

Caractérisation faciologique des sédiments récifaux de l'île Maurice par l'analyse factorielle des correspondances

Analyse factorielle
Sédiments récifaux
Constituants biodétritiques
Granulométrie
Océan Indien

Factor analysis
Reefal sediments
Skeletal components
Grain-size analysis
Indian Ocean

L. Montaggioni^a, J. Mahé^b

^a Université Française de l'Océan Indien, 97400 Saint-Denis-de-La-Réunion, et
Laboratoire de Géologie Marine, Université d'Aix-Marseille II, 13288 Marseille
Cedex 02.

^b Laboratoire de Géologie, Centre Universitaire d'Avignon, 84000 Avignon.

Reçu le 26/12/79, révisé le 29/4/80, accepté le 6/5/80.

RÉSUMÉ

L'analyse factorielle des correspondances a été appliquée à l'étude de sédiments des récifs coralliens de l'île Maurice (Océan Indien occidental). Chaque échantillon et les variables qui le déterminent (14 constituants sédimentaires et 7 paramètres granulométriques), sont projetés simultanément sur des diagrammes à deux dimensions définis par des axes de variation maximale. Cette méthode permet d'analyser les associations et les oppositions entre échantillons et variables, d'identifier et de choisir les variables et les représentations graphiques les plus intéressantes pour caractériser les diverses unités morphosédimentaires récifales, et de définir les principaux facteurs régissant la sédimentation sur ces récifs (hydrodynamique, distribution des communautés biologiques benthiques, comportement hydraulique des particules sédimentaires). A la lumière des données de la bionomie benthique, on a pu mettre en évidence trois grandes zones récifales, relativement autonomes sur le plan de la production biodétritique et caractérisées par leurs biofaciès et le mode de déplacement des particules : zone externe à Alcyonaires, Bryozoaires et Foraminifères (prédominance de la saltation); zone intermédiaire à Coraux, Échinodermes, Serpules et Mélobésiées (prédominance de la traction); zone interne à Mollusques, Crustacés et Spongiaires (prédominance de la suspension).

Oceanol. Acta, 1980, 3, 4, 409-420.

ABSTRACT

Facies characterization of reefal sediments from
Mauritius Island (Western Indian Ocean)
by correspondence factor analysis.

Correspondence factor analysis has been applied to the study of reef depositional environments from Mauritius Island (Western Indian Ocean). In order of decreasing water depth, the following reef units have been identified: an outer zone including outer sandy spreads, lower sloping platforms and spur-and-groove systems; narrow reef flats; and backreef zones comprising boulder-and-shingle spreads, sandy bottoms locally colonized by coral buildups and sea grasses, channels and pools, littoral muddy shoals and mangrove swamps or sandy beaches. Each sediment sample is determined by the relative (percentage) abundance of 14 components (Foraminifera, Alcyonarians, Bryozoans, Corals, Echinoderms, Serpulids, Coralline algae, Molluscs, Crustaceans, Sponges, *Halimeda*, aggregates, oxidized and reduced particles), and the values of 7 grain-size parameters (mean size, sorting, skewness, kurtosis, percentages of traction, saltation and suspension sub-populations). The samples and variables are simultaneously projected in two-dimensional diagrams defined by axes of maximum variation. The use of correspondence analysis permitted the analysis of associations and oppositions, the

identification and selection of the most interesting variables and graphic representations for the recognition of different reef environments, and the definition of the main sedimentation-controlling factors (wave energy; distribution of sediment-producing organisms; hydraulic properties of particles). The first of these factors is largely related to the physiographical and hydrodynamical gradient, which controls the chemical state, depositional process and sorting of sedimentary particles, and the skeletal production of reef-associated organisms. Similarly, the second factor is partly a reflection of water energy conditions and of the distribution of sediment producers. The third factor is expected to account for relationships between the percentage abundance of particular sediment components and the mean size and kurtosis values. Three main reef zones may be distinguished on the basis of the distribution of sediment-producing organisms and related sedimentary facies; each of these zones is relatively autonomous as a skeletal producer, and is characterized by its biofacies and the mode of sediment transport: the outer zone displays Alcyonarian, Bryozoan and Foraminifera facies, mainly removed by saltation; the intermediate ("reefal") zone displays Coral, Echinoid, Serpulid and Coralline algal facies, mainly removed by traction; and the inner zone displays Molluscan, Crustacean and Sponge facies, chiefly related to suspension.

Oceanol. Acta, 1980, 3, 4, 409-420.

INTRODUCTION

Dans un précédent travail, les principales unités morphosédimentaires des récifs coralliens des îles Mascareignes (Océan Indien occidental) ont pu être caractérisées par l'application d'une méthode empirique simple (détermination de coefficients de bioclasticité, Montaggioni, 1978). La définition des biofaciès correspondant se heurtant à l'impossibilité d'utiliser l'ensemble des données disponibles, il avait été indispensable, pour obtenir l'information susceptible d'être directement accessible, de choisir les caractères considérés comme les plus représentatifs du système sédimentaire (en l'occurrence, la répartition de 5 constituants sédimentaires : Coraux, Mollusques, Foraminifères, Alcyonaires, Crustacés).

L'emploi d'analyses statistiques offre à la biofaciologie une approche nouvelle, car le traitement mathématique prend en compte l'ensemble de l'information contenue dans les données, et en extrait une expression graphique, synthétique et objective. A la suite de Pusey (1975), Wallace et Shafersman (1977), Erez et Gill (1977) et Flood

et al. (1978), nous avons appliqué une méthode d'analyse multivariée (l'analyse factorielle des correspondances) à l'étude de sédiments récifaux (complexe récifal de l'île Maurice, archipel des Mascareignes); cette méthode permet de prendre en compte la distribution de l'ensemble des constituants sédimentaires et les paramètres granulométriques.

PHYSIOGRAPHIE DU COMPLEXE RÉCIFAL

D'une superficie de 1865 km², l'île Maurice, située par 19°50' et 20°30' de latitude Sud et 57°10' et 57°50' de longitude Est, se prolonge par un plateau sous-marin dont la largeur (25 km) est favorable au développement d'importants complexes récifaux (300 km²) (fig. 1 A). Ces récifs sont de type frangeant, à l'exception de celui de la région de Mahébourg, qui présente localement les caractères d'un récif-barrière (présence d'un profond chenal d'arrière-récif); leur largeur varie considérablement (de 200 m à 7 km).

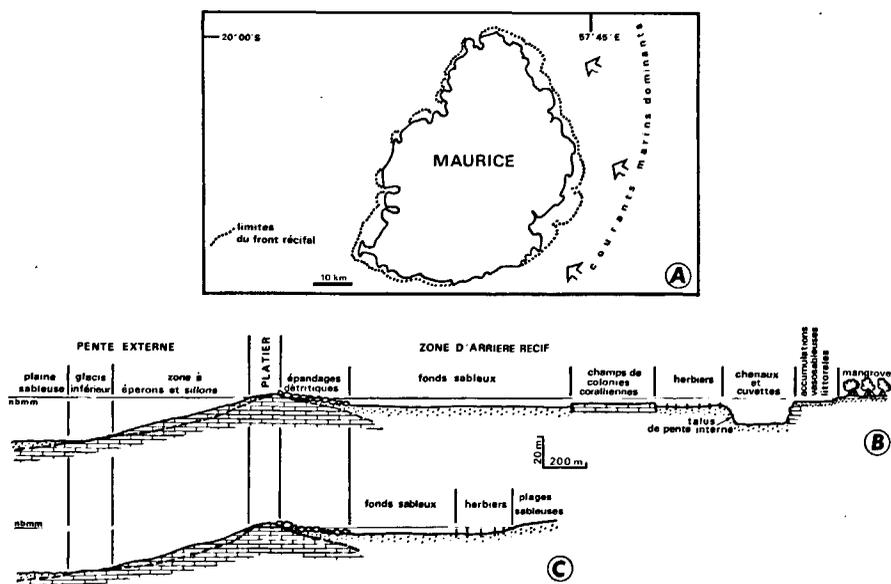


Figure 1
Physiographie des récifs coralliens de l'île Maurice (Océan Indien occidental). A : localisation et disposition générale des édifices récifaux; B : profil transversal des larges édifices récifaux (secteurs orientaux et sud-occidentaux); C : profil transversal des étroits récifs frangeants (secteurs méridionaux et nord-occidentaux); n b mm = niveau des basses mers moyennes.

