

**Note sur l'hypothèse d'une influence
de la nature géologique et pédologique
des terrains côtiers sur la biomasse
zooplanctonique dans le lagon
de Nouvelle-Calédonie**

Denis BINET (1)

RÉSUMÉ

Des récoltes de zooplancton réalisées autour de la Nouvelle-Calédonie entre 1980 et 1983 permettent de classer diverses baies selon l'importance de leur biomasse planctonique. Après avoir éliminé la variation saisonnière on peut, en partie, expliquer le classement observé par la configuration des baies (profondeur, confinement). Mais on ne rend pas compte de la richesse des eaux de Poum (nord-ouest de l'île). Une autre hypothèse est envisagée, basée sur la nature pédologique du sol des bassins versants attenants à ces baies. Ces sols fersiallitiques associés à des podzols ont, dans leur horizon superficiel, le rapport silice/alumine le plus élevé de l'île. D'autre part, le climat semi-aride de cette région induit vraisemblablement une forte teneur en silice des eaux de source. Il semble donc possible que les apports terrigènes aux baies de la région de Poum lèvent toute limitation en silice et favorisent une forte production d'algues à tests siliceux, assurant une biomasse secondaire élevée.

MOTS-CLÉS : Zooplancton — Lagon — Sels nutritifs — Silice — Podzols — Nouvelle-Calédonie — Sud-Ouest Pacifique.

ABSTRACT

NOTE ON THE HYPOTHESIS OF ANY INFLUENCE OF GEOLOGICAL AND PEDOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE COASTAL GROUNDS ON THE ZOOPLANKTONIC BIOMASS IN THE NEW-CALÉDONIAN LAGOON

Plankton sampling was achieved in inshore waters of New-Caledonia (South West Pacific) from 1980 to 1983. After elimination of the seasonal variation, the various bays are ranked according to their planktonic biomass. The ranks order is partly explained by the topography of the bays (depth and confinement). But that does not account for the richness of the Poum waters (north west of the island). Another hypothesis is considered, based on the pedology of the soils of the basin surrounding the Poum area. These fersiallitic soils associated with podzols have in their superficial layer the highest silica/alumina ratio in the island. By another way, the semi arid climate of this area probably increases the siliceous content of spring waters. It is likely that terrestrial inputs to the Poum's bays remove the silica limitation and induce high production of siliceous test algae allowing an important secondary standing stock.

KEY WORDS : Zooplankton — Lagoon — Nutrients — Silica — Podzols — New Caledonia — South West Pacific.

L'augmentation des concentrations planctoniques à proximité de la côte est un concept bien établi. On l'attribue, dans une large mesure, à l'apport d'éléments terrigènes qui fertilisent les eaux côtières et permettent le démarrage d'une production primaire

nouvelle. La perte des sels nutritifs est limitée par la turbulence qui remet en suspension les particules en train de sédimenter et par un éventuel confinement des eaux côtières à la faveur d'une côte découpée. Ruissellement, lessivage et transport fluvial

(1) Antenne ORSTOM, Centre IFREMER, B.P. 1049, 44037 Nantes cedex.

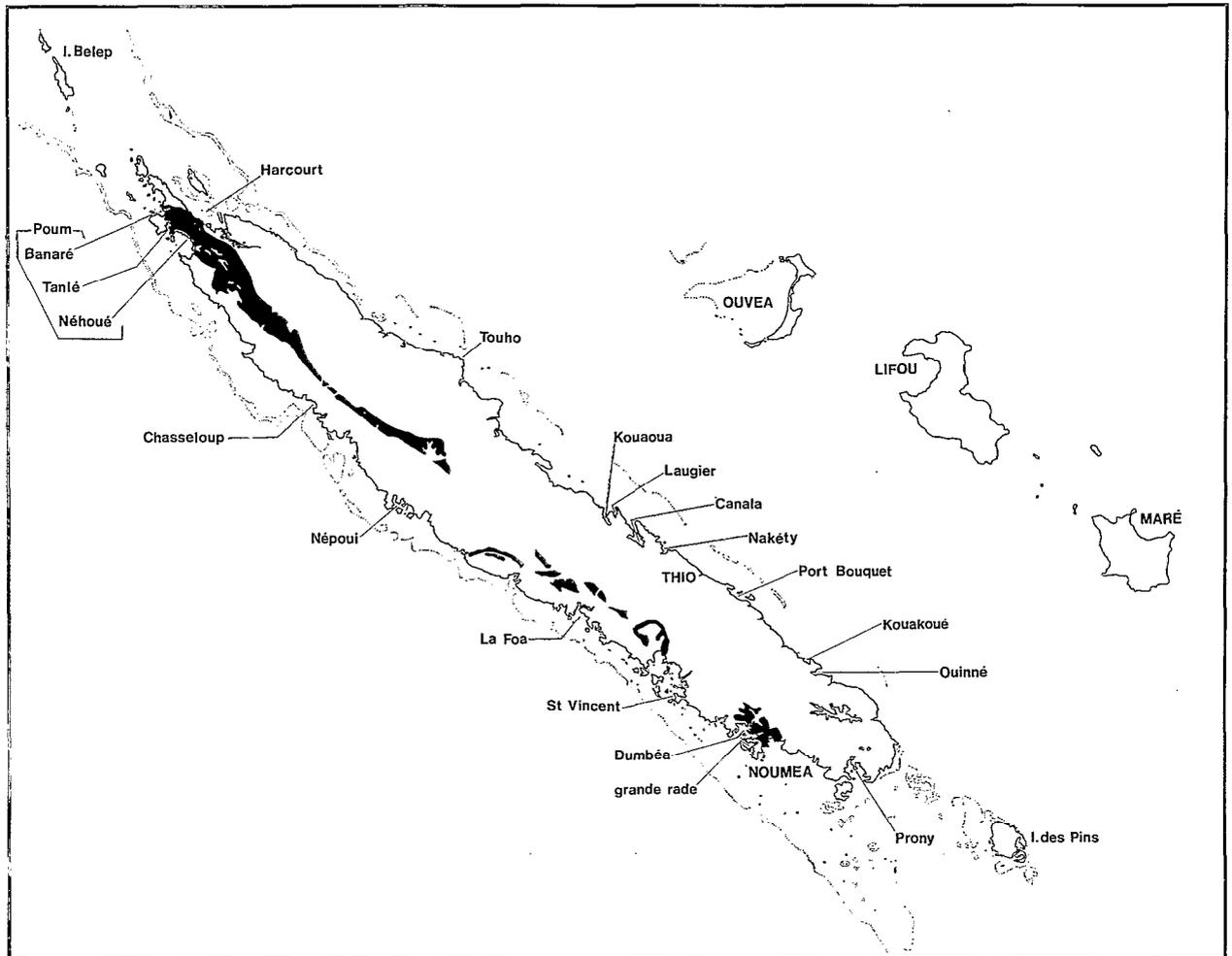


FIG. 1. — Carte de Nouvelle-Calédonie indiquant les sites échantillonnés et (en noir) les sols fersiallitiques (podzols sur roches siliceuses); d'après LATHAM (1981)

