisseurs : *Maretia planulata* et *Brissopsis luzonica* présentent les fréquences les plus élevées et sont caractéristiques des types de fonds (RICHER DE FORGES *et al.*, 1987 a ; RICHER DE FORGES & MENOUE, 1988). *B. luzonica* ne vit que dans les fonds ayant une teneur en vase supérieure à 40 % alors que *M. planulata* se rencontre dans les fonds dont la teneur en vase reste inférieure à 75 %. Ce genre d'observations a également été faite par CONAND et CHARDY (1985) chez les holothuries aspidochirotes. Ces auteurs analysent la répartition de 48 espèces d'holothuries dans les lagons de Nouvelle-Calédonie en fonction de leur position par rapport aux récifs. Les densités observées en plongée sont beaucoup plus fortes vers le récif frangeant (54,8 ind. / 100 m²) que vers la barrière (0,6 ind. / 100 m²). *H. edulis* est commune sur les fonds meubles du milieu du lagon ; *T. anax* vit sur les pentes récifales et à proximité des passes et *S. chloronotus* est plus fréquentes sur les platiers externes.

3.4.3 - Les Mollusques

Dans le vaste groupe des Mollusques gastéropodes, les résultats des dragages sont en cours d'analyse par familles (Tab. 3). Le tri spécifique et l'identification au niveau familial ont permis de réaliser une carte de la richesse spécifique (Fig. 45) qui varie de 1 à 73 espèces par dragage et de calculer la fréquence de chacune des familles au sein des lagons (CHEVILLON & RICHER DE FORGES, 1988 ; RICHER DE FORGES *et al.*, 1988 b). Les familles les plus fréquentes (présentes dans plus de 35 % des dragages) que sont les Nassariidae, Cerithiidae, Strombidae, Muricidae et Terebridae ont fait l'objet d'études particulières avec production de cartes de répartitions pour les espèces dominantes et de corrélations entre leurs présences et la teneur en vase des sédiments. Il est regrettable que pour des raisons inhérentes à la systématique de cette famille (quasi-absence de taxonomistes), les Turridae (60 % des stations) n'aient pu être encore identifiés.

Les gastéropodes sont toujours présents quelle que soit la zone du lagon considérée ; il est remarquable de constater que l'on puisse trouver au niveau d'un même genre des espèces adaptées à chaque biotope au point d'y figurer parmi les "leaders". Ainsi pour les Cerithiidae, *Rhinoclavis (Proclava) sordidula* est strictement inféodé aux fonds vaseux alors que *Rhinoclavis fasciata* se rencontre sur les fonds de sables coralliens, l'espèce *Rhinoclavis articulata* étant plus ubiquiste et vivant de préférence dans la zone de mélange (fonds gris).

Dans le genre *Strombus* composé d'espèces essentiellement herbivores-détritivores (*S. luhuanus* des fonds blancs se nourrit de Cyanophycées, J. D. TAYLOR, com. pers.), on observe également des préférences distinctes entre les *S. gibberulus* de sables coralliens et les *S. erythrinus* tolérant un envasement important (RICHER DE FORGES *et al.*, 1988 b).

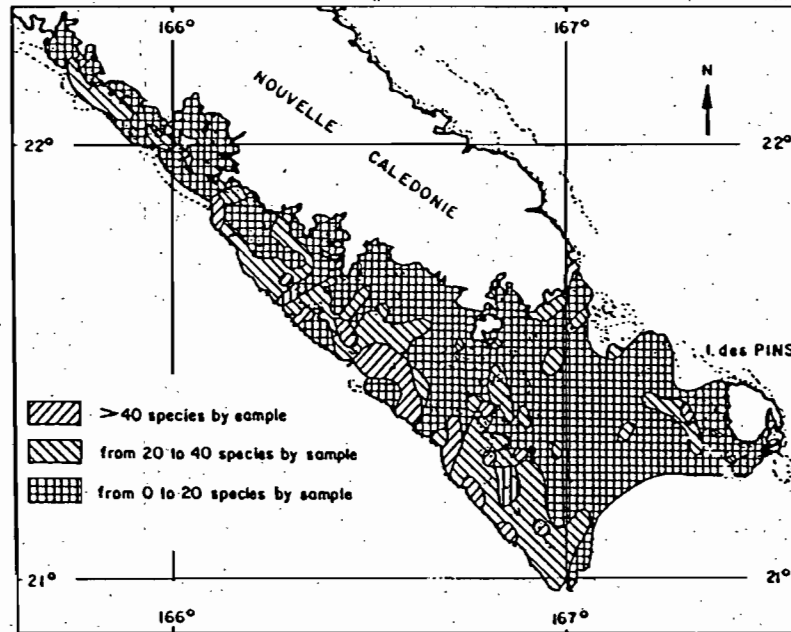


Fig. 45. — Répartition de la richesse spécifique en Mollusques gastéropodes (>5mm) dans le Lagon Sud-Ouest (d'après RICHER DE FORGES *et al.*, 1987 a). Le maximum observé est de 73 espèces dans un dragage.

Tab. 3. — Fréquences observées dans les dragages du lagon SO pour les familles de Mollusques gastéropodes et lamellibranches (d'après RICHER DE FORGES, 1991b).

FAMILLES	Nb.STATIONS	% OCCURENCE
Nassaridae	334	67.44
Turridae	288	59.87
Cerithiidae	261	54.26
Strombidae	229	47.61
Naticidae	227	47.19
Muricidae	224	46.57
Costellariidae	218	45.32
Columbellidae	200	41.58
Terebridae	179	37.21
Trochidae	176	36.59
Buccinidae	139	28.91
Mitridae	138	28.69
Cymatidae	134	27.86
Turritellidae	129	26.82
Turbinidae	109	22.66
Cypraeidae	103	21.41
Pyramidellidae	102	21.21
Conidae	82	17.05
Xenophoridae	66	13.72
Cancellariidae	64	13.31
Siliquariidae	43	8.94
Olividae	41	8.52
Triphoridae	38	7.91
Architectonicidae	36	7.48
Marginellidae	36	7.48
Hipponicidae	34	7.07
Coralliophilidae	33	6.86
Epitonidae	29	6.03
Fasciolaridae	24	4.99
Cassidae	17	3.53
Eufimidae	15	3.12
Stomatellidae	14	2.91
Capulidae	14	2.29
Fissurellinae	10	2.08
Bursidae	10	2.08
Volutidae	7	1.45
Vitrinellidae	6	1.25
Phasianellidae	5	1.04
Emerginidae	4	0.83
Vermetidae	3	0.62
Colubrariidae	3	0.62
Tonnidae	2	0.41
Mathiidae	1	0.21
Calyptraeidae	1	0.21

FAMILLES	Nb. STATIONS	% OCCURENCE
Veneridae	333	69.23
Cardiidae	295	61.33
Pectinidae	274	56.96
Arcidae	261	54.26
Tellinidae	214	44.49
Glycymeridae	121	25.15
Ostreidae	114	23.7
Chamidae	111	23.07
Mytilidae	111	23.07
Limidae	87	18.09
Lucinidae	68	14.14
Pteridae	63	13.09
Cardiidae	61	12.68
Spondyliidae	60	12.47
Psammobidae	59	12.27
Plicatulidae	39	8.11
Anomidae	35	7.28
Semelidae	31	6.44
Cultellidae	31	6.44
Malleidae	24	4.99
Solenidae	22	4.57
Mactridae	20	4.15
Solecurtidae	19	3.95
Pinnidae	19	3.95
Isognomonidae	17	3.53
Laptonacea	17	3.53
Gastrochaenidae	15	3.12
Ungulinidae	14	2.91
Myochamidae	11	2.28
Poromyidae	10	2.07
Verticordiidae	8	1.66
Corbulidae	8	1.66
Trapeziidae	7	1.45
Hiatellidae	6	1.25
Cuspidaridae	6	1.25
Nuculidae	5	1.04
Noetidae	4	0.83
Limopsidae	3	0.62
Phylobryidae	3	0.62
Crenellidae	3	0.62
Patricollidae	3	0.62
Cleidothaeridae	2	0.41
Artaridae	2	0.41
Crassatellidae	2	0.41
Cyamiacea	2	0.41
Pucatulidae	1	0.21
Dimyidae	1	0.21

Parmi les familles de lamellibranches, les Pectinidae, qui présentent un intérêt économique, ont fait l'objet d'études particulières portant sur la répartition des espèces et, pour certaines d'entre elles, sur l'évaluation des stocks (CLAVIER & LABOUE, 1987 ; DIJKSTRA *et al.*, 1989-1990). 30 espèces sont signalées dans l'ensemble des lagons de Nouvelle-Calédonie, y compris l'atoll de Chesterfield. Les espèces les plus fréquentes dans le Lagon Sud-Ouest de la Grande Terre sont : *Mimachlamys gloriosa* (21,8 % des stations), *Bractechlamys vexillum* (16,8 %), *Mimachlamys senatoria* (15,2 %) et *Juxtamusium coudeini* (7,9 %).

Les Mollusques sont très abondants dans les zones littorales et sont présents dans tous les milieux. Leur gamme de taille est large et ils présentent des modes d'alimentation très variés et de nombreux exemples de commensalisme ou de parasitisme. L'estimation de la richesse spécifique en est difficile. La base de données, réalisées à partir des résultats des dragages, contient actuellement environ 27 familles et 420 espèces des fonds de 0 à 100 m. Cependant de nombreuses espèces ne sont pas encore étudiées, particulièrement dans certaines familles à forte occurrence telle que les Turridae (RICHER DE FORGES *et al.*, 1988 ; RICHER DE FORGES, 1991 ; RICHER DE FORGES *et al.*, 1988).

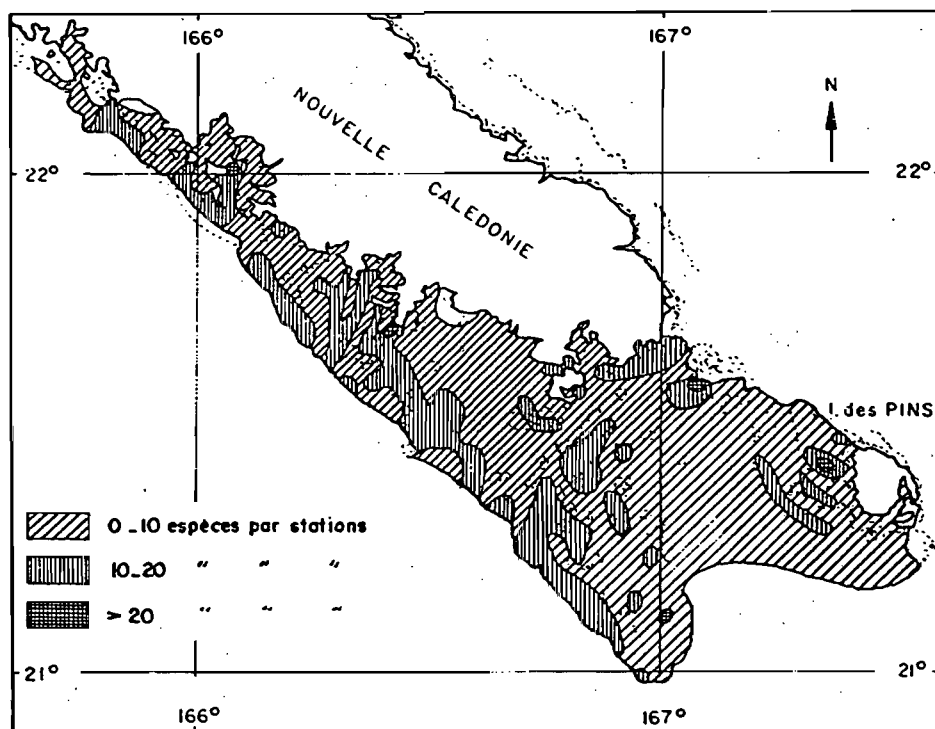


Fig. 46. – Répartition de la richesse spécifique en Mollusques lamellibranches dans le Lagon Sud-Ouest (d'après DIJKSTRA *et al.*, 1989). Le maximum observé dans une station est de 26 espèces.

En 1993, deux Ateliers ont été réalisés en Nouvelle-Calédonie totalisant deux mois de travail de terrain pour une vingtaine de "récolteurs-trieurs" (2 fois 400 journées-personnes). L'échantillonnage a porté sur les zones intertidales, les fonds lagonaire sédimentaires et les formations récifales des côtes nord-est et nord-ouest de la Grande Terre. Des techniques d'échantillonnages très variées (dragues, suceuse, récoltes à marée basse...) permirent la récolte

de toutes les gammes de taille et des espèces parasites. Bien que l'inventaire du matériel récolté ne soit pas terminé, il est possible d'estimer le nombre d'espèces trouvées à environ 3000 pour une superficie explorée de 300 km² (BOUCHET, 1994).

Les échantillonnages réalisés en plongée à l'aide d'une "suceuse" sur les fonds meubles du lagon Sud-Ouest ou sur la pente récifale externe ont montré qu'il était courant de ramener plusieurs centaines d'espèces de Mollusques (jusqu'à 580) sur quelques m² (BOUCHET, *com. pers.*). Cette diversité se situe principalement dans les petites tailles < 5 mm (AUCHERE, 1993).

Les pourcentages d'occurrence des principales familles de Mollusques observés dans les récoltes par dragages sont différents selon les lagons (Tab. 4). La richesse spécifique observée en Gastéropodes (> 5 mm) varie de 5 à 56 espèces par trait de drague dans le lagon de l'atoll de Chesterfield, de 1 à 72 dans le lagon SO et de 1 à 77 dans le lagon E.

Tab. 4. — Pourcentages d'occurrence dans les lagon Sud-ouest, Est et de l'atoll de Chesterfield et richesse spécifiques des cinq familles de Mollusques Gastéropodes les plus fréquentes.

Familles	% d'occurrence			Nombre total d'espèces
	lagon SO	lagon E	Chesterfield	
Nassaridae	67	76	58	28
Cerithiidae	54	48	95	27
Strombidae	48	22	87	16
Terebridae	37	29	34	49
Muricidae	47	43	53	57

Cartographie de la diversité spécifique

Les cartes de répartition de la richesse spécifique en Mollusques Gastéropodes dressées d'après les résultats des dragages montrent que : les zones les plus riches (> 40 espèces par stations) se situent à proximité de la barrière récifale et en particulier sous l'influence des courants de passes (Fig. 45) ; les zones les plus pauvres en espèces correspondent aux fonds envasés côtiers (RICHER DE FORGES, 1991). Il existe une grande disparité qualitative dans la répartition de la richesse en Mollusques entre les lagons d'îles hautes et ceux des atolls. Ainsi, les Cerithiidae sont présents dans 54 % des dragages du lagon SO mais dans 95 % de ceux du lagon de Chesterfield (Tab. 4). Ces différences traduisent l'homogénéité des fonds d'atolls par rapport à la diversité des fonds d'îles hautes.

Pour les Mollusques Lamellibranches, la richesse spécifique est moindre (de 0 à 26 espèces par trait de drague (Fig. 46 ; Tab. 3). Les familles les plus fréquentes dans le lagon Sud-ouest sont les Veneridae (70 % des stations), Cardiidae (61 %), Pectinidae (57 %), Arcidae (54 %),

Tellinae (44 %), Glycymeridae (25 %) (DIJKSTRA *et al.*, 1989-1990 ; RICHER DE FORGES, 1991).

La répartition des espèces est corrélée à la nature sédimentologique des fonds et à leur profondeur (RICHER DE FORGES *et al.*, 1988 ; CHEVILLON & RICHER DE FORGES, 1988).

3.4.4 - Crustacés

FROMAGET et RICHER DE FORGES (1992) recensaient 242 références bibliographiques traitant des Crustacés de Nouvelle-Calédonie. Ce groupe zoologique très diversifié reste cependant mal étudié. La plupart de ces références traitent d'aquaculture de crevettes pénéides (*Penaeus stylirostris*, introduite du Mexique) ou de pêche au crabe de palétuvier (*Scylla serrata*) et les travaux décrivant la richesse spécifique demeurent peu nombreux. Par ailleurs, une partie importantes des travaux sur les Crustacés de Nouvelle-Calédonie ne concerne que la faune bathyale. Il y a cependant de notables exceptions, A. MILNE EDWARDS, (1872, 1873, 1874) qui signale 207 espèces de Brachyours ; les travaux de BORRADAILE, (1898, 1899, 1900) sur les Stomatopodes et Décapodes Macroures ; de CHEVREUX (1915) et de LEDOYER (1984a) sur les Amphipodes ; les Copépodes des lagons signalés par BINET (1984) pour les espèces planctoniques et HUMES (1972-1996) pour les harpacticoïdes et les espèces commensales ; les articles de BRUCE (1967, 1970, 1975, 1980, 1982, 1990a, b, 1991a) décrivant les crevettes Palaemonidae et celui de LEDOYER (1984b) sur les Caridae ; l'étude des collections de Stomatopodes des dragages qui fit passer brusquement leur inventaire de 10 à 69 espèces (MOOSA, 1991 ; RICHER DE FORGES & MOOSA, 1991) ; les Thalassinides (VAUGELAS, 1988 ; NGOC-HO, 1989, 1991 ; POORE, 1997).

L'inventaire des espèces de Crustacés présentes en Nouvelle-Calédonie est encore loin d'être achevé dans ce groupe relativement mal échantillonné. Certaines espèces littorales de petite taille ou étroitement associées aux coraux sont encore à décrire (TAN & RICHER DE FORGES, 1993 ; ROSS & NEWMAN, 1995 ; NG & RICHER DE FORGES, 1996 ; DAVIE & RICHER DE FORGES, 1996 ; OKUNO, 1997 ; CASTRO, 1997).

La base de données lagonaire (0-100 m) contient actuellement 69 familles et 432 espèces de Crustacés. L'étude complète des récoltes par dragages des lagons de Nouvelle-Calédonie devrait accroître de façon importante cet inventaire.

La récente étude des Crustacés amphipodes des lagons de Nouvelle-Calédonie commence à porter ses fruits. MYERS (1997) publie une comparaison biogéographique entre la Nouvelle-Calédonie et la Papouasie-Nouvelle-Guinée (PNG), basée sur ce groupe de Crustacés nécrophages. La richesse spécifique est légèrement plus forte en Nouvelle-Calédonie (170 espèces) qu'en PNG mais seulement 20 % des espèces sont communes à ces deux régions du Pacifique Sud-Ouest. La Nouvelle-Calédonie apparaît comme une région à très fort taux d'endémisme (70 %) pour le groupe des Crustacés amphipodes.

3.4.5 - Autres groupes d'invertébrés :

Pour les autres groupes zoologiques, l'avancement des études est très variable, les problèmes taxonomiques retardent l'exploitation écologique des données. Les récoltes réalisées par le programme "Lagon" auront cependant permis un notable accroissement des connaissances dans certains groupes : Gorgones (BAYER & STEFANI, 1987, 1988a, b) ; Bryozoaires (D'HONDT, 1986).

Les **spongiaires** sont très diversifiés dans les lagons de Nouvelle-Calédonie. Ils ont fait l'objet d'une attention particulière lors des récoltes du programme SNOM (Substances Naturelles des Organismes Marins) pour y rechercher des substances actives. Le nombre d'espèce est estimé à 600 (HOOPER, *com. pers.*) mais pour l'instant la base de données n'en contient que les 56 qui sont décrites et signalées. Sous l'impulsion des biochimistes du SMIB (Substances Marines d'Intérêt Biologiques), un groupe de taxonomistes français, australiens et néo-zélandais s'est réuni à trois reprises à Nouméa pour étudier les récoltes des lagons. Il résulte de cet effort exemplaire un Guide des Eponges de Nouvelle-Calédonie (LEVI *et al.*, sous-presse).

Les **Hydriaires** des lagons ont été récemment étudiés mais les résultats encore non publiés (VERVOORT, in prep.). Cet auteur recense 8 familles, 22 genres et 43 espèces des petites profondeurs en Nouvelle-Calédonie.

Le groupe des **Ascidies** a été particulièrement bien échantillonné par dragages et en plongée et bien étudié car certaines espèces présentent des molécules actives intéressant les pharmacologues. La description de cette faune a permis de confirmer la grande diversité spécifique des eaux néo-calédoniennes. Sont signalées 11 familles et 199 espèces dont 40 % étaient nouvelles pour la science (MONNIOT C., 1987a, b, c, 1988, 1989, 1991a, b ; MONNIOT, F., 1987, 1988, 1989, 1991, 1992, 1995). Un Guide faunistique des Ascidies de Nouvelle-Calédonie a été publié à l'issue de ces études descriptives (MONNIOT *et al.*, 1991).

Les affinités géographiques des Ascidies de Nouvelle-Calédonie sont surtout Indo-Pacifique, avec l'Australie et le sud-est asiatique ; cependant certaines sont cosmopolites.

3.4.6 - Les Poissons

Dès le début du programme "Lagon", la faune ichthyologique a fait l'objet d'études particulières car elle représente des biomasses importantes directement utilisables par l'homme et concerne tous les niveaux trophiques.

L'inventaire ichthyologique de la Nouvelle-Calédonie fait état de 1659 espèces de Poissons, appartenant à 199 familles, dont la plus grande partie vivent dans les lagons (RIVATON *et al.*, 1990). Ce catalogue a été dressé à partir des travaux de LOUBENS (1978), FOURMANOIR et LABOUTE, (1976) et des nombreuses récoltes réalisées depuis 1984, dont certaines à la drague

(RIVATON & RICHER DE FORGES, 1990). Les principales techniques utilisées pour recenser les espèces et évaluer leurs biomasses furent le casier, la pêche à la palangre de fond, le chalutage (Baie de St. Vincent), des comptages réalisés en plongée sous-marine et des empoisonnements à la roténone (KULBICKI *et al.*, 1987 ; KULBICKI, 1988 ; KULBICKI & MOU-THAM, 1987 ; KULBICKI & WANTIEZ, 1990 ; KULBICKI, 1997). Par ailleurs, une étude particulière concerne les Poissons des zones de mangroves, capturés à l'aide de pièges et de filets maillants, et leurs relations avec ceux du lagon (THOLLOT, 1989 ; THOLLOT & KULBICKI, 1988). Les Poissons coralliens et lagonaires ont été récoltés au cours de campagnes de pêches et de travaux destinés à l'estimation des ressources (RIVATON, 1989 ; RIVATON *et al.*, 1990 ; RIVATON & RICHER DE FORGES, 1990 ; KULBICKI *et al.*, 1994a ; KULBICKI & RIVATON, 1997).

La présence de nombreuses espèces de Poissons est influencée par la présence de formations coralliennes, la proximité de la barrière externe et les passes (Bien que la zone des fonds blancs présente, d'après CHARDY et CLAVIER (1988), la plus faible biomasse benthique, elle est parsemée de coraux ce qui augmente la richesse spécifique et la biomasse en Poissons).

Les mangroves jouent un rôle de "nursery" pour certaines espèces ; les captures réalisées au filet maillant et à l'aide de pièges (capetchades) permettent des comparaisons avec la faune présente dans la baie avoisinante récoltée par chalutage (THOLLOT & KULBICKI, 1988 ; KULBICKI & WANTIEZ, 1990) et avec celle observée sur fonds coralliens proches par comptages en plongée ; ainsi sur un total de 497 espèces de Poissons récoltés en baie de St. Vincent, 75 espèces vivent dans la mangrove et 35 d'entre elles y sont strictement inféodées ; si la présence des mangroves augmente les possibilités de recrutement des espèces lagonaires, les migrations entre les mangroves et le lagon semblent toutefois limitées.

Les Poissons ramenés par les dragues appartiennent à des espèces de petite taille, ou sont les juvéniles des grandes espèces. Ce moyen de récolte, inhabituel pour les Poissons, permet la capture de 73 familles dont 4 n'avaient jamais été signalées de Nouvelle-Calédonie : Trichonotidae, Cynoglossidae, Aploactinidae, Creediidae. C'est la famille des Gobiidae qui est la plus fréquente dans ces récoltes (27 % des dragages et 45 % des captures). De nombreuses espèces étaient inconnues de Nouvelle-Calédonie, notamment dans les familles de Poissons plats, Bothidae, Pleuronectidae, Soleidae, Cynoglossidae et dans celle des Syngnathidae (8 % des dragages et 14 % des captures).

3.5 - Répartition de la biodiversité des fonds meubles

3.5.1 - Les courbes surface-espèces

Les études d'écologie montrent que le nombre d'espèces présentes est corrélé à la superficie explorée selon la relation : $S = cA^z$ où S est le nombre d'espèces, A la surface, c et z des

coefficients (McARTHUR & WILSON, 1967 ; ROSENZWEIG, 1996). Il est possible de vérifier cette relation pour les organismes benthiques des fonds meubles du lagon Sud-Ouest qui ont été identifiés et saisis dans la base de données. La superficie étant ici représentée par le nombre de stations de dragages. Pour rendre ces données plus homogènes, les stations de dragages ont été séparées en trois groupes correspondant chacun à un type de fond. Le critère de choix retenu pour séparer ces groupes est la teneur en vases des sédiments : 0-25 % de vases, 25-75 % et plus de 75 %. Pour chacun de ces milieux, une courbe aire / espèce a été établie en rangeant les stations par ordre chronologique et en cumulant les espèces station par station (Fig. 47 A, B, C).

Pour les fonds blancs où la teneur en vases est inférieure à 25 %, un total de 299 espèces est atteint au bout de 78 dragages et la courbe semble approcher de son asymptote (Fig. 47 A).

Pour les fonds intermédiaires ou fonds gris, la courbe prend une allure similaire et atteint 227 espèces au bout de 75 stations (Fig. 47 B).

Le nombre de stations de dragages en fonds vaseux (> 75 % de vases) étant limité à 10, la courbe n'est pas significative (Fig. 47 C). Cependant, il est intéressant d'observer que sur ces fonds pauvres, une cinquantaine d'espèces ont toutefois été récoltées en 10 stations.

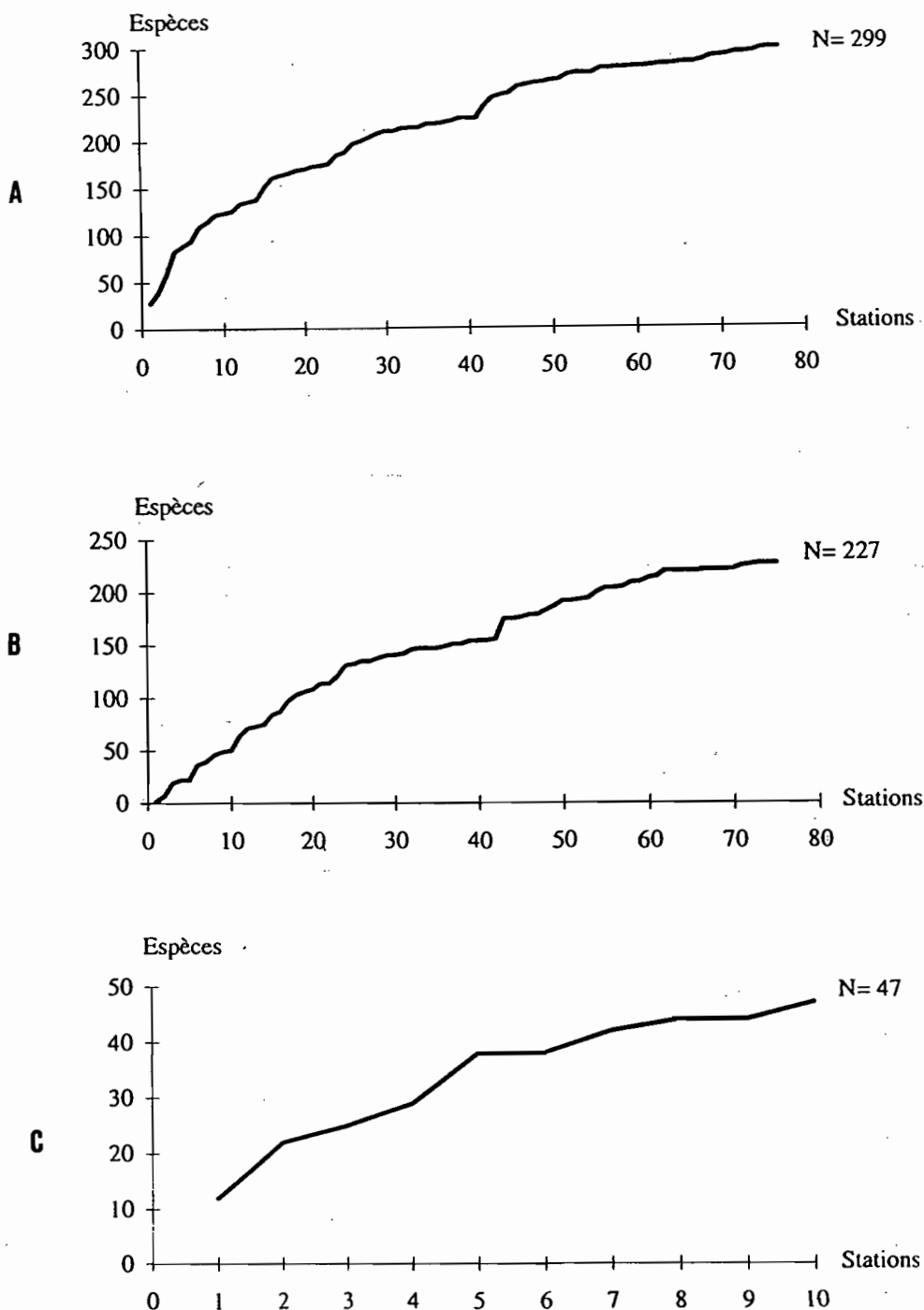


Fig. 47. — Courbes aires / espèces réalisées à partir des récoltes par dragages dans le lagon SO de Nouvelle-Calédonie. Les stations de dragages sont regroupées en trois parties selon la teneur en particules fines du sédiment : A : fonds blancs, de 0 à 25 % de vases ; B : fonds gris de 25 à 75 % de vases ; C : fonds vaseux supérieur à 75 % de vases.

La biodiversité des zones bathyales en Nouvelle-Calédonie



4 - La biodiversité des zones bathyales en Nouvelle-Calédonie

4.1. - Caractéristiques générales de l'océan mondial

Les ouvrages traitant de l'océan ont coutume d'en rappeler la superficie (361,5 millions de km² dont 175 millions pour le seul océan Pacifique) qui est tellement importante que, les astronautes voyant notre Terre depuis la Lune ont pu la qualifier de planète bleue. En effet la planète Terre est couverte presque aux trois quarts (70,8%) par de l'eau qui constitue l'océan mondial, d'un volume énorme ; cette masse d'eau existe depuis plus de 3,5 milliards d'années et c'est en son sein que la vie a pris naissance.

Actuellement la profondeur moyenne des océans est de 3 800 mètres, mais les reconstitutions paléogéographiques montrent que la forme des bassins océaniques et la position relative des masses continentales ont considérablement évolué au cours des temps géologiques.

4.1.1 - Les différentes zones océaniques :

En fonction de la profondeur, on distingue schématiquement les étages suivant :

- la zone supérieure regroupant supra, medio, infra et circalittoral où pénètre la lumière, comprise en moyenne entre 0 et 200 m, qui est la plus riche, la mieux connue et recouvre les plateaux continentaux ; elle ne représente que 7,6% de la surface des océans ;

- la zone **bathyale**, entre 200 et 2000 m, qui comprend les talus continentaux, les pentes des îles et la partie sommitale des monts sous-marins, ne représente que 8,5% de la surface des océans ;

- la zone **abyssale**, entre 2000 et 6000 m, composée de l'essentiel des plaines océaniques représente à elle seule 82,9% de la surface des océans ;

- enfin, la zone **hadale** qui se limite à quelques fosses océaniques liées à l'enfoncement des plaques, entre 6000 et 11000 m, et qui ne couvre que 1,2% du fond des océans.

Si l'on fixe à 200 m le début du domaine des profondeurs, il englobe alors 92,4% de la surface des océans, soit 65,4% de la surface de la planète.

4.1.2 - Les caractéristiques physiques des eaux profondes :

- *la température* : elle diminue progressivement avec la profondeur, les 500 premiers mètres étant sujets à des variations saisonnières, pour se stabiliser vers 4°C, température à laquelle l'eau de mer présente la plus forte densité. Évidemment, ce schéma général varie avec la latitude, la température des eaux de surface et la circulation des masses d'eaux. Cette circulation, étant lente en profondeur, l'une des caractéristiques des eaux profondes est sa grande stabilité thermique par rapport à la couche de surface.

La thermocline est la zone de discontinuité thermique entre les eaux de surface influencées par les variations climatiques à court terme et les eaux profondes d'une grande stabilité thermique à long terme. Cette zone de gradient maximal est variable en profondeur et en épaisseur selon les latitudes (Fig. 48). En zone intertropicale où les eaux de surface sont chaudes (20 à 30°C), la thermocline se situe entre 80 et 200 m. La zone bathyale est donc baignée par des eaux froides (15 - 5°C) et sans variation saisonnière.

- la lumière décroît progressivement pour devenir imperceptible à l'oeil humain vers 500 m de profondeur où son intensité n'est plus que de 1/100 000e de celle de la surface. L'existence, dans la zone bathyale supérieure (200-1000 m), d'organismes très colorés laisse toutefois supposer que pour de nombreux animaux marins, une certaine lumière reste perceptible. D'ailleurs, des mesures permettent de détecter des rayonnements bleu-vert jusqu'à 1000m de profondeur dans les eaux tropicales particulièrement limpides. La quantité d'énergie lumineuse qui atteint ces profondeurs est insuffisante pour permettre la présence d'organismes chlorophylliens.

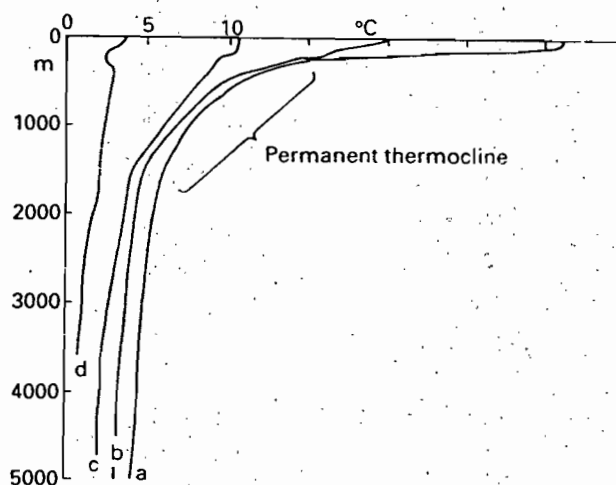


Fig. 48. — Profil moyen des températures observées dans les océans ; a : zone tropicale (5°S) ; b : zone subtropicale (35°S) ; c : zone subantarctique (50°S) ; d : zone antarctique (55°S) (d'après OSBORNE *et al.*, 1991).

4.2 - Historique de l'exploration des faunes de profondeur.

4.2.1 - Historique sommaire de l'exploration dans l'Indo-Pacifique :

Le benthos de profondeur de l'Indo-Pacifique était connu surtout par les résultats des grandes expéditions comme celles du "*Challenger*", de la "*Valdivia*", de l'"*Albatross*", de la "*Siboga*", de l'"*Investigator*" et de la "*Galathea*". Le nombre de prélèvements effectués au cours de ces expéditions est toutefois relativement faible, en regard de l'immensité du domaine à

explorer (WYVILLE THOMSON & MURRAY, 1885 ; WEBER, ? ; ALCOCK, 1902 ; ANONYME, 1910 ; JESPERSEN & VEDEL TANING, 1934 ; SEWELL, 1935 ; BRUUN, 1957-59 ; WOLFF, 1964). A partir des comptes rendus de ces Grandes Expéditions, on peut évaluer le nombre d'opérations benthiques réalisées à la drague et au chalut dans l'Indo-Pacifique tropical entre 1873 et 1952 (Tab. 5).

Tab. 5. — Nombres de prélèvements de benthos profonds réalisés par les "Grandes Expéditions" dans l'Indo-Pacifique tropical (35°N-35°S).

	100-2000 m	2000-5000 m	> 5000 m
<i>Challenger</i>	42	78	17
<i>Investigator</i>	303	17	0
<i>Siboga</i>	131	25	0
<i>Dana</i>	65	1	12
<i>Mabahiss</i>	93	17	0
<i>Galathea</i>	38	46	57
<i>Albatross</i>	358	10	0

4.2.2 - Contexte biogéographique

A la suite des explorations du "*Siboga*" et de MORTENSEN en Indonésie (1899-1900), aux îles Kei, la faune de profondeur y fût considérée comme particulièrement riche. MORTENSEN s'étonnait de la remontée de la faune abyssale dans les petites profondeurs et conseillait la création d'un laboratoire d'étude de cette faune aux îles Kei. La seule faune profonde connue à cette époque était celle d'Atlantique Nord et il est effectivement surprenant pour un "européen" de trouver des crinoïdes pédonculés à partir de 200 m de profondeur alors qu'ils ne vivent pas à moins de 1000 m dans les mers froides. Cette répartition des faunes profondes n'est pas spécifique des eaux indonésiennes mais se retrouve dans d'autres zones tropicales et en particulier en Nouvelle-Calédonie.

A la suite des 91 stations de dragages et de chalutages réalisées lors de la campagne KARUBAR en Indonésie (CROSNIER *et al.*, 1997), notre impression première est que cette région n'est pas nettement plus riche en espèces que la Nouvelle-Calédonie. Ceci demandera à être vérifié sur chacun des groupes. Le fait que la campagne KARUBAR ait principalement travaillé sur des fonds meubles rendra difficile les comparaisons avec la Nouvelle-Calédonie dont la zone bathyale est caractérisée par des fonds durs à Spongiaires et Stylostérides sur lesquels plus de 600 opérations ont eu lieu.

L'Indo-ouest-Pacifique est qualifié parfois de "province biogéographique" du fait de l'homogénéité montrée par la faune littorale et plus particulièrement par les espèces récifales

(EKMAN, 1953 ; PYLE, 1994). Dans la faune bathyale, bien que l'on observe des espèces à vastes répartitions géographiques, il existe de notables différences, au niveau spécifique, d'un archipel à l'autre.

Certains auteurs ont tenté de corréler la répartition actuelle des espèces marines et la position des plaques de la croûte terrestre (SPRINGER, 1982 ; ROSEN, 1988b ; BRIGGS, 1974). Pour la faune littorale (0-200 m de profondeur), plusieurs exemples de corrélations positives sont fournis chez les poissons, les mollusques, les scléroractiniaires. Les auteurs ont parfois combiné la position des plaques et les phénomènes climatiques de grande amplitude provoquant une notable variation des niveaux marins pour expliquer la répartition actuelle des espèces (SPRINGER & WILLIAMS, 1990 ; PAULAY, 1990). Par manque de données suffisantes, les tentatives de corrélation entre la répartition des faunes bathyales et la position des plaques sont restées modestes (WILLIAMS, 1982). En étudiant les crinoïdes pédonculés, AMEZIANE-COMINARDI (1991) écrit : "la faune découverte en Nouvelle-Calédonie semble confirmer qu'il est nécessaire d'envisager un processus où les effets de la tectonique des plaques à l'échelle géologique sont les principaux responsables de la dispersion géographique constatée actuellement, ainsi que du maintien des taxons ancestraux."

Il est probable que la faune benthique profonde, à l'abri des "petites fluctuations climatiques", ait une répartition reflétant l'évolution des océans à l'échelle géologique. Cependant, l'hypothèse suggérant que la forte biodiversité de la faune benthique profonde serait liée à la stabilité temporelle de ces milieux est remise en question. CRONIN et RAYNO (1997) montrent que la diversité spécifique en Crustacés Ostracodes, étudiée d'après des carottages du Deep Sea Drilling Project en Atlantique, est corrélée à l'insolation et donc à l'inclinaison de la Terre sur le plan de l'écliptique. Si la diversité varie en relation avec des phénomènes astronomiques cycliques de quelques dizaines de milliers d'années, elle est liée à une réponse biologique à des fluctuations climatiques et non à une quelconque stabilité (REX, 1997).

4.2.3 - La zone bathyale dans l'Indo-Pacifique

La définition de la zone bathyale varie selon les auteurs : pour PERES (1961) qui considère les peuplements benthiques de l'Atlantique tempéré, "l'étage bathyal" a sa limite supérieure, frontière avec le circalittoral, à la limite de disparition des peuplements algaires. Cette limite varie donc selon la transparence de l'eau et la latitude. En zone tropicale on peut la situer entre 200 et 250 m, les peuplements d'algues rouges encroûtantes les plus profonds ayant été observés aux Caraïbes par 228 m (LITTLER *et al.*, 1985 ; HILLIS-COLINVAUX, 1986). Par commodité, cette limite supérieure du bathyal est souvent placée à 200 m, profondeur qui correspond généralement au passage des plateaux aux talus continentaux et à la séparation entre système littoral et système profond. PERES (1961) insiste bien sur le fait que cette terminologie du découpage en étages ne fait pas intervenir une référence bathymétrique absolue mais plutôt des "types fondamentaux de peuplements". Selon lui, la limite inférieure de l'étage bathyal

paraît se situer vers 3000 m et correspondre à un changement de peuplements. D'autres auteurs comme BRUUN (1956) proposaient de fixer cette limite inférieure avec l'apparition des eaux abyssales à 4°C.

En fait, en zone tropicale où les eaux oligotrophes sont très transparentes, la lumière pénètre jusqu'à plus de 500 m de profondeur sans toutefois avoir une intensité suffisante pour permettre aux algues de réaliser leur photosynthèse (observation personnelle à bord de CYANA : RICHER DE FORGES & GRANDPERRIN, 1989 ; GRANDPERRIN & RICHER DE FORGES, 1989). C'est principalement la lumière qui conditionne le changement de peuplement entre faune circalittorale et faune bathyale. La limite inférieure des sclérectiniaires constructeurs à zooxanthelles (hermatypiques) se situe vers 100-150 m de profondeur (*Leptoseris hawaiiensis*). Au-delà, la compétition pour l'occupation de l'espace est remportée par les peuplements de gorgonaires, de stylastérides et de spongiaires (RICHER DE FORGES & LABOUE, 1986 ; ROUX *et al.*, 1991a, b).

GAGE et TYLER (1992), utilisent le terme bathyal pour la tranche bathymétrique de 200 à 2000 m. Dans le monde, les zones bathyales ainsi définies représenteraient environ 6% de la surface de la planète (8,5 % des océans) (Fig. 49). Ces zones profondes de plus de 200 m sont encore très sous-échantillonnées bien que les récentes estimations semblent montrer que la diversité spécifique y serait aussi élevée que dans les autres habitats marins. Environ 60 % de la superficie de notre planète serait ainsi quasiment inexplorée (BUTMANN & CARLTON, 1995) !

4.2.3.1 - La distribution des profondeurs bathyales dans l'Indo-pacifique

Si l'on cartographie les profondeurs bathyales (200-2000 m) dans l'Indo-Pacifique tropical, on constate qu'il s'agit d'une zone très discontinue : liséré de largeur variable bordant les continents ; sommet des rides sous-marines bordant les plaques ; enveloppes des arcs d'îles volcaniques et des alignements de volcans issus de points chauds (Fig. 49). Cette cartographie a été rendue possible récemment grâce aux mesures altimétriques satellitaires et aux puissants moyens de calculs qui permettent de transcrire les anomalies du géoïde terrestre. La carte de la figure 49, réalisée à partir des documents de la NOAA, est évidemment très simplifiée et sa petite échelle ne permet pas d'y représenter les petites îles et les milliers de monts sous-marins et de guyots dont les sommets sont situés dans la zone bathyale. Cette remarque concerne plus particulièrement le Pacifique Ouest où les petites îles et atolls ne sont que les quelques sommets émergeant parmi une multitude de reliefs sous-marins (RICHER DE FORGES & MENOUE, 1993). Cette carte des zones bathyales de l'Indo-Ouest-Pacifique montre clairement que le sud-ouest Pacifique présente la plus vaste superficie de profondeurs bathyales de la planète.

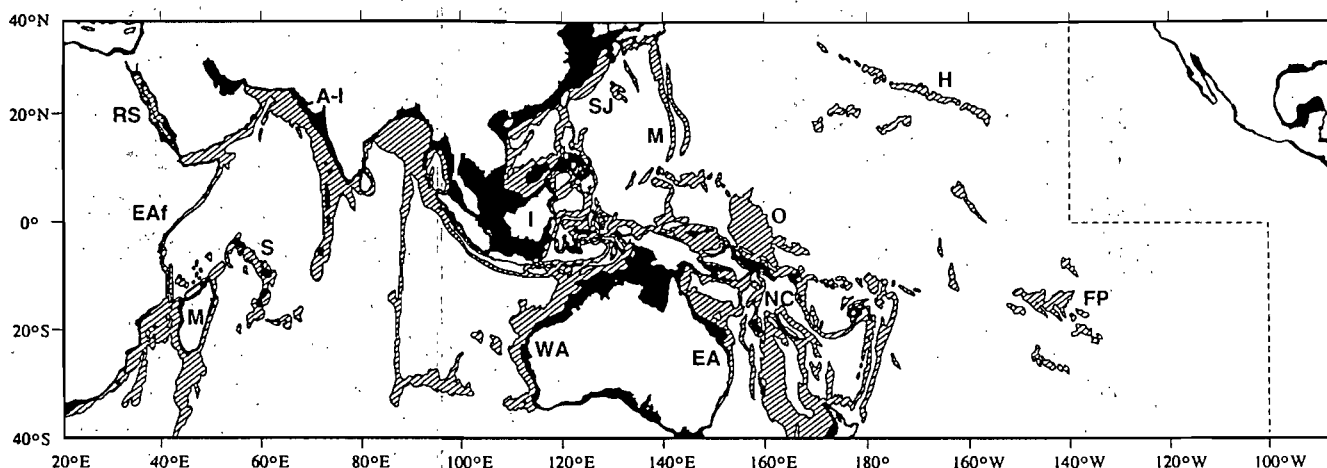


Fig. 49. — Cartographie des profondeurs bathyales de l'Indo-Pacifique. En noir les fonds de 0 à 200 m ; en hachures les zones bathyales (200-2000 m) (Réalisée à partir des données altimétriques satellitaires ; modifiée d'après la carte au 1/40. 10⁶ ème de SLOSS, 1994).

L'estimation du nombre de monts sous-marins dans les océans a été tentée par plusieurs auteurs à partir de différentes méthodes : les anomalies gravimétriques donnent environ 8500 monts pour les trois océans (CRAIG & SANDWELL, 1988) ; la cartographie avec un sondeur multifaisceaux dans le Pacifique central en donne 9000 par million de km², ce qui, extrapolé à l'ensemble du Pacifique, conduit à une estimation d'environ 1,5.10⁶ monts sous-marins (FORNARI *et al.*, 1987). Quelle que soit la validité de ces estimations, il faut réaliser que les monts sous-marins, bien que petits et dispersés, représentent l'un des traits géomorphologiques majeurs des océans et qu'ils jouent un rôle fondamental dans l'évolution des faunes bathyales.

4.2.3.2 - Évolution temporelle des zones bathyales

A l'échelle des temps géologiques, la lithosphère évolue et la géographie des terres émergées a considérablement changé de forme. Les zones bathyales qui bordaient les anciens continents ont évolué en même temps qu'eux. Alors que les planchers océaniques ont une vie relativement brève entre leur formation au niveau des dorsales et leur disparition au niveau des fosses de subduction (maximum de 200 M. A.), les marges continentales bathyales ont des âges très variés et certaines sont très anciennes.

Sur les reconstitutions paléogéographiques et paléocéanographiques de HAQ & VAN EYSINGA (1987) on a reporté les zones avec les sites coralliens fossiles correspondant à chaque époque (VERON, 1995). Bien qu'assez imprécises, ces reconstitutions (Fig. 50) montrent que le sud-ouest Pacifique est pratiquement le seul endroit de la planète où les marges continentales n'aient pas été totalement remaniées, qu'elles soient créées par fracturations de continents (Amérique du sud / Afrique), ou supprimées par collision (Indes/Asie), ou encore soumises à une orogénèse comme la façade occidentale du continent américain. Par ailleurs, la

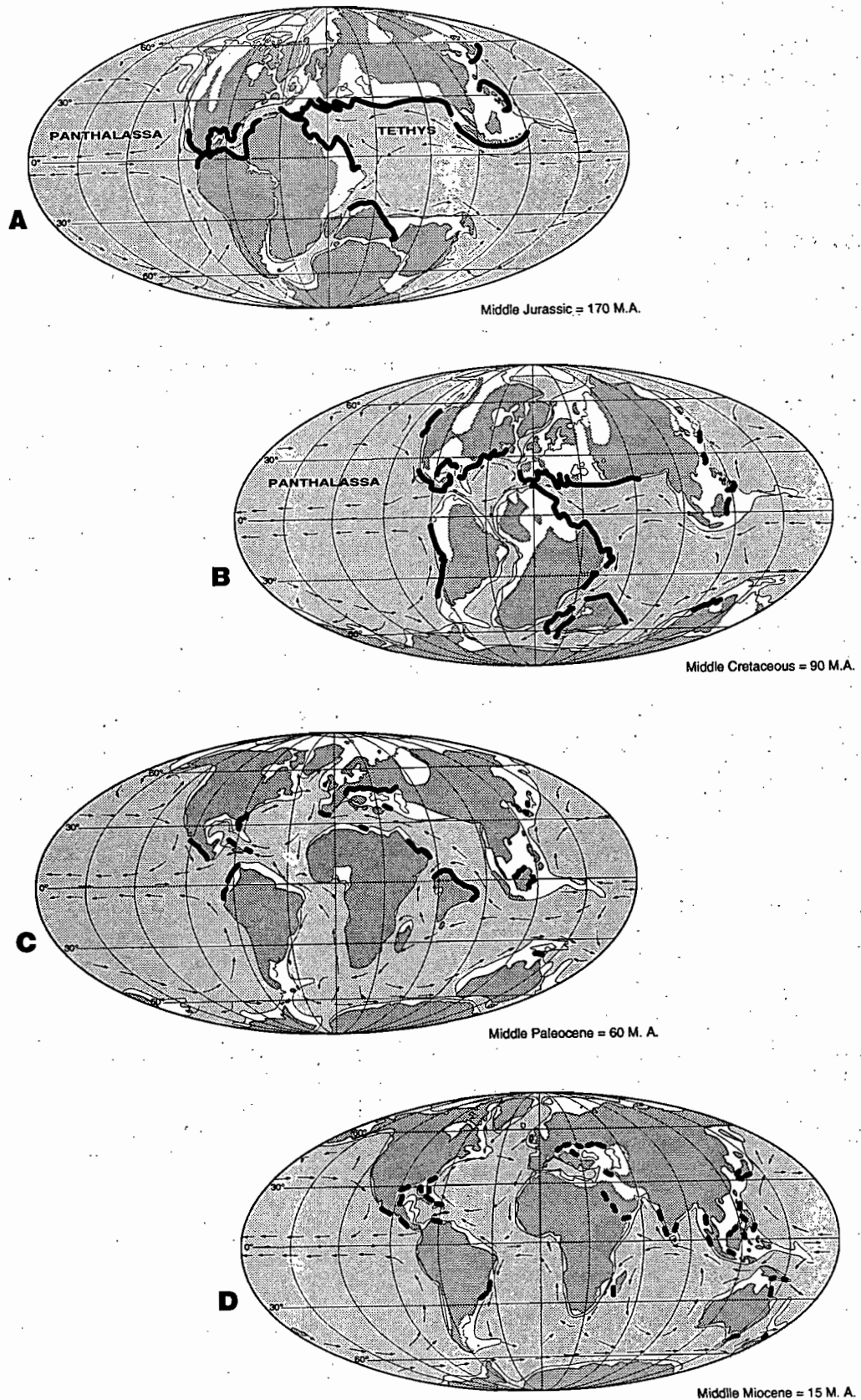


Fig. 50. — Reconstitution paléogéographique sur lesquelles ont été reportées en noir les zones coralliennes **A** : Milieu du Jurassique (170 M. A.) ; **B** : Milieu du Crétacé (90 M. A.) ; **C** : Milieu du Paléocène (60 M. A.) ; **D** : Milieu du Miocène (15 M. A.) (d'après HAQ & VAN EYSINGA, 1987 et VERON, 1995 modifié).

présence de formations coralliennes atteste d'un environnement hydroclimatique tropical depuis le Jurassique supérieur.

STEVENS (1977) retrace les grandes lignes de la paléobiogéographie régionale :

Au Carbonifère et au Permien, la Nouvelle-Zélande et la Nouvelle-Calédonie se trouvaient à la périphérie du continent de Gondwana qui regroupait l'Afrique, l'Amérique du sud, l'Antarctique, l'Inde, la Nouvelle-Zélande et l'Australie. Les données paléomagnétiques permettent de situer alors leur position dans les hautes latitudes, près du pôle sud. Au Trias et au début du Jurassique, le Gondwana s'est déplacé vers le nord, s'éloignant du pôle, avec pour conséquence un réchauffement climatique, notamment de sa marge orientale. La faune marine de cette époque permet de distinguer une "province Maori". Au Jurassique moyen et supérieur, le continent de Gondwana débute sa fragmentation et l'arrivée d'une faune d'invertébrés benthiques téthysiens est visible dans les dépôts fossiles. Le Crétacé est marqué par l'apparition d'une faune d'invertébrés marins d'origine australe. Au début de l'ère tertiaire, la Nouvelle-Zélande et la Nouvelle-Calédonie se déplacent vers le nord en suivant le mouvement de la plaque Indo-australienne.

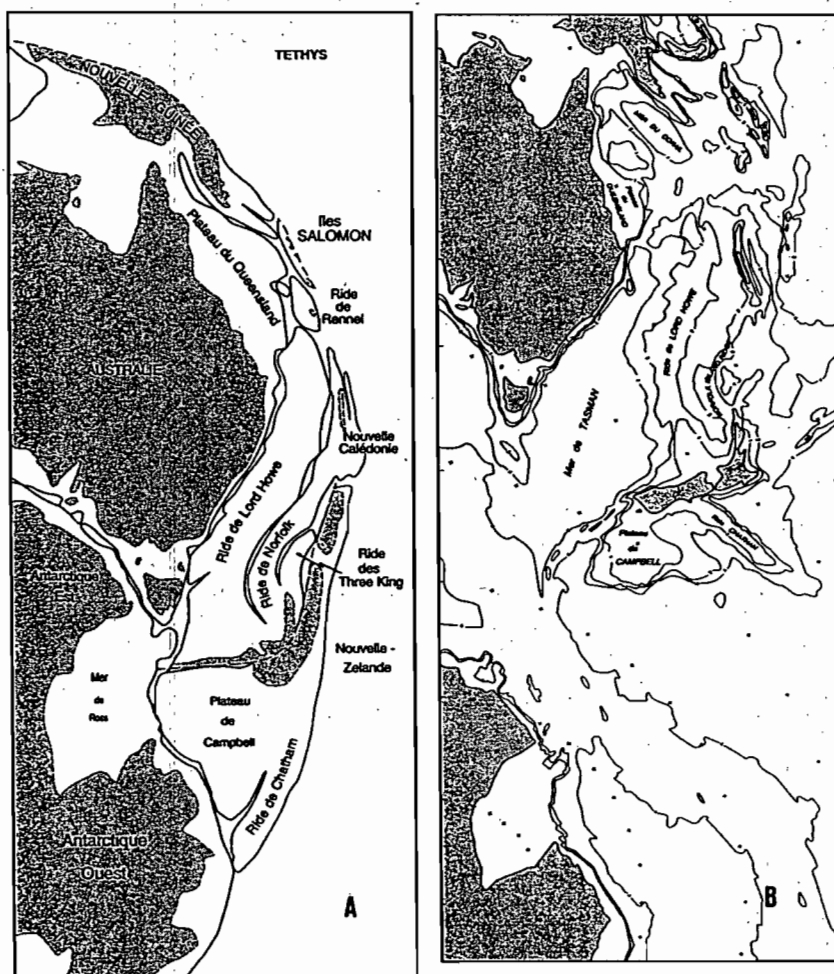


Fig. 51. — A : Marge orientale du continent de Gondwana au milieu du Jurassique (170 M. A.) ; B : Carte bathymétrique actuelle du sud-ouest Pacifique (d'après GRIFFITHS, 1971).

La séparation par ouverture de la mer de Tasman aurait eu lieu entre 80 et 60 M. A. (GRIFFITHS, 1971 ; STEVENS, 1980 ; BURRETT *et al.*, 1991). Certains auteurs considèrent que cet isolement, depuis la fin du Crétacé, serait responsable de la parenté entre les faunes marines de Nouvelle-Calédonie et de Nouvelle-Zélande et du taux d'archaïsme exceptionnellement élevé en Nouvelle-Calédonie (CARLQUIST, 1965 ; GORDON & d'HONDT, 1991 ; MARSHALL, 1991).

La reconstitution paleogéographique de la bordure orientale du continent de Gondwana au milieu du Jurassique (170 M. A.) montre la correspondance de l'ancienne marge continentale avec les rides sous-marines actuelles : la Ride de Lord Howe qui culmine vers 1200 m de profondeur, porte des formations volcaniques récentes, l'alignement des Chesterfield et les atolls de Fairway et Lansdowne ; la Ride de Norfolk, qui joint l'île nord de la Nouvelle-Zélande à la Nouvelle-Calédonie, et culmine vers 800 m de profondeur (Fig. 51). Cette structure émerge au niveau de l'île de Norfolk et présente de nombreux monts sous-marins dont certains, assimilables à des guyots, culminent entre - 250 et - 600 m.

4.3 - L'exploration des zones bathyales de l'Indo-Pacifique

4.3.1 - Les campagnes françaises

L'exploration de la zone bathyale s'est considérablement développée ces dernières années. Des récoltes de l'ORSTOM aussi bien à Madagascar qu'en Nouvelle-Calédonie et en Polynésie Française ont eu lieu entre 1960-75. Depuis, les campagnes organisées conjointement par le Muséum national d'Histoire naturelle et par l'ORSTOM (MUSORSTOM 1-8 et assimilées, CORINDON, BIOGEOCAL, BIOCAL, CHALCAL, SMIB 1-10, KARUBAR, BERYX 2 et 11, BATHUS 1-4) aux îles Philippines, dans l'archipel indo-malais, en Nouvelle-Calédonie, aux îles Wallis et Futuna et à Vanuatu ont fourni un matériel zoologique assez considérable permettant de nouvelles recherches (Fig. 52).

Les campagnes MUSORSTOM 1 (1976) à bord du N. O. "*Vauban*", MUSORSTOM 2 (1980) et 3 (1985) à bord du N. O. "*Coriolis*", menées sous la direction de J. FOREST, ont exploré les eaux profondes des îles Philippines (FOREST, 1981 ; 1986 ; 1989).

La campagne ESTASE 2, à bord du N. O. "*Coriolis*", a également prospecté les Philippines, du 13 novembre au 9 décembre 1984.

La campagne CORINDON 2 dans le détroit de Makassar, du 30 octobre au 11 novembre 1980 à bord du N. O. "*Coriolis*", sous la responsabilité pour la biologie de J. FOREST et de P. LE LOEUFF, a prospecté les fonds compris entre 20 et 1700 m (MOOSA, 1985).

La campagne franco-indonésienne KARUBAR en 1991, à bord du N. O. "*Baruna Jaya 1*", a prospecté le sud de l'archipel des Moluques, les îles Kai et la mer d'Arafura.

Depuis 1984, une série de campagnes océanographiques françaises, totalisant plusieurs centaines de dragages et de chalutages jusqu'à 3700 m de profondeur, ont eu pour but

l'exploration de la Nouvelle-Calédonie et de ses parages (RICHER DE FORGES, 1990, RICHER DE FORGES & CHEVILLON, 1996).

La campagne BIOCAL, réalisée en août et septembre 1985 à bord du N. O. "*Jean-Charcot*", sous la direction de C. LÉVI, a exploré la partie sud de la Nouvelle-Calédonie et les pentes du bassin des Loyauté dans la tranche bathymétrique comprise entre 400 et 2700 m de profondeur, avec quelques essais à plus de 3 000 mètres (LÉVI, 1986).

La campagne MUSORSTOM 4, réalisée en septembre et octobre 1985 à bord du N. O. "*Vauban*", s'est déroulée en deux parties : la première, entre l'extrémité du lagon Nord de la Nouvelle-Calédonie et les récifs d'Entrecasteaux ; la seconde, dans la partie sud et sud-est de la Grande Terre. Elle a exploré la zone sous-récifale, entre 100 et 750 m environ (RICHER DE FORGES, 1986).

Campagnes	Année	Bateau	Région	Chef de Mission
MUSORSTOM 1	1976	Vauban	Philippines	J. Forest
MUSORSTOM 2	1980	Coriolis	" "	" "
CORINDON	1980	" "	Makassar	Le Loeuff
CHALCAL 1	1984	" "	Chesterfield	B. Richer de Forges
MUSORSTOM 3	1985	" "	Philippines	J. Forest
MUSORSTOM 4	1985	Vauban	Nelle Calédonie	B. Richer de Forges
BIOCAL	1985	Jean Charcot	" "	C. Lévi
MUSORSTOM 5	1986	Coriolis	Chesterfield	B. Richer de Forges
CHALCAL 2	1986	" "	Nelle Calédonie	" "
SMIB 1	1986	Vauban	" "	C. Debitus
SMIB 2	1986	" "	" "	" "
SMIB 3	1987	" "	" "	" "
BIOGEOCAL	1987	Coriolis	Loyauté	C. Monniot
CORAIL 2	1988	" "	Chesterfield	B. Richer de Forges
MUSORSTOM 6	1989	Alis	Loyauté	" "
SMIB 4	1989	Alis	Nelle Calédonie	C. Debitus
SMIB 5	1989	" "	" "	" "
SMIB 6	1990	" "	" "	" "
SMIB 8	1993	" "	" "	" "
AZTEQUE	1990	" "	Nelle Calédonie	R. Grandperrin
BERYX 2	1991	" "	" "	" "
KARUBAR	1991	Baruna Jaya I	Indonésie	K. Moosa
BERYX 11	1992	Alis	Nelle Calédonie	P. Lehodey
MUSORSTOM 7	1992	" "	Wallis & Futuna	B. Richer de Forges
BATHUS 1	1993	" "	Nelle Calédonie	" "
BATHUS 2	1993	" "	" "	" "
BATHUS 3	1993	" "	" "	" "
BATHUS 4	1994	" "	" "	" "
HALIPRO 1	1994	" "	" "	R. Grandperrin
MUSORSTOM 8	1994	" "	Vanuatu	B. Richer de Forges
HALIPRO 2	1996	Tangaroa	Nelle Calédonie	R. Grandperrin
MUSORSTOM 9	1997	Alis	Marquises	B. Richer de Forges

La campagne MUSORSTOM 5 aux îles Chesterfield en octobre 1986 à bord du N. O. "*Coriolis*" a exploré les fonds de 200 à 950 m, notamment les monts sous-marins de la ride de Lord Howe (RICHER DE FORGES *et al.*, 1986).

La campagne CHALCAL 1 (12-31 juillet 1984) s'est déroulée sur le plateau des îles Chesterfield et a permis de préciser la bathymétrie et la structure de certains hauts-fonds (RICHER DE FORGES & PIANET, 1984). La campagne CHALCAL 2 (26 octobre-1er novembre 1986) a prospecté les monts sous-marins de la ride de Norfolk (RICHER DE FORGES *et al.*, 1987). Ces deux campagnes ont été effectuées avec le N. O. "*Coriolis*".

Les campagnes SMIB 1 (4-14 février 1986), SMIB 2 (16-23 septembre 1986), SMIB 3 (19-26 mai 1987), SMIB 4 (6-16 mars 1989), SMIB 5 (6-15 septembre 1989), SMIB 6 (28 février-12 mars 1990) et SMIB 8 (15-25 janvier 1993) ont récolté des organismes benthiques entre 200 et 600 m de profondeur, au sud et au nord de la Nouvelle-Calédonie (RICHER DE FORGES, 1990).

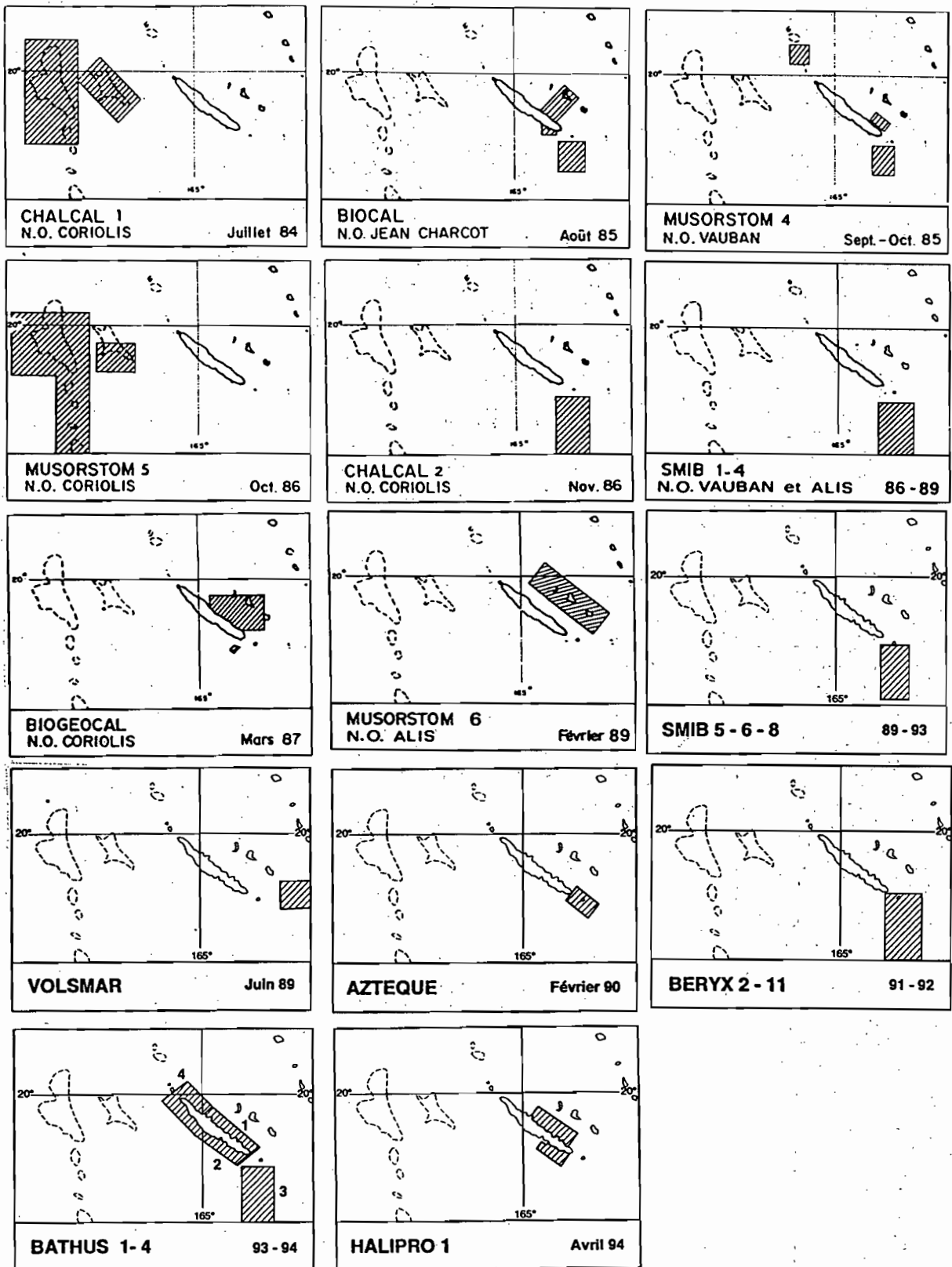


Fig. 52. — Cartes de situation des principales campagnes océanographiques françaises réalisées entre 1984 et 1994 dans les eaux de Nouvelle-Calédonie.

La campagne BIOGEOCAL, à bord du N. O. "*Coriolis*", du 7 avril au 7 mai 1987 (chef de mission P. COTILLON ; responsable de la biologie C. MONNIOT), a travaillé surtout dans la fosse des Loyauté, entre 300 et 3000 m (COTILLON & MONNIOT, 1987).

La campagne CORAIL 2 (18 juillet-6 août 1988), à bord du N. O. "*Coriolis*", s'est à nouveau consacrée à l'exploration du plateau des îles Chesterfield (RICHER DE FORGES *et al.*, 1988a).

La campagne MUSORSTOM 6 a eu lieu en février 1989, dans la zone économique de Nouvelle-Calédonie, sur la ride des îles Loyauté, à bord du N. O. "*Alis*" (RICHER DE FORGES & LABOUTE, 1989). La campagne CALSUB réalisée à bord du N.O. "*Le Suroit*" et avec la soucoupe "*Cyana*" sur les pentes des îles Loyauté, de la grande terre et de l'île des Pins (RICHER DE FORGES & GRANDPERRIN, 1989 ; ROUX, 1991, 1994).

La campagne AZTÈQUE, à bord du N. O. "*Alis*" (12-16 février 1990), s'est consacrée à la prospection par chalutage du sud de la Nouvelle-Calédonie (GRANDPERRIN *et al.*, 1990).

Les campagnes BERYX 2 (22-31 octobre 1991) et BERYX 11 (octobre-novembre 1992) ont travaillé sur les guyots de la ride de Norfolk (GRANDPERRIN & LEHODEY, 1992 ; LEHODEY *et al.*, 1992).

La campagne MUSORSTOM 7 a été effectuée aux îles Wallis et Futuna, à bord du N. O. "*Alis*", du 5 mai au 3 juin 1992 (RICHER DE FORGES & MENOUE, 1993).

Les campagnes BATHUS 1 (9-22 mars 1993), BATHUS 2 (5-15 mai 1993) et BATHUS 3 (22 novembre-2 décembre 1993), BATHUS 4 (1-12 août 1994) à bord du N. O. "*Alis*", ont été effectuées sur les pentes externes des côtes est et ouest de la Nouvelle-Calédonie et sur les guyots du sud de la ride des Loyauté (RICHER DE FORGES & CHEVILLON, 1996).

Sous la direction de R. GRANDPERRIN, à bord du N. O. "*Alis*", la campagne HALIPRO 1, du 19 au 31 mars 1994, a fait une série de chalutages entre 190 et 1120 mètres au sud de la Nouvelle-Calédonie, sur la ride de Norfolk (GRANDPERRIN *et al.*, 1995).

La campagne MUSORSTOM 8 réalisée en septembre-octobre 1994 a échantillonné la zone bathyale de l'archipel de Vanuatu (RICHER DE FORGES *et al.*, 1996).

Dans le cadre du programme ZoNéCo, le navire néo-zélandais, R.V. "*Tangaroa*" fut affrété pour réaliser une campagne de chalutages de profondeur sur les monts sous-marins de la ride de Norfolk et de la partie sud de la ride des Loyauté. Cette campagne, HALIPRO 2, dirigée par R. GRANDPERRIN réalisa en novembre 1996 106 opérations entre 300 et 1800 m de profondeur (GRANDPERRIN *et al.*, 1997a, b).

La campagne MUSORSTOM 9 a été réalisée du 11 août au 13 septembre 1997 aux îles Marquises ; 164 opérations de 30 à 1200 m ont récolté la faune de cet archipel très isolé (RICHER DE FORGES & LABOUTE, in prép.)

Quelques campagnes étrangères ont fait des récoltes dans la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie :

En 1928, la "*Dana*" réalisa quelques récoltes benthiques dans la région et fit escale à Nouméa. La liste des stations figure dans JESPERSEN et VEDEL TANING (1934). Les collections sont actuellement au Zoologisk Museum à Copenhague et une partie des Crustacés Décapodes a été étudiée par GRIFFIN et TRANTER (1986) et par HOLTHUIS (1985) ; une Ascidie (*Culeolus herdmani* Sluiter, 1904) est signalée par MILLAR (1975).

En 1971, un navire de la Royal Navy australienne, le HMAS "*Kimbla*", effectua une campagne océanographique du 27/4 au 19/5/71. Des dragages réalisés sur la pente externe de Nouvelle-Calédonie ramenèrent des Mollusques (HOUART, 1986). Un chercheur australien (J. PAXTON), arrivé sur ce bateau, embarqua sur le N.O. "*Coriolis*" et récolta par 880 m le crabe *Homolochunia kullar* Griffin & Brown, 1976.

En mai 1979, le navire néo-zélandais R.V. "*Tangaroa*" fut autorisé à travailler dans la zone économique de Nouvelle-Calédonie où il effectua une campagne intitulée "Tasman seamounts 1979" (ANONYME, 1979). Des dragages et des chalutages furent effectués sur l'alignement de guyots situés au sud du plateau des Chesterfield (bancs Capel, Kelso, Argo, Nova). Les récoltes actuellement au New Zealand Oceanographic Institute (NZOI) à Wellington n'ont pas fait l'objet de publications.