Physiography of coral reefs from Mauritius Island (Western Indian Ocean). A: location and general arrangement of reef tracts; B: schematic cross-section of large reef tracts (Eastern and South-Western areas); C: schematic cross-section of narrow fringing reefs (Southern and North-Western areas); n b mm = mean low tide level.

De la mer ouverte vers la côte, trois compartiments se succèdent en fonction de la bathymétrie et de la topographie (Pichon, 1967; Faure, Montaggioni, 1971, 1976; Montaggioni, 1978) (fig. 1 B et C). La terminologie utilisée est celle décrite par Battistini *et al.* (1975).

La pente externe

Elle correspond à la partie antérieure toujours immergée des récifs et comprend trois unités :

- entre 20 et 60 m de profondeur, la *plaine sableuse externe*, vaste étendue régulière de sables isométriques oxydés;
- entre 15 et 20 m, le *glacis récifal inférieur*, dalle à faible revêtement organogène et recouverte de dépôts sableux discontinus;
- du niveau des basses mers de vives eaux à la profondeur de 15 m, la *zone à éperons et sillons*: elle est constituée d'échines bioconstruites, alignées plus ou moins perpendiculairement au front récifal, qui alternent avec des sillons dont le fond est irrégulièrement tapissé de sédiments biodétritiques.

Le platier récifal

Il se présente sous l'aspect d'une étroite plate-forme (20-50 m) de faible déclivité, dominée par des peuplements à base de Madréporaires et de Mélobésiées encroûtantes.

La zone d'arrière-récif

La largeur de ce compartiment varie de quelques dizaines de mètres (secteur Nord-Ouest) à plusieurs kilomètres (secteur Sud-Est). La profondeur moyenne n'excède pas 2 m.

Le passage du platier aux formations d'arrière-récif s'effectue par l'intermédiaire d'*épandages détritiques* (dépôts bioclastiques hétérométriques sans formation de relief), pouvant s'étaler, en continuité topographique avec la surface du platier, sur plusieurs centaines de mètres.

En arrière de ces traînées, s'individualise une zone hétérogène, essentiellement biodétritique et accidentée de bioconstructions et de dépressions. On peut y distinguer les unités morphosédimentaires suivantes :

- les *fonds sableux*, vastes accumulations monotones de sables relativement isométriques;
- les *herbiers*, banquettes sableuses ou vaso-sableuses de relief plus ou moins accusé, édifiées par une ou plusieurs espèces de Phanérogames marines;
- les *champs de colonies coralliennes*, constructions à sommets non arasés, de 0,2 à 1 m de haut, élaborées par des colonies isolées ou anastomosées de Scléactiniaires et délimitant des cuvettes vaso-sableuses;
- les *chenaux et cuvettes enclavés*, dépressions peu profondes (3-15 m), sans communication avec la mer ouverte, dans lesquelles se déposent des vases sableuses bioclastiques;

- les *chenaux paraliques*, disposés parallèlement à la ligne de rivage, de 6 à 35 m de profondeur et de 50 à 1 500 m de largeur. Le fond est de nature généralement sablo-vaseuse;

- les *talus détritiques de pente interne*, accumulations biodétritiques sableuses ou vaso-sableuses à forte pente, raccordant les bords supérieurs des chenaux à leurs fonds; elles sont localement accidentées de pâtés coralliens de taille plurimétrique;

- les *accumulations vaso-sableuses littorales*, étroites bandes de 5 à 50 m de large, situées en avant des plages sableuses ou des mangroves, et alimentées à la fois par les apports biogènes récifaux et les apports terrigènes fluvio-torrentiels;

- les *mangroves*, peuplements de palétuviers et algues filamenteuses colonisant des atterrissements littoraux sablo-vaseux de largeur décamétrique à kilométrique;

- les *plages sableuses*, principalement développées en arrière des édifices récifaux étroits (secteurs méridionaux et occidentaux de l'île) sur une largeur de 15 à 50 m.

Étant donnée la prépondérance des vents du Sud-Est et de l'Est-Sud-Est (alizés), les récifs coralliens de l'île Maurice sont soumis à un régime courantologique qui répond au schéma suivant :

- durant la saison chaude (novembre à mai), en l'absence de perturbations cycloniques, les récifs reçoivent généralement une houle de très faible amplitude (0,2-0,5 m). Les houles cycloniques occasionnelles, principalement originaires du Nord et du Nord-Est, sont violentes (amplitude moyenne de 4 m);

- durant la saison fraîche, les secteurs orientaux sont directement exposés à la houle dominante (amplitude maximale : 3,5 m); seules les parties occidentales Sous-le-Vent demeurent relativement abritées.

L'amplitude des marées étant faible (0,9 m en vives eaux), les résultantes des actions hydrodynamiques déterminent l'existence d'un courant unidirectionnel dirigé de l'extérieur vers l'intérieur des récifs.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Obtention des données de base

Les échantillons sédimentaires ont été prélevés manuellement le long de radiales prédéterminées, depuis le littoral jusqu'à des profondeurs de 60 m.

Granulométrie et dynamique sédimentaire

Après lavage et séchage, chaque échantillon a été séparé, par tamisage, en 2 fractions, respectivement inférieure et supérieure à 40 μ . Chaque fraction a fait l'objet d'une analyse granulométrique, par tamisage mécanique ou par densimétrie. Les recherches méthodologiques de Weydert (1973, p. 24-96) et de Montaggioni (1978, p. 98-108) ont montré que, dans le cas de sédiments bioclastiques, les interprétations de dynamique sédimentaire, fondées sur les seules données

granulométriques, étaient fiables, malgré la nature hétérogène des populations sédimentaires (mélanges complexes de particules aux propriétés hydrauliques différentes). Aussi, à partir des courbes semi-logarithmiques ont été calculés un certain nombre d'indices granulométriques classiques : taille moyenne, triage, asymétrie (ou skewness) et normalité des distributions (ou Kurtosis) de Folk et Ward (1957); en outre, l'utilisation de courbes de probabilité a permis de définir, en suivant la méthode de Visser (1969), un ensemble de stocks sédimentaires en relation avec le mode de déplacement des particules (traction, saltation, suspension). La détermination des limites dimensionnelles des divers stocks sédimentaires par simple lecture graphique étant généralement imprécise, nous avons résolu mathématiquement ce problème en faisant appel à la méthode dite des *spirales logarithmiques*, et au programme de traitement informatique des données correspondantes, établis par Weydert (1973, 1976).

Nature et répartition des constituants sédimentaires

222 échantillons, considérés comme représentatifs des sédiments des diverses unités morphosédimentaires, ont été sélectionnés pour une analyse de leurs constituants. L'évaluation du pourcentage des différentes catégories de

composants a été réalisée suivant la technique préconisée par Masse (1968). La fraction supérieure à 40 μ de l'échantillon à analyser est préalablement séparée en différentes classes granulométriques par tamisage. Au niveau de chaque fractile, on compte environ 100 particules; on observe ainsi, en moyenne, de 800 à 1 500 grains par échantillon. Pour chaque catégorie de constituant, le pourcentage numéral obtenu dans chaque fraction granulométrique est multiplié par un coefficient correspondant au pourcentage pondéral de la fraction considérée. La totalisation de ces résultats donne le pourcentage pondéral d'un constituant donné par rapport à l'échantillon total.

14 catégories de constituants sédimentaires ont été définies : Coraux (Madrépores et Hydrocoralliaires), Algues calcaires Mélobésiées, Mollusques (Pélécy-podes et Gastropodes), Foraminifères (dont environ 99 % de formes benthiques), Échinodermes, spicules d'Alcyonaires, spicules de Spongiaires, Bryozoaires, Algues calcaires du genre *Halimeda*, Serpules, Crustacés, agrégats (éléments constitués de 2 ou plusieurs grains carbonatés non squelettiques, de forme variable et liés entre eux par une matrice cryptocristalline; Milliman, 1974, p. 42), débris organiques indéterminés et minéraux volcaniques. Deux catégories plus ou moins artificielles (éléments oxydés et réduits) ont été superposées à celles des constituants.