Map of New-Caledonia showing sampled stations and (in black) fersiallitic soils (podzols on siliceous rocks); from LATHAM (1981)

amènent aux eaux côtières quantité d'éléments enrichissants. Parmi ceux-ci la silice a l'un des rôles les plus importants. Dans les systèmes d'upwelling notamment, il semble qu'elle soit épuisée, dans la zone euphotique, avant l'azote et le phosphore (HERBLAND et VOITURIEZ, 1974; PAASCHE, 1980), ce qui lui conférerait donc un rôle de facteur limitant. Ne peut-on supposer que le voisinage de terrains siliceux puisse enrichir le milieu néritique et lever une éventuelle limitation?

Les eaux côtières de Nouvelle-Calédonie offrent un milieu intéressant pour tester ces idées. En effet, les rivages calédoniens, très découpés, s'étendent sur 2×400 km de longueur sous des climats assez différents. L'étroitesse du lagon, encombré de récifs, le nombre limité de passes ouvrant sur le large, ralentissent les échanges le long du littoral et contri-

buent à rendre chaque baie relativement autonome. Enfin, l'île est constituée de terrains extrêmement variés du point de vue géologique et pédologique (LATHAM *et al.*, 1978; LATHAM, 1981). Ceux-ci contiennent peu de silice, à l'exception des collines du nord et, dans une bien moindre mesure, des bassins versants de certains fleuves de la côte ouest (fig. 1).

Les formations géologiques de la Nouvelle-Calédonie sont d'origine volcanique, métamorphique et sédimentaire (Anonyme, 1981 a). Les massifs miniers du sud (péridotites et serpentinites) et de la côte ouest appartiennent à des formations d'origine volcanique, tandis que tout l'axe de la chaîne centrale est d'origine métamorphique. Les formations sédimentaires occupent, en superficie, la troisième place. Très variées, elles ont diverses origines : des allu-

vions dont la composition dépend des roches qui les entourent, des roches calcaires ou riches en calcaires et surtout des roches siliceuses ou riches en silice. On trouve ces dernières dans les collines siliceuses du nord-ouest, ainsi que dans la région de Nouméa.

Le climat des diverses régions de Nouvelle-Calédonie dépend de leur latitude et de leur orientation par rapport aux grands courants de circulation (ANON, 1981 a). Le régime d'alizé de sud-est, qui est le plus courant, amène des précipitations, régulières sur le plateau du sud, abondantes sur le versant est de la chaîne centrale. En saison fraîche, les dépressions tempérées (coups d'ouest) arrosent davantage la partie la plus méridionale de la côte ouest, tandis qu'en saison chaude les dépressions tropicales (cyclones) atteignent plus souvent le nord de l'île. Il s'ensuit que la côte est est plus arrosée que la côte ouest et que, du sud au nord on passe d'un régime à précipitations abondantes et régulières à un régime semi-aride avec forte irrégularité saisonnière.

L'altération des roches a abouti à une grande diversité pédologique. On la résumera en remarquant le rôle du climat sur les grandes formations géologiques. En superficie, les sols brunifiés tropicaux couvrent la moitié du territoire. Ils s'étendent essentiellement au nord d'une ligne Thio-baie de Saint-Vincent et recouvrent à peu près les terrains métamorphiques. On distingue les sols bruns eutrophes sur les versants errodés des massifs de roches basiques ou ultrabasiques et les sols bruns désaturés, ferruginisés, sur le versant oriental de la chaîne centrale, sous climat humide autorisant la forêt dense. Vient ensuite les sols ferralitiques qui s'étendent sur 23 % du territoire, essentiellement au sud du pays, du massif du Humboldt à la baie du Prony. Sols à évolution géochimique poussée, ils sont marqués par la quasi disparition des minéraux primaires altérables de la roche mère. On les trouve principalement sur les massifs de péridotites du sud (région minière). Les sols fersiallitiques ne se trouvent que sur 4 % de l'île. Ils se forment notamment sur les collines siliceuses et schisteuses de la côte nord-ouest (podzols). On rencontre des vertisols en plusieurs endroits de la côte ouest et notamment au bord de la baie de Saint-Vincent. Parmi les sols peu évolués, non climatiques on ne citera que ceux d'apport alluvial fluvial (1,9 %). On en trouve dans toutes les vallées de la côte ouest et dans une moindre mesure, de la côte est.

Les eaux de pluie rejoignent la mer après ruissellement superficiel ou après percolation jusqu'aux nappes phréatiques.

Le ruissellement emporte rapidement les éléments disponibles du sol. Les eaux des premières crues sont généralement plus riches que les suivantes. Seule, la silice fait exception à ce schéma. En effet, ROOSE (1981) a montré en milieu tropical que la silice est,

TABLEAU I

Principaux types de sols du bassin versant des stations rangées selon leur abondance planctonique décroissante (cf. tableau 3), d'après LATHAM (1981)

Main types of soils of drainage basin of the stations, ranked according to their decreasing plankton abundance (cf. table 3), from LATHAM (1981)

	Sols d'apport alluvial	Vertisols	Sols bruns eutrophes sur roches basiques	Sur roches ultra-basiques	Sols bruns désaturés	Sols fersiallitiques, podzols	Sols ferralitiques	Sols calcimagnésiques
Belep				+				
Nouméa grande rade			+					
Canala-Nakety	+			+				
Poum						+		
Dumbéa	+		+			+		
Kouakoué-Ouiné				+				+
La Foa	+		+			+		
Harcourt	+				+			
Laugier-Kouaoua	+			+				+
Chasseloup	+							
Saint Vincent	+	+		+		+		
Pt Bouquet				+				
Népoui	+			+			+	+
Prony							+	
Touho					+			
Lifou-Maré								+

dans les eaux de ruissellement terrestre, l'un des rares éléments dont la teneur ne diminue pas avec le volume de l'écoulement. On a constaté en effet, devant la Côte d'Ivoire, que les teneurs en silice des eaux côtières variaient comme les débits fluviaux. Ceci pourrait d'ailleurs expliquer pourquoi les teneurs en plancton sont fortement corrélées à ces débits (BINET, 1983). Dans le lagon de Nouvelle-Calédonie, d'après ROUGERIE (1986), les silicates décroissent de la côte vers le récif barrière, au fur et à mesure que les apports fluviaux se diluent et montrent une forte augmentation au moment des crues (fig. 2).

