

# Zonation des communautés macrobenthiques le long de deux baies d'un écosystème corallien insulaire (Moorea, Polynésie française)

Mehdi Adjeroūd<sup>a,b,\*</sup>

<sup>a</sup> École pratique des hautes études, Ura CNRS 1453, université de Perpignan, 66860 Perpignan cedex, France

<sup>b</sup> Centre de recherches insulaires et Observatoire de l'environnement, BP 1013, Moorea, Polynésie française, France

Reçu le 24 juillet 1999 ; accepté le 21 janvier 2000

Présenté par Lucien Laubier

**Abstract – Zonation of macrobenthic communities along two bays in an insular coral reef ecosystem (Moorea, French Polynesia).** Zonation of macrobenthic communities (corals, algae, molluscs, sponges and echinoderms) on fringing reefs was investigated in two bays in a coral reef ecosystem (Moorea, French Polynesia). Species richness, abundance and coral cover, and species richness of macroalgae increased from the bayhead to the bay entrance. For molluscs and sponges, no general trend was observed. Species richness and abundance of echinoderms increased from the head to the entrance of Opunohu Bay, but this trend was less pronounced in Cook Bay. The gradients observed for corals, macroalgae and echinoderms were correlated with one or several of the following abiotic factors: salinity, turbidity, concentration of silicates in surface waters, and concentrations of organic carbon, carbohydrates and amino acids in the sediments. These factors are associated with terrestrial run-off via river discharge that occurs at the bayheads, where the major river is located. The high degree of confinement in the bayheads allowed the establishment of only a few tolerant macrobenthic species. Although the low diversity and abundance of corals and echinoderms seem to be a characteristic of Polynesian bays, a high diversity of corals can be found in the vicinity of the bayheads in coral reefs of the western Pacific. © 2000 Académie des sciences/Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

**spatial patterns / gradients / diversity / abiotic factors / coral reefs / canonical correspondence analysis / correlations**

**Résumé –** La zonation des communautés macrobenthiques (coraux, algues, mollusques, éponges et échinodermes) de récifs frangeants a été examinée le long de deux baies d'un écosystème corallien insulaire (Moorea, Polynésie française). La richesse spécifique, l'abondance et le recouvrement des coraux ainsi que la richesse spécifique des algues augmentent du fond vers l'entrée des deux baies. La richesse spécifique des mollusques et des éponges ne montre pas de variation régulière entre le fond et l'entrée des baies. Pour les échinodermes, l'augmentation de la richesse spécifique et de l'abondance mise en évidence entre le fond et l'entrée de la baie d'Opunohu n'est pas aussi prononcée en baie de Cook. Les gradients des communautés de coraux, d'algues et d'échinodermes sont fortement corrélés à un ou plusieurs des facteurs abiotiques suivants : salinité, turbidité, et concentration en silicates des eaux de surface, et teneur des sédiments en carbone organique, hydrates de carbone et acides aminés. Les valeurs de ces facteurs traduisent d'importants apports terrigènes, provenant essentiellement des

\* Correspondance et tirés à part : adjeroūd@univ-perp.fr

rejets des rivières situées en fond de baie. Dans cette partie des baies où le degré de confinement est élevé, seuls les organismes les plus résistants aux fortes turbidités, aux dessalures et à l'hypersédimentation peuvent s'installer. La pauvreté en coraux et en échinodermes en fond de baie semble être une caractéristique des baies polynésiennes. En revanche, le fond de certaines baies des écosystèmes coralliens de l'ouest Pacifique peut être colonisé par un grand nombre d'espèces coralliennes adaptées. © 2000 Académie des sciences/Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

**structure spatiale / gradients / diversité / facteurs abiotiques / récifs coralliens / analyse canonique des correspondances / corrélations**

## Abridged version

Few studies have been carried out on bays in coral reef ecosystems. A preliminary survey was recently conducted in Opunohu Bay (Moorea Island, French Polynesia). A strong gradient in percentage cover and species richness was found for corals and echinoderms, between the bayhead where the two taxa are almost absent and the bay entrance where they are abundant. A low diversity of macroalgae was also found at the bayhead. For molluscs and sponges, no general trend was observed along the bay. The aim of the present study was to compare the zonation of macrobenthic communities along two similar bays in order to determine if the zonation described in Opunohu Bay is also found in other Polynesian bays. Several abiotic factors were measured to examine the hydrological functioning of the bays, and to determine the correlations between these factors and the zonation of macrobenthic species.

Twenty-four stations were established on eight radials disposed between the bayhead (land-end) and the bay entrance (ocean-end) in Opunohu Bay and Cook Bay. On each radial, three stations were established on the three reef environments that composed the fringing reef of the bays: the reef flat, the reef crest, and the reef wall. Each station consisted of three rectangular quadrats of 10 m<sup>2</sup> (10 × 1 m) parallel to each other and to the coastline. Corals, macroalgae, molluscs, sponges and echinoderms of more than 1 cm in length and visible without removing rocks were identified and counted. At each station, three linear transects of 10 m were used to estimate substrate coverage. Exposure, salinity, turbidity, nutrients and biogeochemical composition of surface sediment were measured at each radial. Correlations and canonical correspondence analysis were used to determine which factors were significantly correlated with the species distribution.

The overall diversity recorded in the bays (46 coral, 27 macroalgae, 11 mollusc, 9 sponge and 9 echinoderm species) is low compared to that of coral reefs of the western Pacific in general, but is of the same order as that found in the lagoonal fringing reef around Moorea.

The species composition of the five taxa was highly similar between the two bays (between 63 and 82 % of common species). For corals and macroalgae, the same type of zonation was observed along the bays. Species richness, abundance and coverage of corals, and species richness of macroalgae increased between the bayheads and the bay entrances. For molluscs and sponges, no general trend was observed. Species richness and abundance of echinoderms increased between the head and the entrance of Opunohu Bay, but this trend was less pronounced in Cook Bay.