	Pente externe			Récif		Zone d'arrière-récif								
	Plaine sableuse externe	Glacis inférieur	Zone à éperons et sillons	Platier récifal	Épandages détritiques	Fonds sableux	Herbiers de Phanérogames	Champs de colonies coralliennes	Chenaux et cuvettes enclavés	Chenaux parallèles	Talus de pente interne	Accumulations sablo-vaseuses littorales	Mangroves	Plages sableuses
Nombre d'échantillons traités	7	7	7	10	13	15	10	7	6	6	4	5	3	15
Pourcentage moyen de la fraction inférieure à 40 μ m	0	0	0	0	1	1	1.5	6.0	22.5	26.3	1	20.2	39.0	0
Taille moyenne (mm)	0.52	1.09	1.15	1.60	1.63	1.03	0.63	0.50	0.15	0.07	0.49	0.34	0.59	0.82
Indice de triage	0.73	0.97	0.77	0.99	1.18	1.33	1.23	1.23	1.44	1.75	1.03	1.55	3.08	0.72
Skewness	-0.20	-0.20	-0.13	-0.09	-0.16	-0.11	-0.10	-0.05	-0.04	+0.33	-0.11	+0.12	+0.16	-0.07
Kurtosis	1.18	1.08	1.07	1.12	0.96	1.07	0.95	0.92	1.39	1.58	1.03	1.39	1.19	1.09
Stock en traction (%)	2.4	7.7	1.8	12.1	18.7	16.7	8.8	9.3	2.8	0.3	8.7	5.6	16.3	6.3
Stock en saltation (%)	81.8	88.4	94.6	84.9	68.3	75.5	76.7	76.5	33.1	19.8	83.0	56.8	37.0	86.0
Stock en suspension (%)	15.7	3.8	3.6	3.0	5.6	7.9	14.5	14.1	38.4	79.8	8.2	37.6	46.6	7.6
Coraux	11.4	23.5	18.0	27.5	27.6	18.8	15.3	35.5	42.7	44.5	19.4	18.6	10.7	18.0
Mollusques	26.4	24.9	21.9	25.7	25.4	35.3	37.7	22.8	35.3	28.9	37.2	44.3	77.0	39.6
Mélobésiées	23.9	16.5	18.1	19.3	22.2	24.3	22.0	21.6	6.7	7.8	17.8	17.3	2.8	24.6
<i>Halimeda</i>	4.0	1.0	0.2	0.4	2.6	2.8	5.6	2.6	2.4	0.1	2.7	5.8	2.7	2.2
Crustacés	5.2	1.8	1.3	1.3	2.7	3.4	5.3	4.5	2.9	3.2	7.3	5.1	1.4	1.5
Échinodermes	0.5	0.6	0.9	1.5	1.9	1.3	0.9	0.8	0.1	3.8	1.6	1.0	0	1.4
Alcyonaires	5.4	1.6	0.9	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.3	0.8	1.0	0.6	0	1.0
Bryozoaires	2.8	1.0	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1
Spongiaires	1.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	2.3	0.1	0.2	0.3	0.1
Serpules	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0	0.1	0	0	0.1
Foraminifères	12.4	22.5	32.9	17.1	10.6	8.0	3.3	5.1	4.8	3.6	2.4	1.8	1.0	5.7
Agrégats	0.1	0.8	0.8	0.5	1.0	0.5	1.3	0.3	0.3	0	0.9	0.2	2.5	0.9
Indéterminés	6.1	4.8	4.5	6.0	4.4	4.4	7.5	4.4	5.3	4.5	8.9	5.1	1.8	4.6
Éléments oxydés (%)	19.2	13.6	12.0	17.2	1.3	0	0.1	0.1	0	0	0	0	0	6.0
Éléments réduits (%)	0.9	0	0	0.1	9.2	6.3	25.5	11.0	12.3	14.5	23.7	16.9	12.5	3.7

Tableau

Caractères granulométriques et composition moyenne des échantillons sédimentaires en provenance des récifs coralliens de l'île Maurice.
Grain-size characteristics and mean composition of sediment samples from coral reefs of Mauritius Island.

Traitement des données par l'analyse factorielle des correspondances

Généralités sur l'analyse factorielle des correspondances

Nous ne donnerons qu'un très bref aperçu de la technique de l'analyse factorielle des correspondances. Cette méthode mathématique est exposée en détail par Benzécri (1973), Mahé (1974), Jöreskog *et al.* (1976).

Soit n individus définis par p variables : on peut leur faire correspondre n points-observations dans un espace des variables à p dimensions et, réciproquement, p points-variables dans un espace des observations à n dimensions. La technique revient à projeter ces deux espaces associés sur des axes factoriels hiérarchisés, avec une déformation minimale appréciée par le pourcentage d'information porté par chaque axe. La combinaison de ces axes permet de définir des espaces factoriels à dimensions d'ordre peu élevé cumulant l'information des axes utilisés, qui correspondent à des représentations simplifiées, directement accessibles, des espaces multidimensionnels. Les distances entre points-variables et points-observations traduisent les degrés de similitude entre individus et les degrés de corrélation entre variables, ou entre individus et variables. L'analyse s'exprime graphiquement par la projection simultanée des points-observations et des points-variables, sur des plans définis par la combinaison des premiers axes factoriels pris deux à deux. Ainsi l'étude du premier plan factoriel (axes 1-2), complété par le second (axes 1-3), permet de définir les affinités et oppositions respectivement entre les observations et les variables, et d'interpréter la distribution des points des uns par celle des autres, en particulier la distribution des observations en fonction de la position des variables.

Préparation des données

Le traitement simultané d'observations trop nombreuses aurait présenté un risque de confusion. Il était donc opportun de constituer, à partir des données initiales, un échantillonnage global réduit, mais représentatif de l'ensemble.

Par ailleurs, dans l'analyse factorielle des correspondances, la pondération des variables et des observations est telle que l'influence des grandes valeurs absolues est minorée au profit de l'influence des variations relatives. Aussi est-il superflu, voire néfaste, de maintenir, dans l'échantillonnage, des variables ou des individus dont la singularité est évidente. En conséquence, après sélection rationnelle et premier traitement mathématique de prélèvements représentatifs, nous avons retenu en définitive 115 individus (échantillons ou observations) et 21 variables (7 paramètres granulométriques et 14 catégories de composants sédimentaires) (tableau).

La démarche est de considérer, en premier lieu, certaines catégories de variables en vue d'une différenciation à caractère spécifique, puis de regrouper la totalité des données disponibles, afin d'obtenir une image de répartition des diverses unités morphosédimentaires récifales de valeur régionale.

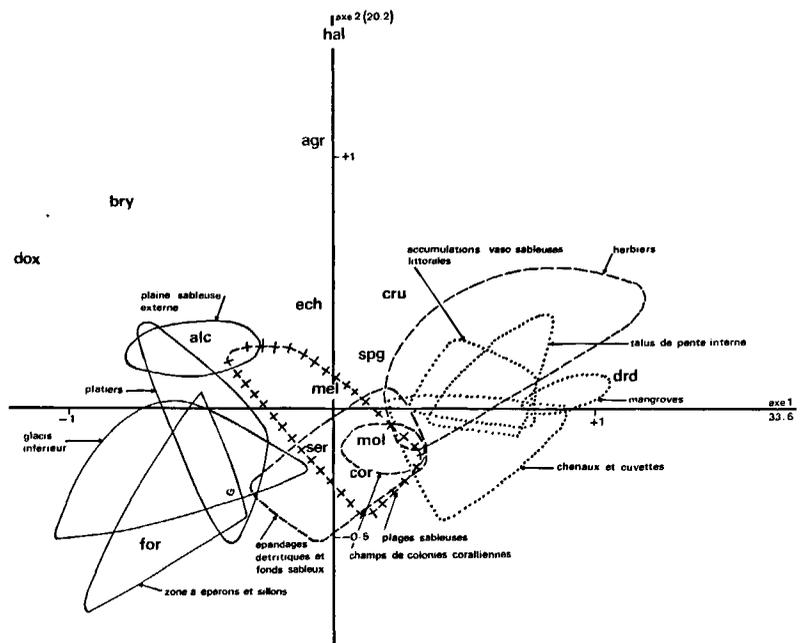


Figure 2

Répartition des unités morphosédimentaires en fonction de 14 variables (constituants sédimentaires) et 115 observations (plan factoriel 1,2). Abréviations utilisées : cor, Coraux; mel, Mélobésiées; mol, Mollusques; for, Foraminifères; bry, Bryozoaires; alc, Alcyonaires; ser, Serpules; ech, Échinodermes; cru, Crustacés; spg, Spongiaires; hal, *Halimeda*; agr, agrégats; dox, éléments oxydés; drd, éléments réduits. Figurés utilisés : traits continus, zones externe et frontale; traits discontinus, zones internes proximales; pointillés, zones internes distales; croix, plages sableuses.