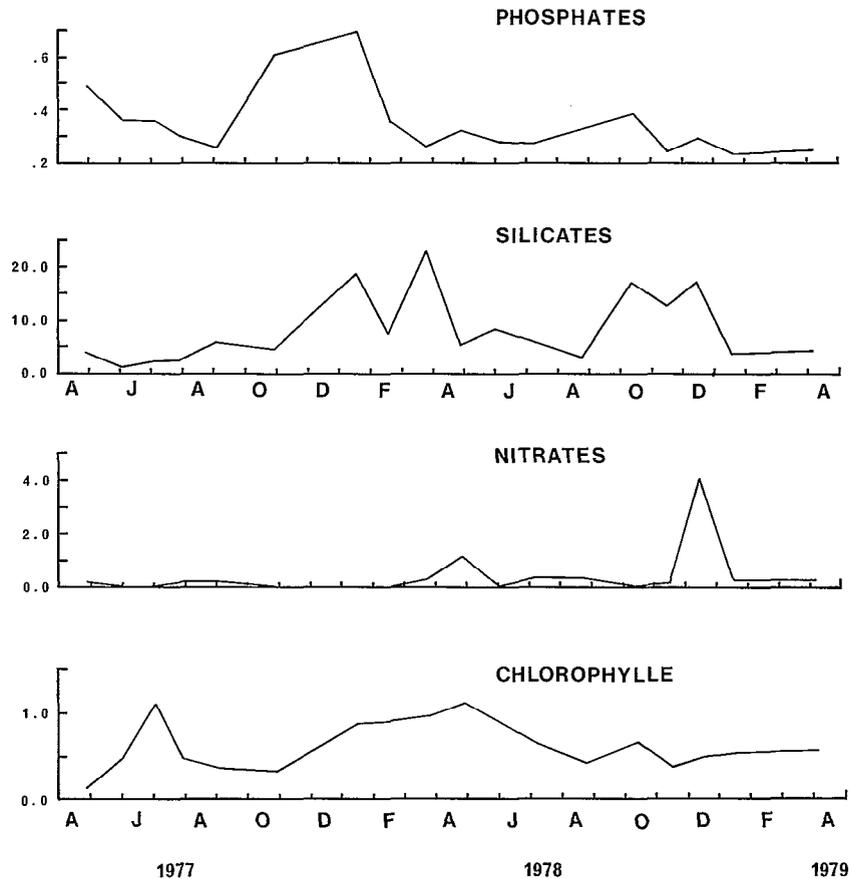


FIG. 2. — Teneurs en sels nutritifs dissous ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-3}$) et en Chlorophylle a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) dans la baie de Saint-Vincent (données DANDONNEAU et ROUGERIE, non publiées)

Dissolved nutrients ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-3}$) and Chlorophyll a ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) in the baie de Saint-Vincent (DANDONNEAU and ROUGERIE, unpublished data)

Les nappes phréatiques baignent les horizons d'altération et les sources sont différemment chargées en éléments dissous selon les sols au travers desquelles elles ont percolé. On sait que la teneur en silice des eaux de source augmente avec l'aridité du climat (ROOSE, 1981).

On a tenté d'indiquer les types de sols les plus répandus sur les bassins versants correspondants aux diverses stations (tabl. I). Les caractéristiques chimiques de ces sols (tabl. II) montrent un rapport silice/alumine particulièrement élevé dans les podzols de la région de Poum (135). Dans les sols d'apport fluvial, les vertisols et les sols bruns eutrophes sur roches basiques, ce rapport a quelques valeurs supérieures à 10, tandis que dans les sols ferrallitiques ferritiques, la proportion d'alumine est beaucoup plus élevée et le rapport ne dépasse pas 0,2 à 0,6. Les taux de matière organique (carbone et azote) peuvent être élevés dans certains sols d'apports fluviaux et

certaines sols bruns désaturés; ils sont très faibles dans les sols ferritiques. Contrairement à ce que l'on pourrait attendre, ils paraissent également faibles dans les podzols, parce que l'horizon le plus superficiel (0-1 ou 0-2 cm) n'a pas été analysé. Il est vraisemblable que l'humus, non retenu dans les sols, faute de complexe absorbant, est rapidement entraîné.

D'après TRESCASES (1975), les teneurs en silice des eaux de source des massifs ultrabasiques de la côte ouest sont variables, mais nettement plus élevées (25 à 42 mg/l) que celles du plateau qui domine la baie du Prony (3,5 à 15 mg/l).

On a déjà vu (BINET, 1984) que la composition faunistique du zooplancton de la baie du Prony, taillée dans un massif de péridotites, était fort différente de celles des baies de la côte ouest, à l'embouchure de la Dumbéa et de la Tontouta (baies de la Dumbéa et de Saint-Vincent). On se propose ici de tester l'hypothèse selon laquelle les teneurs en

TABLEAU II

Quelques caractéristiques chimiques superficielles des sols de Nouvelle-Calédonie, exprimées par rapport au poids de terre séchée à 105 °C (d'après LATHAM *et al.*, 1978)

Some superficial chemical characteristics of the New-Caledonia soils (from LATHAM et al., 1978)

	Si O2 %	Al2O3 %	Silice/Alumine Rapport molaire	C%	N%
Sols peu évolués d'apport fluvial					
non magnésiens	22	13.4	2.8	57	7
magnésiens	15	2.1	11.9	11	0.7
Vertisols					
non magnésiens	29	7	7.1	15	0.9
magnésiens	34	5	11.4	34	1.8
Bruns eutrophes					
peu évolué sur roche basique	27	8.4	5.4	21	1.7
vertique sur roche ultrabasique	26	39	11.5	20	1.4
Bruns désaturés ferruginisés sur dolérite	27	19	2.5	37	3
Podzols (Poum)	6.4	0.08	135	15	0.9
Ferralsitiques lessivés					
horizon A2 podzolique	16	6.3	4.3	21	1
lessivé rajeuni	16	7.8	3.4	25	1.7
Ferralsitiques ferritiques					
rajeuni de pente	3.0	8.7	0.6	27	1.2
remanié de plateau	0.6	3.9	0.2	10	0.5

plancton des baies bordées de collines siliceuses sont plus élevées que celles des rivages non siliceux.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