The gradient observed for corals, macroalgae and echinoderms was correlated with one or several of the following abiotic factors: salinity, turbidity and silicates in surface waters, and organic carbon, carbohydrates and amino acids in the sediments. These factors are associated with the terrestrial run-off via river discharge that occurs at the bayheads, where the major river is located. After heavy rainfall, a high volume of turbid and nutrient-rich freshwater is located in the inner part of the bays, and particularly in the vicinity of the river mouth. Biogeochemical compounds measured in the sediment, such as organic carbon, carbohydrates, amino acids and C/N, were also indicators of terrigenous influences. Macrobenthic communities, which integrate the short-term variation of the environment for long periods, can be used as a measure of the 'embayment degree'. In the bayheads, the harsh environmental conditions are not favourable to a high diversity, and only a few tolerant corals occurred, such as *Psammocora*, *Montipora*, *Porites* and *Leptastrea*.

Although the gradient of corals found in Opunohu and Cook bays has been described in Fiji, Gulf of Mexico, Puerto Rico, Hawaii, and, at a large spatial scale (200 km), on the Great Barrier Reef, the decrease in coral diversity towards the bayheads does not seem to be a common feature in coral reefs. In the Solomon Islands and in Micronesia, a relatively high diversity of corals, with many branching and foliaceous growth forms, can be found in the vicinity of the bayheads. The biogeographic isolation of French Polynesia may explain the absence of heterotrophic species that are adapted to turbid inshore waters.

## 1. Introduction

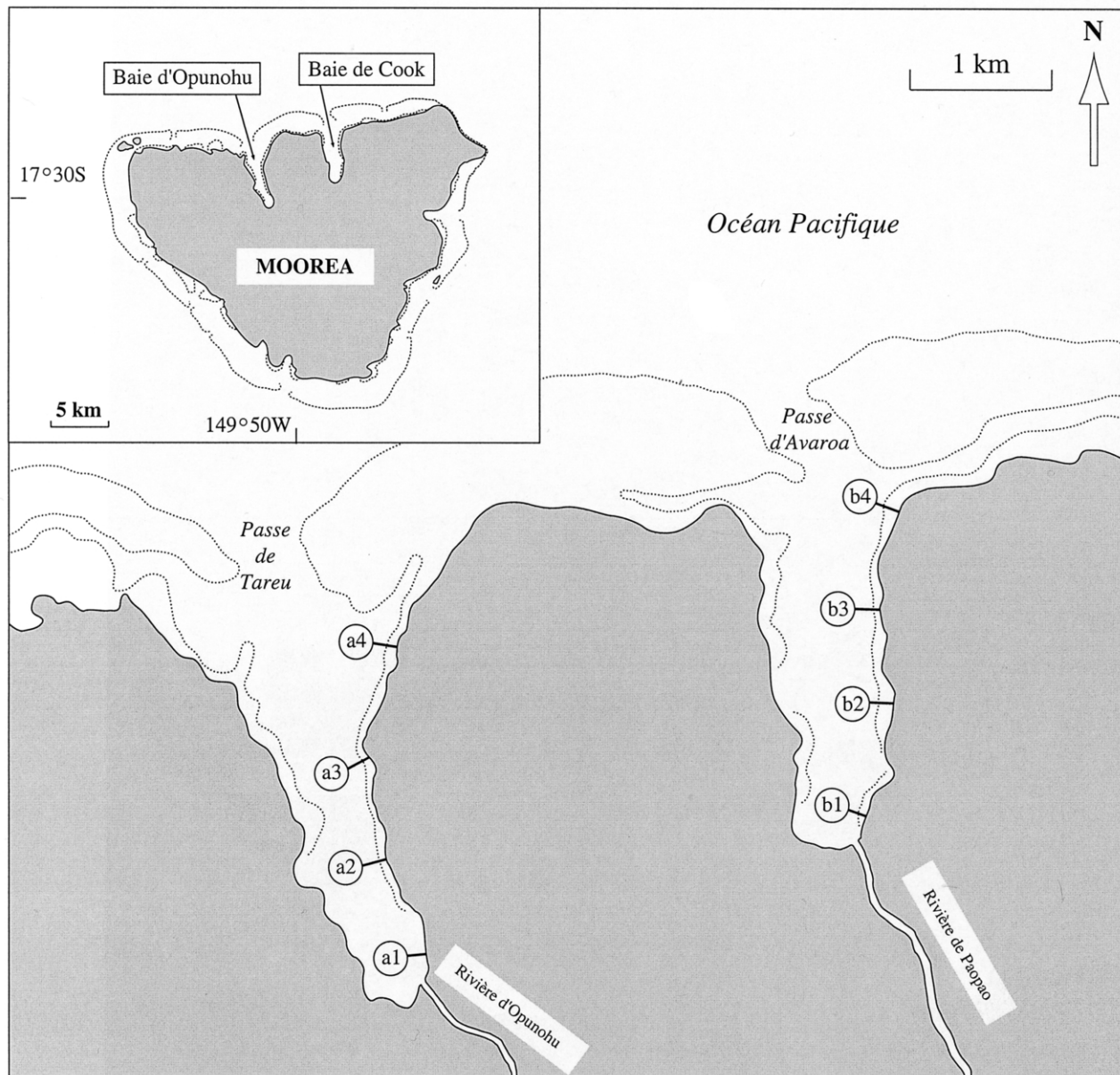
Les écosystèmes coralliens se distinguent par plusieurs caractéristiques : biodiversité élevée, complexité des réseaux trophiques et des associations interspécifiques, mais aussi forte structuration spatiale des communautés benthiques et ichthyologiques qui se traduit par une zonation prononcée [1, 2, 3, 4, 5]. La répartition des organismes benthiques est influencée par plusieurs types de facteurs environnementaux, dont la contribution relative varie d'un récif à l'autre [6, 7]. Ces facteurs sont généralement classés en trois catégories : a) les facteurs abiotiques tels que l'hydrodynamisme, l'hydrologie ou les caractéristiques du substrat ; b) les facteurs biotiques, essentiellement prédation et compétition inter et intra-spécifique ; et c) les facteurs historiques, c'est-à-dire les perturbations de grande ampleur, qui, en milieu corallien, sont essentiellement les cyclones, les phénomènes de blanchissement des coraux et les explosions démographiques de prédateurs, qui provoquent des mortalités massives chez certaines populations. Si la zonation des communautés des récifs frangeants et barrières, ainsi que des pentes externes océaniques, est maintenant bien appréhendée, elle a été, en revanche, peu étudiée dans les baies des écosystèmes coralliens. Il est vrai que les baies sont relativement peu fréquentes et, comparativement aux récifs barrières et pentes externes, occupent une surface moins importante. En Polynésie française, une première approche a été récemment entreprise en baie d'Opunohu, sur l'île de Moorea [8]. Les résultats ont montré une augmentation de la richesse spécifique des coraux et des échinodermes ainsi que du recouvrement corallien du fond de la baie, où se jette la principale rivière, vers l'entrée de la baie, située à proximité de la passe et en contact avec les eaux océaniques. La richesse spécifique des algues est également faible en fond de baie. En revanche, les éponges et les mollusques ne montrent pas de variation régulière le long des baies.