Distribution of reef units based on 14 variables (sediment constituents) and 115 observations (factor axes 1 and 2). Abbreviations: cor, Corals; mel, Coralline algae; mol, Molluscs; for, Foraminifera; bry, Bryozoans; alc, Alcyonarians; ser, Serpulids; ech, Echinoderms; cru, Crustaceans; spg, Sponges; hal, *Halimeda*; agr, aggregates; dox, oxidized particles; drd, reduced particles. Conventional signs: continuous dashed lines, outer and frontal zones; discontinuous dashed lines, outer backreef zones; dotted lines, inner backreef zones; crossed line, sandy beaches.

RÉSULTATS - ANALYSE DES DIAGRAMMES

Analyse de la position des variables

Exploitation des constituants sédimentaires

Les figures 2 et 3 montrent que le pourcentage total d'information recueilli sur les trois premiers axes est de 65,5 %.

L'axe 1 oppose les variables éléments oxydés, Foraminifères, Alcyonaires, Bryozoaires, à l'ensemble éléments réduits Mollusques-Crustacés-Serpules-Coraux-Spongiaires.

Suivant l'axe 2, le premier groupe de variables se dissocie selon le gradient Foraminifères-Alcyonaires-Bryozoaires, éléments oxydés. Au niveau du second ensemble, une certaine opposition apparaît entre Coraux, Mollusques, Serpules et éléments réduits, Crustacés, Spongiaires, Échinodermes. *Halimeda* et agrégats demeurent très excentrés, alors que les Mélobésiées sont proches du barycentre.

Par référence à l'axe 3, les variables du deuxième ensemble ont tendance à se regrouper, à l'exception du point « éléments réduits », tandis que celles du premier groupe demeurent étalées. Notons toutefois l'opposition entre le couple *Halimeda* - agrégats et la triade Mélobésiées-Serpules-Mollusques.

Figure 3

Répartition des unités morphosédimentaires en fonction de 14 variables (constituants sédimentaires) et 115 observations (plan factoriel 1,3). Voir figure 2 pour la signification des abréviations et des figurés.

Distribution of reef units based on 14 variables (sediment constituents) and 115 observations (factor axes 1 and 3). For abbreviations and conventional signs and lines, see Figure 2.

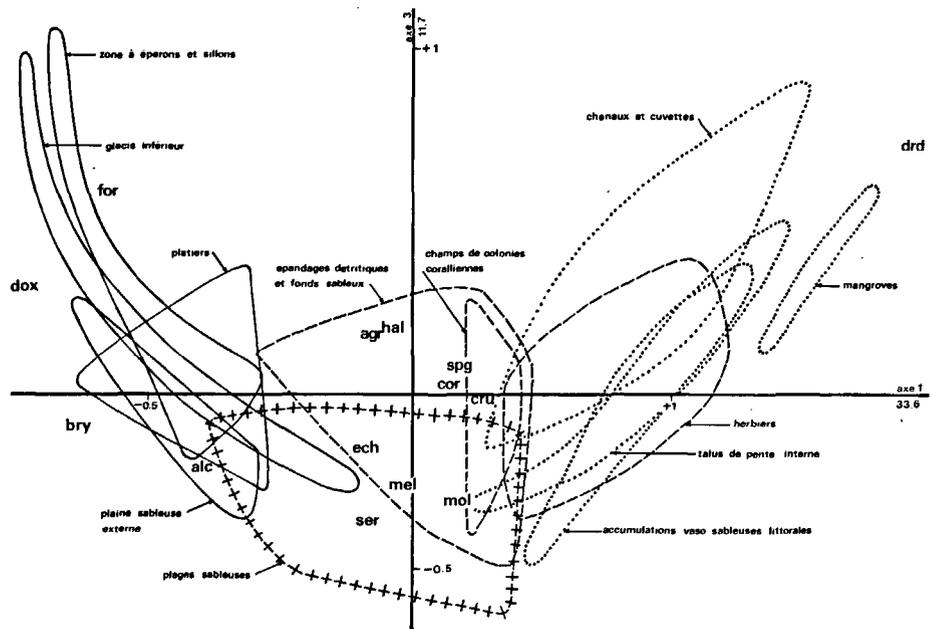


Figure 4

Répartition des unités morphosédimentaires en fonction de 12 variables (constituants sédimentaires) et de 115 observations (plan factoriel 1,2). Voir figure 2 pour la signification des abréviations et des figurés.

Distribution of reef units based on 12 variables (sediment constituents) and 115 observations (factor axes 1 and 2). For abbreviations and conventional signs and lines, see Figure 2.

Ainsi, dans les plans factoriels (1,2) et (1,3), l'axe 1 matérialise sans ambiguïté la répulsion qui se manifeste entre le groupe des éléments oxydés, Foraminifères, Bryozoaires, Alcyonaires, et celui des éléments réduits, Mollusques, Spongiaires et Crustacés.

L'élimination graphique des éléments oxydés et réduits accroît la signification des bioclastes, mais ne modifie pas de façon significative le schéma distributif précédent (fig. 4).

Exploitation des paramètres granulométriques

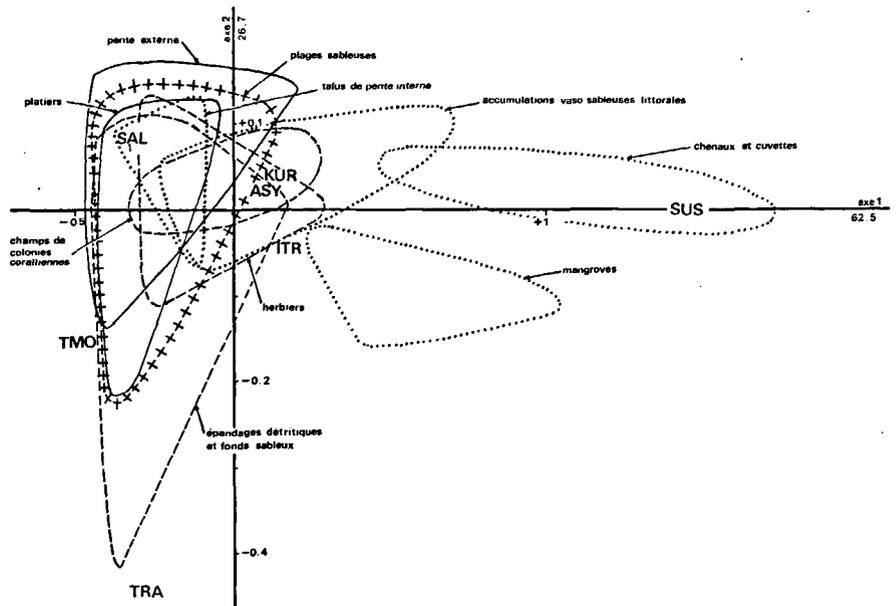
Le diagramme de la figure 5, qui correspond au plan factoriel (1,2), est à lui seul largement significatif, puisqu'il totalise 89,2 % de l'information initiale. Les 7 points-variables sont répartis suivant 3 pôles :

- un pôle défini par le couple traction-taille moyenne, qui s'oppose selon l'axe 2, à la variable saltation;
- un pôle défini par la variable saltation, qui est en nette opposition, par référence à l'axe 1, à la variable suspension;
- un pôle différencié par la variable suspension.

Figure 5

Répartition des unités morphosédimentaires en fonction des 7 paramètres granulométriques (plan factoriel 1,2). Abréviations utilisées : TRA, traction; SAL, saltation; SUS, suspension; TMO, taille moyenne; KUR, kurtosis; ITR, indice de triage; ASY, indice d'asymétrie. Voir figure 2 pour la signification des figurés.

Distribution of reef units based on 7 grain-size parameters (factor axes 1 and 2). Abbreviations: TRA, traction; SAL, saltation; SUS, suspension; TMO, mean size; KUR, kurtosis; ITR, sorting index; ASY, skewness; for conventional signs and lines, see Figure 2.