On a donc utilisé des échantillons de zooplancton récoltés au cours des campagnes « Appât vivant » (Anonyme, 1981 b, 1982 a et b, 1983). Dix-neuf campagnes ont eu lieu entre mars 1980 et juin 1983. Chaque nuit, le N/O Vauban, au mouillage dans une baie différente, effectuait une série de traits verticaux avec un filet à plancton de 300 µ de vide de maille, 0,5 m de diamètre à l'ouverture et 2,9 m de longueur. Sur des fonds de 13 à 30 m, trois traits verticaux étaient réalisés à la même station : le premier au coucher du soleil, le second au milieu de la nuit et le dernier avant le lever du jour. Le volume de plancton recueilli était estimé par sédimentation et rapporté à la quantité d'eau filtrée, mesurée par un débit-mètre. On adopte comme mesures de la quantité de plancton les moyennes des récoltes d'une même nuit.

L'ensemble des stations n'était pas visité au cours de chaque campagne. On a regroupé, lorsque cela

était possible, des récoltes effectuées en des lieux voisins, aux caractères topographiques et géologiques similaires (tabl. III). Néanmoins, même après ce regroupement, il apparaît que beaucoup de sites n'ont pas été échantillonnés au cours de certaines campagnes. Comparer ces stations, sur l'ensemble des données, risque d'entraîner un biais, certains sites pouvant paraître anormalement riches en plancton s'ils ont été visités en période d'abondance planctonique, ou inversement. Pour supprimer une éventuelle influence de la variation saisonnière, on a constitué un second lot de données en ne conservant que les 7 « stations » qui ont été visitées au cours des mêmes 11 campagnes. Ces « stations » au sens large, comprennent en réalité des échantillons provenant de lieux voisins, comme indiqué dans le tableau IV.

Pour tester l'homogénéité des stations au regard de leur teneur en plancton, en s'affranchissant des hypothèses de normalité et d'homogénéité de la variance, difficiles à vérifier sur une population statistique aussi réduite, on utilise des tests non-paramétriques (*in* SIEGEL, 1956). Les tests ont été choisis en tenant compte de ce que les données recueillies aux diverses stations, lors d'une même

TABLEAU III

Volumes sédimentés de zooplancton (ml.m^{-3}) recueilli au cours des campagnes « Appât vivant » : moyenne (\bar{V}_s), limites de l'intervalle de confiance à 5 %. Les stations n'ayant pas été visitées au cours des mêmes campagnes, les valeurs ne sont pas rigoureusement comparables

Settled volumes of zooplankton (ml.m^{-3}) collected during the "Bait-fish" cruises: average (\bar{V}_s), confidence interval at 5 %. Since the stations were not sampled during the same cruises, the values are not strictly comparable

Stations	\bar{V}_s	Limites de l'intervalle de confiance à 5 %	Nombre de campagnes
Bélep	3.13	4.40 - 1.86	4
Nouméa grande rade	2.44	3.15 - 1.73	8
Canala-Nakety	2.32	3.34 - 1.30	9
Poum	2.03	2.59 - 1.47	14
Dumbéa	1.93	2.50 - 1.36	26
Kouakoué-Ouiné	1.56	2.21 - 0.91	11
La Foa	1.39	2.05 - 0.73	6
Harcourt	1.37	1.86 - 0.88	16
Kouaoua-Laugier	1.36	1.71 - 1.01	16
Chasseloup	1.34	1.62 - 1.06	14
Saint Vincent	1.26	1.57 - 0.95	11
Pt Bouquet	1.12	1.54 - 0.70	10
Népoui	1.06	1.60 - 0.52	13
Prony	1.00	1.26 - 0.74	17
Touho	0.83	1.13 - 0.53	14
Lifou-Maré	0.46	0.56 - 0.36	4

TABLEAU IV

Provenance des récoltes examinées dans les tests
Location of tested samples

Région	Lieux exacts des récoltes
Poum	Baie de Banaré (îlot Mouac), baies de Néhoué et Tanlé
St Vincent	Baie de Saint Vincent : île Mathieu
Laugier-Kouaoua	Baies de Laugier et Kouaoua, Ugué, Poro
Chasseloup	Baie de Chasseloup, en face de Voh.
Harcourt	Baie d'Harcourt, face à Arama.
Prony	Baie du Prony : Bonne Anse, îlot Casy ; Port Boisé ; Ile Ouen
Touho	Îlot Yengu, Poindimié, Vieux Touho, îlot Uao, Hienghène, Tao.

campagne, ne sont pas indépendantes puisqu'elles se situent toutes dans le même contexte saisonnier. On a retenu, d'abord le test de Friedman qui est une analyse de variance de rangs à deux critères de classification (les stations et les campagnes), pour tester l'homogénéité des stations, puis le test T de Wilcoxon sur les séries appariées, pour comparer deux à deux les différents sites.

RÉSULTATS

Les teneurs en plancton des sites et des campagnes retenues sont indiquées dans les tableaux III et V. Les abondances en plancton sont les plus élevées aux îles Belep et les plus faibles aux Loyautés (Lifou et Maré). Nouméa, Poum, la baie de la Dumbéa sont parmi les stations les plus riches, tandis que les

régions de Népoui, Prony et Touho sont parmi les plus pauvres (tabl. III). Si, pour supprimer l'effet des variations saisonnières et améliorer la valeur des comparaisons, on s'en tient à l'ensemble des stations échantillonnées durant les mêmes campagnes (tabl. V) c'est dans la région de Poum qu'il y a les plus grandes abondances de plancton. Le calcul des intervalles de confiance à 5 % montre néanmoins un très léger recouvrement entre les stations de Poum et celles de Laugier-Kouaoua, Chasseloup et Saint-Vincent (fig. 3).