L'objectif du présent travail est de comparer la répartition spatiale des communautés benthiques le long de deux baies géomorphologiquement très similaires, les baies d'Opunohu et de Cook sur l'île de Moorea. Cette étude permettra de déterminer si la zonation observée en baie d'Opunohu est une particularité ou si, au contraire, elle peut se retrouver dans d'autres baies. Un grand nombre de facteurs abiotiques ont été mesurés afin de préciser le fonctionnement hydrologique des baies et de déterminer les corrélations entre ces facteurs et la répartition spatiale des organismes.

## 2. Matériels et méthodes

Les baies d'Opunohu et de Cook (*figure 1*) forment deux échancrures profondes (respectivement 3,5 km et 3,3 km) qui se distinguent nettement sur le littoral de l'île de Moorea (17°30'S, 149°50'W) située à 25 km de Tahiti. La ceinture corallienne entourant Moorea est relativement

étroite (< 1,5 km de large) et se caractérise par de forts gradients côte-large des communautés benthiques [6]. Dans les baies, la profondeur ne dépasse pas la dizaine de mètres à proximité de l'embouchure des rivières situées au fond des baies, et atteint respectivement 68 et 36 m dans les passes de Tareu et d'Avaroa (*figure 1*). Une dizaine de rivières et cours d'eau se jette dans chacune des baies, mais la rivière principale (rivière d'Opunohu et rivière de Paopao) est située au fond des baies. Dans chacune des baies, la rivière principale représente environ trois quarts des arrivées d'eau douce (rivière Opunohu : 80 % des apports d'eau douce en période sèche et 65 % en période humide). Les bassins versants des rivières d'Opunohu et de Paopao (respectivement 28,5 et 16,8 km<sup>2</sup>) se caractérisent par une forte proportion de terrains pentus (vallée d'Opunohu : 90 % des terrains ont une pente supérieure à 10 %). Par conséquent, les débits des rivières principales peuvent atteindre de fortes valeurs à la suite d'épisodes pluvieux intenses et fréquents (0,509 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> mesuré à l'embouchure de la rivière Opunohu le 18 avril 1994). Les récifs frangeants qui bordent les baies ont une largeur inférieure à 100 m. Trois unités géomorphologiques sont distinguées sur les récifs frangeants des baies [9] : le platier (partie peu profonde et largement sableuse qui est directement accolée à la côte), la crête (partie au substrat dur qui précède le tombant) et le tombant (partie à forte inclinaison, souvent verticale, qui prend fin entre 5 et 10 m de profondeur où débute la zone sableuse couvrant la totalité de la partie centrale des baies). Dans chaque baie, quatre radiales (lignes perpendiculaires au rivage) ont été disposées entre le fond (a1 et b1) et l'entrée des baies (a4 et b4, *figure 1*). Sur chacune de ces radiales, trois stations ont été placées, une sur chaque unité géomorphologique du récif frangeant. Les 24 stations d'échantillonnage ont été prospectées entre mars et mai 1994. Le code des stations s'établit comme suit : a ou b pour respectivement la baie d'Opunohu et la baie de Cook ; le premier chiffre correspond à la radiale (1 à 4) ; le second chiffre correspond à l'unité géomorphologique (1 : platier, 2 : crête, 3 : tombant). Une station se définit par trois quadrats de 10 m<sup>2</sup> (10 × 1 m) disposés perpendiculairement à la ligne de rivage et séparés de 1 m. Au sein de chaque quadrat, les cnidaires (scléactiniaires, mais aussi hydrocoralliaires, alcyonaires et actiniaires ; on utilisera le terme de coraux par la suite), algues, mollusques, éponges et échinodermes, de plus de 1 cm et épibenthiques, ont été déterminés au niveau spécifique et comptés (à l'exception des algues). Afin d'obtenir les pourcentages de recouvrement de différentes catégories de substrat, un transect linéaire de 10 m a été placé au centre de chaque quadrat. Concernant les facteurs abiotiques, dix séries de mesures de conductivité et de turbidité ont été réalisées. L'agitation de l'eau a été estimée par la variation de masse de pains de plâtre laissés en place 24 h [10]. Quatre séries de mesure ont été réalisées ; les valeurs sont données en df (index de diffusion qui est égal au rapport entre la perte de masse des pains de plâtre à chaque station et la perte de masse de pains de plâtre laissés en aquarium). Le dosage des sels



**Figure 1.** Localisation des huit radiales d'étude (a1 à b4) établies dans les baies d'Opunohu et de Cook, sur la côte nord de l'île de Moorea. Les pointillés indiquent la limite approximative des récifs. À chacune de ces radiales, trois stations d'échantillonnage ont été mises en place (a1 à b43), une sur chaque unité géomorphologique constituant les récifs frangeants de baie (platier, crête et tombant).

nutritifs a été réalisé en période sèche (juillet 1993) et en période humide (février 1993). Ces mesures ont été complétées par l'analyse de la composition biogéochimique des sédiments de surface (couche superficielle de 1 cm).