4.4 - Caractéristiques de l'échantillonnage

Il s'agit pratiquement toujours d'un échantillonnage qualitatif qui permet de décrire la nature des fonds (granulométrie) et de dresser l'inventaire des espèces qui composent les peuplements. Les surfaces couvertes par les engins traînants sont assez grandes (100-10000 m²) et permettent d'obtenir une bonne vision de la richesse spécifique. Par contre, la répartition des organismes sur le fond n'est pas connue et l'estimation de l'abondance relative des espèces est grossière.

Tab. 6. — Répartition de l'effort d'échantillonnage du benthos de profondeur dans la zone économique de Nouvelle-Calédonie entre 1984 et 1994. DW-DC : dragues Waren et drague Charcot ; DE-DS : drague épibenthique et drague Sanders ; CP : chalut à perche ; CC : chalut à crevettes ; CH : chalut à poissons ; CAS : pose de casiers ; N : nombre de jours de mer.

CAMPAGNES	DW-DC	DE-DS	CP	CC	CH	CAS	TOTAL	N
CHALCAL 1 (1984)	19	0	7	0	1	0	27	19
BIOCAL (1985)	28	4	36	0	0	0	68	19
MUSORSTOM 4 (1985)	74	1	57	14	0	2	148	18
MUSORSTOM 5 (1986)	89	0	39	8	1	0	137	19
CHALCAL 2 (1986)	16	0	10	5	7	0	38	7
BIOGEOCAL (1987)	11	0	24	0	0	0	35	27
MUSORSTOM 6 (1989)	79	0	17	1	0	2	99	15
SMIB 1 (1986)	14	0	1	0	0	0	15	3
SMIB 2 (1986)	31	0	0	0	0	0	31	6
SMIB 3 (1986)	30	0	2	0	0	0	32	6
SMIB 4 (1989)	36	0	0	0	0	0	36	4
VOLSMAR (1989)	20	0	2	0	0	3	25	11
SMIB 5 (1989)	36	0	0	0	0	0	36	8
SMIB 6 (1990)	32	0	0	0	0	0	32	5
AZTEQUE (1990)	0	0	0	0	11	0	11	5
BERYX 2 (1991)	0	0	0	0	19	0	19	10
BERYX 11 (1992)	10	0	20	0	30	0	60	11
SMIB 8 (1993)	54	0	1	0	0	0	55	9
BATHUS 1 (1993)	36	7	31	0	0	1	75	10
BATHUS 2 (1993)	33	0	23	0	0	1	56	9
BATHUS 3 (1993)	46	1	25	3	3	0	78	10
BATHUS 4 (1994)	41	0	32	0	0	1	74	13
HALIPRO 1 (1994)	0	0	14	3	15	0	32	10
TOTAL (1984-1994)	735	13	341	34	87	10	1219	254

A ce type d'engins s'opposent les moyens de prélèvements quantitatifs (bennes, carottiers) qui prélèvent une très petite portion du fond (0,10-1 m²). Les engins quantitatifs travaillent sur une surface connue et permettent d'appréhender à la fois le nombre (biomasse) et la répartition des organismes mais donnent une mauvaise estimation de la richesse spécifique. La taille de l'échantillon unité doit être fonction de la taille et de la répartition des organismes étudiés, ainsi les engins quantitatifs donnent-ils une estimation satisfaisante de la méiofaune et de la petite macrofaune mais échantillonnent très mal les grands organismes qui ont une répartition non homogène. Le fait de multiplier le nombre de prélèvements (répliquats) améliore la précision

dans l'estimation des biomasses mais non celle de la richesse spécifique car la superficie totale de la somme des répliquats est encore très éloignée de ce qu'il faudrait pour échantillonner correctement la macrofaune et la mégafaune.

Dans l'étude du benthos bathyal, plus encore qu'en zone littorale, on réalise que l'image que l'on se fait des peuplements est fonction de l'engin de prélèvement utilisé.

En Nouvelle-Calédonie, les moyens d'investigations classiques d'étude du benthos de profondeur ont pu être complétés en 1989 par quelques observations *in-situ* réalisées à bord du submersible "Cyana".

4.4.1 - Les moyens d'investigation

Les bateaux : Les prélèvements de faune bathyale ont été réalisés à partir de plusieurs bâtiments.

Le N. O. "Vauban", chalutier classique sur le côté de 24 m a permis les premières explorations des zones bathyales dans le thalweg du sud de la Grande Terre en 1979, l'échantillonnage des pentes nord et sud-est dans le cadre des programmes LAGON, SMIB 1-3 et MUSORSTOM 4 de 1984 à 1989 (RICHER DE FORGES, 1987 ; 1990).

Le N. O. "Coriolis", chalutier pêche arrière de 35 m a été utilisé pour l'échantillonnage du benthos bathyal des îles Chesterfield et des guyots de la ride de Norfolk lors des campagnes CHALCAL 1, 2, MUSORSTOM 5, CORAIL 2 et BIOGEOCAL.

Le N. O. "Alis", chalutier de pêche par l'arrière de 28 m a poursuivi, à partir de 1988, l'échantillonnage commencé par le N. O. "Vauban", au cours des campagnes LAGON, SMIB 4-10, MUSORSTOM 6, VOLSMAR, AZTEQUE, BERYX 2 & 11, BATHUS 1-4, HALIPRO 1.

Le N. O. "Jean Charcot" a réalisé en Nouvelle-Calédonie la campagne BIOCAL sous la direction du Professeur C. LEVI en 1985 dans le bassin des Loyauté et sur la ride de Norfolk.

Les submersibles : En 1989, les deux submersibles français, "Nautilie" et "Cyana" ont séjourné dans le sud-ouest Pacifique et plus particulièrement dans les zones économiques de Nouvelle-Calédonie et de Vanuatu. Les plongées du "Nautilie", qui avaient pour objectif des études de géomorphologie dans la fosse de subduction des Nouvelles-Hébrides (campagne SUBSO 1), ont cependant rapporté d'intéressantes photographies d'organismes (Echinodermes, Pectinidae *Pseudohinites levii*). La campagne CALSUB avec le submersible "Cyana" mis en oeuvre à partir du N.O. "Suroît" avaient des objectifs à la fois géomorphologiques et biologiques (LAMBERT & ROUX, 1991). Cette campagne a permis d'observer *in-situ* les peuplements d'espèces récoltées depuis 5 ans avec les engins traînés (RICHER DE FORGES & GRANDPERRIN, 1989 ; GRANDPERRIN & RICHER DE FORGES, 1989). Ce submersible très maniable permet d'observer de près (<1 m) le fond, de photographier et de prélever les organismes. C'est donc un moyen idéal pour comprendre la répartition et la densité des peuplements et pour voir les organismes fixés sur des reliefs très accidentés où les autres techniques sont inopérantes. Le submersible est muni d'un bras articulé terminé par une pince qui permet la récolte de roches ou de macrobenthos (> 2 cm) et le déroulement de chaque plongée est enregistré sur film vidéo. Dans une campagne d'exploration du type CALSUB, le submersible, d'une utilisation difficile et très onéreuse, ne doit pas être considéré comme un engin de prélèvement mais comme un moyen supplémentaire de compréhension des faunes profondes.

Les sondeurs : Pendant longtemps, l'idée admise était que les zones coralliennes n'étaient pas travaillables avec des engins traînants, les fonds étant durs et les pentes trop raides. L'expérience de la plongée en scaphandre autonome dans la partie supérieure des pentes récifales externes, jusqu'à 100 m de profondeur, montrait des falaises abruptes et l'on imaginait qu'il en était de même jusqu'aux grandes profondeurs. En 1965 quelques profils bathymétriques réalisés avec un sondeur classique par le Capitaine TAISNE qui dirigeait l'Expédition Singer-Polignac (1960-1963) furent publiés. Ces coupes montraient clairement que les pentes ne sont pas aussi abruptes que ne le laisse supposer leur partie supérieure. Par la suite, le Service Hydrographique de la Marine installa en Nouvelle-Calédonie la Mission Océanographique du Pacifique qui réalisa des cartes bathymétriques des lagons et de certaines parties des pentes externes. Cependant, de nombreuses zones demeuraient non hydrographiées et ce n'est qu'avec la venue du "Jean Charcot" en 1985 que les premières cartes des pentes externes dans les profondeurs bathyales réalisées avec le sondeur multifaisceaux SEABEAM apparurent. Ce type d'échosondeur fournit en temps réel une carte bathymétrique en courbe de niveaux équidistantes de 50 m qui sont idéales pour la réalisation des dragages et chalutages.

Depuis 1992, la venue du N. O. "L'Atalante" dans les eaux de Nouvelle-Calédonie, dans le cadre du programme ZoNéCo a permis la réalisation de cartes bathymétriques et morphologiques avec le système EM 12. Ce procédé a produit des cartes très précises des profondeurs bathyales et abyssales dans la zone sud de la

Nouvelle-Calédonie (ride de Norfolk et terminaison sud de la ride des Loyauté) mettant en évidence de nouveaux monts sous-marins et dans la région des îles Loyauté et du Grand Passage du Nord. Les caractéristiques d'utilisation de l'EM12 et le fait qu'il soit mis en oeuvre à partir d'une grosse unité font que les cartes réalisées débutent au-delà de 500 m de profondeur. La zone bathyale supérieure n'est donc toujours pas cartographiée (Fig. 53).

La plupart des prélèvements par dragages, chalutages ou casiers ont été réalisés avant l'existence de ces nouvelles cartes, sur des fonds parfois totalement non hydrographiés.

Les dragues : Au cours de ces dix années d'échantillonnage de la zone économique de Nouvelle-Calédonie, plusieurs modèles de dragues ont été utilisés. La drague de type Charcot (DC) qui est constitué d'un cadre métallique, tiré par des bras rigides, sur lequel est fixé le sac de drague en maille de filet. Malgré les nombreuses modifications apportées sur l'amarrage des sacs et la protection des mailles, ce modèle a dû être abandonné car trop fragile pour les fonds durs, fréquents dans la zone. En effet, dès les premières croches, le cadre se tord et devient rapidement difforme. De plus l'observation du travail de cet engin en plongée montre que la torsion des bras et la rapide ovalisation des trous de fixation provoque une inclinaison de la drague par rapport au substrat qui diminue son efficacité.

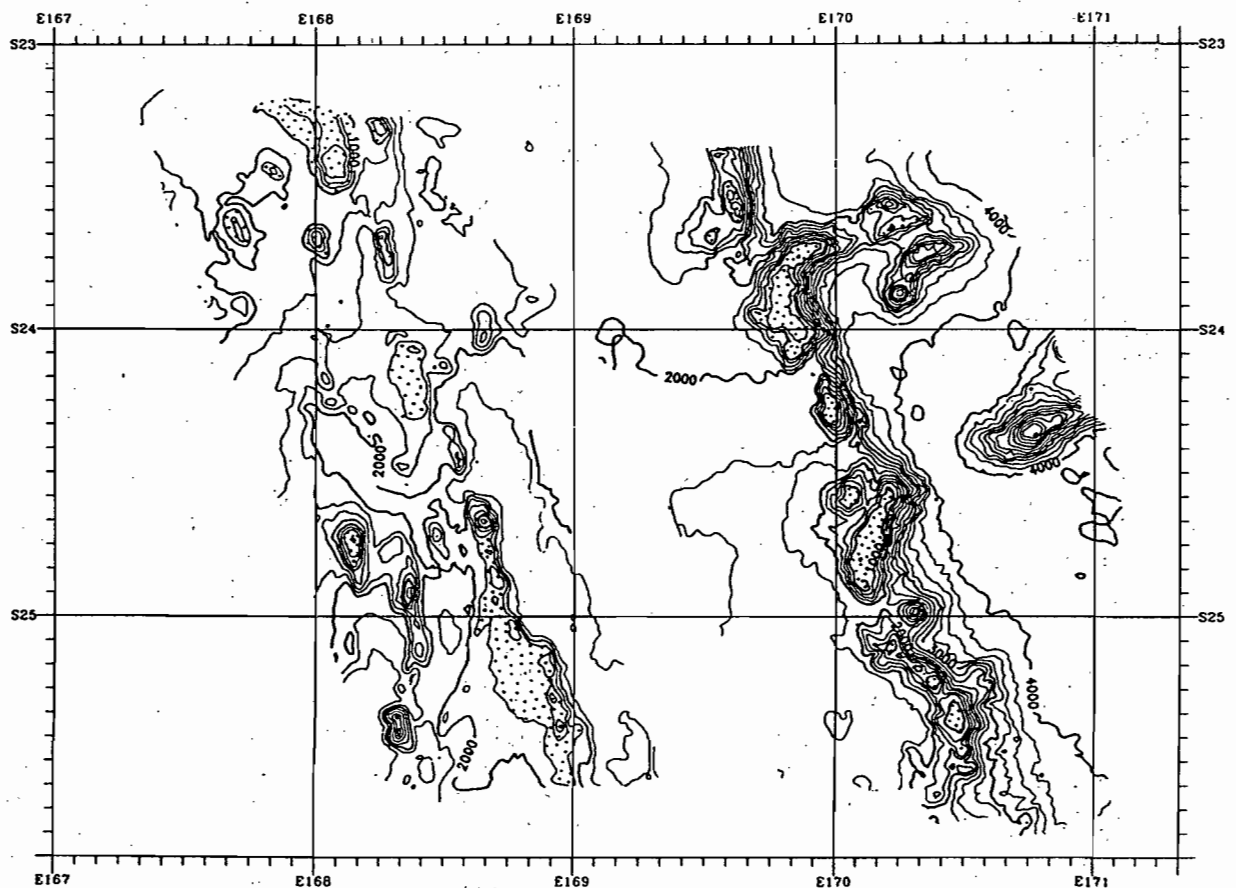


Fig. 53. — Cartographie bathymétrique de la partie nord de la ride de Norfolk (à gauche) et de la terminaison sud de la Ride des Loyauté. D'après des données EM 12 obtenues pendant la campagne ZoNéCo 1 du N. O. "L'Atalante" (d'après LAFOY *et al.*, 1995b).

Les dragues épibenthiques (DE) sont destinées à glisser à la surface du sédiment en écrémant les quelques centimètres supérieurs. Elles ne fonctionnent bien que sur des fonds très homogènes, sans irrégularités topographiques ou granulométriques et très meubles. La surface de leur larges patins est calculée en fonction du poids de l'engin afin de ne pas s'enfoncer dans la vase très meuble. En conséquence les matériaux utilisés pour les construire sont légers (tôles galvanisées, aluminium) et elles sont très fragiles. En profondeur, ce type de drague permet un bon échantillonnage de la petite macrofaune (< 5 mm) et de la microfaune (0,2-2 mm). Le filet à mailles fines (0,05 mm) nécessaire à ces récoltes est généralement protégé à l'intérieur d'une armature métallique. Ce type de dragues vulgarisé par les travaux de SANDERS, est largement utilisé pour l'étude des faunes abyssales (HESSLER & SANDERS, 1967).

La drague Waren (DW), mise au point par A. WAREN sur les côtes suédoises, est particulièrement bien adaptée à l'exploration des zones peu ou pas hydrographiées et aux fonds durs en général. Il s'agit d'un bâti métallique plus large que pour les DC et d'une épaisseur (1 cm) qui lui confère une grande solidité. La traction s'effectue par une "patte d'oie" en chaîne ce qui donne plus de souplesse pour franchir les obstacles. L'amarrage des sacs de drague en filets sur le bâti est renforcé par des plaques métalliques boulonnées et les filets sont protégés par une forte cote de maille et/ou une "peau de vache". Après quelques légères modifications apportées sur les anneaux de fixation, cet engin robuste s'est avéré très efficace pour travailler sur les pentes récifales et sur les monts sous-marins. La contrepartie de sa solidité est un poids d'une centaine de kg qui la rend peu efficace sur fonds vaseux.

Les chaluts : Le chalut le plus couramment utilisé pour ces campagnes exploratoires est un chalut à perche de 4 m de largeur (CP) modifié par J. FOREST à partir d'un modèle traditionnel de la région de Honfleur employé dans la capture des poissons plats et des crevettes (FOREST, 1981). Cet engin léger peut être mis en œuvre à bord de petites unités et permet de travailler, sur une seule fune, jusqu'à de grandes profondeurs (4700 m lors de la campagne BIAÇORES). Une perche en bois de 4,2 m de longueur et d'un diamètre d'environ 0,15 m est portée par deux patins métalliques d'une hauteur de 0,5 m. La semelle de ces patins est relevée et élargie vers l'arrière afin de faciliter le glissement. La hauteur d'accrochage de la "patte d'oie" est réglable pour appuyer plus ou moins le chalut selon la dureté des fonds. Le bourrelet du chalut est alourdi de chaînes et une chaîne (racleur) peut être placée entre les patins pour traîner sur le fond devant la gueule du chalut et en augmenter l'efficacité. Le filet est formé de mailles carrées de 10 mm de côté qui retiennent bien les petites espèces benthiques et necto-benthiques. La face ventrale du cul est généralement protégée par une "peau de vache". La remarquable maniabilité et la robustesse due à l'élasticité de la perche ont permis d'employer avec succès ce chalut sur des pentes abruptes et sur le sommet des monts sous-marins réputés non chalutables.

Le chalut à crevette américain (CC) est un chalut à panneaux de 14 m de corde de dos. Les panneaux sont reliés par une "patte d'oie" à une unique fune ce qui permet, comme pour le CP, de travailler à grande profondeur. La vitesse d'utilisation est plus grande que pour le CP (2,5 à 3,5 noeuds) et la taille de l'ouverture est supérieure, ce qui fait que des organismes de plus grande taille sont capturés (poissons, crevettes). Pour améliorer la capture des espèces de petites tailles, il est possible de doubler le cul par de la petite maille carrée de 10 mm de côté. La mise en œuvre de cet engin nécessite un fond relativement plat sur une distance suffisante (>2 milles) ; il n'est utilisé que sur des fonds déjà reconnus avec des prélèvements par dragages et chalutages à perche.

Le chalut à poissons (CH) utilisé est un modèle classique travaillant sur deux funes avec une corde de dos de 24 m et des panneaux métalliques de 500 kg. Le bourrelet est alourdi de chaînes et de "diabolos" en caoutchouc pour faciliter le glissement sur le substrat. Ces caractéristiques et les tourets de treuil disponibles à bord du N.O. "Alis" n'ont pas permis d'utiliser cet engin à plus de 800 m de profondeur. Son ouverture verticale de plusieurs mètres et sa vitesse d'utilisation plus élevée (2,5-4 noeuds) en font un moyen efficace pour échantillonner les espèces vagiles de grandes tailles (raies, requins, *Beryx*, vivaneaux ...). Dans la zone, ce chalut a été utilisé avec succès sur le sommet plat des guyots (bancs Éponge, *Stylaster*, Capel, ...), sur les pentes externes de la Grande Terre (campagne HALIPRO 1).

Les casiers : Plusieurs modèles de casiers ont été utilisés dans la zone bathyale, généralement en filières de 4 à 10. Il s'agit des casiers tronconiques décrits par INTES (1978) ou de modèles parallélépipédiques. Ils sont constitués d'une armature métallique portant un grillage de maille de 20 mm sur lequel on rajoute un filet de maille de 10 mm ou une toile de jute pour conserver les petites espèces de crustacés. Les appâts utilisés sont soit du calmar, soit de la chair de requin. Les profondeurs échantillonnées ne dépendent que de la longueur d'orin disponible ; les pentes externes ont été explorées par ce moyen entre 250 et 1100 m de profondeur. Il s'agit d'un mode d'échantillonnage très sélectif puisqu'il n'attire que les espèces carnivores vagiles : Crustacés (amphipodes, isopodes et décapodes), Mollusques (gastéropodes et céphalopodes), Poissons. L'observation du pouvoir attractif des appâts et de la pénétration des espèces dans les casiers par des caméras vidéo immergées (RALSTON, 1982) ou en submersible (ROUX *et al.*, 1991a), montre qu'il y a généralement beaucoup d'organismes (crevettes, nautes) rassemblés à l'extérieur du casier et dont une faible fraction seulement sera capturée. Cette technique apporte de bons compléments d'information sur la répartition bathymétrique des organismes et permet la capture de grandes espèces à habitats cryptiques et surdispersés (langoustes). Plusieurs espèces bathyales ont été capturées seulement au casier et ne sont connues que de quelques spécimens (Palinuridae, Lithodidae). Bien que les casiers reposent sur le fond, de nombreuses espèces capturées sont necto-benthiques, c'est à dire non directement inféodées au substrat. Tel est en particulier le cas des crevettes carides d'intérêt commercial (*Heterocarpus*, *Plesionika*...) qui ont fait l'objet d'échantillonnages dans la plupart des archipels du Pacifique (KING, 1986 ; MOFFITT & POLOVINA, 1987). L'identification des espèces n'ayant pas toujours été confiée à des taxonomistes, l'analyse des résultats de ces pêches expérimentales est souvent sujette à caution.

4.4.2 - L'échantillonnage

Dans une campagne d'exploration, où les buts sont de découvrir la richesse spécifique et sa répartition géographique et bathymétrique, il n'est pas possible de définir à l'avance un plan d'échantillonnage. Celui-ci variera selon la nature et la topographie des fonds et la façon dont les engins de prélèvements s'y comportent. Dans la mesure du possible, une gamme bathymétrique la plus vaste possible a été explorée en insistant sur certaines zones particulièrement riches comme les sommets des guyots ou les canyons sous-marins. Il en résulte un effort d'échantillonnage beaucoup plus intense dans la tranche 200-600 m (Fig. 54). La partie supérieure des pentes externes, entre 100 et 200 m est difficile à échantillonner avec des engins traînants à cause d'une forte pente, de la dureté des fonds et de la proximité des récifs dangereux pour la navigation, ce qui explique qu'une centaine d'opérations seulement aient eu lieu dans ces profondeurs. Au-delà de 800 m, le nombre d'opérations réalisées est également faible à cause de la durée de tels prélèvements et de la longueur de câble nécessaire. Seules les campagnes réalisées à bord du N. O. "Jean-Charcot" ont pu travailler à plus de 2000 m.

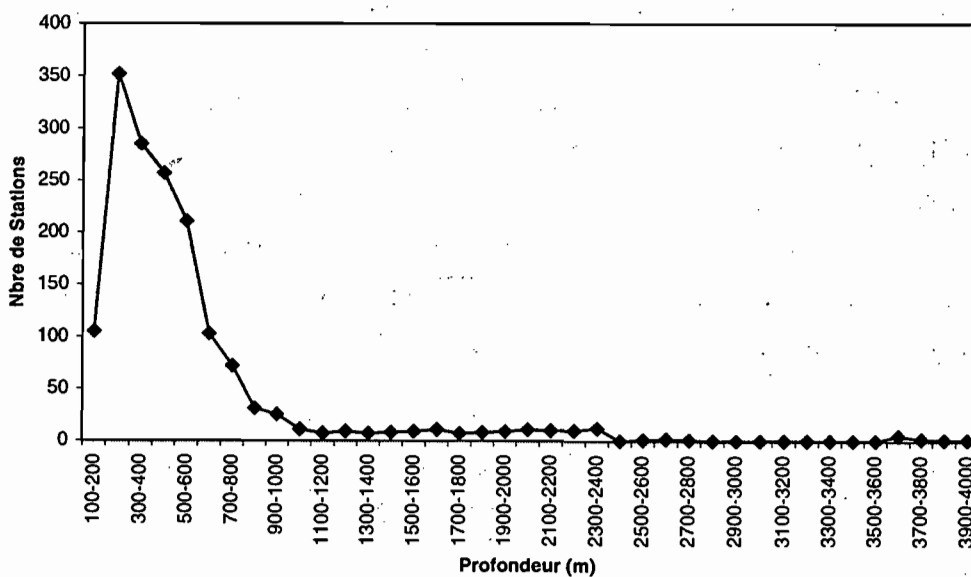


Fig. 54. — Répartition bathymétrique de l'effort d'échantillonnage dans la zone économique de Nouvelle-Calédonie.

4.4.3 - Tri et conservation

Au cours de ces campagnes, les prélèvements ont été intégralement triés dans l'eau par tamisages successifs sur mailles rondes de 20 mm à 1 mm. La macrofaune benthique retenue sur les tamis de mailles supérieures à 3 mm a fait l'objet d'un tri minutieux à bord alors que les refus des mailles inférieures furent triés ultérieurement au laboratoire. Parmi la grosse macrofaune (> 5 mm) triée par groupe zoologique, des spécimens des espèces colorées furent photographiés et fixés séparément.

Conservation en azote liquide : Au cours des campagnes MUSORSTOM et BATHUS, certains organismes ont été conservés en azote liquide. Il s'agissait soit d'espèces appartenant à des groupes rares ou peu connus (nautes, Polychelidae, Brachiopodes...) qui feront l'objet d'un séquençage d'ARN pour être intégrés dans des études phylogénétiques, soit de séries d'une centaine d'échantillons d'une même espèce (*Beryx splendens*, *Anguloscalpelum pedunculatum*, *Heterocarpus* spp.) conservés en vue d'une étude de génétique des populations.

Les Brachiopodes récoltés au cours des campagnes BATHUS ont été confiés à l'Institut de Génétique de l'Université de Glasgow (Dr. B. L. COHEN) pour identification, étude génétique basée sur l'ADN et comparaisons phylogénétiques. Les Brachiopodes récoltés sont des Térébratulides (*Stenosarina*), des Dallinidés (*Japanithyris*) et des Rhynchonellidés (FOSTER, 1989). Les premiers résultats sur la phylogénie issus de l'étude de ce matériel sont parus dans COHEN et GAWTHROP (1996) et COHEN (1997).

Fixation des gonades de Crustacés au glutaraldéhyde : Depuis octobre 1992, j'ai effectué systématiquement des dissections de gonades de toutes les familles de Crustacés décapodes pour lesquelles les spermatozoïdes étaient inconnus. Ces préparations, fixées au glutaraldéhyde, ont été étudiées par microscopie électronique au laboratoire de Zoologie de l'Université du Queensland à Brisbane. Plusieurs espèces de chacune des familles suivantes ont fait l'objet de préparation à bord du N. O. "Alis" : brachyours (Homolidae, Homolodromiidae, Dromiidae, Dynomeniidae, Latreilliidae, Cyclodorippidae, Dorippidae, Calappidae, Atelecyclidae, Raninidae, Palicidae, Retroplumidae, Leucosiidae, Geryonidae, Goneplacidae, Cancridae, Grapsidae, Xanthidae, Portunidae, Majidae, Hymenosomatidae) ; anomours (Paguridae, Pylochelidae, Parapaguridae, Chirostylidae, Galatheidae, Lithodidae, Hippidae, Porcellanidae) ; macroures (Palinuridae, Polychelidae, Nephropidae). Une grande partie de ces résultats a été publiée (JAMIESON *et al.*, 1995).

4.5 - L'étude et la valorisation des résultats

4.5.1 - Études systématiques

Le matériel zoologique fut acheminé jusqu'au Muséum national d'Histoire naturelle (MNHN) de Paris pour y être enregistré dans les collections nationales. Au MNHN les récoltes furent réparties entre trois laboratoires : Ichtyologie générale et appliquée, Biologie des Invertébrés marins et Malacologie et Zoologie (Arthropodes). Triés par campagnes et par familles, ces collections furent ensuite confiées à des systématiciens, spécialistes d'une ou plusieurs familles.

Insistons sur le fait que dans les travaux taxonomiques qui ont résulté de l'étude du matériel de Nouvelle-Calédonie, les spécialistes ont souvent disposé des photographies en couleur

associées aux spécimens. L'étude de l'ensemble de ces énormes collections durera encore de longues années dans les groupes pour lesquels il existe des spécialistes. Une soixantaine de chercheurs travaillent ou ont travaillé au dépouillement des résultats. Ils appartiennent à 7 établissements français et à 38 étrangers, ces derniers relevant de 19 pays différents.

Les spécimens types des nombreuses espèces nouvelles décrites de la faune bathyale de Nouvelle-Calédonie sont déposés de la façon suivante :

- l'Holotype est déposé au MNHN ; les Paratypes sont déposés en partie au MNHN et lorsqu'ils sont suffisamment nombreux dans les grands muséums d'histoire naturelle étrangers (Washington, Leiden, London, Frankfurt, Tokyo...). Un effort particulier a été fait pour que des paratypes soient déposés dans les muséums du Pacifique, Sydney, Brisbane, Wellington, Singapour, Honolulu.

Cette politique de dépôts de matériel dans les institutions étrangères permet d'établir un réseau de collaborations indispensable aux études de systématique et de biogéographie, d'enrichir les collections nationales par des échanges de collections et d'assurer la pérennité des collections en diversifiant leur localisation.

4.5.2 - Publications des résultats

D'ores et déjà 218 publications de systématique sont parues, rénovant totalement la connaissance de nombreux groupes (RICHER DE FORGES, 1993c). Une grande partie de ces travaux sur la faune de profondeur de l'Indo-Pacifique fait l'objet d'une série intitulé "Résultats des campagnes MUSORSTOM" publiée dans les Mémoires du MNHN et dont l'éditeur scientifique est A. CROSNIER. En juillet 1997, 17 volumes sont déjà parus et deux autres sont sous-presse, ce qui représente plus de 8000 pages publiées. Pour la Nouvelle-Calédonie, l'ensemble du matériel étudié concerne 1727 espèces, parmi lesquelles 984 furent décrites comme nouvelles pour la science.

4.5.3 - Base de données de la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie

Une base de données sous EXCEL concernant la faune de profondeur de Nouvelle-Calédonie (100-3700 m) a été constituée à Nouméa. Le but de la création d'une base de données informatisée sur la faune de profondeur de la zone économique de Nouvelle-Calédonie est de regrouper les informations sur les espèces récoltées pour permettre une description des peuplements et des comparaisons biogéographiques. La principale caractéristique de cette base de données est sa fiabilité puisqu'il a été adopté comme principe que seuls les organismes identifiées par des systématiciens y figureraient. Elle renferme actuellement plus de 10000 couples espèces/stations et concerne plus de 1300 espèces d'invertébrés et 345 espèces de poissons. Les données en question ne concernent que des espèces identifiées par des

taxonomistes avec une nomenclature à jour. C'est à partir de cette liste que les fréquences d'espèces nouvelles ont été calculées.

Les espèces identifiées seulement au niveau générique ne sont pas inscrites dans la base de données. A partir de cette base de données, il est possible d'obtenir des cartes de répartition et des zonations bathymétriques pour chaque espèce et d'établir des corrélations entre la richesse spécifique d'une région en invertébrés benthiques et l'abondance des ressources ichtyologiques.

Les champs de saisie concernent : le nom de la famille, les noms de genre et d'espèce, l'auteur de l'espèce et l'année de description, le nom de la campagne, le numéro de la station, le code de l'engin de prélèvement, les profondeurs minimale et maximale de la station en mètres, la latitude et la longitude en degrés, minutes et centièmes de minutes, la référence bibliographique où cette espèce est signalée. (Exemple d'une ligne de la base de données : Calappidae, *Mursia australensis* Campbell, 1971, MUSORSTOM 5, DW 265, 190-260 m, 25°20,20' S - 159°45,70'E, GALIL, 1993). Tous les champs sont des mots clefs, ce qui signifie que l'on peut extraire l'information en effectuant des tris et des sélections aussi bien sur les caractéristiques taxonomiques que sur les paramètres associés aux prélèvements (lieu, profondeur). Cette base pourrait être enrichie en y adjoignant d'une part les caractéristiques géomorphologiques et la nature sédimentaire des fonds, d'autre part des informations supplémentaires sur les espèces, synonymies, abondance relative, existence d'une photographie en couleur, paramètres biologiques (gamme de taille, présence de pontes...).

Pour des raisons pratiques, le fichier général est subdivisé en 4 sous-fichiers concernant Crustacés, Mollusques, Poissons et Divers (tous les autres groupes zoologiques).

L'analyse taxonomique du contenu de cette base donne un aperçu sur le degré de nouveauté, sur la diversité et l'abondance des taxons présents dans cette zone bathyale. Cependant, ces données ne reflètent que l'état des connaissances actuelles alors que l'étude de l'ensemble des collections n'est pas terminée. L'étude des familles a été fonction de la disponibilité des systématiciens et de vastes groupes n'ont pas encore trouvé preneurs, Antipathaires, Crustacés (Majidae, Leucosiidae, Polychelidae...), Mollusques (nombreuses familles). Dans le groupe des Protozoaires, seuls un Xénophyophore et les Foraminifères des campagnes CALSUB, BIOGEOCAL et BIOCAL ont été étudiés, ce qui explique sans doute le très faible pourcentage d'espèces nouvelles (VINCENT *et al.*, 1991). Pour les Poissons, bien que les récoltes contiennent de nombreuses espèces (>345) parmi lesquelles plusieurs nouvelles, une partie seulement des familles a été étudiée (SERET, 1997).

4.6 - Résultats

4.6.1 - Description des espèces

Les Spongiaires :

On rencontre des espèces de Spongiaires sur tous les types de fonds, rocheux, éboulis, sable, vases et à toutes les profondeurs bien que la zone bathyale supérieure (200-700 m)

semble plus riche en espèces (LEVI, 1993). Les espèces de profondeur ont parfois des pièces squelettiques siliceuses (spicules) de très grande taille dont les propriétés physiques remarquables (élasticité, résistance à la flexion, transparence...) ont été testées par les industriels du verre (LEVI *et al.*, 1989).

13 articles consacrés au groupe des Spongiaires bathyaux de Nouvelle-Calédonie ont été publiés à la suite des échantillonnages de la zone (cf. liste bibliographique de la zone bathyale : RICHER DE FORGES, 1993). Les classes représentées en profondeur sont celles des Demosponges et des Hexactinellides ; 54 familles y sont signalées qui renferment 106 genres et 151 espèces. Une famille nouvelle, les Cornulidae a du être créée, 4 genres étaient nouveaux (*Anaderma*, *Jereicopsis*, *Heterocornulum*, *Tylaspis*), 115 espèces étaient nouvelles.

Cette faune était quasiment inconnue dans la région avant 1977 et ses caractéristiques les plus remarquables ont été résumées par LEVI, (1991, 1993) :

- la diversité spécifique est grande et l'on observe un changement de faune vers 700 m ; la faune supérieure est constituée principalement de Lithistides et de Tetractinellides ;

- le taux de nouveauté est très élevé (76,2 %) ; plusieurs genres n'avaient jamais été signalés dans l'Océan Pacifique (*Halicometes*, *Podospongia*, *Plocamione*, *Tyloxocladus*).

- les affinités avec la faune du Mésozoïque sont très fortes, en particulier pour la faune de la ride de Norfolk ; la diversité des Lithistides n'est comparable qu'avec celle des fossiles du Crétacé d'Europe ;

- cette faune semble dériver de celle de la Mésogée téthysienne (LEVI, 1991).

Les Hydraires :

Pour l'instant, seule la famille des Sertulariidae a été étudiée (VERVOORT, 1993). 58 espèces dont 40 nouvelles (69 %) appartenant à 8 genres dont un nouveau (*Gonaxia*) sont signalées des eaux néocalédoniennes.

Cette première étude étend considérablement la répartition géographique connue de beaucoup d'espèces et semble montrer un haut degré d'endémisme.

Les Octocoralliaires :

Les collections de Nouvelle-Calédonie sont si riches en espèces que le spécialiste de la Smithsonian Institution de Washington (F. M. BAYER) a pu écrire : "...les chalutages effectués pendant les expéditions BIOCAL, CHALCAL et MUSORSTOM ont permis de rassembler la collection de Gorgonacea la plus extraordinaire du siècle". Quatre articles ont été consacrés à la description des Octocoralliaires de profondeur de Nouvelle-Calédonie.

Une petite partie de ce matériel a été étudiée avec notamment les familles des Isididae et des Primnoidae : genres sont présents dont trois nouveaux (*Perissogorgia*, *Microprimnoa*, *Orstomisis*) et 11 espèces, toutes nouvelles, sont signalées (BAYER & STEFANI, 1987, 1988a,b ; BAYER, 1990).

Les Alcyonaires de profondeur, fréquents dans la tranche bathymétrique 100-350 m et les Pennatulaires n'ont pas encore été étudiés faute de taxonomistes pour ces groupes.

Des Octocoralliaires du groupe des Protoalcyonaria (genre *Bathyalcyon*) présentant d'énormes polypes solitaires de tailles décimétriques ont été récoltés à plusieurs reprises.

Les Brachiopodes :

Un nouveau genre et une nouvelle espèce (*Neoancistrocrania norfolki*) de la famille des Craniidae qui présente un squelette de soutien du lophophore de type "crura" est décrit. Ceci n'était jusqu'à présent connu que chez le genre du Crétacé *Ancistrocrania* et permet donc de comprendre l'anatomie de ce groupe fossile (LAURIN, 1992). LAURIN (1997) signale de la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie 14 familles de Brachiopodes comprenant 19 genres, 26 espèces dont 4 décrites comme nouvelles.

Les Bryozoaires :

L'étude des collections de Bryozoaires récoltés en Nouvelle-Calédonie a donné lieu à la parution de plusieurs articles : D'HONDT (1986) donne un rapide inventaire des espèces littorales et profondes de Nouvelle-Calédonie et de Chesterfield ; GORDON et D'HONDT (1991) décrivent les espèces de la famille des Petalostegidae du Miocène à l'actuel à partir de récoltes du sud de la Nouvelle-Calédonie et des côtes de Nouvelle-Zélande, mettant ainsi en évidence les parentés faunistiques entre ces deux îles et l'intérêt biogéographique de la ride de Norfolk. Les auteurs montrent l'extraordinaire diversité spécifique des Petalostegidae sur une aire géographique aussi réduite (jusqu'à 5 espèces dans une même station) et décrivent trois espèces nouvelles actuelles du genre *Chelidozoum* jusqu'alors connu uniquement comme fossile du Miocène inférieur d'Australie (Langhian : 16.3-14.2 M.A.). La faune actuelle bathyale de Nouvelle-Calédonie serait très proche de la faune du Miocène de l'île Nord de la Nouvelle-Zélande. Cette hypothèse a également été avancée pour certaines familles de Mollusques (MARSHALL, 1991).

GORDON (1993) signale 39 espèces dont 22 nouvelles du sud de la Nouvelle-Calédonie et insiste sur la diversité des familles Petalostegidae et Bifaxariidae qui présentent proportionnellement plus d'espèces que partout ailleurs dans le monde. Ainsi 46 % des espèces de Bifaxariidae connues sont présentes en Nouvelle-Calédonie.

GORDON et BRAGA (1994), révisent la sous-famille des Ditaxiporinae et créent celle des Vasigniyellinae sur du matériel du nord de la ride de Norfolk. Un genre nouveau (*Bryosartor*), véritable "fossile vivant" est décrit dans la sous-famille des Ditaxiporinae, elle-même récemment redécouverte sur la ride de Norfolk et supposée éteinte à l'ère Tertiaire (Eocène). Le genre *Ditaxiopora* auquel est comparé le nouveau genre *Bryosartor* est caractéristique de la faune téthysienne et se retrouve dans les gisements fossiles de l'Éocène d'Europe qui correspondaient à l'extrémité de la Téthys.

Depuis le début des études sur les Bryozoaires de la faune bathyale de Nouvelle-Calédonie, 30 familles, 47 genres et 73 espèces ont été signalés parmi lesquelles ont été décrits comme nouvelles : 1 sous-famille, et 32 espèces. D'autres collections sont encore en étude et il ne fait nul doute que cet ensemble de résultats acquis sur les seuls Bryozoaires conditionnera les futures reconstitutions paléobiogéographiques du Sud-Ouest Pacifique et apportera des éléments sur l'origine téthysienne des faunes bathyales actuelles.

Les "vers" :

C'est l'un des groupes les moins bien étudiés. En 1988, un spécialiste des Polychètes du Muséum de Darwin a embarqué à bord du N.O. "*Coriolis*" pour la campagne CORAIL 2 aux îles Chesterfield. Une partie du matériel qu'il a lui même préparé a fait l'objet de publication (HANLEY & BURKE, 1991). Ce travail décrit 25 espèces de Polynoidae (pas toutes de profondeur), Polychètes à écailles, parmi lesquelles deux genres sont nouveaux et neuf espèces nouvelles.

Les autres familles étudiées en parties sont, les Eunicidae, Syllidae et Serpulidae (LECHAPT, 1992 ; HARTMANN-SCHRÖDER, 1992).

Les Sipunculien et Echiuriens caractéristiques des fonds vaseux ont été étudiés à partir des collections des campagnes MUSORSTOM 4, BIOCAL et BIOGEOCAL seulement. Sept espèces de Sipunculien sont signalées (EDMONDS, 1991).

Les Pycnogonides :

La faune actuellement décrite de la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie se compose de 7 familles, 20 genres et 47 espèces dont 33 nouvelles, soit 70,2 % (STOCK, 1991).

Les Crustacés :

Les classes les mieux représentées dans la faune bathyale sont : les ostracodes, les copépodes, les cirripèdes et les malacostracés. Les copépodes benthiques sont très mal connus et demanderaient des techniques d'échantillonnages particulières. Une seule espèce benthique (*Amphicrossus pacificus*) vivant en commensale dans une Ascidie (HUYS, 1991) est signalée. Plusieurs espèces parasites de Poissons ont été récoltées mais ne figurent pas parmi les espèces benthiques (BOXSHALL, 1989).

Les cirripèdes : actuellement, deux familles comprenant 13 espèces dont 8 nouvelles sont signalées de la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie (GRYGIER, 1991 ; BUCKERIDGE, 1994).

Les malacostracés sont le groupe le plus diversifié au sein duquel les ordres suivants ont été étudiés : amphipodes, isopodes, décapodes, stomatopodes. Sur la portion des collections de malacostracés actuellement étudiés, on a dénombré : 67 familles dont deux nouvelles (Alainosquillidae, Micheleidae), 182 genres et 402 espèces dont 208 nouvelles (51,7 %). 69 articles ont été publiés pour décrire cette faune de Nouvelle-Calédonie. La famille des

Galatheidae est particulièrement riche avec plus de 80 espèces décrites. Les espèces de ce groupe vivent principalement sur les fonds durs souvent associées aux organismes branchus tels que les Gorgones ou les Stylastérides (observations personnelles à bord de "Cyana").

Les Mollusques :

55 articles ont été consacrés à la description de la faune malacologique de profondeur de Nouvelle-Calédonie.

Les Polyplacophores (chitons) vivent fixés sur un substrat dur (roches, ponces, bois, coquilles...). Dans la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie de nombreuses espèces ont été récoltées et sont décrits actuellement d'après le matériel des campagnes BIOCAL, CHALCAL 2 et MUSORSTOM 4 : 5 familles, 8 genres et 11 espèces dont 8 nouvelles (KAAS, 1990, 1991). Un nouveau genre a été décrit pour une petite espèce vermiforme (*Vermichiton*).

Le groupe des Pélécy-podes est encore relativement peu étudié dans la zone bathyale. Les espèces vivent enfouis dans le sédiment ou fixés sur un substrat dur par un byssus (*Arca*). 9 familles contenant 20 genres et 36 espèces dont 19 nouvelles (52,8 %) sont actuellement signalées (BERGMANS, 1991 ; DIJKSTRA, 1989, 1995 ; POUTIERS, 1982 ; POUTIERS & BERNARD, 1995). La super-famille des Pectininoidea est caractéristique des zones bathyales, surtout avec le genre *Propeamussium* très fréquent sur substrat envasé.

Quelques espèces du groupe des Solenogastres ont été récoltés mais ne sont pas encore étudiées. Elles sont vermiformes et vivent le plus souvent enroulées sur les branches des Gorgones.

Le seul Céphalopode "benthique" actuellement signalé de la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie est le nautilus (*Nautilus macromphalus*) qui est une espèce endémique de la région (WARD, 1987, 1988 ; WÜRTZ, 1989). Cette espèce fréquemment pêchée au casier entre 250 et 550 m de profondeur sur les pentes de la Grande Terre a également été capturée au chalut sur les pentes du banc Lansdowne, des coquilles échouées sur les plages des îlots des Chesterfield laissant supposer que sa répartition s'étend plus à l'ouest dans la mer du Corail (RICHER DE FORGES *et al.*, 1988 ; RANCUREL, 1990a, b). Sa répartition est limitée vers le nord par la fosse de subduction des Nouvelles-Hébrides avec des profondeurs supérieures à 5000 m qu'il semble incapable de franchir. L'espèce présente dans l'archipel de Vanuatu, à moins de 200 km au nord, est *N. pompilius* qui a une distribution beaucoup plus large (RICHER DE FORGES *et al.*, 1996). Des octopodes présentant d'étonnants comportements de défense et de camouflage ont été observés et filmés lors des plongées avec "Cyana" mais n'ont pu être capturés (BOLETZKY, 1992 ; ROUX, 1991, 1994).

La classe des céphalopodes, encore peu étudiée, laisse sur les sédiments de la zone bathyale des becs cornés qui constituent la nourriture d'une famille de gastéropodes (Cocculinidae).

Les Scaphopodes : la plupart des espèces sont de taille centimétrique mais certaines d'entre elles dépassent le décimètre. Ce sont des mangeurs de microorganismes et particulièrement de

foraminifères. Les coquilles mortes de Scaphopodes sont parfois réutilisées par des Sipuncles ou des Crustacés anomoures (Pylochelidae). Dans la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie ont été récoltés, 8 familles de scaphopodes, 26 genres, 62 espèces dont 25 nouvelles, soit 40,3 % (SCARABINO, 1995).

Les Gastéropodes sont la classe la plus diversifiée. Ils occupent tous les milieux et ont des régimes trophiques très divers, parfois extrêmement spécialisés. Certaines familles sont parasites d'autres invertébrés : Eulimidae parasites d'Echinodermes, Ovulidae et Epitoniidae parasites d'anthozoaires....

Dans la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie 29 familles sont étudiées. Elles renferment 77 genres et 269 espèces dont 157 nouvelles pour la science (58,4 %).

La famille carnivore des Conidae est bien représentée dans le bathyal supérieur de Nouvelle-Calédonie où de nombreuses espèces de grande taille ont été récoltées sur les fonds durs (MOOLENBEEK, RÖCKEL & RICHARD, 1995). La diversité spécifique des Muricidae est étonnante avec 51 espèces, ce qui n'a pas d'équivalent dans d'autres régions du monde (HOUART, 1995). La famille archaïque des Pleurotomariidae est représentée par 3-4 espèces généralement inféodées aux fonds à Spongiaires (BOUCHET & METIVIER, 1982). La famille des Volutidae qui ne possède pas de stades larvaires planctoniques est représentée par 6 espèces. Les micromollusques de la famille des Seguenziidae sont très nombreux avec 55 espèces signalées dont 50 nouvelles (91 %), ce qui représente plus de la moitié des espèces déjà connues dans le monde (MARSHALL, 1991). Ceci est d'autant plus remarquable si l'on considère que la collection étudiée provient presque exclusivement des prélèvements à la drague épibenthique de la campagne BIOCAL. Une nouvelle sous-famille (Asthelysinae) et deux nouveaux genres ont été créés (*Eratasthelys*, *Halystina*).

Les Echinodermes :

Dans la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie, de nombreuses espèces appartenant à toutes les classes ont été récoltées mais, jusqu'à présent, seuls les Crinoïdes pédonculés et quelques Ophiurides ont été étudiés. La faune décrite se répartit en 10 familles, 25 genres dont 2 nouveaux (*Guillecrinus*, *Caledocrinus*) et 27 espèces parmi lesquelles 15 nouvelles (55,5 %). Cette faune, est caractérisée par la diversité des Crinoïdes pédonculés et la forte proportion d'espèces archaïques ou "fossiles vivants". Ces taxons seraient "issus des faunes jurassiques et crétacées de la Téthys mésogéenne" (AMEZIANE-COMINARDI *et al.*, 1987, 1990 ; BOURSEAU *et al.*, 1991).

Les plongées en submersibles sur les pentes de l'île des Pins ont montré des peuplements très denses d'Ophiurides et d'Astérides de la famille des Brisingidae, regroupés en bordure d'un escarpement de faille par 580-600m de profondeur (ROUX *et al.*, 1991b ; ROUX, 1994).

Les espèces d'Ophiurides étudiées, qui représentent à peine 20 % de celles présentes dans les collections, ont de vastes répartitions géographiques. Les auteurs soulignent l'abondance des

espèces paedomorphes, c'est à dire ayant des caractères juvéniles, dans la faune bathyale (VADON, 1991).

La description d'une faune de Crinoïdes riche et en partie nouvelle modifie totalement la connaissance des faunes du Sud-Ouest Pacifique (BOURSEAU *et al.*, 1991). Quatorze genres sont représentés (*Metacrinus*, *Saracrinus*, *Diplocrinus*, *Proisocrinus*, *Caledonicrinus*, *Porphyrocrinus*, *Naumachocrinus*, *Bathycrinus*, *Gymnocrinus*, *Holopus*, *Proeudesicrinus*, *Thalassocrinus*, *Hyocrinus*, *Guillecrinus*) et trois espèces étaient nouvelles. La plupart de ces genres sont de vrais "fossiles vivants" ayant survécu à la grande crise de la fin du Crétacé qui a décimé les faunes marines (LAWTON & MAY, 1995). La description de cette nouvelle faune de Crinoïdes sur un abondant matériel en bon état devrait aider à revoir la systématique de ce groupe actuellement fondée essentiellement sur des données fossiles, souvent insuffisantes.

Les Ptérobanches :

La classe des Ptérobanches appartient au phylum des Hémichordés et contient très peu d'espèces actuelles (15). Les zoologistes et les paléontologistes font maintenant l'hypothèse de relier ce petit groupe actuel au vaste groupe fossile des Graptolites (DILLY, 1993, 1994 ; URBANEK, 1994 ; RIGBY, 1993). La seule espèce trouvée lors de la campagne CALSUB (plongée n°9 au large de Lifou par 253 m), est classée dans le genre *Cephalodiscus* et baptisé *C. graptolitoides*. DILLY (1993).

Les Ascidies :

Dans la faune bathyale de Nouvelle-Calédonie 11 familles ont été signalées dans six articles ; elles regroupent 36 genres et 62 espèces parmi lesquelles 44 étaient nouvelles (71 %). Les auteurs décrivent plusieurs grands types d'adaptation trophique des différentes espèces : celles qui se laissent traverser passivement par le courant et présentent une disparition de la ciliature (30 % des espèces), les carnivores et celle qui présentent des régimes mixtes macro-microphages. Une nouvelle lignée évolutive est décrite avec les Ascidiidae dont un énorme spécimen (>30 cm de long et 10 cm de diamètre) fut récolté par 1865 m de profondeur par le submersible "Cyana" lors de la campagne CALSUB. Décrite dans le nouveau genre *Fimbrora* sous le nom de *F. calsubia*, elle présente des adaptations à un régime microphage et macrophage jusqu'alors inconnu chez les Ascidies (MONNIOT & MONNIOT, 1991b).

Les espèces de la famille des Polyclinidae (*Pharyngodictyon*) montrent des affinités avec la faune de Nouvelle-Zélande et des îles subantarctiques. Seulement 8 espèces de la zone littorale se retrouve également en dessous de 100 m de profondeur. La grande diversité spécifique des Ascidies de profondeur est qualifiée de "surprenante" en comparaison de celles des autres zones bathyales connues (Indonésie, Philippines, Nouvelle-Zélande). Il a été trouvé jusqu'à 7 espèces dans une même station.

Les Poissons :

Paradoxalement cette classe du phylum des Vertébrés, abondamment récoltée par différentes techniques, a été encore peu étudiée dans la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie (SERET *et al.*, 1997). La liste actuelle contient des espèces récoltées principalement au chalut ou sur des lignes de fond. Les résultats publiés par des taxonomistes portent sur les captures anciennes à la palangre de fond ou au chalut et signalées par FOURMANOIR et RIVATON (1979), RIVATON (1989). Plus récemment, depuis 1984, les captures de nos campagnes ont été en partie étudiées et les résultats édités par SERET (1997) sont résumés dans le tableau 6. Sur 105 espèces étudiées, 23 étaient nouvelles, soit environ 22 %. Plusieurs familles très abondantes et caractéristiques du benthos bathyal sont en cours d'étude. Ainsi, les Macrouridae renfermeraient une cinquantaine d'espèces dont 17 nouvelles (IWAMOTO & MERRETT, *com. pers.*).

Tableau 6. — Résultats des études taxonomiques des quelques familles de poissons de profondeur de Nouvelle-Calédonie étudiées en septembre 1997, (d'après CROSNIER (ed.), 1993 ; SERET (ed.), 1997).

FAMILLES	Nombre d'espèces	Nouvelles	% de nouvelles	Auteurs
Bothidae	19	7	36,8	AMAOKA <i>et al.</i> , 1993, 1997
Callionymidae	7	2	28,6	FRICKE, 1993
Moridae	11	1	9,1	PAULIN & ROBERTS, 1997
Euclichthyidae	1	0	0	ROBERTS & PAULIN, 1997
Carapidae	1	0	0	NIELSEN, 1997
Ophidiidae	20	5	25,0	NIELSEN, 1997
Aphyonidae	3	1	33,3	NIELSEN, 1997
Macrorhamphosidae	2	0	0	DUHAMEL, 1997
Triglidae	18	6	33,3	DEL CERRO & LLORIS, 1997
Gempylidae	3	1	33,3	ROBERTS & STEWART, 1997
Triacanthodidae	6	0	0	MATSUURA & TYLER, 1997
Monacanthidae	5	0	0	MATSUURA & TYLER, 1997
Aracaniidae	1	0	0	MATSUURA & TYLER, 1997
Ostraciidae	1	0	0	MATSUURA & TYLER, 1997
Triodontidae	1	0	0	MATSUURA & TYLER, 1997
Tetraodontidae	6	0	0	MATSUURA & TYLER, 1997
TOTAL	105	23	21,9	

Les groupes fréquents dans le bathyal et non encore étudiés

Stylastérides : Le sous-ordre des Stylasterina est particulièrement bien représenté dans la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie. La présence d'une grande diversité spécifique, évidente sur les dalles de grès du sud de la Grande Terre ou du Grand Passage, devient extrême sur la partie sommitale des guyots de la ride de Norfolk (RICHER DE FORGES *et al.*, 1987 ; RICHER DE FORGES & CHEVILLON, 1996). Ce groupe est vraiment dominant par endroits dans les peuplements comme sur le banc "Stylaster" où par 450 à 550 m de profondeur, les dragues remontent remplies à plus de 80 % par des stylastérides blancs, gris ou colorés en jaune vif, ou rose. La seule espèce actuellement décrite est *Cryphelia cryptotrema* Zibrowius, 1981.

Scléractiniaires : L'ordre des scléractiniaires présente dans les eaux profondes de nombreuses espèces soit libres soient fixées. On peut estimer à une centaine le nombre des espèces récoltées en Nouvelle-Calédonie mais pour l'instant moins d'une dizaine sont citées dans la littérature (ZIBROWIUS, *comm. pers.*). Ces espèces abritent de nombreux parasites qui forment des galles : crabes de la famille des Cryptochiridae (MANNING, 1991), Crustacés Tanaïdacs (SIEG & ZIBROWIUS, 1988), Crustacés Ascothoraciques (ZIBROWIUS & GRYGIER, 1985 ; GRYGIER, 1991).

Antipathaires :

Les espèces de ce groupe sont fixées ; elle sont soit branchues, soit formées d'une seule tige noire longue parfois de plusieurs mètres. Nos collections de Nouvelle-Calédonie contiennent de nombreuses espèces non étudiées faute de taxonomistes travaillant sur ce groupe dans le monde.

4.6.2 - Résultats concernant les substances naturelles provenant de la biodiversité bathyale

La pharmacopée utilisée en occident est encore basée, à plus de 80 %, sur des molécules extraites des plantes. Dès les années 1970, plusieurs nations se sont lancées dans la quête de molécules actives dans les organismes marins. Le monde tropical, et en particulier les écosystèmes coralliens, présentant une biodiversité spécifique plus grande furent l'objet de recherches intensives en Australie et en Nouvelle-Calédonie. Au Centre de Nouméa, l'ORSTOM développa le programme SNOM (Substances Naturelles d'Origine Marines) de 1975 à 1983 dans le but de détecter la présence de molécules actives utilisables par l'homme dans les organismes marins. L'exploration en plongée en scaphandre autonome permît d'examiner la composition biochimique de la macrofaune et de la macroflore dans la tranche bathymétrique 0-60 m. A partir de 1986, ce programme évolua, s'intitula SMIB (Substances Marines d'Intérêt Biologique) et commença à s'intéresser aux organismes marins de la zone bathyale. Une collaboration s'instaura entre les benthologues effectuant l'échantillonnage des pentes externes et des monts sous-marins et les chimistes. Les premières analyses portant sur les groupes des Spongiaires et des Ascidies furent très encourageants et bientôt le programme SMIB organisa ses propres campagnes océanographiques pour récolter en quantité suffisante (0,3-3 kg) les espèces potentiellement intéressantes (campagnes SMIB 1-10).

Les analyses chimiques donnèrent lieu à la publication de 34 articles portant essentiellement sur les Spongiaires et les Echinodermes (RICHER DE FORGES, 1993c).

Les espèces sur lesquelles ont porté ces études sont : Spongiaires (*Phloeodictyon* sp., *Erylus* sp., *Neosiphonia superstes*, *Jericopsis graphidiophora*, *Pleroma menoui*, *Microsleroderma* sp., *Gellius* sp., *Reidispongia coerulea*, *Corallistes undulatus*, *C. fulvodesmus*, *Stelletta* sp., *Zyza massalis*, *Agelas dendromorpha*) ; Echinodermes (*Tremaster novaecaledoniae*, *Styracaster caroli*, *Rosaster* sp., *Gymnocrinus richeri*).

Les molécules découvertes sont :

- des pigments tels que la Corallistine A extraite de l'éponge *Corallistes* sp. ou les Gymnochromes, nouvelle famille pigmentaire, découverts dans le crinoïde pédonculé *Gymnocrinus richeri* ; la première molécule thermochromique marine signalée dans le Spongiaire *Zyza massalis*. Les pigments Gymnochromes décrits dans les crinoïdes actuels sont du même groupe que ceux découverts dans l'espèce fossile (*Apiocrinus*) du Jurassique de Suisse (RICCARDIS *et al.*, 1991).

- des alcaloïdes (Phloeodictine A & B, Bromoindole) ;
- des stéroïdes.

Certaines de ces molécules présentent une activité sur les cellules cancéreuses ou sur les virus HIV, d'autres sont étudiées pour leurs propriétés antibiotiques et/ou anti-fouling ou insecticides.

Une évolution récente de ces programmes d'étude des substances naturelles les fait s'orienter vers la microbiologie. En effet, dans de nombreux cas, il a été montré que les substances actives étaient produites, non par les invertébrés eux mêmes, mais par leurs bactéries symbiotiques. L'espoir est donc d'isoler et de cultiver ces bactéries et de leur faire produire ces composés actifs dont les molécules sont trop complexes pour être synthétisées.

L'ensemble des molécules décrites élargit le panorama des substances naturelles connues et apportent de nouveaux éléments pour une chimiotaxonomie et l'évolution moléculaire du vivant (PIETRA, 1995).

4.6.3 - Résultats géomorphologiques

La morphologie et la nature des fonds sur les pentes de Nouvelle-Calédonie et des îles Loyauté ont été étudiées au cours des campagnes BIOCAL, BIOGEOCAL et CALSUB.

Les principaux résultats issus des observations faites avec le submersible "*Cyana*" sont regroupés dans le document de LAMBERT et ROUX (1991).

Les pentes de la Grande Terre sont inclinées de 3 à 11°. Dans la zone supérieure, la plus abrupte, l'influence récifale est sensible avec la présence de fonds durs jusque vers 300 m de profondeur. En dessous, la pente s'adoucit progressivement et devient plus envasée. Les pentes envasées des côtes est et sud-ouest sont décrites par COTILLON *et al.*, (1989a, b) : le talus est entaillé de canyons perpendiculaires à la côte et l'on observe l'existence de zones d'éboulements donnant naissance aux turbidites (GAILLARD *et al.*, 1989). Le taux de sédimentation serait de l'ordre de 6 cm / 1 000 ans. Un système de failles parallèles à la côte provoque une structure en gradins, visible par endroit dans la bathymétrie. La fraction bioclastique du sédiment provient de la faune benthique bathyale, de débris grossiers descendus de la zone récifale et d'organismes planctoniques (ptéropodes, foraminifères).

Les traces des organismes et les phénomènes de bioturbation ont été décrits d'après des observations *in-situ* (CALSUB) et l'analyse des carottes prélevées durant les campagnes BIOCAL et BIOGEOCAL (GAILLARD, 1988, 1991a, b). Les principales traces d'organismes (ichnofaciès) observées sont celles d'holothuries et d'enteropneustes qui se manifestent par des terriers, monticules, sillages et pelotes fécales.

D'après les observations réalisées en submersibles, une description préliminaire des communautés benthiques bathyales a été tentée (ROUX *et al.*, 1991a, b, ROUX, 1994). Ces plongées ont permis de comprendre les conditions environnementales et les associations animales des espèces qui avaient été récoltées au cours des précédentes campagnes (MUSORSTOM 4, BIOCAL, CHALCAL).

Il existe très peu d'observations comparables dans le Pacifique. Des observations en submersibles le long des pentes des îles Hawaii montrent une faune plus clairsemée et d'une plus faible diversité spécifique (CHAVE & JONES, 1991 ; CHAVE & MUNDY, 1994). La faune observée sur les monts sous-marins isolés au large des Hawaii est plus pauvre encore que celle des pentes des îles ; on observe sur ces reliefs des encroûtements de manganèse (GRIGG *et al.*, 1987). Ces auteurs signalent une "Faunal transition" vers 700 m de profondeur, avec une forte diminution de la densité des peuplements. En Nouvelle-Calédonie, au contraire, certains guyots situés sur la ride de Norfolk présentent sur leur sommet une densité de peuplement et une richesse spécifique supérieures à celle des pentes de la Grande Terre.

Les principaux substrats rencontrés dans la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie :

La nature des substrats est, bien entendu, très variable selon leur origine, la forme du fond et sa distance à une terre émergée ou un récif corallien. On peut cependant distinguer, parmi les observations faites par dragages, les faciès suivants :

- Les fonds de dalles gréseuses situés dans le thalweg du sud de la Grande Terre et dans le Grand Passage du Nord entre 300 et 600 m de profondeurs sont plats et peu rugueux. De nombreux dragages et chalutages ont pu y être réalisés et des plongées avec "Cyana" ont eu lieu (LAMBERT & ROUX, 1991). Vers 350 m, ces fonds sont monotones avec des Stylastérides épars, une forte densité de Brachiopodes et sporadiquement de grosses espèces de Spongiaires (cf. CALSUB, plongée n°21). Par endroit les dalles forment de petites marches de hauteur décimétrique avec des anfractuosités colonisées par des Echinodermes et des Crustacés (*Munida* spp., *Puerulus angulatus*, *Homola ranunculus*...) ; sur ces substrats durs on observe des Mollusques gastéropodes, Conidae (*C. smirna*), Cypraeidae (*C. teramachii*, *C. langfordi*). Ces zones sont balayées par des courants supérieurs à un noeud (observation personnelle) et l'on y rencontre des "dunes hydrauliques". Les fragments de ces dalles collectées par dragage montrent souvent des traces fossiles de Mollusques et de Scléactiniaires.

On observe par endroit des poches sédimentaires riches en Ptéropodes ou en plaques de Cirripèdes (cf. plongée n°14 de CALSUB).

- Les champignons rocheux signalés lors de la plongée n° 14 de la campagne CALSUB sur les pentes des îles Loyauté semblent être assez exceptionnels. Ils ont été interprétés comme le résultats d'un hydrothermalisme de basse énergie (VANNEY *et al.*, 1992).

- Des blocs calcaires, d'origine corallienne, fortement érodés avec fréquemment des organismes foreurs. On rencontre principalement ces blocs dans la partie supérieure de la pente entre 100 et 400 m, souvent associés à un sédiment de sable détritique grossier avec des bioclastes d'*Halimeda*. Les blocs présentent parfois des organismes fixés tels que les Brachiopodes, les Actiniaires, les Hydraires, les Anthipathaires ou des constructions de foraminifères concrétionnants.

- Encroûtements de manganèse : La précipitation des oxyhydroxides de Fe-Mn est un phénomène signalé dans tous les océans, en profondeur, sous forme soit de nodules soit d'encroûtements. Sur les monts sous-marins et les guyots, ces croûtes sont fréquentes à partir de 350 m, enrobant le relief du fond et les objets qui s'y trouvent (otolithes de Poissons, ossements de Cétacés...). L'épaisseur de ces encroûtement peut atteindre plusieurs décimètres et l'on y observe généralement des strates distinctes. La vitesse de dépôt a été estimée à 1-5 mm / an (VERLAAN, 1992). Les organismes benthiques sont peu nombreux à se fixer sur ce type de substrat (GRIGG *et al.*, 1987). Les groupes qui y sont récoltés en Nouvelle-Calédonie sont des Gorgonaires, Spongiaires, Crinoïdes avec leur faune vagile associée (Galatheidæ, Chirostylidæ).

- Les fonds meubles à "pierres ponces" sont extrêmement répandus à partir de 600 m de profondeur. Ces ponces sont parfois abondantes et représentent l'essentiel du contenu des dragues et chaluts. Elles jouent un rôle important pour la fixation des organismes, Crustacés cirripèdes (*Anguloscalpelum* sp., verrucomorphes), Brachiopodes, Mollusques pélecypodes (*Arca* sp.). A plus grande profondeur (> 800 m) ces fonds vaseux à ponces sont aussi parsemés de bioclastes, de spicules d'Éponges siliceuses et d'axes de Gorgonaires Isididæ utilisés également comme support par d'autres organismes, Zooanthaires, Actiniaires, Scléactiniaires fixés. Sur ces fonds, les tests siliceux de Mollusques Ptéropodes (*Cavolinia*, *Cuvierina*, *Clio* ...) planctoniques constituent des éléments durs du substrat très abondants.

Sur les monts sous-marins, les bioclastes caractéristiques sont des débris de Stylastérides, de Sphinctozoaires, de Scléactiniaires et de Mollusques (Conidæ, Muricidæ, Marginellidæ...).

Dents de requins fossiles : A plusieurs reprises, au cours de l'exploration des fonds autour de la Nouvelle-Calédonie, la présence de nombreux fossiles a été signalée et en particulier les énormes dents attribuées au requin *Procarcharodon megalodon*. Par endroits, dans le sud de l'île et au nord dans le Grand Passage, ces dents sont extrêmement abondantes (jusqu'à plusieurs centaines dans un seul dragage) sur des fonds de 450 m de profondeur environ (RICHER DE FORGES, 1986). Les échantillons récoltés au cours de la campagne

MUSORSTOM 4 ont été étudiés par SERET (1987) qui a fait les mises au point taxonomiques sur cette espèce fossile. Ces dents sont entièrement transformées en fluorapatite cimentée par de l'opale.

A plusieurs occasions, des habitants des îles de Maré et de Lifou, anciens atolls surélevés de l'archipel des Loyauté, ont trouvé dans leurs champs des spécimens de ces dents en parfait état et apparemment non minéralisées. Aucune datation de ces fossiles n'a encore pu être réalisée.

Au cours de BATHUS 4, plusieurs stations ont montré la présence de ces dents ; à la station DW 925, par 370-405 m de profondeur, une centaine de kg a été ramenée. Une telle abondance correspond sans doute à l'affleurement d'une couche fossilifère. Ces dents, très lourdes, ne peuvent être déplacées par les courants ; elles ne sont pas enfouies dans le sédiment comme en atteste la présence d'organismes fixés sur leur face supérieure (Serpulidae, bryozoaires, spongiaires). Sur ces fonds fossilifères on récolte également des dents pharyngiennes de poissons tétraodontiformes et des mâchoires de raies.

4.6.4 - Résultats écologiques

4.6.4.1 - Biodiversité de la zone bathyale

Les évaluations quantitatives faites par HESSLER et SANDERS (1967) à la drague épibenthique remirent en question la faible diversité spécifique des eaux profondes. Plus récemment, GRASSLE et MACIOLEK (1992), utilisant des mesures de diversité faites sur la côte est d'Amérique du Nord, ont donné des estimations du nombre d'espèces de profondeur dans les océans très élevées (près de 800 espèces pour 21 m²), ce qui, extrapolé à l'ensemble des océans donnent des chiffres de l'ordre de 10 millions d'espèces ! Ces évaluations ont été jugées exagérées par MAY (1992) qui, se basant sur le pourcentage d'espèces nouvelles découvertes, pense que le nombre d'espèces marines serait de l'ordre de 0,5 million seulement.

Dans le sud-ouest Pacifique, POORE et WILSON (1993) donnent des estimations assez élevées, 800 espèces pour 10 m² pour les petites profondeurs du Détroit de BASS. Récemment, POORE *et al.*, (1994) fournissent de nouvelles estimations de la biodiversité de la zone bathyale (200-3150 m) du sud-est de l'Australie basées sur une étude détaillée des crustacés isopodes. Ces auteurs pensent, contrairement à MAY, que les chiffres donnés par GRASSLE et MACIOLECK pourraient être inférieurs à la réalité. Le nombre d'espèces pour 100 individus varie selon les stations de 17 à 35 avec une moyenne de 25, alors que dans l'Atlantique la moyenne est de 19. Parmi les 6870 individus récoltés, ces auteurs ont trouvé 36 familles d'isopodes, 159 genres et 359 espèces dont 324 nouvelles (90,2 %).

Pour donner une idée de la diminution du nombre des espèces avec la profondeur, MARSHALL (1979) cite les chiffres suivants : pour environ 160 000 espèces d'animaux marins, seulement 5% vivent dans les eaux profondes. SNELGROVE et GRASSLE (1996)

expliquent que la diversité de la faune benthique avait été très sous-estimée et que des prélèvements à la benne entre 1500 et 2500 m de profondeur au large de la Floride ont permis la récolte de 1597 espèces sur moins de 50 m² (surface totale des 556 prélèvements). C'est donc à tort que les sources hydrothermales sont souvent qualifiées d'oasis de vie. Il s'agit bien de grandes accumulations d'êtres vivants représentant de très fortes biomasses, mais la diversité spécifique y est plus faible que dans les fonds bathyaux environnants supposés désertiques.

En Nouvelle-Calédonie, nous n'avons pas réalisé de travaux quantitatifs permettant d'afficher des chiffres comparables aux données de GRASSLE ou de POORE. Cependant, nos études qualitatives portant sur un grand nombre de prélèvements (> 1000 stations de dragages ou chalutages, couvrant une grande superficie chacune) semblent indiquer une richesse spécifique élevée :

- sur les 1318 espèces du macrobenthos actuellement étudiées et publiées, 62 % étaient nouvelles pour la Science (Tab. 6) ;

- dans la famille des Galatheidae, MACPHERSON (1994) signale 76 espèces du genre *Munida* en Nouvelle-Calédonie dont 56 sont nouvelles ;

- en limite supérieure du bathyal, 530 espèces de mollusques ont été récoltées sur une seule station dans la passe de TOUHO par 100 m de profondeur (St. DW 830 du programme "LAGON").

Il est toutefois difficile d'évaluer si la proportion du matériel benthique actuellement étudié est un bon échantillon de la réalité ou seulement un reflet de l'état des connaissances taxonomiques dans le monde ? En effet, seuls les groupes pour lesquels existent des spécialistes ont été étudiés et ces études ne concernent, le plus souvent, que la macrofaune. Les très abondants micromollusques, microcrustacés de la méiofaune et des groupes entiers (annélides polychètes, nématodes...) n'ont pratiquement pas été examinés.

Il semble également que l'ampleur de la répartition des bactéries dans les sédiments ait été sous-estimée et que certaines espèces barophiles puissent coloniser plusieurs centaines de mètres d'épaisseur de sédiments, augmentant ainsi les dimensions de la biosphère (PARKES *et al.*, 1994 ; KERR, 1997 ; PACE, 1997).

Il apparaît donc de façon de plus en plus évidente que l'échantillonnage des profondeurs est tout à fait insuffisant et que la science ne connaît pour l'instant que "the periphery of the biodiversity frontier in the oceans" (ANONYME, 1995a ; GRAY, 1997).