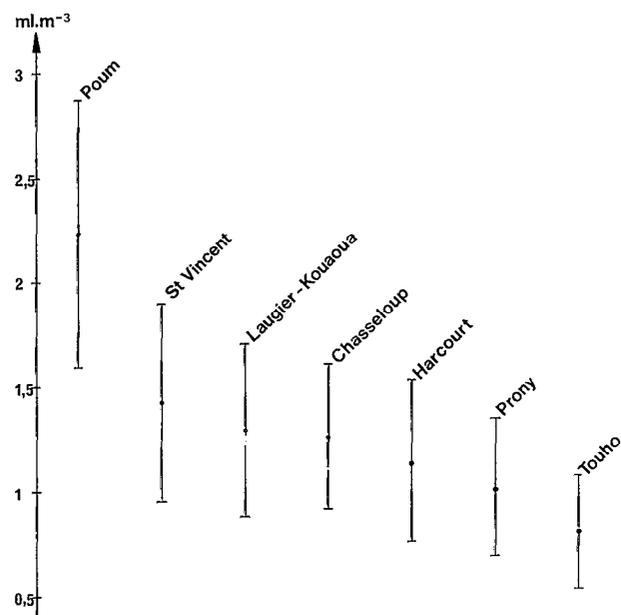


FIG. 3. — Biovolumes sédimentés de zooplancton recueilli aux 7 stations sélectionnées : moyennes des 11 campagnes retenues et intervalle de confiance au risque de 5 %

Settled volumes of zooplankton collected at the 7 selected stations : averages of the 11 cruises and confidence interval at the 5 % risk

On vérifie par le test de Friedman que les stations appartiennent à des populations différentes. En effet $(R_j)^2 = 14\,460$ ce qui donne un χ^2 obs de 17,60. Or pour 6 degrés de liberté, il y a une chance sur cent pour que χ^2 atteigne ou dépasse 16,81. On rejette donc l'hypothèse nulle, selon laquelle les différentes stations seraient issues d'une même population, au risque 1 %.

On peut ensuite utiliser le test de Wilcoxon pour comparer quelques stations deux à deux (tabl. VI). La station de Poum est nettement plus riche que toutes les autres, puisqu'elle est significativement différente de celle de Saint-Vincent qui lui succède immédiatement par ordre d'abondance décroissante. Parmi les autres stations on ne peut mettre en évidence de différence qu'entre Saint-Vincent et Touho, respectivement 2^e et 7^e par ordre d'abondance décroissante.

On constate que les stations les plus riches en plancton sont — pour la plupart — entourées de terrains siliceux. Si la teneur en silice dosée dans ces sols n'est pas toujours la plus forte, on y note les rapports silice/alumine les plus élevés. Au contraire, les stations aux plus faibles teneurs en plancton sont bordées des terrains les plus pauvres en silice, comme la baie de Prony, les stations de Népoui et Touho ou encore celles des îles Loyautés dont le socle corallien ne contient pratiquement pas de silice.

Si la quantité de silice dont se chargent les eaux de pluie au contact du sol dépend de l'aridité du climat il est intéressant de comparer l'ordination des stations selon leur teneur en plancton et leur pluviométrie. Celle-ci a été déterminée de façon approximative (tabl. VII) au vu d'une carte pluviométrique (ANON, 1981 a) et des données de BAUDUIN et BRUNEL (1981). Le coefficient de corrélation de Spearman calculés pour l'ensemble des stations, à l'exception des Loyautés dont le socle calcaire ne permet pas de

TABLEAU V

Biovolumes sédimentés de zooplancton (ml.m⁻³) pour les 7 stations et les 11 campagnes retenues, moyennes par station
Settled volumes of zooplankton in ml.m⁻³ for the 7 stations and the 11 selected cruises, mean zooplankton volumes

Dates Stations	mars 1980	mai	sept.	mars-avril 1981	mai-juin	sept. oct.	nov. déc.	janvier 1982	mars	mai	juin 1983	Volume sédimenté moyen
Poum	2.74	2.55	1.00	4.5	1.55	1.33	2.15	1.68	3.15	3.04	0.91	2.24
Saint Vincent	1.59	1.36	1.00	3.51	1.35	1.27	0.83	2.11	0.86	1.25	0.66	1.44
Laugier-Kouaoua	2.05	1.98	0.80	1.59	1.80	1.09	0.66	0.50	2.25	1.38	0.19	1.30
Chasseloup	1.28	0.70	0.70	1.72	1.03	1.51	0.36	1.67	2.47	1.45	1.14	1.28
Harcourt	2.04	0.34	0.50	1.97	2.03	0.77	1.35	1.29	1.28	0.28	0.87	1.16
Prony	1.41	1.76	0.50	1.51	1.36	1.42	0.70	0.09	1.16	0.16	1.18	1.02
Touho	1.84	0.83	1.30	1.18	0.26	0.27	0.57	0.80	0.50	0.94	0.33	0.80

ruissellement (BAUDUIN et BRUNEL, 1981), est : $r = -0,533$; pour les 7 stations sélectionnées : $r = -0,857$. On rejette l'hypothèse nulle, au risque 5 % dans le premier cas, 1 % dans le second.

Il faut donc relever que les stations les plus riches en plancton sont celles dont le bassin versant reçoit les précipitations les plus faibles et avec la plus forte irrégularité saisonnière (Belep, Poum) tandis que les bassins les plus arrosés et ce tout au long de l'année (Prony, Touho), sont les plus pauvres en plancton.

TABLEAU VI

Test T de Wilcoxon sur les différences d'abondance planctonique pour les stations présentées dans le tableau II

Wilcoxon signed rank test T on the differences between plankton abundances of stations listed in Table II

Stations comparées	M	Seuil de signification
Poum-St Vincent	5	5 %
St Vincent-Prony	23	N.S.
Prony-Touho	18	N.S.
Harcourt-Touho	15,5	N.S.
Laugier Kouaoua-Touho	13	N.S.
St Vincent-Touho	4	1 %

M : Somme des rangs des différences de signe — ; N.S. : non significatif.

DISCUSSION

Bien que les mesures de plancton disponibles ne soient ni très précises (volumes sédimentés), ni très nombreuses, il semble bien que les eaux côtières de la région de Poum, c'est-à-dire des baies de Banaré, Néhoué et Tanlé, situées de part et d'autre de la presqu'île de Poum, contiennent davantage de plancton que les autres stations testées (Saint-Vincent, Laugier-Kouaoua, Chasseloup, Harcourt, Prony, Touho). Quels sont les facteurs susceptibles d'expliquer ces différences? On peut en envisager quatre :

— La faiblesse de la profondeur qui permet une photosynthèse plus active sur toute la colonne d'eau et une remise en suspension des particules par turbulence, limitant ainsi les pertes par sédimentation.

— Le confinement des eaux dans des baies semi-fermées, limitant les pertes par advection.

— La nature et la quantité des apports terrigènes : sels nutritifs, matières organiques, etc.

— Le type de producteurs primaires et de consommateurs secondaires.