Les analyses canoniques des correspondances [11], ont permis d'identifier les facteurs environnementaux qui sont corrélés de manière significative à la distribution et l'abondance relative des espèces, et de quantifier leur contribution. Les corrélations entre les facteurs et les descripteurs synthétiques des communautés benthiques (richesse spécifique, abondance des colonies ou des individus et pourcentage de recouvrement) ont été estimées par la méthode des régressions linéaires simples.

### 3. Résultats

#### 3.1. Zonation des communautés

Le nombre total d'espèces identifiées dans les deux baies s'élève à 46 pour les coraux (dont 32 espèces communes aux deux baies), 27 pour les algues (dont 17 espèces communes), 11 pour les mollusques (dont 9 espèces communes), 9 pour les éponges et pour les échinodermes (dont 6 espèces communes pour ces deux taxa). La richesse spécifique, l'abondance et le recouvrement des coraux montrent une tendance générale à l'augmentation entre le fond des baies, où les coraux sont très faiblement

représentés ou absents, et l'entrée des baies (*figure 2*). Ces mêmes descripteurs sont généralement plus élevés sur la crête et sur le tombant que sur le platier. Concernant les algues, la richesse spécifique augmente également entre le fond et l'entrée des baies, mais elle est généralement plus élevée sur le platier et sur la crête que sur le tombant. Les fortes valeurs de recouvrement en algues sont observées sur le platier et le tombant de la moitié extérieure de la baie d'Opunohu (a3 et a4), alors qu'en baie de Cook elles sont localisées sur la crête et le tombant de la moitié intérieure (b1 et b2, *figure 3*). Les valeurs de richesse spécifique des mollusques, éponges et échinodermes sont, comparativement aux coraux et aux algues, beaucoup plus faibles. Aucune variation régulière de richesse spécifique ou d'abondance n'est observée pour les mollusques et les éponges, et les valeurs maximales se situent à des endroits différents dans chaque baie. En baie d'Opunohu, la richesse spécifique et l'abondance des échinodermes augmentent entre le fond où aucun échinoderme n'a été recensé, et l'entrée où les valeurs sont relativement importantes. Ce type de variation n'est pas aussi prononcé en baie de Cook où plusieurs espèces sont observées en fond de baie. Néanmoins, les plus fortes abondances sont localisées dans la moitié extérieure de la baie (b3 et b4).

### 3.2. Facteurs environnementaux

Le fonctionnement hydrologique des baies peut se résumer de la manière suivante. À la suite d'épisodes pluvieux intenses et/ou fréquents, la rivière principale située en fond de chacune des deux baies déverse une quantité importante d'eau douce, turbide et concentrée en silicates. Ce phénomène de crue est d'autant plus marqué que l'intensité et la fréquence des précipitations sont élevées. Les dessalures, les fortes turbidités et teneurs en silicates, sont essentiellement localisées en fond de baies et s'estompent au fur et à mesure que l'on s'en éloigne (*tableau I*). Les sédiments prélevés en fond des baies témoignent également de cette influence terrigène, par des concentrations élevées en carbone organique, hydrates de carbone et acides aminés, des rapports C/N élevés, et de faibles teneurs en carbonates et carbone minéral. Les fortes corrélations entre chacun des facteurs cités précédemment et la distance de l'embouchure traduisent ces forts gradients entre le fond et l'entrée des baies. De plus, les gradients de conductivité, turbidité, silicates, carbone organique, hydrates de carbone et acides aminés sont fortement corrélés entre eux ( $r^2 > 0,73$  ;  $p < 0,03$ ).

### 3.3. Corrélations communautés benthiques – facteurs environnementaux

La richesse spécifique des coraux, des algues et des échinodermes, ainsi que l'abondance et le recouvrement des coraux, sont positivement corrélés à la distance de l'embouchure des rivières, ce qui confirme les gradients présentés précédemment (*tableau II*). Les variations de richesse spécifique des coraux et des algues sont corrélées à un grand nombre de facteurs : conductivité, turbidité et