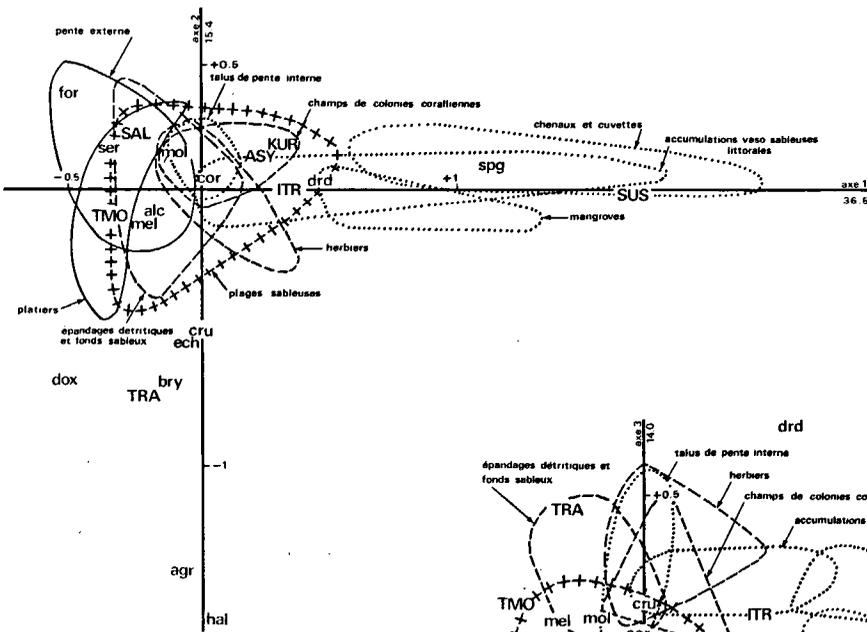


Figure 6

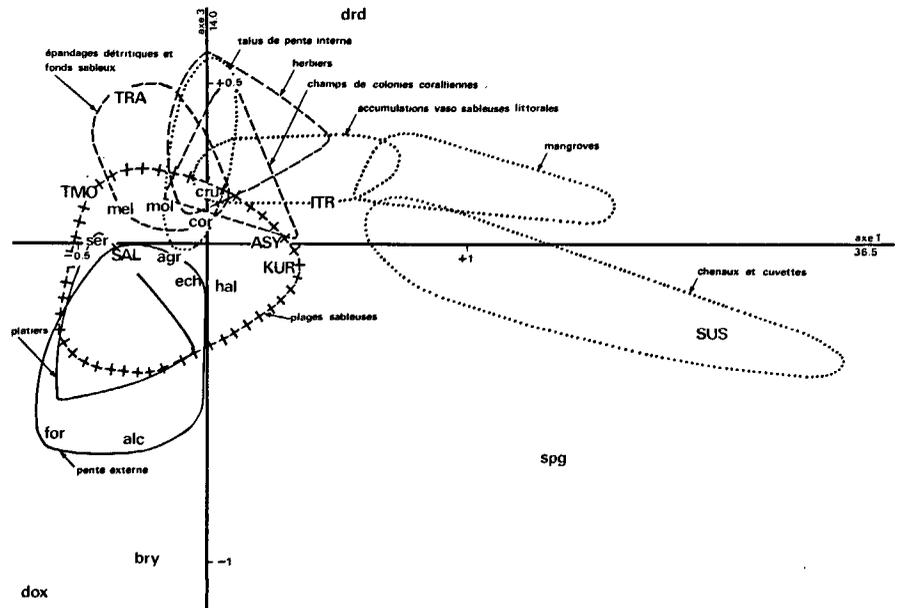
Répartition des unités morphosédimentaires en fonction de 21 variables (14 constituants sédimentaires et 7 paramètres granulométriques) et 115 observations (plan factoriel 1,2). Voir figures 2 et 5 pour la signification des abréviations et des figurés.

Distribution of reef units based on 21 variables (14 sediment constituents and 7 grain-size parameters) and 115 observations (factor axes 1 and 2). For abbreviations and conventional signs and lines, see Figures 2 and 5.

Figure 7

Répartition des unités morphosédimentaires en fonction de 21 variables (14 constituants sédimentaires et 7 paramètres granulométriques) et de 115 observations (plan factoriel 1,3). Voir figures 2 et 5 pour la signification des abréviations et des figurés.

Distribution of reef units based on 21 variables (14 sediment constituents and 7 grain-size parameters) and 115 observations (factor axes 1 and 3). For abbreviations and conventional signs and lines, see Figures 2 and 5.



Les variables skewness, kurtosis et indice de triage, situées près du barycentre, ne sont pas discriminantes. Cependant, il convient de noter que leur position est déterminée par celle des points-échantillons qui présentent, pour ces variables, les plus fortes valeurs absolues. En d'autres termes, les sédiments à forte asymétrie positive, à distribution gaussienne très accusée ou très mal triés, polariseront respectivement la distribution des variables précitées. Par suite, les échantillons à asymétrie négative, à distribution gaussienne peu accusée ou bien triés, présenteront une forte répulsion pour ces mêmes variables.

Exploitation combinée des constituants sédimentaires et des paramètres granulométriques

L'extraction des trois premiers axes restitue 65,9 % de l'information initiale (fig. 6 et 7). Le plan factoriel (1,2) met en évidence, suivant l'axe 1, une nette opposition entre deux groupes de variables : le premier groupe, très étalé, comprend les suspensions, l'indice de triage, le kurtosis, le skewness, les éléments réduits et les Spongiaires; le deuxième groupe est composé de deux associations : (1) saltation-Foraminifères-Serpules-Mollusques; (2) taille moyenne-Alcyonaires-Mélobésiées. Selon l'axe 2, ces deux dernières associations s'opposent à l'ensemble traction-éléments oxydés-Bryozoaires-

Crustacés-Échinodermes. Le point-variable « Coraux », projeté près du barycentre, et le couple *Halimeda* - agrégats, trop excentré, ne sont pas discriminants.

L'ordination dans le plan factoriel (1,3) conduit à une redistribution de certaines variables. Plus précisément, on constate que les groupements définis par l'axe 2 sont dissociés, suivant l'axe 3. Deux nouvelles combinaisons apparaissent : la première englobe les variables Foraminifères - Alcyonaires - Bryozoaires - éléments oxydés, alors que la seconde inclut les variables traction, saltation, taille moyenne, Mélobésiées. Les Crustacés, *Halimeda*, Échinodermes et agrégats, rejoignent en position intermédiaire les Mollusques et Coraux. En définitive, on peut retenir comme constante la partition, selon l'axe 1, entre deux groupes de variables : d'une part, saltation-taille moyenne-Foraminifères-Alcyonaires-Serpules-Mélobésiées; d'autre part, suspension-kurtosis-skewness-triage-Spongiaires.

Analyse de la position des échantillons

La distribution des points-individus dans l'espace multidimensionnel est examinée en fonction de l'appartenance des échantillons correspondants aux diverses unités récifales. On constate ainsi que ces points s'ordonnent selon trois pôles, conformément à la

zonation et à la physiographie récifales :

– le premier pôle, situé dans l'espace défini par les portions négatives des axes 1, 2 et 3, attire les échantillons référables à la plaine sableuse, au glacis inférieur, à la zone à éperons et sillons et au platier récifal. Leur distribution est liée à celle des variables saltation, Foraminifères, Alcyonaires, Bryozoaires et éléments oxydés;

– le deuxième pôle est en position sensiblement médiane. Il regroupe les échantillons issus des épandages détritiques, des fonds sableux, des champs de colonies coralliennes, d'herbiers, de talus de pente interne et de plages sableuses. Il est défini par les variables traction, taille moyenne, kurtosis, skewness, Échinodermes, Mélobésiées, *Halimeda*, Coraux, Mollusques, Serpules, Crustacés et agrégats;

– le troisième pôle, localisé du côté positif de l'axe 1, regroupe la majorité des échantillons en provenance des zones d'arrière-récif les plus internes (accumulations sablo-vaseuses littorales, chenaux, mangroves). Leur répartition est fortement soumise à l'influence des 3 variables suspension-Spongiaires-éléments réduits et, à un degré moindre, des variables kurtosis, skewness, indice de triage, Mollusques et Crustacés.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS - DISCUSSION

Signification des axes factoriels

La concrétisation des facteurs 1 et 2 apparaît sans ambiguïté majeure pour l'ensemble des diagrammes.

Le facteur 1 traduit essentiellement l'influence d'un gradient physiographique et hydrodynamique. En effet, les divers nuages de points, qui matérialisent les diverses zones morphosédimentaires, se différencient et s'échelonnent plus ou moins régulièrement le long de l'axe 1, depuis le pôle négatif (zones externes à forte ou moyenne énergie) jusqu'au pôle positif (zones internes à basse énergie). Dès lors, les significations particulières qu'on pourra attribuer à ce facteur découleront directement de la position des unités sédimentaires par rapport au front récifal, charnière de l'édifice : (1) potentiel d'oxydo-réduction : sédiments fortement oxydés au niveau des zones externes, battues et très oxygénées, et sédiments réduits au niveau des zones internes, calmes et peu renouvelées; (2) mode de transport des particules : saltation prépondérante le long des zones externes, traction préférentielle dans les zones internes proximales, suspension dominante dans les zones internes distales; (3) degré de triage des particules : isométrie relative des sédiments déplacés préférentiellement par traction et saltation, forte hétérométrie des sédiments riches en particules mises en place par suspension; (4) nature de la production biodétritique périrécifale : Foraminifères, Bryozoaires, Alcyonaires au niveau des auréoles sédimentaires externes, Mollusques, Crustacés, Spongiaires au niveau des auréoles internes.