TABLEAU VII

Estimations des pluviométries annuelles des bassins versants aboutissants aux différents sites échantillonnés (interprétation d'après ANON, 1981 et BAUDUIN et BRUNEL 1981)

Estimated annual rainfall of the drainage basins pouring at the sampled stations (interpretation from ANON 1981 and BAUDUIN et BRUNEL 1981)

Stations	Pluviométrie du bassin
Bélep	1450
Nouméa grande rade	1200
Canala-Nakéty	1850
Poum	1250
Dumbéa	2410
Kouakoué-Ouiné	3390
La Foa	1620
Harcourt	2100
Kouaoua-Laugier	2000
Chasseloup	1470
Saint Vincent	1785
Port Bouquet	2800
Népoui	1670
Prony	3010
Touho	2800
Lifou-Maré	1500

Le tableau VIII, qui utilise les estimations de TESTAU et CONAND (1983) permet de classer les sites par profondeur croissante. On forme pour cela le rapport des superficies dont la profondeur est inférieure à 10 m à la superficie totale de la baie ou de la région. Le classement des 7 principaux sites permet une comparaison avec les teneurs en plancton. Le coefficient de corrélation de rangs de Spearman ($r = 0,95$), hautement significatif montre que la teneur en plancton est inversement liée à la profondeur. On remarque cependant que le site de Poum n'occupe pas la première place.

Le confinement des eaux pourrait être apprécié par le rapport du volume total de la baie à la section de ses ouvertures, en négligeant les différences de circulation dues à la marée et au vent, d'une baie à l'autre. On peut simplifier ce calcul en admettant que les profondeurs des ouvertures des baies sont respectivement proportionnelles à leurs profondeurs moyennes. On se contente donc de comparer la surface de la baie à la largeur de son ouverture. On considère que les platiers de récifs coralliens contribuent à fermer les sites, puisqu'ils sont émergés à marée basse. Cette mesure de confinement est difficile pour le site de Touho, puisqu'il ne s'agit pas d'une

baie, mais d'une partie du lagon est, au demeurant très ouvert aux influences du large. Puisque ce site est manifestement le moins confiné, on lui attribue le dernier rang. Une corrélation de rang de Spearman entre les concentrations de plancton et le confinement est également hautement significative ($r = 0,89$). Néanmoins, on remarque encore que Poum, le site le plus riche, n'a que le 5^e rang du point de vue du confinement.

Il est assez plausible de supposer que les apports de sels nutritifs aux eaux côtières dépendent des caractéristiques chimiques des sols bordant les stations. Les baies de Banaré, Néhoué et Tanlé sont bordées de collines siliceuses. Les mêmes collines ferment à l'ouest la baie d'Harcourt. Mais, les rivières qui se jettent de part et d'autres de la presqu'île de Poum coulent uniquement au milieu de terrains siliceux, avec une forte irrégularité sai-

TABLEAU VIII

Essai d'interprétation de la richesse en plancton par la présence de silice dans les terrains avoisinants, le peu de profondeur et le confinement des eaux
Attempt to explain the plankton richness by the presence of silica in the surroundings soils, the shallowness and confinement of waters

	rang d'abondance planctonique	silice/alumine dans les terrains côtiers	% de superficie de profondeur < 10 m	rangs des profondeurs croissantes	surface de la baie / longueur de l'ouverture (%)	rang de confinement croissant
Poum	1	++++	67	2.5	4.1	5
St Vincent	2	++	67	2.5	18.6	1
Laugier-Kouaoua	3	+	41	5	2.7	6
Chasseloup	4	+	78	1	18.4	2
Harcourt	5	+	58	4	15.6	3
Prony	6	-	18	7	6.5	4
Touho	7	-	20	6	e	7

sonnière : elles peuvent même s'assécher (BAUDUIN et BRUNEL, 1981). Au contraire, le Diahot dont le bassin est abondamment et régulièrement arrosé, se jette en baie d'Harcourt après avoir traversé des sols brunifiés, dont le rapport silice/alumine est beaucoup plus faible. On rencontre également quelques terrains siliceux dans la région de Nouméa et autour de la baie de Dumbéa. Des mesures de plancton y ont été effectuées, selon la procédure citée (tabl. III). Bien qu'elles ne soient pas strictement comparables aux précédentes, parce que pas toujours recueillies aux mêmes dates, il est intéressant de noter leurs valeurs élevées : 2,44 ml m⁻³ de zooplancton pour la moyenne de 8 sorties dans la grande rade de Nouméa et 1,93 ml m⁻³ pour la moyenne de 26 sorties en baie de Dumbéa. Mais il semble que la grande rade de Nouméa soit légèrement eutrophisée par les rejets urbains (ROUGERIE, 1986).

Néanmoins, ces valeurs sont du même ordre que celles de la région de Poum. Elles sont nettement

supérieures à toutes les autres, à l'exception de celles des baies de Canala-Nakéty (2,32 ml.m³). Il faut dire que dans ces dernières baies les récoltes avaient lieu très près d'une mangrove, susceptible d'enrichir en matière organique son environnement marin. On trouve des mangroves dans toutes les baies de la côte ouest, avec des extensions variables. Par contre, les mangroves sont pratiquement absentes du littoral et des îles de la région de Touho (côte est) et de la baie du Prony, qui sont — précisément — les régions les plus pauvres. Les récoltes faites aux îles Belep sont les plus riches de toutes, mais le site n'a été visité qu'au cours de quatre campagnes, ce qui limite la valeur des comparaisons.

Il est difficile de quantifier la composition chimique des sols entourant les stations comparées. Il faudrait connaître exactement le bassin versant de chaque baie et la proportion des différents sols de ce bassin. Les tableaux I et II permettent néanmoins quelques conclusions. On y a indiqué, les quantités totales de

silice et d'alumine dosés dans les sols, ainsi que le rapport moléculaire de la silice à l'alumine. Bien que ce rapport doive être manié avec prudence dans les sols sableux à base de quartz finement pulvérisé ou sans argile alumineuse (LATHAM, comm. pers.), il semble plus intéressant pour deux raisons. Primo, la quantité totale de silice dosée dans une analyse de sols dépend vraisemblablement de l'importance du résidu, lequel peut atteindre 90 % du poids total dans les podzols (LATHAM *et al.*, 1978). Secundo, si la teneur des eaux d'écoulement en silice et en alumine reste constante quand le volume écoulé augmente, (au contraire des autres éléments, selon ROOSE, 1981), l'éventuel effet d'enrichissement en silice d'une eau de ruissellement s'écoulant en mer, est contrarié par sa charge en alumine qui opacifie les eaux côtières et ralentit donc leur production. Le rapport silice/alumine paraît donc plus apte à indiquer un enrichissement que la seule teneur en silice dosée dans une analyse de sols.