4.6.4.2 - Pourcentages d'espèces nouvelles

Parmi les invertébrés récoltés dans la zone bathyale et qui ont été actuellement étudiés, le pourcentage d'espèces nouvelles varie de 46,7 à 100 % selon les groupes avec une moyenne de 61,9 %. Cela représente 816 espèces nouvelles décrites sur les 1318 signalées. Plusieurs taxons

nouveaux au niveau des familles ont été créés à l'occasion de ces révisions : la super-famille des Retroplumoidea chez les crabes, les Alainosquillidae chez les stomatopodes, les Micheleidae chez les thalassinides, les Cornulidae chez les Spongiaires, la sous-famille des Vasignyellinae chez les Bryozoaires et les Haloceratidae chez les gastéropodes.

Tab. 7. - Analyse de la diversité spécifique des invertébrés par groupe zoologique d'après la macrofaune décrite de la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie (mise à jour de décembre 1996).

GROUPES	FAMILLES	GENRES	ESPECES	ESPECES NOUVELLES	%
SPONGIAIRES	54	106	151	115	76,2
OCTOCORALLIAIRES	3	6	11	11	100
HYDRAIRES	1	8	58	40	69
BRYOZOAIRES	30	47	73	35	47,9
VERS	6	12	15	7	46,7
MOLLUSQUES	54	141	429	269	62,7
PYCNOGONIDES	7	20	47	33	70,2
CRUSTACES	73	221	447	247	55,3
ECHINODERMES	9	21	25	15	60
ASCIDIÉS	11	36	62	44	71
TOTAL	248	618	1318	816	61,9

4.6.4.3 - Utilisation des substrats organiques dans la zone bathyale

Les substrats organiques dans la zone bathyale : Tous les auteurs s'accordent pour trouver que l'une des principales caractéristiques des zones bathyales et abyssales est la rareté de la nourriture disponible qui conditionne le mode de vie des organismes et la composition des peuplements (GAGE & TYLER, 1992). D'une manière générale, on pensait qu'avec la profondeur, la matière organique disponible se raréfiait et que corrélativement la densité des êtres vivants diminuait (MARSHALL, 1954 ; 1979). Ceci reste globalement vrai. Cependant, l'amélioration des connaissances sur le benthos profond a montré de notables exceptions à cette règle. Depuis l'expédition de la "Galathea" (1950-52), on avait décrit des faunes relativement riches associées à des débris végétaux coulés (BRUUN, 1956). On observe en effet, particulièrement à proximité des îles tropicales, des espèces spécialisées dans l'utilisation de cette source de matière organique, noix de coco, troncs d'arbres ou de fougères, écorces, tiges de bambou... Ces substrats, dont l'abondance est difficile à estimer (WOLFF, 1979 ; TURNER, 1981), jouent probablement un grand rôle dans le maintien et la dispersion de certaines espèces. Chez les Mollusques, citons les gastéropodes de la famille des Cocculinidae et les polyplacophores ; chez les Crustacés, ce sont des cirripèdes et des Galatheidae (*Bathymunida*, *Munidopsis*) qui utilisent ces débris végétaux.

Bien que la "sédimentation" des cadavres de grands animaux sur le fond des océans soit des événements rares et dispersés, ils représentent des sources de nutriments très importantes dans un environnement pauvre qui modifient la répartition de la diversité spécifique (STOCKTON & DELACA, 1982).

Au cours de nos campagnes profondes ont été rencontrés plusieurs types de substrats organiques avec leurs faunes associées. Parmi ceux-ci :

- les oeufs de sélaciens, requins, raies et chimères, sur lesquels des mollusques et des amphipodes exploitent la chitine après l'éclosion ;
- les becs de céphalopodes qui sont de petits substrats probablement très abondants ;
- les écailles de tortues sur lesquelles vivent également des gastéropodes patelliformes ;
- les plumes d'oiseaux de mer dont la kératine subsiste longtemps dans l'eau.

Bien que non encore observés en Nouvelle-Calédonie, les ossements de baleines sont également des substrats organiques utilisés par le benthos (SMITH *et al.*, 1989 ; SQUIRES *et al.*, 1991 ; SMITH, 1992 ; BENNETT *et al.*, 1994 ; BUTMAN & CARLTON, 1995). L'"Alvin" a ainsi observé par 1240 m de profondeur, le squelette d'une baleine bleue, autour duquel s'était développé une véritable petite oasis de vie comprenant plusieurs espèces de mollusques proches de ceux qui habitent les sources hydrothermales. L'estimation actuelle du nombre de squelettes de baleines dans l'océan mondial est de un tous les 8 à 13 km (SMITH *et al.*, 1989). Il est difficile d'évaluer le rôle que jouent ces apports massifs de matière organique dans l'environnement bathyal ou abyssal pauvre. Le "Committee on Biological Diversity in Marine Systems", dans lequel figurent de grands noms de la biologie marine (BOEHLERT, GRASSLE, VERMEIJ...), écrit en 1995 : "Whale skeletons scattered like islands in the deep sea may thus provide some of the critical stepping stones for organisms between hydrothermal-vent communities, themselves insular and temporary habitats.". Cette hypothèse sur le rôle de relais que joueraient les ossements des grandes espèces marines vient d'être confortée par une expérience réalisée au Japon. Des ossements de vaches déposés par 1400 m de fond, présentent après une année une matre bactérienne chimioautotrophe et une faune de crustacés associés (Galatheidæ, Lithodidæ) (KITAZATO & SHIRAYAMA, 1996).

Végétaux coulés. — Lorsque les débris végétaux sont abondants, on observe une faune particulière adaptée à utiliser ce supplément de matière organique. Ce phénomène, bien connu aux Philippines ou encore dans le golfe de Papouasie-Nouvelle-Guinée où l'on remonte des noix de coco de 3000 m de fond, n'avait pas encore été observé en Nouvelle-Calédonie. Les petits morceaux de bois creux sont habités par une famille de pagures symétriques, les Pylochelidæ (FOREST, 1987a, b) et un autre genre de pagures, jusqu'alors inconnu du Pacifique Ouest (FOREST, 1997), les *Xylopagurus* ; les écorces renferment des crustacés isopodes et de nombreux mollusques polyplacophores sont fixés à la surface des branches. Un trait de chalut particulièrement riche en bois coulés fut réalisé au large de la passe de Hienghène

par 600 m de profondeur (CP 698) sur des fonds présentant une vase grise, réduite, riche en annélides polychètes sédentaires (RICHER DE FORGES & CHEVILLON, 1996).

4.6.4.4 - Zonation bathymétrique

Répartition des organismes en profondeur :

Les différents auteurs qui ont travaillé sur la faune de profondeur ont tenté de trouver dans la répartition des animaux, benthiques ou pélagiques, une zonation en profondeur équivalente à ce que l'on observe, à petite échelle, dans le domaine littoral. Si, pour les organismes benthiques, il est relativement aisé de fixer des limites entre les étages bathyaux et abyssaux, la tâche est plus ardue pour le domaine pélagique dans lequel les être vivants effectuent des migrations verticales, parfois de plusieurs milliers de mètres.

La partie supérieure des pentes récifales externes est colonisée par des coraux constructeurs jusqu'à environ 120 m de profondeur et les dernières algues rouges s'observent vers 200 m (LITTLER *et al.*, 1985 ; COLIN *et al.*, 1986 ; SARANO & PICHON, 1988). Plus profondément, jusqu'à 250 m, les peuplements benthiques sont dominés par des gorgones et des Spongiaires (ROUX, 1994) puis, à partir de 300 m, par des Stylastérides et des Brachiopodes (RICHER DE FORGES, *obs. pers.* en plongée "Cyana"). Les Spongiaires restent les éléments dominants de la faune jusqu'à plus de 600 m. Lorsque les pentes sont abruptes, on observe des éboulis constitués de débris coralliens et d'articles d'*Halimeda* (SARANO & PICHON, 1988). Sur le sommet des monts sous-marins, en dehors de l'influence terrigène, dès 250-300 m de profondeur apparaissent les premiers crinoïdes pédonculés (*Metacrinus levii*) habituellement considérés comme caractéristiques des faunes bathyales.

Variation de la diversité spécifique avec la profondeur en Nouvelle-Calédonie :

Les caractéristiques physiques du milieu et les peuplements changent avec la profondeur. L'analyse de la base de données portant sur 1318 espèces d'invertébrés montre que la diversité semble être maximale dans la tranche bathymétrique 300-500 m (Tab. 8 ; Fig. 55). Il faut cependant relativiser cette observation, l'effort d'échantillonnage étant plus intense entre 300 et 600 m.

La répartition des espèces de quelques familles, sur les pentes récifales externes et les monts sous-marins a été examinée en détails : chez les Crustacés, les familles caractéristiques des zones bathyales, Galatheidae et Homolidae ; chez les Mollusques les gastéropodes Muricidae et les scaphopodes et un groupe d'invertébrés fixés, les Hydriaires Sertulariidae.

Tab. 8. — Répartition du nombre d'espèces récoltées en Nouvelle-Calédonie par tranches bathymétrique.

Profondeurs	Nombre d'espèces	Pourcentage
100-300 m	412	28,8
300-500 m	568	39,8
500-600 m	347	24,3
600-800 m	272	19,0
800-1200 m	125	8,7
1200-1500 m	37	2,6
1500-2000 m	36	2,5
> 2000 m	36	2,5

Les *Galatheidea* sont des Crustacés décapodes anomoures appartenant au macrobenthos (2-10 cm) représentés par 80 espèces dans les eaux profondes de Nouvelle-Calédonie. La diversité de ce groupe est surprenante puisque 60 espèces nouvelles ont été décrites. Ces organismes semblent inféodés aux fonds durs et certaines espèces ont été observées en submersibles perchées sur les Gorgonaires. Les représentants de cette famille appartiennent aux genres *Alainius*, *Leiogalthea*, *Paramunida*, *Phylladorhynchus*, mais surtout *Munida*. Certaines espèces présentes des couleurs très vives, indice que la lumière joue encore un rôle dans les écosystèmes de la zone bathyale supérieure (MACPHERSON, 1994).

La diversité spécifique est la plus forte dans la tranche bathymétrique de 300 à 500 m avec 56 espèces (70 %) et décroît rapidement en dessous de cette zone ; il reste encore une espèce à plus de 2000 m (Fig. 55). Pour décrire la variation progressive de la composition spécifique de cette diversité, un indice de similarité a été calculé de la façon suivante :

la similarité des zones deux à deux s'exprime par le rapport $I = 2c / a + b$ dans lequel a est le nombre d'espèces de la première zone, b celui de la seconde et c le nombre d'espèces commun aux deux zones comparées. Ce rapport varie donc entre 0 et 1 selon que les groupes d'espèces considérés sont plus ou moins similaires (Tab. 8). La variation bathymétrique observée chez chacune des espèces est représentée sur la figure 56 : les espèces ont été rangées par ordre croissant des profondeurs minimales où elles ont été récoltées et la gamme de profondeur observée est représentée par un trait ; le nombre à l'extrémité de chaque trait est l'occurrence de cette espèce, soit le nombre de stations où elle est présente. 13 espèces n'ont été capturées qu'une seule fois. Parmi celles qui ont une forte occurrence donnant une bonne fiabilité à la gamme de profondeur, certaines sont eurybathes réparties sur 600-700 m (*Munida notata*, *M. laurentae*), d'autres au contraire sont sténobathes (*M. thoe*, *M. leagora*, *M. callirrhoe*, *M. ocyrhoe*) avec des répartitions n'excédant guère 300 m.

Parmi les 80 espèces de Galatheidae récoltées en Nouvelle-Calédonie, 42,5% sont trouvées entre 100 et 300 m, 70 % entre 500 et 600 m... (Tab. 8). Aucune espèce n'a de répartition bathymétrique supérieure à 700 m. On observe un net changement de faune au delà de 800 m : changement de diversité, passage de 28 à 5 espèces, seulement 14 % des espèces présentent entre 600 et 800 m sont aussi présentes entre 800 et 1200 m.

Les **Homolidae** sont des crabes archaïques pour la plupart de grande taille (megabenthos : *Paromola*, *Dagnaudus* >10 cm) typiquement bathyaux qui viennent de faire l'objet d'une révision (GUINOT & RICHER DE FORGES, 1995). 16 espèces sont présentes dans les eaux de Nouvelle-Calédonie parmi lesquelles 6 sont nouvelles pour la science et certaines sont très fréquentes (*Homola ranunculus*, *H. orientalis*). Cette famille présente également son optimum de diversité spécifique entre 300 et 500 m mais une seule espèce (*Homologenus levii*) dépasse 1600 m de profondeur (Fig. 58). L'espèce la plus eurybathe de cette famille est *Paromolopsis boasi* (247-950 m).

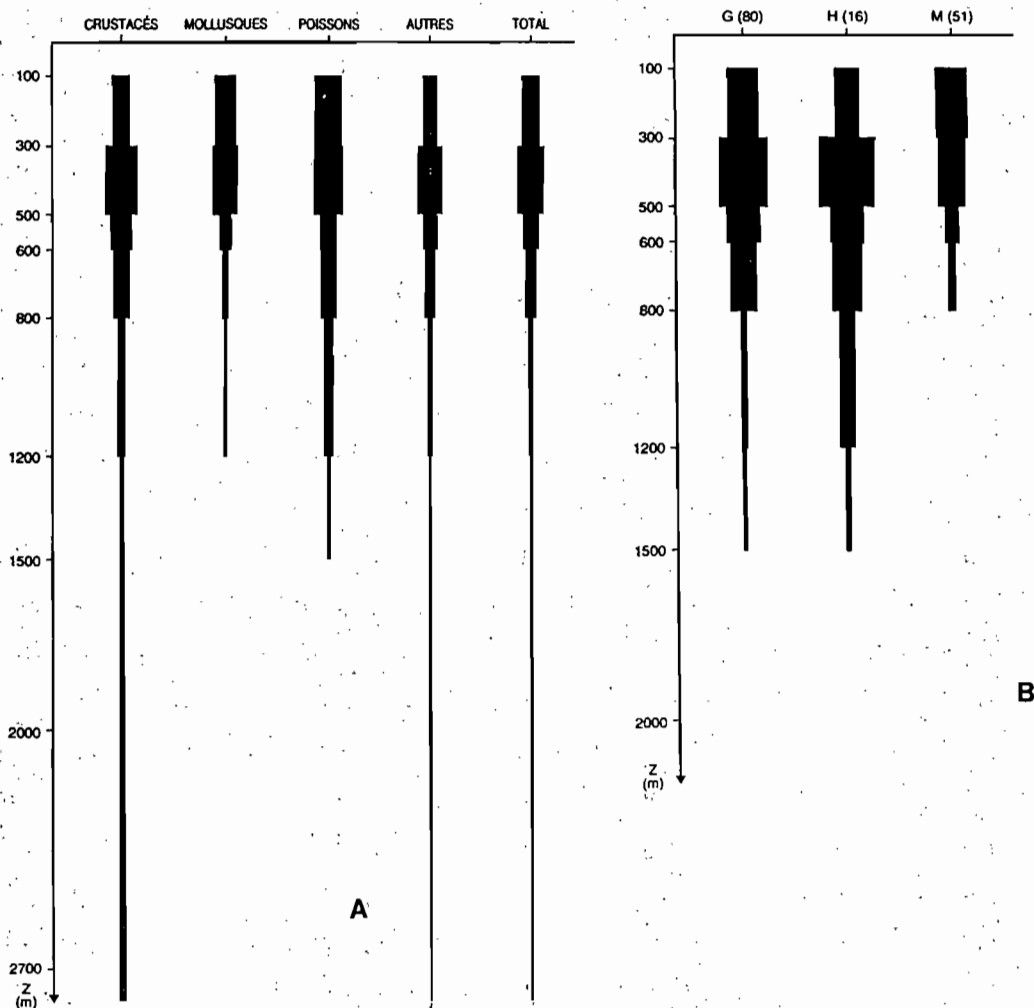


Fig. 55. — A : Répartition bathymétrique de la biodiversité observée dans la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie (données de juin 1996). B : Répartition bathymétrique de la biodiversité dans trois familles d'invertébrés, Galatheidae (G), Homolidae (H), Muricidae (M).

Les Mollusques gastéropodes de la famille des **Muricidae** sont particulièrement diversifiés dans les eaux de Nouvelle-Calédonie (HOUART, 1995) et 51 espèces ont été recensées dans les profondeurs bathyales. L'optimum de diversité se situe dans la zone supérieure, de 100 à 300 m

de profondeur avec 22 espèces alors que la zone de 300 à 500 m n'en contient plus que 19 et celle de 500-600 m plus que 9 espèces. Parmi les espèces de Muricidae, 26 ont été trouvés moins de 3 fois, ce qui ne permet pas de connaître leur répartition bathymétrique (Fig. 57). Pour les autres espèces, elles sont assez sténobathes avec des gammes de profondeurs inférieures à 300 m. Font exception deux espèces de *Siphonochelus* très eurybathes qui ont une répartition bathymétrique supérieure à 1000 m.

Tab. 9. — Variation de l'indice de similarité spécifique (I) d'une zone bathymétrique à l'autre.

GALATHEIDEA	A	B	C	D	E	F	G	H
A 100-300 m	1,00	0,60	0,33	0,29	0,05	0,00	0,00	0,00
B 300-500 m	0,60	1,00	0,64	0,48	0,03	0,00	0,00	0,00
C 500-600 m	0,33	0,64	1,00	0,72	0,14	0,00	0,00	0,00
D 600-800 m	0,29	0,48	0,72	1,00	0,24	0,00	0,00	0,00
E 800-1200 m	0,05	0,03	0,14	0,24	1,00	0,29	0,00	0,00
F 1200-1500 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	1,00	0,66	0,66
G 1500-2000 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	1,00	1,00
H > 2000 m	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	1,00	1,00

4.6.4.5 - Variation géographique des peuplements

Au sein de la zone économique de la Nouvelle-Calédonie, dont la superficie est évaluée à 1 400 000 km², les prélèvements en zone bathyale se répartissent sur différentes structures géomorphologiques : les pentes externes de la Grande Terre influencées par des apports terrigènes ; les pentes des îles Loyauté et des atolls de Chesterfield et Bellona ; les monts sous-marins volcaniques du sud de l'Arc des Nouvelles-Hébrides ; les alignements de Guyots des rides de Lord Howe, de Norfolk et de la terminaison sud des Loyauté (Fig. 43).

L'étude de la faune des fonds envasés des pentes de la Grande Terre récoltée entre 1993 et 1994 n'est pas encore suffisamment avancée pour faire des comparaisons. La nature meuble du sédiment y permet la présence d'espèces fouisseuses d'échinodermes et de crustacés (Raninidae, Thalassinides, Nephropidae, Thaumastochelidae).

La pente sud de l'île, de même que le grand Passage du nord présente des fonds plats de dalles gréseuses caractérisées par des peuplements de fonds durs fixés (gorgones, spongiaires, stylastérides).

Les guyots, d'une surface sommitale réduite et plane, ont fait l'objet de nombreuses opérations de dragages et de chalutages. Une comparaison des espèces récoltées banc par banc montre (Tab. 9) : qu'il y a peu d'espèces communes entre les bancs de l'alignement des Chesterfield et ceux de la ride de Norfolk (seulement 11 espèces communes entre Nova et

Éponge) ; que le nombre d'espèces communes entre deux bancs d'un même alignement n'est pas très élevé non plus (18 espèces communes entre Éponge et Kaimon-Maru distants de moins de 20 km).

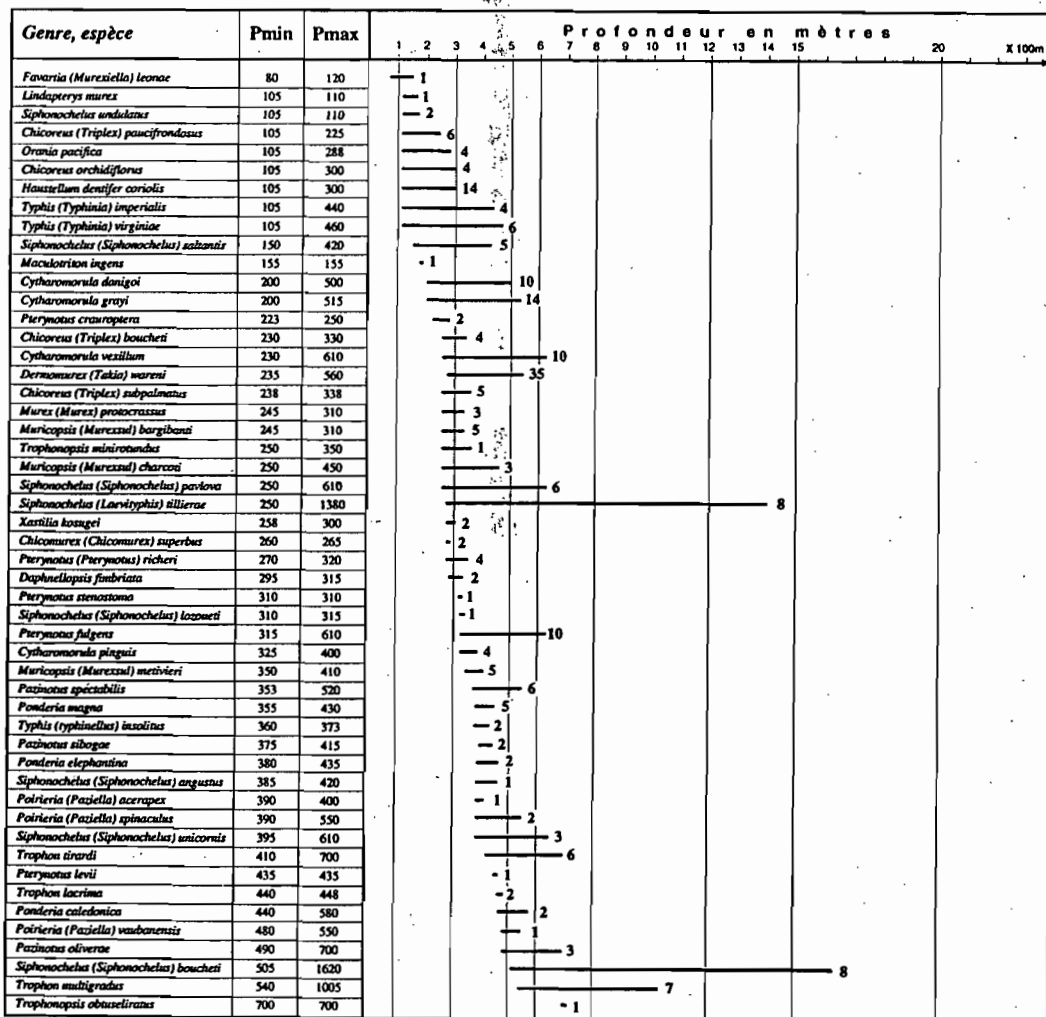


Fig. 57. — Répartition bathymétrique des espèces de la famille des Muricidae.

4.6.5 - Les courbes espèces-surfaces

Comme pour la faune des zones lagunaires, des relations aires-espèces ont été établis. Le nombre d'espèces augmente avec la superficie échantillonnée ce qui se représente par une courbe logarithmique dont l'asymptote fournit le nombre d'espèces maximal. Compte tenu de l'hétérogénéité des biotopes sur la vaste gamme bathymétrique explorée, il n'était pas possible d'appliquer ces méthodes à l'ensemble des données sur la faune bathyale de Nouvelle-Calédonie. Cependant, des essais ont été réalisés sur trois zones réduites pour lesquelles le nombre de stations est assez grand, la profondeur presque constante et les fonds relativement homogènes.

Les prélèvements ont été classés par ordre chronologique et l'accroissement spécifique dénombré ; en abscisse est placé le nombre de stations, dragages et chalutages, proportionnel à la surface (Fig. 59).

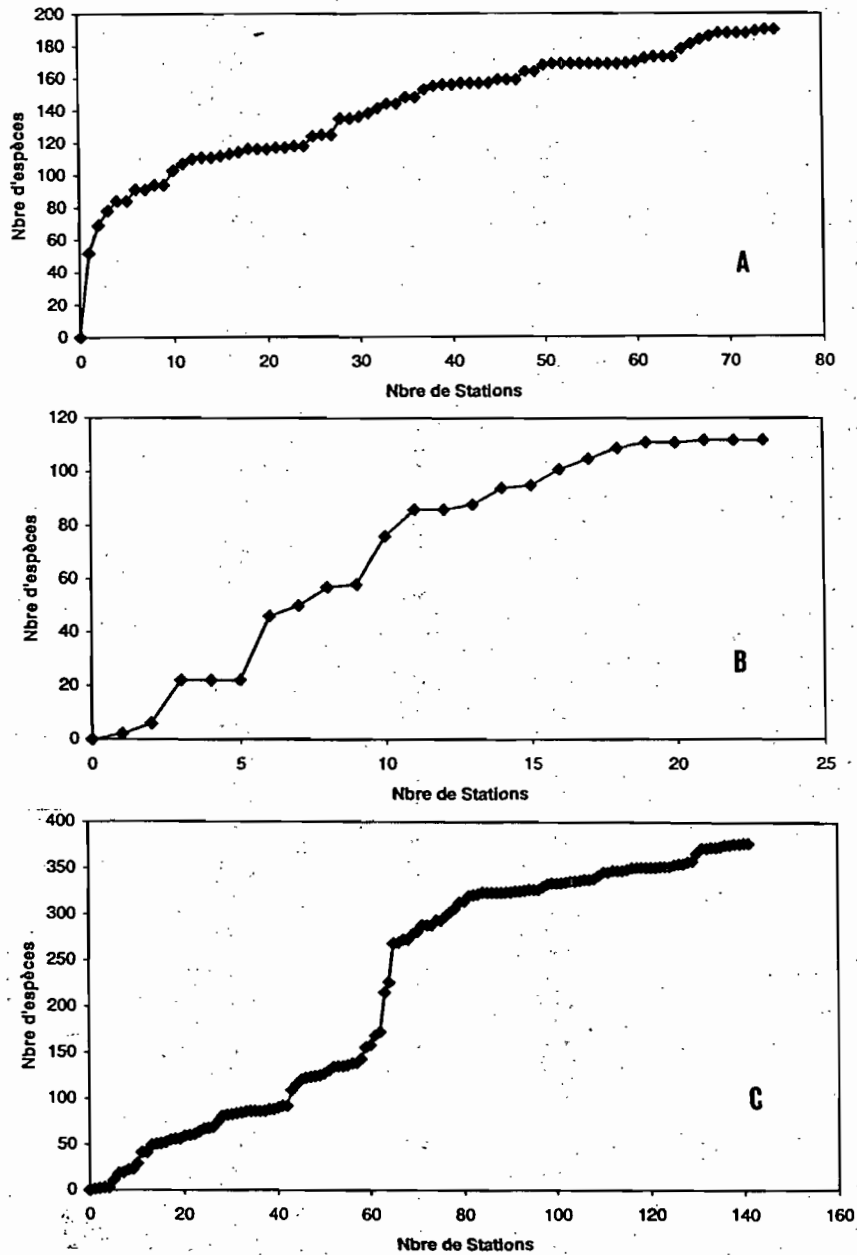


Fig. 59. — Courbes espèces/surfaces. A : Banc Eponge ; B : Banc Stylaster ; C : Sud-ouest de l'île des Pins.

Ces zones tests sont :

- la partie sommitale du mont Éponge, d'une superficie de 46 km² environ, sur laquelle ont été récoltées 190 espèces en 75 stations (Fig. 59 A) ;
- la partie sommitale du mont Stylaster (110 km²) sur laquelle 23 stations ont récolté 112 espèces (Fig. 59 B) ;

- le fond du grand thalweg du sud (1782 km²), entre l'île des pins et les récifs du sud de la grande Terre (167° à 167°20'E - 22°37' et 23°03' S), où 378 espèces ont été trouvées en 141 stations (Fig. 59 C).

Le nombre d'espèces prises en considération ne correspond pas au nombre réel d'espèces présentes mais au nombre des espèces actuellement étudiées par les taxonomistes. Il y manque donc certains groupes.

Malgré les imperfections de cette approche, on constate que les courbes concernant les guyots de petite taille très isolés tendent à "s'amortir" à partir d'une vingtaine de prélèvements en continuant toutefois leur lente montée. Par contre, pour la zone située au sud de la Grande Terre, plus vaste (1782 km²) et sous influence terrigène, le nombre d'espèces continue à s'accroître au bout de 140 prélèvements.

Tab. 10. — A : Similarité entre les bancs de la Ride de Norfolk et ceux de l'alignement des Chesterfield (Ride de Lord Howe). Entre parenthèses, nombre total d'espèces d'invertébrés identifiées par banc ; dans chaque case, nombre d'espèces communes à deux bancs. B : Liste des espèces communes entre les bancs.

ARGO (11)											A
9	CAPEL (54)										
7	27	KELSO (38)									
8	28	22	NOVA (105)								
0	1	1	4	AZTEQUE (42)							
0	4	1	11	7	EPONGE (90)						
0	2	0	3	2	7	JUMEAU EST (17)					
1	3	3	9	14	5	2	JUMEAU OUEST (41)				
2	9	8	17	8	5	1	14	KAIMON-MARU (52)			
0	3	0	5	7	18	9	7	2	STYLASTER (42)		

Espèces communes aux bancs:

banc ARGO / JUMEAU OUEST

Metapenaeopsis velutina

banc ARGO / KAIMON-MARU

Metapenaeopsis velutina

Munida rogeri

banc CAPEL / AZTEQUE

Munida notata

banc CAPEL / EPONGE

Cyrtomaia platypes

Eumunida annulosa

Eumunida capillata

Munida leagora

banc CAPEL / JUMEAU EST

Dromia wilsoni

Calocarcinus africanus

banc CAPEL / JUMEAU OUEST

Metapenaeopsis velutina

Munida stigmatica

Plesionika echinocola

banc CAPEL / KAIMON-MARU

Lophogaster neocaledonensis

Metapenaeopsis velutina

Munida notata

Munida rogeri

Munida stigmatica

Plesionika echinocola

Pterynotus crauroptera

Siphonochelus (Siphonochelus) saltantis

Typhis (Typhina) imperialis

banc CAPEL / STYLASTER

Calocarcinus africanus

Eumunida annulosa

Eumunida capillata

banc KELSO / AZTEQUE

Munida notata

banc KELSO / EPONGE

Munida leagora

banc KELSO / JUMEAU OUEST

Metapenaeopsis velutina

Munida stigmatica

Plesionika echinocola

banc KELSO / KAIMON-MARU

Lophogaster neocaledonensis

Metapenaeopsis velutina

Munida notata

Munida rogeri

Munida stigmatica

Paralophogaster foresti

Plesionika echinocola

Pyura pennata

banc NOVA / AZTEQUE

Munida laurentae

Munida notata

Nassarius (Telasco) vidalensis

Oxypleurodon orbiculatus

banc NOVA / EPONGE

Eumunida annulosa

Metaveruca recta

Munida callista

Munida laurentae

Munida leagora

Munida rufiantennulata

Munida sphecia

Munida stia

Nassarius (Niotha) himeroessa

Stylodactylus laurentae

Stylodactylus ibratas

banc NOVA / JUMEAU EST

Munida callista

Oxypleurodon orbiculatus

Puerulus angulatus

banc NOVA / JUMEAU OUEST

Cyrtaromorula vexillum

Latrellopsis antennata

Metapenaeopsis velutina

Munida laurentae

Munida stigmatica

Nassarius (Telasco) vidalensis

Oxypleurodon orbiculatus

Plesionika echinocola

Plesionika laurentae

banc NOVA / KAIMON-MARU

Amalda hilgendorfi richeri

Conus boucheti

Cyrtaromorula vexillum

Lophogaster neocaledonensis

Metapenaeopsis velutina

Morum (O.) brunni

Munida javieri

Munida notata

Munida rogeri

Munida stigmatica

Munida urizae

Nassarius (Telasco) vidalensis

Neostylodactylus affinis

Plesionika echinocola

Puerulus angulatus

Siphonochelus (Siphonochelus) saltantis

Stylodactylus laurentae

banc NOVA / STYLASTER

Eumunida annulosa

Munida laurentae

Oxypleurodon orbiculatus

Pterynotus fulgens

Puerulus angulatus

B

Dans les trois zones testées, une centaine d'espèces ont été récoltées au bout d'environ 25 prélèvements. Le décrochement brutal dans la courbe de la zone sud correspond à quelques

stations de la campagne BIOCAL, particulièrement riches, intensivement triées et étudiées (DW 44 et 46 avec respectivement 43 et 42 espèces supplémentaires). Cet exemple montre bien les limitations de cette représentation sur une vaste zone d'une grande richesse spécifique et pour laquelle l'étude taxonomique demeure partielle.

Si l'on considère que la largeur utile des engins traînants utilisés est en moyenne de 2 m et qu'ils parcourent environ 1 mille, la surface échantillonnée est de l'ordre de 4000 m² par station. Cela signifie que, malgré une surface totale couverte de 140 X 4000 = 560 000 m² ou 56 ha, la diversité spécifique de la macrofaune benthique continue de croître à chaque nouveau prélèvement. Par ailleurs, de nombreuses espèces demeurent connues par un seul spécimen.

4.6.6 - Résultats paléogéographiques

4.6.6.1 - Fossiles vivants et formes archaïques

Un fossile vivant est comme une "sonde temporelle", arrivant du passé, apportant des informations exceptionnelles et insolites sur les espèces disparues. Certains de ces organismes panchroniques sont découverts depuis longtemps comme les nautilies, les stromatolithes ou le *Gingko biloba*. Certains, comme le coelacanthé capturé en 1938 sur la côte Est d'Afrique du sud, sont célèbres et ont pratiquement vulgarisé le terme de fossile vivant.

En fait, la découverte de ces étranges messagers des temps géologiques a suivi l'exploration de la planète et les progrès des connaissances sur la vie passée et actuelle. Ainsi, c'est seulement dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle que les premières récoltes dans les profondeurs des océans ont ramené des "fossiles vivants" (ou encore "formes panchroniques") dont les plus remarquables sont les crinoïdes pédonculés.

Certains organismes apparaissent, au sein de leur groupe, comme archaïques, sans pour cela répondre à la définition de "fossiles vivants". Ainsi, les pentacrines sont des organismes modernes, sans interruption jusqu'à l'actuel dans les couches fossilifères. Leur découverte tardive au XIX^{ème} siècle est due à leur habitat restreint aux zones bathyales (ROUX, 1988). Alors que le crinoïde pédonculé *Gymnocrinus richeri* est un véritable fossile vivant car il appartient à une radiation Jurassique supposée éteinte.

Les découvertes de ces dix dernières années dans la zone bathyale supérieure de la Nouvelle-Calédonie montrent qu'il subsiste bien en profondeur des faunes supposées disparues.

4.6.6.2 - Richesse en formes panchroniques dans la zone bathyale de Nouvelle-Calédonie.

Comme l'ont signalé différents auteurs, la Nouvelle-Calédonie présente une faune marine remarquable par l'abondance d'organismes reliques du Mésozoïque (VACELET *et al.*, 1992 ; ROUX *et al.*, 1991a, b ; SPIRIDONOV, 1996)

Parmi les **Spongiaires**, LEVI & LEVI (1983b) font remarquer que parmi les éponges Lithistides et Tétractinellides étudiées de Nouvelle-Calédonie, plusieurs sont des fossiles vivants proches des espèces du Crétacé.

Les Sphinctozoaires sont des éponges calcifiées qui ont joué un rôle important d'organismes constructeurs au Permo-Trias et que l'on croyait éteints à la fin du Crétacé (VACELET *et al.*, 1992). Redécouverts vivants dans des cavernes des récifs coralliens actuels (VACELET, 1979), ils semblent très abondants dans la zone bathyale supérieure (250 m) de Nouvelle-Calédonie et plus particulièrement sur les monts sous-marins qui parsèment la ride de Norfolk. Ils appartiennent à la famille des Cryptocoeliidae, forment des massifs construits, sorte de biohermes de taille décimétrique. Des datations au C14 ont permis de calculer leur vitesse de croissance qui s'avère très lente, environ 11 mm par siècle. Seules les conditions hydrologiques très stables régnant en profondeur et l'absence de concurrence leur permet de subsister. L'étude de ces fossiles vivants permet de comprendre le rôle qu'ont joué les spongiaires dans les constructions récifales au Paléozoïque et une partie du Mésozoïque (- 600 à - 150 M.A.), avant qu'ils ne soient relayés par les coraux.

La Nouvelle-Calédonie s'est révélée très riche en **Bryozoaires** de la famille des Petalostegidae d'affinité Oligocène (GORDON & d'HONDT, 1991).

Au cours des campagnes MUSORSTOM, des représentants de la famille des Catenicellidae, supposée éteinte, ont été récoltés et décrits par GORDON (1994) dans le nouveau genre *Bryosartor*.

Les **Graptolites** sont de remarquables fossiles stratigraphiques, les plus caractéristiques du Paléozoïque inférieur (530-300 M.A.) (BATES, 1988).

Ce groupe était considéré comme éteint jusqu'à la découverte inattendue d'un Ptérobranche décrit par DILLY (1993) comme un représentant actuel du groupe fossile des Graptolites ! Cet organisme extraordinaire a été récolté par la soucoupe CYANA en 1989 lors de la campagne CALSUB sur les pentes des îles Loyauté. Cet événement, passé presque inaperçu de la communauté des zoologistes français, a trouvé écho chez les paléontologues (RIGBY, 1993). La parenté entre le groupe fossile des Graptolites et la classe actuelle des Ptérobranches qui appartient au Phylum des Hemichordés avait déjà été envisagée, mais pour la première fois la morphologie des épines (nema) qui intriguait tant les paléontologues est expliquée. L'analogie entre les graptolites fossiles et l'espèce actuelle est telle que l'auteur de la description, le Dr. DILLY écrit : "There is little if any reason for not considering *Cephalodiscus graptolitoides* as a living fossil and a member of the graptolites previously thought to be extinct for over 300 million years".

Les **Brachiopodes**, organismes bien connus des paléontologues, étaient très diversifiés au paléozoïque. Les représentants de ce groupe dans la faune actuelle se situent essentiellement dans les eaux profondes, bien que certains genres *Lingula*, *Frenulina*, *Thecidellina*, soient littoraux. Le Sud-Ouest Pacifique et en particulier les eaux néo-zélandaise renferment de

nombreuses espèces actuelles de Brachiopodes. Parmi les espèces récoltées en Nouvelle-Calédonie, LAURIN (1992) a décrit un nouveau genre, *Neoancistrocrania* qui présente une particularité anatomique connue uniquement dans la faune du Crétacé.

Du point de vue de l'ancienneté des affinités phylétiques, la faune de crinoïdes de Nouvelle-Calédonie est particulièrement remarquable (AMEZIANE-COMINARDI *et al.*, 1987). En quelques campagnes de prélèvements, les genres suivants ont été découverts : *Guillecrinus*, rattaché à une radiation du Paléozoïque supérieur, *Proisocrinus* et *Gymnocrinus* du Jurassique-Crétacé inférieur, *Diplocrinus* et *Zeuctocrinus* du Crétacé supérieur. Seuls les deux genres *Saracrinus* et *Metacrinus* semblent plus récents et ne seraient apparus qu'au Miocène. Les spécialistes de ce groupe n'hésitent pas à considérer cette faune comme "très proche de la faune mésogéenne du Mésozoïque".

Le genre *Guillecrinus* qui contient deux espèces, l'une de La Réunion et l'autre de Nouvelle-Calédonie (*G. neocaledonicus*), est considéré comme un représentant actuel de la sous-classe Paléozoïque des Inadunata, alors que tous les autres crinoïdes actuels font parti des Articulata.

En 1986, la Campagne CHALCAL 2, à bord du N. O. "Coriolis", a permis la récolte; sur un guyot de la ride de Norfolk, de nombreux exemplaires d'un représentant de la famille des Hemicrinidae, (ordre des Cyrtocrinida), supposée éteinte au milieu du Crétacé, *Gymnocrinus richeri*, décrit par BOURSEAU *et al.*, (1987). Cette espèce, d'une morphologie très particulière, présentant un pédoncule très court et fortement calcifié, allait permettre la découverte d'un nouveau groupe de molécules pigmentaires, les Gymnochromes, analogues à celles trouvées dans des fossiles d'*Apiocrinus* du Jurassique (RICARDIS *et al.*, 1991a, 1991b).

Le bilan des connaissances sur les crinoïdes de Nouvelle-Calédonie fait état de 14 genres dont seulement 4 sont d'origine relativement récente (Cénozoïque) et 8 méritent le qualificatif de "fossiles vivants". Une nouvelle forme archaïque est décrite, *Holopus alidis*, genre jusqu'alors uniquement connu des Caraïbes, entre 100 et 460 m, et également descendant direct de la faune téthysienne (BOURSEAU *et al.*, 1991 ; ROUX, 1994).

- **Mollusques** : Les céphalopodes du groupe des nautilus sont signalés dans des terrains du paléozoïque et leur morphologie semble avoir peu variée depuis. Ils sont les seuls représentants vivants des céphalopodes à coquilles externe (WARD, 1987).

Dans les mers actuelles, on trouve quatre espèces (*N. pompilus*, *N. scrobiculatus*, *N. belauensis* et *N. macromphalus*) ; plusieurs autres espèces, proches de *N. pompilus*, ont été décrites, mais leur validité reste discutable. Toutes ces espèces sont localisées dans l'Ouest-Pacifique où elles vivent dans la zone bathyale supérieure (150-500 m). Ce groupe contient les fossiles vivant les plus célèbres, parce qu'ils sont très esthétiques et apparentés au groupe des Ammonites, éteint à la fin de l'ère secondaire. En Nouvelle-Calédonie on rencontre en abondance, vers 400 m, l'espèce endémique *Nautilus macromphalus* sur laquelle ont porté de nombreuses études physiologiques. Au cours des plongées de la soucoupe CYANA sur les

pentés de Nouvelle-Calédonie, des amas de coquilles de nautilus en cours de fossilisation ont pu être observés, permettant d'imaginer les conditions de formation de certains terrains Jurassiques (ROUX *et al.*, 1991a).

L'archaïsme de la faune est observé également chez les gastéropodes. Les Pleurotomariidae, qui présentent une coquille très caractéristique, sont bien connus comme fossiles à l'ère secondaire où ils vivaient sur les platiers. Les représentants actuels de cette famille fréquentent la zone bathyale, dans le sud-est asiatique, l'Atlantique ouest et l'Afrique du Sud. Les récentes expéditions ont montré que la Nouvelle-Calédonie était particulièrement riche en gastéropodes de ce groupe puisque quatre espèces calédoniennes (*Peretrochus caledonicus*, *P. deforgesi*, *P. aff. africanus* et *P. salmianus*) sont signalées par BOUCHET et METIVIER (1982) et METIVIER (1990). Ils vivent actuellement sur des fonds rocheux peuplés d'éponges entre 300 et 500 m de profondeur.

Pour MARSHALL (1991) qui étudie les gastéropodes de la famille des Seguenziidae, la faune bathyale actuelle de Nouvelle-Calédonie serait comparable à celle du Miocène de l'île nord de la Nouvelle-Zélande. LOZOUET (1991) décrit de Nouvelle-Calédonie plusieurs espèces nouvelles du genre de gastéropodes *Eumitra* connu jusqu'alors du Miocène de Nouvelle Zélande. De même, le genre *Cypraeopsis* qui n'était connu que du Miocène d'Europe et d'Asie du Sud-Est a été retrouvé dans la faune bathyale de Nouvelle-Calédonie (DOLIN, 1991).

4.6.6.4 - Hypothèses sur l'origine de ce "nid de fossiles vivants" :

Si les grandes zones abyssales ont permis la récolte des animaux les plus étrangement modifiés, spectaculaires et largement répartis dans les océans, c'est dans les eaux bathyales, relativement superficielles, que les découvertes les plus surprenantes sont faites.

La zone bathyale présente des différences par rapport à toute autre partie de l'océan. Tout comme la zone abyssale, elle n'est pas soumise aux aléas climatiques de la zone supérieure, mais reçoit par contre encore un peu de lumière. C'est dans la zone bathypélagique que s'effectuent les migrations et les transferts énergétiques du haut vers le bas. Les pentes et les talus continentaux existent depuis de très longues périodes géologiques, contrairement aux planchers abyssaux qui sont remaniés par le jeu de la subduction. Il n'y a pas de planchers océaniques âgés de plus de 200 millions d'années, alors que les océans et certaines masses continentales avec leurs talus situés dans la zone bathyale existent depuis plus de 3500 millions d'années.

Les trois facteurs que sont la stabilité hydrologique, la discontinuité géographique et la persistance géologique, ont joué de façon synergique pour permettre à la faune benthique d'évoluer différemment de celle des autres milieux.

Il est probable que les cycles de transgressions et de régressions marines ont conduit une partie de la faune littorale à coloniser la zone sous-jacente plus stable et parfois qualifiée de zone refuge (PERRIER, 1886 ; PERES, 1961).

Par ailleurs, la discontinuité géographique de cette zone bathyale favorise l'isolement des espèces et donc la spéciation, c'est à dire l'acquisition par une population de caractéristiques génétiques qui l'isole peu à peu des autres membres de son espèce. Pour beaucoup d'espèces marines benthiques de la zone bathyale, les grandes profondeurs océaniques sont infranchissables bien que certaines aient développé une stratégie de dispersion larvaire efficace. Les grandes distances à parcourir sont telles qu'il en résulte pour cette zone bathyale un certain confinement.

Au cours des temps géologiques, la position relative des continents a énormément varié, les données du paléomagnétisme permettant de reconstituer approximativement l'évolution de la géographie des terres émergées. Ces reconstitutions montrent clairement que les bordures continentales qui sont restées baignées par la mer depuis plus de 200 millions d'années sont extrêmement rares. La plupart des côtes actuelles soit ont eu une période continentale au sein des blocs pangéen, gondwanien ou lurasien, soit ont été remaniées par des phénomènes tectoniques de grande ampleur comme la côte ouest américaine. La côte orientale du continent australien avec ses anciennes marges, actuellement détachées, que sont les rides de Lord Howe et de Norfolk est donc une exception. La stabilité géologique expliquerait que l'on y retrouve une faune archaïque en place ? Cette stabilité des zones bathyales sur le très long terme et leur situation géographique intertropicale ancienne (environ 150 M. A) pourraient expliquer pourquoi les faunes bathyales y sont aussi riches et diversifiées et l'importante proportion des formes archaïques ?

ELDREDGE (1991), commentant la remarquable constance morphologique des limules depuis le Dévonien inférieur (390 M. A), pense qu'il s'agit d'organismes "ecological generalist" capables de supporter les variations de l'environnement et donc de traverser les catastrophes naturelles. Il ne semble pas qu'une telle explication puisse s'appliquer à la faune de profondeur qui persisterait plutôt grâce à la grande stabilité du milieu.

La richesse en "fossiles vivants" de la faune marine de Nouvelle-Calédonie proviendrait des eaux de la Téthys du Mésozoïque qui aurait donné naissance au Pacifique sud-ouest actuel et aurait donc évolué sur place ? Il se peut aussi que, cette faune de la mésogée Mésozoïque, qui séparait les deux gros blocs continentaux, Laurasia et Gondwana, ait progressivement migré vers l'est lors de la fermeture de cette mer à l'époque des plissements alpins et himalayens ?

Pour comprendre l'origine et l'évolution des faunes profondes de l'Indo-Pacifique, il faudra poursuivre l'exploration d'autres archipels car chaque nouvelle récolte vient enrichir et éclairer les données anciennes. Il existe de vastes zones de la planète encore inexplorées, en particulier les zones bathyales de plusieurs archipels du sud-ouest Pacifique, et l'on peut prédire que la quantité de fossiles vivants répertoriés s'accroîtrait si des prélèvements y étaient réalisés.

Le paradigme d'une faune de profondeur pauvre en espèce, faible en biomasse et d'une grande homogénéité sur de vastes aires géographique est à revoir car de nombreuses découvertes infirment ce schéma.

4.7 - Les Monts sous-marins

Les satellites d'observation terrestre (Seasat, Geos-3), ont permis de montrer que les monts sous-marins et les guyots, jusqu'alors considérés comme d'un intérêt anecdotique, étaient au contraire extrêmement nombreux (plusieurs dizaines de milliers) et pouvaient peut être servir de relais à la dispersion géographique des espèces bathyales.

4.7.1 - Définition : volcans et guyots

Les monts sous-marins sont des reliefs qui ont pour origine soit un volcanisme d'arc, soit un volcanisme de points chauds, soit un volcanisme fractural. Ceux de la zone économique de Nouvelle-Calédonie ont fait l'objet d'une description géomorphologique (LEHODEY, 1994). Les seuls qui résultent d'un volcanisme d'arc, lié à la subduction de la plaque australo-indienne sous la plaque Pacifique, sont situés entre les îles Matthew et Hunter ; ils ont été explorés lors de la campagne VOLSMAR (LABOUTE *et al.*, 1989). La plupart des autres, issus d'un volcanisme de points chauds, forment alors des alignements chronologiques (Fig. 60).

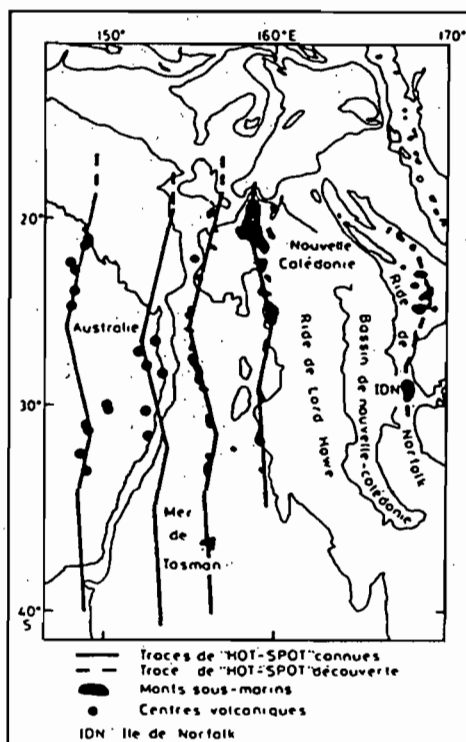


Fig. 60. — Alignements de monts sous-marins issus de points chauds dans le Pacifique sud-ouest (d'après RIGOLOTT, 1988).

4.7.2 - Les alignements de guyots

L'alignement de Chesterfield, situé sur le flanc occidental de la ride de Lord Howe, s'est formé à partir d'un point chaud situé actuellement au sud de Ball's Pyramid (daté de 6,5 M.A ; 31°35'S). Il se compose du sud vers le nord de reliefs d'âges croissants, l'île de Lord Howe, les atolls d'Elisabeth et Middleton, les guyots Gifford, Capel, Kelso, Argo, Nova, puis des atolls de Bellona et de Chesterfield (28 M. A.).

Les guyots de la ride de Norfolk sont également alignés et l'origine de leur formation est encore discutée. RIGOLOT (1988) les attribuait à un point chaud mais la cartographie précise dressée par "l'Atalante" lors de ZoNéCo 1 permet une nouvelle hypothèse. Ces volcans, comme ceux de la ride des Loyauté seraient associés à un système de failles correspondantes à trois directions structurales et deux phases volcaniques (LAFOY *et al.*, 1995).

Les guyots de la ride des Loyauté situés au sud de l'île de Maré présentent un sommet plat situé entre 900 et 700 m. Certains d'entre eux ont un plateau de près de 50 km de longueur et sont encroûtés de manganèse.

Caractéristiques faunistiques des monts sous-marins de Nouvelle-Calédonie : L'exemple des guyots de la zone économique de Nouvelle-Calédonie montre qu'il n'est pas possible de définir de cas général. En effet, des monts sous-marins distants de moins d'une centaine de kilomètres et dont la partie sommitale se situe dans la même tranche bathymétrique présentent des peuplements très différents. L'alignement des reliefs de Chesterfield a révélé des peuplements très pauvres en biomasses alors que ceux de la ride de Norfolk, pour des profondeurs comparables, sont au contraire d'une extraordinaire richesse. Les guyots de la ride des Loyauté qui culminent plus profondément (700-900 m) présentent des encroûtements polymétalliques faiblement colonisés. LEHODEY (1994) a présenté une excellente analyse bibliographique concernant l'environnement hydrologique des monts sous-marins et les différentes hypothèses (colonne de Taylor, upwellings, hydrothermalisme) expliquant la forte productivité de certains d'entre eux. Aucune de ces hypothèses n'est réellement convaincante et la compréhension du phénomène demanderait une expérimentation *in-situ* avec des mesures de production benthique.

Les reliefs sous-marins avec des pentes abruptes tels que les monts sous-marins et les canyons présentent souvent une forte productivité et une grande diversité spécifique. Ceci est la conséquence des conditions hydrologiques particulières qui y règnent. HICKEY (1995) décrit ces phénomènes pour les canyons où l'hypothèse généralement avancée pour expliquer cet enrichissement du milieu est l'accentuation des phénomènes d'upwelling qui permettraient le maintien d'une forte production planctonique soutenant tout un réseau trophique incluant, poissons, oiseaux et même mammifères marins.

4.7.3 - Importance de ces structures dans la persistance et la diffusion des espèces

Le rôle écologique et biogéographique des monts sous-marins a été étudié dans le Pacifique nord (ZULLO & NEWMAN, 1964 ; RAO & NEWMAN, 1972 ; PARKER & TUNNICLIFFE, 1994). Une étude détaillée de la faune associée au Cobb seamount (46° N - 130° W) a permis de constater que d'importants stocks de poissons y sont inféodés. Bien que la liste des 117 espèces publiée par ces auteurs n'ait pas été établie par des spécialistes, les conclusions qu'ils présentent sur la dispersion larvaire demeurent valables. Les organismes sont classés en trois groupes selon qu'ils ont une phase larvaire planctonique courte, moyenne ou longue : 30 % des organismes déposent leurs larves directement sur le substrat (développement direct) ; 31 % ont des larves à vie courte, c'est à dire entre quelques minutes et deux semaines ; 8 % ont une vie planctonique moyenne et 4 % une longue vie planctonique ; 22 % des espèces ont un mode de dispersion larvaire totalement inconnu.

La proportion d'espèces à développement direct est la même sur le Cobb seamount que sur la côte de l'Oregon éloignée de plus de 500 km. Les questions posées par l'origine et le maintien des peuplements sur les monts sous-marins rejoignent celles des écologistes au sujet de la biogéographie des îles (SCHOENER, 1988, HUBBELL, 1994). Bien que les monts sous-marins et les guyots n'aient jamais fait l'objet d'inventaires très approfondis, on peut leur appliquer les connaissances acquises au sujet des îles et considérer que la vulnérabilité et les problèmes de conservation sont similaires. Ces milieux isolés constituent des "laboratoires naturels" pour étudier l'évolution des espèces et des peuplements, les stratégies de dispersion larvaire et les taux d'endémisme.

4.7.4 - Particularités des peuplements

En Nouvelle-Calédonie, les guyots qui ont été les mieux échantillonnés sont les bancs Éponges (= B), Kaimon-Maru (= A), Stylaster (= C) et Jumeaux qui sont tous riches.

Les types de peuplements les plus représentatifs des guyots sont variables selon la profondeur du sommet :

- à 250-400 m (bancs Aztèque, bancs Jumeaux), les espèces caractéristiques sont des Gorgonaires et Alcyonaires, des oursins Cidaridae et *Asthenosoma* sp., des Crustacés Majidae *Grypacheus* sp., *Pleistacantha* sp., *Oxypleurodon orbiculatus*, *O. stuckiae*, Palinuridae *Puerulus angulatus* et Scyllaridae *Ibacus brevipes*.

- à 400-600 m (bancs Éponges, Stylaster), des Spongiaires et Stylastérides avec comme espèces vagiles caractéristiques, les crabes Homolidae *Paromola bathyalis* et *Dagnaudus petterdi*, des Galatheidae. Les principales espèces de poissons récoltés au chalut ou à la ligne de fond sont : *Hoplostethus* spp., *Beryx splendens*, *Pentaceros japonicus*, *Pseudopentaceros*

richardsoni. Ces fonds sont particulièrement riches, les échantillonnages réalisés au chalut à perche ont permis d'y recenser 184 espèces de Poissons en seulement 50 opérations (LEHODEY *et al.*, 1992). Certains monts sous-marins présentent des peuplements dominés par les Spongiaires, c'est le cas du banc Éponge et aussi du Britannia Bank situé dans l'alignement des Tasmantid Guyots (Observation personnelle à bord du R.V. "Franklin"). D'autres ont principalement des Stylastérides de formes et de couleurs très variées. Une des espèces abondantes sur le banc Stylaster est le crinoïde pédonculé *Gymnocrinus richeri* découvert et décrit en 1987 (RICHER DE FORGES *et al.*, 1987a ; BOURSEAU *et al.*, 1987).

La faune benthique des "seamounts" est très mal connue puisque WILSON et KAUFMANN (1987) ne recensent qu'un millier d'espèces dans le monde signalées sur une centaine de monts sous-marins. Le nombre d'espèces récoltées sur les monts sous-marins ne dépasse 75 espèces que pour quatre d'entre eux. Ces chiffres nous paraissent extrêmement bas car, sur les monts sous-marins de la zone économique de Nouvelle-Calédonie, plusieurs centaines d'espèces ont déjà été signalées. Ainsi, uniquement sur la fraction du matériel récolté actuellement étudiée, on relève 112 espèces sur le banc Stylaster et 190 espèces sur le banc Éponge. Bien que ces reliefs soient très proches l'un de l'autre (91 km) et que leurs parties sommitales se trouvent à peu près à la même profondeur, il y a seulement 18 espèces communes à ces deux monts sous-marins (Tab. 9).

La conservation de la biodiversité en Nouvelle-Calédonie

5. La conservation de la biodiversité en Nouvelle-Calédonie

Ile de grandes dimensions, peu peuplée et gérée par un pays riche, la Nouvelle-Calédonie devrait échapper à la crise générale de la biodiversité. La répartition de la population est très déséquilibrée puisque 60 % de la population de Nouvelle-Calédonie se trouve concentrée sur environ 1 % de sa superficie (GABRIE, 1995). Il ne faudrait pas en déduire que les problèmes d'environnement ne se posent qu'en zone urbaine. Un développement minier à grande échelle a provoqué une vaste destruction du couvert végétal avec de profondes conséquences sur les écosystèmes terrestres et marins. La biodiversité terrestre est très menacée et de nombreuses espèces ont déjà disparu ; des espèces ont été et sont encore introduites en dépit du bon sens (écrevisses, huîtres, moules...) ; les incendies, très fréquents en saison sèche, accentuent la diminution de la biodiversité terrestre, l'érosion des sols et l'hypersédimentation des zones littorales.

Il faut espérer que l'état des lieux dressé en 1995 (GABRIE), la prise de conscience internationale de l'état de l'environnement et les quelques exemples de pollutions récents (échouage de pétrolier), réveilleront un peu les pouvoirs publics qui ont trop tendance à vanter une image idyllique de l'environnement en Nouvelle-Calédonie et les conduiront sur la voie d'un développement durable.

5.1 - Nature et ampleur de la crise

Dans le milieu terrestre, les plus graves atteintes à la biodiversité sont le fait d'une déforestation inconsidérée et d'introductions d'espèces (GARGOMINY *et al.*, 1997).

Le milieu marin subit le contrecoup des perturbations anthropiques du milieu terrestre. Le ruissellement arrivant sur les récifs frangeants et dans les lagons est accru, provoquant une surmortalité des coraux par excès d'eau douce et de particules fines. Autour des zones urbanisées, les rejets organiques provoquent localement une eutrophisation des eaux lagunaires et perturbent fortement les peuplements benthiques. Les activités de pêche et de plaisance provoquent la destruction des formations coralliennes et une surexploitation de certaines espèces de poissons et de coquillages.

5.1.1 Au niveau des espèces

5.1.1.1 - Vulnérabilité des espèces endémiques

Le groupe des Mollusques, qui partout dans le monde subit une forte prédation humaine, renferme en Nouvelle-Calédonie plusieurs espèces particulièrement menacées. Cette menace est liée à l'engouement général des collectionneurs pour les "coquillages". Dans les groupes les plus recherchés que sont les porcelaines, les cônes ou les volutes, l'amateur voudra enrichir sa

collection d'espèces endémiques ou rares provenant d'îles éloignées. La menace sur les espèces de Nouvelle-Calédonie est donc une conséquence directe du marché mondial.

Espèces potentiellement menacées (Fig. 61):

Les volutes :

Les volutes sont des mollusques gastéropodes marins qui ont comme particularité un mode de reproduction avec des larves non planctotrophes. Il n'y a pas de stades larvaires planctoniques de longue durée pour assurer la diffusion de l'espèce. Ce système de reproduction fait que les aires de répartition des espèces sont très restreintes, ce qui les rend plus vulnérables que les autres aux variations des conditions écologiques ou à la prédation humaine. Or il se trouve qu'étant des espèces relativement rares, de grande taille et aux coquilles très esthétiques, elles font parties des familles les plus recherchées des collectionneurs.

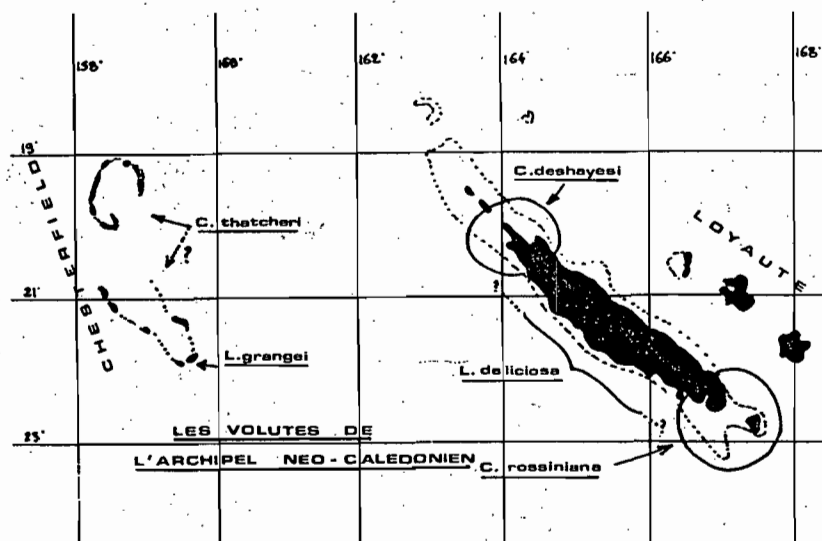


Fig. 61. — Répartition des espèces de volutes de petites profondeurs de Nouvelle-Calédonie (d'après ESTIVAL, 1983). Ces espèces sont endémiques à l'exception de *L. deliciosa* qui existe également en Australie et sur les îles de Norfolk et de Lord Howe.

Dans la zone économique de Nouvelle-Calédonie, on rencontre treize espèces de la famille des Volutidae dont quatre aux îles Chesterfield et neuf autour de la Grande Terre et des Loyauté (BOUCHET & POPPE, 1988 ; 1995). Toutes ces espèces sont potentiellement recherchées par les collectionneurs et les marchands, certaines atteignant des valeurs élevées. La plupart sont naturellement protégées car ce sont des espèces de profondeur :

- *Alcithoe aillaudorum* Bouchet & Poppe, 1988 (390-610 m); *Lyria kuniene* Bouchet, 1979 (250-395 m) ; *Lyria exorata* Bouchet & Poppe, 1988 (230-300 m) ; *Lyria planicostata* (Sowerby, 1903) (290 m) ; *Lyria habei* Okutani, 1979 (140-160 m) ; *Calliotectum egregium* Bouchet & Poppe, 1995 (500-1060 m), *C. piersonorum* Bouchet & Poppe, 1995 (550-680 m), *C. tibiaeforme* (Kuroda, 1931) (487-800 m).

D'autres cependant vivent dans les eaux peu profondes ou même dans la zone intertidale :

- *Cymbiola deshayesi* (Reeve, 1855) (0-5 m) ; *Cymbiola rossiniana* (Bernardi, 1859) (10-100 m) ; *Cymbiolacca thatcheri* (McCoy, 1868) (30-250 m) ; *Lyria deliciosa* (Montrouzier, 1859) (5-10 m) ; *Lyria grangei* Cernohorsky, 1980 (15 m).

Les espèces les plus menacées sont :

- *Cymbiola deshayesi* : vivant uniquement à l'extrême nord de la Grande Terre et aux îles Belep, de 0 à 5 m de profondeur. Elle subit une forte prédation des collectionneurs qui l'utilisent comme monnaie d'échange pour obtenir des coquilles d'autres pays.

- *C. rossiniana* : localisée au sud de la Grande Terre et à l'île des Pins, de 0 à 20 m (BERNARDI, 1860 ; ESTIVAL, 1983). Cette espèce est rarement trouvée car elle est enfouie dans le sédiment et ne sort que la nuit pour se nourrir (LABOUTE *et al.*, 1991). Les spécimens récoltés par les collectionneurs proviennent généralement des petites profondeurs mais elle existe dans toute la partie sud du lagon sud-ouest (LABOUTE, com. pers.). Des captures auraient eu lieu au casier jusqu'à 100 m de profondeur. C'est une très grande espèce qui dépasse 20 cm de longueur. Elle est vulnérable du fait de sa faible distribution géographique mais résiste bien à la prédation humaine par un mode de vie cryptique. Toutefois, si le trafic maritime lié aux projets miniers du sud s'intensifiait, les risques de pollution chimique (pétrole, acides...) augmenteraient et cette espèce ne serait pas à l'abri de l'extinction. Son commerce devrait d'ores et déjà être réglementé.

- *Cymbiolacca thatcheri* et *Lyria grangei*, endémiques des îles Chesterfield, essentiellement de petites profondeurs lagonaires. Bien que les îles Chesterfield soient isolées et d'accès difficile, plusieurs bateaux de plaisance ainsi que des charters de collectionneurs ou autres y font escale (ESTIVAL, 1982 ; RICHER DE FORGES & PIANET, 1984).

Propositions en vue d'une réglementation territoriale de protection des volutes :

Afin de limiter l'impact de la prédation humaine sur les espèces vulnérables citées plus haut par une réglementation Territoriale adéquate et de voir si il y a lieu de demander l'inscription de certaines espèces en Annexe II de la liste CITES, il serait souhaitable d'affiner les connaissances scientifiques sur le sujet (aire de répartition, période de reproduction, densité, vitesse de croissance, pression de pêche, commercialisation...).

- les porcelaines niger :

Parmi les nombreuses espèces de porcelaines présentes en Nouvelle-Calédonie, certaines montrent des formes et des colorations particulières qui leur donnent une valeur importante. Il s'agit en fait d'anomalies dont l'origine n'est pas clairement identifiée. Deux phénomènes semblent corrélés, la rostration et la nigérisation. Ces spécimens monstrueux présentent généralement une taille plus grande que la normale, un mélanisme allant jusqu'au noir

charbonneux, des extrémités rostrées avec parfois des lèvres soudées. Les spécimens juvéniles sont toujours normaux et ces modifications apparaissent avec l'âge. Chez *C. caurica*, il a été montré que la couche mélanisée est une fine pellicule sous laquelle persiste la coloration tigrée propre à cette espèce (PIERSON & PIERSON, 1975).

Il a été suggéré une influence de la température des eaux sur le développement de ces anomalies (ROUGERIE, 1980). En effet le phénomène n'est observée qu'au sud de la Nouvelle-Calédonie et sur la côte du Queensland à la latitude du tropique du Capricorne ; ces deux localités étant baignées en hiver par des eaux de température inférieure à 21,5°C, ce stress thermique sur des populations à la limite de leurs aires de répartition provoquerait une perturbation du métabolisme avec hypercalcification et mélanisation. Toutefois d'autres hypothèses mettant en cause une pathologie liée ou non à la présence de métaux lourds dans l'eau et les sédiments ont été proposées (PIERSON & PIERSON, 1975).

Les individus présentant ce type d'anomalies sont très recherchés par les collectionneurs qui exercent une forte prédation, destructrice du milieu. Certains "chercheurs de coquillages" peu scrupuleux n'hésitent pas à casser le corail à la barre à mines ou encore à déverser des pesticides dans l'eau, dans l'espoir de faire sortir des spécimens de porcelaines niger.

La répartition des porcelaines-niger se limite exclusivement à la frange côtière du sud de la Grande Terre, entre la Baie de Saint-Vincent et le Canal de la Havannah. Des spécimens ont été trouvés sur les pentes des îlots coralliens mais jamais sur le récif barrière et au maximum à 12 m de profondeur.

Les espèces atteintes par ces transformations en Nouvelle-Calédonie sont : *Cypraea arabica*, *C. cylindrica*, *C. caurica*, *C. eglantina*, *C. mappa*.... En Australie (Baie de Keppel) ce sont *C. arabica*, *C. felina*, *C. erosa* et d'autres espèces "endémiques". La plus belle des porcelaines "niger" est sans doute *Cypraea mappa* qui est rarissime (PIERSON & PIERSON, 1975 ; CAVARD, non daté ; CHATENAY, 1977). D'après CHATENAY (1977), 38 espèces de porcelaines de Nouvelle-Calédonie auraient été observées porteuses de rostration et/ou de mélanisme.

Si ces anomalies correspondent bien à une maladie induite par les conditions du milieu et non à des malformations génétiques, leur fréquence dans les populations ne pourrait être observée que dans une zone mise en réserve. Quelle que soit l'origine de ces anomalies, ces porcelaines niger ne représentent qu'un faible pourcentage des populations des espèces concernées et ne sont donc pas menacées en temps qu'espèces. Cependant, PIERSON et PIERSON (1975) signalaient déjà que la pression de pêche sur les porcelaines et les "niger" en particulier risquait de provoquer la disparition de ces spécimens aberrants "qui n'ont plus le temps de se transformer".

En fait, l'attitude générale des collectionneurs de coquillages est très néfaste à de nombreuses espèces dans le monde et particulièrement en Nouvelle-Calédonie. L'effet le plus nuisible étant la destruction des biotopes par retournement des blocs.

- les nautilus :

L'espèce *Nautilus macromphalus* Sowerby, 1849 est endémique des eaux de Nouvelle-Calédonie. Elle est très abondante sur les pentes externes et aux îles Loyauté où elle vit entre 30 et 700 m avec un optimum de 300 et 400 m de profondeur (INTES, 1978 ; WARD & MARTIN, 1980 ; GRANPERRIN & DUFLO, non-publié). Il semble que son aire de répartition s'étende vers l'ouest jusqu'à l'Atoll de Chesterfield (RICHER DE FORGES *et al.*, 1988a ; RANCUREL, 1990a, b).

Les espèces de nautilus ont une stratégie de reproduction différente de celle des autres céphalopodes : le nombre d'oeufs est très réduit, une douzaine d'oeufs par saison (une seule ponte par an pour *N. macromphalus* ?) pendant les quelques années de reproduction. Ces oeufs, très gros (25-35 mm) sont fixés individuellement sur le substrat. En aquarium, la période d'incubation dure plusieurs mois (8-9) et pour l'instant, seul l'Aquarium de Waikiki à Honolulu a réussi à obtenir l'éclosion d'un juvénile viable (JOANNOT, 1991). Ce très faible taux de reproduction rend ces espèces vulnérables à la surpêche (WARD, 1987, 1988 ; WÜRTZ, 1989). La durée de vie des nautilus est de l'ordre de 20 ans et leur croissance est lente puisqu'ils n'atteignent leur maturité qu'au bout de 4 ans.

Sur la Grande-Terre, l'espèce est capturée au casier et commercialisée pour sa coquille auprès des boutiques de souvenirs au prix de 50 à 150 FF pièce. L'estimation des captures est difficile à faire car il s'agit généralement d'une prise accessoire pour les pêcheurs de vivaneaux. La demande augmente proportionnellement à l'activité touristique du Territoire et l'impact de la pêche n'est déjà pas négligeable sur une espèce dont la biologie est mal connue. La moyenne des captures réalisées entre 1976 et 1989 fut de 2,6 individus par casier avec une capture maximale de 44 individus dans un seul casier (GRANDPERRIN & DUFLO, non-publié).

Il est à craindre que l'exploitation de cette espèce n'augmente encore pour le marché de l'aquariophilie. En effet, le nautilus est un animal résistant, facile à transporter et particulièrement esthétique en aquarium. Pour l'instant seuls les aquariums publics sont demandeurs mais il est probable que le marché privé s'y intéressera bientôt. L'Aquarium de Nouméa a fait une demande en 1995 auprès des autorités provinciales pour que la pêche et la commercialisation de ce "fossile vivant" soit réglementée et contrôlée mais actuellement aucune décision n'a encore été prise.

Proposition : demander à ce que cette espèce soit inscrite en Annexe II de la liste CITES afin d'en réduire la demande au seul marché local.

5.1.1.2 - Vulnérabilité des stocks d'espèces exploitées et surexploitation

En Nouvelle-Calédonie les captures de la pêche professionnelle s'élèvent à environ 4000 t / an (Tab. 10) mais la pêche plaisancière est très active et reste difficile à estimer. Parmi les

espèces exploitées certaines sont vulnérables et font généralement l'objet d'une réglementation spéciale.