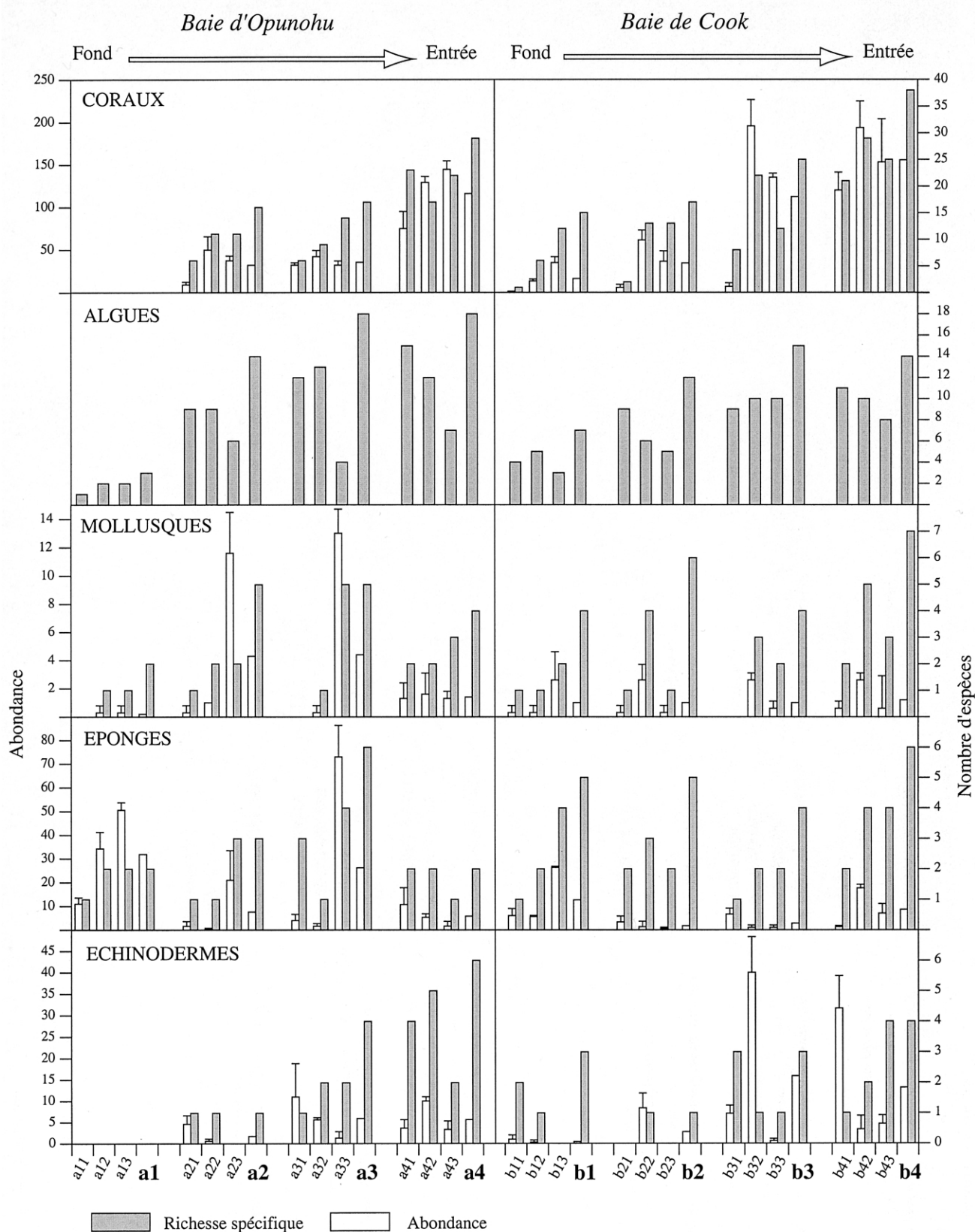
silicates dans les eaux de surface, carbone organique, hydrates de carbone et acides aminés dans les sédiments, ainsi qu'au recouvrement en sable. En revanche, la richesse spécifique des éponges, le recouvrement algal et l'abondance des mollusques ne montrent aucune corrélation significative avec l'un des facteurs mesurés. La composition spécifique des coraux et des éponges, organismes sessiles, est influencée par le type de substrat et, notamment, le recouvrement en algues calcaires encroûtantes.

## 4. Discussion

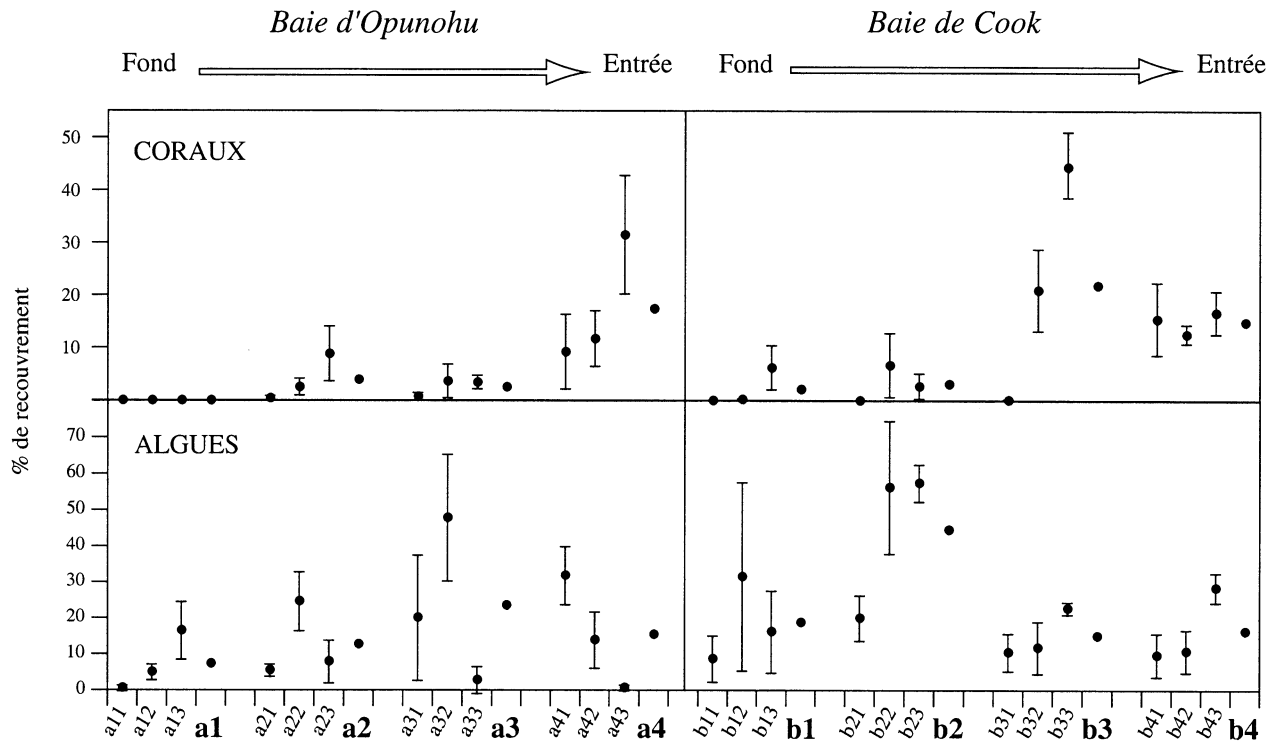
La diversité des groupes benthiques des récifs frangeants des baies d'Opunohu et de Cook est du même ordre de grandeur que celle des récifs frangeants lagunaires de l'île de Moorea [6, 12]. D'une manière générale, la diversité des écosystèmes récifaux de Polynésie française (baies, récifs frangeants, récifs barrières et pentes externes) est faible comparativement aux récifs de l'ouest Pacifique [6, 8]. Cette faible diversité, qui concerne toutes les îles du Pacifique central notamment les îles Hawaii [13], s'explique dans un contexte biogéographique. L'éloignement de la Polynésie du centre de diversité maximale et du centre de dispersion, situés dans un triangle délimité par les Ryukyu au nord, l'Indonésie à l'ouest et la Nouvelle-Guinée à l'est, ne permet pas la colonisation d'un grand nombre d'espèces [14]. De plus, la petitesse des écosystèmes coralliens polynésiens n'est pas compatible avec l'établissement d'un grand nombre d'espèces [15]. Aussi, la faune et la flore marine de Polynésie française sont-elles essentiellement constituées d'espèces largement réparties dans toute la zone Indo-Pacifique, et dont les larves ont une grande capacité de dispersion spatiale [14].