On constate que pour les podzols de la région de Poum, ce rapport (135) est incontestablement plus élevé que celui de tous les autres sols (tabl. I et II). Les sols entourant le site de Prony (ferritiques) et de Touho (bruns désaturés) sont les plus pauvres en silice. Leurs rapports silice/alumine sont respectivement égaux à 0,2-0,6 et 2,5. Donc la station la plus riche en plancton est également celle dont le bassin versant est le plus riche en silice. Les autres stations sont dans des situations intermédiaires, difficiles à classer du fait de la variété de leurs sols. ROUGERIE (1986) donne quelques valeurs pour la partie sud-ouest du lagon. Il note que la baie de Saint-Vincent est plus riche en silice dissoute (12 mmol.m³) que la partie interne de la baie du Prony (8 mmol.m³) et que la Grande Rade (7 mmol.m³).

D'autre part, ne peut-on admettre que si la silice dissoute a un effet enrichissant immédiat, les grains de quartz finement pulvérisés, transportés à la mer par les forts ruissellements qui suivent les dépressions tropicales, se dissolvent lentement et ont une action enrichissante, légère, retardée, mais permanente?

Un éventuel enrichissement par la matière organique terrigène est plus difficile à mettre en évidence à partir des données disponibles. On peut essayer d'expliquer les teneurs élevées en plancton des baies de la côte est par la proximité de mangroves riches en matière organique. De même, on pourrait s'attendre à trouver dans les podzols de Poum des quantités élevées de matière organique. Ce qui n'apparaît pas sur le tableau II, parce que LATHAM *et al.* (1978) ne donnent pas d'analyse détaillée de l'horizon A₀₀ le plus superficiel (0-2 cm). Il est aussi possible que l'humus ne soit pas retenu et passe rapidement dans les cours d'eau.

Enfin, en l'absence de test expérimental, on peut aussi supposer que le facteur enrichissant est un

autre élément terrigène, plus souvent associé aux sols siliceux.

La production primaire est contrôlée — entre autres facteurs — par les phosphates, les nitrates et les silicates; mais on reconnaît que ce contrôle se fait différemment selon les écosystèmes. Diverses expériences ont montré que les cultures de dinoflagellés dépendaient essentiellement des apports en azote, alors que l'addition de phosphates était sans effet (GOLDMAN, 1976), ce qui confirmerait RYTHER et DUNSTAN (1971) selon qui l'azote serait en quantité limitante dans les eaux côtières et non le phosphate, abondant dans le ruissellement terrestre et plus rapidement recyclé. Cependant, les populations d'algues à test siliceux (diatomées notamment) sont limitées par les teneurs en silicates. La production primaire est donc limitée par un élément différent selon sa composition taxonomique et inversement celle-ci dépend vraisemblablement des sels nutritifs disponibles. Ainsi les diatomées, qui constituent l'essentiel du bloom qui accompagne les remontées d'eaux froides, épuisent rapidement les silicates disponibles et le silicium devient l'élément limitant (HERBLAND et VOITURIEZ, 1974). On admet que l'azote et le phosphore sont rapidement régénérés par l'excrétion des herbivores, tandis que la régénération de la silice est un processus de dissolution à long terme, impliquant des mécanismes non biologiques (GOERING et NELSON, 1974).

En milieu corallien les blooms de cyanophycées sont courants (eaux décolorées). Ils fixent l'azote atmosphérique en quantité substantielle, de même que certaines bactéries, et la rendent disponible aux producteurs primaires (*in* LEWIS, 1981). Le phosphate connaît des teneurs plus fortes près du fond corallien où la régénération biologique suit le rythme nycthéral des récifs. Dans les fonds à herbiers, le sédiment agit comme réservoir et source de phosphate organique (*in* LEWIS, 1981). Dans le lagon néocalédonien, ROUGERIE (1986) n'envisage pas que la production primaire puisse être contrôlée par la teneur en silice, car la moyenne des teneurs en silicates est élevée, à cause de l'importance des apports terrigènes pendant les quelques semaines de crues. Cependant, dans une population riche en diatomées, il n'est pas impossible qu'il y ait des carences en silicates avant que nitrates et phosphates ne manquent, du fait de la discontinuité des apports terrigènes. Dans les eaux de la grande barrière australienne, REVELANTE *et al.* (1982) ont observé une flore plus riche, en diatomées dans la zone côtière (flore peut-être associée aux panaches fluviaux), tandis que les dinoflagellés ne dominaient qu'en pleine mer. On peut supposer qu'il en est de même en Nouvelle-Calédonie : les apports terrigènes favoriseraient une poussée de diatomées et lorsque celle-ci aurait épuisé les silicates, ceux-ci deviendraient

facteur limitant. DANDONNEAU (1973) observe en effet des poussées de diatomées après les pluies et les crues, devant la Côte d'Ivoire. Ainsi, le maximum annuel de Chlorophylle qui se produit entre avril et août, devant Nouméa (données DANDONNEAU non publiées) a eu lieu en 1978, dans la baie de Saint-Vincent, un mois environ après le maximum de silicates (fig. 2). La poussée phytoplanctonique avait, alors, notablement diminué le taux de silicates.

Peut-on supposer qu'une production primaire à base de diatomées est plus favorable aux herbivores planctoniques? Si de nombreux élevages de Copépodes ont bien été réalisés à partir de péridiniens (PAFFENHÖFER, 1976), il n'en reste pas moins vrai que les explosions de péridiniens ne semblent pas donner lieu à des biomasses secondaires importantes. HOLMES *et al.* (1967) observent la disparition d'une eau colorée à dinoflagellés par le broutage de *Noctiluca* et de rotifères. HUNTLEY (1982) montre que *Calanus pacificus* ne filtre pas sur un bloom de *Gymnodinium flavum*, alors qu'il ingère des *Thalassiosira*. Tandis qu'on sait que les poussées de diatomées précèdent le maximum zooplanctonique, dans les eaux tempérées, comme dans les upwellings tropicaux.

CONCLUSION

Les campagnes de pêche expérimentales autour de la Nouvelle-Calédonie montrent que d'un site à l'autre les teneurs en plancton varient notablement. Sur un ensemble de stations homogènes (visitées durant les mêmes campagnes), on constate que les différences entre sites sont partiellement explicables par des raisons topographiques : les eaux peu profondes des baies semi-fermées contiennent davantage de plancton que les eaux profondes ouvertes sur le lagon ou le large.