Tab. 10. — Statistiques des pêches maritimes professionnelles en Nouvelle-Calédonie en 1995 en tonnes (d'après le Service Territorial de la Marine Marchande et des Pêches Maritimes).

Pêche au large :	
thon et espèces associées	1 420 t
Pêche côtières :	
poissons de profondeur	37,6 t
thonidés	22 t
Pêches lagunaires :	
poissons	521,6 t
crustacés	23,2 t
mollusques	37,7 t
holothuries (poids frais)	480 t
Pêche de plaisance et vivrière (estimation)	2 500 t
Pêche des navires étrangers (ZEE)	881,3 t

- les dugongs

Le dugong ou "vache marine" figure en annexe I de la Convention de Washington. Cette protection sur le commerce international s'étend donc au Territoire Français de Nouvelle-Calédonie. La chasse de cette espèce est strictement interdite, cependant, pour respecter les traditions des populations indigènes, des autorisations de captures sont accordées aux tribus à l'occasion de certaines "fêtes coutumières". Normalement, les tribus doivent prévenir la gendarmerie de la capture d'un dugong et remplir une fiche de mensurations. D'après les statistiques issues de ces fiches, 16 spécimens auraient été capturés entre 1978 et 1984 (SYLVESTRE & RICHER DE FORGES, 1985). Depuis la provincialisation, en 1988, le suivi de ces captures semble s'être relâché et il n'y a plus de données fiables. Dans la Province Nord, les chefs coutumiers se sont élevés contre certains abus dans la capture et l'utilisation de la chair de dugong. Malgré le braconnage, la prédation humaine reste très limitée et il semble que cette espèce ne soit pas menacée localement par la pêche. Toutefois, la subsistance de cette espèce dépend de l'état de santé des herbiers de phanérogames qui constituent l'essentiel de leur alimentation. L'hypersédimentation liée aux activités minières a déjà fait disparaître les herbiers côtiers de la côte Est réduisant ainsi les pâturages des dugongs. Par ailleurs, la Nouvelle-Calédonie se situe à la limite de l'aire de répartition du Dugong ce qui le rend sans doute plus vulnérable aux perturbations naturelles et anthropiques.

Ils sont également dérangés par les bruits de bateaux à moteur (et de jet-ski) et deviennent rares dans les zones où le trafic est trop intense, c'est à dire dans un rayon de 10 milles autour de la presqu'île de Nouméa.

Des campagnes de sensibilisation sont régulièrement menées par les Associations de protection de l'Environnement et plus récemment par le Service de la Pêche de la Province Sud (GARRIGUE, 1994b).

- les tortues

Dans le Pacifique, la tortue est traditionnellement pêchée pour sa chair et sa carapace. A l'échelle du Pacifique, les espèces sont menacées par une demande de viande sur les marchés asiatiques et l'augmentation des captures "accidentelles" dans les filets dérivants. Certains pays (Indonésie) exploitent commercialement les oeufs de tortues et ont une industrie de transformation de l'écaille. Autrefois, l'écaille de tortues a beaucoup été utilisé en ébénisterie pour les incrustations sur des meubles précieux et pour la fabrication de bijoux, boîtes et flacons, éventails et peignes. Cet usage s'est poursuivi jusqu'aux années 1950. Malgré l'existence de matières plastiques de substitution, il existe encore une forte demande d'écaille véritable pour la restauration des meubles anciens et pour les montures de lunettes (ANONYME, 1997a, b).

La législation sur la capture des tortues sur le Territoire est actuellement la suivante :

- la capture de toutes les espèces est interdite du 1er novembre au 31 mars ;
 - sont interdits en tout temps la destruction des nids, la récolte et la vente des oeufs ;
- l'importation, la vente, l'achat et l'exportation des tortues, vivantes ou mortes ou de parties ou produits obtenus à partir de ces animaux (carapaces, écailles).

Des dérogations peuvent être délivrées pour des récoltes scientifiques ou à l'occasion de fêtes coutumières. Cette réglementation n'a jamais été ni admise, ni appliquée dans la Province des îles où les tortues sont capturées toute l'année sans autorisation et où les oeufs sont consommés.

Quatre espèces de tortues de deux familles différentes fréquentent les eaux de Nouvelle-Calédonie : Chelonidae, *Eretmochelys imbricata* dite "bonne écaille", *Chelonia mydas* "tortue verte", *Caretta caretta* "grosse tête" ; Dermochelidae, *Dermochelys coriacea* "luth".

Des données sur la biométrie et la ponte des tortues (essentiellement la verte) ont été acquises lors de missions aux îles Huon et Surprise (PRITCHARD, 1987 ; LABOUTE, 1989b ; HAMEL, 1991, 1992 ; GARRIGUE, 1994). Les principales aires de pontes se situent au nord de la Nouvelle-Calédonie, dans les "récifs d'Entrecasteaux" (îles Huon et Surprise), sur les îlots sableux (motu) de la couronne des atolls de la Surprise (Surprise, Fabre, Le Leizour) et sur l'île Huon (HAEBERLE, 1952 ; PISIER, 1979 ; RICHER DE FORGES & BARGIBANT, 1985 ; HAMEL, 1992). Il s'agirait de l'un des principaux lieux de pontes de tout le Pacifique pour la tortue verte. Cette seule constatation devrait conduire à la mise en réserve de ces deux atolls.

En novembre-décembre, pendant la pleine saison de pontes, il a été observé jusqu'à 300 tortues par nuit sur l'île Surprise et 105 par nuit en janvier à l'île Huon. Les pêcheurs des îles Belep s'y rendent pour capturer des tortues et en rapportent à chaque voyage de 15 à 30

individus, sans tenir compte de la réglementation en vigueur. Ce sont généralement des animaux de taille moyenne, plus faciles à transporter, qui sont consommés (HAMEL, 1992). L'île Surprise, plus proche de la Grande Terre et des îles Belep est visitée soit par des pêcheurs soit par des plaisanciers. Les tortues y sont moins nombreuses qu'à Huon car elles y seraient plus souvent dérangées (LABOUTE, 1989 ; ASNNC, 1989). Au cours des missions réalisées sur ces îles, des marquages ont eu lieu et les recaptures permettront de comprendre les relations entre les stocks de tortues vertes qui pondent en Nouvelle-Calédonie et ceux d'Australie et des îles Fidji. Les marquages ont concerné 48 tortues en janvier 1989, 265 en décembre 1991 et 140 individus en décembre 1992 (ASNNC, 1993).

La mortalité naturelle est très élevée : les prédateurs naturels des jeunes tortues sont les oiseaux (*Fregata minor*, *F. ariel*), les crabes (*Ocypode* sp.), les requins (*Carcharinus melanopterus*). Aux causes de mortalité naturelle il faut ajouter les tortues elles mêmes qui fréquemment détruisent un autre nid en voulant creuser le leur. Les plaques de "beach-rock" qui longent les plages de ces îlots constituent des obstacles difficiles à franchir pour les tortues déjà épuisées par la ponte de telle sorte que certaines, surprises par la marée basse, meurent avant d'avoir réussi à franchir ces barrières rocheuses.

Les "motu" de l'atoll de Chesterfield (île Loop, île Longue, îlot Renard) sont également des lieux de pontes pour les tortues mais ils sont beaucoup moins bien connus du fait de leur isolement (RANCUREL, 1973 ; CONDAMIN, 1977 ; SINTES, 1991). Lors de la mission de 1991, 425 traces de tortues furent observées sur les îlots du Mouillage, l'île Loop et l'île Longue (GEERMANS, 1993).

A plusieurs reprises, des tortues marquées en Australie (Heron Is.) ont été retrouvées sur l'île Surprise. La destination des tortues écloses en Nouvelle-Calédonie demeure totalement inconnue (PRITCHARD, 1987).

Ces tortues marines sont toutes inscrites en annexe I de la liste CITES de la Convention de Washington. Il semble cependant que le braconnage soit fréquent (ASSNC, 1991).

Il semble que l'espèce *Caretta caretta* niche sur l'atoll de Beautemps-Beaupré, sur les îlots de la côte ouest, à l'île des Pins et dans les îlots de l'atoll d'Ouvéa (PRITCHARD, 1987).

Les résolutions adoptées par "The second meeting and workshop of the regional marine turtle conservation programme (RMTCP)" qui s'est tenu à Nouméa en août 1991 concernent pour la Nouvelle-Calédonie : l'encouragement des campagnes d'informations menées par l'Association de la Sauvegarde de la Nature Néocalédonienne, la poursuite des recherches sur les importants lieux de pontes de ce Territoire, la stricte application des textes en matière de conservation et la lutte contre le braconnage.

La plupart des rapports des missions d'études des tortues aux îles Surprises, Huon ou Chesterfield recommandent la mise en réserve de ces lieux exceptionnels (ASNNC, 1991). Ces conseils n'ont pour l'instant pas été pris en considération par l'Etat français qui est directement responsable de ces petites dépendances du Territoire de Nouvelle-Calédonie.

- les bèches de mer :

Dans l'Indo-Pacifique, certaines holothuries sont consommées sous la dénomination de "bèches-de-mer" ou "trévang". Les principaux amateurs de ces échinodermes sont les asiatiques qui utilisent les téguments, les muscles longitudinaux et certains organes, soit crus, soit cuits et séchés (CONAND, 1994). Parmi les quelques 300 espèces recensées de la région indo-pacifique, une douzaine sont exploitées commercialement (ANONYME, 1995e).

En Nouvelle-Calédonie, la pêche aux bèches-de-mer existe depuis le XIX^{ème} siècle sous une forme artisanale. Les espèces commerciales sont par ordre de valeur décroissante : *Holothuria (Microthele) fuscogilva*, *H. (Microthele) nobilis*, *H. scabra*, *Actinopyga miliaris*, *A. echinites*, *A. mauritiana*, *Thelenota ananas*, *Holothuria atra*, *H. fuscopunctata*, *Thelenota anax*.

Toutes ces espèces ont fait l'objet d'études de leur biologie et de la dynamique de leurs populations pour déterminer les paramètres nécessaires à la gestion des stocks (INTES & MENU, 1979 ; CONAND, 1989). La plupart d'entre elles sont sédentaires et fréquentent les fonds meubles des lagons où elles jouent un rôle très important dans l'évolution sédimentaire. Elles sont essentiellement détritivores et utilisent la couche superficielle du sédiment bien que certaines espèces s'y enfouissent (*Bohadschia*). La bioturbation due à leurs déplacements et à l'ingestion continue de sédiments (environ 50 à 100 g de sédiment / individu / jour), dans lesquels elles digèrent détritiques, méiofaune, microflore et microfaune, modifie les caractéristiques physico-chimiques des fonds. Une surpêche de ces espèces aura donc des conséquences directes sur l'ensemble des écosystèmes lagunaires de fonds meubles.

La récolte des holothuries se pratique soit en pêche à pied, soit en plongée libre et ne demande pratiquement pas d'investissement. La préparation du trévang demande quelques manipulations, éviscération, fumage, séchage. Les principaux pays importateurs sont Hong Kong, Singapour et Taiwan.

En Nouvelle-Calédonie, une centaine de pêcheurs sont actuellement en activité, particulièrement sur la côte nord-est de la Grande Terre. Depuis 1984, la production annuelle se situe aux alentours de 100 tonnes d'holothuries séchées et il n'est pas certain que les lagons puissent supporter cette ponction très longtemps. Les valeurs de "prise maximale soutenue" estimées pour les lagons sont de l'ordre de quelques dizaines de kilogrammes par hectare ; "Ces valeurs mettent bien en évidence le caractère limité et donc fragile de ces ressources." (CONAND, 1994). Or, il n'y a pas de réglementation des pêches visant les bèches-de-mer.

D'après CONAND (1994) la protection des stocks d'holothuries pourrait se faire par l'un des moyens suivants :

- définition d'une taille minimale pour chaque espèce ;
- fixation de quotas basés sur les estimations de densité ;
- restrictions de zones de pêche avec rotation.

Il convient de noter qu'une fermeture périodique n'est pas envisageable car toutes les espèces n'ont pas les mêmes périodes de reproduction.

Cependant l'auteur admet qu'aucune de ces solutions n'est applicable en Nouvelle-Calédonie où cette activité est pratiquée par les tribus. La seule réglementation réaliste semble se situer au niveau du traitement des bèches-de-mer pour lequel il serait possible d'instaurer une licence professionnelle et de fixer des quotas à l'exportation.

Le troca :

Le troca (*Trochus niloticus*) est un mollusque gastéropode exploité dans le Pacifique sud-ouest pour la nacre de sa coquille. C'est une grosse espèce (diamètre > 130 mm) dont la distribution naturelle se situe dans l'indo-ouest Pacifique, des îles Andaman à l'ouest aux îles Fidji à l'est, jusqu'à 25 m de profondeur. Depuis 1927 plusieurs introductions volontaires ont eu lieu dans les archipels des Mariannes, des Marshall, des Samoa et jusqu'en Polynésie Française (BOUR, 1990). La seule nuisance constatée de ces introductions a été une compétition avec l'espèce *Turbo setosus* qui exploite la même niche écologique.

L'habitat favorable à cette espèce se situe dans les faibles profondeurs (0-10 m), sur les platiers des récifs frangeants et barrières et les zones à débris coralliens. Les trocas sont des brouteurs du gazon algal et du film de surface constitué d'algues unicellulaires et de foraminifères (BOUR, 1989). La fécondité des trocas est importante, une femelle pondant environ 10^6 oeufs pendant la saison chaude. La durée de la phase larvaire planctonique est de l'ordre de la semaine. La taille à la maturité sexuelle est de 54 à 65 mm pour un âge moyen de 2 ans. Le plus grand spécimen observé en Nouvelle-Calédonie a été récolté à Ouvéa : 165 mm, d'âge estimé 20 ans. La taille minimale des captures a été fixée entre 90 et 120 mm. Lors des comptages, la densité moyenne observée a été de 176 individus / ha. La superficie estimée des fonds durs favorables aux trocas est de 1800 km², soit moins d'un dixième de la superficie des lagons de la Grande Terre. La population totale de trocas vivants sur ces fonds a été estimée à 16.10^6 individus, soit 3 800 tonnes dont 45 % serait exploitable en regard de la législation en vigueur (BOUR, 1989).

La pression de pêche sur cette espèce est très élevée en Nouvelle-Calédonie où le ramassage se pratique soit à pied soit en plongée libre. Les captures ont oscillé en fonction des autres activités économiques du Territoire et en particulier de l'exploitation minière qui, dans les années soixante, mobilisa toute la population active. La production a atteint 1915 t, au moment de la crise minière en 1978, soit environ 1/3 de la production mondiale. La production moyenne entre 1985 et 1994 a été de 222 t / an et de 274 t pour l'année 1994 (ANONYME, 1996).

Les captures réelles se situent le plus souvent au-dessus des captures optimales calculées d'après les paramètres de taille, de poids et d'âge. La facilité de récolte rend les stocks de cette espèce fragiles. BOUR et HOFFSHIR (1985a, b) préconisent de fixer pour la Nouvelle-Calédonie un quota de pêche maximale annuel de 400 t de coquilles. Cette notion est difficile à faire appliquer par les pêcheurs et suppose une surveillance continue des récoltes. Par ailleurs la récolte des trocas est une activité réalisée en tribus et il n'existe pas réellement de pêcheurs

professionnels dont on pourrait réduire le nombre. C'est donc la fixation de tailles limites (9-12 cm) qui semble le mieux adapté aux conditions d'exploitation du troca en Nouvelle-Calédonie.

- *Amusium balloti* : Ce bivalve de la famille des Pectinidae, appelé à tort "coquille St Jacques" en Nouvelle-Calédonie, fait l'objet d'une exploitation commerciale par chalutage dans le lagon de la Grande Barrière de Corail australienne et sur la côte ouest australienne (DREDGE, 1988). L'espèce fut mise en évidence par des campagnes d'exploration scientifiques de l'ORSTOM aux îles Chesterfield, Bellona, sur le banc Lansdowne (RICHER DE FORGES & PIANET, 1984 ; RICHER DE FORGES *et al.*, 1988a) et surtout dans le grand lagon Nord de la Nouvelle-Calédonie (RICHER DE FORGES & BARGIBANT, 1985). A partir de 1986, plusieurs campagnes de chalutages confirmèrent l'abondance de cette espèce sur les fonds du lagon Nord et permirent de réaliser une estimation des stocks et d'acquérir les paramètres biologiques indispensables à leur gestion (CLAVIER & LABOUTE, 1987 ; CLAVIER, 1991).

Amusium balloti est apte à se reproduire lorsqu'il atteint 75 mm de hauteur, sa croissance est très rapide, 80 mm au bout d'un an, soit 80 % de sa taille maximale. Le stock se répartit sur une superficie d'environ 700 km² de fonds sablo-vaseux chalutables et sa biomasse moyenne est estimée à 3 000 tonnes.

Comme le fait remarquer CLAVIER (1991), il est paradoxalement rare qu'une étude scientifique d'une ressource précède son exploitation et il faut espérer que les contraintes économiques de cette nouvelle pêcherie permettront le respect des caractéristiques définies par l'étude.

On ne connaît pas pour cette espèce la relation stock-recrutement et il y a donc lieu d'aborder avec précaution l'exploitation de cette nouvelle ressource pour la Nouvelle-Calédonie. Une limitation de l'accès à la ressource pourrait s'effectuer par les moyens suivants : fixer une limite de taille des captures à 70 mm de longueur pour maintenir un bon niveau de reproduction (cette limite est de 90 mm au Queensland) ; fermer ou limiter la pêche entre juin et octobre pour assurer la ponte, attribuer des licences de pêche à un nombre réduit de bateaux. En revanche, la définition d'un quota de pêche semble délicate en raison de la faible durée de vie des individus et de l'apparente fluctuation naturelle du stock.

La Province Nord de la Nouvelle-Calédonie a passé un contrat d'exploitation avec une société de pêche australienne et depuis 1995, deux petits chalutiers exploitent cette espèce. Une dérogation a été accordée à cette pêcherie pour exploiter cette ressource avec des engins traînants, ce qui est un procédé prohibé dans les lagons de Nouvelle-Calédonie.

Aucune évaluation de l'impact des chalutages sur les peuplements benthiques n'a eu lieu. Cette technique est cependant connue pour être destructrice puisqu'elle arrache les organismes benthiques sessiles (éponges, gorgones, algues) et provoque une importante mortalité dans les captures annexes à l'espèce cible (HUTCHINGS, 1990 ; WANTIEZ & KULBICKI, 1991 ; ENGEL & KVITEK, 1997). Parmi les espèces du mégabenthos présentes dans les traits de chalut expérimentaux réalisés sur les fonds à *Amusium* on observe : des algues (*Caulerpa*,

Halimeda, *Sargassum*, *Turbinaria*), des spongiaires (environ 23 espèces), des octocoralliaires (5 espèces), des mollusques (10 espèces dont *Cassia cornuta* et *Murex ramosus*), des crustacés (Calappidae, Portunidae, Peneidae dont *Penaeus longistylus* et *Metapenaeopsis* sp.), des échinodermes (4 oursins, 18 holothuries, 11 étoiles de mer, 2 crinoïdes), des poissons (Synodontidae, Nemipteridae, Mullidae, Bothidae, Balistidae, Platycephalidae...) (WANTIEZ, 1994), des serpents marins (*Acalyptophis peroni*, *Aypisurus laevis*, *A. duboisii*, *Disteira major*, *Hydrophis elegans*, *H. sp.*, *H. cöggeri*) (CLAVIER & LABOUTE, 1987 ; CLAVIER *et al.*, 1990 ; INEICH & RASMUSSEN , 1997).

- *les poissons de profondeur* : Au cours de la campagne réalisée en 1980 par un bateau de pêche japonais, le "Kaimon maru" la présence d'importants stocks de poissons de profondeur fut mise en évidence sur le sommet des monts sous-marins de la ride de Norfolk. La campagne d'exploration CHALCAL 2 confirma l'abondance de certaines espèces sur les bancs Aztèque (maintenant dénommé Antigonina sur les cartes marines), Éponge (= mont B) et Kaimon-maru. Les résultats furent très spectaculaires et tout à fait inhabituels pour une zone tropicale : 94 t / j sur le mont C et 34,7 t / j sur le mont Éponge . Les espèces d'intérêt commercial sont *Beryx splendens*, *Pseudopentaceros richardsoni* et *Hyperoglyphe antarctica*. Ces espèces firent l'objet d'une pêcherie de 1988 à 1991 par un armement franco-japonais. Une étude halieutique de 1991 à 1993 permis de préciser la biologie de *Beryx splendens* et de définir les paramètres d'exploitation des stocks (LEHODEY, 1994).

La pêche des espèces de profondeur est relativement nouvelle et dans la région concerne des stocks vierges d'espèces vivant en eaux froides et dont la croissance est lente. Par ailleurs, ces poissons sont concentrés sur le sommet des monts sous-marins de dimensions réduites où leur capture perturbe l'écosystème. Une pêche par chalutages, très destructrice pour le benthos (gorgones, anthipathaires, spongiaires), ne pourrait se maintenir sans détruire la ressource. Les pêches à la palangre de fond pratiquées par la pêcherie ne sont pas directement destructrices sur le benthos mais la ponction réalisée sur des communautés aussi restreintes géographiquement a un impact mal évalué.

Dans l'hypothèse où les *Beryx splendens* capturés sur les monts sous-marins des rides de Norfolk et des Loyauté appartiendraient à un seul et même stock, la biomasse vierge exploitable a été estimée à environ 2000 t (LEHODEY, 1994). Pendant les années d'exploitation, la prise maximale soutenue s'est située entre 395 et 468 t / an et aucune baisse importante des rendements, signe de surpêche, n'a été observée. La campagne HALIPRO 2 a montré que cette espèce s'étendait en profondeur sur les pentes des monts sous-marins jusqu'à 900 m (GRANDPERRIN *et al.*, 1997a, b).

- *les requins* : Comme partout ailleurs dans l'Indo-Pacifique, les requins sont pêchés en Nouvelle-Calédonie par les thoniers palangriers. La société "Navimon" rapporte de 150 à 200 kg d'ailerons de requins par semaine et sa concurrente, "Calédonie Toho" environ 120 kg par

semaine également. Séchés et traités localement, ces produits sont exportés vers Hong Kong et Taiwan. Le requin Mako est la seule espèce qui soit utilisée en plus pour sa chair. Il a été envisagé d'utiliser aussi la peau et le foie des requins mais cela ne semble pas rentable en Nouvelle-Calédonie où la main-d'oeuvre est très chère ; les requins sont donc le plus souvent rejetés à la mer, amputés de leurs ailerons. Par ailleurs, les requins Tigres sont activement recherchés pour leurs dents utilisées en joaillerie.

- *l'exploitation des coraux :*

Toutes les espèces de scléactiniaires qui composent les récifs coralliens sont inscrites sur la liste CITES en annexe II.

Dans différentes régions de l'Indo-Pacifique, les scléactiniaires constructeurs sont ou ont été exploités soit pour en extraire le calcaire utilisable comme matériau de construction (four à chaux à La Réunion) soit comme objets décoratifs, vendus aux touristes comme souvenir soit comme "meubler d'aquarium" (WELLS *et al.*, 1994). L'exploitation des coraux est une nuisance très destructrice qui s'ajoute aux perturbations naturelles du milieu (cyclones, *Acanthaster*, blanchissement) et peut induire la mort d'une zone récifale. Il est peu probable que les gains à court terme d'une telle exploitation justifient la dégradation d'un récif avec ses conséquences à long terme au niveau de la biodiversité, de l'équilibre sédimentaire ou de l'aspect esthétique ?

Vente des coraux dans les "curios" : Les principaux genres touchés par cette utilisation décorative des coraux sont : *Acropora*, *Fungia*, *Pocillopora*, *Heliopora*, *Tubipora*, *Stylophora*, *Seriatopora*, *Pectinia* et *Pavona*. La diversité spécifique de ce qui est commercialisé est variable selon les régions du Pacifique et la clientèle : aux Philippines elle est de 30 espèces, aux Fidji de 56 espèces dont la plupart sont des coraux branchus (*Acropora*), par contre, en Australie, c'est l'espèce *Pocillopora damicornis* la plus touchée. L'estimation mondiale de l'exploitation corallienne pour la décoration est de $1,5 \cdot 10^6$ coraux / an en 1990 exporté principalement vers les États-Unis, l'Europe et le Japon (WELLS *et al.*, 1994). Les zones les plus exploitées sont par ordre décroissant : l'Archipel des Philippines, environ 600 t / an, utilisant des stocks constitués avant l'interdiction de 1977 ; l'Indonésie, plus d'un million de colonies coralliennes en 1990 ; les Fidji, plus de 100 t / an. Toutes ces statistiques proviennent d'un contrôle à l'exportation, mais il est difficile de quantifier la vente directe aux touristes pratiquée dans la plupart des îles. Une nouvelle mode se développe, l'utilisation des coraux vivants pour garnir les aquariums. Les principaux genres concernés sont *Catalaphyllia*, *Euphyllia*, *Goniopora* et *Favites*. Les principaux importateurs se situent aux États-Unis et en Europe et les quantités importées augmentent rapidement.

Les exploitations de coraux atteignent rapidement le seuil de surpêche car les espèces concernées ont des croissances très lentes, d'une dizaine de centimètres par an pour les coraux

branchus, mais de l'ordre du centimètre seulement pour les coraux massifs (*Montastrea*, *Platygyra*). La recolonisation d'un milieu exploité peu prendre des décennies.

En Nouvelle-Calédonie, une tentative pour réguler ce genre de pêche a été faite en 1982 en réglementant la pêche et le commerce et en associant un suivi scientifique des exploitations autorisées (JOANNOT, 1990). La pêche s'est développée à partir de 1980 avec la récolte de coraux branchus vendus dans les "curios". Sur la période 1981-83 la société SEPAL EXOTIC FISHING était le principal exploitant. En 1983 une réglementation interdisait la pêche, le transport et la commercialisation des coraux (à l'exception des genres *Fungia* et *Acropora* de moins de 300 g) sur le Territoire de Nouvelle-Calédonie (arrêté n°83-003/CG). Cependant des dérogations à cet arrêté permirent à un commerce des coraux de perdurer. De 1984 à 1990 le nombre d'autorisations de pêche, délivrées par le Service de la Marine Marchande et des Pêches Maritimes, n'a pas dépassé 5 par an. La production annuelle sur la même période aurait varié de 101 à 280 t/an. Pour cette période d'exploitation, la société "Acropora" installée sur la presqu'île de Uitoe a exploité essentiellement des Faviidae (*Platygyra*, *Leptoria*, *Favia*, *Favites*).

A partir de 1984, une zone de pêche autorisée, à titre expérimental, est définie sur la zone interne du récif barrière du lagon SO, le récif Tetembia, et un contrôle scientifique est établi. A partir de 1985, au vu des premiers résultats scientifiques, la liste des genres autorisés à la pêche est modifiée et en particulier, le commerce des espèces de la famille des Faviidae est interdit sous forme brute (blanchis ou décapés). En effet il s'est révélé que c'est sur cette famille que porte la plus forte prédation (280 t en 1988). Ces coraux massifs aux squelettes formant des motifs en méandres sont usinés pour finir sur une étagère sous forme de boules ou de pieds de lampes. En 1987, la réglementation se complète en fixant une taille minimale de 25 cm au diamètre des colonies de Favidae autorisés à la pêche et fermant celle-ci pendant la période de reproduction, d'octobre à décembre. D'après les arrêtés n°84-180/CG du 9/5/84 et n°87-220/CE du 12/11/87, les genres de coraux autorisés à la pêche professionnelle sur le récif Tetembia sont : *Acropora*, *Seriatopora*, *Pocillopora*, *Stylophora*, *Millepora*, *Montipora*, *Acrhelia*, *Hydnophora*, *Merulina*, *Pavona*, *Porites*, *Fungia*, *Herpolitha*, *Polyphyllia*, *Leptoria* et *Platygyra*.

Les résultats du suivi de l'exploitation "Acropora" ont été les suivants (JOANNOT, 1990) :

Années	Production	Prise par Unité d'Effort (P.U.E)
1985	182 t	63 kg /h/plongeur
1988	280 t	99,7 kg/h/plongeur

Des études de dynamique des populations sur la famille des Faviidae ont permis d'estimer le stock pour le récif Tétembia (520 ha) à 2 795 t et la biomasse exploitable à 655 t. La récolte de cette exploitation était donc très importante puisqu'elle atteignait (valeur déclarée) environ 10 %

de la biomasse. Or, la croissance des colonies massives est très lente, de l'ordre de 0,5 à 1,5 cm / an en diamètre et l'âge des grandes colonies exploitées est estimé à 60 ans. Au vue de ces résultats, un quota de pêche aux Faviidae fut fixé à 30 t / an et fort heureusement cette exploitation s'est arrêtée d'elle même en 1990 avant la destruction du stock de Faviidae de ce récif.

Dans certains autres pays coralliens (Philippines, îles Maldives...), la récolte des coraux vivant est maintenant totalement prohibée (WOOD & WELLS, 1988). En Nouvelle-Calédonie, un nouveau type de demande d'exploitation corallienne vient d'apparaître. Il s'agit des "pierres vivantes" pour faire des décorations d'aquariums. Ce sont généralement des Lithothamniées encroûtantes fixées sur des coraux morts. La demande n'est pas négligeable, environ 25 t / an, et aucune législation ne régleme les algues calcaires. Par contre, les coraux morts sont soumis aux mêmes règles que les vivants pour ce qui est du commerce international.

L'utilisation des coraux en médecine osseuse :

Les coraux construisent des squelettes calcaires qui présentent une grande diversité de formes et d'architectures. Ils sont formés d'un réseau de carbonate de calcium sous forme d'aragonite comprenant de nombreuses microcavités.

Depuis quelques années, des recherches médicales ont permis d'utiliser les squelettes de certaines espèces de coraux en chirurgie osseuse. L'analogie entre la texture des os humains et celle des coraux est grande : structure alvéolaire et composition chimique à base de carbonates de calcium et de magnésium.

Les pièces coralliennes sont façonnées à la forme voulue et utilisées pour remplacer des fragments d'os.

Rapidement la moelle osseuse envahit le corail, une vascularisation s'insinue dans les cavités, la substance corallienne est résorbée par les cellules osseuses (ostéoblastes) qui la recouvre totalement et prennent progressivement sa place.

Le substitut de greffon osseux est utilisé avec succès dans les domaines chirurgicaux suivants : orthopédique, maxillo-faciale, plastique...

Le matériau corallien subit au préalable une purification et une stérilisation sous rayonnement gamma puis est façonné en granules, billes, vis ou autres formes de prothèses.

En Nouvelle-Calédonie, les principaux genres qui ont fait l'objet d'expérimentation médicale sont : *Acropora*, *Porites* et *Lobophyllia*.

En Nouvelle-Calédonie, l'exploitation des coraux à des fins médicales représente environ 500 kg / an, prélevés sur les récifs par la société calédonienne Médicorail pour le compte de la firme française INOTEB. La demande de permis CITES pour l'exportation de ces coraux "médicaux" et les demandes à des fins touristiques représentent environ 1200 kg / an.

- *Le crabe de cocotier* :

Le crabe de cocotier, *Birgus latro* est un énorme (> 3 kg) crustacé anomoure de la famille des Coenobitidae. Il passe la plus grande partie de sa vie sur terre et ne dépend du milieu marin que pour sa phase larvaire. Il est très apprécié pour sa chair, sa capture est facile et ne demande aucun investissement en matériel ce qui fait que les populations de cette espèce sont surexploitées dans de nombreuses localités (Vanuatu, Guam) de son aire de répartition indo-ouest-Pacifique (SCHILLER *et al.*, 1991).

En Nouvelle-Calédonie, il ne vit qu'aux îles Loyauté, à l'île des Pins et au sud de la Grande Terre dans les zones de récifs soulevés et il pénètre parfois de plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres. Le déclin de l'espèce est dû à une surexploitation directement liée à la croissance démographique humaine dans les îles. Aux îles Loyauté, les crabes sont attirés par des appâts (noix de coco) puis capturés à la main de nuit pendant une saison de "pêche" qui dure environ 8 mois par an. A Lifou, la récolte annuelle est estimée entre 39 000 et 51 000 crabes pour un stock estimé à 780 000 individus + ou - 10⁵, soit 27,5 crabes / ha (El KADIRI-JAN, 1995). Cet auteur montre que pour l'île de Lifou, le crabe de cocotier n'est pas surexploité, certainement grâce au relief accidenté des zones de pêche et au nombre d'habitants réduit. Toutefois l'attention est attirée sur la vulnérabilité de cette espèce.

- *Les langoustes* :

En Nouvelle-Calédonie, les langoustes et les cigales de mer font l'objet d'une petite pêche artisanale pratiquée en plongée principalement par la communauté polynésienne sur la Grande Terre et par les mélanésiens aux Loyauté et à l'île des Pins (PRESCOTT, 1980). La "pêche récréative" a probablement autant d'influence sur le milieu que celle des "professionnels". Il n'existe toutefois ni étude ni statistiques permettant de situer l'effort de pêche. La zone aisément accessible aux bateaux de plaisance, dans un rayon de 10 milles autour de l'agglomération de Nouméa semble surexploitée. La réglementation actuelle définit une taille minimale de 9 cm de longueur du céphalothorax et la pêche des langoustes grainées est interdite toute l'année. Les études préliminaires faites par CHAUVET et WEIL (1991), JOOP (1992), GRANDIN et CHAUVET (1994), CHAUVET et FARMAN (1994) et les statistiques des pêches maritimes (ANONYME, 1990) donnent un aperçu sur l'exploitation des langoustes en Nouvelle-Calédonie. Si l'on en croit ces derniers documents, la Nouvelle-Calédonie aurait pêché en 1989, 24,7 t de langoustes et en aurait importé 1,2 t et pour 1990, ces chiffres seraient de 12,4 t et 3,3 t. PITCHER (1993) cite comme production en Nouvelle-Calédonie 10 t pour 1987.

Si l'on applique les résultats concernant les *Panulirus penicillatus* d'Enewetak à la Nouvelle-Calédonie, pour 1 600 km de récif, 120 individus par kilomètre, un poids moyen de 500 g, on obtient un stock en place de 96 t. Il s'agit uniquement d'un ordre de grandeur car aucun

comptage n'a été réalisé en Nouvelle-Calédonie ; ce tonnage potentiel est probablement sous-estimé (RICHER DE FORGES & LABOUTE, 1995). Une meilleure estimation devrait également tenir compte des quatre principales espèces présentes sur le front récifal et de leur compétition pour l'occupation de l'espace.

Généralement, les réglementations sur la pêche à la langouste utilisées dans différentes régions du Pacifique, concernent :

- une saison de fermeture de la pêche ;
- une taille minimale de capture, qui correspond à la maturité sexuelle des femelles ;
- l'interdiction de prendre les femelles grainées.

Ces mesures, si elles sont respectées, sont suffisantes pour protéger le stock, d'autant plus que la dispersion des larves est importante et le recrutement pratiquement indépendant d'une pression de pêche locale. Cependant, les difficultés viennent du fait qu'il existe une seule réglementation pour plusieurs espèces avec des caractéristiques biologiques et écologiques différentes (GEORGE, 1972). Ainsi en Nouvelle-Calédonie, faudrait-il interdire totalement la capture de la "langouste de Bourail" (*Panulirus homarus*) qui est particulièrement vulnérable du fait de son habitat très localisé à "la Roche Percée" (Bien que cette espèce ne soit pas nommément protégée, la création de la réserve de Poé protège maintenant intégralement son habitat). Par contre la législation sur la taille minimale et l'interdiction de capturer des femelles grainées semble bien adaptée pour *P. ornatus*, *P. penicillatus*, *P. versicolor* et *P. longipes femoristriga*. Il n'y a aucune réglementation sur la pêche des cigales de mer, à moins qu'elles ne soient assimilées aux langoustes par le législateur ?

Les techniques de capture sont par contre mal réglementées. Les langoustes sont le plus souvent pêchées de nuit, en plongée libre (la présence d'un équipement de plongée à l'air à bord du bateau étant passible d'amende), avec un fusil sous-marin et l'extraction de l'animal de son abri occasionne souvent des dégâts sur l'environnement corallien. Cette technique qui blesse l'animal est d'ailleurs très préjudiciable à la qualité de sa chair, une langouste qui a saigné perdant une partie de son goût. La détérioration du récif est, à long terme, néfaste aux pêcheurs, l'habitat de la ressource étant dégradé, ce qui favorise l'apparition de la ciguatera.

5.1.2 - Au niveau des écosystèmes

5.1.2.1 - Impact de l'aquaculture sur le littoral

En Nouvelle-Calédonie, une activité aquacole marine développée depuis les années 70 s'est rapidement spécialisée dans la production de crevettes pénaïdes (ANONYME, 1972). Après quelques essais portant sur *Penaeus monodon*, *P. japonicus*, *P. indicus*, *P. merguensis*, *P. semisulcatus* et *Metapenaeopsis ensis*, c'est l'espèce mexicaine *P. stylirostris* qui a été retenue pour sa vitesse de croissance élevée, même en saison froide. Les espèces existant à l'état sauvage dans les lagons de Nouvelle-Calédonie n'ont jamais fait l'objet d'un inventaire

exhaustif, mais d'après les identifications effectuées sur les récoltes réalisées au cours du programme LAGON, il y aurait de façon certaine : *P. semisulcatus*, *P. longistylus*, *P. latisulcatus*, *P. monodon*, *P. canaliculatus* et *P. merguensis* (CROSNIER, *com. pers.*).

En 1994 la production de crevettes a atteint 700 tonnes pour une superficie de bassins aquacoles de 280 ha. En 1996, 9 exploitations totalisant 430 ha de bassins ont permis une production proche de 1000 tonnes. Les sites favorables à l'installation de bassins aquacoles en arrière-mangrove ont été évalués par télédétection satellitaire à environ 6 000 ha (LEMONNIER *et al.*, 1997).

Le type d'aquaculture pratiqué est semi-intensif et nécessite un apport d'aliment. En effet, la production naturelle des bassins ne permet pas de satisfaire, et de loin, la totalité des besoins trophiques des crevettes. L'eau des bassins est renouvelée à raison de 15 à 30 % du volume par jour. Les eaux "usées" sont rejetées dans le milieu naturel directement sur la frange littorale, provoquant ainsi un apport considérable en éléments nutritifs. Pour une petite ferme d'une superficie de 35 ha et d'une charge d'environ 35 crevettes / m², le volume journalier des rejets est d'environ 70 000 m³ qui représentent par an les apports suivants dans le milieu (LEMONNIER, *com. pers.*) :

- éléments particuliers (en tonnes) :

Matière en suspension (M.E.S.)	340 t
Matière Organique (M.O)	95
Chlorophylle a	0,125
Phéophytine	0,04
Carbone organique (C)	23
Azote particulaire (N)	3,5

- éléments solubles (en kg) :

Amonium (NH ₄)	82
Nitrites et nitrates (NO ₂ , NO ₃)	14
Azote organique	1 225
Azote total (N)	1 321
Phosphate (PO ₄)	24,5
Phosphate organique	120
Phosphate total	145

Il va sans dire que ces apports représentent une perturbation du milieu naturel qui s'apparente à une pollution physico-chimique. Pour l'instant, à l'échelle des petites exploitations de Nouvelle-Calédonie, les seuls effets constatés ont été une hypersédimentation de particules fines et un envasement très localisé des zones de rejets. Par contre, en Indonésie, où des superficies de plus de 16 000 ha de bassins aquacoles fonctionnent sur d'anciennes zones de mangroves, des phénomènes d'eutrophisation ont été observés (GUELORGET *et al.*, 1996). Les écosystèmes ainsi perturbés présentent une simplification extrême, réduite aux procaryotes, toute la macrofaune benthique disparaissant.



Fig. 62. — Vue aérienne de la Baie de Chambeyron montrant la superficie relative de la baie et des bassins d'aquaculture situés en arrière de la mangrove (échelle 1/25000e ; altitude 2285 m, 26-06-1996 ; cliché n°4215 GEOBANK).

Il conviendrait donc de suivre l'évolution de la frange littorale dans les zones aquacoles et de définir un plan d'aménagement du littoral afin de ne pas atteindre dans certaines zones des concentrations critiques en effluents. Une bonne qualité des eaux littorales est essentielle puisque celle-ci est repompée pour alimenter les bassins. De plus, ces fermes sont souvent installées dans des fonds de baies calmes et peu profonds, en zone d'arrière mangrove, où le renouvellement des eaux est relativement lent, ce qui risque d'aggraver le processus d'hyper-enrichissement du milieu.

Depuis 1993, un accord passé entre les Provinces Nord et Sud et l'IFREMER sur le thème "aquaculture-environnement" a abouti à un programme d'étude de l'impact des rejets aquacoles sur l'environnement. L'ORSTOM participe à cette étude sur le site de référence situé en Baie de Chambeyron à Ouano qui est suivi depuis le début de l'exploitation en avril 1995 (GARRIGUE & BOUR, 1997), (Fig. 62).

5.1.2.2 - Impact minier sur les zones d'estuaires

L'impact minier sur les lagons : En Nouvelle-Calédonie, l'exploitation des mines de nickel à ciel ouvert laisse d'énormes quantités de remblais latéritiques qui sont entraînés par ruissellement et provoquent une forte charge des rivières en matériaux solides qui se déposent en partie dans les lagons (BIRD *et al.*, 1984). Dans les zones sous influence des mines, les récifs frangeants sont détruits par encrassement des sclérectiniaires. Les particules fines transportées jusqu'à la barrière récifale perturbent la productivité en rendant l'eau turbide. Bien que des efforts aient été faits par les sociétés minières pour stabiliser leurs remblais, ce phénomène présente une telle inertie que d'énormes quantités de matériaux continueront à parvenir dans les lagons pendant de longues années. En 120 ans d'exploitation, plus de 110 millions de tonnes de minerai ont été extraits, ce qui suppose un poids au moins 5 fois supérieur de stériles et, en conséquence, un volume de matériaux instables d'environ 300.10^6 m^3 .

La pollution chimique due aux métaux lourds contenus dans ces rejets a été très peu étudiée, mais on sait que certains organismes filtreurs tels que les ascidies concentrent les métaux et en particulier le fer, le chrome, le cobalt et le nickel (MONNIOT *et al.*, 1994).

Les effets de l'exploitation minière sur l'environnement des îles hautes sont décrits par DUPON (1986). L'impact d'une exploitation minière à ciel ouvert du type de celle existant en Nouvelle-Calédonie est complexe :

- le décapage des terrains implique une totale destruction du couvert végétal ce qui livre les sols aux atteintes directes de l'érosion, accentuée par l'absence de rétention d'eau habituellement liée à la présence des plantes ;
- les sédiments entraînés par ruissellement sont collectés dans les cours d'eau dont ils modifient le lit ;
- transportés dans les zones d'estuaires lors des fortes précipitations liées aux dépressions tropicales, ils s'étalent en formant un delta envasé, détruisant ou bouleversant les écosystèmes littoraux préexistants.

Les mesures de stabilisations des remblais de stériles sont bien tardives et ne concernent que la plus grande société (SLN). Les nombreux "petits mineurs" ne sont soumis à aucune contrainte en matière de protection de l'environnement. L'actuelle prise de conscience par les exploitants permet d'étudier des possibilités de revégétalisation des terrains miniers pour réduire l'impact (JAFFRE *et al.*, 1993).

BIRD *et al.* (1984) dénombrent 40 cours d'eau de Nouvelle-Calédonie modifiés par les dépôts provenant de l'extraction, soit environ les 2/3.

Certains bassins comme celui de la Ouenghi (245 km^2) ont été totalement perturbés par l'activité minière et ont vu se former un "delta anthropique" due à l'arrivée dans le lagon d'un apport sédimentaire estimé à 10^6 m^3 . Ces deltas progressent vers l'intérieur du lagon, de 300-400 m sur un front de 3 km en 28 ans dans le cas de la Ouenghi. Dans ces zones, les récifs frangeants ont été tués et ont totalement disparu sous plusieurs mètres de sédiments.

CHEVILLON (1997) a montré que dans le cas des grandes rivières de la côte Est il se formait dans les estuaires un bouchon vaseux qui ralentissait l'arrivée des particules fines dans le lagon.

L'exploitation minière a ainsi un impact qui dépasse de loin les sites d'extraction et perturbe les écosystèmes terrestres et marins sur le long terme (plusieurs décennies). Il est donc impossible de dissocier les processus érosifs et les perturbations des écosystèmes terrestres de leurs effets sur le milieu marin. Au-delà de l'aspect inesthétique de la dégradation minière, l'impact le plus grave a été une réduction de la biodiversité. En milieu terrestre la flore et la faune ont été totalement détruites sur d'importantes superficies de telle sorte que certaines espèces à répartition géographique limitée ont certainement disparu. En milieu marin, les écosystèmes d'estuaires ont été perturbés de façon durable.

Un très important projet minier est en cours de mise en oeuvre dans le sud de la Grande Terre. En octobre 1997, la construction de l'usine pilote est commencée et s'achèvera au début de 1999. Il s'agit pour la société canadienne INCO d'extraire environ 30 000 t de nickel par an pendant 20 ans à partir des dépôts latéritiques. La teneur moyenne du minerai est de 1,60 % de nickel et de 0,16 % de cobalt. Le procédé d'extraction retenu, dit par lixiviation, consiste à dissoudre les sels métalliques par l'acide sulfurique. Les boues acides doivent ensuite être neutralisées avant d'être remises dans les excavations. Lorsque l'usine sera en pleine activité, après la phase expérimentale, cette neutralisation nécessitera environ 500 000 t de carbonate de calcium par an, que la société espère extraire des atolls soulevés des îles Loyauté. Bien que cette société prétende prendre grand soin de l'environnement, les perturbations seront nombreuses et définitives. Tout d'abord la végétation, en grande partie endémique, sera détruite sur les aires d'extraction mais aussi sur les aires de dépôts et de construction de l'usine, sans parler des dégâts occasionnés par les routes et la structure portuaire qui devra s'installer en Baie du Prony. Le lessivage des terrains latéritiques décapés augmentera l'érosion et les apports terrigènes dans le lagon au risque de détruire les formations coralliennes littorales qui bordent l'estuaire de la Koué (cf. Rapport de l'Étude d'impact, ANONYME, 1995b).

Cet exemple est assez caractéristique de graves perturbations de l'environnement terrestre et marin liés à la destruction du couvert végétal dans plusieurs îles du Pacifique (Papouasie Nouvelle-Guinée, Fidji, Salomon, Vanuatu). C'est un problème très général qui montre que les processus de dégradation du milieu marin côtier sont indissociables des processus terrestres situés en amont. Il est évident que la valeur patrimoniale des paysages et des écosystèmes n'est pas prise en compte dans l'évaluation d'un tel projet minier.

- Échouement de minéralier :

La Nouvelle-Calédonie est un pays minier depuis 1877 et se situe environ au 5ème rang mondial des pays producteurs de nickel. Les principales mines actuellement exploitées se situent

sur la côte Est de l'île et le minerai brut est transporté par voie maritime jusqu'à l'usine de Nouméa.

Le 26 octobre 1992, le minéralier "*Manylad U*" s'échouait sur un haut fond situé dans le chenal de la Havannah. Une brèche ouverte dans la coque laissa échapper du minerai. On observe dans cette zone corallienne de forts courants de marée pouvant entraîner des polluants vers la réserve Merlet située à proximité.

Une plainte contre X fut déposée auprès du Tribunal de Nouméa pour "pollution marine consécutée à l'immersion de matériaux ou substances à partir d'un navire". L'enquête demandée par le Tribunal donna lieu à une étude d'impact confiée au sédimentologue de l'ORSTOM (CHEVILLON, 1992).

47 % du minerai déversé était constitué de fractions fines (< 63 microns) très favorable à une dilution et à un transport rapide par les courants. La répartition des éléments grossiers, sables, graviers, blocs, déposés sur le fonds fut cartographiée. Le volume des éléments grossiers déversés dans le milieu fut estimé à 1 750 m³ soit environ 2 450 tonnes.

Il semble que l'impact sur les peuplements se soit limité à la zone d'épandage lors de l'échouement sur laquelle la faune fut détruite par enfouissement sur environ 4500 m². Aucune trace des 1 880 tonnes de particules fines n'a été observée alentour.

L'impact de cet accident maritime est donc très faible mais il attire l'attention sur le risque de faire naviguer de grosses unités en zone corallienne mal hydrographiée et par des chenaux présentant de forts courants. Dans ce cas il ne s'agissait que d'une pollution particulière mais un échouement avec fuite de substances chimiques (pétrole, acides...) aurait des effets catastrophiques.

5.1.2.3 - Impact urbain : aménagement du littoral

En Nouvelle-Calédonie, les deux tiers de la population (environ 120 000 habitants) se concentrent autour de la presqu'île de Nouméa (60 % de la population du Territoire est localisée sur environ 1 % de sa superficie). C'est donc pratiquement la seule zone du Territoire pour laquelle des perturbations liées à l'impact urbain sur l'environnement littoral sont observées avec une grande ampleur. Il s'agit soit des rejets de déchets liés aux activités humaines, effluents urbains ou industriels, soit de modifications de la ligne de rivage par des aménagements hôteliers, routiers ou portuaires.

- Pollution pétrolière

La réglementation maritime impose aux bateaux de fort tonnage, dont les gros pétroliers, de pénétrer dans le lagon par la Passe de Boulari pour limiter les risques d'échouement. Cependant les petits pétroliers (moins de 8 000 tonnes) qui ravitaillent la ville de Nouméa et les îles de

Vanuatu naviguant dans le lagon sud-ouest en empruntant le Canal Woodin et la Passe de la Havannah. Le 23 janvier 1997, l'un de ces petits pétroliers, le "Konému", transportant du gas oil, s'est échoué sur le récif Morouéti à la suite d'une faute de navigation. Environ une centaine de tonnes de gas oil s'est répandue dans le lagon et la nappe, dérivant sous l'effet d'un vent alizé de sud-est, atteignit les îlots Charron et Bailly, puis la côte du Mont Dore (Fig. 63). Bien que des moyens de lutte (colmatage de la brèche, barrage flottant, mousse absorbante en polystyrène) aient été mis en place rapidement (plan Polmar), ils s'avèrent insuffisants et trois jours après l'accident le restant du carburant, non évaporé et non absorbé, atteignait la mangrove de Boulari.

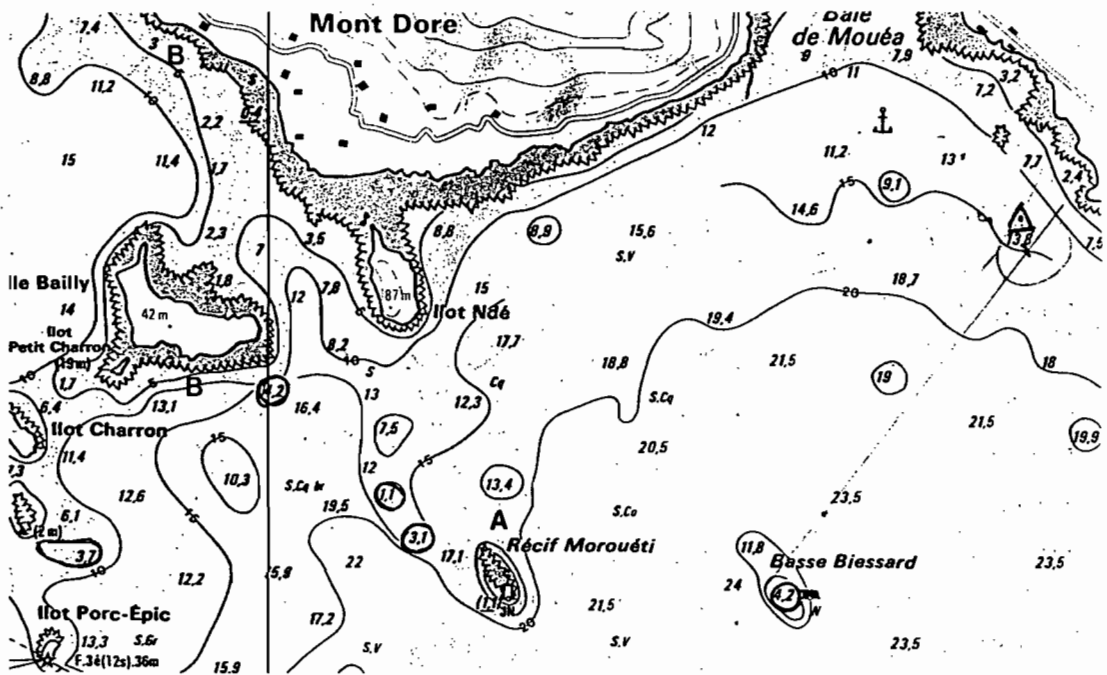


Fig. 63. — Zone du lagon Sud-Ouest de Nouvelle-Calédonie concernée par l'échouement du pétrolier "konému". A : lieu d'échouement ; B : zones d'impacts observés (d'après carte SH n°6827).

Le 28 janvier, une mission d'observation, organisée par le Service des pêches de la Province Sud, se rendit sur l'îlot Bailly, classé "réserve spéciale", pour évaluer l'impact de cette pollution sur les plages. La côte sud de cet îlot présentait des traces huileuses et certains organismes intertidaux fouisseurs comme les sipuncles étaient morts en abondance ; par endroit, dans les zones de mangroves où l'action des vagues est moindre, la totalité de la macrofaune benthique était détruite sur plusieurs centaines de mètres de côte : crustacés *Uca*, *Ocypode*, *Sesarma*, *Emerita* ; holothuries *Halodeima*, *Stichopus* ; mollusques *Littorina*, *Natica*, bivalves et chitons), sipuncles et polychètes (observations personnelles). Aucune étude n'a été envisagée pour estimer la zone totale d'impact ni effectuer un suivi du devenir des peuplements.

Cette pollution pétrolière, très limitée géographiquement, attire l'attention sur le risque potentiel de pollution chimique qui ira en augmentant avec la croissance démographique et sur l'insuffisance des moyens de lutte.

- Rejets d'égouts

La ville de Nouméa a lancé depuis 1986 des études sur l'élaboration d'un schéma directeur d'assainissement. Un contrat état-ville pour la réalisation des travaux prévoit un budget de 10 milliards de francs français sur 20 ans. Les réseaux d'assainissement sont gérés par la Société Calédonienne des Eaux (SCE). La topographie de la presqu'île de Nouméa est particulièrement accidentée, ce qui complique la réalisation du système d'épuration. Pour une superficie communale de 4 851 ha, on dénombre entre 70 et 85 bassins versants (ROUX, non publié). La configuration de cette presqu'île très découpée avec une ligne de côte d'environ 147 km nécessite la construction de plusieurs stations de retraitement des eaux usées. Bien que de gros efforts aient été consentis ces dernières années pour améliorer le réseau d'égouts qui débouchent dans le lagon, en 1995 seuls 20 % des habitations y étaient reliées, ce qui signifie que 80 % des effluents domestiques sont rejetés plus ou moins directement sur le littoral.

Les flux polluants sont caractérisés par les matières organiques et minérales, dissoutes et en suspension, les sels minéraux (ammonium, nitrate, phosphate) et la charge bactérienne. Environ 60 % du réseau évacuateur de la ville est de type unitaire ("tout-à-l'égout", c'est à dire ici "tout-à-la-mer") et il existe pour l'ensemble du système 312 exutoires dont 205 débouchent directement sur le littoral (données SCE).

Quelques études sur la qualité des eaux de baignades des plages de Nouméa, réalisées par le Service Municipal d'Hygiène de la ville (qui contrôle 23 points de baignade par semaine), montrent que celles-ci sont fréquemment polluées et présentent des taux élevés de coliformes fécaux et de streptocoques. Entre février et juin 1994, la plage de l'Anse Vata a atteint des taux de coliformes fécaux dépassant 20 000 / ml (GABRIE, 1995).

Certaines zones comme la baie de Sainte-Marie (Fig. 65) sont très polluées et présentent des phénomènes d'eutrophisation caractéristiques : développement d'algues vertes (*Ulva*, *Enteromorpha*) et odeur nauséabonde, envasement de la frange littorale. Cette baie a particulièrement souffert d'un mauvais plan d'aménagement : remblaiement du fond de la baie qui a supprimé la circulation naturelle des eaux et détruit les écosystèmes côtiers (mangrove), construction d'une route, construction de nouveaux lotissements depuis 1985 sans collecteurs d'égout ni station d'épuration. Les bassins versants qui correspondent à cette baies sont ceux de Magenta (1 214 ha), Vallée des Colons (914 ha), Faubourg Blanchot (651 ha) et Ouémo 332 ha) et ils débouchent sur la baie par l'intermédiaire de 49 exutoires.

Le problème du retraitement des eaux usées domestiques de la ville de Nouméa est pratiquement insoluble à résoudre en totalité par assainissement collectif vu le relief et l'extension très rapide de l'agglomération. Quelques stations d'épurations sont déjà sous-dimensionnées par rapport au nombre d'habitants et fonctionnent mal (Koutio, Magenta, Yahoué). Toutefois, certaines situations critiques pourraient être améliorées. Ainsi, l'épuration du canal qui débouche au fond de la Baie de Sainte-Marie permettrait très certainement de faire

disparaître les intenses phénomènes d'eutrophisations (marées vertes). L'idéal serait de pouvoir y associer une restauration de la mangrove sur le platier envasé du fond de la baie.

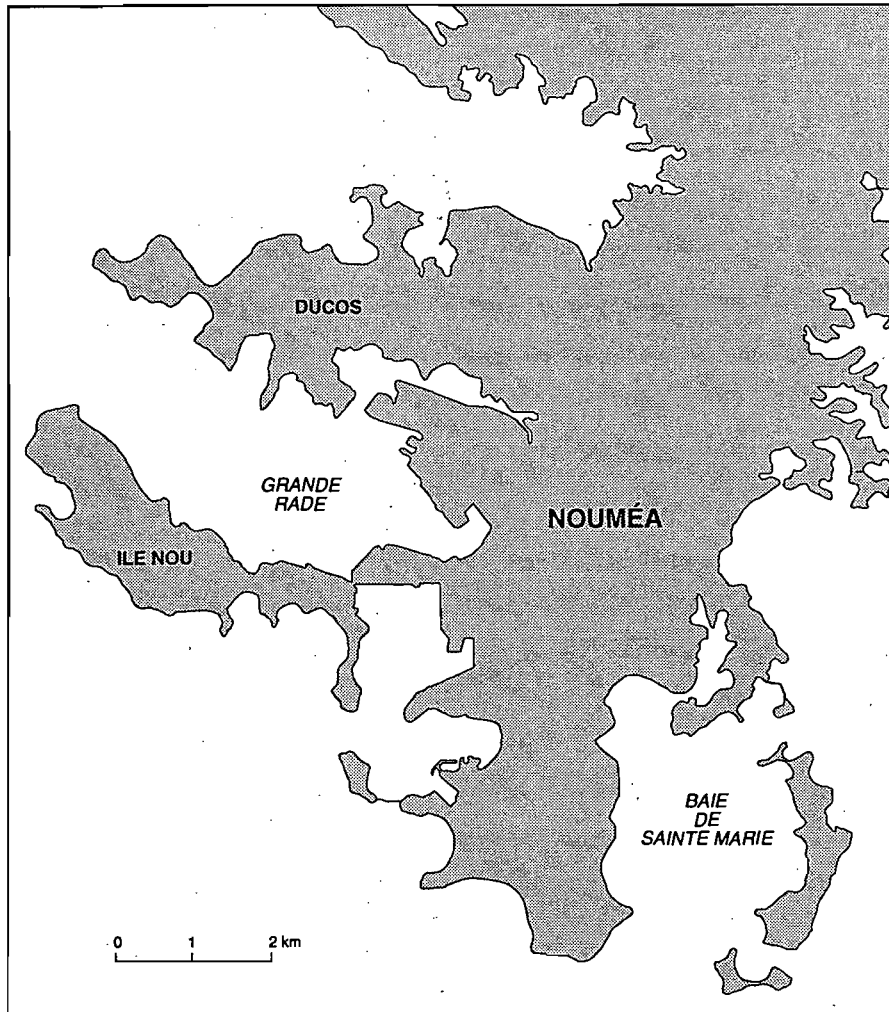


Fig. 64. — Carte de la presqu'île de Nouméa avec localisation de la Baie de sainte-Marie, particulièrement eutrophisée.

La pollution urbaine prend une forme chronique correspondant au déversement quotidien des eaux usées qui est fonction du nombre d'habitants. La dégradation des écosystèmes littoraux est alors lente et progressive. Il peut s'y surajouter une pollution accidentelle liée aux fluctuations du régime pluvial. L'arrivée soudaine de fortes pluies après une période de sécheresse provoquera un apport massif de la charge polluante et une asphyxie des écosystèmes littoraux.

- Rejets industriels

La seule grosse industrie du pays est celle du nickel dont l'usine se trouve sur la presqu'île de Nouméa à Doniambo. Cette usine transforme le minerai brut de garniérite en matte de ferromnickel qui est ensuite exportée pour affinage en France. Cette matte est un sulfure de nickel

(Ni₃S₂) contenant un peu de fer et de cobalt. Les matières premières nécessaires à la fabrication du ferro-nickel sont : le charbon, 140 000 t/an, importé d'Australie ; l'antracite, 80 000 t/an ; 5 000 t/an de soufre, importé d'Amérique du Nord ; 12 000 t/an de silice et 3 200 t/an de carbonate.

Les sources de pollution possibles se situent soit dans les effluents de l'usine qui utilise l'eau de mer comme liquide de refroidissement soit dans les poussières émises dans l'atmosphère. La production s'élevait à 55 000 t de nickel en 1993, laissant environ 15.10⁵ t de scories qui servent souvent à remblayer les zones littorales.

Les petites industries de traitement des métaux et des matières plastiques, concentrées sur la presqu'île de Ducos, émettent également des produits polluants dans le milieu dont ni la quantité ni la qualité ne sont surveillés.

- Constructions hôtelière avec plages artificielles (Méridien, Malabu ..)

Le tourisme étant l'une des principales sources de revenus des petits états insulaires, il est également générateur d'importants aménagements littoraux, routes et complexes hôteliers. Sur la Grande Terre comme aux îles Loyauté plusieurs structures hôtelières ont vu le jour ces dernières années.

Hôtel Méridien de Nouméa : cet édifice de prestige a été construit en 1994-95 sur la presqu'île de Nouméa au lieu-dit Pointe Magnin. La ligne de rivage a été modifiée pour créer une plage par accumulation de sables blancs "coralliens". Un îlot rocheux a été transformé en plate-forme d'atterrissage pour hélicoptère, reliée à la côte par une bande de sable, l'ensemble constituant maintenant un tombolo artificiel. Les travaux de modification du rivage ont conduit à détruire le platier de récif frangeant et à couvrir cette zone de sable détruisant ainsi toute vie benthique sur une centaine de mètres de côte. La modification de la forme de la côte a changé la circulation des eaux, provoquant une accumulation de débris végétaux du côté au vent et un creusement dû à un courant tourbillonnaire sous le vent. Après une période de stabilisation des peuplements, il n'est pas certain que la situation soit meilleure qu'autrefois d'un point de vue touristique. La plage de sable blanc, déjà peu fréquentée car exposée au vent, est maintenant nauséabonde et les peuplements littoraux susceptibles d'intéresser les touristes ont disparu.

Hôtel Malabu à Koumac : ce complexe hôtelier de grande taille, construit en 1992, se situe à l'extrême nord de la Grande Terre. Il se compose d'une série de petits bungalows qui s'intègrent relativement bien dans le paysage. Par contre, la modification de la ligne de rivage destinée à créer un espace consacré aux sports nautiques a été faite en dépit du bon sens. La création d'un îlot artificiel destiné à briser la houle a créé une zone de décantation où s'accumulent les débris de phanérogames et les particules fines. Ce lieu de récréation nautique est finalement fortement envasé et nauséabond.

Dans les deux exemples cités, une étude d'impact sérieuse aurait certainement permis de trouver une solution moins perturbante pour l'environnement et atteignant mieux son objectif touristique.

Un hôtel a été construit sur l'îlot Casy situé dans la Baie du Prony dans une zone présentant une végétation endémique à plus de 80 % ; un nouveau projet est en cours en Baie de Port-Boisé dans une zone où l'endémisme est pratiquement total.

Une nouvelle structure hôtelière se développe actuellement en bordure de la baie d'Oro, à l'île des Pins, dans un site exceptionnel qui a été classé pour sa valeur patrimoniale et écotouristique en 1954 puis déclassé en 1980. Malgré de vives protestations des ONG et l'intervention du Tribunal Administratif qui a annulé le permis de construire, la construction se poursuit.

- Destruction des mangroves

Autour de la presqu'île de Nouméa, les mangroves ont été détruites en de nombreux endroits, la côte a été remblayée avec des scories de l'usine de Doniambo et des travaux routiers ou des lotissements ont été construits sur ces terrains gagnés sur la mer. Ce processus se continue actuellement vers le sud entre Tina s/mer et le Mont Dore et un grand projet d'autoroute littorale existe entre Nouméa et le Mont Dore (ALLENBACH & THOLLOT, 1997). La seule zone de mangrove qui subsiste dans le périmètre urbain de Nouméa est celle de Ouémo qui est rognée par les lotissements et menacée de disparition par un projet routier.

Les côtes de Nouvelle-Calédonie présente environ 200 km² de mangroves (THOLLOT, 1996a). Une cartographie utilisant des images du satellite SPOT a été réalisée pour la région sud-ouest où elles représentent 80,3 km².

D'après la loi française, la mangrove fait partie du Domaine public (LE NOEL, *com. pers.*).

En 1997, une plainte contre X fut déposée pour "destruction volontaire de la mangrove" du golf de Tina sur Mer. Ce golf a été construit en majeure partie sur des terrains provenant du Domaine privé de l'Etat et sur le Domaine public maritime (eaux territoriales + eaux intérieures + lais et relais de mer, Fig. 67). Environ 32 ha de ce golf était occupé par de la mangrove. Après l'aménagement du golf, il ne restait déjà plus que 12 ha de mangrove. Finalement, en août 1997, une mission d'expertise agissant à la demande de la Direction de l'Agriculture et de la Forêt, faisait le constat suivant : la mangrove résiduelle est totalement morte sur 3 à 4 ha par la conjonction de deux causes, la fermeture de la circulation d'eau de mer en aval par une digue de sable, un apport d'herbicide utilisés sur les talus bordant le golf entraîné par ruissellement pluvial en amont (*Obs. pers.*). Dans ce cas, non seulement les écosystèmes de mangrove ont été détruits mais le résultat esthétique est complètement raté puisque ce très beau site présente maintenant une forêt morte au beau milieu du "green".

- *Extraction de sables dans les lagons pour la construction*

La plupart des îles du Pacifique ont des difficultés d'approvisionnement en matériaux de construction et en particulier en sable. Les gisements de sables fossiles à terre sont épuisés et le concassage des galets de rivière entraîne un surcoût qui se répercute sur l'ensemble de l'industrie du bâtiment. Aussi est-il tentant de chercher des matériaux de remplacement en draguant les sables et graviers des fonds lagunaires. L'extraction des sables se pratique soit par grattage des fonds, soit par aspiration. Outre la destruction totale de la faune et de la flore de la zone sédimentaire d'extraction, ces techniques sont très perturbantes pour les lagons en mettant en suspension des particules fines et en déstabilisant les équilibres sédimentaires. Les particules fines, entraînées par les courants, obscurcissent l'eau, diminuent la production planctonique et se déposent sur les organismes fixés (coraux, gorgones...) provoquant leur mort par colmatage.

En Nouvelle-Calédonie un projet d'exploitation des sables lagunaires prévoyant l'extraction de $10^6 \text{ m}^3 / \text{an}$ dans la zone de l'îlot Ténia (lagon Sud-ouest) fut déposé en 1993 auprès du Service des Affaires Maritimes. Une courte étude d'impact menée par l'ORSTOM montra qu'une telle exploitation présentait des risques pour l'environnement corallien et le projet fut abandonné (CHEVILLON *et al.*, 1993). Les principaux effets mis en évidence par cette étude furent :

- destruction de la microflore benthique et en particulier des tapis de cyanobactéries jouant un rôle stabilisateur pour le sédiment ;
- encrassement des polypes coralliens par dépôts des particules fines ;
- déstabilisation des sédiments par "appel au vide" ; les sédiments environnants se déplacent en effet pour remplir les excavations, perturbant ainsi la faune et la flore sur des superficies bien supérieures à celles où sont extraites les sables (pour un essai d'extraction de seulement 150 m^3 de sédiment, l'excavation correspondante forme un cratère de 12 m de diamètre et 2,5 m de profondeur);
- remise en suspension des particules fines lors de l'aspiration au niveau du fond ce qui laisse sur les zones d'extraction un tapis de très fines particules facilement remises en suspension par la houle pendant une période bien supérieure à celle de l'exploitation proprement dite.
- destruction de la macrofaune et de la macroflore et de toute la méiofaune aux alentours de la zone exploitée ce qui induit une perturbation des réseaux trophiques.
- rejet dans le milieu d'une eau très turbide en surface lors du chargement du chaland.

Une analyse bibliographique réalisée à l'occasion de cette étude montre que toutes les exploitations de sables lagunaires en milieu coralliens ont provoqué les mêmes effets avec parfois de véritables catastrophes écologiques qui dépassent dans le temps et dans l'espace la zone et la période d'extraction. Les exploitations de granulats marins pour la construction de bâtiments ou de routes ont abouti à de sévères dégradations des récifs, des herbiers de

phanérogames et des mangroves par hypersédimentation (SALVAT, 1987 ; ROGERS, 1990). L'excès de matériel particulaire en suspension altère le fonctionnement de l'écosystème en influant sur le métabolisme, la croissance et le recrutement des organismes. Le taux de sédimentation naturel supporté par les récifs est de l'ordre de 1 à 10 mg / cm² / jour ou 10 mg / l (ROGERS, 1990).

Dans l'atoll de Johnston, les extractions de sables coralliens ont provoqué la mort d'environ 440 ha de récif et la remise en suspension des particules a provoqué la perturbation d'une surface totale de 2 640 ha (BROCK *et al.*, 1966). Les conséquences vont parfois jusqu'à provoquer le déclin des pêcheries (ROGERS, 1985). L'influence sur la diversité spécifique en poissons a été mise en évidence aux Caraïbes (GALZIN, 1981).

Aux îles Maldives, où des récifs exploités il y a 20 ans commencent à peine à se recoloniser (BROWNE & DUNNE, 1988), des tentatives de réhabilitation de sites sont en cours par transplantation de coraux (CLARCK & EDWARDS, 1995).

La plupart des auteurs insistent sur la nécessité de réaliser une étude d'impact avant d'envisager des travaux en zone corallienne. Les extractions de coraux vivants ou morts ou de granulats sont toujours perturbateurs des écosystèmes de telle sorte qu'une vision d'un développement durable devrait intégrer le coût de ces nuisances dans l'estimation de la rentabilité économique des travaux.

- Construction sur les récifs frangeants

La zone littorale de la presqu'île de Nouméa dépend sur le plan réglementaire de la Commune de Nouméa. C'est donc la Mairie qui décide seule de l'aménagement et ne se préoccupe pas toujours de l'environnement. Ainsi, il a été décidé, sans aucune étude d'impact préalable, de creuser le récif frangeant de la "côte Blanche", à l'est de la presqu'île de Nouméa, pour y créer un petit port de mise à l'eau des jets-ski ou encore de remblayer une autre zone pour y installer un Club de voile. Il est même question de remblayer une zone de récif frangeant de l'Anse Vata pour y pratiquer du "beach volley" ! Cette politique qui fait passer la qualité de l'environnement après des activités ludiques n'est pas très responsable.

5.1.2.4 - Impact du tourisme sur les milieux coralliens

Les milieux coralliens sont situés dans les mers chaudes sous des climats ensoleillés et présentent l'une des plus grandes concentrations de diversité biologique de la planète. Ils sont donc une destination touristique privilégiée pour les populations des zones tempérées, surpeuplées, polluées et aux climats maussades. Dans l'inconscient collectif, un récif corallien situé dans une île tropicale est assimilé au paradis perdu et les organisateurs des agences de voyages ne manquent pas de faire référence à ces clichés. Pour de nombreux petits États de

l'Indo-Pacifique, le tourisme représente l'une des principales ressources économiques, parfois la seule, et tout est mis en oeuvre pour augmenter le flux de touristes. Toutefois, lorsque les effectifs deviennent importants ou que cet afflux est mal encadré, il devient une source de nuisance et porte atteinte aux écosystèmes et à la biodiversité. Il y a donc un phénomène de feed-back négatif car un milieu corallien dégradé n'attire plus le touriste. Curieusement, ce sont souvent les mêmes "décideurs" qui font des efforts pour développer un tourisme attiré par une nature en bonne santé et qui prônent l'extraction d'agrégats lagonaires éminemment destructrice. En Nouvelle-Calédonie, l'impact du tourisme n'est pas encore très préoccupant de façon directe, parce qu'il demeure à un niveau faible (environ 90 000 touristes en 1996). Toutefois l'industrie touristique induit une politique de grands travaux, routes, hôtels...