Les communautés macrobenthiques des récifs frangeants des baies d'Opunohu et de Cook, mais également des récifs barrières et des pentes externes de Moorea, se caractérisent par la dominance, en termes de richesse spécifique et d'abondance, des coraux et des macroalgues, et par la faible représentation des mollusques, des éponges et des échinodermes qui font figure de groupes secondaires [6]. La faible diversité des mollusques et des éponges que nous avons observée, et dans une moindre mesure, celle des algues, est en partie expliquée par la méthodologie qui a pris en compte exclusivement les organismes épibenthiques d'une taille supérieure au centimètre. La microfaune, la faune endogée et la faune cryptique, ainsi que les algues calcaires encroûtantes et les microalgues n'ont pas été échantillonnées. En revanche, notre méthode d'échantillonnage est tout à fait exhaustive et adéquate en ce qui concerne les coraux et les échinodermes, dans la mesure où la quasi totalité des espèces sont épibenthiques et visibles à l'œil nu. La faible diversité des échinodermes est à relier à la faible représentation de ce groupe en Polynésie, où seulement trente espèces ont été recensées [16].

L'objectif principal de cette étude était de comparer la zonation le long de deux baies afin de préciser si les gradients mis en évidence lors d'une étude préliminaire en



**Figure 2.** Variation de la richesse spécifique et de l'abondance des groupes macrobenthiques le long des baies d'Opunohu et de Cook. Pour les algues, seule la variation de richesse spécifique est présentée. Les abondances représentent des nombres d'individus (colonies pour les coraux) par quadrat rectangulaire de 10 m<sup>2</sup>. Les valeurs sont données pour les vingt-quatre stations et pour les huit radiales. Les traits verticaux représentent les écarts types des moyennes obtenues à chaque station.



**Figure 3.** Variation du pourcentage de recouvrement des coraux et des algues le long des baies d'Opunohu et de Cook.

Les valeurs sont données pour les vingt-quatre stations et pour les huit radiales. Les traits verticaux représentent les écarts types des moyennes obtenues à chaque station.

baie d'Opunohu se retrouvent dans d'autres baies similaires. Les résultats montrent que pour les coraux et les algues, les schémas de répartition spatiale se retrouvent, malgré quelques petites différences, dans les deux baies. En revanche, la structure spatiale des communautés de mollusques et d'éponges n'est pas identique dans les deux baies. Pour les échinodermes, le gradient de richesse spécifique et d'abondance mis en évidence en baie d'Opunohu n'est pas aussi prononcé en baie de Cook.

Les baies d'Opunohu et de Cook ont une morphologie similaire et ne sont séparées que de 2 km. En revanche, la baie de Cook est largement anthropisée du fait des nombreux hôtels, habitations et constructions qui se trouvent sur la frange littorale et dans la vallée, alors que la vallée d'Opunohu est pratiquement vierge d'habitations et que les champs cultivés y sont peu nombreux. Pourtant, cette différence ne se retrouve pas dans la structure des communautés benthiques. On note que des coraux et des échinodermes sont présents en fond de baie de Cook alors qu'ils sont absents en fond de baie d'Opunohu. Les informations dont nous disposons ne permettent pas d'émettre d'hypothèses pour expliquer la différence observée entre les deux baies. On notera néanmoins que la présence de nombreuses constructions et d'une forte population en baie de Cook n'est pas incompatible avec une diversité relativement élevée des communautés benthiques et notamment des coraux.

Les gradients des communautés de coraux, d'algues et d'échinodermes sont fortement corrélés à un ou plusieurs

des facteurs abiotiques suivants : salinité, turbidité et silicates dans les eaux de surface, carbone organique, hydrates de carbone et acides aminés dans les sédiments. Tous ces facteurs traduisent d'importants apports terrigènes qui proviennent essentiellement des rivières principales situées au fond des baies. La faible diversité des coraux, des algues et des échinodermes dans la moitié intérieure et au fond des baies traduit le fort degré de confinement à cet endroit. Le degré de confinement se traduit par une forte zonation des communautés benthiques sessiles qui intègrent les conditions environnementales sur une longue période de temps [17, 18]. Les conditions défavorables en fond de baie ne permettent pas l'établissement d'un grand nombre d'espèces, même si ces conditions sont occasionnelles car elles sont suffisamment fréquentes en cours d'année pour être limitantes. Seuls les organismes les plus résistants aux fortes turbidités, aux dessalures et à l'hyper-sédimentation peuvent s'y installer, comme les coraux des genres *Psammocora*, *Montipora*, *Porites* et *Leptastrea* à Moorea [19].

Les corrélations significatives mises en évidence entre les descripteurs des communautés benthiques et les facteurs abiotiques n'impliquent pas obligatoirement une relation de cause à effet. De nombreux facteurs agissent de manière indirecte ou en synergie avec d'autres facteurs [20]. Aussi, l'interprétation des corrélations obtenues entre les facteurs abiotiques et les descripteurs des communautés, qui n'est pas l'objectif de ce travail et qui

**Tableau I.** Valeurs moyennes de quelques facteurs environnementaux mesurés aux huit radiales localisées en baies d'Opunohu et de Cook.\*