Le facteur 2 est aussi en relation partielle avec le gradient

hydrodynamique. En effet, il différencie, au sein des unités récifales, les sédiments grossiers mûs par traction des stocks plus fins déplacés en saltation. En outre, il conditionne la répartition statistique des particules. Ainsi, par référence à une répartition gaussienne, les sédiments des zones internes sont caractérisés par une asymétrie positive, liée à un excès de particules fines. D'après Mason et Folk (1958) et Friedman (1961), le délestage de ces particules et « l'envasement » résultant des fractions plus grossières, seraient la conséquence d'une diminution progressive du pouvoir de charge de courants unidirectionnels; une telle progression est ébauchée le long du profil transversal des complexes récifaux, soumis à un régime hydrodynamique régulièrement décroissant depuis le front récifal, mais elle subit des écarts imprévisibles à la suite d'apports bioclastiques autochtones (distributions symétriques ou asymétriques négatives au niveau des herbiers, des talus de pente interne et de certains chenaux et cuvettes enclavés). Au contraire, la majorité des sédiments des zones frontales et externes présentent un enrichissement en particules grossières, ce qui se traduit par une asymétrie négative. En particulier, l'origine des valeurs fortement négatives ($SK_1 = -0,40$ à $-0,65$), qui prévalent dans les parties supérieures de la zone à éperons et sillons, serait à rechercher dans deux processus possibles : lessivage des particules fines à partir d'une population sédimentaire normalement distribuée, ou addition de matériel autochtone à la phase grossière; ces deux mécanismes semblent intervenir simultanément, vue la rigueur des conditions énergétiques locales et la proximité des colonies coralliennes génératrices de gros bioclastes.

Par ailleurs, le facteur 2 aurait une signification sédimentogénétique, puisqu'il apparaît lié à la nature des peuplements benthiques. Il matérialise une opposition entre les Madrépores, constructeurs primaires, et les autres producteurs sédimentaires qui alimentent essentiellement les auréoles périrécifales. Ainsi, ce facteur souligne la dualité d'origine des édifices récifaux, résultant de l'imbrication de deux entités morphosédimentaires : d'une part, armature solide édifiée par les Madrépores; d'autre part, accumulations détritiques meubles nourries par les diverses communautés biologiques associées.

La signification du facteur 3 est plus délicate à établir en première analyse. Cependant, l'ordination des variables le long de cet axe permet de mettre en évidence :

– l'influence de la fréquence des débris coralliens sur la taille moyenne et le kurtosis des sédiments, en particulier au niveau des parties supérieures de la zone à éperons et sillons, des platiers et des épandages détritiques. A ce niveau, les sédiments présentant des teneurs élevées en éléments coralliens (21-49 %), correspondent à des sables grossiers ou graveleux ($T_m = 1,8-4,6$ mm) à distribution peu ou moyennement accusée ($K_s = 0,77-0,97$). Ces caractéristiques sont celles d'environnements sédimentaires soumis à de puissants courants capables de briser les colonies coralliennes branchues et d'alimenter le milieu en bioclastes autochtones. Au contraire, taille moyenne et kurtosis sont en relation inverse avec les *Halimeda*, les Mollusques et les Crustacés; ces éléments

sont généralement bien représentés dans les sables fins et les sables vaseux ($T_m = 0,7-0,03$ mm), caractérisés par un indice Ks accusé à très accusé (1,12-2,84). Ces valeurs sont le reflet d'une sédimentation sous l'action de courants de faible compétence, telle qu'elle se manifeste dans les chenaux, les accumulations vaso-sableuses littorales et les mangroves. Dans ce contexte hydrodynamique, l'opposition entre les Coraux et le trinôme *Halimeda*-Mollusques-Crustacés doit être interprétée en termes de capacité de déplacement : les fragments coralliens de forme trapue ou allongée présentent une flottabilité faible ou nulle (faible allochtonie), alors que les débris de Mollusques, de Crustacés et d'*Halimeda*, essentiellement lamellaires, ont une grande capacité de dispersion (forte allochtonie).

— l'opposition entre les constructeurs primaires à haute productivité bioclastique (Coraux), et les constructeurs secondaires à faible productivité (Bryozoaires, Alcyonaires, Mélobésiées, Serpulidés), qui existe au niveau des zones récifales antérieures, des platiers aux champs de colonies coralliennes.

Définition des faciès sédimentaires

L'analyse factorielle a permis de sélectionner les constituants sédimentaires et les paramètres granulométriques les plus significatifs, ainsi que les meilleures représentations graphiques susceptibles de caractériser les diverses unités morphosédimentaires des complexes récifaux. Ainsi, les associations Foraminifères-Bryozoaires-Alcyonaires et Mollusques-Crustacés-Spongiaires, toujours en opposition, apparaissent très intéressantes pour distinguer les principaux compartiments récifaux. Il en est de même des variables éléments oxydés et éléments réduits, dont la répartition permet en outre de suivre l'évolution du gradient d'oxydo-réduction. Les variations quantitatives des stocks sédimentaires mis en place par traction, saltation ou suspension donnent des diagrammes suffisamment expressifs, permettant de discriminer zones externes et zones internes des récifs.

Les représentations graphiques utilisées traduisent fidèlement les variations de composition bioclastique des différentes unités morphosédimentaires. Ces variations sont parfois brutales (nette séparation entre les groupements de points-observations), plus généralement graduelles (recouvrements entre plusieurs nuages); les aires de recouvrement matérialisent les secteurs des édifices récifaux présentant des sédiments d'origines diverses (faciès de transition). L'examen des associations et oppositions mises en évidence par les divers diagrammes permet de définir un ensemble de biofaciès caractéristiques de une ou plusieurs unités récifales (fig. 8) :

- plaine sableuse externe : faciès à Alcyonaires;
- glacis inférieur et zone à éperons et sillons : faciès à Foraminifères et Bryozoaires;
- platiers : faciès à Foraminifères et Coraux;
- épandages détritiques, fonds sableux et plages sableuses : faciès à Coraux, Serpules, Échinodermes, Mélobésiées, Mollusques et agrégats;
- chenaux et cuvettes d'arrière-récif : faciès à Coraux et Mollusques;
- champs de colonies coralliennes : faciès à Coraux, Mollusques et Crustacés;
- herbiers de Phanérogames, talus de pente interne et accumulations vaso-sableuses littorales : faciès à Mollusques, Crustacés, Spongiaires et *Halimeda*;
- mangroves : faciès à Mollusques et *Halimeda*.

Comme on pouvait s'y attendre, l'exploitation mathématique des données confirme le schéma faciologique établi de façon empirique par Montaggioni (1978) (différenciation de 5 biofaciès fondamentaux); cependant elle affine la notion de faciès par la mise en évidence de types transitionnels.

Sur le plan hydrodynamique, on doit distinguer les faciès de haute énergie (saltation dominante) qui intéressent les parties externes et frontales des édifices, les faciès de moyenne énergie (traction dominante) relatifs aux unités internes proximales, et les faciès de basse énergie (suspension dominante) relatifs aux unités internes distales.

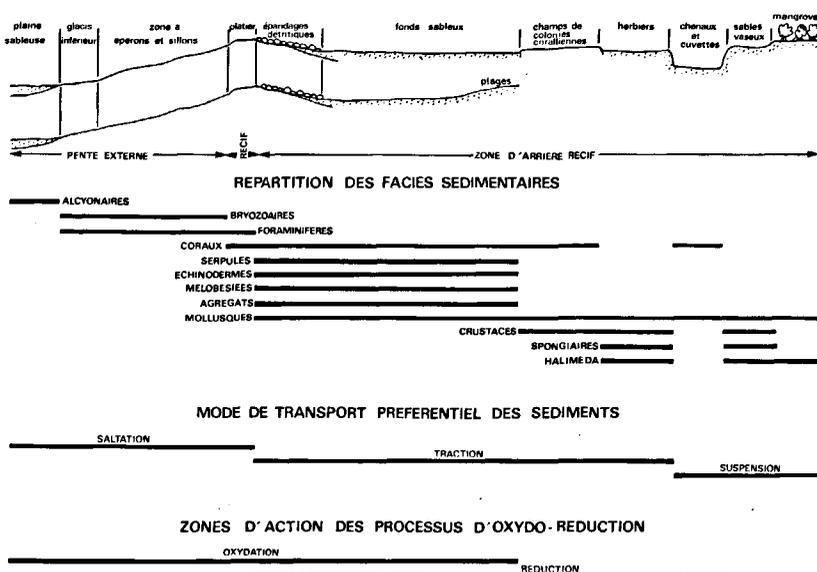


Figure 8

Modélisation de la sédimentation sur les récifs coralliens de l'île Maurice.
Sedimentation pattern on coral reefs of Mauritius Island.