Une cinquantaine de paquebots font escale à Nouméa chaque année ; au cours de leurs périple dans les eaux de la Nouvelle-Calédonie, les passagers débarquent à l'île des Pins, aux îles Loyauté ou encore sur le petit îlot Amédée. Ces arrivages soudains de milliers d'individus en des lieux restreints posent des problèmes d'environnement.

Les groupes les plus récoltés par les touristes pour l'exportation sont les coquillages (gastéropodes et binitiers) et les coraux (branchus et *Fungia*). En 1996, la DAFE a délivré 708 permis d'exportation à des touristes, dont 308 pour des coraux. En 1997 le nombre de permis demandés dépassera un millier (LE NOEL, *comm. pers.*).

- *Ponton* : Pour rendre la découverte des écosystèmes coralliens accessibles aux touristes, des constructions placées directement sur la barrière récifale ont été réalisées. En 1988, un hôtel flottant de 4 étages fut ainsi mouillé sur la Grande Barrière de Corail au large de Townsville ; il fonctionna pendant un an avant d'être revendu au Viet Nam faute de rentabilité.

Plus modestement, en Nouvelle-Calédonie, un ponton est fixé de façon permanente sur le récif barrière depuis 1993. Mis à part les travaux réalisés pour en assurer le mouillage, la principale source de perturbation de l'environnement est liée au nourrissage régulier des poissons qui perturbe les réseaux trophiques. Une étude réalisée en Polynésie Française sur l'impact des bungalows sur pilotis de l'île de Moorea montre une modification de la structure des peuplements liée au nourrissage et en particulier une augmentation de la richesse spécifique et de la biomasse des poissons (PLANES & DOHERTY, 1995).

De même les démonstrations de "shark feeding" organisés pour les touristes dans la Passe de Boulari provoquent des déséquilibres dans les peuplements de poissons.

En Australie une étude sur l'impact de la plongée touristique sur les récifs coralliens a montré que les lieux fréquentés souvent étaient très perturbés et que de nombreux coraux étaient brisés accidentellement. La plupart des dégâts sont attribuables aux plongeurs et surtout aux photographes inexpérimentés.

- **La pêche à pied** : Sur le Récif Ricaudy, vaste récif frangeant, le plus proche de l'agglomération de Nouméa (environ 80 000 habitants), chaque marée basse d'un coefficient

inférieur à 0,3 entraîne l'arrivée d'une centaine de personnes qui retournent les blocs à la recherche des coquillages de collection (porcelaines, cônes) ou bien qui creusent le sédiment pour en extraire les bivalves et les poulpes (BARON, 1992a). Le comportement de beaucoup de ces récolteurs est incompatible avec le maintien durable de ce récif en bon état ; en effet, la faune fixée sous les blocs est détruite, les coraux branchus sont piétinés et brisés. Ce platier, qui avait déjà beaucoup souffert des travaux d'aménagement routiers à la fin des années 70, se dégrade rapidement sous l'effet anthropique. Il vient d'être récemment classé en Réserve de Faune et de Flore sans que cela ne change en rien sa fréquentation par les pêcheurs à pied.

- les **mouillages des bateaux** : L'impact destructeur des mouillages de bateaux de plaisance sur les fonds coralliens est réel en maints endroits (Baie du Prony, îlot Maître). Les autorités de la Province Sud, sensibilisées à ce problème, ont organisé depuis 1994 un balisage des zones de réserves, ont mis en place des mouillages fixes pouvant accueillir les petites embarcations et ont diffusé des plaquettes d'information. Il est encore trop tôt pour juger de l'efficacité de ces mesures.

Plus de 10 000 embarcations de plaisance sont actuellement immatriculées sur le Territoire de Nouvelle-Calédonie dont environ 6 000 dans la région de Nouméa. La majorité d'entre elles mesurent moins de 6 m de longueur et leur conduite ne nécessite aucun permis (NGUYEN-KHOA, 1993).

5.1.3 - Au niveau global

5.1.3.1 - Cyclones

Le sud-ouest Pacifique est soumis chaque année à des dépressions tropicales (vents de 46 à 116 km/h) qui évoluent parfois en cyclones (vent > 116 km/h). Ces phénomènes, classés par l'homme parmi les "risques naturels", sont extrêmement destructeurs du fait des vents violents et des fortes précipitations qui y sont associées (LEBORGNE, 1986 ; DUPON, 1988). Ils prennent généralement naissance au sud de 10°S et entre 170 et 150° E et se dirigent vers le sud-ouest puis vers le sud-est en dessous de 15°S. Ils interviennent entre décembre et avril avec un maximum de fréquence en février-mars. Bien que la fréquence des cyclones ne soit pas régulière, on sait maintenant qu'elle dépend des équilibres thermiques entre l'océan et l'atmosphère et surtout du phénomène ENSO. Ils sont suffisamment fréquents (29 entre 1852 et 1951) pour faire partie des événements qui régulent la morphologie des récifs coralliens (GIOVANNELLI, 1952). Les vents, pouvant atteindre 300 km/h lèvent une houle énorme (> 15 m). Son déferlement sur le rivage, conjugué aux marées exceptionnellement hautes dues aux basses pressions (1 m d'élévation du niveau pour une diminution de 100 hectopascal), modifie la ligne de rivage en déplaçant les sédiments. Les précipitations intenses (jusqu'à 1900 mm en 24 h) provoquent les crues des rivières et de très importants transports de matériaux solides.

Ainsi, le cyclone Brenda en janvier 1968 a-t-il complètement modifié l'estuaire de la Dumbéa (BALTZER, 1968).

Les effets d'un cyclone sur les zones littorales dépendent de la morphologie de la côte et de la couverture végétale. Un couvert végétal dégradé sera un facteur aggravant pour l'érosion pluviale et l'apport particulaire dans les lagons. L'érosion des plages sera d'autant plus forte que celles-ci auront été déstabilisées par des travaux d'aménagement littoraux (remise en suspension des particules fines). En Nouvelle-Calédonie, les énormes dépôts de stériles miniers mal consolidés sont petit à petit entraînés vers l'aval par les pluies cycloniques (DUPON, 1988).

Les scléactiniaires qui composent les récifs coralliens sont adaptés à l'énergie de la houle ; on observe d'ailleurs un gradient d'espèces et de morphoses entre l'extérieur du récif barrière et la zone d'arrière-récif située dans le lagon en eaux plus calme. Le front récifal est composé d'algues calcaires très résistantes modelées par les vagues en un système d'éperons-sillons qui brise la vague et permet l'écoulement de l'eau. Les scléactiniaires présents sur ce front sont peu nombreux et les espèces y adoptent des formes massives ou encroûtantes. C'est dans la zone d'arrière-récif que l'on rencontre les formes branchues ou en plateaux, plus fragiles. Ces formes élancées se trouvent également en dessous de la zone d'influence des houles normales (10 m environ) ou dans les baies abritées. Les houles cycloniques, beaucoup plus fortes que la normale, brisent les coraux branchus et roulent les coraux tabulaires. Le cyclone Béti, qui a touché la Nouvelle-Calédonie en mars 1996, a ainsi brisé de nombreux coraux branchus situés sur le tombant du récif frangeant Ricaudy. Il se peut qu'un effet amplificateur ait résulté du phénomène de blanchissement qui avait affaibli ou tué les coraux les mois précédents. Ce même cyclone, qui a frappé la Grande Terre dans sa partie nord avec des vents dépassant 250 km / h a créé, dans la région de Poingam, une véritable muraille de débris coralliens longue de plus d'un kilomètre et atteignant par endroit une cinquantaine de mètres de largeur et plus de 2 m d'épaisseur (obs. pers.). Le travail de GIOVANNELLI (1952) montre qu'il y a eu en Nouvelle-Calédonie 29 cyclones en un siècle (1852-1951), mais qu'ils sont très inégalement répartis dans le temps. Il y a parfois des périodes de 10 ans sans aucun cyclone et parfois des années avec plusieurs cyclones. Ceci s'explique mieux depuis la mise en évidence des phénomènes ENSO.

5.1.3.2 - Blanchissement

En Nouvelle-Calédonie, le phénomène de blanchissement a été observé pour la première fois durant l'été 95-96 chez les coraux et les alcyonaires (RICHER DE FORGES & GARRIGUE, 1997). A la suite des températures exceptionnellement fortes observées en janvier-février 1996, certaines zones littorales de faibles profondeurs présentaient des mortalités coralliennes sur plus de 80 % de la surface (obs. pers.). Aux marées basses de vives eaux du mois d'avril 1996, les platiers des récifs frangeants autour de la presqu'île de Nouméa découvrirent et permirent d'évaluer le phénomène de blanchissement sur de grandes superficies, beaucoup plus aisément

qu'en plongée (RICHER DE FORGES & GARRIGUE, 1997). Les principales espèces atteintes de blanchissement étaient les *Acropora*, *Porites*, *Montipora*, Faviidae, Alcyonaires (*Sarcophyton* ?). Entre 1 et 3 m de profondeur, les scléractiniaires étaient blancs à près de 90 % et les Alcyonaires étaient également atteints. Un mois plus tard, le blanchissement était moins visible car les coraux blancs étaient morts en grande partie et couverts d'algues. Le blanchissement s'est produit sur tout le pourtour de l'île, quelle que soit la latitude. Des spécimens de *Montipora* entièrement blancs ont été observés sur la pente externe, à plus de 60 m de profondeur (MENOUE, *com. pers.*).

Il semble que, de mémoire de calédonien et d'après les archives territoriales, un tel phénomène n'ait jamais eu lieu en Nouvelle-Calédonie. Si la température de l'eau est bien le facteur déclenchant de cette maladie, il n'est pas étonnant que le blanchissement apparaisse au début de 1996, pendant l'été austral. En effet, selon les statistiques climatiques mondiales, l'année 1995 a été la plus chaude depuis 1961 avec une anomalie positive de 0,4°C par rapport à la moyenne calculée pour la période 1961-1990. Ce record de chaleur est très préoccupant car il confirme l'ascension continue des anomalies thermiques depuis 1975 (Fig. 65) et crédite la thèse d'un "Global Change". Par ailleurs, "le trou dans la couche d'ozone, qui est devenu une caractéristique du printemps austral, est apparu plus tôt et a duré plus longtemps que jamais..." (ANONYME, 1996).

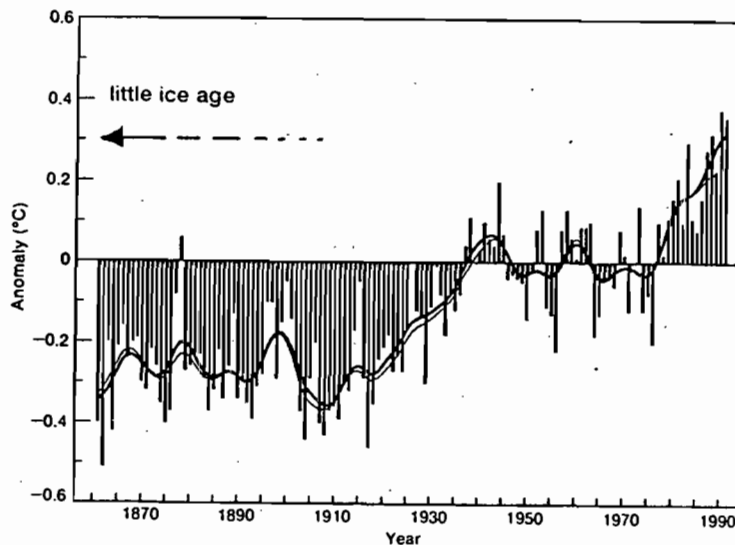


Fig. 65. — Anomalies thermiques planétaires de l'air et de l'eau de surface. Différences calculées par rapport à la température moyenne de la période de référence, 1961-1990 (d'après Hadley Centre, Meteorological Office and Climate Research Unit, Université d'East Anglia, U.K).

Des prélèvements de tissus coralliens (*Acropora* sp.) provenant d'un récif frangeant ont été placés sur un milieu de culture. Les tissus des coraux blanchis ont donné lieu à d'importants développements de colonies bactériennes (Gram +) alors que les tissus des coraux sains n'en ont provoqué aucun. Ces cultures ont été envoyées à l'Université de Tel Aviv pour vérifier si ces bactéries sont bien du genre *Vibrio* et si elles sont apparentées à celles qui ont provoqué les blanchissements en Mer Rouge en 1993 (KUSHMARO *et al.*, 1996).

5.2 - Le cadre juridique et administratif de l'environnement marin en Nouvelle-Calédonie

5.2.1 - Le partage des compétences en matière d'environnement en Nouvelle-Calédonie

Après de nombreux changements de statut, le Territoire Français de Nouvelle-Calédonie a été découpé en trois Provinces en 1988 (ANTHEAUME & BONNEMAISON, 1988). Il existe donc plusieurs niveaux décisionnels :

- l'État Français qui est responsable devant la communauté internationale des Conventions qu'il a signé (Convention de Washington, de Ramsar, de Rio, d'Oslo...), de la gestion du "domaine maritime" et de la zone économique ;

- le Territoire, dirigé par un haut fonctionnaire français (Haut-Commissaire) qui fait respecter les réglementations sur l'exploitation ou la protection des espèces ;

- les Provinces qui, depuis 1989, ont compétence en matière d'environnement. Seule la Province Sud possède un Service spécifique de l'Environnement. Dans la Province des Iles ce sont des services techniques comme la Direction de l'Équipement qui se chargent de l'environnement. En Province Nord, la responsabilité de l'environnement incombe au Service Forêt-Bois-Environnement de la Direction du Développement Rural et de la Pêche.

Cette division politique des responsabilités conduit à une grande complexité dans l'application des réglementations.

Il convient de définir la terminologie utilisée pour découper le milieu marin en différentes zones (Fig. 66) :

- le rivage, rattaché au Domaine Public Maritime, est compris entre les hautes et de basses mers. En Nouvelle-Calédonie, ce rivage se prolonge par une réserve domaniale dite des "50 pas géométriques" d'une largeur de 81,2 m (les zones de mangroves font partie des "lais et relais de mer") ;

- le Domaine Public Maritime s'étend sur les "eaux intérieures", du rivage jusqu'au récif, et sur les "eaux territoriales", 12 milles à partir de la ligne de base ;

- la ligne de base n'a jamais été officiellement choisie mais il est couramment admis qu'il s'agit de la laisse de basse mer située la plus au large sur le récif barrière (ce qui laisse un flou important dans les zones où les récifs sont submergés) ;

- à l'extérieur de la ligne de base se situent les eaux territoriales d'une largeur de 12 milles, puis la Zone d'intérêt économique, d'une largeur de 188 milles ;

- pour les îlots situés dans le lagon, on applique sur leur pourtour une zone des 50 pas géométriques.

- pour la Commune de Nouméa, il n'existe pas de zone maritime ; la seule côte appartenant au Domaine Public est comprise entre la pointe Chaleix et la pointe Lestelle. Il en résulte que les projets d'aménagements littoraux ne dépendent que de la Commune de Nouméa.

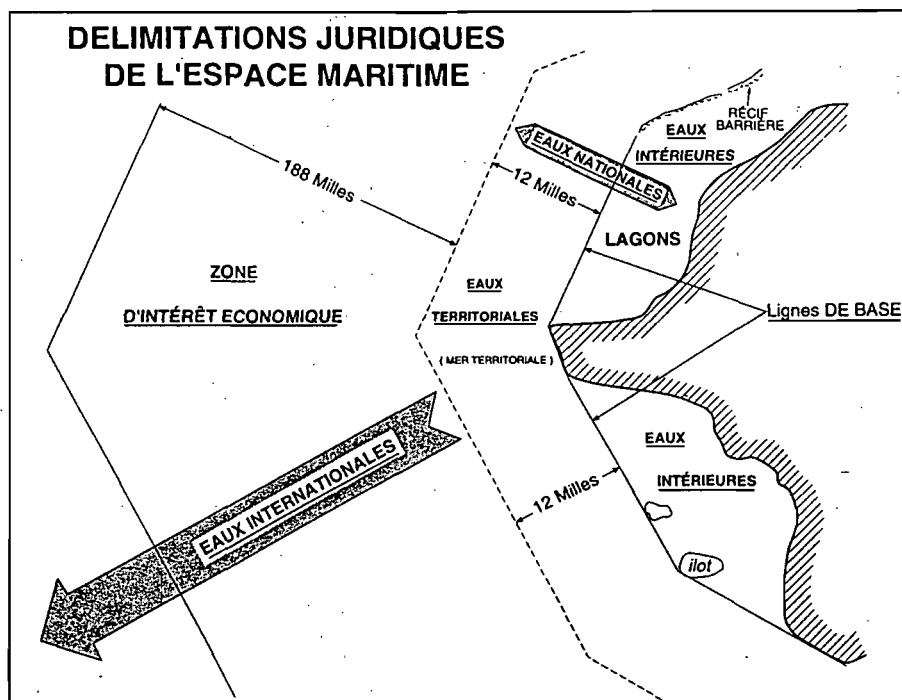


Fig. 66. — Délimitations juridiques de l'espace maritime.

- il n'existe plus de zone des pas géométriques dans la Province Nord, entre Koumac et Hienghen.

La répartition actuelle des compétences définies par la loi référendaire du 9 novembre 1988 est rappelée par ORFILA (1992) :

La mer côtière est soumise à un régime juridique diversifié selon les zones : zone des pas géométriques, rivage, eaux intérieures, eaux territoriales. Pour les mers côtières, c'est l'article 7 de la loi référendaire qui s'applique et donne compétence aux Provinces pour la gestion de l'environnement. La zone économique, étant sous juridiction de l'État.

Sous cette apparente simplicité, les difficultés d'application sont nombreuses et la conception de ces multiples niveaux de compétences laisse une impression de lois bâclées. Le fait que le Tribunal administratif ait été obligé de trancher en faveur des Provinces contre le Territoire pour la gestion des réserves est bien un signe du manque de rigueur de toute cette législation ! Des complications inextricables proviennent du fait que des compétences concurrentes sont attribuées au Territoire, aux Provinces et aux Communes. C'est le cas en particulier pour les perturbations de l'environnement marin lié au trafic maritime ou aux exploitations minières. La loi référendaire ne fait aucune allusion à la pêche côtière, activité très perturbatrice de l'environnement. Par ailleurs, aucune limite provinciale en mer n'a été définie.

5.2.1.1 - Territoire et environnement

Il n'y a pas de service territorial spécialisé en matière d'environnement mais plusieurs organismes mixtes Etat-Territoire jouent ce rôle : Service Territorial de la Marine Marchande et des Pêches Maritimes, Service des Mines et de l'Énergie, Service Vétérinaire de la Direction Territoriale de l'Agriculture et de la Forêt.

En juillet 1992, un colloque sur l'environnement organisé à l'Université française du Pacifique permit de préciser la législation applicable en Nouvelle-Calédonie et la publication d'un fascicule sur le droit de l'environnement (ANONYME, 1993b). Les dispositions générales du droit français sont étayées par les principes définis lors de deux conventions régionales, Convention d'Apia et Convention de Nouméa.

- *Service des Affaires maritimes :*

L'État français exerce ses compétences sur le milieu marin par l'intermédiaire de l'Administration des Affaires Maritimes qui gère le Service territorial de la Marine Marchande. Ce service s'occupe de la francisation des navires, des communications extérieures, de l'exploitation et la conservation des ressources naturelles, biologiques ou non, de la zone économique. Il doit également faire appliquer la réglementation pour la gestion et la protection des espèces marines dans la limite des eaux territoriales (12 milles). L'Etat exerce un droit de gestion sur le domaine Public Maritime, en particulier pour délivrer des autorisations d'occuper ce domaine dans le cadre de fermes aquacoles (Affaires Maritimes).

- *La DAFE :*

La DAFE (Direction du Service d'État de l'Agriculture, de la Forêt et de l'Environnement) a été créée en 1992. Représentante du Ministère de l'Environnement français sur le Territoire, elle dépend du Haut-Commissaire. C'est la DAFE qui s'occupe de l'application des Conventions internationales signées par la France (Convention de Washington sur le commerce international des espèces sauvages et Convention d'Oslo sur la pollution marine).

Dans la Loi référendaire établie suite aux Accords de Matignon et qui définit les grandes lignes des relations actuelles entre l'État, le Territoire et les Provinces, il n'est pas fait explicitement mention de l'environnement. Cependant, le Ministère de l'Environnement finance des contrats de plans pour des projets de développement touchant à l'environnement.

5.2.1.2 - Provinces : gestion de l'environnement, ressources naturelles

- *Gestion des ressources côtières :*

Jusqu'à février 1995, c'était le service Territorial de la Marine Marchande et des Pêches Maritimes qui proposait les réglementations pour le compte du Territoire. Depuis, ce pouvoir a

été transféré aux Provinces. C'est donc aux Provinces de créer et de gérer les réserves marines. Elles doivent également délivrer les autorisations de pêche professionnelle et exercer un contrôle. Ces nouvelles dispositions vont poser des problèmes d'application puisqu'il n'existe pas de limite géographique en mer pour délimiter les Provinces.

Une Commission des Ressources Marines regroupant des membres des collectivités et des organismes scientifiques se réunit "tous les trimestres" pour discuter de la gestion. L'ORSTOM est membre de cette Commission (à ma connaissance, il n'y a pas eu de réunion depuis 1993 ?). Cette Commission joue uniquement un rôle consultatif et peut émettre des propositions pour améliorer la gestion des ressources côtières.

Un Mémento de la réglementation des pêches maritimes en Nouvelle-Calédonie est édité chaque année. Cette réglementation se base sur les paramètres définis par des études scientifiques (taille de la maturité sexuelle chez les crabes de palétuvier et les langoustes, trocas...).

Les brigades de la gendarmerie maritime ou les agents des collectivités locales sont chargés de faire respecter cette réglementation. Dans la pratique, il y a une quasi absence de contrôle en dehors des zones urbaines, c'est à dire pour la grande majorité des zones côtières (ANONYME, 1995c).

Coutume : le "droit coutumier" est reconnu par l'Etat Français mais son application est fréquemment incompatible avec la législation maritime française. Ainsi les clans décident de "réserves coutumières" qui s'opposent au principe de libre circulation dans les eaux maritimes. Le fait que ce "droit coutumier" ne soit pas écrit est une perpétuelle source de discorde et d'ambiguïtés ; les réserves claniques ressemblant plus dans le droit français à des propriétés privées. Une enquête financée par la CORDET a permis d'obtenir un premier récit écrit du "droit de la mer kanak" (TEULIERES-PRESTON, 1994). Dans la tradition mélanésienne, "un territoire situé en bordure de mer inclut automatiquement le rivage, qu'il s'agisse d'une plage de sable ou de mangrove, le platier, les eaux du lagon et le grand récif". Cette interprétation par des occidentaux de la tradition orale mélanésienne est toutefois floue surtout pour les lagons délimités par un récif barrière immergé. Il serait sans doute plus réaliste de parler de zone traditionnelle d'influence d'un clan ou d'une tribu plutôt que de propriété de la zone maritime. Les aires maritimes coutumières ne semblent pas déterminées uniquement par leur exploitation, mais aussi par des relations sociales entre clans. La prise en considération de cette utilisation coutumière de l'environnement marin devient très importante en matière de conservation. Ainsi, la réserve Merlet, où pour la loi française, sont protégées intégralement la faune et la flore, continue à servir de zone de pêche pour la tribu de Yaté. Cette façon de considérer les zones marines comme propriété du clan au même titre que la terre adjacente semble être un trait culturel commun à plusieurs peuples du Pacifique et se retrouve avec des variantes aux îles Salomon et aux îles Fidji. Il est certain que cette appropriation de la mer par les habitants d'une zone côtière pour son usage exclusif est moins destructrice pour l'environnement marin que la méthode

occidentale qui permet l'accès de la mer à tous et conduit à des dégradations ou des surexploitations.

Définition de règles de gestion des pêches :

Dans le cas des ressources déjà exploitées de longue date comme le troca, les bèches de mer ou le crabe de palétuvier des règles de gestion des pêches (dimensions, quotas...) ont été établies d'après les connaissances sur la biologie des espèces (BOUR, 1990 ; CONAND, 1989 ; DELATHIERE, 1990).

- Réglementation des pêches maritimes en Nouvelle-Calédonie

- immatriculation et armement des navires de pêche : l'autorisation de pêche professionnelle est annuelle ce qui permet un contrôle sur le nombre de pêcheurs ;

- réglementation relative aux engins de pêche : les dimensions et maillage des filets autorisés sont moins de 1000 m de longueur et maille > 45 mm ; des pêches spéciales avec des maillages inférieurs peuvent avoir lieu pour maquereaux, mullets, aiguillettes, crevettes, sardines et anchois. Le chalutage et le dragage à l'intérieurs des lagons sont interdits (sauf dérogation pour les Pectinidae du lagon Nord). La pêche au filet dans la mangrove et à moins de 100 m de la lisière de celle-ci est interdite. Les pêches destructrices utilisant des explosifs, des outils pour casser les coraux ou des substances chimiques sont interdites.

- réglementation concernant certaines espèces ou groupe d'espèces :

Pour certaines espèces (Picots, mullets) il existe des périodes de fermeture ou des zones interdites à certaines périodes (estuaires). Pour d'autres comme les langoustes (assimilées à une seule espèce) ou les crabes de palétuviers la réglementation prend en compte la taille (>14 cm) et la période de reproduction. Pour les trocas, une jauge de diamètre 9 cm définit la taille en dessous de laquelle la récolte est interdite. Pour les huîtres, la taille doit être > 6 cm, être pratiquée de jour et certaines zones du lagon sont protégées. La pêche au dugong est totalement prohibée sur toute l'étendue du territoire de Nouvelle-Calédonie sauf dérogations pour des fêtes coutumières ou à des fins scientifiques. La pêche à la tortue est autorisée d'avril à octobre mais sa commercialisation est interdite. La réglementation pour la récolte des coraux autorise uniquement certains genres (*Acropora*, *Fungia*) et fixe pour les non-professionnels une limite d'échantillons de 300 g (Pour la pêche professionnelle des coraux voir § 5.1.1). Pour les poissons d'aquarium et espèces "décoratives" tels que les bryozoaires et les spongiaires, une autorisation spéciale est délivrée à certains professionnels et des zones limitées sont périodiquement ouvertes à la pêche.

La nouvelle pêcherie développée en 1995 dans le lagon Nord et dont l'espèce cible est le mollusque Pectinidae *Amusium balloti* est réglementée de la façon suivante : l'usage d'un chalut sans racleur de maille minimale de 85 mm est autorisée (toute autre pêche utilisant des engins traînants est prohibée dans les lagons) ; la zone autorisée est comprise entre 20° S et le Grand

Passage ; la profondeur de pêche ne doit pas être inférieure à 15 m ; pour la première année un quota limite la récolte à 600 t ; la pêche est interdite pendant la période de reproduction, au moins deux mois après que plus du tiers de la population ait atteint la maturité sexuelle (ceci demande un contrôle du Service de la Pêche de la Province Nord).

5.2.2 - Les structures et leurs attributions

Un manque de coordination entre les différents intervenants en matière d'environnement marin (État, Territoire, Provinces, Communes) a entraîné une détérioration notable de certains sites et notamment des zones de mangroves (DEVINCK & CHARLOT, 1994).

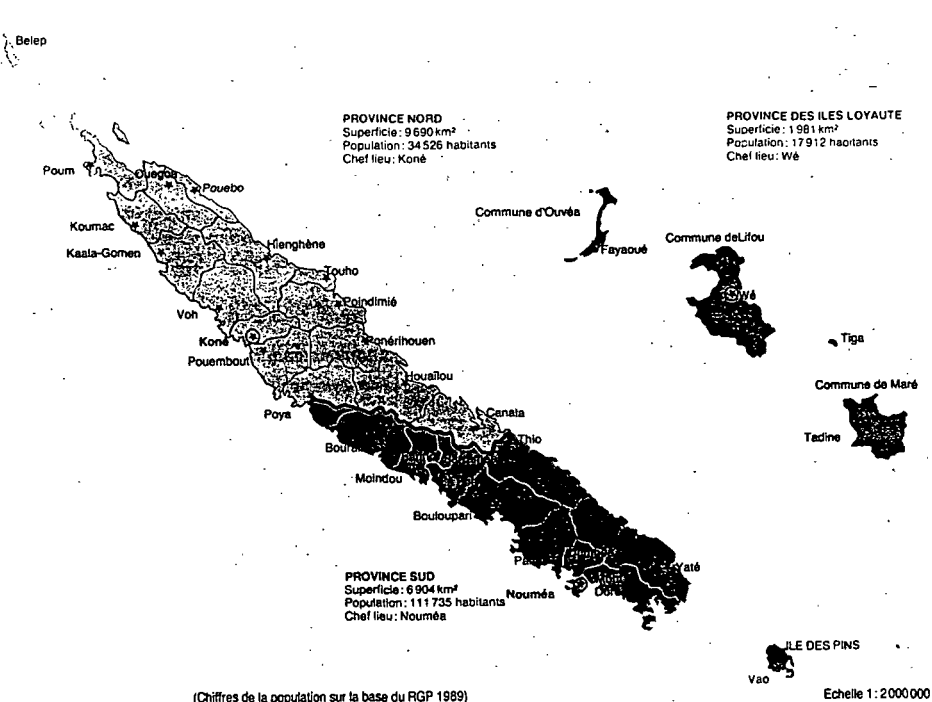


Fig. 67. — Carte du découpage provinciale du Territoire de Nouvelle-Calédonie (ANONYME, 1989).

5.2.2.1 - Le service de la Mer de la Province Sud

Le Service de l'Environnement de la Province Sud fait partie de la Direction du Développement Rural (DDR). Le Service de la Mer est responsable de la création, de la gestion et du contrôle des réserves. Ce service mène également des actions d'informations et d'éducation sur la protection des lagons.

Le Service de la Mer est compétent pour la gestion des zones lagunaires de la Province Sud (Fig. 67), il fait appliquer les réglementations sur les pêches et assure la gestion des réserves marines.

5.2.2.2 - Le Service de la pêche de la Province Nord

Le Service de la pêche de la Province Nord, basé à Koné, a les mêmes prérogatives que le Service de la Mer de la Province Sud mais s'occupe en fait essentiellement de pêche et peu de l'environnement. Ce service délivre les autorisations de pêche et gère environ 170 pêcheurs. Il participe à l'étude de l'impact aquacole sur le littoral, à la surveillance des lieux de ponte des tortues et au suivi des stocks piscicoles. Il a toutes compétences pour obtenir la création de réserves marines (HENRIOT, *com. pers.*).

La réglementation des pêches est pratiquement identique à celle de la Province Sud, à l'exception de la pêche aux crabes dont la taille minimale est fixée à 14 cm au lieu de 15 cm (DE GUIRAN, 1992).

Un rapport publié par la Direction du Développement Rural et de la Pêche donne un panorama de la pêche dans la Province Nord de 1989 à 1992 (ANONYME, 1992). Des statistiques (à considérer avec prudence) indiquent les productions suivantes : 45 % de la production du Territoire en poissons, 78 % de la production de crabes, 85 % de celle des trocas et 95 % des bêtes de mer. 132 embarcations professionnelles étaient recensées en 1992 mais il est estimé que moins de 10 % des pêcheurs sont de vrais professionnels et pratiquent ce métier à plein temps. Le tonnage pêché exclusivement dans les lagons ne dépassait pas 2000 t en 1992 et se répartissait en : 340 t de poissons commercialisés et une grande partie de la capture consommée en tribu ; 125 t de bêtes de mer appartenant à 4 espèces ; 100 t de coquilles de trocas (la chair est consommée localement) ; 28 t de crabes.

Il n'existe pas de coopérative de pêche mais un réseau de colporteurs se charge de collecter les captures et de les acheminer vers la Province Sud où 86 % de la production est vendue. Une ferme aquacole est fonctionnelle à Gatope et d'autres sont en projet.

5.2.2.3 - Protection de l'environnement dans la Province Iles

Depuis la décision de provincialisation des compétences, aucune application concernant l'environnement n'est encore intervenue sur les îles Loyauté (DONSKOFF, 1992).

La protection du milieu marin se présente différemment en Province des îles que dans les deux autres Provinces puisque seule l'île d'Ouvéa possède un lagon. Une évaluation des stocks de poissons de ce lagon d'atoll a été réalisée par l'ORSTOM qui a, à cette occasion, acquis des connaissances générales sur l'environnement lagonaire (KULBICKI *et al.*, 1995). Une évaluation des stocks de crabes de cocotiers a également été réalisée sur les îles de Lifou, Tiga, Vauvilliers et Dudune, par l'Université française du Pacifique (EL KADIRI-JAN, 1995).

Malgré les lacunes des connaissances sur ces îles et leur grande dépendance du milieu marin, d'importants travaux littoraux ont été réalisés sans aucune étude d'impact préalable, port en eau profonde de Lifou, wharf de Maré...

Bien que, le passage des compétences aux mains des Provinces présentent des risques car la conservation de l'environnement est souvent considérée comme un frein au développement et que les Provinces sont maintenant juge et partie, "l'esprit de la provincialisation est avant tout de s'être rapproché des populations et par conséquent de mieux prendre en compte la préservation du patrimoine naturel collectif pour le devenir des générations futures" (DE GUIRAN, 1992).

5.2.2.4 - La responsabilité des Communes en matière d'environnement littoral

Au partage des compétences sur l'environnement entre État, Territoire et Provinces, vient s'ajouter la réglementation communale portant sur l'aménagement du littoral et sur le rejet de polluants dans les lagons. La Commune de Nouméa a ainsi défini un "schéma directeur d'assainissement" en 1983 pour remédier au rejets dans le lagon des eaux usées, domestiques et industrielles. La croissance rapide de l'agglomération avait provoqué localement des pollutions des baies de la presqu'île nécessitant même des interdictions de baignades. Depuis 1988, des stations d'épuration traitent les eaux usées d'environ un tiers des habitations avant de les rejeter dans le lagon. Les Communes peuvent prendre des mesures d'aménagement du littoral si ceux-ci concernent l'hygiène publique et peuvent faire interdire la pêche ou la baignade.

En outre, par suite d'un arrêté du Haut-Commissaire, les Communes étendent leur emprise territoriale jusqu'au récif barrière. Par conséquent les Provinces, qui sont constituées de regroupement de Communes, ont les mêmes prérogatives (MAGNIER, 1992).

5.2.3 - La place et le rôle des organismes de recherche

Les organismes de recherches présents sur le Territoire de Nouvelle-Calédonie sont : l'ORSTOM (L'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération), l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer), l'UFP (Université Française du Pacifique), le CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique), le CIRAD (Centre International en Recherche Agronomique pour le Développement) et l'Institut Pasteur. Chacun de ces organismes exerce des activités scientifiques concernant la biodiversité, sa connaissance, sa valorisation, son exploitation, sa conservation ou sa restauration. A cela il faut ajouter l'Aquarium de Nouméa qui, sans être un organisme de recherche, accueille de nombreux chercheurs et joue un rôle important dans la diffusion de connaissances sur l'environnement marin.

L'ORSTOM est de très loin le plus important par la taille, par la diversité des disciplines et l'ancienneté de ses activités (1946). Les recherches concernant la biodiversité marine se déroulent au sein de programmes d'océanographie et de pharmacologie. Il s'agit presque toujours d'acquisition de connaissances sur les espèces ou les écosystèmes ; la conservation ne faisant pas partie des objectifs affichés. Il est arrivé cependant que des chercheurs participent à

des études d'impact sur l'environnement marin (CHEVILLON *et al.*, 1993) ou apportent leur contribution à l'étude d'une réserve (LETOURNEUR *et al.*, 1997). De nombreuses études ont porté sur l'évaluation des ressources en vue d'améliorer et de réglementer l'exploitation d'espèces marines : troca (BOUR, 1989), bèches de mer (CONAND, 1989), crabe de palétuvier (DELATHIERE, 1990), petits poissons pélagiques (CONAND, 1988), poissons coralliens (KULBICKI *et al.*, 1987), poissons hauturiers (GRANDPERRIN, 1975). Cet organisme offre un potentiel humain et technique très important à l'échelle d'un petit Territoire insulaire mais ses programmes en milieu marin sont peu dirigés vers la Nouvelle-Calédonie, ni même vers le Sud-Ouest Pacifique. Un rapprochement avec les organismes régionaux que sont la Commission du Pacifique Sud (programme pêche) et surtout avec le PROE permettrait de valoriser l'extraordinaire potentiel de connaissances accumulées depuis cinquante ans. C'est essentiellement grâce aux efforts de l'ORSTOM, souvent en collaboration étroite avec le MNHN (Muséum national d'Histoire naturelle), que la faune marine de la région est pratiquement la mieux connue du Pacifique Sud.

L'IFREMER s'occupe de développer des processus d'exploitation des ressources aquacoles (crevettes pénéides, huîtres). Sa station expérimentale de Saint-Vincent, qui existe depuis 1963, met au point les cycles d'élevages des crevettes, produit des post-larves pour les exploitants et assure auprès de ceux-ci un "soutien technique". Depuis quelques années, l'IFREMER, avec l'ORSTOM, se préoccupe de l'environnement des stations aquacoles et en particulier du devenir des rejets chargés en matières organiques dans le milieu naturel.

L'UFP établie à Nouméa depuis 1987 possède depuis 1991 un laboratoire dépendant de l'enseignement de biologie, le LERVEM (Laboratoire d'Études des Ressources Vivantes et de l'Environnement Marin). Les principales études menées au sein de ce laboratoire (le plus souvent par des étudiants) ont concerné : les stocks de langoustes et de crabes de cocotier, l'impact de la pêche plaisancière, les réserves marines, l'impact d'aménagements littoraux, l'aquaculture des trocas et des Pectinidae.

Les activités du **CNRS** en Nouvelle-Calédonie ne concernent pratiquement pas le milieu marin. Cependant, de nombreuses collaborations ont eu lieu avec la section pharmacologique de l'ORSTOM au cours des programmes SNOM (Substances Naturelles des Organismes Marins) et SMIB (Substances Marines d'Intérêt Biologique).

L'Institut Pasteur est spécialisé dans les disciplines médicales mais collabore avec l'ORSTOM et le CNRS à la mise en évidence des activités antibactériennes ou antivirales de substances extraites d'organismes marins.

Bien qu'il soit très orienté vers l'agronomie, le **CIRAD**, est tout de même impliqué dans des projets concernant l'environnement et la "faune sauvage" terrestre. Il collabore ainsi avec l'ORSTOM au programme de revégétalisation des sites miniers.

L'**Aquarium de Nouméa**, créé en 1956 par le Dr René CATALA, présente au public la faune et la flore des lagons. Il fonctionne en système ouvert par pompage dans la Baie des Citrons, ce qui permet d'avoir une eau chargée en plancton et en larves d'organismes benthiques qui vont se développer dans l'Aquarium. C'est dans cet aquarium qu'a été découverte la fluorescence des coraux (CATALA, 1958, 1959, 1960). Depuis quelques années il présente également des représentants remarquables de la faune de profondeur (*Nautilus*, *Bathynomus*). Il reçoit environ 65 000 visiteurs par an et leur donne un panorama de la biodiversité marine.

Cet Aquarium a toujours été étroitement associé à l'ORSTOM dont il accueille fréquemment certains chercheurs ou permet la réalisation de la partie expérimentale de certaines thèses. Du fait des possibilités offertes de récoltes marines et de maintien des espèces en eau de mer courante, il est utilisé par de nombreux chercheurs de passages, français ou étrangers, pour des études de physiologie ou de comportement.

L'un des rôles primordiaux de l'Aquarium de Nouméa est pédagogique. Il fait partie des visites classiques du cursus scolaire, les élèves bénéficiant de visites guidées par des spécialistes. Il contribue donc grandement à une meilleure sensibilisation à la biodiversité marine et aux problèmes d'environnement.

Un projet de création d'un nouvel Aquarium sur le même site est actuellement en cours et devrait voir le jour en 1998 grâce aux crédits du Fond Européen de développement. Une partie laboratoire d'accueil permettra à cet organisme de continuer à jouer son rôle de Laboratoire de Biologie Marine.

Les chercheurs de ces divers organismes participent aux réunions sur l'environnement faisant ainsi profiter les décideurs de leur expertise. Ils n'ont toutefois qu'un rôle consultatif et les études qu'ils proposent pour répondre scientifiquement aux questions des pouvoirs publics sont souvent considérées comme trop longues et trop complexes. L'une des difficultés majeures étant de faire admettre que les problèmes d'environnement sont compliqués et que la Science n'a pas de réponse immédiate à apporter. Par ailleurs, le scientifique est souvent suspecté de vouloir mettre un frein au développement par excès de prudence. Le dialogue est difficile ou irrationnel, voire inexistant.

5.2.4 - Les associations de protection de la nature

La plus ancienne des associations de protection de la nature est l'Association pour la Sauvegarde de la Nature Néo-Calédonienne (ASNNC) qui existe depuis 1971. En 1994 elle

regroupait environ 400 membres (?) dont de nombreux enseignants. Elle joue un rôle important dans l'information et l'éducation et édite le "Journal Vert" distribué gratuitement à 3000 exemplaires. Son but est de faire connaître le patrimoine naturel de la Nouvelle-Calédonie et son originalité et d'attirer l'attention sur les perturbations de l'environnement (feux, mines, pollutions...). L'ASNNC a réalisé des opérations de "recherche" sur quelques espèces emblématiques comme le Cagou et les tortues marines ainsi que des actions de reboisement et de nettoyage. Malheureusement, le reboisement a été fait avec des espèces introduites, ce qui est un comble pour une association supposée protéger la nature !. Le plus souvent cette association utilise de la main d'oeuvre bénévole mais pour certaines opérations comme le marquage des tortues, elle a obtenu le soutien du PROE et des Provinces. Par ailleurs, depuis trois ans, la fondation MacArthur finance une personne chargée, au sein de l'ASNNC, de développer un programme d'initiation à l'environnement (PIE). Depuis 1996, cette association a aidé à la création d'un Centre d'Initiation à l'Environnement (CIE).

Action Biosphère a été créée en 1992 avec pour objectif la défense de la nature pour un développement durable. Elle est très active sur le terrain et souhaite obtenir la création d'un "observatoire de l'environnement". C'est en partie grâce à son intervention contre l'extraction des sables lagunaires que ce projet a été abandonné.

Ces deux associations, ASNNC et Action Biosphère, ont pour principal défaut d'avoir chacune une nette orientation politique, ce qui, dans une petite île conduit parfois à des attitudes caricaturales préjudiciables à des actions de protection de l'environnement efficaces.

5.3 - Les mesures de protection de l'environnement : efficacité et critiques

5.3.1 - Conservation de la biodiversité par gestion des ressources : quotas, tailles limites, permis, périodes de fermeture.

Les mesures de protections adoptées pour limiter l'impact de la pêche sont variables selon les espèces cibles et pas toujours bien adaptées.

- **périodes** de fermeture de la pêche, généralement en saison chaude (septembre à janvier pour les picots, octobre à mars pour le crabe, novembre à mars pour les tortues...) qui correspond à la reproduction pour de nombreux organismes.

- **taille limite** (largeur du céphalothorax > 15 cm pour le crabe de mangrove *Scylla serrata* ; longueur du céphalothorax > 9 cm pour les langoustes, le législateur semblant ignorer qu'il se pêche en Nouvelle-Calédonie 4 espèces de langoustes et trois espèces de cigales de mer qui n'ont pas les mêmes vitesses de croissances ; diamètre de la coquille > 9 cm pour les trocas *Trochus niloticus*).

- délimitation de **zones** de pêche autorisées (spongiaires, bryozoaires et poissons d'aquarium).
- fixation de **quotas** de pêche annuel : c'est le cas pour l'exploitation par chalutage du Pectinidae *Amusium balloti* dans le lagon Nord.

Ces réglementations destinées à protéger les ressources devraient être adaptées à la biologie de chaque espèce. Or, si tel est bien le cas pour certaines d'entre elles (crabe, troca), la plupart des espèces sont regroupées sous des appellations vernaculaires peu précises, comme pour les coraux, les langoustes ou les poissons, notamment les picots (poissons chirurgiens) qui comptent plusieurs espèces exploitées.

5.3.2 - Effets d'une destruction du milieu corallien sur la diversité spécifique

Devant la rapide dégradation des zones coralliennes observées dans certaines régions (Philippines, Indonésie, Madagascar...) certains auteurs ont réalisé une classification des zones coralliennes en fonction de leur état : critique, menacé ou stable (WILKINSON, 1992). Cet auteur prédit une disparition de la moitié des ressources coralliennes d'ici 30 ans associée à une extinction massive des espèces. Ces propos catastrophistes étaient destinés à faire réagir la communauté scientifique et à insister sur l'urgence des mesures de protection à adopter (ANONYME, 1993a). A ce titre l'objectif a été atteint puisque la protection des zones coralliennes est devenue l'une des priorités en 1997. A partir des évaluations de superficies récifales détruites ou menacées, d'autres auteurs ont tenté d'estimer le nombre d'espèces menacées d'extinction (PAIN, 1996 ; REAKA-KUDLA, 1997). Deux hypothèses sont faites :

- 1 - les récifs coralliens mondiaux (617 000 km²) abriteraient environ 950 000 espèces ;
- 2 - plus les organismes sont petits, moins ils portent d'oeufs et plus leur distance de diffusion est faible. Ils seraient donc particulièrement vulnérables et menacés d'extinction lorsque les récifs sont détruits.

La première hypothèse semble plausible puisque environ 93 000 espèces récifales ont déjà été décrites et que les études d'écologie récifale se sont substituées prématurément aux études taxonomiques donnant un coup de frein à la connaissance faunistique de ces milieux (REAKA-KUDLA, 1994). Plusieurs groupes sont peu étudiés et la faune et la flore cryptique est très mal échantillonnée (PAULAY, 1997).

La deuxième hypothèse est beaucoup plus discutable parce que l'on ne connaît souvent pas l'aire de distribution des espèces. Ce postulat n'est en tous cas pas vérifié pour les organismes de la méiofaune. Certains auteurs pensent que, compte tenu des nombreuses incertitudes sur la diversité spécifique des récifs et la capacité de dispersion des organismes, les espèces marines pourraient bien être beaucoup plus vulnérables que prévu (KNOWLTON & JACKSON, 1994).

Par ailleurs, si, comme l'annonce REAKA-KUDLA (1997), plusieurs milliers d'espèces avaient déjà disparu à la suite de la dégradation anthropique des récifs, des espèces décrites dans

les groupes dominants, Mollusques, Crustacés, devraient s'être éteintes ? Or, apparemment rien de tel n'a encore été signalé.

5.3.3 - Conservation de la biodiversité par protection des espaces : aires protégées

5.3.3.1 - Les réserves existantes

En Nouvelle-Calédonie, avec l'augmentation rapide de la population et des activités économiques, l'environnement marin est perturbé dans les zones proches des centres urbains et dans celles qui sont situées sous l'influence des exploitations minières. Dans un souci de conservation les pouvoirs publics ont pensé à créer des réserves protégeant les récifs (CHAZEAU, 1993 ; CHAZEAU *et al.*, 1994). La superficie ainsi réglementée est au total de 52 283 ha (environ 500 km²) situés en totalité dans la partie sud de l'île (Fig. 68, 69). D'après la "délibération n°108" du 9 mai 1980 définissant les aires de protection de l'environnement et classant les zones déjà protégées en Nouvelle-Calédonie et Dépendances, plusieurs types de réserves peuvent être créées :

- réserves naturelles intégrales où l'exploitation et la circulation sont interdites ;
- Parcs territoriaux dans un but de "récréation du public" ;
- Réserves spéciales de faune et de flore où certaines activités humaines sont réglementées.

Toutes les aires de protection terrestres sont placées sous le contrôle du Service de l'Environnement et gestion des parcs et réserves ; Direction du Développement Rural.

Réserve spéciale du récif Abore:

Trois portions contiguës du récif barrière délimitant le lagon sud-ouest (récif Abore) formaient une "Réserve spéciale tournante de faune marine", avec les trois zones A (12 190 ha), B (10 960 ha), et C (12 420 ha) définies le 10 juillet 1981 (Del. n° 230). L'objectif de ce type de "réserve" était de limiter l'impact de la prédation humaine en prévoyant des périodes de jachères supposées permettre une reconstitution des équilibres écologiques. Tous les trois ans, l'une des zones était ouverte à la pêche pour une durée de trois ans ce qui signifie que les deux autres zones étaient fermées pendant six ans d'affilée. Ce système présentait plusieurs inconvénients : étant proche de l'agglomération de Nouméa (environ 80 000 habitants), on assistait le jour de l'ouverture d'une zone à une ruée des pêcheurs et au massacre des populations animales de façon déraisonnable malgré la fixation de quotas, peu ou pas respectés ; si une période d'interdiction de pêche de six ans peut sembler suffisante à la reconstitution des stocks de poissons, néanmoins elle ne permet pas aux écosystèmes de retrouver leur équilibre naturel. L'inconvénient le plus pervers était toutefois le suivant : l'instauration de ce système de réserve tournante donnait bonne conscience à la population vis à vis de la préservation de l'environnement et empêchait la création d'autres zones de réserves, intégrales celles-là, qui

seraient vraiment efficaces. Une réserve tournante qui n'est qu'un garde-manger pour les pêcheurs n'est qu'un faux semblant de protection. Si l'on estime que ce système est un régulateur de la pression de pêche, il faudrait parallèlement mettre de vastes portions de barrière récifales et de fonds lagonaires en réserve intégrale. En 1993, pour la première fois, une étude scientifique a été entreprise pour évaluer l'effet de l'ouverture d'une zone sur les peuplements benthiques et ichtyques (KULBICKI *et al.*, 1996). Dans des régions très peuplées comme les îles Philippines, il semble que l'effet bénéfique des réserves de pêche soit remis en question. Le gel d'environ 10 % des lieux de pêche sans diminution concomitante du nombre des pêcheurs pourrait au contraire accroître la surexploitation des 90 % restants (MUNRO, 1995).

Au vue des résultats des études sur la réserve Abore et des contraintes techniques et financières qu'implique sa surveillance, la Province Sud a décidé de déclasser cette réserve tournante en 1997. Depuis juillet 1996, cette réserve a été modifiée : elle n'est plus tournante ; la partie centrale (15 070 ha) est classée en réserve permanente et les deux autres zones sont ouverts à la pêche.

Îlot Maître : l'arrêté du 10 juillet 1981 (n° 1890) fixait la création d'une "réserve spéciale de faune et de flore" de 765 ha autour de l'îlot Maître tout proche de Nouméa. Cette zone qui avait été fortement dégradée par l'homme (surpêche, mouillages excessifs, construction d'un hôtel) comprend un très grand platier corallien du côté au-vent (Fig. 69). Les récifs étaient abimés, les poissons petits et peu nombreux et les astéries mangeuses de coraux (*Acanthaster*) abondantes (CONAND, 1983). La mise en réserve intégrale de ces formations récifales semble avoir permis une reconstitution des écosystèmes. Actuellement, le platier présente un herbier de phanérogame en bonne santé abritant une faune diversifiée (particulièrement des coquillages qui ailleurs sont la proie des collectionneurs), les *Acanthaster* ont pratiquement disparu et le front récifal se reconstitue.

Îlot Amédée : Par le même arrêté du 10 juillet 1981, la création d'une petite réserve (154 ha) de "faune et de flore" était décidée autour de l'îlot Amédée (cet îlot est devenu un "parc territorial" depuis le 26 janvier 1989, cf. infra). Là encore, l'objectif est moins de protéger la nature que de conserver à l'environnement un aspect suffisamment attractif pour que les touristes continuent de le fréquenter. En effet, situé sur le récif barrière à proximité d'une passe, cet îlot fait partie des hauts lieux touristiques de la Nouvelle-Calédonie par la beauté des paysages (plages de sables blancs) et des fonds coralliens et par la présence d'une phare emblématique signalant l'atterrissage de la passe de Boulari. Malgré la réglementation en vigueur, une fréquentation excessive (parfois 2000 touristes débarquant d'un paquebot) de ce petit îlot pourrait bien contribuer à l'intense érosion du rivage actuellement en cours.

Depuis juillet 1996, cette petite réserve est incluse dans le nouveau périmètre de la réserve du récif Abore.

Réserve spéciale de faune marine de la Dieppoise : Il s'agit d'une petite réserve de 13 ha définie le 25 septembre 1990 autour de l'épave d'un navire militaire volontairement coulé à cet endroit, la Dieppoise. L'objectif de ce type de micro-réserve est principalement touristique. L'épave, immergée sur un fond sableux de 30 m, proche du récif barrière, sert de refuge pour les poissons et se couvre de faune fixée afin de devenir un lieu de plongée sous-marine attractif. Les clubs de plongée n'hésitent d'ailleurs pas à nourrir les poissons pour fixer la faune ichtyologique et améliorer le spectacle proposé aux plongeurs. Cette conception est bien éloignée d'une "réserve naturelle" et ne permet pas la constitution d'un écosystème équilibré (BALLANTINE, 1991). Ce cas se rapproche plutôt de celui des "récifs artificiels" qui ont été implantés dans différentes régions du monde pour accroître les habitats des poissons et améliorer la pêche (BROCK, 1985). La Nouvelle-Calédonie possède quelques anciennes épaves sur lesquelles la faune fixée a entièrement colonisé les substrats métalliques (épave de la "Joliette") créant un attrait supplémentaire pour les écotouristes sous-marins.

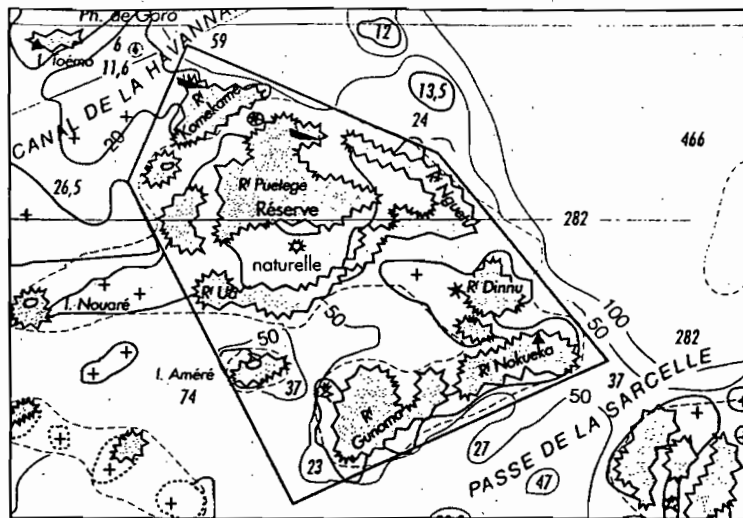
Parc territorial du Lagon sud (îlots Signal, Larégnère, Bailly, Canard et Amédée) : cet ensemble de petits îlots coralliens du lagon sud-ouest représente une superficie de 1 061 ha répartis de la façon suivante : Signal (243 ha), Larégnère (649 ha), Bailly (215 ha), Canard (176 ha). Les observations faites sur les poissons récifaux, à 5 ans d'intervalle avant et après la mise en réserve de ces 5 îlots du lagon Sud-Ouest, montrent une forte augmentation de la richesse spécifique (67 %), de la densité (160 %) et de la biomasse (246 %) (WANTIEZ *et al.*, 1995).

Réserve spéciale marine Yves Merlet : Créée le 17 août 1972 (arrêté n°72-396 / CG) elle délimite une surface de 17 200 ha situés au sud-est de la Grande Terre dans laquelle les formations récifales et les îlots sont intégralement protégées. Il s'agit d'une région éloignée des concentrations humaines où la navigation est interdite sauf pour les habitants des tribus de la région de Yaté-Goro et les Kuniés (habitants de l'île des Pins) qui coutumièrement s'y rendent pour pêcher. Aucune étude de la variation spatiale de la biodiversité n'a été entreprise pour savoir si les dimensions adoptées pour définir cette réserve protègent efficacement les espèces.

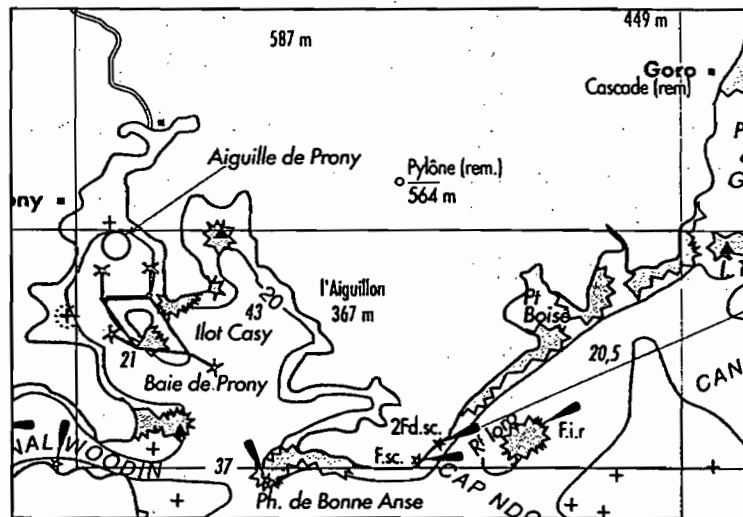
Réserve spéciale de la baie du Prony : cette petite réserve (145 ha) qui englobe l'îlot Casy a été créée simultanément à l'implantation d'un Hôtel sur cet îlot dans le but de contrôler l'impact d'une importante fréquentation touristique sur l'environnement.

Cette réserve est actuellement gravement menacée par le développement d'un projet minier dans le sud de la Grande Terre qui implique la création d'un port minéralier en baie du Prony.

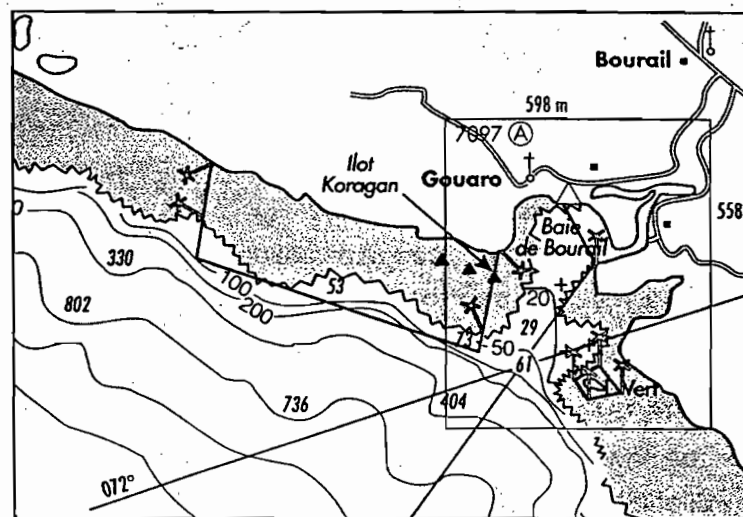
Dans la Baie du Prony, une micro-réserve (12,5 ha) protège l'Aiguille de Prony qui est une spectaculaire concrétion de Brucite montant de 35 m jusqu'en surface et un site très fréquenté par les plongeurs.



La réserve intégrale Y. Merlet



Les réserves spéciales de la Baie de Prony



Les réserves spéciales de Bourail

Fig. 69. — Réserves marines de la province Sud. A : Réserve intégrale Yves MERLET ; B : réserves spéciales de la Baie du Prony. C : réserves spéciales de Bourail.

Réserve spéciale de Bourail : située au nord-ouest de la Province sud, cette petite réserve mise en place en juin 1993 protège la zone littorale entre la Roche percée à la plage de Poé. Trois sites sont protégés : la réserve de la Roche Percée et de la Baie des Tortues (120 ha) ; la réserve de l'île verte (84 ha) et la réserve de Poé (2800 ha).

Au total, les aires marines protégées de la Province Sud représentent : 20 257 ha pour les réserves spéciales marines ; 17 200 ha pour la seule réserve intégrale et 10,5 ha pour les réserves spéciales de faune (Sèche croissant et Goéland).

5.3.3.2 - Effets des réserves sur les stocks de poissons

Pour les halieutes, le but d'une réserve est de protéger un stock de telle façon que la ponte assure un bon recrutement. Les études menées aux Philippines montrent que l'effet positif d'une réserve sur les stocks de poissons coralliens adultes cesse à quelques centaines de mètres de sa limite (RUSS & ALCALA, 1996). Autrement dit, si la zone mise en réserve protège bien un stock de poissons, elle exporte peu d'individus vers les zones limitrophes. L'effet protecteur de la réserve pour la faune est effectif, alors que ses capacités de recolonisation des espaces environnants semblent limitées.

ROBERTS et HAWKINS (1997) montrent, sur un exemple pris aux Caraïbes, que l'effet protecteur d'une réserve pour les poissons est nettement observable même pour une très petite réserve de 2,4 ha.

5.4 - Prospective et propositions

Les îles du Pacifique présentent deux caractéristiques qui conduisent inéluctablement à la surexploitation du milieu naturel : les taux de croissance démographique dans le Pacifique sont parmi les plus élevés du monde ; les ressources naturelles de nombreuses îles sont limitées. En 1994, la population du Pacifique Sud est estimée à 6,7 millions d'habitants avec une croissance moyenne annuelle de 2,3 % . A ce rythme, les effectifs des populations auront doublé en 31 ans. L'exemple des Samoa Américaines, où l'explosion démographique s'est produit il y a environ 50 ans, montre qu'avec un taux d'accroissement de 3,7 % / an la population doublera en 19 ans et exercera une telle pression sur les ressources côtières que celles-ci seront vite épuisées (CRAIG, 1995). Il paraît donc urgent :

- de créer des réserves d'une dimension suffisante pour que toutes les espèces y soient représentées. Ces réserves devraient donc englober tous les grands types d'écosystèmes et non seulement les récifs coralliens. En Nouvelle-Calédonie il serait souhaitable de prendre en compte les travaux scientifiques qui ont montré que les lagons étaient structurés en trois grands types de fonds meubles (fonds côtiers envasés, fonds de sables gris à caulerpales, fonds de sables blancs) et de définir des zones de réserves allant plutôt de la côte au récifs que des

portions de barrières où de petits îlots. Une réserve suffisamment vaste protégera efficacement l'environnement et les espèces et constituera de plus le laboratoire indispensable aux scientifiques pour comprendre l'évolution du reste de l'île.

- d'établir une liste des espèces menacées localement ou globalement
- de dresser une liste des écosystèmes littoraux et des menaces pesant sur chacun d'eux (cf. ZNIEFF).

Sur le plan halieutique, une réserve permanente est une garantie pour la reproduction des espèces exploitées alors que les réglementations définissant des "périodes de fermeture" des pêches n'ont pas de fondements scientifiques. En effet, il n'y a pas de relation directe entre le nombre de reproducteurs et l'abondance d'un stock. La fermeture d'une pêcherie pendant la période de reproduction serait donc sans effet sur les effectifs. L'effet bénéfique d'une saison de fermeture traduirait uniquement la réduction de l'effort de pêche (FARMAN, 1995). La protection des zones de reproduction et de "nursery" est plus efficace que l'établissement de périodes de fermeture de la pêche.

5.4.1 - Création d'autres réserves en Nouvelle-Calédonie

5.4.1.1- Réserves lagunaires (Chesterfield, Huon et Surprise, corne sud...)

Pour protéger efficacement les différents écosystèmes marins de Nouvelle-Calédonie et les espèces qui les fréquentent, il faudrait délimiter des périmètres de réserves intégrales de grandes dimensions (plusieurs milliers de km²). Ces zones devraient être judicieusement réparties sur tout le Territoire et non pas seulement dans la Province Sud et tenir compte des différents biotopes, mangroves, herbiers, îlot, récifs barrières. Il s'agirait de suivre le schéma adopté pour le parc national de la Grande barrière australienne (GBRMPA) et de définir un plan général de gestion des lagons avec de vastes zones en réserves intégrales et d'autres ouvertes à la navigation de plaisance ou à certains types de pêche. La création d'une zone de réserve est forcément contraignante pour les populations locales ; néanmoins, la Nouvelle-Calédonie étant très peu peuplée, il paraît encore possible d'y définir des réserves sans trop perturber les traditions. Il est donc particulièrement important qu'elles soient mises en place et gérées en concertation avec les collectivités locales. Certaines zones complètement inhabitées pourraient d'ores et déjà être mises en réserve sans consultation des acteurs socio-économiques et culturels. C'est notamment le cas de :

La corne sud-ouest des récifs de la Grande Terre (Fig. 70) : Cette vaste zone récifale située à plus de 50 km de la Grande Terre comprend un récif barrière encerclant de nombreux îlots ou cayes de sables séparés par des fonds meubles sur lesquels des herbiers de phanérogame sont présents. La mise en réserve intégrale de cette partie du lagon sud-ouest ne nuirait ni à la pêche ni à la navigation de plaisance (zone non hydrographiée et difficilement navigable).

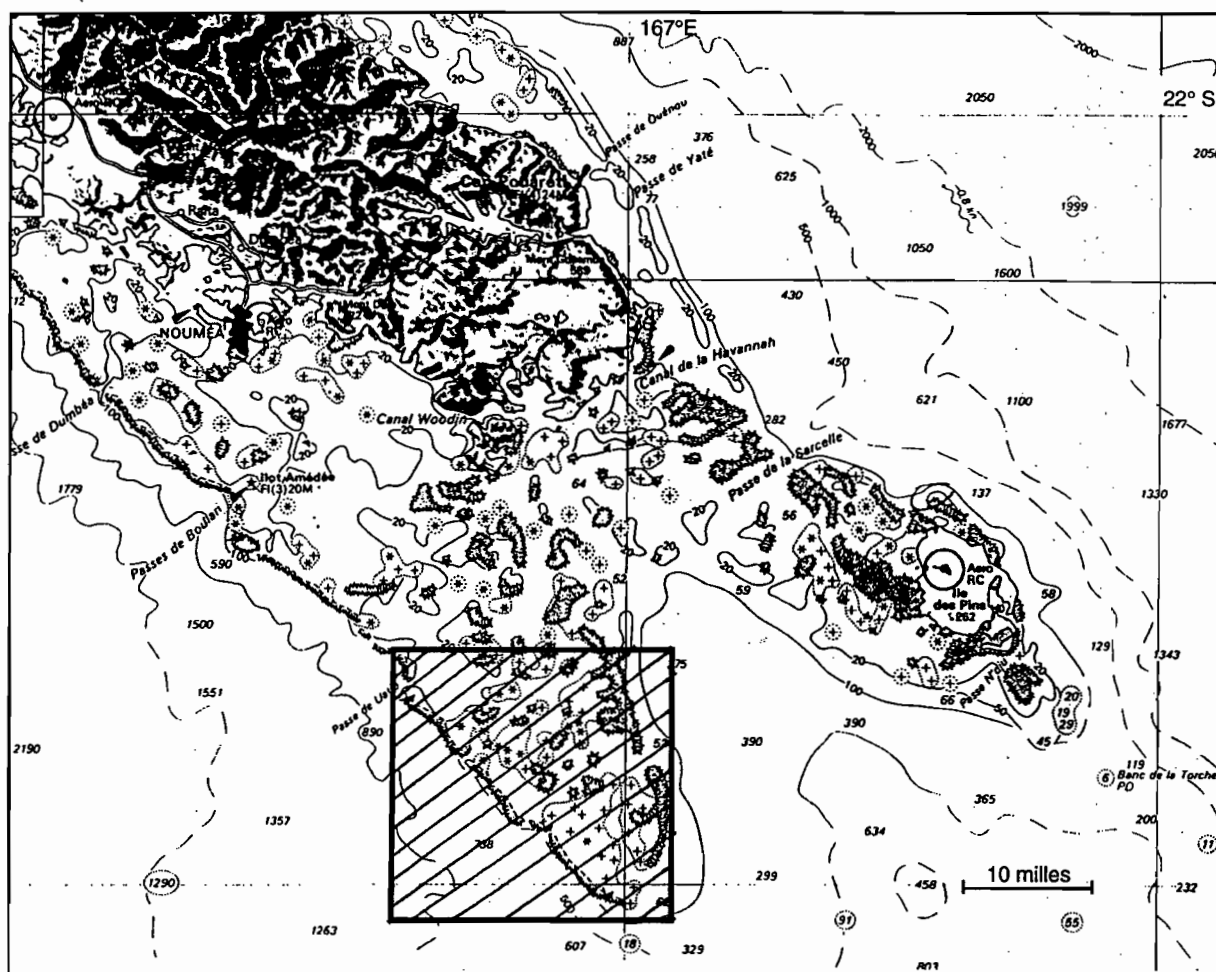


Fig. 70. — Proposition d'un périmètre de mise en réserve intégrale d'une partie du lagon sud de la Nouvelle-Calédonie (d'après la carte marine du SH n°7268).

Les îles Huon et Surprise (Fig. 71) : Il s'agit des deux petits atolls coralliens situés à l'extrême nord de la Grande Terre qui sont des lieux privilégiés de reproduction des tortues (*Chelonia mydas*) et de nombreuses espèces d'oiseaux de mer. D'après les spécialistes américains des tortues marines (PRITCHARD, BALAZS, CARR et HIRTH) qui ont survolé à basse altitude toutes les plages du Territoire et des îles en 1979, l'atoll de Huon serait l'un des principaux lieux de pontes du Pacifique sud-ouest pour la tortue verte, raison suffisante pour faire de cette région une réserve intégrale.

Les îles Chesterfield (Fig. 72) : situés à mi-distance entre la Nouvelle-Calédonie et la côte est australienne, les deux immenses atolls de Chesterfield et de Bellona sont très isolés dans la mer du Corail. Cet éloignement leur procure une certaine protection naturelle qui permet la présence permanente de vastes colonies d'oiseaux de mer. Cependant, plusieurs fois par an, des navires s'y rendent soit pour entretenir la station météorologique automatique située sur l'île Loop, soit pour emmener des collectionneurs de coquillages australiens à la recherche des volutes endémiques (*Cymbiolacca tatcheri*, *Lyria grangei*). L'absence de réglementation concernant l'environnement de ces îlots laisse libre cours au pillage (langoustes,

bénitiers, volutes, tortues, poissons...) et aux introductions volontaires ou non d'espèces (lézards, rats, cocotier...) très néfastes à l'équilibre de ces écosystèmes. Cet archipel très isolé est tout de même fréquenté de longue date : Au 19^{ème} siècle, l'île Longue a servi de base aux baleiniers qui chassaient le rorqual à bosse et le cachalot lors de leurs migrations saisonnières. Des vestiges de ces installations y sont encore visibles (cabanes, chaudron à graisse) et de multiples épaves ont été signalées sur les récifs de cet archipel. L'Association Fortunes de Mer Calédoniennes ne recense pas moins de 27 naufrages aux îles Chesterfield entre 1831 et 1939 (ANONYME, 1989). Les palangriers japonais qui pêchent à proximité y font probablement relâche de temps à autre ? Enfin, la découverte en 1993 d'un très important trafic de drogue utilisant cette région comme entrepôt montre que l'isolement n'est pas un facteur suffisant de protection et que la mise en place d'une réglementation s'impose.