	Agitation (df)	Conductivité (mS/cm)	Turbidité (FTU)	Sels nutritifs (mmole/m <sup>3</sup> )				Substrats (%)		
				Silicates	Phosphates	Nitrites	Nitrates	Sable	Algues calcaires encroûtantes	Turf
a1	2,9 (1,9)	41,4 (12,0)	5,3 (5,5)	38,6/65,8	0,7/0,2	< 0,05/0,11	0,3/0,6	87,2	–	7,3
a2	3,3 (1,2)	48,5 (4,2)	2,8 (4,2)	3,7/7,5	< 0,1/0,2	< 0,05/0,07	0,1/0,6	7,1	37,0	28,9
a3	3,2 (1,2)	48,9 (2,6)	1,8 (2,3)	2,7/6,5	< 0,1/0,1	< 0,05/0,14	0,2/0,6	26,9	18,2	3,5
a4	2,8 (1,0)	50,3 (0,3)	0,6 (0,3)	0,3/1,1	< 0,1/< 0,1	< 0,05/0,05	0,2/0,1	9,5	63,2	0,9
b1	2,9 (1,2)	42,8 (11,0)	5,0 (7,3)	11,1/51,1	0,1/0,4	< 0,05/0,08	0,1/10,7	59,7	2,6	5,4
b2	3,0 (1,4)	47,9 (7,2)	2,8 (4,6)	1,7/4,5	< 0,1/0,1	< 0,05/0,05	< 0,1/0,1	11,5	17,4	8,1
b3	2,4 (1,0)	48,8 (4,0)	1,7 (2,2)	3,9/3,1	< 0,1/0,1	0,05/0,06	0,3/0,3	1,3	18,6	46,4
b4	2,9 (1,4)	49,2 (4,1)	1,6 (2,4)	0,8/1,7	< 0,1/0,1	< 0,05/0,18	0,3/0,4	4,2	67,6	4,3

## Composition biogéochimique des sédiments

	Carbone organique (%)	Carbonates (%)	Carbone hydrolysable (% de carbone organique)	Carbone minéral (%)	C/N	Hydrates de carbone (mg/g)	Acides aminés (mg/g)
a1	3,55	34,71	48,56	4,16	15,30	19,76	8,10
a2	0,26	88,33	74,20	10,60	8,77	1,44	2,33
a3	0,28	91,21	32,58	10,95	10,83	0,90	1,25
a4	0,17	95,05	85,01	11,41	11,88	0,66	0,65
b1	1,94	13,73	54,76	1,65	17,89	3,56	4,23
b2	0,5	84,98	66,57	10,20	10,42	2,12	2,56
b3	0,2	92,38	83,61	11,09	14,45	1,00	2,73
b4	0,16	94,64	72,12	11,36	13,63	0,91	2,57

\* Pour les sels nutritifs, deux valeurs sont données : saison sèche (juin 1993) et saison humide (février 1994). Les écarts types sont entre parenthèses. df : index de diffusion, FTU : unité universelle de turbidité ; gazons à microalgues.

**Tableau II.** Corrélations entre la structure des communautés et les facteurs environnementaux. Résultats des regressions linéaires (pour la richesse spécifique, l'abondance et le % de recouvrement) et des analyses canoniques des correspondances (pour la composition spécifique). Seuls les coefficients de corrélation dont la probabilité associée est supérieure à 0,05 sont indiqués (test de Fisher). Pour les analyses canoniques des correspondances, les % d'inertie des matrices espèces–stations expliqués par les facteurs sélectionnés (\*\*) sont les suivants : 65,6 % pour les coraux, 41,4 % pour les algues, 81,1 % pour les mollusques, 77,8 % pour les éponges et 73,9 % pour les échinodermes. Distance : distance entre la radiale et l'embouchure de la rivière en fond de baie\*.

	Dist	Agit	Cond	Turb	Silic	Phos	Nitri	Nitra	Sab	ACE	Turf	Org	Carb	Hydro	Min	C/N	Hydra	AA
<b>Coraux</b>																		
Richesse spécifique	0,86	–	0,77	–0,80	–0,75	–	–	–	–0,78	0,83	–	–0,78	–	–	–	–	–0,75	–0,71
Abondance	0,86	–	–0,77	–	–	–	–	–	–	0,80	–	–	–	–	–	–	–	–
% de recouvrement	0,75	–	–0,73	–0,72	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,76	–	–	–	–
Composition spécifique	–	–	–	–	–	–	–	–	**	**	–	–	–	–	–	–	–	–
<b>Algues</b>																		
Richesse spécifique	0,87	–	0,95	–0,94	–0,92	–	–	–	–0,84	–	–	–0,92	0,86	–	0,87	–	–0,82	–0,94
% de recouvrement	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Composition spécifique	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	**	–
<b>Mollusques</b>																		
Richesse spécifique	–	–	–	–	–0,71	–	–	–	–0,71	–	–	–0,73	–	–	–	–	–0,71	–
Abondance	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Composition spécifique	–	**	–	–	–	–	–	–	–	–	–	**	**	–	–	–	–	–
<b>Éponges</b>																		
Richesse spécifique	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Abondance	–	–	–	–	–	–	–	–	0,78	–	–	–	–	–0,82	–	–	–	–
Composition spécifique	–	**	–	–	–	–	–	–	–	**	–	**	–	–	–	–	–	–
<b>Échinodermes</b>																		
Richesse spécifique	0,74	–	–	–0,71	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Abondance	–	–0,75	–	–	–	–	–	–	–	–	0,73	–	–	–	–	–	–	–
Composition spécifique	–	–	–	–	**	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	**

\* Dist : distance ; Agit : agitation ; Cond : conductivité ; Turb : turbidité ; Sil : silicates ; Phos : phosphates ; Nitri : nitrites ; Nitra : nitrates ; Sab : sable ; ACE : algues calcaires encroûtantes ; turf : gazons à microalgues ; Org. : carbone organique ; Carb : carbonates ; Hydro : carbone hydrolysable ; Min : carbone minéral ; Hydra : hydrates de carbone ; AA : acides aminés.



fait l'objet d'un article séparé, doit être réalisée avec beaucoup de précautions [6].