Sur le plan géochimique, on doit distinguer les zones antérieures des édifices où se manifestent préférentiellement les processus d'oxydation (des plaines sableuses externes aux platiers), les zones où agissent surtout les processus de réduction (des champs de colonies coralliennes aux mangroves), et les zones de transition qui correspondent aux unités internes proximales.

RELATIONS ENTRE BIONOMIE BENTHIQUE, PROCESSUS SÉDIMENTAIRES ET RÉPARTITION DES BIOFACIÈS

La répartition de ces faciès sédimentaires ne peut être comprise qu'en connaissant la répartition écologique et le rôle sédimentogénétique des diverses catégories de producteurs sédimentaires, ainsi que le comportement mécanique des particules résultantes.

Alcyonaires

Leur forme leur conférant une mauvaise flottabilité, les spicules d'alcyonaires s'accumulent généralement sur place, le long de la pente externe, au voisinage des « peuplements à Alcyonaires » décrits par Faure (1977).

Bryozoaires

Formes sessiles à habitat sciaphile, les Bryozoaires occupent préférentiellement les cavités et les surplombs accidentant la surface des éperons frontaux. Leur taux de concentration dans les sédiments de la pente externe est un reflet satisfaisant de leur faible apport à la bioconstruction (environ 2 % du volume des biohermes, Montaggioni, 1978).

Foraminifères benthiques

Au niveau des parties antérieures des récifs, les espèces les plus abondantes sont : *Amphistegina lessonii*, *A. radiata*, *Marginopora vertebralis*, *Sorites marginalis*, *Spirolina arietina*, *Miniacina miniacea*, *Carpenteria monticularis* (Montaggioni, 1978). La pullulation des Amphistéginidés et des Pénéroplidés dans les zones supérieures et moyennes de la pente externe coïncide généralement avec la présence de supports végétaux disponibles (*Turbina-ria*, *Padina*, *Halimeda*). Les remarquables concentrations d'Amphistégines remaniées dans les sédiments de certains platiers, résultent de transferts depuis le domaine externe, facilités par la résistance à l'usure et la sphéricité de leurs tests. L'ubiquité des tests discoïdes de Pénéroplidés n'est pas uniquement conditionnée par leur grande capacité de dispersion; ces organismes paraissent en effet relativement tolérants vis-à-vis des actions abrasives : l'aspect de certains individus, brisés et encroûtés, corrobore l'hypothèse de l'origine allochtone. Quant aux formes sessiles (*Miniacina*, *Carpenteria*), elles affectionnent les mêmes biotopes que les Bryozoaires; compte tenu de leurs formes anguleuses et de leur microstructure spongieuse, ces Foraminifères engendrent des débris faiblement allochtones, qui participent ainsi activement à la genèse des sédiments d'avant-récif.

Coraux

Principaux bioconstructeurs, les Coraux sont surtout localisés dans les parties antérieures des édifices, là où les conditions hydrodynamiques sont les plus violentes. Par suite, l'agitation moyenne des eaux et le degré de résistance des squelettes coralliens, fonction de la forme générale des colonies, correspondent aux principaux agents modulateurs de la productivité bioclastique de ces organismes. Par exemple, les forts pourcentages en débris coralliens à la surface des platiers, dépendent directement de l'abondance des formes branchues (environ 60 % des colonies) dans les zones frontales des récifs. Au contraire, le long des pentes externes, la fréquence des formes dressées et graciles décroît rapidement au profit des espèces encroûtantes et massives, en fonction de la profondeur croissante. Entre 0 et -20 m, le taux de recouvrement par les colonies branchues chute de 60 à 20 %; au-delà de 20 m, ne subsistent pratiquement que les colonies étalées (Faure, 1977), dont la productivité bioclastique est quasiment nulle. Ce fait rend compte en partie de la raréfaction progressive des débris coralliens vers les plaines externes et, en conséquence, de leur faible dispersion vers le large : à ces profondeurs, seules les actions biodégradantes sont susceptibles de produire des particules bioclastiques à partir des madrépores.

Au niveau des unités d'arrière-récif, l'influence des apports coralliens en provenance des platiers et des éperons externes décroît progressivement en fonction de l'augmentation de la superficie des épandages détritiques et des fonds sableux. L'origine des fortes rétentions de fragments coralliens dans les chenaux et cuvettes serait à rechercher dans la proximité de champs ou de pâtés coralliens, ou dans la dispersion de particules fines depuis le front récifal, en aval des courants.

Serpules

Étant donnée leur très faible flottabilité, les fragments de tubes de Serpules constituent des indicateurs fiables de la proximité des substrats durs (platiers, éperons externes, épandages détritiques), où ces Annélides prolifèrent.

Échinodermes

La répartition des débris d'Échinodermes est subordonnée principalement à des facteurs écologiques. Les Échinides, principaux producteurs de bioclastes du groupe, prolifèrent, soit dans les cavités des platiers (*Heterocentrotus*, *Echinometra*, *Stomopneustes*), soit sur les fonds sableux d'arrière-récif (*Diadema*, *Tripneustes*, *Toxopneustes*, *Echinodiscus*), à côtés des Astérides, des Ophiures et des Holothuries. Rares sont les formes inféodées aux herbiers, aux surfaces vaso-sableuses internes et aux pentes externes (Baissac *et al.*, 1962).

Mollusques

En accord avec Fischer et Salvat (1971), la contribution des Mollusques à la sédimentation récifale paraît être, sur les récifs mauriciens, en liaison étroite avec le degré de confinement des eaux et des sédiments. Ainsi, au niveau des parties antérieures des récifs, régulièrement alimen-

tées par les eaux du large, la faune coquillière est généralement peu abondante et ne participe qu'assez modestement à la production sédimentaire. Par contre, dans les zones d'arrière-récif à communications limitées avec la mer extérieure, les populations de Mollusques peuvent occuper une place prépondérante et contribuer à un nourrissage intensif des sédiments. En outre, dans le cas particulier des herbiers, les forts pourcentages de débris coquilliers sont probablement liés à des exigences trophiques (Gastropodes phytophages). Les travaux de malacologie quantitative réalisés par Hénon (1976) sur quelques récifs de Maurice suggèrent que, malgré leur grande flottabilité, la majorité des fragments de Mollusques des sédiments d'arrière-récif sont d'origine autochtone. Leur taux de concentration apparaît directement subordonné au nombre d'individus présents dans le biotope. Par exemple, aux herbiers et aux accumulations vaso-sableuses littorales, qui renferment d'abondantes populations de Gastropodes (21,8 individus par mètre carré), correspondent de fortes proportions de débris coquilliers; par contre, les fonds sableux d'arrière-récif (0,12-1,36 ind./m²), les épandages détritiques (1,28 ind./m²) et les platiers (0,58 ind./m²), plus ou moins déficitaires en individus vivants, sont relativement peu alimentés en bioclastes correspondants.

Agrégats

En accord avec Milliman (1974, p. 50), la rareté des agrégats serait imputable à des causes mécaniques : désagrégation rapide du fait de leur faible cohésion originelle dans les milieux agités, à intense production bioclastique.

Crustacés

Les fragments de Crustacés proviennent de l'épifaune (*Balanus*) et de la cryptofaune, inféodées aux constructions coralliennes, ou de l'endofaune, très abondante dans les sédiments d'arrière-récif (Crevettes et Crabes) (Baissac *et al.*, 1962). Malgré leur grande capacité de fragmentation et de dispersion, les débris exosquelettiques semblent présenter, du moins dans les zones d'arrière-récif, une répartition imposée par les exigences écologiques; ils demeureraient, pour la plupart, piégés dans leur biotope d'origine.