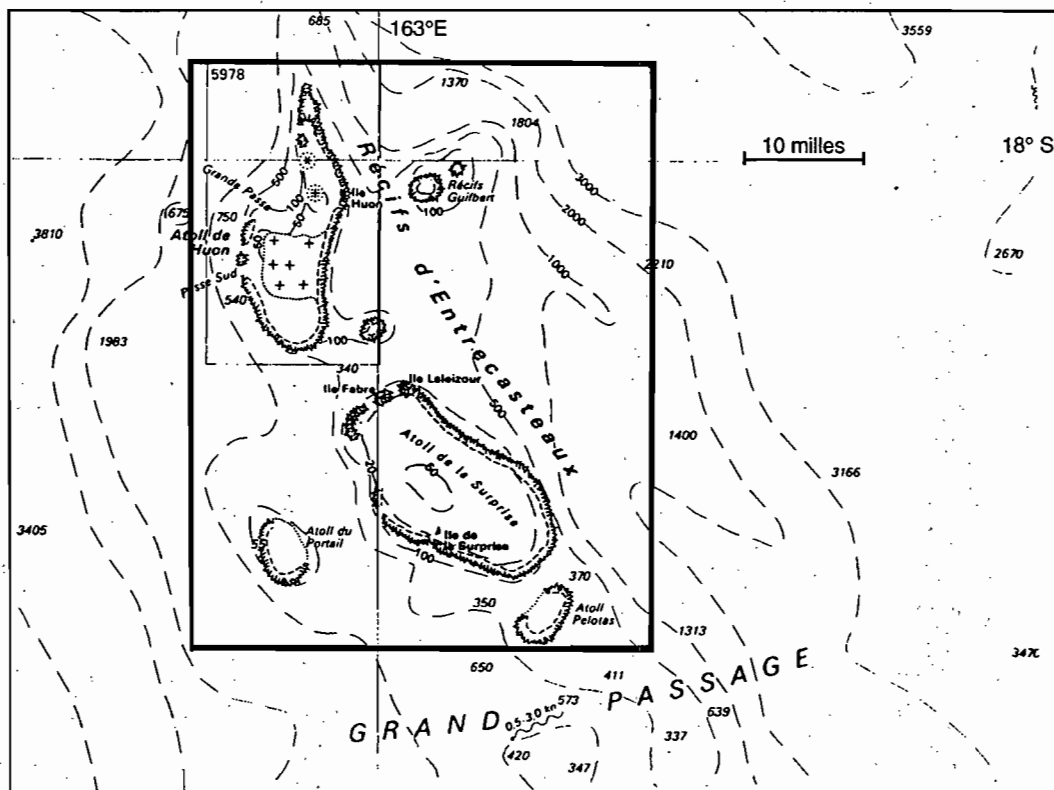


Fig. 71. — Proposition d'un périmètre de réserve intégrale aux Récifs d'Entrecasteaux (île Huon et île de la Surprise) (SH n°7268).

5.4.1.2 - Faut-il créer des réserves de faune bathyale ?

La faune de profondeur mise en évidence par nos campagnes sur la ride de Norfolk est si riche, si originale et présente un tel taux d'archaïsme et d'endémisme que la question de sa conservation peut se poser. En effet, cette faune est très vulnérable car localisée uniquement sur la partie sommitale des guyots et qu'une ressource en poissons exploitable y est associée (*Beryx*). Cette idée, très nouvelle, de créer une sorte de réserve de faune bathyale a toutefois déjà été émise par d'autres chercheurs :

- en 1994, des chercheurs australiens du CSIRO se sont préoccupés de la façon dont ils pourraient faire protéger certains monts sous-marins de la mer de Tasman situés dans les zones de pêche à l'"orange roughy" (*Hoplostethus atlanticus*), qui sont eux même des organismes à croissance lente pouvant vivre près de 150 ans (FENTON *et al.*, 1991). KOSLOW et EXON (1995) pensent que certaines espèces benthiques détruites par les chaluts sont très âgées (gorgonaires, anthipathaires) et que les petites populations qu'elles constituent pourraient être anéanties (KOSLOW, 1997).

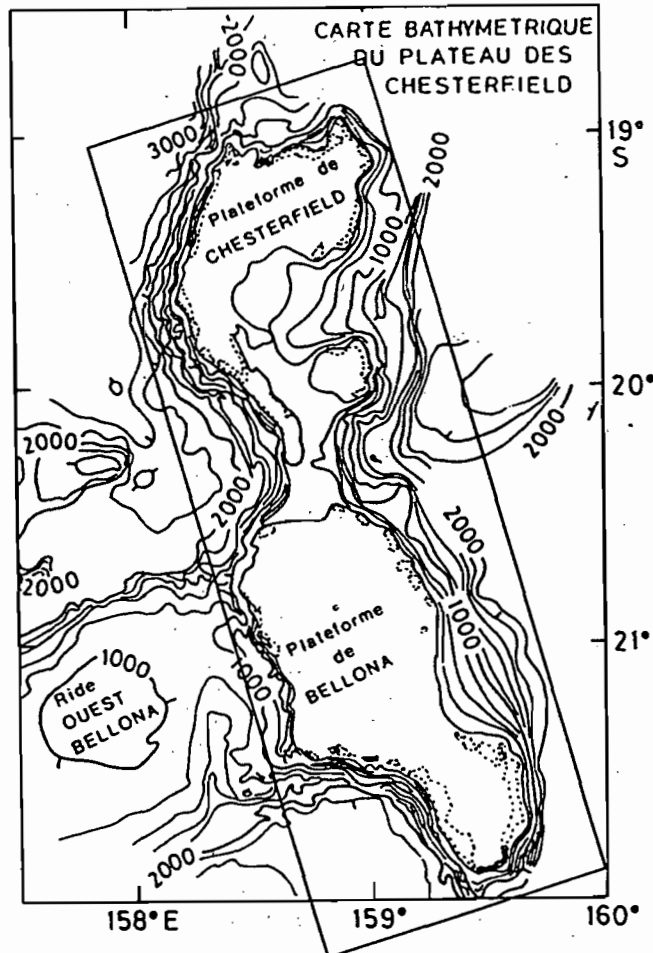


Fig. 73. — Proposition d'un périmètre de réserve intégrale des Atolls de Chesterfield et Bellona (carte d'après MISSEGUE & COLLOT, 1987).

Nos propres observations sur la faune bathyale fixée confirment la grande longévité des espèces et leur croissance très lente. Ainsi les datations effectuées sur les éponges calcifiées du groupe des sphinctozoaires indiquent une croissance d'environ 1 cm par siècle (VACELET *et al.*, 1994). Des spicules siliceuses des éponges du genre *Monoraphis* d'un diamètre de 8 mm, actuellement en étude à la Scripps Institution of Oceanography, seraient âgées de 200 à 400 ans (MOORE, *in litt.*). Il est probable que le passage d'un engin traînant sur une faune benthique fixé à croissance aussi lente perturbera durablement l'écosystème.

- en 1994, FRICKE *et al.* proposent la création d'un observatoire sous-marin aux îles Comores destiné à protéger le Coelacanthe. En effet, cette espèce, victime de son succès

médiatique, est capturée par les habitants, bien qu'elle soit simultanément protégée par une interdiction de pêche et par son inscription en annexe I de la Convention de Washington. Afin de protéger ce "fossile vivant" sans pour autant priver les populations locales d'une importante source de revenus, la réserve se composerait de caméras vidéo filmant en continu l'évolution des poissons et d'un observatoire de surface accessible aux touristes. Par ailleurs, l'observation du comportement de la faune de profondeur sur de longues durées permettrait certainement d'enrichir les connaissances scientifiques sur cette faune méconnue. On retrouve là encore l'association entre protection et valorisation durable de la biodiversité.

Pour protéger efficacement la faune bathyale des guyots de la ride de Norfolk, une telle réserve devrait englober divers types de monts sous-marins de petites tailles présentant des peuplements particulièrement riches : le banc *Stylaster* (= A), le banc *Éponge* (= B) et les bancs Jumeaux (cf. carte Fig. 53, 74). De plus la protection intégrale de ces trois monts sous-marins de la ride de Norfolk serait favorable à la conservation du stock de *Beryx* qui, selon le schéma proposé par LEHODEY (1994), développerait son cycle de vie autour de l'ensemble de Monts sous-marins des rides de Norfolk et des Loyauté (Fig. 73). Cette proposition de création d'une réserve de faune bathyale devient tout à fait d'actualité car, en octobre 1997, un armateur français vient de demander une autorisation de pêche au *Beryx* par chalutages (RICHER DE FORGES *et al.*, 1997).

Sur un plan purement éthique, lorsque l'homme deviendra capable de protéger des écosystèmes situés hors de sa vue, il aura réalisé un grand pas vers la véritable conservation de la nature pour elle même, sans arrière-pensées mercantiles.

5.4.2 - Recommandations pour l'aménagement du littoral

Pour réaliser un développement économique du Territoire de Nouvelle-Calédonie respectueux de l'environnement, il serait souhaitable de s'inspirer d'exemples existant en France ou en Nouvelle-Zélande. Ainsi, le Conservatoire du Littoral français pourrait certainement aider à concevoir un véritable plan d'aménagement du littoral de Nouvelle-Calédonie. Il faudrait toutefois intégrer le fait que la biodiversité des habitats et des espèces est beaucoup plus élevée qu'en zones tempérées. Une des premières étapes vers cet aménagement rationnel serait la réalisation d'un plan ZNIEFF-mer comme cela a été fait sur le littoral métropolitain et est en cours dans les Départements d'Outre mer (La Réunion, Guadeloupe).

Il faut arrêter de détruire systématiquement les zones de mangroves qui sont l'un des écosystèmes les plus riches des lagons et qui forment une interface protectrice. Habilement aménagées, certaines zones de mangroves, pourraient être mises en réserves de faune et de flore et ouvertes au public.

La prolifération de projets d'aquaculture de crevettes en zones littorales doit être régulée pour atteindre deux objectifs complémentaires, une perturbation minimale des zones de rejets et le maintien d'une production de grande qualité.

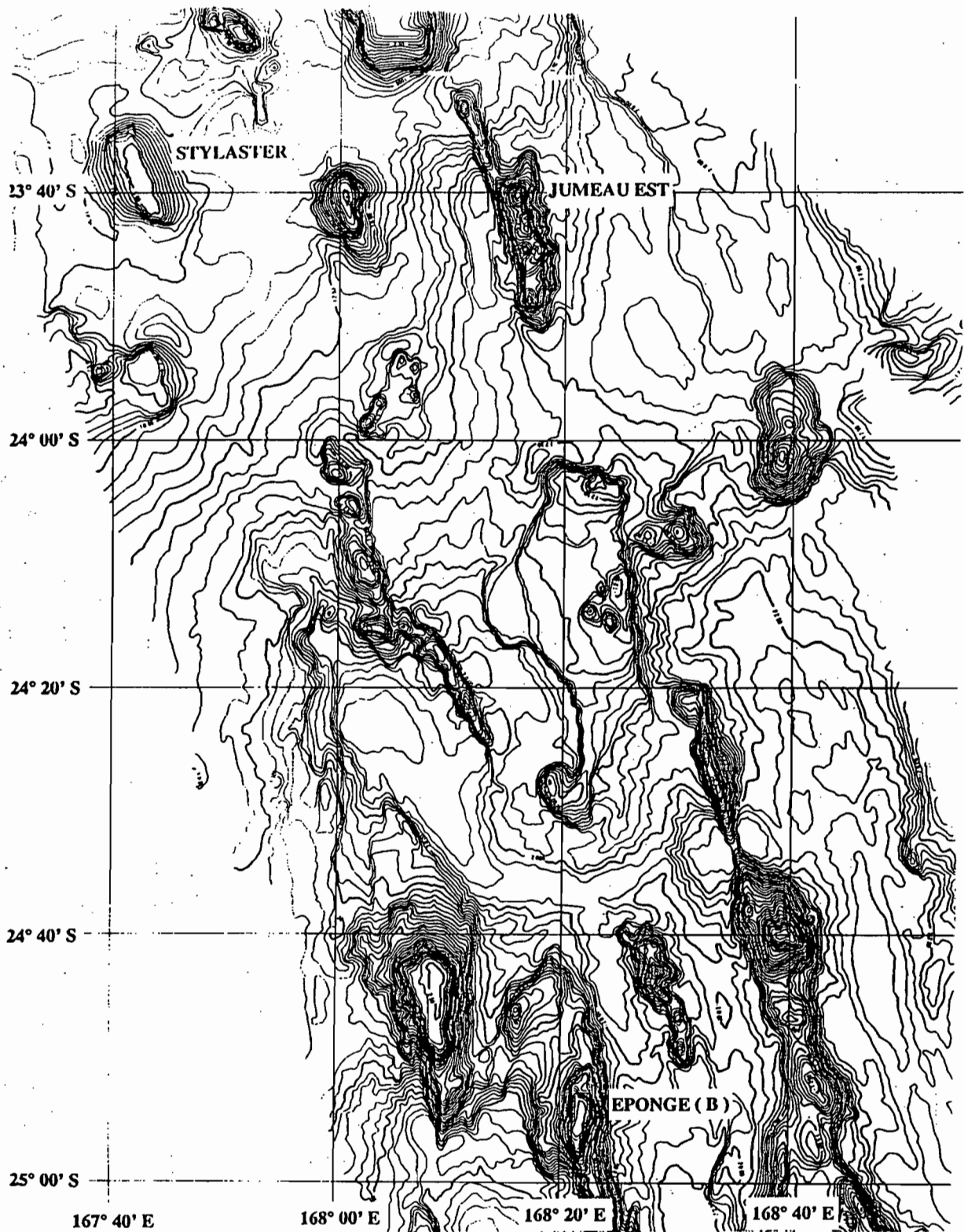


Fig. 73. — Proposition de zones bathyales à mettre en réserve intégrales concernant trois monts sous-marins de la Ride de Norfolk : Banc Stylaster, Banc Jumeau Est, Banc Eponge.

Aucune construction en zone littorale, modifiant le trait de côte, ne devrait être engagé sans étude d'impact préalable pour jauger les effets écologiques et écotouristiques.

Conclusions :

Ce document a amplement montré que les lacunes sur la connaissance des faunes de l'Indo-Pacifiques étaient encore très vastes, que certains archipels n'avaient jamais fait l'objet de bons inventaires et que pour certaines zones et certains groupes zoologiques les seules données disponibles sont celles qui furent acquises au cours des Grandes Expéditions de la fin du XIX^{ème} siècle. Il est évident que pour aboutir à une bonne gestion de l'environnement, notamment en créant des réserves à bon escient en sachant ce que l'on protège, l'effort d'inventaire des espèces est à poursuivre. Parmi les décideurs de la recherche scientifique, il est de bon ton de dire que cette démarche est périmée, que la diversité est tellement grande que ces efforts sont vains et inutiles ; malheureusement, ces personnes mal informées ou mal intentionnées ont réussi à persuader les décideurs politiques que l'activité exploratoire et descriptive n'avait plus lieu d'être soutenue. Il s'agit purement et simplement de "terrorisme intellectuel" ! La réalité est bien différente, la connaissance de base, indispensable à la gestion, à l'exploitation, à la valorisation et à la conservation de la biodiversité sur notre planète, passe par l'inventaire taxonomique des espèces (MANNING, 1991 ; FELDMANN & MANNING, 1992 ; ERZINÇLIOGLU, 1993). On assiste actuellement à une prise de conscience des États-Unis dans ce domaine et tous les systèmes de bases de données destinés à aider les décideurs en matière d'environnement fonctionnent à partir d'un inventaire taxonomique régional (BUTMAN & CARLTON, 1995 ; PAULAY, 1997).

La France, qui avait pris une part active dans l'exploration et la description des faunes de l'Indo-Pacifique et tout spécialement du milieu marin, a suivi la mode simplificatrice de l'écologie quantitative pendant plusieurs décennies, allant jusqu'à supprimer pratiquement l'enseignement de la zoologie du cursus universitaire. Elle occupe pourtant, grâce à ses Départements et Territoires d'Outre-mer, une position privilégiée dans la zone intertropicale, lui permettant un accès à la grande biodiversité de ces régions et lui conférant responsabilités sur l'une des plus vastes zones économiques mondiales (la somme des ZEE françaises en région tropicale couvre 8 989 740 km²). Le patrimoine national exceptionnel que représente la biodiversité associée aux récifs coralliens fait maintenant l'objet de projets de surveillance et de sauvegarde au sein de l'ICRI-France. Toutefois, ces actions restent encore liées aux bonnes volontés individuelles de quelques chercheurs et le soutien de l'Etat au travers de programmes institutionnels est quasiment inexistant. Il est même remarquable d'observer un total découplage entre le discours sur la conservation de la biodiversité et la réalité des recherches. Lorsque, dans un avenir proche, il ne sera plus possible d'identifier un organisme marin faute de taxonomistes, l'érosion de la biodiversité se poursuivra dans une rassurante ignorance.

Au sein des pays développés, commence néanmoins à émerger des "groupes prospectifs" qui essayent d'imaginer l'évolution de la planète à plus long terme que les politiciens et les administrations, trop occupés à gérer la faillite des systèmes économiques internationaux. Tous les scénarios évolutifs décrits par ces experts prédisent une sévère érosion de la biodiversité spécifique des écosystèmes terrestres et la régression des écosystèmes marins littoraux. La nature est peu à peu remplacée par une techno-nature dans laquelle l'intervention de l'homme, plus ou moins visible, se fait toujours au détriment de la diversité (GAUDIN, 1990).

**REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANONYME, 1910. — *Dredging and Hydrographic records of the U. S. Fisheries steamer ALBATROSS during the Philippine Expedition, 1907-1910*. Bureau of Fisheries Document N° 741, Washington, Government Printing Office ; 95 p.
- ANONYME, 1972. — Projets de l'ADPIPS : la station expérimentale de cultures marines de la Baie de Saint-Vincent, Nouvelle-Calédonie. *Lettre d'Information sur les pêches dans les îles du Pacifique Sud*, 5 : 5-12.
- ANONYME, 1979. — *Cruise report of TASMAN SEAMOUNTS 1979*. Cruise n° 1093. N. Z. Oceanogr. Inst., 10 p.
- ANONYME, 1990. — *Statistiques des pêches maritimes et de l'aquaculture*. Service Territorial de la Marine Marchande et des Pêches Maritimes ; 13 p.
- ANONYME, 1993a. — Reefs at risks : coral reefs, human use and global climate change. A program of action. IUCN, Gland ; 24 p.
- ANONYME, 1993b. — *Droit de l'Environnement et Nouvelle-Calédonie*. Revue Juridique, numéro hors série ; Actes des rencontres tenues le 29 juillet 1992 à l'Université française du Pacifique, Nouméa ; 131 p.
- ANONYME, 1994a. — Catégories de l'UICN pour les Listes Rouges. Préparées par la Commission de la sauvegarde des espèces de l'UICN. UICN, Gand ; 22 p.
- ANONYME, 1994b. — Seasstar fish gains momentum. Update on the northern Pacific seastar "*Asterias amurensis*". *Aust. Fish.*, January 1994 : 25-28.
- ANONYME, 1995a. — *Understanding Marine Biodiversity (A research Agenda for the Nation)*. National Academy Press, Washington D.C. ; 114 p.
- ANONYME, 1995b. — Projet Goro Nickel, Nouvelle-Calédonie. Résumé de l'étude de caractérisation de l'environnement. INCO Exploration and Technical Services Inc., juillet 1995 ; Réf. 007445. SNC. LAVALIN Environnement.
- ANONYME, 1995c. — Exposé national de la Nouvelle-Calédonie présentée par le Service Territorial de la Marine Marchande et des Pêches Maritimes. In : DALZELL, P. & ADAMS, T.J.H. — *South Pacific Commission and Forum Fisheries Agency workshop on the management of South Pacific inshore fisheries. Integrated Coastal Fisheries Management Project*. Technical Document N° 11 ; Vol. 1 : 51-53.
- ANONYME, 1995d. — Rapport de la vingt-cinquième session (Rome, 24-28 avril 1995). *Rapports et études du GESAMP*, N° 56, Organisation Maritime Internationale, Londres, 1996 ; 57 p.
- ANONYME, 1995e. — *Holothurians et Bêches-de-mer dans le Pacifique tropical*. Manuel N°18. Commission du Pacifique Sud, Nouméa, Nouvelle-Calédonie ; 51 p.
- ANONYME, 1995f. — *World Population Prospects*. Department for Economic and Social information and Policy Analysis ; United Nations, New York ; 677 p.
- ANONYME, 1996. — *Aspects of the industry trade and marketing of Pacific Island Trochus*. A Report for the World Bank. ICECON, Reykjavic, Iceland ; 20 p.
- ANONYME, 1997a. — L'écaille. Bibliographie distribuée dans le cadre d'une exposition à la bibliothèque Forney du 11 mars au 10 mai 1997, Paris ; 4 p.
- ANONYME, 1997b. — L'écaille de tortue. Direction des Affaires Culturelles, Mairie de Paris ; Bibliothèque Forney ; 1 p.
- ANONYME, 1997c. — Opportunistic settlers and the problem of the ctenophore *Mnemiopsis leidyi* invasion in the Black sea. *Reports and Studies N° 58* ; IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP) ; 84 p.
- ABBOTT, R. T. & DANCE, S. P., 1982. — *Compendium of seashells. A full-color guide to more than 4200 of the world's marine shells*. Dai Nippon Printing Co., Ltd., Tokyo ; 411 p.
- ALCOCK, A., 1902. — *A naturalist in Indian seas. Or, four years with the Royal Indian Marine Survey ship "Investigator"*. John Murray, Albemarle street, London ; 328 p.
- ALEXANDER, L. M., 1993. — Regional approach to Large Marine Ecosystems. In : SHERMAN, K., ALEXANDER, L. M. & GOLD, B. D. (eds). — *Large Marine Ecosystems. Stress, Mitigation and Sustainability*. AAAS PRESS : 225-226.
- ALEXANDER, K., ROBERTSON, G. & GALES, R., 1997. — *The incidental mortality of albatrosses in longline fisheries*. A report on the workshop from the First International Conference on the Biology and Conservation of Albatrosses. Hobart, Australia, September 1995 ; 44 p.

- ALLENBACH, M. & THOLLOT, P., 1997. — The mangrove ecosystem of Boulari Bay (Nouméa, New Caledonia). Predictable impact of anthropogenic action (Motorway by-pass build) and proposal developments (Abstr.) *Marine Benthic Habitat*, November 10-16, 1997.
- ALLEGRE, C., 1983. — *L'écume de la terre*. Fayard, Collection Pluriel ; 339 p.
- ALONGI, D. M., 1990. — The ecology of tropical soft-bottom benthic ecosystems. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.*, 28 : 381-496.
- ALVERSON, D. L., FREEBERG, M. H., MURAWSKI, S. A. & POPE, J. G., 1994. — A global assessment of fisheries bycatch and discards. *FAO Fish. Tech.*, 339 ; 233 p.
- AMAOKA, K., MIHARA, E. & RIVATON, J., 1993. — Pisces Pleuronectiformes : Flatfishes from the waters around New Caledonia. - A revision of the genus *Engyprosopon*. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 11. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), 158 : 378-426.
- AMAOKA, K., MIHARA, E. & RIVATON, J., 1997. — Pisces, Pleuronectiformes : Flatfishes from the waters around New Caledonia. Six species of the bothid genera *Tosarhombus* and *Parabothus*. In : SERET, B. (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 17. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 174 : 143-172.
- AMAOKA, K. & RIVATON, J., 1991. — Pisces Pleuronectiformes : A review of the genus *Tosarhombus* (Bothidae) with descriptions of two new species from Saya de Malha Bank (Indian Ocean) and the Chesterfield Islands (Coral Sea). In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 8. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), 151 : 449-466.
- AMEZIANE-COMINARDI, N., 1991. — Distribution bathymétrique des pentacrines du pacifique occidentale. Essai de modélisation et d'application aux faunes du Lias (Problèmes de tectono-eustatismes au cours du rifting téthysien. Département des sciences de la Terre. université Claude-Bernard, Lyon 1. *Docum. Lab. Géol. Lyon*, 116 ; 253 p.
- AMEZIANE-COMINARDI, N., BOURSEAU, J.-P. & ROUX, M., 1987. — Les crinoïdes pédonculés de Nouvelle-Calédonie (S. W. Pacifique) : une faune bathyale ancestrale issue de la Mésogée mésozoïque. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci. Paris*, 304 (3) : 15-18.
- AMEZIANE-COMINARDI, N., BOURSEAU, J.-P., AVOCAT, R. & ROUX, M., 1990. — *Les crinoïdes pédonculés de Nouvelle-Calédonie : inventaire et réflexions sur les taxons archaïques*. In : C. DE RIDDER et al. (eds), Echinoderm Research. Rotterdam, Balkema : 117-124.
- AMEZIANE-COMINARDI, N., BOURSEAU, J.-P. & ROUX, M., 1991. — Les crinoïdes pédonculés de l'ouest Pacifique : un modèle zoobathymétrique pour l'analyse des calcaires à entroques et du tectono-eustatisme au Jurassique. *Doc. Trav. IGAL, Paris*, (15) : 182-198.
- ANDERSON, P. K., 1995. — Competition, predation, and the evolution and extinction of Steller's sea cow, *Hydrodamalis gigas*. *Marine Mammal Science*, 11 (3) : 391-394.
- ANTHEAUME, B. & BONNEMAISON, J., 1988. — *Atlas des îles et états du Pacifique sud*. GIP RECLUS / PUBLISUD ; 126 p.
- ARCHER, M., 1988. — The four-dimensional Bioblob called Life. *Australian Natural History*, 22.(11) : 512-513.
- ASNNC, 1993. — Des tortues et des hommes. *Le Journal Vert* n°3, p. 1, 8.
- BABLET, J.-P., GOUT, B. & GOUTIERE, 1995. — Les Atolls de Mururoa et de Fangataufa (Polynésie Française). III. Le milieu vivant et son évolution. Direction des Centres d'Expérimentations Nucléaires. CEA/DAM, Direction des essais ; 306 p.
- BAILLIE, J. & GROOMBRIDGE, B. (eds), 1996. — 1996 IUCN Red List of Threatened Animals. IUCN The World Conservation Union, Gland ; 368 p.
- BAGNIS, R., 1981. — L'ichtyosarcotisme de type ciguatera : phénomène complexe de biologie marine et humaine. *Oceanologica acta*, 4 (3) : 375-387.
- BALLANTINE, B., 1991. — Marine reserves for New Zealand. *University of Auckland, Leigh Laboratory Bulletin*, 25 ; 196 p.
- BALTZER, F., 1968. — Quelques effets sédimentologiques du cyclone Brenda dans la plaine alluviale de la Dumbéa (Côte Ouest de la Nouvelle-Calédonie). Etude préliminaire. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 21 : 97-114.
- BALTZER, F., & J. J. TRESCASES, 1971. — Erosion, transport et sédimentation liés aux cyclones tropicaux dans les massifs d'ultrabasites de Nouvelle-Calédonie. (Première approche du bilan général de l'altération, de l'érosion et de la sédimentation sur péridotite en zone tropicale). *Cah. ORSTOM*, sér. Géol., (III) 2 : 221-244.
- BARGIBANT, G., R. GRANDPERRIN, P. LABOUE, M. MONZIER & B. RICHER de FORGES, 1989. — La campagne "GEMINI" sur les volcans sous-marins de Vanuatu. N. O. Alis (ORSTOM) du 3 au 7 juillet 1989. *Nouméa : ORSTOM. Rapp. miss. Sc. Terre. Geol. Geoph.*, 12 ; 13 p.
- BARGIBANT, G., CLAVIER, J., GARRIGUE, C., KULBICKI, M., LE BORGNE, R., LE BOUTEILLER, A., MENU, J.-L., MOUTHAM, G., RODIER, M. & RICHER DE FORGES, B., 1993. — Evaluation des ressources en poissons du

- lagon d'Ouvéa. 1ère partie : l'environnement biologique : le macrobenthos, le mégabenthos et le plancton. ORSTOM : Nouméa, *Conventions Sciences de la Mer. Bio.Mar.*, 8 ; 215 p.
- BARON J., 1992a. *Bivalves d'intérêt économique et peuplements benthiques associés sur les substrats meubles intertidaux de Nouvelle Calédonie*. Thèse Univ. : Océanogr. biol. : Univ. Aix-Marseille II. 301 p. (version de soutenance)
- BARON J., 1992b. Reproductive cycles of the bivalve molluscs *Atactodea striata* (Gmelin), *Gafrarium tumidum* Röding and *Anadara scapha* (L.) in New Caledonia. *Aust. J. mar. freshw. Res.*, 43 : 393-402.
- BATES, D., 1988. — Les graptolites. *La Recherche*, 205 : 1476-1482.
- BATTISTINI, R., BOURROUILH, F., CHEVALIER, J. P., COUDRAY, J., DENIZOT, M., FAURE, G., FISCHER, J. C., GUILCHER, A., HARMELIN-VIVIEN, M., JAUBERT, J., LABOREL, J., MASSE, J. P., MAUGE, L. A., MONTAGGIONI, L., PEYROT-CLAUSADE, M., PICHON, M., PLANTE, R., PLAZIAT, J. C., PLESSIS, Y. B., RICHARD, G., SALVAT, B., THOMASSIN, B., VASSEUR, P. & WEYDERT, P., 1975. — Eléments de terminologie récifale indo-pacifique. *Tethys*, 7 (1) : 1-111.
- BAYER, F. M., 1990. — A new isidid octocoral (Anthozoa : Gorgonacea) from New Caledonia, with descriptions of other new species from elsewhere in the Pacific Ocean. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 103 (1) : 205-228.
- BAYER, F. M. & STEFANI, J., 1987. — Isididae de Nouvelle-Calédonie (clé des genres et description de 6 espèces nouvelles). *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4), 9, sect. A, (1) : 47-106.
- BAYER, F. M. & STEFANI, J., 1988a. — A new species of *Chrysogorgia* (Octocorallia : Gorgonacea) from New Caledonia, with descriptions of some other species from the Western Pacific. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 101 (2) : 257-279.
- BAYER, F. M. & STEFANI, J., 1988b. — Primnoidae (Gorgonacea) de Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4), 10, sect. A, (3) : 449-518.
- BENNETT, I., 1988. — *The Great Barrier Reef*. Lansdowne Press, Sydney ; 184.
- BENNETT, B. A., SMITH, C. R., GLASER, B. & MAYBAUM, H. L., 1994. — Faunal community structure of a chemoautotrophic assemblage on whale bones in the deep northeast Pacific Ocean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 108 : 205-223.
- BENTON, M. J., 1995. — Diversification and Extinction in the history of life. *Science*, 268 : 52-58.
- BERGMANS, W., 1991. — Mollusca Gastropoda : Archibenthal Nuculidae off New Caledonia. In : A. CROSNIER & P. BOUCHET (eds), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 7. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), 150 : 29-40.
- BERNARDI, 1860. — Description de *Voluta rossiniana*. *J. Conchyl.*, Paris, 8 (1) : 127.
- BEST, P. B., 1993. — Increase rates in severely depleted stocks of baleen whales. *ICES J. mar. Sci.*, 50 : 169-186.
- BEURIER, J.-P., 1996. — Le droit de la biodiversité. 28 p.
- BINET, D., 1984. — Copépodes planctoniques du lagon de Nouvelle-Calédonie : facteurs écologiques et associations d'espèces. *Mar. Biol.*, 82 (2) : 143-156.
- BIRD, E. C. F., J. P. DUBOIS & J. A. ILTIS, 1984. — *The impacts of opencast mining on the rivers and coasts of New Caledonia*. The United Nations University. NRTS-25/UNUP-505 ; 53p.
- BIRKELAND, C., 1982. — Terrestrial runoff as a cause of outbreaks of *Acanthaster planci* (Echinodermata : Asteroidea). *Marine Biology* 69 : 175-185.
- BIRKELAND, C. (ed.), 1997. — *Life and Death of Coral Reefs*. CHAPMAN & HALL, New York ; 536 p.
- BITOÛN, G., & J. RECY, 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 : Contribution à l'étude géodynamique du sud-ouest pacifique. *Trav. Doc. ORSTOM*, 147 : 505-539.
- BLONDEL, J., 1986. — *Biogéographie évolutive*. Collection d'écologie 20. Masson ; 221 p.
- BOEHLERT, G. W. & GENIN, A., 1987. — A review of the effects of seamounts on biological processes. In : KEATING, B. H., FRYER, P., BATIZA, R. & BOEHLERT, G. (eds). — *Seamounts, Islands and Atolls*. Geophysical monograph Series 43 : 319-334.
- BOLETZKY, S. V., 1992. — Octopod "ballooning" response. *Nature*, 356 ; 199.
- BORRADAILE, L. A., 1898. — A revision of the Pontoniidae. *Ann. Mag. nat. Hist.*, 7 (2) : 376-391.
- BORRADAILE, L. A., 1899. — On the stomatopoda and macrura brought by Dr. Willey from the south seas. In : WILLEY, A. (ed.). *Zoological results based on material from New Britain, New Guinea, Loyalty Islands and elsewhere, collected during the years 1895, 1896 and 1897 by Arthur Willey*. Londres : Camb. Univ. Press. Part 4 : 395-428.

- BORRADAILE, L. A., 1900. — On some Crustaceans from the South Pacific. Part IV. The crabs. *Proc. zool. Soc. Lond.*, 1900 : 568-596.
- BOUCHET, P., 1979. — How many molluscan species in New Caledonia ? *Hawaiian Shell News* 27 (6) : 10.
- BOUCHET, P. & BOUR, W., 1979. — La pêche au Troca en Nouvelle-Calédonie. *CPS Lett. Inf. Pêch.*, 20 : 9-12.
- BOUCHET, P. & MÉTIVIER, B., 1982. — Living Pleurotomariidae (Mollusca : Gastropoda) from the South Pacific. *N. Z. J. Zool.*, 9 : 309-318.
- BOUCHET, P. & POPPE, G., 1988. — Deep water Volutes from the New Caledonian region, with a discussion on biogeography. *Venus*, 47 (1) : 15-32.
- BOUCHET, P. & POPPE, G., 1995. — A review of the deep-water volute genus *Callioctectum*, with the description of two new species. In : P. BOUCHET (ed.), Résultats des campagnes MUSORSTOM, Volume 14. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 164 :
- BOUDOURESQUE, C. F., 1994. — Les espèces introduites dans les eaux côtières d'Europe et de Méditerranée : Etat de la question et conséquences. In : BOUDOURESQUE, C. F., BRIAND, F. & NOLAN, C. (eds). — Introduced species in European coastal waters. *Ecosystems Research Report* 8 ; Office for Official publications of the European Communities, Luxembourg : 8-27.
- BOUR W., 1989. — *Biologie, écologie, exploitation et gestion rationnelle des trocas (Trochus niloticus Linn.) de Nouvelle Calédonie*. Thèse Dr. : Océanogr. biol. : Univ. Montpellier. 192 p., multigr. (version de soutenance)
- BOUR W., 1990. — Les ressources halieutiques des pays insulaires du Pacifique. Troisième partie : les trocas = The fishery resources of Pacific Island Countries. Part 3 : Trochus. *FAO Doc. tech. Pêch. = FAO Fish. tech. Pap.*, 272.3, 89 p.
- BOUR W., HOFFSCHIR C., 1985a. — Evaluation et gestion de la ressource en trocas de Nouvelle Calédonie. *17ème Conf. tech. rég. Pêch., Nouméa, SPC/Fish. 17/WP 11* : 15 p.
- BOUR W., HOFFSCHIR C., 1985b. — Evaluation et gestion de la ressource en trocas de Nouvelle Calédonie. Nouméa : ORSTOM. 71 p., multigr.
- BOURSEAU, J.-P., AMEZIANE-COMINARDI, N., & ROUX, M., 1987. — Un Crinoïde pédonculé nouveau (Echinodermes), représentant actuel de la famille jurassique des Hemicrinidae : *Gymnocrinus richeri* nov. sp. des fonds bathyaux de Nouvelle-Calédonie (S. W. Pacifique). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 305 (3) : 595-599.
- BOURSEAU, J.-P., AMEZIANE-COMINARDI, N., AVOCAT, R., & ROUX, M., 1991. — Echinodermata : Les Crinoïdes pédonculés de Nouvelle-Calédonie. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 8. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, (A), 151 : 229-333.
- BOXSHALL, G., 1989. — Parasitic copepods of fishes : a new genus of the Hatschekiidae from New Caledonia, and new records of the Pennellidae, Sphyrriidae and Lernanthropidae from the South Atlantic and South Pacific. *Systematic Parasitology*, 13 : 201-222.
- BRAIVE, P., GRANIER, M., KALAORA, B. & M. MUSSON, 1996. — Attention public ! Public protecteur ou public prédateur ? *Les Ateliers du Conservatoire du Littoral*, 14 février 1996 ; 11 p.
- BRANCH, J. B., 1984. — The waste bin : nuclear waste dumping and storage in the Pacific. *Ambio* 13 (5-6) : 327-330.
- BRIGGS, D. E. G., ERWIN, D. H. & COLLIER, F. J., 1994. — *The fossils of the Burgess Shale*. Smithsonian Institution Press, Washington and London ; 238 p.
- BRIGGS, J. C., 1974. — *Marine zoogeography*. McGRAW Hill, New York ;
- BRIGGS, J. C., 1996. — Tropical Diversity and conservation. *Conser. Biol.*, 10 (3) : 713-718.
- BRODIE, J. E., 1992. — Enhancement of larval and juvenile survival and recruitment in *Acanthaster planci* from the effects of terrestrial runoff : a review. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 43 : 539-554.
- BROWN, B.(ed.), 1990. — Coral bleaching. *Coral Reefs*, 8 (4) : 155-232.
- BROWN, B. E., 1997. — Disturbances to reefs in recent times. In : BIRKELAND, C. (ed.), 1997. — *Life and Death of Coral Reefs*. CHAPMAN & HALL, New York : 354-385.
- BRUCE, A. J., 1967. — A report on some Pontoniid shrimps from New Caledonia (Crustacea, Decapoda, Natantia). *Bull. Mus. natn. Hist. nat.*, Paris, 2ème sér. A, 39 (6) : 1148-1171.
- BRUCE, A. J., 1970. — Observations on the Indo-West Pacific species of the genus *Palaemonella* Dana, 1852 (Decapoda, Pontoniidae). *Crustaceana*, 19 (3) : 273-287.
- BRUCE, A. J., 1975. — Notes on some Indo-Pacific Pontoniidae. XXV. *Crustaceana*, 28 (3) : 275-285.
- BRUCE, A. J., 1980. — On some pontoniine shrimps from Noumea, New Caledonia. *Cah. Indo-Pac.*, 2 (1) : 1-39.
- BRUCE, A. J., 1982. — Notes on some Indo-Pacific Pontoniinae, XXXIX. *Isopontonia platycheles* gen. nov., sp. nov., from the Chesterfield Islands, New Caledonia (Decapoda, Caridea). *Crustaceana* 42 (1) : 54-64.

- BRUCE, A. J., 1990a. — Crustacea Decapoda : Deep-sea Palaemonoid shrimps from New Caledonian waters. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 6. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris, (A)*, 145 : 149-216.
- BRUCE, A. J., 1990b. — Crustacea Decapoda : *Gelastreutes crosnieri* gen. nov., sp. nov. (Hippolytidae) from New Caledonia. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 6. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris, (A)*, 145 : 137-148.
- BRUCE, A. J., 1991a. Shallow-water shrimps from New Caledonia (Crustacea : Decapoda : Palaemonidae). in : RICHER DE FORGES B. (ed.), *Le benthos des fonds meubles des lagons de Nouvelle Calédonie. Volume 1*. Paris : ORSTOM. *Etud. Thèses*. 221-280.
- BRUCE, A. J., 1991b. — Crustacea Decapoda : Further deep-sea Palaemonoid shrimps from New Caledonian waters. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 9. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris, (A)*, 152 : 299-411.
- BRUCE, N. L., 1980. — The Cirolanidae (Crustacea, Isopoda) of Australia : the Coral Sea. *Cah. Indo-Pac.*, 2 (2) : 155-173.
- BRUNEL, J. P., 1980. — *Régime hydrologique et transports solides en suspension de la rivière Ouenghi. Résultats de la campagne 1979*. Nouméa : ORSTOM ; 18 p.
- BRUUN, A. F., 1956. — Animal life of the deep sea bottom. In : BRUUN, A. F., HAKON MIELCHE, Sv. G., SPÄRCK, R., 1956. *The Galathea deep sea expedition - 1950-1952. Described by members of the expedition*. George Allen and Unwin Ltd. London : 149-195.
- BRUUN, A. F., 1957-59. — General introduction to the reports and list of deep-sea stations. In : BRUNN, A. F., GREVE, Sv. & R. SPÄRCK (eds). — *Galathea Report*, Volume I. Scientific Results of the Danish Deep-Sea Expedition round the world 1950-52 ; Copenhagen : 7-48.
- BUCKERIDGE, J. S., 1994. — Cirripedia Thoracica : Verrucomorpha of New Caledonia, Indonesia, Wallis and Futuna Islands. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 12. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 161 : 87-125.
- BUDDEMEIER, R. V., 1994. — Potential impacts of rapid climate change on coral reefs : implications for marine parks. In : PERNETTA, J., LEEMANS, R., ELDER, D. & HUMPHREY, S. (eds). — *Impacts of Climate Change on Ecosystems and species : Implications for protected areas*. IUCN, Gland : 95-103.
- BUDDEMEIER, R. W. & FAUTIN, D. G., 1993. — Coral bleaching as an adaptative mechanism. *BioScience* 43 : 320-326.
- BURRETT, C., DUHIG, N., BERRY, R. & VARNE, R., 1991. — Asian and South-western Pacific continental terranes derived from Gondwana, and their biogeographic significance. *Aust. Syst. Bot.*, 4 : 13-24.
- BUTMAN, C. A. & CARLTON, J. T., 1995. — Marine biological diversity : some important issues, opportunities and critical research needs. *Reviews of Geophysics supplement, AGU* : 1201-1209.
- CABIOCH, G., 1988. — *Récifs frangeants de Nouvelle-Calédonie (Pacifique Sud-Ouest). Structure interne et influences de l'eustatisme et de la néotectonique*. Université de Provence, Aix en Provence ; 291 p.
- CADDY, J. F., 1996. — Fisheries management after 2000 : will new paradigms apply. In : Symposium de Vancouver, 20-24 février 1996, "Reinventing fisheries management" ; (abstract).
- CAMPBELL, D., BATTAGLENE, T. & SHAFRON, W., 1992. — Economics of resource conservation in a commercial shark fishery. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 43 : 251-262.
- CARLQUIST, S., 1965. — *Island Life. A Natural History of the Islands of the world*. The Natural History Press / Garden City, New York.
- CARLQUIST, S., 1980. — *Hawaii. A Natural History*. SB Printers, Inc., Honolulu ; 468 p.
- CARLTON, J. T., 1987. — Patterns of transoceanic marine biological invasions in the Pacific ocean. *Bull. Mar. Sc.*, 41 (2) : 452-465.
- CARLTON, J. T., 1993. — Neoeinctions of marine invertebrates. *Amer. Zool.*, 33 : 499-509.
- CARLTON, J. T., 1996. — Marine Bioinvasions : The alteration of marine ecosystems by non indigenous species. *Oceanography*, 9 (1) : 36-43.
- CARLTON, J. T., 1997. — Biological invasions in the Pacific : Prospects for the twenty-first Century. *8th Pacific Science Inter-Congress*, Suva, 13-19 JULY 1997 (Abstr.).
- CARLTON, J. T. & GELLER, J. B., 1993. — Ecological Roulette : The global transport of nonindigenous marine organisms. *Science*, 261 : 78-82.
- CARLTON, J. T., VERMEIJ, G. J., LINDBERG, D. R., CARLTON, D. A. & DUDLEY, E. C., 1991. — The first historical extinction of a marine invertebrate in an ocean basin : The demise of the eelgrass limpet *Lottia alveus*. *Biological Bulletin* 180 : 72-80.

- CARPENTER, E. J., 1988. — Nitrogen fixation by marine Oscillatoria (*Trichodesmium*) in the world's oceans. In : CARPENTER E. J. & CAPONE, D. G. (eds). — *Nitrogen in the marine environment*. Academic Press, New York : 65-103.
- CARPENTER, E. J., CAPONE, D. G. & RUETER, J. G., 1992. — Marine pelagic Cyanobacteria : *Trichodesmium* and other diazotrophs. Kluwer Academic Publishers, London ; 357 p.
- CARPENTER, R. C., 1997. — Invertebrate predators and grazers. In : BIRKELAND, C. (ed.), 1997. — *Life and Death of Coral Reefs*. CHAPMAN & HALL, New York : 198-229.
- CARSIN, J.-L., BOURROUILH-LE JAN, F., MURPHY, R. C., TAXIT, R. & NIAUSSAT, P. M., 1985. — L'eutrophisation naturelle des eaux du lagon de Clipperton : matériels, méthodes, résultats, discussions. *Proceed. 5th Int. Coral Reef Congress, Tahiti*, Vol. 3 : 359-364.
- CARTER, R. M., & D. P. JOHNSON, 1986. — Sea-level controls on the post-glacial development of the Great Barrier Reef, Queensland. *Mar. Geol.*, 71 : 137-164.
- CARWARDINE, M., 1995. — *Baleines, Dauphins et Marsouins. Le guide visuel de tous les cétacés à travers le monde*. L'oeil nature ; Bordas, Paris ; 256 p.
- CASTELLARO, C., RIBAUD-LAURENTI, A., CLAVERIE, K., CABIOCH, G., HAMELIN, B., BARD, E., MONTAGGIONI, L. & RECY, J., 1997. — Variabilité du climat tropical à l'Holocène : enregistrements Sr/Ca et U/Ca dans les coraux de Nouvelle-Calédonie, de Tahiti et des Seychelles (Indo-Pacifique). *6ème Congrès français de sédimentologie. Livre des Résumés, ASF, Paris* : 47-48.
- CASTRO, P., 1997. — Trapeziid crabs (Brachyura : Xanthoidea / Trapeziidae) of New Caledonia, eastern Australia, and the Coral Sea. In : B. RICHER DE FORGES (ed.), *Les fonds meubles des lagons de Nouvelle-Calédonie (Sédimentologie, Benthos)*. *Etudes & Thèses*, volume 3, ORSTOM : 59-107.
- CATALA, R., 1950. — Contribution à l'étude écologique des îlots coralliens du Pacifique Sud. Premiers éléments d'écologie terrestre et marine des îlots voisins du littoral de la Nouvelle Calédonie. *Bull. Biol. Fr. Belg.*, 84 (3) : 234-310.
- CATALA, R., 1958. — Effets de fluorescence provoquée sur des coraux par l'action des rayons ultra-violet. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris*, (sér. D) 247 : 1678-1679.
- CATALA, R., 1959. — Fluorescent effects from corals irradiated with ultra violet rays. *Nature*, 183 : 949.
- CATALA, R., 1960. — Nouveaux organismes marins présentant des effets de fluorescence par l'action des rayons ultra violets. *C. r. Acad. Sci., Paris*, 250 (6) : 1128.
- CATALA, R., 1964. — *Carnaval sous la mer*. Paris : R. Sicard ; 141 p.
- CATALA, R., 1979. — *Offrandes de la mer*. Papeete : Ed. du Pacifique ; 336 p.
- CAUGHLEY, G., 1985. — Problems in wildlife management. In : MESSEL, H. (ed.), *The study of populations*. Pergamon Press, Sydney.
- CAVARD, R., (non daté ?). — *Porcelaines aberrantes de Nouvelle-Calédonie*. Imprimerie D.G.D.L., Marseille ; 29 p.
- CERNOHORSKY, W. O., 1972. — *Marine shells of the Pacific*. Vol. II. Pacific publications, Sydney ; 411 p.
- CHARDY P., CHEVILLON C., CLAVIER J., 1988. — Major benthic communities of the south-west lagoon of New Caledonia. *Coral Reefs*, 7 : 69-75.
- CHARDY P., CLAVIER J., GERARD P., LABOUTE P., MARTIN A., RICHER DE FORGES B., 1987. — Etude quantitative des fonds meubles du lagon sud- ouest de Nouvelle Calédonie. Liste taxonomique, densités et biomasses. Nouméa : ORSTOM. *Rapp. sci. tech. : Sci. Mer : Biol. mar.*, 44 : 81 p., multigr.
- CHATENAY, J.-M., 1977. — *Porcelaines niger et rostrées de Nouvelle-Calédonie*. Imprimeries réunies de Nouméa ; 107 p.
- CHAUVET, C. & FARMAN, R., 1994. — *Les langoustes Panulirus penicillatus & Panulirus longipes de l'île des Pins (Nouvelle-Calédonie). Croissance, mortalité et rendement par recrue*. 25ème conférence technique régionale sur les pêches, Nouméa, 14-18 mars 1994, document ronéotypé CPS : 5 p.
- CHAUVET, C. & WEIL, S., 1991. — *Etude des pêcheries de langoustes de l'île des Pins*. Université française du Pacifique ; 38 p.
- CHAVE, E. H. & JONES, A., 1991. — Deep-water megafauna of the Kohala and Haleakala slopes, Alenuihaha Channel, Hawaii. *Deep-Sea Res.*, 38 (7) : 781-803.
- CHAVE, E. H. & MUNDY, B. C., 1994. — Deep-sea benthic Fish of the Hawaiian Archipelago, Cross Seamount, and Johnston Atoll. *Pac. Sci.*, 48 (4) : 367-409.
- CHAZEAU, J., 1993. — Research on New Caledonian terrestrial fauna : achievements and prospects. *Biodiversity Letters* 1 : 123-129.

- CHAZEAU, J., CHEVILLON, C., GARRIGUE, C., JAFFRE, T., RICHER DE FORGES, B. & VEILLON, J.-M., 1994. — Biodiversité et conservation en Nouvelle-Calédonie. Nouméa ORSTOM, *Rapp. Synth. Sci. Vie. Biodiversité*, 1 ; 22 p.
- CHERBONNIER, G., 1980. — Holothuries de Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4) 2, sect. A (3) : 615-667.
- CHERBONNIER, G., & J. P. FERAL, 1984 a. — Les holothuries de Nouvelle-Calédonie. Deuxième contribution. 1 - Synallactidae et Holothuriidae. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4) 6, sect. A (4) : 659-700.
- CHERBONNIER, G., & J. P. FERAL, 1984 b. — Les holothuries de Nouvelle-Calédonie. Deuxième contribution. 2 - Stichopodidae, Cucumaridae, Phyllophoridae et Synaptidae. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4) 6, sect. A (4) : 827-852.
- CHESNAIS, J.-C., 1995. — La bombe démographique, un pétard mouillé ? *La Recherche*, 279 : 876-878.
- CHEVALIER, J. P., 1968. — Géomorphologie de l'île Maré. Les récifs actuels de l'île Maré. Les Madréporaires fossiles de Maré. In : *Expéd. fr. sur les récifs coralliens de la Nouvelle Calédonie*. Paris : Singer-Polignac, 3 : 1-155.
- CHEVILLON C., 1985. *Contribution à l'étude sédimentaire des dépôts du lagon sud-ouest de Nouvelle Calédonie. La plaine lagonaire*. D.E.A. : Océanogr. : Univ. d'Aix-Marseille 2. 21 p., multigr.
- CHEVILLON C., 1986. Les sédiments de la corne sud-est du lagon néo-calédonien. Missions de janvier à mai 1986. Recueil des données. *Rapp. Sci. Tech. Cent. Nouméa (Océanogr.) ORSTOM*, 40 : 13 p., multigr.
- CHEVILLON, C., 1989. — Sédimentologie descriptive et cartographie des fonds meubles du lagon de la côte est de Nouvelle-Calédonie. 1ère feuille : carte de répartition des types granulométriques ; 2ème feuille : carte de répartition des carbonates ; 3ème feuille : carte de répartition des lutites. Echelles = 1/400 000ème. ORSTOM : Nouméa.
- CHEVILLON, C., 1990. — *Les sédiments actuels et les biophases carbonatés récentes dans le lagon nord de la Nouvelle-Calédonie*. Thèse de Doctorat. Université. Aix-Marseille 2 ; 255 p.
- CHEVILLON, C., 1993. — Echouage du minéralier "Manyland U". *Rapport d'expertise. ORSTOM : Nouméa* ; 15 p.
- CHEVILLON, C., 1996. — Texture, granulométrie et composition bioclastique des sédiments actuels de l'atoll d'Ouvéa (Iles Loyauté, Nouvelle-Calédonie). In : B. RICHER DE FORGES (ed.), *Les fonds meubles des lagons de Nouvelle-Calédonie (Sédimentologie, benthos)*. *Etudes & Thèses*, Volume 2, ORSTOM : Paris : 7-43.
- CHEVILLON, C., 1997. — Sédimentologie descriptive et cartographie des fonds meubles du lagon de la côte Est de Nouvelle-Calédonie. In : B. RICHER DE FORGES (ed.), *Les fonds meubles des lagons de Nouvelle-Calédonie (Sédimentologie, Benthos)*. *Etudes & Thèses*, volume 3, ORSTOM : Paris : 7-30.
- CHEVILLON C., CLAVIER J., 1988. — Sedimentological structure of the northern lagoon of New Caledonia. *Proc. 6th int. Coral Reef Symp., Townsville, 8-12 Aug. 1988, Australia*. Vol. 3 : 425-430.
- CHEVILLON C., RICHER DE FORGES B., 1988. — Sediments and bionomic mapping on soft bottoms in the SW lagoon of New Caledonia. *Proc. 6th int. Coral Reef Symp., Townsville, 8-12 Aug. 1988, Australia*. Vol. 2 : 589-594.
- CHEVILLON, C., RICHER de FORGES, B., KULBICKI, M., MOU THAM, G., THOLLOT, P. & JOANNOT, P., 1993. — Projet d'extraction de sable lagonaire à proximité de l'îlot Ténia (Lagon sud, Nouvelle-Calédonie) : étude des caractéristiques du milieu (Hydrologie, Sels nutritifs, Peuplements benthiques et pélagiques). *Rapport de mission, ORSTOM, Nouméa*, 72 p.
- CHEVREUX, E., 1915. — Amphipodes de la Nouvelle-Calédonie et des îles Loyalty. *Nov. Caledonia, Zool.*, 2 (1) : 1-14.
- CHISHOLM, J. R. M., DAUGA, C., AGERON, E., GRIMONT, P. A. D. & JAUBERT, J. M., 1996. — "Roots" in mixotrophic algae. *Nature*, 381 : 382.
- CHRISTENSEN, V. & PAULY, D., 1995. — Fish production, catches and the carrying capacity of the world oceans. *NAGA, The ICLARM Quarterly*, July 1995 : 34-40.
- CLARK, A. M., & F. W. E. ROWE, 1971. — *Monograph of shallow-water indo-west pacific echinoderms*. Trustees of the British Museum (Natural History) ; 238 p.
- CLAUSADE, M., GRAVIER, N., PICARD, J., PICHON, M., ROMAN, M.-L., THOMASSIN, B., VASSEUR, P., VIVIEN, M. & WEYDERT, P., 1971. — Morphologie des récifs coralliens de la région de Tuléar (Madagascar) : éléments de terminologie récifale. *Téthys supp.* 2 ; 74 p.
- CLAVIER J., 1991. — Etat des connaissances sur *Amusium balloti* (Bivalve, Pectinidé) dans les lagons de Nouvelle Calédonie. Nouméa : ORSTOM. *Conv. : Sci. Mer : Biol. mar.*, 4 : 54 p., multigr.
- CLAVIER, J., 1993. — Etude du benthos de l'atoll d'Ouvéa. In : équipe LAGON (eds). — Evaluation des ressources en poissons du lagon d'Ouvéa. 1ère partie : l'environnement biologique : le macrobenthos, le mégabenthos et le plancton. *Conv. Sc. Mer, Bio. Mar.*, 8 ; Nouméa : ORSTOM : 3-35.

- CLAVIER, J. & LABOUE, P., 1987. — Connaissance et mise en valeur du lagon nord de la Nouvelle Calédonie : premiers résultats concernant le bivalve pectinidé *Amusium japonicum balloti* (étude bibliographique, estimation de stock et données annexes). Nouméa : ORSTOM. *Rapp. sci. tech. : Sci. Mer : Biol. mar.*, 48 : 73 p., multigr.
- CLAVIER, J., LABOUE, P. & LEFORT, Y., 1990. — Connaissance et mise en valeur du lagon nord de Nouvelle Calédonie : campagne d'échantillonnage du stock d'*Amusium japonicum balloti*, du 14 au 25 mai 1990. Nouméa : ORSTOM. *Rapp. Missions : Sci. Mer : Biol. mar.*, 6 : 32 p., multigr.
- COHAT, Y., 1986. — *Vie et mort des baleines*. Découvertes Gallimard/Aventures ; 224 p.
- COHEN, B. & GAWTHROP, A. B., 1996. — Brachiopod molecular phylogeny. In : COPPER, P. & JIN, J. (eds). — Brachiopods : *Proceedings of the third International Brachiopods Congress, Subdury, Ontario. Rotterdam : Balkema* : 73-80.
- COHEN, B. L., GAWTHROP, A. & CAVALIER-SMITH, T., 1997. — Molecular phylogeny of Brachiopods and Phoronids based on nuclear encoded small subunit ribosomal RNA gene sequences. *Phil. Trans. Roy. Soc. B.*, sept. 1997 : 1-58.
- COHEN, J. E., 1995. — Population growth and Earth's human carrying capacity. *Science*, 269 : 341-346.
- COHIC, F., 1958. — Report on a visit to the Chesterfield Islands, 1957. *Atoll Res. Bull.*, 63 : 1-11.
- COLES, R. G. & LEE LONG, W., 1995. — Seagrasses. In : MARAGOS *et al.* (eds) *Marine : Coastal biodiversity in the tropical island Pacific region*.
- COLES, R. G., LEE LONG, W. J., SQUIRE, B. A., SQUIRE, L. C. & BIBBY, J. M., 1987. — Distribution of seagrasses and associated juvenile commercial penaeid prawns in north-eastern Queensland waters. *Aust. J. Mar. Freshw. Res.*, 38 : 103-119.
- COLES, S. L. & JOKIEL, P. L., 1992. — Effects of salinity on coral reefs. In : Connell D. W. & HAWKER, D. W. (eds), *Pollution in Tropical Aquatic systems*. CRC Press, London : 147-166.
- COLIN, P. L., DEVANEY, D. M., HILLIS-COLINVAUX, L., SUCHANEKK, T. H. & HARRISON, J. T., 1986. — Geology and biological zonation of the reef slope, 50-360 m depth at Enewetak Atoll, Marshall Islands. *Bull. Mar. Sc.* 38 (1) : 111-128.
- COLLOT, J. Y., & F. MISSEGUE, 1986. — Extension de la formation des basaltes de la côte ouest et de la zone d'enracinement des péridotites dans le Grand Lagon Nord de la Nouvelle-Calédonie : données géophysiques. *C. r. hebdomadaire Séanc. Acad. Sci. Paris*, (II), 303 (16) : 1437-1442.
- COLLOT, J. Y., P. RIGOLOT, & F. MISSEGUE, 1988. — Geologic structure of the northern new caledonian ridge, as inferred from magnetic and gravity anomalies. *Tectonics*, (7) 5 : 991-1013.
- CONAND C., 1985. — Distribution, reproductive cycle and morphometric relationships of *Acanthaster planci* (Echinodermata : Asteroidea) in New Caledonia, western tropical Pacific. in : KEEGAN B., O'CONNOR B. (ed.), *Echinodermata. Proc. 4th int. Echinoderms Conf., Galway, 1984*. Rotterdam : Balkema. 499-506.
- CONAND, C., 1988. — Biologie et exploitation des holothuries en Nouvelle-Calédonie. *CPS, Coll. sur les ressources halieutiques côtières du Pacifique, Nouméa, 14-25 mars 1988* ; CPS/WP5 ; 11 p.
- CONAND C., 1989. — *Les Holothuries Aspidochirotes du lagon de Nouvelle Calédonie. Biologie, écologie et exploitation*. Thèse Dr. : Sci. nat. : Univ. Bretagne Occidentale. Paris : ORSTOM. *Etud. Thèses*. 393 p.
- CONAND, C., 1983. — Abondance, cycle sexuel et relations biométriques de l'étoile de mer *Acanthaster planci* en Nouvelle-Calédonie. ORSTOM : Nouméa ; 43 p.
- CONAND, C., 1994. — Les holothuries, ressources halieutique des lagons. *Rapp. Sc. Techn. Sci. Mer, Bio. Mar.*, 65 ; 86 p.
- CONAND, C. & CHARDY, P., 1985. — Les holothuries aspidochirotes du lagon de Nouvelle-Calédonie sont-elles de bons indicateurs des structures récifales ? *Proc. 5th int. Coral Reef Symp., Tahiti, 1985*. Vol. 5 : 291-296.
- CONAND F., 1988. — Biologie et écologie des poissons pélagiques du lagon de Nouvelle Calédonie utilisables comme appât thonier. Thèse Dr. : Sci. nat. : Univ. Bretagne Occidentale. Paris : ORSTOM. *Etud. Thèses*. 239 p.
- CONDAMIN, M., 1977. — Mission aux îles Chesterfield du 29 septembre au 7 octobre 1977. *Nature Calédonienne*, 16 : 21-25.
- CONNELL, J. H., 1978. — Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199 : 1302-1310.
- COOK, R. M., SINCLAIR, A. & STEFANSSON, 1997. — Potential collapse of North Sea cod stocks. *Nature* 385 : 521-522.
- COTILLON, P. & MONNIOT, C., 1987. — *Compte rendu de la campagne BIOGEOCAL*. Lyon : Univ. Claude Bernard. 65 p., multigr.

- COTILLON, P., LIU, J. D., GAILLARD, C. & EVIN, J., 1989a. — Evolution du taux de sédimentation au cours des derniers 30.000 ans aux abords de la Nouvelle-Calédonie (SW Pacifique) ; résultats de datations au radiocarbone et par la courbe de l'oxygène 18. *Bull. Soc. géol. Fr.*, sér. 8, 5 (4) : 881-884.
- COTILLON, P., RIGOLET, P., COUSTILLAS, F., GAILLARD, C., LAURIN, B., LIU, J. D., PANNETIER, W., PASCAL, A. & RIO, M., 1989b. — Pentes et bassins au large de la Nouvelle-Calédonie (Sud-Ouest Pacifique). *Ocean. Acta*, 12 (2) : 131-140.
- COUDRAY, J., 1982. — L'histoire des récifs coralliens quaternaires de la Nouvelle Calédonie déduite de l'étude du forage profond sur l'îlot Ténia. In : DUGAS F., & J. P. DEBENAY. *Carte sédimentologique et carte annexe du lagon de Nouvelle Calédonie à 1/50 000. Feuille Nouméa*. Paris : ORSTOM. *Notice explicative*, 95 : 16-23.
- COURTILLOT, V. & GAUDEMER, Y., 1996. — Effects of mass extinctions on biodiversity. *Nature*, 381 : 146-148.
- CRAIG, C. H., SANDWELL, D. T., 1988. Global distribution of seamounts from Seasat profiles. *J. Geoph. Res.*, 93 : 10408-10420.
- CRAIG, P., 1995. — Are tropical nearshore fisheries manageable in view of projected population increases. In : DALZELL, P. & ADAMS, T.J.H. — *South Pacific Commission and Forum Fisheries Agency workshop on the management of South Pacific inshore fisheries. Integrated Coastal Fisheries Management Project*. Technical Document N° 11 ; Vol. 1 : 197-203.
- CRONIN, T. M. & RAYNO, M. E., 1997. — Orbital forcing of deep-sea benthic species diversity. *Nature*, 385 : 624-627.
- CROSBY, M. P. & MARAGOS, J. E., 1995. — The United States Coral Reef Initiative. In : MARAGOS, J. E., PETERSON, M. N. A., ELDRIDGE, L. G., BARDACH, J. E. & TAKEUCHI, H. F., (eds). — *Marine and Coastal Biodiversity in the Tropical Island Pacific Region. Volume 1. Species Systematics and Information Management Priorities* ; East-West Center, Honolulu : 303-316.
- CROSNIER, A., 1988. — Sur les *Heterocarpus* (Crustacea, Decapoda, Pandalidae) du sud-ouest de l'océan Indien. Remarques sur d'autres espèces ouest-Pacifique du genre et description de quatre taxa nouveaux. *Bull. Mus. natn. Hist. nat. Paris*, (4), 10, sect. A, (1) : 57-103.
- CROSNIER, A., 1997. — Une nouvelle espèce de Mursia de Nouvelle-Calédonie (Crustacea, Decapoda, Brachyura, Calappidae). *Zoosystema* 19 (1) : 151-158.
- CROSNIER, A., RICHER DE FORGES, B. & BOUCHET, P., 1997. — La campagne KARUBAR en Indonésie, au large des îles Kai et Tanimbar. In : A. CROSNIER & P. BOUCHET (eds), Résultats des campagnes MUSORSTOM. Volume 16 : Campagne franco-indonésienne KARUBAR. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 172 : 9-26.
- CUBIT, J. D., GETTER, C. D., JACKSON, J. B. C., GARRITY, S. D., CAFFEY, H. M., THOMPSON, R. C., WEIL, E. & MARSHALL, M. J., 1987. — An oil spill affecting coral reefs and mangroves on the Caribbean coast of Panama. *Proceed., tenth biennial conf.*, April 6-9, 1987, Baltimore, MD. *American Petroleum Institute Publ. N° 4452*, Washington, D.C. : 401-406.
- CULOTTA, E., 1994. — Is Marine Biodiversity at risk ? *Science*, 263 : 918-920.
- D'HONDT, J. L., 1986. — Bryozoaires de Nouvelle Calédonie et du plateau des Chesterfield. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4) 8, sect. A (4) : 697-756.
- DALZELL, P. & ADAMS, T. J. H., 1995 (eds). — Manuscript collection of country statements and background papers. *South Pacific Commission and forum fisheries agency workshop on the management of south Pacific inshore fisheries*. Vol. I & II ; South Pacific Commission, Nouméa, New Caledonia.
- DANDONNEAU, Y., F. DUGAS, P. FOURMANOIR, Y. MAGNIER, F. ROUGERIE & J. P. DEBENAY., 1981. — Le lagon de la Grande Terre : présentation d'ensemble, sédimentologie et hydrologie du Sud-Ouest. In : *Atlas de la Nouvelle Calédonie*. Paris : ORSTOM. Planché 8.
- DAUVIN, J.-C., 1994. — *Typologie des ZNIEFF-MER. Liste des paramètres et des biocénoses des côtes françaises métropolitaines*. Secrétariat de la Faune et de la Flore . Collection Patrimoines Naturels, Volume 12: Série Patrimoine Ecologique ; 64 p.
- DAVIE, P. J. F., 1989 a. — Two new genera of the family Pilumnidae (Crustacea : Decapoda : Brachyura) from Queensland, Australia. *J. Nat. Hist.*, 23 : 1353-1365.
- DAVIE, P. J. F., 1989 b. — *Symethis corallica* Sp. nov. (Crustacea, Brachyura, Raninidae), the first member of the Symethinae to be recorded from the Indo-west Pacific region. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4) 11, sect. A (2) : 425-430.
- DAVIE, P. & RICHER DE FORGES, B., 1996. — Two new species of Hymenosomatid crabs from New Caledonia. *Mem. Q. Mus.* 39 (2) : 257-262.
- DAWKINS, R., 1996. — *Climbing Mount Improbable*. Penguin Books Ltd, London ; 308 p.

- DAWSON, S. M. & SLOOTEN, E., 1993. — Conservation of Hector's dolphins : The case and process which led to establishment of the Banks Peninsula Marine Mammal Sanctuary. *Aq. Cons. Mar. Fresh. Ecosys.*, **3** : 207-221.
- DE GUIRAN, E., 1992. — La Province Nord. In : ANONYME, 1992. — *Droit de l'environnement et Nouvelle-Calédonie. Revue juridique ; Rencontres du 29 juillet 1992 à l'Université française du Pacifique*, Nouméa : 59-68.
- DE KLEMM, C., 1994. — The introduction of Exotic species and the law. In : BOUDOURESQUE, C. F., BRIAND, F. & NOLAN, C. (eds). — Introduced species in European coastal waters. *Ecosystems research Report*, **8** : 85-92.
- DEBENAY, J. P., 1985. — *Recherches sur la sédimentation actuelle et les thanatocoenoses des foraminifères de grande taille dans le lagon sud-ouest et sur la marge insulaire sud de Nouvelle Calédonie*. Thèse de Doctorat : Géol.: Université. Aix-Marseille II ; 200 p.
- DELATHIERE S., 1990. *Biologie et exploitation du crabe de palétuviers Scylla serrata en Nouvelle Calédonie*. Thèse Univ. : Océanogr. biol. : Univ. Bretagne Occidentale. 291 p., multigr. (version de soutenance)
- DEL CERRO, L. & LLORIS, D., 1997. — Gurnard fishes (Scorpaeniformes, Triglidae) from off New Caledonia, with description of five new species. In : SERET, B. (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 17. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, **174** : 91-124.
- DELCROIX, T., 1993. — On sea level changes in the tropical Pacific at seasonal and interannual time scales. In : HAY, J. E. & KALUWIN, C., (eds). — *Climate Change and Sea level rise in the South Pacific region*. Proceed. 2nd SPREP meeting, Nouméa, 6-10 April 1992 : 69-74.
- DEVANEY, D. M., E. S. REESE, B. L. BURCH & P. HELFRICH (eds), 1987. — *The Natural History of Enewetak Atoll. Vol. II : Biogeography and Systematics*. Office of Scientific and Technical information. U. S. Department of Energy ; 348 p.
- DEVINCK, F. & CHARLOT, C., 1994. — *La gestion du domaine public maritime. Cadre réglementaire*. Inventaire des biotopes cotiers. Service de la Mer, Province Sud ; 6 p.
- DIJKSTRA, H. H., 1989. — *Pseudohinnites levii* gen. sp. nov. (Mollusca, Bivalvia : Pectinidae) from New Caledonia. *Basteria*, **53** : 29-33.
- DIJKSTRA, H. H., 1995. — Bathyal Pectinoidea (Bivalvia : Propeamussiidae, Entoliidae, Pectinidae) from New Caledonia and adjacent areas. In : P. BOUCHET (ed.), Résultats des campagnes MUSORSTOM, Volume 14. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, **164** :
- DIJKSTRA, H. H., B. RICHER de FORGES, J. CLAVIER & Y. LEFORT, 1989-1990. — Pectinidés, des fonds meubles dans les lagons de N.Caledonie et de Chesterfield / Pectinidae found on the soft bottoms of the New Caledonian and Chesterfield lagoons. 1ère partie, *Rossiniana*, **45** (octobre 1989) : 21-24 ; 2ème partie, *Rossiniana*, **46** (janvier 1990) : 3-10 ; 3ème partie, *Rossiniana*, **47** (avril 1990) : 3-9.
- DILLY, P. N., 1993. — *Cephalodiscus graptolitoideus* sp. nov. a probable extant graptolite. *J. Zool., Lond.* **229** : 69-78.
- DILLY, P. N., 1994. — When is a graptolite not a graptolite ? *Lethaia Seminar*, **27**, p. 34.
- DOBSON, A., 1996. — Environmental ethics. In : THOMASMA, D. C. & KUSHNER, T. (eds). *Birth to death. Science and Bioethics*. Cambridge university Press : 348-356.
- DOLIN, L., 1991. — Mollusca Gastropoda : *Cypraeopsis superstes* sp. nov., Pediculariinae relique du bathyal de Nouvelle-Calédonie et de la Réunion. In : A. CROSNIER & P. BOUCHET (eds), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 7. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, (A), **150** : 179-186.
- DONE, T., 1993. — On tropical cyclones, corals and coral reefs. *Coral Reefs*, **12** : 126.
- DONSKOFF, G., 1992. — La Province des îles Loyauté. In : ANONYME, 1992. — *Droit de l'environnement et Nouvelle-Calédonie. Revue juridique ; Rencontres du 29 juillet 1992 à l'Université française du Pacifique*, Nouméa : 69-71.
- DOUILLET, P., BARGIBANT, G., HAMEL, P., HOFFSCHIR, C., MENOUE, J. L., PANCHE, J. Y. & TIRARD, P., 1989. — Mesures de courant, de marée et de vent dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. 1ère partie : octobre 1988 à juillet 1989. Nouméa : ORSTOM. *Rapp. sci. tech., Sci. Mer, Biol. mar.*, **53** : 276 p.
- DOUILLET, P., BARGIBANT, G., HAMEL, P., HOFFSCHIR, C., MENOUE, J. L., PANCHE, J. Y. & TIRARD, P., 1990. — Mesures de courant, de marée et de vent dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. 2ème partie : juillet 1989 à octobre 1990. Nouméa : ORSTOM. *Rapp. sci. tech., Sci. Mer, Biol. mar.*, **58** : 722 p.
- DREDGE, M. C. L., 1980. — Scallops a bonus in Southern Queensland. *Aust. Fish.*, April 80 : 5-7.
- DREDGE, M. C. L., 1988. — Recruitment overfishing in a tropical scallop ? *Journal of Shellfish Research* **7** : 233-239.
- DUBINSKY, Z. (ed.), 1990. — *Coral Reefs. Ecosystems of the world* 25. Elsevier, Amsterdam ; 550 p.