Le schéma de répartition spatiale mis en évidence pour les coraux et les échinodermes dans cette étude, à savoir faible diversité en fond de baies et augmentation à l'approche de l'entrée de baies, semble être une caractéristique des baies en Polynésie française. En effet, le même type de zonation a été observé dans les baies de Port Phaéon (île de Tahiti), de Maroe (île de Huahine) et de Faaroa (île de Raiatea) (observations personnelles). Ce type de zonation a également été décrit dans des baies aux Fiji [21], dans le golfe du Mexique [22], à Porto Rico [23] et à Hawaii [24]. Néanmoins, la faible diversité des coraux en fond de baies ne semble pas être une caractéristique commune à toutes

les baies des écosystèmes coralliens. En effet, des études réalisées en Micronésie et aux îles Salomon font état de communautés coralliennes bien diversifiées dans les parties internes des baies, comprenant une grande proportion d'espèces adaptées aux milieux turbides et d'hypersédimentation [17, 25, 26]. L'absence de ces espèces en Polynésie française serait dû à l'isolement biogéographique de cette région.

**Remerciements :** Je tiens à exprimer mes plus vifs remerciements aux personnes suivantes : J. Algret, R. Buscail, L. Cadoret, Y. Chancerelle, B. Delesalle, S. Frontier, R. Galzin, M. Harmelin-Vivien, P. Legendre, R. Morancy, C. Payri, M. Pichon, B. Salvat et C. Wilkinson.

## Références

- [1] Sorokin Y.I., Coral Reef Ecology, Ecological Studies Vol. 102, Springer-Verlag, Berlin, 1995.
- [2] Pichon M., Morrissey J., Benthic zonation and community structure of South Island Reef, Lizard Island (Great Barrier Reef), Bull. Mar. Sci. 31 (1981) 581–593.
- [3] Galzin R., Structure of fish communities of French Polynesian coral reefs. I. Spatial scales, Mar. Ecol. Progr. Ser. 41 (1987) 129–136.
- [4] van den Hoek C., Breeman A.M., Bak R.P.M., van Buurt G., The distribution of algae, corals and gorgonians in relation to depth, light attenuation, water movement and grazing pressure in the fringing reef of Curaçao, Netherlands Antilles, Aquat. Bot. 5 (1978) 1–46.
- [5] Sheppard C.R.C., Coral cover, zonation and diversity on reef slopes of Chagos Atolls, and population structures of the major species, Mar. Ecol. Progr. Ser. 2 (1980) 193–205.
- [6] Adjeroud M., Factors influencing spatial patterns on coral reefs around Moorea, French Polynesia, Mar. Ecol. Progr. Ser. 159 (1997) 105–119.
- [7] Sheppard C.R.C., Coral populations on reef slopes and their major controls, Mar. Ecol. Progr. Ser. 7 (1982) 83–115.
- [8] Adjeroud M., Salvat B., Spatial patterns in biodiversity of a fringing reef community along Opunohu Bay, Moorea, French Polynesia, Bull. Mar. Sci. 59 (1996) 175–187.
- [9] Cadoret L., Legendre P., Adjeroud M., Galzin R., Répartition spatiale des Chaetodontidae dans différents secteurs récifaux de l'île de Moorea, Polynésie française, Ecoscience 2 (1995) 129–140.
- [10] Jokiel P.L., Morrissey J.I., Water motion on coral reefs: evaluation of the 'clod-card' technique, Mar. Ecol. Progr. Ser. 93 (1993) 175–181.
- [11] ter Braak C.J.F., Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis, Ecology 67 (1986) 1167–1179.
- [12] Chevalier J.P., Kühlmann D.H.H., Les Scléractiniaires de Moorea, île de la Société (Polynésie française), J. Soc. Océan. 77 (1983) 55–75.
- [13] Grigg R.W., Community structure, succession and development of corals reefs in Hawaii, Mar. Ecol. Progr. Ser. 11 (1983) 1–14.
- [14] Salvat B., Importance de la faune malacologique dans les atolls polynésiens, Cah. Pacif. 11 (1967) 7–49.
- [15] MacArthur R.H., Wilson E.O., The Theory of Island Biogeography, Princeton University Press, Princeton, 1967.
- [16] Richard G., Faune et flore. Premier abrégé des organismes marins de Polynésie française, Proc. 5th Int. Coral Reef Congr. 1 (1985) 379–520.
- [17] Horikoshi M., So-called 'embayment degree' recognized in the coastal regional ecosystem in Ryukyu and Palau, Galaxea 7 (1988) 197–210.
- [18] Horikoshi M., Kabira Cove: interdisciplinary study of a physiographic unit in tropical coastal waters of Japan, Proc. 4th Int. Coral Reef Symp. 1 (1981) 699–706.
- [19] Salvat B., Vergonzanne G., Galzin R., Richard G., Chevalier J.P., Ricard M., Renaud-Mornant J., Conséquences écologiques des activités d'une zone d'extraction de sable corallien dans le lagon de Moorea (île de la Société, Polynésie française), Cah. Indo-Pacifique 1 (1979) 83–126.
- [20] Dunson W.A., Travis J., The role of abiotic factors in community organization, Am. Nat. 138 (1991) 1067–1091.
- [21] Squire D.F., Corals at the mouth of the Rewa River, Viti Levu, Fiji, Nature 195 (1962) 361–362.
- [22] Lara M., Padilla C., Garcia C., Espejel J.J., Coral reef of Veracruz Mexico. I. Zonation and community, Proc. 7th Int. Coral Reef Symp. 1 (1992) 535–544.
- [23] Acevedo R., Morelock J., Effects of terrigenous sediment influx on coral reef zonation in Southwestern Puerto Rico, Proc. 6th Int. Coral Reef Symp. 2 (1988) 189–194.
- [24] Maragos J.E., Evans C., Holthus P., Reef corals in Kaneohe Bay six years before and after termination of sewage discharges (Oahu, Hawaiian Archipelago), Proc. 5th Int. Coral Reef Congr. 4 (1985) 189–194.
- [25] Morton J., The coral reefs of the British Solomon Islands: a comparative study of their composition and ecology, Proc. 2nd Int. Coral Reef Symp. 2 (1974) 31–53.
- [26] Licuanan W.Y., Gomez E.D., Coral reefs of the Northwestern Philippines: a physiognomic-structural approach, Proc. 6th Int. Coral Reef Symp. 3 (1988) 275–280.