Mélobésiées

La répartition des débris de Mélobésiées obéit à des facteurs écomorphiques. En effet, les espèces présentes sur les fronts récifaux correspondent à des formes essentiellement massives ou encroûtantes (*Porolithon onkodes*, *Lithophyllum incrustans*, *Lithothamnium incrasatum*, Jadin, 1934), inaptés à la production bioclastique intensive. La fonction sédimentogénétique est dévolue aux formes libres branchues, qui abondent en particulier dans les fonds sableux d'arrière-récif (Montaggioni, 1978); ces rhodolithes produisent des bioclastes de forme allongée ou trappée à flottabilité quasiment nulle.

Spongiaires

Les mégasclères de Spongiaires sont issus principalement

d'une espèce très ubiquiste (*Tethya* sp.), dans les fonds sableux et vaso-sableux d'arrière-récif. Leur forme leur conférant une flottabilité médiocre, ces spicules sont peu déplacés par rapport à leurs aires génératrices.

Halimeda

La répartition des articles d'*Halimeda* est sous l'étroite dépendance de l'hydrodynamique. En effet, les principales espèces présentes à l'île Maurice (*Halimeda tuna*, *H. opuntia*, *H. platydisca*) étant strictement inféodées aux substrats durs, leur aires de production correspondent surtout aux bioconstructions et aux épandages détritiques. Ce serait leur grande capacité de dispersion qui conditionnerait leur présence dans les compartiments les plus internes des récifs.

CONCLUSIONS

L'identification des diverses unités morphosédimentaires d'un complexe récifal à partir du dénombrement de ses diverses catégories de constituants et paramètres granulométriques s'annonçait délicate, compte tenu de l'apparente homogénéité constitutionnelle des sédiments considérés.

L'analyse factorielle des correspondances, tirant le meilleur parti des données réunies, a permis néanmoins de définir les principaux caractères faciologiques de chaque unité récifale et leurs affinités. En effet, cette méthode conduit à une sélection objective des paramètres et des représentations graphiques les plus significatifs; sur les diagrammes utilisés, les groupements de points-observations s'ordonnent suivant des gradients qui traduisent les variations de faciès depuis les zones les plus externes jusqu'aux zones les plus internes du complexe récifal. En se fondant sur les données de la bionomie benthique, l'analyse comparative des associations bioclastiques a permis de préciser les modalités de production et de déplacement des débris organiques. Trois zones, relativement autonomes sur le plan de la productivité sédimentaire, ont pu ainsi être mises en évidence : la zone externe alimentée en fragments oxydés d'Alcyonaires et de Bryozoaires et en tests de Foraminifères, mus essentiellement par saltation; la zone intermédiaire (assimilable à la partie sommitale du bioherme), dominée par les apports en débris de Coraux et d'Échinodermes, de Serpules et de Mélobésiées, mus par traction; la zone interne, nourrie principalement par des débris de Mollusques, de Crustacés et de Spongiaires chimiquement réduits et par des suspensions.

Cette distribution montre que la plupart des fractions bioclastiques subissent des déplacements assez limités (prépondérance de la sédimentation para-autochtone).

Dans le cadre de la sédimentologie récifale, les possibilités d'exploitation offertes par l'analyse factorielle peuvent justifier un échantillonnage important, propre à couvrir de vastes ensembles régionaux; elles devraient permettre de caractériser les faciès sédimentaires des divers compartiments des différents types de récifs coralliens (frangeants, barrières et atolls) et, par suite, d'établir des modèles généraux de la sédimentation récifale.

RÉFÉRENCES

- Baissac J., Lubet P. E., Michel C. M., 1962. Les biocoenoses benthiques littorales de l'île Maurice, *Rec. Sta. Mar. Endoume*, 25, 253-291.
- Battistini R., Bourrouilh F., Chevalier J. P., Coudray J., Denizot M., Faure G., Fisher J. C., Guilcher A., Harmelin-Vivien M., Jaubert J., Laborel J., Masse J. P., Maugé L. A., Montaggioni L., Peyrot-Clausade M., Pichon M., Plante R., Plaziat J. C., Plessis Y. B., Richard G., Salvat B., Thomassin B. A., Vasseur P., Weydert P., 1975. Éléments de terminologie récifale indo-pacifique, *Thétys*, 7, 1, 1-111.
- Benzécri J. P., 1973. *L'analyse des données, II, L'analyse des correspondances*, Dunod, Paris, 619 p.
- Erez J., Gill D., 1977. Multivariate analysis of biogenic constituents in recent sediments off Ras Burka, Gulf of Eilat, Red Sea, *Math. Geol.*, 9, 77-98.
- Faure G., 1977. Distribution of coral communities on reef slopes in the Mascarene archipelago, Indian Ocean, *Mar. Res. Indonesia*, 17, 73-97.
- Faure G., Montaggioni L., 1971. Les récifs coralliens Sous-le-Vent de l'île Maurice (Archipel des Mascareignes, Océan Indien) : morphologie et bionomie de la pente externe, *C.R. Acad. Sci., Paris, sér. D*, 273, 1914-1916.
- Faure G., Montaggioni L., 1976. Les récifs coralliens Au-Vent de l'île Maurice (Archipel des Mascareignes, Océan Indien) : géomorphologie et bionomie de la pente externe, *Mar. Geol.*, 21, M9-M16.
- Fischer J. C., Salvat B., 1971. Paléoécologie et écologie des Mollusques dans les complexes récifaux coralliens, *Haliotis*, 1, 65-103.
- Flood P. G., Allen J., Orme J. R., 1978. Multivariate analysis of compositional data of bioclastic carbonate sediments from Lady Musgrave reef, Great Barrier Reef, Australia, in : *Twenty-fifth Intern. Geol. Congress, Sydney*, edited by Pergamon, Oxford, 1976, 1-19.
- Folk R. L., Ward W. C., 1957. Brazos river bar : a study of the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, 27, 3-26.
- Friedman G. M., 1961. Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics, *J. Sediment. Petrol.*, 31, 514-529.
- Hénon D., 1976. Répartition qualitative et quantitative de Mollusques récifaux et lagunaires à l'île Maurice, *Trav. Doc. ORSTOM*, 47, 179-183.
- Jadin F., 1934. Algues des îles de la Réunion et de Maurice, *Ann. Cryptogam. Exot.*, 7, 147-172.
- Jöreskog K. G., Klovan J. E., Reyment R. A., 1976. Methods in Geomathematics, in: *Geological factor analysis, I*, edited by Elsevier, Amsterdam, 178 p.
- Mahé J., 1974. L'analyse factorielle des correspondances et son usage en paléontologie et dans l'étude de l'évolution, *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 7, XVI, 336-340.
- Mason C. C., Folk R. L., 1958. Differentiation of beach, dune and eolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas, *J. Sedimentol. Petrol.*, 28, 211-226.
- Masse J. P., 1968. Contribution à l'étude des sédiments actuels du plateau continental de la région de Dakar. Essai d'analyse de la sédimentation biogène, *Rapp. Labor. Geol. Fac. Sci., Dakar*, 23, 1-81.
- Milliman J. D., 1974. *Marine carbonates*, edited by Springer Verlag, Berlin, 375 p.
- Montaggioni L., 1978. Recherches géologiques sur les complexes récifaux de l'archipel des Mascareignes (Océan Indien occidental), *thèse Doct. État*, Univ. Marseille-II, 217 + 113 p.
- Pichon M., 1967. Caractères généraux des peuplements benthiques des récifs et lagons de l'île Maurice, *Cah. ORSTOM., Oceanogr.*, 5, 32-45.
- Pusey W. C. III, 1975. Holocene carbonate sedimentation on northern Belize shelf, in: *Belize shelf, carbonate sediments, clastic sediments and ecology*, edited by K. F. Wentland and W. C. Pusey III, *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Studies in Geol.*, 2, 131-233.
- Visher G. S., 1969. Grain-size distribution and depositional processes, *J. Sediment. Petrol.*, 39, 1074-1106.
- Wallace R. J., Shafersman S. D., 1977. Patch-reef ecology and sedimentology of Glovers reef atoll, Belize, in: *Reefs and related carbonates, ecology and sedimentology*, edited by S. H. Frost, M. P. Weiss and J. B. Saunders, *Am. Assoc. Petrol. Geologists, Studies in Geol.*, 4, 37-52.
- Weydert P., 1973. Morphologie et sédimentologie des formations récifales de la région de Tuléar (sud-ouest de Madagascar), *thèse Doct. État*, Univ. Marseille-II, 646 p.
- Weydert P., 1976. The logarithmic spiral: definition and expression of a new graphical representation of results in sedimentological analysis, *J. Sediment. Petrol.*, 46, 738-742.