- DUGAS, F., & J. P. DEBENAY, 1978. — *Carte sédimentologique et carte annexe du lagon de Nouvelle Calédonie à 1/50 000. Feuille Mont Dore*. Paris : ORSTOM. *Notice explicative*, 76 ; 20 p.
- DUGAS, F., & J. P. DEBENAY, 1980. — *Carte sédimentologique et carte annexe du lagon de Nouvelle Calédonie à 1/50 000. Feuille Tontouta*. Paris : ORSTOM. *Notice explicative*, 86 ; 44 p.
- DUGAS, F., & J. P. DEBENAY, 1981. — *Carte sédimentologique et carte annexe du lagon de Nouvelle Calédonie à 1/50 000. Feuille Prony*. Paris : ORSTOM. *Notice explicative*, 91 ; 35 p.
- DUGAS, F., & J. P. DEBENAY, 1982. — *Carte sédimentologique et carte annexe du lagon de Nouvelle Calédonie à 1/50 000. Feuille Nouméa*. Paris : ORSTOM. *Notice explicative*, 95 ; 45 p.
- DUHAMEL, G., 1997. — *Notopogon xenosoma* Regan, 1914 (Teleostei, Macroramphosidae) en limite de distribution subtropicale aux abords de la Nouvelle-Calédonie et de Madagascar. In : SERET, B. (ed.), *Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 17. Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 174 : 83-89.
- DUPLESSY, J.-C. & MOREL, P., 1990. — *Gros temps sur la planète*. Editions Odile Jacob, Paris ; 297 p.
- DUPON, J. F., 1986. — *Les effets de l'exploitation minière sur l'environnement des îles hautes : le cas de l'extraction du minerai de nickel en Nouvelle-Calédonie*. Environnement Etudes de cas ; PROE, Pacifique Sud Etude 1 ; 6 p.
- DUPON, J. F., 1988. — *Les cyclones*. Centre Territorial de Recherche et de Documentation Pédagogique, Nouvelle-Calédonie. GEO 25 ; 83 p., 16 diapos.
- DUPONT, J., GRANDPERRIN, R., LEBORGNE, R., MISSEGUE, F., CALMANT, S., CLAVIER, J., HENIN, C., PIANET, R., DUPOUY-DOUCHEMENT, C. & DANIEL, J., 1991. — *Inventaires des travaux et données antérieurs*. Travaux du groupe "Zone Economique de Nouvelle-Calédonie", ZoNeCo, 1, 307 p.
- DUPONT, J., LAFOY, Y., PAUTOT, G., LE SUAVE, R., CLUZEL, D., MISSEGUE, F., GRANDPERRIN, R., HENIN, C., VOISSET, M., DURAND SAINT OMER, L., GAUTHERON, L., BUTSCHER, J., MOLLARD, L., RAKOIA, M. & le groupe ZoNeCo à bord de l'Atalante, 1995. — *étude morphostructurale de la zone sud des rides Nouvelle-Calédonie et Loyauté (Zone Economique Exclusive de Nouvelle-Calédonie, Pacifique Sud-Ouest)*. *C. R. hebd. séanc. Acad. Sci. Paris*, 320, sér. 2a : 211-218.
- DUPOUY, C., 1992. — *Discoloured waters in the melanesian archipelago (New Caledonia and Vanuatu). The value of the Nimbus-7 coastal zone colour scanner observations*. In : CARPENTER, E. J., CAPONE, D. G. & RUETER, J. G., 1992. — *Marine pelagic Cyanobacteria : Trichodesmium and other diazotrophs*. Kluwer Academic Publishers, London : 177-191.
- EDMONDS, S. J., 1991. — *Sipunculoidea and Echiuroidea : Sipunculans and Echiurans from the Philippines and New Caledonia (ESTASE 2, BIOCAL, MUSORSTOM 3 and 4)*. In : A. CROSNIER (ed.), *Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 8. Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris, (A)*, 151 : 83-90.
- EHRlich, P. R. & WILSON, E. O., 1995. — *Biodiversity studies : Science and Policy*. *Science* 253 : 758-762.
- EICHBAUM, W. M., CROSBY, M. P., AGARDY, M. T. & LASKIN, S.A., 1996. — *The role of Marine and Coastal Protected Areas in the conservation and sustainable use of biological diversity*. *Oceanography*, 9 (1) : 60-70.
- EKMAN, 1953. — *Zoogeography of the sea*. SIDWICK & JACKSON, Ltd., London ; 417 p.
- ELDREDGE, L. G. & MILLER, S. E., 1995. — *How many species are there in Hawaii ?* *Bishop Museum Occ. Pap.*, 41 : 1-18.
- ELDREDGE, N., 1991. — *Fossils. The Evolution and extinction of species*. Houghton Mifflin Australia ; 220 p.
- EL KADIRI-JAN, T. 1995. — *Biologie des populations de crabes de cocotiers, Birgus latro (L.), dans trois îles du Pacifique : Lifou et Vauvilliers : Archipel des Loyauté, Nouvelle-Calédonie ; Taïaro : Archipel des Tuamotu, Polynésie Française. Thèse de Doctorat de l'Université Française du Pacifique, Nouméa* ; 149 p.
- ELLISON, J. C., 1995. — *Systematics and distributions of Pacific Island Mangroves*. In : MARAGOS *et al.* (eds). *Marine/ Coastal biodiversity in tropical island Pacific region*. East-West Center, Honolulu : 59-74.
- ENGEL, J. & KVITEK, R., 1997. — *Impact of commercial trawling on a benthic community within Monterey Bay National Marine Sanctuary*. Marine Benthic Habitat Conference, Nouméa, 10-16 November 1997 (Abstr.).
- ENGLISH, S., WILKINSON, C. & BAKER, V., 1994. — *Survey manual for tropical marine resources*. ASEAN-Australia marine science project : Living coastal resources. Australian Institute of Marine Science, Townsville.
- ERZINÇLIOGLU, Y. Z., 1993. — *The failure of the Natural History Museum*. *J. Nat. Hist.*, 27 : 989-992.
- ESTIVAL, J. C., 1982. — *Une nouvelle volute de l'archipel neo-calédonien*. *Rossiniana*, 14 : 10-11.
- ESTIVAL, J.C., 1983. — *Voluta rossiniana* Bernardi, 1859. *Rossiniana*, 18 : 3-4.
- FARMAN, R., 1995. — *Closed seasons : how necessary ?* Workshop on the management of South Pacific inshore fisheries (Nouméa, New Caledonia 26 June - July 1995) ; 7 p.

- FELDMANN, R. M. & MANNING, R. B., 1992. — Crisis in systematic biology in the "age of biodiversity". *J. Paleont.* **66** (1) : 157-158.
- FENICAL, W., 1996. — Marine biodiversity and the medicine cabinet. The status of new drugs from marine organisms. *Oceanography*, **9** (1) : 23-27.
- FENTON, G. E., SHORT, S. A. & RITZ, D. A., 1991. — Age determination of orange roughy, *Hoplostethus atlanticus* (Piscès : Trachichthyidae) using ^{210}Pb : ^{226}Ra disequilibria. *Mar. Biol.*, **109** : 197-202.
- FERAL J. P., CHERBONNIER G., 1986. — Les Holothuries. in : GUILLE A., LABOUTE P., MENOUE J.L., *Guide des étoiles de mer, oursins et autres échinodermes du lagon de Nouvelle Calédonie*. Paris : ORSTOM. *Faune trop.*, **25** : 55-107.
- FISCHLER, C., 1993. — *L'omnivore. Le goût, la cuisine et le corps*. Odile Jacob, Paris ; 440 p.
- FONTENEAU, A., 1996. — An overview of Tuna assessment and management world wide. In : Symposium de Vancouver, 20-24 février 1996, "Reinventing fisheries management" ; (abstract).
- FOREST, J., 1981. — Compte rendu et remarques générales (texte bilingue). In : Résultats des campagnes MUSORSTOM. I - Philippines (18-28 mars 1976) ; Tome 1. *Mémoires ORSTOM* **91** : 9-50.
- FOREST, J. 1986. — La campagne MUSORSTOM II (1980). Compte rendu et liste des stations. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), **133** : 7-30.
- FOREST, J., 1989. — Compte rendu de la Campagne MUSORSTOM 3 aux Philippines (31 mai-7 juin 1985). In : FOREST, J. (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 4. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, (A), **143** : 9-23.
- FOREST, J., 1987a. — Ethology and distribution of Pylochelidae (Crustacea, Coenobitoidea). *Bull. mar. sci.*, **41** (2) : 309-321.
- FOREST, J., 1987b. — Les Pylochelidae ou "Pagures symétriques" (Crustacea Coenobitoidea). In : Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 3. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, Paris, (A), **137** : 1-254.
- FOREST, J., 1997. — Présence du genre *Xylopagurus* A. Milne-Edwards, 1880 (Crustacea, Decapoda, Paguridae) dans l'Indo-Ouest Pacifique, avec la description de deux espèces nouvelles. *Zoosystema* **19** (2-3) : 421-435.
- FORNARI, D. J., BATIZA, R. & LUCKMANN, M. A., 1987. — Seamount abundance and distribution near the east pacific rise 0-24°N based on Seabeam data. In : KEATING, B. H. et al. (eds), Seamounts, Islands, and Atolls. *Geophysical Monograph* **43** : 13-21.
- FOSTER, M. W., 1989. — Brachiopods from the extreme south pacific and adjacent waters. *J. Paleont.*, **63** (3) : 268-301.
- FOURMANOIR, P. & RIVATON, J., 1979. — Poissons de la pente récifale externe de Nouvelle-Calédonie et des Nouvelles-Hébrides. *Cah. Indo-pacif.*, **1** (4) : 405-443.
- FOURMANOIR, P., & P. LABOUTE, 1976. — *Poissons de Nouvelle Calédonie et des Nouvelles Hébrides*. Papeete : Ed. du Pacifique ; 376 p.
- FRANKEL, E., 1978. — *Bibliography of the Great Barrier Reef Province*. GBRMPA. Australian Government Publishing Service ; 204 p.
- FRICKE, H., HISSMANN, K., SCHAUER, J. & PLANTE, R., 1995. — Yet more danger for coelacanth. *Nature*, **374** : 314.
- FRICKE, R. M., 1993. — Pisces Teleostei : Callionymidae of New Caledonia with descriptions of new species. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 11. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, Paris, (A), **158** : 361-376.
- FROESE, R. & PALOMARES, M. L. D., 1995. — FishBase as part of an Oceania Biodiversity Information System. In : MARAGOS et al. (eds). Marine /Coastal Biodiversity in the tropical island Pacific region : Species Systematics and information management priorities. Proceed. two workshops at the East-West Center ; Honolulu : 291-301.
- FROMAGET, M. & RICHER DE FORGES, B., 1992. — *Catalogue bibliographique indexé du milieu marin de Nouvelle-Calédonie (2ème édition)*. Science de la mer, ORSTOM : Nouméa ; 274 p.
- FUROTA, T., 1996a. — Life cycle studies on the introduced spider crab *Pyromaia tuberculata* (Lockington) (Brachyura : Majidae). I. Egg and larval stages. *J. Crust. Biol.*, **16** (1) : 71-76.
- FUROTA, T., 1996b. — Life cycle studies on the introduced spider crab *Pyromaia tuberculata* (Lockington) (Brachyura : Majidae). II. Crab stage and reproduction. *J. Crust. Biol.*, **16** (1) : 77-91.
- GABRIC, A. J. & BELL, P. R. F., 1993. — Review of the effects of non-point nutrient loading on coastal ecosystems. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **44** : 261-283.
- GABRIE, C., 1995. — L'état de l'environnement dans les Territoires Français du Pacifique sud: La Nouvelle-Calédonie. 115 p.

- GAGE, J. D. & TYLER, P. A., 1992. — *Deep-Sea Biology. A Natural History of Organisms at the Deep-sea floor.* Cambridge university press ; 504 p.
- GAILLARD, C., 1988. — Bioturbation récente au large de la Nouvelle-Calédonie. Premiers résultats de la campagne BIOCAL. *Oceanol. Acta*, 11 (4) : 389-399.
- GAILLARD, C., 1991a. — Bioturbation et biocorrosion. *Doc. Trav. IGAL, Paris*, 15 : 167-181.
- GAILLARD, C., 1991b. — Recent organism traces and ichnofacies on the deep-sea floor off New Caledonia, Southwestern Pacific. *Palaios*, 6 : 302-315.
- GAILLARD, C., COTILLON, P. & EVIN, J., 1989. — Un cas de mise en place de turbidites récentes dans des boues hémipélagiques. Résultats obtenus par datation au radiocarbone de sédiments superficiels dans le bassin des Loyauté (Nouvelle-Calédonie). *Bull. Soc. géol. Fr., sér. 8*, 5 (4) : 875-879.
- GALIL, B. S., 1993. — Crustacea Decapoda : A revision of the genus *Mursia* Desmarest, 1823 (Calappidae). In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 10. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 156 : 347-379.
- GALIL, B. S., 1994. — Lessepsian migration - Biological invasion of the Mediterranean. In : BOUDOURESQUE, C. F., BRIAND, F. & NOLAN, C. (eds). — Introduced species in European coastal waters. *Ecosystems Research Report 8* ; Office for Official publications of the European Communities, Luxembourg : 63-66.
- GALIL, B. S., 1997. — Two Lessepsian migrant decapods new to the coast of Israel. *Crustaceana* 70 (1) : 111-114.
- GALIL, B. S., SPANIER, E. & FERGUSON, W. W., 1990. — The Scyphomedusae of the Mediterranean coast of Israel, including two Lessepsian migrants new to the Mediterranean. *Zool. Med.*, 64 : 95-105.
- GALIL, B. S. & LÜTZEN, J., 1995. — Biological observations on *Heterosaccus dollfusi* Boschma (Cirripedia: Rhizocephala), a parasite of *Charybdis longicollis* Leene (Decapoda: Brachyura), a Lessepsian migrant to the Mediterranean. *J. Crust. Biol.*, 15 (4) : 659-670.
- GALZIN, R., 1981. — Effects of coral sand dedging on fish fauna in the lagoon of "the grand cul de sac marin" Guadalupe-French West Indies. *Proceed. 4th Int. Coral Reef Symp., Manila*, Vol. 1 : 115-121.
- GARGOMINY, O., BOUCHET, P., PASCAL, M., JAFFRE, T. & TOURNEUR, J. C., 1996. — Conséquences des introductions d'espèces animales et végétales sur la biodiversité en Nouvelle-Calédonie. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, 51 : 375-402.
- GARNETT, S. T., PRICE, I. R. & SCOTT, F. J., 1985. — The diet of the green turtle, *Chelonia mydas* (L.), in Torres Strait. *Aust. Wildl. Res.*, 12 : 103-112.
- GARRIGUE, C., 1985. — *Répartition et production organique et minérale de macrophytes benthiques du lagon de Nouvelle Calédonie.* Thèse de Doctorat : Biol. Physiol. Vég. : Université. Montpellier 2 ; 270 p.
- GARRIGUE, C., 1987. — Les macrophytes benthiques du lagon sud-ouest de la Nouvelle Calédonie (carte des principaux groupements). Nouméa : ORSTOM. *Rapp. sci. tech., Sci. Mer, Biol. mar.*, 46 : 122 p.
- GARRIGUE, C., 1994a. — Biomasse et répartition de *Caulerpa taxifolia* dans les lagons de Nouvelle-Calédonie. *Oceanol. Acta*, 17 (5) : 563-569.
- GARRIGUE, C., 1994b. — Tortues et dugong de Nouvelle-Calédonie. ORSTOM : Nouméa. Notes techniques n°2 ; 10 p.
- GARRIGUE, C., 1995. — Macrophyte associations on the soft bottoms of the South-West Lagoon of New Caledonia : Descriptions, structure and biomass. *Botanica Marina*, 38 : 481-492.
- GARRIGUE, C. & GILL, P. C., 1994. — Observations of Humpback whales *Megaptera novaeangliae* in New Caledonia waters during 1991-1993. *Biol. Cons.*, 70 : 211-218.
- GARRIGUE, C. & BOUR, W., 1997. — Impact of a prawn farm on a coastal ecosystem, a case study : The seagrass meadow of the Chambeyron Bay, New Caledonia (Abstr.). *Marine Benthic Habitats Conference, Nouméa, New Caledonia, November 10-16, 1997.*
- GARRIGUE, C. & TSUDA, R. T., 1988. — Catalog of marine benthic algae from New Caledonia. *Micronesica*, 21 (1-2) : 53-70.
- GARWIN, L., 1996. — Vent fauna and plate tectonics. *Nature*, 379 : 492.
- GATTUSO, J. P., FRANKIGNOUILLE, M., SMITH, S. V., WARE, J. R. & WOLLAST, R., 1996. — Coral Reefs and carbon dioxide. *Science*, 271 : 1298.
- GAUDIN, T. (ed.), 1990. — *2100 récit du prochain siècle.* Payot, Paris ; 600 p.
- GEBRUK, A. V., 1997. — New species of the deep-sea holothurian family Elpidiidae Théel, 1879. *Zoosystema*, 19 (2-3) : 211-217.
- GEERMANS, S., 1993. — Marine turtles in New Caledonia. 3rd SPREP Regional Marine Turtle Conservation Programme ; June 1993, Apia (Abstract).

- GEORGE, R. W., 1972. — South Pacific Islands Fisheries Development Agency. Rock Lobster Project. A guide to the rock lobsters of the South Pacific region. *South Pacific Bulletin* 22 (2) : 31-34.
- GILL, P. C., EYRE, E. J., GARRIGUE, C. & DAWBIN, W. H., 1994. — Observations of Humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) on a cruise to New Caledonia and the Chesterfield reefs. *Mem. Q. Mus.* 38 (2) : 505-511.
- GIOVANNELLI, J., 1952. — *Les cyclones tropicaux en Nouvelle-Calédonie au cours d'un siècle (1852-1951)*. Services Météorologique. Nouvelle-Calédonie et Dépendances, Nouméa, avril 1952 rapport ronéotypé ; 33p.
- GLAESSNER, M. F., 1985. — *The dawn of animal life. A biohistorical study*. Cambridge University Press; 244 p.
- GLYNN, P. W. & D'CROZ, L., 1990. — Experimental evidence for high temperature stress as the cause of El Niño—coincidence coral mortality. *Coral Reef* 8 : 161-191.
- GOIRAN C., 1990. — *Etude d'un mollusque Strombidae du lagon sud-ouest de la Nouvelle Calédonie : Strombus luhanus*. D.É.A. : Océanogr. biol. : Univ. Aix-Marseille 3. Nouméa : ORSTOM. *Mém. DEA : Sci. Mer : Biol. mar.*, 31 p., multigr.
- GOIRAN C., 1994. — La symbiose entre les Scléactiniaires et les Dinoflagellés : physiologie des zooxanthelles *Symbiodinium* sp. du corail *Galaxea fascicularis*, hors de l'association symbiotique. *Thèse de Doctorat de l'Université de Nice-Sophia Antipolis* ; 238 p.
- GORDON, D. P., 1993. — Bryozoa : The ascophorine infraorders Cribriomorpha, Hippothoomorpha and Umbonulomorpha mainly from New Caledonian waters. In : CROSNIER A. (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 11. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), 158 : 299-347.
- GORDON, D. P., 1994. — Bryozoa : Living and fossil species of the catenicellid subfamilies Ditaxiporinae Stach and Vasignyellinae nov. in : A. CROSNIER (ed.) Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 12. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, (A), 161 : 55-85.
- GORDON, D. P. & BRAGA, G., 1994. — Bryozoa : Living and fossil species of the catenicellid subfamilies Ditaxiporinae Stach and Vasignyellinae nov. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 12. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 161 : 55-85.
- GORDON, D. P., & D'HONDT, J.-L., 1991. — Bryozoa : The Miocene to Recent family Petalostegidae. Systematics, affinities, biogeography. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 8. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, (A), 151 : 91-123.
- GOULD, S. J., 1989. — *Wonderful life. The Burgess Shale and the Nature of History*. Hutchinson Radius, London ; 347.
- GOULD, S. J., 1994. — *Eight little piggies. Reflections in natural history*. Penguin Books, London ; 479.
- GRANDIN, P. & CHAUVET, C., 1994. — *La pêche à la langouste à Lifou*. 25ème conférence technique régionale sur les pêches. Nouméa, 14-18 mars 1994, document ronéotypé CPS ; 5 p.
- GRANDPERRIN, R., 1975. — Structures trophiques aboutissant aux thons de longue ligne dans le Pacifique sud-ouest tropical. *Thèse de Doctorat d'Etat de l'Université d'Aix-Marseille II* ; 296 p.
- GRANDPERRIN, R., AUZENDE, J.-M., RICHER DE FORGES, B., BOUNIOT, E., DURAND SAINT OMER, L., HABAULT, C., HENIN, C., LABOUE, P., LAFOY, Y., RIVATON, J., VAN DE BEUQUE, S. & VIRLY, S., 1997. — Marine resources of New Caledonia : The ZoNéCo programme. Marine Benthic Habitat and their living resources : Monitoring, Management & applications to Pacific island nations. Nouméa, 10-16 November 1997.(Abstr.)
- GRANDPERRIN, R., BUJAN, S., MENOUE, J. -L., RICHER DE FORGES, B. & RIVATON, J., 1995. — Campagne HALIPRO 1 de chalutages exploratoires dans l'Est et dans le Sud de la Nouvelle-Calédonie (N. O. ALIS, 18-25 mars et 29 mars-&er avril 1994). Nouméa : ORSTOM. *Conv., Sci. Mer, Biol. mar.*, 14 : 61 p.
- GRANDPERRIN, R. & DUFLO, C. (non publié). — Pêche des nautiles en Nouvelle-Calédonie : influence de la profondeur et du type de casier ; 36 p.
- GRANDPERRIN, R., FARMAN, R., LORANCE, P., JOMESSY, T., HAMEL, P., LABOUE, P., LABROSSE, P., RICHER DE FORGES, B., SERET, B. & VIRLY, S., 1997a. — Campagne HALIPRO 2 de chalutages exploratoires profonds dans le sud de la zone économique de Nouvelle-Calédonie (R.V. Tangaroa, 4-28 novembre 1996). *ZoNéCo : Programme d'évaluation des ressources marines de la zone économique de Nouvelle-Calédonie* ; 150 p.
- GRANDPERRIN, R., LABOUE, P., PIANET, R. & WANTIEZ, L., 1990. — Campagne "AZTEQUE" de chalutage de fond au sud-est de la Nouvelle-Calédonie (N. O. "ALIS", du 12 au 16 février 1990). *Rapports de Missions, Sciences de la Mer, Biologie marine*, ORSTOM Nouméa, (7), 21 p.
- GRANDPERRIN, R. & LEHODEY, P., 1992. — Campagne BERYX 2 de pêche au chalut de fond sur trois monts sous-marins du Sud-Est de la Zone Economique de Nouvelle Calédonie (N.O. "Alis", 22-31 octobre 1991). *Rapports de Missions, Sciences de la Mer, Biologie marine*, ORSTOM Nouméa, (11), 40 p.
- GRANDPERRIN, R. & RICHER de FORGES, B., 1989a - Observations réalisées à bord du submersible "CYANA" dans la zone épibathyale de Nouvelle-Calédonie (campagne CALSUB, 17 février-14 mars 1989). Nouméa : ORSTOM. *Rapp. Missions, Sci. Mer, Biol. mar.*, 3 : 25p.

- GRANDPERRIN, R., & RICHER de FORGES, B., 1989b. — Etude des structures et du fonctionnement du lagon de Nouvelle-Calédonie. Compte-rendu de fin d'études d'une recherche financée par le Ministère de la Recherche et de la Technologie (décision d'aide n° 86 S 0699). Nouméa : ORSTOM. *Conv., Sci. Mer, Biol. mar.*, : 86 p.
- GRANDPERRIN, R., RICHER DE FORGES, B. & AUZENDE, 1997b. — *Ressources marines de Nouvelle-Calédonie/Marine resources of New Caledonia*. Programme ZoNéCo. Nouméa, Nouvelle-Calédonie : 90 p.
- GRASSHOFF, M. & BARGIBANT, G., (en préparation). — Guide des gorgones de Nouvelle-Calédonie. *Faune Tropicale*, ORSTOM : Paris ; x p.
- GRASSLE, J. F. & MACIOLECK, N. J., 1992. — Deep-sea species richness : regional and local diversity estimates from quantitative bottom samples. *N. J. Am. Nat.*, **139** : 313-341.
- GRASSLE, J. F., 1991. — Deep-sea benthic biodiversity. *Bioscience*, **41** (7) : 464-469.
- GRAY, J. S., 1994. — Is the deep sea really so diverse ? Species diversity from Norwegian continental shelf. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, **112** : 205-209.
- GRAY, J. S., 1997. — *Marine biodiversity : patterns, threats and conservation needs*. International Maritime Organization ; London , GESAMP, Reports and Studies; 24 p.
- GREACES, J. & GARRIGUE, C., 1997. — Preliminary population estimation of humpback whales in New Caledonia (Abstrs.). *Marine Benthic Habitats Conference. Nouméa, November 10-16*.
- GRIFFIN, D. J. G. & TRANTER, H. A., 1986. — The Decapoda Brachyura of the Siboga Expedition. — Part VIII, Majidae. *Siboga Exped.*, Monograph. 39 C4 (Livr. 148), 335 p.
- GRIFFITHS, J. R., 1971. — Reconstruction of the south west Pacific margin of Gondwanaland. *Nature*, **234** : 203-207.
- GRIGG, R. W., 1984. — Resource management of precious corals : a review and application to shallow waterreef-building corals. *Marine Ecology* **5** (1) : 57-74.
- GRIGG, R. W. & DOLLAR, S. J., 1990. — *Natural and anthropogenic disturbance on coral reefs*. In : DUBINSLEY, Z. (ed.). — *Ecosystems of the world 25, Coral reefs*. Elsevier, Amsterdam : 439-452.
- GRIGG, R. W. & HEY, R., 1992. — Paleooceanography of the tropical Eastern Pacific Ocean. *Science* **255** : 172-178.
- GRIGG, R. W., MALAHOFF, A., CHAVE, E. H. & LANDAHL, J., 1987. — Seamount benthic ecology and potential environmental impact from manganese crust mining in Hawaii. In : KEATING, B. H., FRYER, P., BATIZA, R. & BOEHLERT, G. (eds) — *Seamounts, Islands & Atolls. Geophysical Monograph* **43** : 379-390.
- GRIGG, R. W. & MARAGOS, J. E., 1974. — Recolonization of hermatypic corals on submerged lava flows in Hawaii. *Ecology* **55** (2) : 387-395.
- GRINBLAT, J. A., 1993. — Population in the 22nd century, from the United Nations long range projections. *International Population Congress*, Montréal, 1993.
- GROOMBRIDGE, B., (ed.), 1992. — *Global biodiversity. Status of the Earth's Living Resources*. Chapman & Hall, London ; 585 p.
- GRYGIER, M. J., 1991. — Additions to the Ascothoracidan fauna of Australia and South-east Asia (Crustacea, Maxillopoda) : Synagogidae (part), Lauridae and Petrarciidae. *Rec. Aust. Mus.*, **43** : 1-46.
- GUELORGET, O., MARTIN, J.-L., LEFEBVRE, A., COURTIÉS, C., PERTHUISOT, J.-P., SUPANGA, A., FUCHS, J. & SUASTIKA, M., 1996. — Open sea paralic ecosystems south of Java sea : environmental approach by flow cytometry. *J. Coast. Res.*, **12** (1) : 256-270.
- GUILCHER, A., 1963. — Quelques caractères des récifs barrières et de leurs lagons. *Bull. Ass. Géogr. fr.*, (314-315) : 2-16.
- GUILCHER, A., 1965. — Géomorphologie et sédimentologie du grand récif sud. In : *Expéd. fr. sur les récifs coralliens de la Nouvelle Calédonie*. Paris : Singer-Polignac. **1** : 141-179.
- GUILLE, A., LABOUTE, P. & MENO, J.-L., 1986. — Guide des étoiles de mer, oursins et autres échinodermes du lagon de Nouvelle-Calédonie. *Faune Tropicale*, ORSTOM : Paris, **25** ; 238 p.
- GUINOT, D., 1989. — Le genre *Carcinoplax* H. Milne Edwards, 1892 (Crustacea, Brachyura : Goneplacidae). In : J. FOREST (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 5. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), **144** : 265-345.
- GUINOT, D., 1990. — Crustacea Decapoda : Le genre *Psoptheticus* Wood-Mason, 1892 (Goneplacidae). In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 6. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), **145** : 331-368.
- GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1981a. — Crabes de profondeur, nouveaux ou rares, de l'Indo-Pacifique (Crustacea, Decapoda, Brachyura) (Première partie). *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4), **2**, 1980, sect. A, (4) : 1113-1153. (Deuxième partie). *Ibid.*, (4), **3**, sect. A, (1) : 227-260.

- GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1981b. — Homolidae, rares ou nouveaux, de l'Indo-Pacifique (Crustacea, Decapoda, Brachyura). *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4), 3, sect. A, (2) : 523-581.
- GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1982a. — Nouvelles récoltes des genres *Cyrtomaia* Miers et *Pleistacantha* Miers (Crustacea, Decapoda, Brachyura). *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4), 3, sect. A, (4), 1981 (1982) : 1087-1124.
- GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1982b. — Révision du genre indo-pacifique *Cyrtomaia* Miers, 1886 : Campagnes océanographiques du "Challenger", de l' "Albatross", du "Siboga" et du "Vauban" (Crustacea, Decapoda, Brachyura). *Annls Inst. Océanogr., Paris*, 58 (1) : 5-87.
- GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1984. — Revision of the Indo-Pacific *Sphenocarcinus* with a single rostrum and description of two new species (Crustacea, Decapoda, Brachyura, Majidae). *Mar. Res. Indonesia*, 24 : 49-71.
- GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1986a. — Crustacés Décapodes : Majidae (genres *Platymaia*, *Cyrtomaia*, *Pleistacantha*, *Sphenocarcinus* et *Naxioides*). In : Résultats des Campagnes MUSORSTOM 1 et 2, Tome 2. *Mém. Mus. natn. Hist. nat. Paris*, (A), 1985 (1986), 133 : 83-178.
- GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1986b. — Découverte d'une nouvelle espèce de *Sphenocarcinus* en Nouvelle-Calédonie, *S. mammatus* sp. nov. (Crustacea, Decapoda, Brachyura). *Indo-Malay. Zool.*, 3 : 27-37.
- GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1988. — Description de trois espèces de *Cyrtomaia* Miers, 1886, de Nouvelle-Calédonie et des îles Chesterfield (Crustacea, Decapoda, Brachyura). *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4), 10, sect. A, (1) : 39-55.
- GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1995. — Crustacea Decapoda Brachyura : Révision de la famille des Homolidae de Haan, 1839. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des campagnes MUSORSTOM, Volume 13. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 163 : 283-517.
- GUINOT, D., B. G. M. JAMIESON & RICHER DE FORGES, B., 1994. — Relationship of Homolidae and Dromiidae : evidence from spermatozoal ultrastructure (Crustacea, Decapoda). *Acta Zoologica* (Stockholm), 75 (3) : 255-267.
- HAEBERLE, F. R., 1952. — The d'Entrecasteaux reef group. *Am. J. Sci.*, 250 : 28-34.
- HAIG J., 1987. Porcellanid crabs from the Coral Sea. *The Beagle, Rec. North Territ. Mus. Arts Sciences*, 4 (1) : 11-14.
- HALLAM, A., 1976. — *Une révolution dans les sciences de la Terre (de la dérive des continents à la tectonique des plaques)*. Seuil, points sciences ; 186 p.
- HAMEL P., 1991. Rapport de participation à la 2è réunion du "Programme Régional de Protection des Tortues Marines" (Nouméa, 12-14 août 1991). Nouméa : ORSTOM. *Rapp. Missions : Sci. Mer : Biol. mar.*, 9 : 6 p., multigr.
- HAMEL P., 1992. Mission "Tortues marines" aux îles Surprise, Fabre, Le Leizour et Huon (récifs d'Entrecasteaux). Nouméa : ORSTOM. *Rapp. Missions : Sci. Mer : Biol. mar.*, 14 : 26 p.
- HANLEY, J. R. & BURKE, M., 1991. — Polychaeta Polynoidae : Scaleworms of the Chesterfield Islands and Fairway Reefs, Coral Sea. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 8. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), 151 : 9-82.
- HAQ, B. U. & VAN EYSINGA, F. W. B., 1987. — Geological time table. Elsevier Science publishers, Amsterdam.
- HARME LIN-VIVIEN, M. & LABOUTE, P., 1986. — Catastrophic impact of hurricanes on atoll outer reefs slopes in the Tuamotu (French Polynesia). *Coral Reefs*, 5 : 55-62.
- HARRISON, P., 1989. — *Seabirds. An identification guide*. CHRISTOPHER HELM, A & C Black. London ; 448 p.
- HARTMANN-SCHRÖDER, G., 1992. — Drei neue Polychaeten-Arten der familien Polynoidae und Syllidae von Neukaledonien, assoziiert mit einer verkalkten Hydrozoe. *Helgoländer Meeresunters.*, 46 : 93-101.
- HAY, J. E. & KALUWIN, C., 1993. — *Climate Change and Sea level rise in the South Pacific region*. Proceed. 2nd SPREP meeting, Nouméa, 6-10 April 1992 ; 238 p.
- HAY, M. E. & FENICAL, W., 1996. — Chemical ecology and marine biodiversity : insights and products from the sea. *Oceanography*, 9 (1) : 10-20.
- HAYES, D. E., & J. RINGIS, 1973. — Seafloor spreading in the Tasman sea. *Nature*, 243 : 454-458.
- HE, X., 1996. — *Spatial, temporal and gear-related bycatch of Blue Shark by the Hawaii-based Longline Fishery*. Proceedings of the 47th Tuna Conference, Lake Arrowhead, California, May 20-23, (abstract).
- HEINSOHN, G. E., WAKE, J., MARSH, H. & SPAIN, A. V., 1977. — The dugong (*Dugong dugon* (MÜLLER)) in the seagrass system. *Aquaculture*, 12 : 235-248.
- HEIP, C., 1995. — Eutrophisation and zoobenthos dynamics. *Ophelia* 41 : 113-136.
- HENIN, C., J. M. GUILLERM, & L. CHABERT, 1984. — Circulation de surface autour de la Nouvelle-Calédonie. *Océanogr. trop.*, 19 (2) : 113-126.
- HESSLER, R. R. & H. L. SANDERS, 1967. — Faunal diversity in the deep-sea. *Deep-sea Research*, 14 : 65-78.

- HEYWOOD, V. H. & WATSON, R. T., 1995. — *Global Biodiversity Assessment*. UNEP, Cambridge University Press ; p.
- HICKEY, B. M., 1995. — Coastal submarine Canyons. In : MÜLLER, P. & HENDERSON, D. (eds). — *Topographic effects in the ocean*. Hawaiian winter workshop, January 17-20, 1995 ; SOEST Special Publication : 95-110.
- HILLIS-COLINVAUX, L., 1986a. — Historical perspectives on algae and reefs : Have reefs been misnamed ? *Oceanus* 29 (2) : 43-48.
- HILLIS-COLINVAUX, L., 1986b. — *Halimeda* growth and diversity on the deep fore-reef of Enewetak Atoll. *Coral Reefs* 5 : 19-21.
- HIRTH, H. F., 1993. — Marine turtles. In : WRIGHT, A. & HILL, L. (eds). — *Nearshore Marine Resources of the South Pacific. Information for Fisheries Development and Management*. Institute of Pacific Studies, Suva. Forum Fisheries Agency, Honiara. International Centre for Ocean Development, Canada. Singapore National Printing : 329-370.
- HOLTHUIS, L. B., 1985. — A revision of the family Scyllaridae (Crustacea : Decapoda : Macrura). I. Subfamily Ibacinae. *Zool. Verh. Leiden*, (218) : 1-130.
- HOPLEY, D., 1982. — *The Geomorphology of the Great Barrier Reef. Quaternary Development of Coral Reefs*. New York : Wiley Interscience Publication ; 453 p.
- HOOPER, J. N. A. & LEVI, C., 1994. — Biogeography of Indo-west Pacific sponges : Microcionidae, Raspailiidae, Axinellidae. In : Van SOEST, R. W. M., KEMPEN, T. M. G. & BRAKEMAN, J. C. (eds). *Sponges in time and space : biology, chemistry, paleontology. Proceed. 4th International Porifera Congress, Amsterdam, Netherlands, 19-23 1993*. A. A. Balkema, Rotterdam : 191-212.
- HOUART, R., 1986. — Description of three new muricid Gastropods from the South-Western Pacific Ocean with comments on new geographical data. *Bull. Mus. natn. Hist. nat.*, Paris, (4) 8, sect.A (4) : 757-767.
- HOUART, R., 1995. — The Trophoninae (Gastropoda : Trochoidea) of the New Caledonia region. In : P. BOUCHET (ed.), Résultats des campagnes MUSORSTOM, Volume 14. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 164 :
- HUBBELL, T. H., 1994. — The Biology of Islands. In : KAY, A. (ed.) . — *A natural History of the Hawaiian Islands. Selected Readings II* ; University of Hawaii, Honolulu: 359-369.
- HUMBERT, G., 1995. — *Principaux textes internationaux relatifs à la protection de la nature*. Ministère de l'Environnement et Muséum national d'Histoire naturelle ; doc. ronéotypé (ISBN 2 - 85653 - 222 - 5) ; 84 p.
- HUMES, A. G., 1974. — Cyclopoid copepods associated with Opisthobranch mollusks in New Caledonia. *Crustaceana* 26 (3) : 233-237.
- HUMES, A. G., 1975. — Cyclopoid Copepods (Lichomolgidae) associated with Alcyonaceans in New Caledonia. *Smith. Contr. Zool.*, 191 : 1-27.
- HUMES, A. G., 1975. — Cyclopoid Copepods (Nanaspidae and Sabelliphilidae) associated with Holothurians in New Caledonia. *Smith. Contr. Zool.*, 202 : 1-41.
- HUMES, A. G., 1976. — Cyclopoid Copepods associated with Asteroid Echinoderms in New Caledonia. *Smith. Contr. Zool.*, 217 : 1-19.
- HUMES, A. G., 1977. — Pseudanthessiid Copepods (Cyclopoida) associated with Crinoids and Echinoids (Echinodermata) in the tropical Western Pacific Ocean. *Smith. Contr. Zool.*, 243 : 1-43.
- HUMES, A. G., 1994. — How many copepods ? *Hydrobiologia* 292/293 : 1-7.
- HUTCHINGS, P., 1990. — Review of the effects of trawling on macrobenthic epifaunal communities. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 41 : 111-120.
- HUYS, R., 1991. — Crustacea Copepoda : *Amphicrossus pacificus* gen. et sp. nov., an erobonasterid copepod (Poecilostomatoidea) from the New Caledonian shelf. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 9. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, Paris, (A), 152 : 63-77.
- INEICH, I. & RASMUSSEN, A. R., 1997. — Sea snakes from New Caledonia and the Loyalty Islands (Elapidae, Laticaudinae and Hydrophiinae). *Zoosystema* 19 (2-3) : 185-192.
- INTÉS, A., 1978. — Pêche profonde aux casiers en Nouvelle-Calédonie et îles adjacentes. Essais préliminaires. *Rapports scientifique et techniques Centre Nouméa (Océanogr.) ORSTOM*, (2), 20 p., multigr.
- INTES, A. & MENOUE, J. -L., 1979. — Quelques holothuries (Echinodermata) des environs de Nouméa et leur répartition. *Rapp. Sci. Tech. Cent. Nouméa (Océanogr.) ORSTOM* : Nouméa, 3 ; 23 p.
- JAFFRE, T., RIGAUULT, F. & SARRAILH, J. -M., 1993. — Essais de revégétalisation par des espèces locales d'anciens sites miniers de la région de Thio. ORSTOM : Nouméa. *Conv. Sc. Vie, Bot.*, 7 ; 31 p.
- JABLONSKI, D., 1991. — Extinctions : A paleontological perspective. *Science*, 253 : 754-757.
- JABLONSKI, D., 1996. — Extinctions in the fossil record. In : LAWTON, J. H. & MAY, R. M. (eds). — *Extinction rates*. Oxford University Press, Oxford : 25-44.

- JAMESON, S. C., McMANUS, J. W. & SPALDING, M. D., 1995. — *State of the Reefs. Regional and Global Perspectives*. International Coral Reef Initiative Executive secretariat? Background Paper. May 1995 : 5-32.
- JAMIESON, B. G. M., 1991. — Ultrastructure and phylogeny of crustacean spermatozoa. *Mem. Queen. Mus.*, **31** : 109-142.
- JAMIESON, B. G. M., GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1993a. — Spermatozoal ultrastructure in four genera of Homolidae (Crustacea, Decapoda) : exemplified by *Homologenus* sp., *Latreillopsis* sp., *Homolomania sibogae* and *Paromolopsis boasi*. *Helgol. Meeresunters.*, **47** : 323-334.
- JAMIESON, B. G. M., GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1993b. — The ultrastructure of the spermatozoon of *Paradynomene tuberculata* Sakai, 1963 (Crustacea, Brachyura, Dynomenidae) : synapomorphies with dromiid sperm. *Helgol. Meeresunters.*, **47** : 311-322.
- JAMIESON, B. G. M., GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1993c. — The spermatozoon of *Calocarcinus africanus* : ultrastructural synapomorphies with xanthoid sperm. *J. Invertebr. Repr. Dev.*, **24** (3) : 189-196.
- JAMIESON, B. G. M., GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1994a. — Relationships of the Cyclodorippoidea Ortmann : Evidence from spermatozoal ultrastructure in the genera *Xeinostoma*, *Tymolus* and *Cymonomus*. *J. Invertebr. Repr. Dev.*, **26** (2) : 153-164.
- JAMIESON, B. G. M., GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1994b. — Podotreme affinities of *Raninoides* sp. and *Lyreidius brevifrons* : Evidence from spermatozoal ultrastructure. *Mar. Biol.*, **120** : 239-249.
- JAMIESON, B. G. M., GUINOT, D. & RICHER DE FORGES, B., 1995. — Phylogeny of the brachyura : Evidence from spermatozoal ultrastructure (Crustacea, Decapoda). In : JAMIESON, B. G. M., AUSIO, J. & JUSTINE, J. -L., *Advances in spermatozoal Phylogeny and taxonomy. Mém. Mus. nat. Hist. nat.*, **166** : 265-283.
- JANGOUX M., 1986. Les Astérides. in : GUILLE A., LABOUTE P., MENOUE J.L., *Guide des étoiles de mer, oursins et autres échinodermes du lagon de Nouvelle Calédonie*. Paris : ORSTOM. *Faune trop.*, **25** : 109-153.
- JARRIGE, F., R. RADOK, G. KRAUSE, & P. RUAL, 1975. — *Courants dans le lagon de Nouméa (Nouvelle Calédonie)*. Déc.74-janv. 75. Rapp. ORSTOM (Nouméa) et H. Lamb. Inst. of Oceanogr., Flinders Univ. S. Australia ; 6 p.
- JESPERSEN, P. & VEDELTAING, A., 1934. — Foreword and list of stations. In : Introduction to the reports from the Carlsberg Foundation's oceanographical expedition round the world 1928-30. *Dana-Rep.*, (1) : 1-130.
- JOANNOT, P., 1983. — *Etudes préliminaires de bancs coralliens en milieux envasés du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie*. D. E. A. : Océanol. : Univ. Aix-Marseille II. 42 p., multigr.
- JOANNOT, P., 1990. — *Etude d'un récif exploité pour son corail : le récif Tétambia, Nouvelle-Calédonie. Recrutement et croissance des madréporaires ; dynamique du stock et exploitation rationnelle*. Thèse de Doctorat de 3ème cycle de l'Université d'Aix-Marseille II ; 125 p.
- JOANNOT, P., 1991. — Une première mondiale : la naissance d'un bébé nautilaire en aquarium. *Rossiniana*, **50** : 6-8.
- JOANNOT, P., THOMASSIN, B. A. & MAGNIER, Y., 1983. — Coral banks in muddy environments in the New Caledonia S. W. Lagoon. *International Society for reef studies. Colloque annuel ; iologie et géologie des récifs coralliens, Nice, 8-9 décembre 1983* (Abstr.).
- JOHNSON, D., 1994. — Seastar fight gains momentum. Update on the northern seastar "*Asterias amurensis*". *Australian Fisheries*, January 1994 : 25-28.
- JOKIEL, P. L. & COLES, S. L., 1990. — Response of Hawaiian and other Indo-Pacific reef corals to elevated temperature. *Coral Reefs*, **8** (4) : 155-162.
- JOLLIVET, D., 1993. — *Distribution et évolution de la faune associée aux sources hydrothermales profondes à 13°N sur la dorsale du Pacifique orientale : Le cas particulier des Polychètes Alvinellidae*. Thèse de Doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale. Spécialité Océanologie Biologique ; 353 p.
- JONES, A. E. & SHANKLIN, J. D., 1995. — Continued decline of total ozone over Halley, Antarctica, since 1985. *Nature*, **376** : 409-411.
- JONES, M. M., 1991. — *Marine organisms transported in ballast water. A review of the Australian scientific position*. Bureau of Rural Resources, Bull. n°11. Australian Government Publishing Service, Canberra ; 48 p.
- JOOP, S., 1992. — *Etude préliminaire à l'évaluation de l'état des stocks de langoustes en Nouvelle-Calédonie*. Université Française du Pacifique ; DEA, 20 juillet 1992 ; 32 p.
- JUMARS, P. A., 1976. — Deep-Sea species diversity : does it have a characteristic scale ? *J. Mar. Res.*, **34** (2) : 217-246.
- KAAS, P., 1990. — New species and further records of known species of Polyplacophora from the tropical Western Pacific. *Basteria*, **54** : 175-186.
- KAAS, P., 1991. — Mollusca Gastropoda : Deep-water Chitons from New Caledonia. In : A. CROSNIER & P. BOUCHET (eds), *Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 7. Mém. Mus. nat. Hist. nat., Paris, (A)*, **150** : 9-27.

- KAUFMAN, L., 1992. — Catastrophic change in species-rich freshwater ecosystems. The lessons of Lake Victoria. *BioScience*, 42 (11) : 846-858.
- KAUFMAN, G. D. & FORESTELL, P. H., 1994. — Hawaii's Humpback Whales. Island Heritage Publishing, Hawaii ; 176.
- KAY, E. A., 1994. — *A Natural History of the Hawaiian islands*. University of Hawaii ; 515 p.
- KAY, E. A. & JOHNSON, S., 1987. — Mollusca of Enewetak Atoll. In : DEVANEY, D. M., REESE, E. S. & BURTCHE, B. L. (eds). — *The natural history of Enewetak Atoll*. Vol. 2, Biogeography and Systematics. U.S. Dept. of Energy.
- KELLEHER, G., 1993. — Sustainable development of the Great Barrier Reef as a Large Marine Ecosystem. In : SHERMAN, K., ALEXANDER, L. M. & GOLD, B. D., (eds). — *Large Marine Ecosystems. Stress, Mitigation and Sustainability*. AAAS Press, Washington : 272-279.
- KENCHINGTON, R., 1987. — *Acanthaster planci* and management of the Great Barrier Reef. *Bull. Mar. Sc.*, 41 (2) : 552-560.
- KERR, R. A., 1997. — Life goes to extremes in the deep Earth—and elsewhere. *Science* 276 : 703-704.
- KIKUTANI, K., FA'ANUNU, 'U. & MANU, N., 1995. — The present status of introduced trochus and green snail in the Tongatapu Island group. In : DALZELL, P. & ADAMS, T.J.H. — *South Pacific Commission and Forum Fisheries Agency workshop on the management of South Pacific inshore fisheries. Integrated Coastal Fisheries Management Project*. Technical Document N° 11 ; Vol. 1 : 337-341.
- KING, M. G., 1986. — The fishery resources of Pacific Island countries. Part 1. *FAO Fisheries Technical Paper* 272.1 ; 45 p.
- KITAZATO, H. & SHIRAYAMA, Y., 1996. — Rapid creation of a reduced environment and an early stage of a chemosynthetic community on cattle bones at the deep-sea bottom in Sagami Bay, central Japan. *Vie & Milieu*, 46 (1) : 1-5.
- KLUMPP, D. W. & PULFRICH, A., 1989. — Trophic significance of herbivorous macro invertebrates on the central Great Barrier Reef. *Coral Reef* 8 : 135-144.
- KNOWLTON, N. & JACKSON, J. B. C., 1994. — New taxonomy and niche partitioning on coral reef : jack of all trades or master of some ? *Trends in Ecology and Evolution*, 9 : 7-9.
- KOSLOW, J. A., 1997. — Conservation of seamount fisheries and benthic habitat : the Australian experience. Marine Benthic Habitat and their living resources : Monitoring, Management & applications to Pacific island nations. Nouméa, 10-16 November 1997.(Abstr.)
- KOSLOW, T. & EXON, N., 1995. — Seamount discoveries prompt calls for exploration and conservation. *Australian fisheries*, February 1995 : 10-13.
- KROENKE, L. W., C. JOUANNIC, & P. WOODWARD, 1983. — *Bathymetry of the South-west Pacific. Chart 1 of the Geophysical Atlas of the South-west Pacific*. Scale 1 : 6,442,182 à 0°. Mercator projection. 2 sheets. CCOP / SOPAC.
- KROGH, M. & REID, D., 1996. — Bycatch in the protective shark meshing programme off south-eastern New South Wales Australia. *Biol. Conser.*, 77 : 219-226.
- KUHN, T. S., 1982. — *La structure des révolutions scientifiques*. Flammarion, Champs, Paris ; 284 p.
- KULBICKI, M., 1988. — Bottom longlining in the south-west lagoon of New Caledonia. *Aust. Fish.*, sept. 88 : 41-44.
- KULBICKI, M., 1995. — Le potentiel halieutique de l'atoll d'Ouvea, condensé des travaux réalisés par l'ORSTOM de 1991 à 1994. In : DALZELL, P. & ADAMS, T.J.H. — *South Pacific Commission and Forum Fisheries Agency workshop on the management of South Pacific inshore fisheries. Integrated Coastal Fisheries Management Project*. Technical Document N° 11 ; Vol. 2 : 570-612.
- KULBICKI, M., 1997. — Bilan de 10 ans de recherche (1985-1995) par l'ORSTOM sur la diversité, la densité, la biomasse et la structure trophique des communautés des poissons lagunaires et récifaux en Nouvelle-Calédonie. *Cybium* 21 (1) suppl. : 47-79.
- KULBICKI, M., BAILLON, N., MORIZE, E. & THOLLOT, P., 1990a. — Campagne CORAIL 1 de chalutage exploratoire aux îles Chesterfield et à Lansdowne (N.O. *Alis*, 15 août au 4 septembre 1990). Nouméa : ORSTOM. *Rapp. sci. tech.* : *Sci. Mer : Biol. mar.*, 56 : 28 p., multigr.
- KULBICKI, M., BARGIBANT, G., MENO, J.-L., MOUTHAM, G., THOLLOT, P., WANTIEZ, L. & WILLIAMS, J., 1994b. — Evaluation des ressources en poissons du lagon d'Ouvéa. 3ème partie, les poissons. Nouméa : ORSTOM. *Conv. Sc. Mer, Biol. mar.*, 11 : 448 p.
- KULBICKI, M., DOHERTY, P., RANDALL, J.E., BARGIBANT, G., MENO, J.L., MOU-THAM G. & TIRARD P., 1990b. — La campagne CORAIL 1 du N.O. *Coriolis* aux îles Chesterfield (15 août au 4 septembre 1988) : données préliminaires sur les peuplements ichthyologiques. Nouméa : ORSTOM. *Rapp. sci. tech.* : *Sci. Mer : Biol. mar.*, 57 : 88 p., multigr.

- KULBICKI, M., GALZIN, R., LETOURNEUR, Y., MOU THAM, G., SARRAMEGNA, S., THOLLOT, P., WANTIEZ, L. & CHAUVET, C., 1996. — Les peuplements de poissons de la réserve marine du récif Aboré (Nouvelle-Calédonie) : composition spécifique, structures trophique et démographique avant l'ouverture à la pêche. *Documents Scientifiques et Techniques*, **II**, ORSTOM : Nouméa ; 210 p.
- KULBICKI, M. & G. MOU-THAM, 1987. — Essais de pêche au casier à poisson dans le lagon de Nouvelle Calédonie. Nouméa : ORSTOM. *Rapp. sci. tech., Sci. Mer, Biol. mar.*, **47** ; 22 p.
- KULBICKI, M., G. MOU-THAM, G. BARGIBANT, J. L. MENUU & P. TIRARD, 1987. — Résultats préliminaires des pêches expérimentales à la palangre dans le lagon sud-ouest de Nouvelle Calédonie. Nouméa : ORSTOM. *Rapp. sci. tech., Sci. Mer, Biol. mar.*, **49** ; 102 p.
- KULBICKI, M., RANDALL, J. E. & RIVATON, J., 1994a. — Checklist of the Fishes of the Chesterfield Islands (Coral Sea). *Micronesica* **27** (1/2) : 1-43.
- KULBICKI, M. & RIVATON, J., 1997. — Inventaire et biogéographie des poissons lagunaires et récifaux de Nouvelle-Calédonie. *Cybiurn* **21** (1) suppl. : 81-98.
- KULBICKI, M. & WANTIEZ, L., 1990. — Variations in the Fish Catch Composition in the Bay of St Vincent, New Caledonia, as Determined by Experimental Trawling. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, **41** : 121-144.
- KUSHMARO, A., LOYA, Y., FINE, M. & ROSENBERG, E., 1996. — Bacterial infection and coral bleaching. *Nature*, **380** : 396.
- LABEYRIE, J., 1985. — *L'homme et le climat*. Denoël, Paris ; 281 p.
- LABOUE, P., 1985. — Evaluation des dégâts causés par les passages des cyclones de 1982-1983 en Polynésie Française sur les pentes externes des atolls de Tikehau et de Takapoto (Archipel des Tuamotu). *Proceed. 5th Int. Coral Reef Congress*, Tahiti, Vol. **3** : 323-329.
- LABOUE, P., 1988. — The presence of Scleractinian corals and their means of adapting to a muddy environment : the "Gail Bank". *Proceed. 6th Int. Coral Reef Symp., Townsville*, 8-12 Aug. 1988, **3** : 107-111.
- LABOUE, P., 1989a. — Mission d'observations halieutiques sur le palangrier japonais Fukuju Maru du 21 novembre au 12 décembre 1988. *Rapports de Missions, Sciences de la Mer, Biologie marine*, ORSTOM Nouméa, (2), 15 p.
- LABOUE P., 1989b. Mission "Tortues marines" aux îles Surprise et Huon (Récifs d'Entre-casteaux) du 9 au 17 janvier 1989. Nouméa : ORSTOM. *Rapp. Missions : Sci. Mer : Biol. mar.*, **1** : 19 p., multigr.
- LABOUE, P., FEUGA, M. & GRANDPERRIN, R., 1991. — *Le plus beau lagon du monde*. Editions Alizés, Nouvelle-Calédonie ; 271 p.
- LABOUE, P., LARDY, M., MENUU, J.-L., MONZIER, M. & RICHER DE FORGES, B., 1989. — La campagne "VOLSMAR" sur les volcans sous-marins du sud de l'arc des Nouvelles-Hébrides (N.O. ALIS, 29 mai au 9 juin 1989). *Rapports de Missions, Sciences de la Terre, Géologie, Géophysique*, ORSTOM Nouméa, (11), 22 p.
- LAFOY, Y., GRANDPERRIN, R., HENIN, C., et le Groupe ZoNéCo, 1995a. — Bilan des campagnes ZoNéCo 1 et ZoNéCo 2 du programme d'inventaire des ressources marines de la zone économique de Nouvelle-Calédonie : résultats et perspectives du programme ZoNéCo. Territoire de la Nouvelle-Calédonie, Service des Mines et de l'Energie n°3160-SR/79bis/MI/YL ; 35 p.
- LAFOY, Y., DUPONT, J., MISSEGUE, F., LE SUAVÉ, R. & PAUTOT, G., 1995b. — Effets de la collision "ride des Loyauté-arc des Nouvelles-Hébrides" sur la terminaison sud de l'ensemble "Nouvelle-Calédonie-Loyauté". *C. R. Acad. Sci. Paris*, **320**, sér. IIa : 1101-1108.
- LAMBERT, G., 1992. — Les gaz à effet de serre. *La Recherche* **243** : 550-556.
- LAMBERT, B. & M. ROUX (eds.), 1991. — L'environnement carbonaté bathyal en Nouvelle-Calédonie (Programme ENVIMARGES). *Doc. Trav. IGAL, Paris*, **15** : 213 p.
- LAMBERT, B. & ROUX, M., 1991. — Le programme ENVIMARGES. *Doc. Trav. IGAL, Paris*, (15) : 19-21.
- LANYON, J., LIMPUS, C. J. & MARSH, H., 1989. — Dugongs and turtles ; grazers in the seagrass system. In : LARKUM, A. W. D., McCOMB, A. J. & SHEPHERD, S. A. (eds). — *Biology of seagrasses : a treatise on the biology of seagrasses with special referenceto the Australian region*. Elsevier, Amsterdam : 610-627.
- LAUBIER, L. & DESBRUYERES, D., 1984. — Les oasis du fond des océans. *La Recherche* **161** : 1506-1517.
- LAUBIER, L. 1986. *Des oasis au fond des mers*. Science et Decouvertes. Le Rocher. J. P. Bertrand Ed. , Paris ; 154 p.
- LAUREC, A. & LE GUEN, J. C., 1981. — Dynamique des populations marines exploitées. Tome 1. Concepts et modèles. CNEXO. *Rapp. Scient. Techn.*, **45** ; 118 p.
- LAURENT, D., BOURDY, G., AMADE, P., CABALION, P. & BOURRET, D., 1993. — *La gratte ou ciguatera. Ses remèdes traditionnels dans le Pacifique Sud*. ORSTOM : Paris ; Collection Didactiques ; 151 p.

- LAURIN, B., 1992. — Découverte d'un squelette de soutien du lophophore de type "crura" chez un brachiopode inarticulé : description de *Neoancistrocrania norfolki* gen. sp. nov. (Craniidae). *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris*, 314 (3) : 343-350.
- LAURIN, B., 1997. — Brachiopoda : brachiopodes récoltés dans les eaux de la Nouvelle-Calédonie et des îles Loyauté, Matthew et Chesterfield. In : CROSNIER, A. (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, vol. 18. *Mém. Mus. nat. Hist. nat.*, : 413-473.
- LAWTON, J. H. & MAY, R. M., 1995. — *Extinction Rates*. Oxford University Press ; 233 p.
- LE BORGNE, J., 1986. — *Les cyclones*. Que sais-je ? Presses Universitaires de France ; 123 p.
- LE BORGNE, R., 1993. — JGOFS activities in the SPREP region. In : HAY, J. E. & KALUWIN, C., (eds). — *Climate Change and Sea level rise in the South Pacific region*. Proceed. 2nd SPREP meeting, Nouméa, 6-10 April 1992 : 76-82.
- LEBORGNE, R., LE BOUTEILLER, A., RODIER, M., GARRIGUE, C. & RICHER DE FORGES, B., 1993. — Etude de l'hydrologie et du plancton du lagon d'Ouvéa (Iles Loyauté) en septembre 1992. Observations sur la macrofaune benthique. In : équipe LAGON (eds). — *Evaluation des ressources en poissons du lagon d'Ouvéa. 1ère partie : l'environnement biologique : le macrobenthos, le mégabenthos et le plancton*. *Conv. Sc. Mer, Bio. Mar.*, 8 ; Nouméa : ORSTOM : 99-215.
- LEAKEY, R. & LEWIN, R., 1996. — *The sixth extinction. Biodiversity and its survival*. Poenix, Orion Books Ltd, London ; 271 p.
- LECHAPT, P.-P., 1992. — Description d'une nouvelle espèce d'*Eunice* (Polychaeta, Eunicidae) des zones bathyales du Pacifique. *Bull. Mus. nat. Hist. nat., Paris*, (4), 14, sect. A, (1) : 75-80.
- LEDOYER M., 1984a. — *Les gammariens (Crustacea : Amphipoda) des herbiers de phanérogames marines de Nouvelle Calédonie (Région de Nouméa)*. Paris : MNHN. *Mém. Mus. nat. Hist. nat., Paris*, (A), 129 : 1-113.
- LEDOYER M., 1984b. — Les Caridae (Crustacea : Decapoda) des herbiers de phanérogames marines de Nouvelle Calédonie (région de Nouméa). Systématique, écologie, variations nyctémérales et vicariances. *Zool. Verh., Leiden*, 211 : 1-58.
- LEE LONG, W. J., MELLORS, J. E. & COLES, R. G., 1993. — Seagrasses between Cape York and Hervey Bay, Queensland, Australia. *Aust. J. Mar. Fresh. Res.*, 44 : 19-31.
- LEHODEY, P., 1994. — *Les monts sous-marins de Nouvelle-Calédonie et leurs ressources halieutiques*. Thèse de l'Université Française du Pacifique ; 402 p.
- LEHODEY, P., BERTIGNAC, M., HAMPTON, J., LEWIS, A. & PICAUT, J., 1997. — El Nino Southern Oscillation and tuna in the western Pacific. *Nature*, 389 : 715-718.
- LEHODEY, P., RICHER DE FORGES, B., NAUGES, C., GRANDPERRIN, R. & RIVATON, J., 1992. — Campagne BERYX 11 de pêche au chalut sur six monts sous-marins du Sud-Est de la Zone Economique de Nouvelle-Calédonie (N. O. "Alis", 13 au 23 octobre 1992). *Rapp. Miss. Sci. mer, Biol. mar.*, ORSTOM : Nouméa 22 ; 93 p.
- LEMONNIER, H., HERLIN, M. & COATANEA, D., 1997. — Shrimp aquaculture in New Caledonia : an example of an artificial marine habitat (Abstr.). Marine Benthic Habitats Conference, Nouméa, November 10-16, 1997.
- LESSER, M. P., STOCHAJ, W. R., TAPLEY, D. W. & SHICK, J. M., 1990. — Bleaching in coral-reef anthozoans : effects of irradiance, ultraviolet radiation, and temperature on the activities of protective enzymes against active oxygen. *Coral Reefs*, 8 : 225-232.
- LE SUAVE, R., PAUTOT, G. & SAGET, P., 1994. — *Campagne ZoNéCo 1 (26 juin - 15 juillet 1993)*. Rapport de fin de Travaux, document IFREMER ; 50 p.
- LETOURNEUR, Y., KULBICKI, M., SARRAMEGNA, S., THOLLOT, P., WANTIEZ, L., GALZIN, R. & CHAUVET, C., 1997. — The Abore marine reserve (New Caledonia) - 2 : Analysis of the fish diversity. *5th Indo-Pacific Fish Conference. Nouméa, New Caledonia, November 3-8th, 1997* (Abstract).
- LEVEQUE, F. & GLACHANT, M., 1992. — Diversité génétique. *La Recherche* 239 : 114-123.
- LEVI, C. (ed.), (sous presse). — Sponges of the New Caledonian lagoon *Faune Tropicale*, n°33. ORSTOM : Paris, 206 p.
- LÉVI, C., 1986. — *BIOCAL. Compte rendu de la campagne effectuée à bord du N.O. Jean Charcot du 9 août au 10 septembre 1985*. Paris : MNHN. 40 p., multigr.
- LEVI, C., 1993. — Porifera Demospongiae : Spongiaires bathyaux de Nouvelle-Calédonie, récoltés par le "Jean Charcot" Campagne BIOCAL, 1985. In : CROSNIER A. (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 11. *Mém. Mus. nat. Hist. nat., Paris*, (A), 158 : 9-87.
- LÉVI, C., BARTON, J., GUILLEMET, C., LE BRAS, E. & LEHUEDÉ, P., 1989. — A remarkably strong natural glassy rod : the anchoring spicule of the *Monorhaphis* sponge. *J. materials Science Letters*, 8 : 337-339.
- LÉVI, C. & LÉVI, P., 1983a. — Démosponges bathyales récoltées par le N.O. Vauban au sud de la Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. nat. Hist. nat., Paris*, (4), 5, sect. A, (4) : 931-997.

- LÉVI, C. & LÉVI, P., 1983b. — Eponges Tétractinellides et Lithistides bathyales de Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4), 5, sect. A, (1) : 101-168.
- LÉVI, C. & LÉVI, P., 1988. — Nouveaux Spongiaires Lithistides à affinités Crétacé du nord de la ride de Norfolk. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4), 10, sect. A, (2) : 241-263.
- LEVITUS, S., 1982. — Climatological atlas of the world ocean. *NOAA Prof. Pap.*, 13 : 173 p.
- LIMPUS, C. J. & NICHOLLS, N., 1988. — The Southern Oscillation regulates the annual numbers of green turtles (*Chelonia mydas*) breeding around northern Australia. *Aust. Wildl. Res.* 15 :
- LINDZEN, R. S., 1994. — Climate dynamics and global change. *Anna. Rev. Fluid Mech.* 26 : 353-378.
- LITTLER, M. M., LITTLER, D. S., BLAIR, S. M. & NORRIS, J. N., 1985. — Deepest known plant life discovered on an uncharted seamount. *Proc. Biol. Soc. Wash.*, 227 (4682) : 57-59.
- LOCARD, A., 1896. — *Notice ethnographique sur les Mollusques utilisés en Nouvelle-Calédonie et dans les îles avoisinantes*. Alexandre Rey, imprimeur de l'Académie, Lyon ; 50 p.
- LORIUS, C., 1993. — *Glaces de l'Antarctique. Une mémoire, des passions*. Editions Odile Jacob, Paris ; 304 p.
- LOUBENS, G., 1978. — La pêche dans le lagon néo-calédonien. *Rapp. Sci. Tech. Cent. Nouméa (Océanogr.) ORSTOM*, 1 : 52 p.
- LOZOUET, P., 1991. — Mollusca Gastropoda : *Eumitra* récentes de la région néo-calédonienne et *Charitodoron* fossiles de l'Oligocène supérieur d'Aquitaine (Mitridae). In : A. CROSNIER & P. BOUCHET (eds), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 7. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), 150 : 205-222.
- LUCAS, J. S., 1988. — Giant Clams : Description, distribution and life history. In : COPLAND, J. W. & LUCAS, J. S. (eds). — *Giant Clams in Asia and the Pacific*. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra, 1988 : 21-32.
- LUTZ, W., SANDERSON, W. & SCHERBOV, S., 1997. — Doubling of world population unlikely. *Nature*, 387 : 803-805.
- MAC ARTHUR, R. & WILSON, E. O., 1967. — *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press ; 203 p.
- MACDONALD, G. A., ABBOTT, A. T. & PETERSON, F. L., 1990. — *Volcanoes in the Sea. The geology of Hawaii*. University of Hawaii Press, Honolulu ; 517 p.
- MACLEOD, K. G. & HUBER, B. T., 1996. — Reorganization of deep ocean circulation accompanying a late Cretaceous extinction event. *Nature*, 380 : 422-425.
- MACPHERSON, E., 1994. — Crustacea Decapoda : Studies on the genus *Munida* Leach, 1820 (Galatheidae in New caledonian and adjacent waters, with descriptions of 56 new species. In : A. CROSNIER (ed., Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 12. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, (A), 161 : 421-569.
- MAGNIER, Y., 1992. — Débats : remarques concernant les frontières maritimes entres provinces. In : ANONYME, 1992. — *Droit de l'environnement et Nouvelle-Calédonie. Revue juridique ; Rencontres du 29 juillet 1992 à l'Université française du Pacifique*, Nouméa : 79.
- MAILLET, P., & M. MONZIER, 1982. — Volcanisme et pétrologie des îles Matthew et Hunter. in : *Contribution à l'étude géodynamique du Sud-Ouest Pacifique. Trav. Doc. ORSTOM*, 147 : 187-216.
- MANNING, R. B., 1991a. — Crustacea Decapoda : *Cecidocarcinus zibrowii*, a new deep-water gall crab (Cryptochiridae) from New Caledonia. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 9. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), 152 : 515-520.
- MANNING, R. B., 1991b. — The importance of taxonomy and Museums in the 1990s. *Mem. Q. Mus.*, 31 : 205-207.
- MARAGOS, J. E., 1993. — Impact of coastal construction on coral reefs in the U. S.-affiliated Pacific Islands. *Coastal Management* 21 : 235-269.
- MARAGOS, J. E., BAINES, G. B. K. & BEVERIDGE, P. J., 1973. — Tropical Cyclone Bebe creates a new land formation on Funafuti Atoll. *Science*, 181 : 1161-1164.
- MARAGOS, J. E., PETERSON, M. N. A., ELDREDGE, L. G., BARDACH, J. E. & TAKEUCHI, H. F. (eds), 1995. — *Marine and Coastal Biodiversity in the Tropical Island Pacific Region*. Volume 1, Species systematics and information management priorities. East West Center, Honolulu ; 424 p.
- MARGULIS, L. & K. V. SCHWARTZ, 1988. — Five kingdoms. An illustrated guide to the phyla of life on earth ; second edition. W. H. FREEMAN & Co. New York ; 376 p.
- MARSH, H., 1985. — The importance of marine parks for the management of Dugongs in Australian waters. *Proc. Symp. Endangered Marine Animals and marine Parks*, 1 : 495-502.
- MARSH, H., 1988. — An ecological basis for Dugong conservation in Australia. In : AUGEE (ed.), *Marine Mammals of Australasia : Field biology and Captive Management*. Royal Zoological Society of NSW : 9-21.

- MARSHALL, B. A., 1991. — Mollusca Gastropoda : Seguenziidae from New Caledonia and the Loyalty Islands. In : A. CROSNIER & P. BOUCHET (eds), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 7. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), 150 : 41-109.
- MARSHALL, N. B., 1954. — *Aspects of deep sea biology*. Hutchinson's scientific and technical publications, London ; 380 p.
- MARSHALL, N. B., 1979. — *Developments in Deep-sea biology*. Blandford press, london ; 566 p.
- MARSILLI, L. F., Comte de, 1725. — *Histoire physique de la Mer. Ouvrage enrichi de figures dessinées d'après le naturel*. A Amsterdam, Aux Depens de la Compagnie ; 173 p., 40 planches.
- MASSEL, S. R. & DONE, T. J., 1993. — Effects of cyclone waves on massive coral assemblages on the great Barrier Reef : meteorology, hydrodynamics and demography. *Coral Reefs*, 12 : 153-166.
- MATILE, L., P. TASSY & D. GOUJET, 1987. — *Introduction à la systématique zoologique (Concepts, Principes, Méthodes)*. Biosystema 1 ; Société française de Systématique : 126 p.
- MATSUURA, K. & TYLER, J. C., 1997. — Tetraodontiform fishes, mostly from deep waters, of New Caledonia. In : SERET, B. (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 17. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 174 : 173-208.
- MAXWELL, W. G. H., 1968. — *Atlas of the Great Barrier Reef*. Elsevier Publishing Company, London ; 258 p.
- MAY, R. M., 1992. — Bottoms up for the oceans. *Nature*, 357 : 278.
- MAY, R. M., 1994. — Biological diversity : differences between land and sea. *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, B 343 : 105-111.
- MAY, R. M., LAWTON, J. H. & STORK, N. E., 1995. — Assessing extinction rates. In : LAWTON, J. H. & MAY, R. M. (eds). — *Extinctions rates*. Oxford University Press : 1-24.
- MAYR, E., 1982. — *The Growth of Biological Thought. Diversity, Evolution, and Inheritance*. The Belknap Press of Harvard University Press ; 974 p.
- MAYR, E., 1988. — *Toward a new philosophy of biology. Observations of an Evolutionist*. The Belknap Press of Harvard University Press ; 564 p.
- MAYR, E. & ASHLOCK, P. D., 1991. — *Principles of Systematics Zoology*. McGRAW-HILL, INC., New York ; 475 p.
- McROY, C. P. & HELFFERICH, C., 1980. — Applied aspects of seagrasses. In : PHILLIPS, R. C. & McROY, C. P. (eds). — *Handbook of seagrass biology - An ecosystem approach*. Garland Publications, New York : 297-342.
- McINTYRE, A. D., 1993. — Application of Large Marine Ecosystems Management to global marine pollution. In : SHERMAN, K., ALEXANDER, L. M. & GOLD, B. D. (eds). — *Large Marine Ecosystems. Stress, Mitigation and Sustainability*. AAAS Press, Washington 24-29.
- McMANUS, W., VALLEJO, B. M., MENEZ, L. A. B. & CORONADO, G. U., 1995. — ReefBase : An International Database on Coral Reefs. In : MARAGOS *et al.* (eds). *Marine /Coastal Biodiversity in the tropical island Pacific region : Species Systematics and information management priorities*. Proceed. two workshops at the East-West Center ; Honolulu : 317-326.
- MEINESZ, A. & HESSE, B., 1991. — Introduction et invasion de l'algue tropicale *Caulerpa taxifolia* en Méditerranée nord-occidentale. *Oceanologica Acta*, 14 (4) : 415-426.
- MEINESZ, A., BENICHO, L., BLACHIER, J., KOMATSU, T., LEMÉE, R., MOLENAAR, H. & MARI, X., 1995. — Variations in the structure, morphology and biomass of *Caulerpa taxifolia* in the Mediterranean sea. *Botanica Marina*, 38 : 499-508.
- MENARD, H. W., 1986. — *Islands*. Scientific American Library, New York ; 230 p.
- METIVIER, B., 1990. — Description of a new *Perotrochus* from the Coral Sea, Southwest Pacific (Gastropoda : Pleurotomariidae). *Venus (Jap. Jour. Malac.)*, 49 (1) : 1-7.
- MILLAR, R. H., 1975. — Ascidiens of the Indo-West Pacific region in the Zoological Museum of Copenhagen (Tunicata, Ascidiacea). *Steenstrupia*, 3 (20) : 205-336.
- MILNE EDWARDS, A., 1872. — Recherches sur la faune carcinologique de la Nouvelle Calédonie. *Nouv. Arch. Mus. Hist. nat., Paris*, 8 : 229-267.
- MILNE EDWARDS, A., 1873. — Recherches sur la faune carcinologique de la Nouvelle Calédonie. *Nouv. Arch. Mus. Hist. nat., Paris*, 9 : 157-332.
- MILNE EDWARDS, A., 1874. — Recherches sur la faune carcinologique de la Nouvelle Calédonie. *Nouv. Arch. Mus. Hist. nat., Paris*, 10 : 39-58.
- MISSEGUE, F. & COLLOT, J. Y., 1987. — Etude géophysique du plateau des Chesterfield (Pacifique sud-ouest), résultats préliminaires de la campagne ZOE 200 du N.O CORIOLIS. *C.r. hebd. Séanc. Acad. Sci. Paris*, (II), 304 (7) : 279-283.

- MISSEGUE, F., B. DAUDRE & COLLOT, J. Y., 1987. — *Carte bathymétrique du plateau des Chesterfield*. Paris : ORSTOM. 1 feuille.
- MLOT, C., 1995. — In Hawaii, taking inventory of a biological hot spot. *Science*, **269** : 322-323.
- MOFFITT, R. B. & POLOVINA, J. J., 1987. — Distribution and yield of the deepwater shrimp *Heterocarpus* resource in the Marianas. *Fish. Bull. U. S.* **85** (2) : 339-349.
- MONNIOT C., 1987a. — Ascidiées de Nouvelle Calédonie. I - Phlébobranches du lagon. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4)9, (A,1) : 3-31.
- MONNIOT C., 1987b. — Ascidiées de Nouvelle Calédonie. II - Les genres *Polycarpa* et *Polyandrocarpa*. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4)9, (A,2) : 275-310.
- MONNIOT C., 1987c. — Ascidiées de Nouvelle Calédonie. III - Polyclinidae du lagon. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4)9, (A,3) : 499-535.
- MONNIOT C., 1988. — Ascidiées de Nouvelle Calédonie. IV - Styelidae (suite). *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4)10, (A,2) : 163-196.
- MONNIOT C., 1989. — Ascidiées de Nouvelle Calédonie. VI. Pyuridae et Molgulidae. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4)11, (A,3) : 475-507.
- MONNIOT C., 1991a. — Ascidiées de Nouvelle Calédonie. VIII - Phlébobranches (suite). *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4)12, (A,3-4) : 491-515.
- MONNIOT C., 1991b. — Ascidiées de Nouvelle Calédonie. X - Stolidobranches (suite). *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4)13, (A,1-2) : 3-37.
- MONNIOT, F., 1988a. — Ascidiées de Nouvelle Calédonie. IV - Styelidae (suite). *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4) **10**, sect. A (2) : 163-196.
- MONNIOT F., 1988b. — Ascidiées de Nouvelle Calédonie. V - Polycitoridae du lagon. *Bull. Mus. natn. Hist. Nat., Paris*, (4)10, (A,2) : 197-235.
- MONNIOT F., 1989. — Ascidiées de Nouvelle Calédonie. VII. Les genres *Atriolum* et *Lepto-clinides* dans le lagon sud. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4)11, (A,4) : 673-691.
- MONNIOT F., 1990. — Ascidiées de Nouvelle Calédonie. IX - Le genre *Trididemnum*. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4)12, (A,3-4) : 517-529.
- MONNIOT, F., MARTOJA, R. & MONNIOT, C., 1994. — Cellular sites of iron and nickel accumulation in ascidians related to the naturally and anthropic enriched New Caledonian environment. *Ann. Inst. Océanogr.*, Paris, **70** (2) : 205-216.
- MONNIOT F. & MILLAR., R. H., 1988. — A new genus and species of an aplousobranchiate ascidian (Tunicata : Ascidiacea) from New Caledonia, of uncertain systematic position. *Indo-Malay. Zool.*, **5** : 321-327.
- MONNIOT, C. & MONNIOT, F., 1990. — Revision of the class Sorberacea (benthic tunicates) with descriptions of seven new species. *Zool. J. Linn. Soc.*, **99** : 239-290.
- MONNIOT, C. & MONNIOT, F., 1991a. — Tunicata : Peuplement d'ascidiées profondes en Nouvelle-Calédonie. Diversité des stratégies adaptatives. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 8. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris* (A), **151** : 357-448.
- MONNIOT, C. & MONNIOT, F., 1991b. — Découverte d'une nouvelle lignée évolutive chez les ascidiées de grande profondeur : une Ascidiidae carnivore. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci. Paris*, **312** (3) : 383-388.
- MONNIOT C., MONNIOT F. & LABOUE, P., 1991. — *Coral reef Ascidiens of New Caledonia*. Paris : ORSTOM. *Faune trop.*, **30** : 247 p.
- MOOSA, M. K., 1985. — Report on the CORINDON Cruises. *Mar. Res. Indonesia*, **24** : 1-6.
- MOOSA, M. K., 1991. — The Stomatopoda of New Caledonia and Chesterfield Islands. In : B. RICHER DE FORGES (ed.), Le benthos des fonds meubles des lagons de Nouvelle-Calédonie, Volume 1. *Etudes et Thèses, ORSTOM* : 149-219.
- MORAT, P., 1993. — Our knowledge of the flora of new Caledonia : endemism and diversity in relation to vegetation types and substrates. *Biodiversity Letters* **1** : 72-81.
- MORAT, P., JAFFRE, T. & VEILLON, J. M., (sous-presses). — Richesse et affinités floristiques de la Nouvelle-Calédonie : conséquences directes de son histoire géologique. *Bull. Soc. Phyto.*,
- MORGAN, J. R., 1993. — Large Marine Ecosystems of the Pacific Rim. In : SHERMAN, K., ALEXANDER, L. M. & GOLD, B. D., (eds). — *Large Marine Ecosystems. Stress, Mitigation and Sustainability*. AAAS Press, Washington 292-298.
- MORTON, B., 1987. — Recent marine introductions into Hong Kong. *Bull. Mar. Sc.*, **41** (2) : 503-513.

- MOYER, J. T., EMERSON, W. K. & ROSS, M., 1982. — Massive destruction of scleractinian corals by the muricid gastropod, *Drupella*, in Japan and the Philippines. *The Nautilus*, **96** : 69-82.
- MUNRO, J. L. 1995. — Stock assessment and biological information needs. In : DALZELL, P. & ADAMS, T.J.H. — *South Pacific Commission and Forum Fisheries Agency workshop on the management of South Pacific inshore fisheries. Integrated Coastal Fisheries Management Project. Technical Document N° 11 ; Vol. 1 : 13 p.*
- MURRAY, J. & HJORT, J., 1912. — *The depths of the ocean. A general account of the modern science of oceanography based largely on the scientific researches of the norwegian steamer MICHAEL SARS in the north Atlantic.* MacMillan and Co., Ltd., London ; 821 p.
- MYERS, A. A., 1997. — Biogeographic Barriers and the Development of Marine Biodiversity. *Est., Coast., Shelf Sc.*, **44** : 241-248.
- MYERS, N., 1988. — Threatened biotas : "Hot spots" in tropical forests. *The Environmentalist*, **8** (3) : 187-208.
- NAEEM, S., THOMPSON, L. J., LAWLER, S. P., LAWTON, J. H. & WOODFIN, R. M., 1994. — Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* **368** : 734-737.
- NAVIN, K. F. & VERON, J. E. N., 1995. — CoralBase : A Taxonomic and Biogeography information system. In : MARAGOS *et al.* (eds). *Marine /Coastal Biodiversity in the tropical island Pacific region : Species Systematics and information management priorities. Proceed. two workshops at the East-West Center ; Honolulu : 327-332.*
- NEUMANN, A. C. & MACINTYRE, I., 1985. — Reef response to sealevel rise : keep-up, catch-up, or give-up. *Proceed. 5th Int. Coral Reef Congr., Tahiti, vol. 3 : 105-110.*
- NEWMAN, W. A. & FOSTER, B. A., 1983. — The Rapanuan faunal district (Easter and Sala y Gomez) : In search of ancient archipelagos. *Bull. Mar. Sc.*, **33** (3) : 633-644.
- NG, P. K. L. & RICHER DE FORGES, B., 1996. — The Hymenosomatidae (Crustacea : Decapoda : Brachyura) of New Caledonia. *Mem. Q. Mus.* **39** (2) : 263-276.
- NIELSEN, J. G., 1997. — Deep water Ophidiiform fishes from off New Caledonia with six new species. In : SERET, B. (ed.), *Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 17. Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, **174** : 51-82.
- NGOC-HO, N., 1989. — Sur le genre *Gebiacantha* gen. nov. avec la description de cinq espèces nouvelles (Crustacea, Thalassinidea, Upogebiidae). *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4)11, (A,1) : 117-146.
- NGOC-HO, N., 1991. — Sur quelques Callianassidae et Upogebiidae de Nouvelle Calédonie (Crustacea, Thalassinidea). in : RICHER DE FORGES B. (ed.), *Le benthos des fonds meubles des lagons de Nouvelle Calédonie. Volume 1.* Paris : ORSTOM. *Etud. Thèses.* 281-311.
- NGUYEN-KHOA, S., 1993. — *Impact de la plaisance dans le "grand Nouméa" sur l'économie de la Nouvelle-Calédonie. Préliminaire à une étude halieutique, économique, sociale et environnementale.* Service de la Mer, Province Sud et Laboratoire d'étude des ressources vivantes et de l'environnement marin (L.E.R.V.E.M) ; 73 p.
- NISHIWAKI, M. & MARSH, H., 1988. — *Dugong*, Handbook of marine Mammals. Academic Press, London, **3** : 1-31.
- NORSE, E. A., 1993. — *Global Marine Biological Diversity. A strategy for building conservation into decision making.* Island Press, Washington ; 383 p.
- OKUNO, J., 1997. — Crustacea Decapoda : Review on the genus *Cinetorhynchus* Holthuis, 1995 from the Indo-West Pacific (Caridea : Rhynchocinetidae). In : B. RICHER DE FORGES (ed.), *Les fonds meubles des lagons de Nouvelle-Calédonie (Sédimentologie, Benthos).* *Etudes & Thèses*, volume 3, ORSTOM : 31-58.
- OLU, K., DUPERRET, A., SIBUET, M., FOUCHER, J.-P. & FIALA-MEDIONI, A., 1996. — Structure and distribution of cold seep communities along the Peruvian active margin : relationship to geological and fluid patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **132** : 109-125.
- ORFILA, G., 1992. — La répartition des compétences. In : ANONYME, 1993. — *Droit de l'Environnement et Nouvelle-Calédonie.* Revue Juridique, numéro hors série ; Actes des rencontres tenues le 29 juillet 1992 à l'Université française du Pacifique, Nouméa : 41-48.
- ORFILA, G., 1996. — *La mer côtière en Nouvelle-Calédonie. Etude juridique.* Collection Université, C.T.R.D.P., Nouvelle-Calédonie ; 115 p.
- PACE, N. R., 1997. — A molecular view of microbial diversity and the biosphere. *Science* **276** : 734-740.
- PAIN, S., 1996. — Treasures lost in reef madness. *New Scientist*, 17 February 1996 : 9.
- PAINE, J. R., 1991. — *IUCN Directory of Protected Areas in Oceania.* Prepared by the World Conservation Monitoring Centre. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK ; 447 p.
- PARIS, J. P., 1981. — *Géologie de la Nouvelle Calédonie : un essai de synthèse. Mémoire pour servir de notice explicative à la carte géologique de la Nouvelle Calédonie à l'échelle de 1/200 000.* Orléans : B.R.G.M, *Mém. B.R.G.M.*, **113** : 279 p.
- PARKER, T. & TUNNICLIFFE, V., 1994. — Dispersal strategies of the biota on an oceanic seamount : implications for ecology and biogeography. *Biol. Bull.* **187** : 336-345.

- PARKES, R. J., CRAGG, B. A., BALE, S. J., GETLIFF, J. M., GOODMAN, K., ROCHELLE, P. A., FRY, J. C., WEIGHTMAN, A. J. & HARVEY, S. M., 1994. — Deep bacterial biosphere in Pacific ocean sediments. *Nature*, **371** : 410-413.
- PARRISH, R. H., 1995. — Lanternfish heaven : the future of world fisheries ? NAGA, The ICLARM Quaterly, July 1995 : 7-9.
- PASCAL, F., RIO, M. & PASCAL, A., 1991. — Les sédiments actuels et récents dans le bassin des Loyauté. *Doc. Trav. IGAL, Paris*, (15) : 75-85.
- PASCAL, A., RIO, M. & VANNEY, J.-R., 1992. — Les surfaces durcies des pentes bathyales de Nouvelle-Calédonie (Pacifique du SW). Morphologies et diagenèse. *Bull. Soc. géol. France*, **163** (3) : 271-280.
- PAULAY, G., 1990. — Effects of late Cenozoic sea-level fluctuations on the bivalve faunas of tropical oceanic islands. *Paleobiology*, **16** (4) : 415-434.
- PAULAY, G., 1991. — Henderson Island : Biogeography and Evolution at the edge of the Pacific plate. In : DUDLEY, E. C. (ed.). — The unity of evolutionary biology. *Proceed. 4th Int. Cong. Systematic and Evolutionary Biology*. Vol. 1, Dioscoroides Press Portland : 304-313.
- PAULAY, G., 1994. — Biodiversity on oceanic islands : its origin and extinction. *Amer. Zool.*, **34** : 134-144.
- PAULAY, G., 1997. — Diversity and distribution of reef organisms. In : BIRKELAND, C. E. (ed.). *Life and death of coral reefs*. Chapman & Hall, London : 3-93.
- PAULIN, C. D. & ROBERTS, C. D., 1997. — Review of the morid cods (Teleostei, Paracanthopterygii, Moridae) of New Caledonia, southwest Pacific Ocean, with description of a new species of *Gadella*. In : SERET, B. (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 17. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, **174** : 17-41.
- PAULY, D. & CHRISTENSEN, V., 1995. — Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*, **374** : 255-257.
- PAWSON, D. L., 1995. — Echinoderms of the Tropical Island Pacific : status of their systematics and notes on their ecology and biogeography. In : MARAGOS *et al.* (eds). *Marine /Coastal Biodiversity in the tropical island Pacific region : Species Systematics and information management priorities*. Proceed. two workshops at the East-West Center ; Honolulu : 171-192.
- PERES, J. - M., 1961. — *Océanographie biologique et biologie marine*. Tome premier, La vie benthique. Presses Universitaires de France, Paris ; 541 p.
- PEREZ, R., 1972. — Opportunité de l'implantation de l'algue *Macrocystis pirifera* sur les côtes Bretonnes. *Science et Pêche*, **216** : 1-9.
- PERNETTA, J. C., 1993a. — *Marine protected area needs in the South Asian seas region. Volume 2 : India*. IUCN, Gland, Switzerland ; 77 p.
- PERNETTA, J. C., 1993b. — Mangrove Forests, Climate Change and sea level rise : Hydrological influences on community structure and survival, with examples from the indo-west Pacific. IUCN, Gland ; 46 p.
- PERRIER, E., 1886. — *Les explorations sous-marines*. Hachette et Cie, Paris ; 352 p.
- PETIT-MAIRE, N., 1992. — Lire l'avenir dans les archives géologiques. *La Recherche* **243** : 566-569.
- PICAUT, J., 1993. — TOGA-COARE coupled ocean-atmosphere response experiment in the western equatorial Pacific. In : HAY, J. E. & KALUWIN, C., (eds) — *Climate Change and Sea level rise in the South Pacific region*. Proceed. 2nd SPREP meeting, Nouméa, 6-10 April 1992 : 63-68.
- PICHON, M., 1995. — *Coral reef ecosystems*. Encyclopedia of environmental biology ; Academic Press. Vol. 1 : 425-443.
- PIERSON, R. & PIERSON, G., 1975. — *Porcelaines mystérieuses de Nouvelle-Calédonie*. SAMIE, S. A., Bordeaux ; 119 p.
- PIETRA, F., 1995. — Structurally similar natural products in phylogenetically distant marine organisms, and a comparison with terrestrial species. *Chemical Society Reviews*, The Royal Society of Chemistry, Cambridge : 65-71.
- PIMM, S. L., RUSSELL, G. J., GITTLEMAN, J. L. & BROOKS, T. M., 1995. — The future of Biodiversity. *Science*, **269** : 347-350.
- PISIER, G., 1979. — Notes d'histoires calédonienne. Les "petites dépendances" de la Nouvelle-Calédonie. *Bull. Soc. Et. Hist. Nouvelle Calédonie*, Nouméa, **41** : 9-32.
- PITCHER, C. R., 1993. — Spiny lobster. In : A. WRIGHT & HILL, L. (eds), *Nearshore marine resources of the South Pacific*. Institute of Pacific Studies, Suva ; Forum Fisheries Agency, Honiara ; International Centre for Ocean Development, Canada : 539-607.
- PLANES, S. & DOHERTY, P. J., 1995. — Effet des bungalow sur pilotis des hôtels en milieu corallien sur le peuplement ichtyologique. *Oceanologica Acta*, **18** (1) : 123-128.

- POLLARD, D. A. & HUTCHINGS, P. A., 1990a. — A review of exotic marine organisms introduced to the Australian region. I. Fishes. *Asian Fisheries Sciences* 3 : 205-250.
- POLLARD, D. A. & HUTCHINGS, P. A., 1990b. — A review of exotic marine organisms introduced to the Australian region. II. Invertebrates and Algae. *Asian Fisheries Sciences* 3 : 223-250.
- POMEROL, C., 1975. — *Stratigraphie et Paléogéographie - Ere mésozoïque*. DOIN éditeurs, Paris ; 383 p.
- PONDER, W. F., 1983. — A revision of the recent Xenophoridae of the world and of the Australian fossil species (Mollusca : Gastropoda). *The Australian Museum, Sydney, Memoir* 17 : 125 p.
- POORE, G. C. B., 1991. — Crustacea Isopoda : Chaetiliidae (Valvifera) from New Caledonia and the Philippines. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 9. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), 152 : 139-153.
- POORE, G. C. B., 1997. — A review of the thalassinidean families Callianideidae Kossmann, Micheleidae Sakai, and Thomassiniidae de Saint Laurent (Crustacea, Decapoda) with descriptions of fifteen new species. *Zoosystema* 19 (2-3) : 345-420.
- POORE, G. C. B. & WILSON, G. D. F., 1993. — Marine species richness. *Nature*, 361 : 597-598.
- POORE, G. C. B., JUST, J. & COHEN, F., 1994. — Composition and diversity of Crustacea Isopoda of the southeastern Australian continental slope. *Deep-Sea Res.*, 41 (4) : 677-693.
- POPPER, K., 1978. — *La connaissance objective*. Editions complexe, Bruxelles.
- POR, F. D., 1978. — *Lessepsian Migration*. Ecological Studies 23. Springer-Verlag, Berlin ; 228 p.
- POR, F. D., 1990. — Lessepsian migration. An appraisal and new data. In : GODEAUX, J. & TOULEMONT, A. (eds). — A propos des migrations lessepsiennes. *Bull. Inst. Océanogr.*, Monaco ; Numéro spécial 7 : 1-9.
- POUPIN, J., 1994. — The genus *Justitia* Holthuis, 1946, with the description of *J. chani* and *J. vericeli* spp. nov. (Crustacea: Decapoda: Palinuridea). *Journal of Taiwan Museum* 47 (1) : 37-56.
- POUPIN, J., 1996. — Crustacea Decapoda of French Polynesia (Astacidea, Palinuridea, Anomura, Brachyura). *Atoll Res. Bull.*, 442 : 1-114.
- POUTIERS, J.-M. & BERNARD, F. R., 1995. — Carnivorous bivalve molluscs (Anomalodesmata) from the tropical western Pacific Ocean, with a proposed classification and a catalogue of Recent species. In : P. BOUCHET (ed.), Résultats des campagnes MUSORSTOM, Volume 14. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 164 :
- POUTIERS, J.-M., 1982. — *Euairoa trapeza*, espèce nouvelle de Bivalves Verticordiidae de Nouvelle-Calédonie. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4), 4, sect.A, (3-4) : 331-335.
- PRESCOTT, J., 1980. — *A handbook for lobster fishermen of the tropical Pacific Islands*. South Pacific Commission, Nouméa, New Caledonia ; 20 p.
- PRITCHARD, P. C. H., 1987. — Sea turtles in New Caledonia. (unpublished report) ; 27 p.
- PYLE, R. L., 1995. — Systematics of reef and shore fishes. Congress on Marine/Coastal Biodiversity in the tropical island Pacific region, Honolulu 2-4 november 1994 ; 12 p.
- RALSTON, S., 1982. — Influence of hook size in the Hawaiian deep-sea handline fishery. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39 : 1297-1302.
- RANCUREL, 1973. — Compte rendu d'un voyage aux îles Chesterfield. *Nature Calédonienne*, 3 : 14-21.
- RANCUREL, P., 1974. — *Compte rendu d'une visite à l'île Surprise le 31 janvier 1974*. Document ORSTOM : Noumea ; 5 p.
- RANCUREL, P., 1990a. — Collecte de Nautilés (Cephalopoda, Nautiloidea) aux îles Chesterfield, Pacifique sud. Extension de l'aire de distribution de *Nautilus macromphalus* Sowerby. *Haliotis*, 10 : 63-70.
- RANCUREL, P., 1990b. — Contribution à la connaissance de la répartition bathymétrique de *Nautilus macromphalus* Sowerby. *Haliotis*, 10 : 71-81.
- RANDALL, J. E., 1987. — Introductions of marine fishes to the Hawaiian islands. *Bull. Mar. Sc.*, 41 (2) : 490-502.
- RANDALL, J. E., 1995. — Zoogeographic Analysis of the inshore Hawaiian fish fauna. In : MARAGOS, J. E., PETERSON, M. N. A., ELDREDGE, L. G., BARDACH, J. E. & TAKEUCHI, H. F., (eds). — Marine and Coastal Biodiversity in the Tropical Island Pacific Region. Volume I. Species Systematics and Information Management Priorities ; East-West Center, Honolulu : 193-203.
- RANDALL, J. E., ALLEN, G. R. & STEENE, R. C., 1990. — *The complete divers' & fishermen's guide to Fishes of the Great Barrier Reef and Coral Sea*. Crawford House Press, Bathurst, Australia ; 507 p.
- RAO, M. V. L. & NEWMAN, W. A., 1972. — Thoracic Cirripedia from guyots of the mid-Pacific mountains. *San Diego Soc. Nat. Hist., Trans.* 17 (6) : 69-94.

- RAUP, D. M., 1993. — *De l'extinction des espèces. Sur les causes de la disparition des dinosaures et de quelques milliards d'autres.* Gallimard, Paris ; 233 p.
- REAKA-KUDLA, M. L., 1997. — *The global biodiversity of coral reefs : a comparaison with rain forests.* In : REAKA-KUDLA, M. L., WILSON, D. E. & WILSON, E. O. (eds). — *Biodiversity II. Understanding and protecting our biological resources.* Joseph Henry Press, Washington, D. C. : 83-108.
- RECY, J., 1982. — Présentation de l'étude de la mise en place des péridotites de Nouvelle Calédonie dans leur contexte général. In : *Contribution à l'étude géodynamique du Sud-Ouest Pacifique. Trav. Doc. ORSTOM*, 147 : 481-484.
- REVERDIN, G., FRANKIGNOUL, C., KESTENARE, E. & McPHADEN, M. J., 1994. — Seasonal variability in the surface currents of the equatorial Pacific. *J. Geopl. Res.*, 99 (C10) : 20323-20344.
- REX, M. A., 1997. — An oblique slant on deep-sea biodiversity. *Nature*, 385 : 577-578.
- REX, M. A., STUART, C. T., HESSLER, R. R., ALLEN, J. A., SANDERS, H. L. & WILSON, G. D. F., 1993. — Global-scale latitudinal patterns of species diversity in the deep-sea benthos. *Nature*, 365 : 636-639.
- RICCARDIS, F. DE, GIOVANNITTI, B., IORIZZI, M., MINALE, L., RICCIO, R., DEBITUS, C. & RICHER DE FORGES, B., 1991a. — Sterol composition of the "living fossil" crinoid *Gymnocrinus richeri*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 100 B (3) : 647-651.
- RICCARDIS, F., DE, GIOVANNITTI, B., IORIZZI, M., MINALE, L., RICCIO, R., RICHER DE FORGES, B., & DEBITUS, C., 1991b. — The Gymnochromes novel marine brominated phenanthroperylenequinone pigments from the stalked crinoid *Gymnocrinus richeri*. *J. Organ. Chem.*, 56 : 6781-6787.
- RICHARD, G., 1985. — Faune et Flore. Premier abrégé des organismes marins de Polynésie française. *Proceed. 5th int. Coral reef cong. Tahiti, 27 may- 1 june 1985.* Vol. 1 : 379-518.
- RICHARD, G., BAGNIS, R., BENNETT, J., DENIZOT, M., GALZIN, R., RICARD, M. & SALVAT, B., 1982. — *Wallis et Futuna. Etude de l'environnement lagunaire et récifal des îles Wallis et Futuna (Polynésie occidentale). Rapport définitif.* Rapport Ecole Pratique des Hautes Etudes, RL9 ; 101 p.
- RICHER DE FORGES, B., 1983. — Description d'une espèce nouvelle de Leucosiidae du Pacifique, *Randallia serenei* sp. nov. (Crustacea, Decapoda, Brachyura). *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (4), 5, sect. A, (2) : 633-640.
- RICHER DE FORGES, B., 1986. — La campagne MUSORSTOM IV en Nouvelle Calédonie ; mission du N. O. "VAUBAN", septembre-octobre 1985. *Rapp. Sci. Tech.* 38, ORSTOM : Nouméa, 1986 ; 31 p.
- RICHER DE FORGES, B., 1987. — Découverte d'un "fossile vivant" en Nouvelle-Calédonie. *ORSTOM-Actualités*, (16) : 14-15.
- RICHER DE FORGES, B., 1988. — La faune de profondeur en Nouvelle Calédonie. *ORSTOM-Actualités*, 19, 1988 : 7-10.
- RICHER DE FORGES, B., 1990. — Les campagnes d'exploration de la faune bathyale dans la zone économique de la Nouvelle-Calédonie. Explorations for bathyal fauna in the New Caledonian economic zone. In : A. CROSNIER (ed.), *Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 6. Mém. Mus. natn. Hist. nat., (A)*, 145 : 9-54.
- RICHER DE FORGES, B., 1991a. — A new species of *Sphenocarcinus* A. Milne Edwards, 1875 from Tasmanid guyots, *S. lowryi* sp. nov. (Crustacea, Decapoda, Brachyura) with Notes on the Taxonomic Status of the Genus. *Rec. Aust. Mus.*, 44 : 1-5.
- RICHER DE FORGES, B., 1991b. les fonds meubles des lagons de Nouvelle Calédonie : généralités et échantillonnages par dragages. in : RICHER DE FORGES, B. (ed.), *Le benthos des fonds meubles des lagons de Nouvelle Calédonie. Volume 1.* Paris : ORSTOM. *Etud. Thèses.* 8-148.
- RICHER DE FORGES, B., 1993a. — Campagnes d'exploration de la faune bathyale faites depuis mai 1989 dans la zone économique de la Nouvelle-Calédonie. In : A. CROSNIER (ed.), *Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 10. Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 156 : 27-32.
- RICHER DE FORGES, B., 1993b. — Deep Sea Crabs of the Tasman Seamounts (Crustacea: Decapoda: Brachyura). *Rec. Aust. Mus.*, 45 : 11-24.
- RICHER DE FORGES, B., 1993c. — Liste bibliographique des travaux issus des campagnes d'exploration du benthos bathyal et abyssal en Nouvelle-Calédonie. In : A. CROSNIER (ed.), *Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 10. Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 156 : 475-491.
- RICHER DE FORGES, B., 1995 — Nouvelles récoltes et nouvelles espèces de Majidae de profondeur du genre *Oxypleurodon* Miers, 1886. *Crustaceana*, 68 (1) : 43-60.
- RICHER DE FORGES, B., 1997. — The deep-sea biodiversity in New Caledonia. VIII Pacific science inter-congress : Islands in the Pacific Century. Suva, 13-19 July 1997 (Abstr.).
- RICHER DE FORGES, B. & BARGIBANT, G., 1985. — Le lagon nord de la Nouvelle-Calédonie et les atolls de Huon et Surprise. *Rapp. Sci. Tech.*, ORSTOM : Nouméa, 37 ; 23 p.

- RICHER DE FORGES, B., BARGIBANT, G., MENOUE, J.L. & GARRIGUE, C., 1987b. — Le lagon sud-ouest de Nouvelle Calédonie. Observations préalables à la cartographie bionomique des fonds meubles. Nouméa : ORSTOM. *Rapp. sci. tech. : Sci. Mer : Biol. mar.*, 45 : 110 p., multigr.
- RICHER DE FORGES, B., CHEVILLON, C., LABOUE, P., BARGIBANT, G., MENOUE, J.-L. & TIRARD, P., 1988a. — La campagne CORAIL 2 sur le plateau des îles Chesterfield (N.O. *Coriolis* et N.O. *Alis*, 18 juillet au 6 août 1988). Nouméa : ORSTOM. *Rapp. sci. tech. : Sci. Mer : Biol. mar.*, 50 : 68 p., multigr.
- RICHER DE FORGES, B. & CHEVILLON, C. 1996. — Les campagnes d'échantillonnage du benthos bathyal en Nouvelle-Calédonie (BATHUS 1-4 et HALIPRO 1 à bord du N.O. "Alis"). In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des campagnes MUSORSTOM, Volume 15. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 168 : 33-53.
- RICHER DE FORGES, B. & ESTIVAL, J.C., 1985. — Xenophoridae de Nouvelle Calédonie et des îles Chesterfield. *Rossiniana*, 28 : 19-22.
- RICHER DE FORGES, B. & ESTIVAL, J.C., 1986. — Les Conidae récoltés par dragage dans les eaux néo-calédoniennes = The Conidae dredged in neo-caledonian waters. *Rossiniana*, 32 : 14-18.
- RICHER DE FORGES, B., FROMAGET, M. & THOMASSIN, B., 1989. — *Catalogue bibliographique indexé du milieu marin de Nouvelle-Calédonie / Bibliographic catalogue with index of work on the marine environment of New Caledonia*. Edition 1989 ; Nouméa : ORSTOM. *Sci. Mer* ; 235 p.
- RICHER DE FORGES, B. & GARRIGUE, C., 1997. — First observations of a major coral bleaching in New Caledonia. Marine Benthic Habitat and their living resources : Monitoring, Management & applications to Pacific island nations. Nouméa, 10-16 November 1997.(Abstr.)
- RICHER DE FORGES, B. & GRANDPERRIN, R., 1989a. — Plongées en submersible dans les eaux néo-calédoniennes. La campagne "CALSUB" à bord du "CYANA". *ORSTOM-Actualités*, (26) : 8-10.
- RICHER DE FORGES, B., GRANDPERRIN, R. & BUJAN, S., 1997. — The vulnerability of the biodiversity of the Norfolk Ridge. Marine Benthic Habitat and their living resources : Monitoring, Management & applications to Pacific island nations. Nouméa, 10-16 November 1997(Abstr.).
- RICHER DE FORGES, B. & GRANDPERRIN, R. & LABOUE, P., 1987a. — La campagne CHALCAL II sur les guyots de la ride de NORFOLK (N. O. "CORIOLIS" 26 octobre-1er novembre 1986). *Rapports scientifiques et techniques, Sciences de la Mer, Biologie marine*, ORSTOM Nouméa, (42), 41 p.
- RICHER DE FORGES, B. & GUINOT, D., 1990. — A new *Cyrtomaia*, *C. griffini*, from Australia (Crustacea : Decapoda : Brachyura). *Mem. Q. Mus.*, 28 (2) : 523-530.
- RICHER DE FORGES, B., GUINOT, D., JAMIÉSON, B. G. M., & TUDGE, C. C., 1997. — Ultrastructure of the spermatozoa of Hymenosomatidae (Crustacea : Brachyura) and relationships of the family. *Mar. Biol.*, 130 :
- RICHER DE FORGES, B. & LABOUE, P., 1986. — Le volcan sous-marin Mac Donald (Archipel des îles Australes). Nouvelles observations biologiques et géomorphologiques. *Notes et documents* 29, ORSTOM : Tahiti ; 31 p.
- RICHER DE FORGES, B. & LABOUE, P., (in prép.). — La campagne MUSORSTOM 9 aux îles Marquises (Polynésie française) (N.O. "ALIS" 18 août-13 septembre 1997. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des campagnes MUSORSTOM, Volume 21. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*
- RICHER DE FORGES, B. & LABOUE, P., 1989. — La campagne MUSORSTOM VI sur la ride des îles Loyauté (N.O. "ALIS", du 12 au 26 février 1989). *Rapports scientifiques et techniques, Sciences de la Mer, Biologie marine*, ORSTOM Nouméa, (51), 38 p.
- RICHER DE FORGES, B. & LABOUE, P., 1996. — Langoustes, langoustines et cigales de mer de Nouvelle-Calédonie. In : RICHER DE FORGES, B. (ed.), Les fonds meubles des lagons de Nouvelle-Calédonie (Sédimentologie, benthos). *Etudes & Thèses*, Volume 2, ORSTOM : Paris : 45-82.
- RICHER DE FORGES, B., LABOUE, P. & MENOUE, J.-L., 1986. — La campagne MUSORSTOM V aux îles Chesterfield N. O. "CORIOLIS" (5-24 octobre 1986). *Rapports scientifiques et techniques, Sciences de la Mer, Biologie marine*, ORSTOM Nouméa, (41), 31 p.
- RICHER DE FORGES, B., MENOUE J.-L., 1988. — The echinoderms of the soft bottoms of the SW lagoon of New Caledonia. *Proc. 6th int. Coral Reef Symp., Townsville, 8-12 Aug. 1988, Australia*. Vol. 2 : 31-35.
- RICHER DE FORGES, B. & MENOUE, J.-L., 1993. — La campagne MUSORSTOM 7 dans la zone économique des îles Wallis et Futuna. Compte rendu et liste des stations. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 10. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 156 : 9-25.
- RICHER DE FORGES, B., MENOUE, J.-L. & FALIEUX, E., 1996. — La campagne MUSORSTOM 8 dans l'archipel de Vanuatu. Compte rendu et liste des stations. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des campagnes MUSORSTOM, Volume 15. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, 168 : 9-32.
- RICHER DE FORGES, B. & MOOSA, M. K., 1991. — Distribution of stomatopoda Crustacea in New Caledonian lagoons, relationships with sediments. *The Raffles Bull. Zool.*, 40 (2) : 149-162.
- RICHER DE FORGES, B., PIANET, R., 1984. — Résultats préliminaires de la campagne CHALCAL à bord du N.O. *Coriolis* (12-31 juillet 1984). *Rapp. Sci. Tech. Cent. Nouméa (Océanogr.) ORSTOM*, 32 : 28 p., multigr.

- RICHER DE FORGES, B., A. TILLIER & V. HEROS, 1988b. — Distribution des Mollusques Strombidae dans le lagon S.O. de la Nouvelle Calédonie / Distribution of Strombidae Molluscs in the S.W. lagoon of New Caledonia. *Rossiniana*, **40** : 3-9.
- RIDDLE, M. J., 1988. — Cyclone and bioturbation effects on sediments from coral reef lagoons. *Est. Coast. Shelf Sci.*, **27** : 687-695.
- RIGBY, S., 1993. — Graptolites come to life. *Nature*, **362** : 209-210.
- RIGOLOTT, P., 1988. — Prolongement méridional des grandes structures géologiques de Nouvelle-Calédonie et découverte de monts sous-marins interprétés comme un jalon dans un nouvel alignement de Hot-spot. *C. r. hebd. Acad., Sci., Paris*, (II) **307** : 965-972.
- RIO, M., ROUX, M., GUERIN, H., BOUCHET, P., BOURSEAU, J.-P., GAILLARD, C., GRANDPERRIN, R., GUILLE, A., LAURIN, B., MONNIOT, C., RICHER DE FORGES, B., SEGONZAC, M., VACELET, J. & ZIBROWIUS, H., 1991. — Le substrat géologique et les processus sédimentaires sur les pentes bathyales observées lors de la campagne CALSUB. In : LAMBERT, B. & M. ROUX (eds). — L'environnement carbonaté bathyal en Nouvelle-Calédonie (Programme envimarges). *Doc. et Trav. IGAL, Paris*, (15) : 57-73.
- RIVATON J., 1989. Premières observations sur la faune ichtyologique des îles Chesterfield (Mer du Corail). *Cybium*, **13** (2) : 139-164.
- RIVATON J., FOURMANOIR P., BOURRET P. & KULBICKI, M., 1990. — Catalogue des poissons de Nouvelle Calédonie = Checklist of Fishes from New Caledonia. Nouméa : ORSTOM. *Sci. Mer : Biol. mar.*, 170 p., multigr. (rapport provisoire)
- RIVATON, J., & RICHER de FORGES, B., 1990. — Les poissons recoltés par dragages dans les lagons de Nouvelle-Calédonie. Nouméa : ORSTOM, *Rapp. sci. tech. Sci. Mer, Biol. mar.*, **55** ; 50 p.
- ROBERTS, C. M. & HAWKINS, J. P., 1997. — How small can a marine reserve be and still be effective ? *Coral Reefs* **16** : 150.
- ROBERTS, C. D. & PAULIN, C. D., 1997. — First record of the Eucla cod, *Euclichthys polynemus* McCulloch, (Teleostei, Paracanthopterygii, Euclichthyidae) from New Caledonia, southwest Pacific Ocean, with notes on morphological characters. In : SERET, B. (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 17. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, **174** : 43-50.
- ROBERTS, C. D. & STEWART, A. L., 1997. — Gemfishes (Scombroidei, Gempylidae, *Rexea*) of New Caledonia, southwest Pacific Ocean, with description of a new species. In : SERET, B. (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 17. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, **174** : 125-141.
- RÖCKEL, D., RICHARD, G. & MOOLENBEEK, R. G., 1995. — Deep-water Cones (Gastropoda : Conidae) from the New Caledonia region. In : P. BOUCHET (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 14. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, **167** : 557-594.
- ROGERS, C. S., 1985. — Degradation of Caribbean and western Atlantic coral reefs and decline of associated fisheries. *Proceed. 5th Int. Coral Reef Congr.*, Tahiti, vol. **6** : 491-496.
- ROGERS, C. S., 1990. — Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **62** : 185-202.
- ROSEN, B. R., 1988a. — From fossils to earth historical biogeography. In : MYERS, A. A. & GILLER, P. S. (eds). *Analytical Biogeography. An integrated approach to the study of animal and plant distributions*. Chapman and Hall : 437-481.
- ROSEN, B. R., 1988b. — Progress, problems and patterns in the biogeography of reef corals and other tropical marine organisms. *Helg. Meeresunters.*, **42** : 269-301.
- ROSENZWEIG, M. L., 1996. — *Species diversity in space and time*. Cambridge University Press ; 436 p.
- ROSEWATER, J., 1965. — The family Tridacnidae in the Indo-Pacific. *Indo-Pacifica Mollusca* **1** : 347-396.
- ROSS, A. & NEWMAN, W. A., 1995. — A coral-eating barnacle, revisited (Cirripedia, Pyrgomatidae). *Contributions to Zoology*, **65** (3) : 129-175.
- ROUGERIE, F., 1980. — Refroidissement hivernal et anomalies des Cypraeidae (porcelaines) du lagon de Nouvelle-Calédonie. *Rossiniana*, **9** : 3-8.
- ROUGERIE, F., 1986. — Le lagon sud-ouest de la Nouvelle Calédonie : spécificité hydrologique, dynamique et productivité. Paris : ORSTOM. *Etudes et Thèses* ; 231 p.
- ROUGERIE, F., SALVAT, B. & TATARATA-COURAUD, M., 1992. — La "Mort Blanche" des coraux. *La Recherche*, **245** (23) : 826-834.
- ROUX, M., 1988 — Les lys de mer, témoins de l'Evolution. *Pour la Science*, Avril 1988 : 78-88.
- ROUX, M., 1991. — La Nouvelle-Calédonie et ses alentours. Cadre géologique et océanographique du programme ENVIMARGES et de la campagne CALSUB. *Doc. Trav. IGAL, Paris*, **15** : 22-36.

- ROUX, M., 1994. — The CALSUB cruise on the bathyal slopes off New Caledonia. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 12. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, **161** : 9-47.
- ROUX, M., BOUCHET, P., BOURSEAU, J.-P., GAILLARD, C., GRANDPERRIN, R., GUILLE, A., LAURIN, B., MONNIOT, C., RICHER DE FORGES, B., RIO, M., SEGONZAC, M., VACELET, J. & ZIBROWIUS, H., 1991a. — L'environnement bathyal au large de la Nouvelle-Calédonie : résultats préliminaires de la campagne CALSUB et conséquences paléocéologiques. *Bull. Soc. géol. Fr.*, **162** (4) : 675-685.
- ROUX, M., BOUCHET, P., BOURSEAU, J.-P., GAILLARD, C., GRANDPERRIN, R., GUILLE, A., MONNIOT, C., LAURIN, B., RICHER DE FORGES, B., RIO, M., SEGONZAC, M., VACELET, J., & ZIBROWIUS, H., 1991b. — L'étagement du benthos bathyal observé à l'aide de la soucoupe CYANA. *Doc. et Trav. IGAL*, **15** : 151-165.
- ROUX, S., (non publié). — Rapport sur la gestion des eaux pluviales et des sources de pollutions urbaines liées à l'agglomération de Nouméa. ORSTOM : Nouméa. Atelier de géographie ; 60 p.
- RUDMANN, W. B. & LABOUE, P., (en préparation). — Guide des mollusques nudibranches de Nouvelle-Calédonie. *Faune Tropicale*, ORSTOM : Paris, x p.
- RUSS, G. R. & ALCALA, A. C., 1996. — Do marine reserves export adult fish biomass ? Evidence from Apo Island, central Philippines. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **132** : 1-9.
- SADOURNY, R., 1992. — L'homme modifie-t-il le climat ? *La Recherche* **243** : 522-531.
- SAILA, S. B., KOCIC, V. Lj. & McMANUS, J. W., 1993. — Modelling the effects of destructive fishing practices on tropical coral reefs. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **94** : 51-60.
- SAINT LAURENT, M. DE & MACPHERSON, E., 1990. — Crustacea Decapoda : Le genre *Eumunida* Smith, 1883 (Chirostylidae) dans les eaux néo-calédoniennes. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 6. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, Paris, (A), **145** : 227-288.
- SAKAI, T., 1976. — Crabs of Japan and the Adjacent Seas. Tokyo, Kodansha Ltd, 3 vol. : I-XXIX=1-773, fig. 1-379 (en anglais) ; 1-461 (en japonais) ; 1-16, pl. 1-251 (planches).
- SALVAT, B., 1964. — Prospections faunistiques en Nouvelle Calédonie dans le cadre de la mission d'études des récifs coralliens. *Cah. Pacif.*, **6** : 77-119.
- SALVAT, B., 1965. — Etude préliminaire de quelques fonds meubles du lagon calédonien (additif). *Cah. Pac.*, **7** : 101-106.
- SALVAT, B., 1987. — Dredging in coral reefs. *Human impacts on coral reefs : facts and recommendations* : 165-184.
- SANDERS, H. L. & HESSLER, R. R., 1969. — Ecology of the Deep-Sea Benthos. *Science* **163** : 1419- 1424.
- SAPP, J., 1996. — *Acanthaster* plague : real or social constructs ? *8th Coral Reef Symposium*, June 1996, Panama.
- SARANO, F. & PICHON, M., 1988. — Morphology and ecology of the deep fore reef slope at Osprey reef, (Coral Sea). *Proceed. sixth Int. Coral Reef Symp.*, Townsville, 8th-12th August 1988, vol. **3** : 607-611.
- SCARABINO, V., 1995. — Scaphopoda of the tropical Pacific and Indian Oceans, with description of 3 new genera and 42 new species. In : P. BOUCHET (ed.), Résultats des campagnes MUSORSTOM, Volume 14. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, **164** :
- SHELTEMA, R. S. & WILLIAMS, I. P., 1983. — Long-distance dispersal of planktonic larvae and the biogeography and evolution of some Polynesian and western Pacific mollusks. *Bull. Mar. Sci.* **33** : 545-565.
- SCHILLER, C. B., FIELDER, D. R., BROWN, I. W. & OBED, A., 1991. — Reproduction, early life-history and recruitment. In : BROWN, I. W. & FIRLDER, D. R., (eds). — The coconut crab : Aspects of *Birgus latro* Biology and Ecology in Vanuatu. *ACIAR Monograph* **8** : 13-35.
- SCHOENER, A., 1988. — Experimental Island Biogeography. In : MYERS, A. A. & GILLER, P. S. (eds) . — *Analytical Biogeography. An integrated approach to the study of animal and plant distribution*. Chapman and Hall, London : 483-512.
- SCHUHMACHER, H., & H. ZIBROWIUS, 1985. — What is hermatypic ? A redefinition of ecological groups in corals and other organisms. *Coral Reefs*, **4** (1) : 1-9.
- SCOFFIN, T. P., 1993. — The geological effects of hurricanes on coral reefs and the interpretation of storm deposits. *Coral Reefs*, **12** : 203-221.
- SCOTT, G. A. J., & G. M. ROTONDO, 1983. — A model for the development of types of atolls and volcanic islands on the pacific lithospheric plate. *Atoll Res. Bull.*, **260** : 1-33.
- SEMAH, F., SEMAH, A. -M. & FORESTIER, H., 1995. — Nouvelles données sur le peuplement ancien de la Nouvelle-Calédonie : la vallée de la Koumac (Grande-Terre). *C. R. hebd. Acad. Sci. Paris*, **320**, sér. Ila : 539-545.
- SEPKOSKI, J. J., 1992. — Phylogenetic and ecologic patterns in the Phanerozoic history of marine biodiversity. In : ELDREDGE, N. (ed.), Systematics, ecology, and the biodiversity crisis . Columbia University Press, New York : 77-100.

- SEPKOSKI, J. J., 1993. — Ten years in the library : New data confirm paleontological patterns. *Paleobiology*, **19** : 43-51.
- SÉRET, B., 1987. — Note sur une faune à *Procarcharodon megalodon* (Agassiz, 1835) en Nouvelle-Calédonie (Pisces, Chondrichtyes, Lamnidae). *Cybiun*, **11** (4) : 389-394.
- SERET, B., 1995. — *Sharks : a valuable resource, overexploited ?* Com. Internat. Cons. Thonidés Atl. (ICCAT). SCRS/95/53 ; 4 p.
- SERET, B., 1997. — Poissons de profondeur de Nouvelle-Calédonie : apports des campagnes MUSORSTOM. *Deep water fishes of New Caledonia : contributions of the MUSORSTOM cruises*. In : SERET, B. (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 17. *Mém. Mus. natn. Hist. nat.*, **174** : 9-16.
- SERET, B., GRANDPERRIN, R. & RIVATON, J., 1997. — Poissons de profondeur et ressources halieutiques de la zone économique de la Nouvelle-Calédonie. *Cybiun* **21** (1) : 99-106.
- SEWELL, S., 1935. — Introduction and list of stations. In : *The John MURRAY Expedition, 1933-34. Scientific Reports. Volume I, Introduction and Topography* : 1-41.
- SHAFFER, C. L., 1990. — *Nature Reserves. Island Theory and Conservation Practice*. Smithsonian Institution Press. Washington ; 189 p.
- SHAPIRO, R., 1994. — *L'origine de la vie. Le sceptique et le gourou*. Flammarion, Paris ; 426 p.
- SHERMAN, K., ALEXANDER, L. M. & GOLD, B. D., 1993. — *Large Marine Ecosystems. Stress, Mitigation and Sustainability*. AAAS Press, Washington ; 376.
- SIEG, J. & ZIBROWIUS, H., 1988. — Association of a tube inhabiting tanaidacean, *Bifida scleractinicola* gen. nov., sp. nov., with bathyal scleractinians off New Caledonia (Crustacea Tanaidacea - Cnidaria Scleractinia). *Mésogée*, **48** : 189-199.
- SINTES, R., 1991. — Chesterfield, haut lieu de ponte. Les Nouvelles calédoniennes, N° , 16/02/91 : 24-25, 30.
- SLATER, R. A., & R. H. GOODWIN, 1973. — Tasman sea guyots. *Mar. geol.*, **14** : 81-99.
- SLOSS, P. W., 1994. — *Surface of the Earth - Computer-generated image of color-shades relief*. 1/40.10⁶ at equator. NOAA/NGDC.
- SMIRNOV, A., 1997. — New apodid holothurians (Holothuroidea, Apodida) from the New Caledonian continental slope collected during "BIOGEOCAL" expedition 1987. *Zoosystema* **19** (1) : 15-26.
- SMITH, S., V., 1978. — Coral reef area and contributions of reefs to processes and resource of the world's oceans. *Nature* **273** (5659) : 225.
- SMITH, A., 1996. — *The live reef fish trade and the implications for the Western Pacific*. Twenty-sixth regional technical meeting on fisheries, Noumea, New Caledonia, 5-9 August 1996 ; Information paper 9 ; 4 p.
- SMITH, C. R., 1985. — Food for the deep sea : utilization, dispersal and flux of nekton falls at the Santa Catalina Basin floor. *Deep Sea Res.*, **32** : 417-442.
- SMITH, C. R., 1992. — Whales Falls. Chemosynthesis on the Deep Seafloor. *Oceanus*, **35** (3) : 74-78.
- SMITH, C. R., KUKERT, H., WHEATCROFT, R. A., JUMARS, P. A. & DEMING, J. W., 1989. — Vent fauna on whale remains. *Nature*, **341** (6237) : 27-28.
- SMITH, F. D. M., MAY, R. M., PELLEW, R., JOHNSON, T. H. & WALTER, K. S., 1993a. — Estimating extinction rates. *Nature*, **364** : 494-496.
- SMITH, F. D. M., MAY, R. M., PELLEW, R., JOHNSON, T. H. & WALTER, K. S., 1993b. — How much do we know about the current extinction rate ? *Tree* **8** (10) : 375-378.
- SMITH, S. V., CHAVE, K. E. & KAM, D. T. O., 1973. — Atlas of Kaneohe Bay : a reef ecosystem under stress. *The University of Hawaii Sea Grant Program* ; 128 p.
- SNELGROVE, P. V. R. & GRASSLE, J. F., 1996. — The Deep Sea : Desert AND Rainforest. Debunking the desert analogy. *Oceanus*, **38** (2) : 25-29.
- SOULE, M. E., 1991. — Conservation : Tactics for a constant crisis. *Science*, **253** : 744-750.
- SPALDING, M. D., 1995. — The World Conservation Monitoring centre handling Global Biodiversity data. In : MARAGOS *et al.* (eds). *Marine /Coastal Biodiversity in the tropical island Pacific region : Species Systematics and information management priorities*. Proceed. two workshops at the East-West Center ; Honolulu : 291-301.
- SPIGHT, T. M., 1977. — Diversity of shallow-water gastropod communities on temperate and tropical beaches. *The Am. Nat.*, **111** (982) : 1077-1097.
- SPIRIDONOV, V. A., 1996. — Discovering high diversity of the tropical bathyal fauna. *Arthropoda Selecta* **5** (1/2) : 154-160.

- SPRINGER, V. G., 1982. — Pacific Plate Biogeography, with special reference to shorefishes. *Smithsonian Contrib. Zool.* 367 ; 182 p.
- SPRINGER, V. G. & WILLIAMS, J. T., 1990. — Widely distributed Pacific plate endemics and lowered sea-level. *Bull. Mar. Sc.* 47 (3) : 631-640.
- SQUIRES, R. L., GOEDERT, J. L. & BARNES, L. G., 1991. — Whale carcasses. *Nature*, 349 : 574.
- STAFFORD-DEITSCH, J., 1996. — *Mangrove. The forgotten habitat.* Immel Publishing ; 277 p.
- STEVENS, G. R., 1977. — *Mesozoic Biogeography of the South-West Pacific and its relationship to plate tectonics.* Internatnional Symposium on Geodynamics in South-West Pacific, Noumea (New Caledonia), 27 August- 2 September 1976. Editions Technip, Paris : 309-326.
- STEVENS, G. R., 1980. — *New Zealand adrift. The theory of continental drift in a New Zealand setting.* Ed. A. H. et A. W. Reed Ltd. ; 442 p.
- STEVENS, J. D., 1992. — Blue and Mako shark by-catch in the Japanese longline fishery off South-eastern Australia. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 43 : 227-236.
- STOCK, J. H., 1991. — Deep-water Pycnogonida from the surroundings of New Caledonia. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 8. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), 151 : 125-212.
- STOCKTON, W. L. & DELACA, T. E., 1982. — Food falls in the deep-sea : occurrence, quality and significance. *Deep Sea Res.* 29 (2A) : 157-169.
- SUTTON, M., 1996. — A new paradigm for managing marine fisheries in the next millennium. In : Symposium de Vancouver, 20-24 février 1996, "Reinventing fisheries management" ; (abstract).
- SYLVESTRE, J.-P., 1983. — La fascinante histoire de la Rhytine de Steller. *Amazonie*, 2 : 4-8.
- SYLVESTRE J. P., RICHER DE FORGES B., 1985. Dugong (*Dugong dugong*) in New Caledonia. *4th int. theriol. Congr., Edmonton, 13-20 Aug. 1985.* (Abstr.)
- TAISNE, B., 1965. — Organisation et hydrographie. *Expéd. fr. sur les récifs coralliens de la Nouvelle Calédonie.* Ed. Singer-Polignac, Paris, 1 : 51-82.
- TAN GECK SIEN, C. & RICHER DE FORGES, B., 1993. — On the systematics and ecology of two mimetic crabs belonging to the family Leucosiidae (Crustacea, Decapoda, Brachyura). *The Raffles Bulletin of zoology.* 41 (1) : 119-132.
- TANG, Q. & SHERMAN, K., 1995. — *The Large Marine Ecosystems of the Pacific rim.* A report of a Symposium held in Qingdao, People's Republic of China, 8-11 October 1994. IUCN, Gland ; 168 p.
- TESTAU, J. L., & F. CONAND, 1983. — *Estimations des surfaces des différentes zones des lagons de Nouvelle Calédonie.* Nouméa : ORSTOM ; 5 p.
- TEULIERES-PRESTON, M.-H., 1994. — *Le droit de la mer des pêcheurs kanaks : droit de propriété et droits d'usage.* Rapport CORDET ; 39 p.
- THOLLOT P., 1989. — Les poissons de la mangrove de Nouvelle Calédonie : caractérisation du peuplement et étude des relations avec les autres peuplements ichtyologiques du lagon. Résultats préliminaires : mangrove de Déama (avril-mai 1987). Nouméa : ORSTOM. *Rapp. sci. tech. : Sci. Mer : Biol. mar.*, 52 : 58 p., multigr.
- THOLLOT P., 1992. — *Les poissons de mangrove du lagon sud-ouest de Nouvelle Calédonie. Ecologie des peuplements, relations avec les communautés ichtyologiques côtières.* Thèse Univ. : Océanogr. biol. : Univ. Aix-Marseille II. 406 p. (version de soutenance)
- THOLLOT, P., 1996a. — La mangrove dans le Pacifique Sud-ouest, un patrimoine à conserver et gérer de façon rationnelle. Rapport scientifique. ORSTOM/PROE ; 56 p.
- THOLLOT, P., 1996b. — Les poissons de mangrove du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. *Etudes & Thèses,* ORSTOM : Nouméa ; 321.
- THOLLOT, P. & KULBICKI, M., 1988. — Overlap between the fish fauna inventories of coral reefs, soft bottoms and mangroves in Saint-Vincent Bay (New Caledonia). *Proc. 6th int. Coral Reef Symp., Townsville, 8-12 Aug. 1988, Australia.* Vol. 2 : 613-618.
- THOMASMA, D. C. & KUSHNER, T., 1996. — *Birth to Death. Science and Bioethics.* Cambridge University Press ; 382 p.
- THOMASSIN, B. A., 1981. — *Etude de l'impact du projet "NORCAL" sur l'environnement marin de Nouvelle Calédonie.* Phase III - Océanographie : benthos. B.R.G.M., commande GG/MP, n° 1604 ; 108 p.
- THOMASSIN, B. A., 1984. — Les récifs coralliens dans l'Indo-Pacifique ouest : grands types de constructions et successions des phases d'édification. *Océanis*, 10 (1) : 1-49.

- THOMASSIN, B. A., & J. P. MASSE, 1985. — Les récifs coralliens actuels et leur contrôle sur l'environnement : aspects morphologiques, biologiques et sédimentologiques. *Tethys*, **11** (3-4) : 288-301.
- TRESCASES, J. J., 1969. — Premières observations sur l'altération des péridotites de Nouvelle Calédonie ; pédologie, géologie, géomorphologie. *Cah. ORSTOM, sér. Géol.* **1** (1) : 27-57.
- TUNNICLIFFE, V. & FOWLER, C. M. R., 1996. — Influence of sea-floor spreading on the global hydrothermal vent fauna. *Nature*, **379** : 531-533.
- TURNER, R. D., 1977. — Wood, molluscs, and deep-sea food chains. *Bull. Am. Malac. Uni., Inc.*, **1977** : 13-19.
- URBANEK, A., 1994. — Living non-graptolite. *Lethaia Seminar*, **27**, p. 18.
- VACELET, J., 1977. — Une nouvelle relique du Secondaire : un représentant actuel des Eponges fossiles Sphinctozoaires. *C. r. hebdomadaire Séances Acad. Sci., Paris*, (III), **285** : 509-511.
- VACELET, J., 1979. — Description et affinités d'une éponge Sphinctozoaire actuelle. In : C. LEVI & N. BOURY-ESNAULT (eds), Biologie des Spongiaires. *Colloques internationaux du C. N. R. S.*, **291** : 483-493.
- VACELET, J., CUIF, J.-P., GAUTRET, P., MASSOT, M., RICHER DE FORGES, B., & ZIBROWIUS, H., 1992. — Un spongiaire Sphinctozoaire colonial apparenté aux constructeurs de récifs triasiques survivant dans le bathyal de Nouvelle-Calédonie. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **314** (3) : 379-385.
- VADON, C., 1991. — Echinodermata : Ophiuridae profonds de Nouvelle-Calédonie. Formes paedomorphes. In : A. CROSNIER (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 8. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), **151** : 335-356.
- VANDERKLIFT, M., 1997. — Identification of priority areas for marine biodiversity conservation : some issues and case studies. *8th Pacific Science Inter-Congress, Suva, 13-19 July 1997* (Abstr.).
- VANE-WRIGHT, R. I., HUMPHRIES, C. J. & WILLIAMS, P. H., 1991. — What to protect ? — Systematics and the agony of choice. *Biol. Conser.*, **55** : 235-254.
- VANNEY, J.-R., RIO, M., ROUX, M., GUERIN, H., BOUCHET, P., BOURSEAU, J.-P., GAILLARD, C., GRANDPERRIN, R., GUILLE, A., LAURIN, B., MONNIOT, C., RICHER DE FORGES, B., SEGONZAC, M., VACELET, J. & ZIBROWIUS, H., 1992. — Morphologie sous-marine particulière liée à des circulations hydrothermales sur la ride des Loyauté (Nouvelle-Calédonie, SW Pacifique). *Bull. Soc. géol. France*, **163** (3) : 255-262.
- VECCHIONE, M. & COLLETTE, B. B., 1996. — The Central role of Systematics in Marine biodiversity problems. *Oceanography*, **9** (1) : 44-49.
- VERMEIJ, G. J., 1993. — Biogeography of recently extinct marine species : Implications for conservation. *Conservation Biology*, **7** (2) : 391-397.
- VERON, J. E. N., & WALLACE, C., 1984. — *Scleractinia of Eastern Australia. Part V : Family Acroporidae*. Australian Institute of Marine Science ; Monograph series, **6** ; 485 p.
- VERON, J. E. N., 1993. — *Corals of Australia and the Indo-Pacific*. University of Hawaii Press, Honolulu ; 644 p.
- VERON, J. E. N., 1995. — Corals in space and time. The biogeography and evolution of the scleractinia. *UNSW Press, Sydney* ; 321 p.
- VERVOORT, W., 1993. — Cnidaria, Hydrozoa, Hydroidea : Hydroids from the Western Pacific (Philippines, Indonesia and New Caledonia). — I : Sertulariidae (Part 1). In : CROSNIER A. (ed.), Résultats des Campagnes MUSORSTOM, Volume 11. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, (A), **158** : 89-298.
- VILLAREAL, T. A., 1992. — Marine nitrogen-fixing diatom-cyanobacteria symbioses. In : CARPENTER, E. J., CAPONE, D. G. & RUETER, J. G., 1992. — Marine pelagic Cyanobacteria : Trichodesmium and other diazotrophs. Kluwer Academic Publishers, London : 163-175.
- VINCENT, E., LAMBERT, B., LAURIN, B. & MATHIEU, R., 1991. — Distribution des foraminifères benthiques dans le bassin des Loyauté. *Doc. Trav. IGAL, Paris*, (15) : 127-149.
- VIRLY, S., 1997. — Les pêches profondes réalisées dans la zone économiques de Nouvelle-Calédonie : synthèse des données de 1970 à 1995. ZoNéCo, Programme d'évaluation des ressources marines de la zone économique de Nouvelle-Calédonie ; 224 p.
- WANTIEZ, L., 1994. — Les poissons des fonds meubles du lagon Nord et de la Baie de Saint-Vincent de Nouvelle-Calédonie. Description des peuplements. Structure et fonctionnement des communautés. *Travaux et Documents Microfichés, ORSTOM* : Paris, N°121 ; 444 p.
- WANTIEZ, L. & KULBICKI, M., 1991. — Les pêches exploratoires au chalut en baie de Saint Vincent (Nouvelle Calédonie). Nouméa : ORSTOM. *Rapp. sci. tech. : Sci. Mer : Biol. mar.*, **60** : 73 p., multigr.
- WANTIEZ, L., THOLLOT, P. & KULBICKI, M., 1995. — Effets de réserve sur les communautés de poissons récifaux de cinq îlots du parc du lagon sud de Nouvelle-Calédonie. In : DALZELL, P. & ADAMS, T. J. H., (eds). 1995. — *South*

- Pacific commission and forum fisheries agency workshop on the management of South Pacific inshore Fisheries.* Manuscript collection of country statements and background papers ; vol. II : 395.
- WARD, P. D. & MARTIN, A. W., 1980. — Depth distribution of *Nautilus pompilius* in Fiji and *Nautilus macromphalus* in New Caledonia. *The Veliger*, 22 (3) : 259-264.
- WARD, P. D., 1987. — *The Natural History of Nautilus*. Allen & Unwin, Boston, 267 p.
- WARD, P. D., 1988. — *In Search of Nautilus*. A New York Academy of Sciences Book, 238 p.
- WATSON, R. T., HEYWOOD, V. H., BASTE, I., DIAS, B., GAMEZ, R., JANETOS, T., REID, W. & RUARK, G., 1995. — *Global Biodiversity Assessment*. Summary for Policy-Makers. Cambridge University Press ; 46 p.
- WEBER, M., ? — Introduction et description de l'expédition. *Siboga-Expeditie*, I : 1-16.
- WELLS, F. E., 1990. — Comparative zoogeography of marine mollusks from Northern Australia, New Guinea, and Indonesia. *The Veliger* 33 (2) : 140-144.
- WELLS, S., HOLTHUS, P. & MARAGOS, J., 1994. — *Environmental guidelines for coral harvesting operations*. SPREP reports and studies series n°75 ; 36 p.
- WICKSTEAD, J. H., 1970. — On a small collection of Acrania (Phylum Chordata) from New Caledonia. *Cah. Pac.*, 14 : 237-243.
- WILKINSON, C. R., 1993. — *Coral-reefs of the world are facing widespread devastation : can we prevent this through sustainable management practices ?* Proceed. Seventh Int. Coral Reef Symposium, Guam, 22-26 june 1992 ; Vol. I : 11-21.
- WILKINSON, C. & BUDDEMEIER, R. W., 1994. — Global climate change and coral reefs : implications for people and reefs. UNEP-IOC-ASPEI-IUCN ; 124 p.
- WILLIAMS, A. B., 1982. — Revision of the genus *Latreillia* Roux (Brachyura : Homoloidea). *Quad. Lab. Tecnol. Pesca*, 3 (2-5) : 227-255.
- WILLMER, P., 1991. — *Invertebrates Relationships. Patterns in animal evolution*. Cambridge University Press, Cambridge ; 400 p.
- WILSON, E. O., 1992. — *The diversity of life*. Allen Lane. The Penguin Press, London ; 424 p.
- WILSON, R. R. & KAUFMANN, R. S., 1987. — Seamount biota and biogeography. In : KEATING, B. H., FRYER, P., BATIZA, R. & BOEHLERT, G. W. (eds), Seamounts, Islands and Atolls. *Geophysical Monograph* 43 : 355-377.
- WINSTON, J. E., 1988. — The systematists' perspective. In : FAUTIN, D. G. (ed.) — *Biomedical importance of marine organisms*. *Memoirs of the California Academy of sciences*, 13 : 1-6.
- WITTE, F., GOLDSCHMIDT, T., GOUDSWAARD, P. C., LIGTVOET, W., VAN OIJEN, M. J. P. & WANINK, J. H., 1992. — Species extinction and concomitant ecological changes in Lake Victoria. *Nether. J. Zool.*, 42 (2-3) : 214-232.
- WOLFF, T., 1964. — The Galathea Expedition 1950-52. List of benthic stations from 0-400 metres, near-surface stations, and land stations. *Videnk. Medd. fra Dansk naturh. Foren., bd.*, 127 : 195-258.
- WOLFF, T., 1979. — Macrofaunal utilization of plant remains in the deep sea. *Sarsia*, 64 : 117-136.
- WOOD, E. M. & WELLS, S. M., 1988. — *The marine curio trade : conservation issues*. Marine Conservation Society, Ross-on-Wye, UK.
- WRIGHT, A. & HILL, L. (eds), 1993. — *Nearshore Marine Resources of the South Pacific. Information for Fisheries Development and Management*. Institute of Pacific Studies, Suva. Forum Fisheries Agency, Honiara. International Centre for Ocean Development, Canada. Singapor National Printing ; 710 p.
- WÜRTZ, M., 1989. — *Le Nautille*. Musée Océanographique, Principauté de Monaco. Edition Progetto 4 ; 42 p.
- WYVILLE THOMSON, C., 1874. — *The Depths of the Sea*. General results of the dredging cruises of HMS "Porcupine" and "Lightning" during the summer of 1868, 1869 and 1870. Macmillan & Co. ; 527 p.
- WYVILLE THOMSON, C. & J. MURRAY, 1885. — Narrative, Vol. I, First part. *Report on the Scientific Results of the Voyage of H.M.S. Challenger, during the years 1873-76* ; 1072 p.
- YODER, J. A., ACKLESON, S. G., BARBER, R. T., FLAMENT, P. & BALCH, W. M., 1994. — A line in the sea. *Nature*, 371 : 689-692.
- YONGE, C. M., 1931. — *A year on the Great Barrier Reef*. PUTMAN, London ; 246 p.
- ZIBROWIUS, H., 1981. — Associations of Hydrocorallia stylasterina with gall-inhabiting Copepoda Siphonostomatoidea from the south-west pacific. Part I. On the stylasterine hosts, including two new species, *Stylaster papuensis* and *Cryptothelia cryptotrema*. *Bijdr. Dierk.*, 51 (2) : 268-286.
- ZIBROWIUS, H., 1988. — Mise au point sur les Scléactiniaires comme indicateurs de profondeur (Cnidaria : Anthozoa). *Géol. méditerr.*, 15 (1) : 27-47.

- ZIBROWIUS, H. & GRYGIER, M. J., 1985. — Diversity and range of scleractinian coral hosts of Ascothoracica (Crustacea : Maxillopoda). *Annls. Inst. océanogr., Monaco*, **61** (2) : 115-138.
- ZULLO, V. A. & NEWMAN, W. A., 1964. — Thoracic cirripedia from a southeast Pacific Guyot. *Pac. Sc.*, **18** (4) : 355-372.

TITRE : La diversité du benthos de Nouvelle-Calédonie : de l'espèce à la notion de patrimoine.

RESUME

Après une rapide présentation des principaux écosystèmes du domaine tropical Indo-Pacifique, une description de la répartition géographique de la biodiversité est faite en attirant l'attention sur l'endémisme lié à l'insularité.

Les manifestations de la crise de la biodiversité marine dans l'Indo-Pacifique sont exposées, au niveau des espèces et des écosystèmes, ainsi que les incidences possibles du "Global Change". Les difficultés de réaliser une conservation du patrimoine biologique sont discutées au regard des bases scientifiques, juridiques et administratives et à l'aide d'exemples d'aires protégées.

L'analyse des résultats des nombreuses campagnes océanographiques réalisées dans le domaine littoral et bathyal de la zone économique de Nouvelle-Calédonie permet de dresser un bilan des connaissances sur la biodiversité spécifique. En zone littorale, l'exploration méthodique de tous les lagons permet de montrer leurs particularités et de faire une mise au point sur le niveau de connaissance actuel de la biodiversité. Malgré un effort d'échantillonnage très important, qui fait de la Nouvelle-Calédonie l'une des zones les mieux connues du Pacifique, l'évaluation du nombre d'espèces à mésoéchelle reste très imprécise et des groupes entiers ne sont pas étudiés faute de taxonomistes disponibles dans le monde. Pour la zone bathyale, l'exploration a permis la découverte d'une faune très riche et en grande partie nouvelle pour la science (61 % des espèces). Cette faune de profondeur du Pacifique sud-ouest est caractérisée par la présence de nombreuses espèces archaïques dont certaines sont de véritables fossiles vivants. L'utilisation des bases de données montre, à partir des espèces actuellement étudiées, que la zone bathyale supérieure, 300-500 m, est la plus riche en espèces.

La crise de la biodiversité en Nouvelle-Calédonie est montrée aussi bien pour les zones littorales que pour le sommet des monts sous-marins. Comme dans la plupart des îles du Pacifique, l'influence anthropique accentue la perte de diversité biologique par la dégradation du couvert végétal (mines et déforestation), la surpêche et un mauvais usage du littoral. Après un examen critique de la réglementation en vigueur localement en matière d'environnement et de pêche, des recommandations sont faites pour la sauvegarde de ce patrimoine naturel exceptionnel par la création de nouvelles réserves marines.

MOTS-CLES : Nouvelle-Calédonie, biodiversité, littorale, bathyale, conservation.

TITLE : Biodiversity of marine benthos in New Caledonia : from species to conservation heritage.

ABSTRACT

Main ecosystems from the tropical Indo-Pacific zone are quickly presented. The geographic repartition of biodiversity is shown with an emphasis on the insular endemism.

The biodiversity crisis is exposed for the Indo-Pacific area, with the anthropic and Global Change effects, at species and ecosystem levels. Conservation problems are examined, on examples of protected habitats, at the light of scientific informations and available policy.

Analysis of data collected in New Caledonia EEZ during numerous oceanographic cruises in the coastal and bathyal zones conduct to a biodiversity knowledge assessment. In shallow water, particularities of each lagoon are shown. Although the area is now one of the best sampled in the Pacific the knowledge level at mesoscale is poor because of the lack of taxonomical studies in several groups. In the bathyal zone, a very rich benthic fauna was found a large part of which is new to science (61 % of species). The new caledonian deep-sea fauna is characterized by a great number of panchronic species ; some of them are real living fossils. The use of data-base shows the upper bathyal zone, 300 to 500 m, is the richest in species.

The biodiversity crisis is explained in New Caledonia with examples on shore managements, mining effects, urban pollution and overfishing. After critical analysis of the local environmental policy, some new area are proposed as reserves to protect reefs, seagrasses beds and mangroves in the lagoon. In the bathyal zone, some seamounts of the Norfolk Ridge with particular interest for their archaic fauna are also proposed for conservation.

KEYWORDS : New Caledonia, biodiversity, coastal, bathyal, conservancy.