Néanmoins, ni la bathymétrie, ni le confinement n'expliquent correctement l'exceptionnelle richesse des eaux de Poum. Sachant que la silice peut être un élément limitant lors d'une poussée de production primaire, on a développé l'hypothèse selon laquelle les sols podzoliques entourant les baies de Banaré, Tanlé et Néhoué les enrichissent en silice et favorisent ainsi une production primaire élevée et donc une biomasse secondaire importante en s'appuyant sur plusieurs arguments :

— Le réseau hydrographique se déversant dans ces baies draine uniquement des sols podzoliques. Ces sols sont notamment constitués de grains de quartz finement pulvérulents. Leur teneur en alumine est extrêmement faible ce qui leur confère le rapport silice/alumine le plus élevé du territoire. Il est très supérieur (de 10 à 300 fois) à celui des autres sols.

— Le climat de cette région, semi-aride, avec des alternances de sécheresse et de crues brutales favorise

une teneur élevée en silice des eaux de source et un transport par ruissellement des particules siliceuses. L'effet enrichissant de ces matériaux arrivés en mer ne sera pas contré par des boues alumineuses stériles, inhibant la pénétration de la lumière.

— Les populations de diatomées, pour lesquelles la silice peut être le facteur limitant, dominent les eaux côtières de la grande barrière australienne, on peut supposer qu'il en est de même dans le lagon calédonien.

Diverses constatations corroborent cette hypothèse — La baie d'Harcourt, voisine de la région de Poum ne connaît que des quantités de plancton beaucoup plus faibles. Le Diahot qui s'y déverse ne traverse que des sols bruns désaturés, ferruginisés, très arrosés et dont le rapport silice/alumine est beaucoup moins élevé.

— Les autres stations bordées de quelques terrains siliceux (Nouméa, Dumbéa et dans une moindre mesure Saint-Vincent) sont parmi les plus riches, tandis que les stations les plus pauvres en plancton (Prony, Touho) sont bordées de sols ferritiques ou ferruginisés, régulièrement et abondamment arrosés et dont les rapports silice/alumine sont les plus faibles.

Néanmoins, il faut envisager une autre hypothèse, selon laquelle le plancton côtier serait enrichi par la matière organique des sols voisins. Les sites de mangrove (baies de la côte est notamment) fournissent un début de confirmation. Mais les analyses chimiques des podzols, au contraire de ce qu'on peut attendre ne révèlent pas de fortes teneurs en matière organique.

Cet article n'a pas la prétention d'une démonstration. Néanmoins, il paraît parfaitement plausible que la nature minéralogique des terrains côtiers ait une forte incidence sur la composition et la quantité des eaux néritiques. Cette hypothèse déjà bien étayée, mériterait d'être confirmée, notamment par un suivi du rapport silice/alumine et du pourcentage de cellules à test siliceux avant, pendant et après la saison des pluies et des crues. Elle permettrait, si elle se vérifiait, de prévoir les aptitudes trophiques d'un milieu néritique au vu de la géologie des terrains côtiers.

REMERCIEMENTS

Les données utilisées dans cet article proviennent de très nombreuses récoltes effectuées sous la responsabilité de F. CONAND. Je le remercie vivement ainsi que tous ceux qui ont participé aux campagnes et notamment : M. BARRO, T. BOELY, M. DAGUZAN, J.-L. TESTAU et J. RIVATON. C'est P. MOLL qui a mesuré les volumes de plancton ; je lui en exprime ma reconnaissance. Enfin, je suis très redevable à M. LATHAM de sa lecture critique et des améliorations qu'il a permis d'apporter à ce texte.

BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme, 1981 a. — Atlas de la Nouvelle-Calédonie et dépendances, 53 pl. Paris : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.
- Anonyme, 1981 b. — Ressources en appât vivant du lagon de Nouvelle-Calédonie. 1^{re} campagne mars à septembre 1980. Centre ORSTOM de Nouméa, 30 p., 16 tab., 28 fig.
- Anonyme, 1982 a. — Ressources en appât vivant du lagon de Nouvelle-Calédonie. 2^e campagne octobre 1980 à juin 1981. Centre ORSTOM de Nouméa, 49 p., 13 tab., 33 fig.
- Anonyme, 1982 b. — Ressources en appât vivant du lagon de Nouvelle-Calédonie. Rapport n° 3, décembre 1982. Centre ORSTOM de Nouméa, 69 p.
- Anonyme, 1983. — Ressources en appât vivant du lagon de Nouvelle-Calédonie. Rapport n° 4, juillet 1982 à juin 1983. Centre ORSTOM de Nouméa, 58 p.
- BAUDUIN (D.) et BRUNEL (J. P.), 1981. — Hydrologie. Atlas de la Nouvelle-Calédonie et dépendances, planche 12, ORSTOM éd. Paris.
- BINET (D.), 1983. — Phytoplancton et production primaire des régions côtières à upwellings saisonniers dans le Golfe de Guinée. *Océanogr. trop.*, 18 (2) : 331-355.
- BINET (D.), 1984. — Copépodes planctoniques du lagon de Nouvelle-Calédonie : facteurs écologiques et associations d'espèces. *Mar. Biol.*, 82 (2) : 143-156.
- DANDONNEAU (Y.), 1973. — Étude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte d'Ivoire. III. Facteurs dynamiques et variations spatio-temporelles. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, 11 (4) : 431-454.
- GÆRING (J. J.) and NELSON (D. M.), 1974. — CUEA Silicon studies on mesal II. *CUEA Newsletter*, 3 (4) : 8-14.
- GOLDMAN (J. C.), 1976. — Identification of Nitrogen as a growth-limiting nutrient in waste waters and coastal marine waters through continuous algal assays. *Water Research*, 10 : 97-104.
- HERBLAND (A.) et VOITURIEZ (B.), 1974. — La production primaire de l'upwelling mauritanien en mars 1973. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, 12 (3) : 187-201.
- HOLMES (R. W.), WILLIAMS (P. M.) and EPPLEY (R. W.), 1967. — Red waters in La Jolla bay, 1964, 1966. *Limnol. Oceanogr.*, 12 (3) : 503-512.
- HUNTLEY (M. E.), 1982. — Yellow water in La Jolla bay, California, July 1980. II. Suppression of zooplankton grazing. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 63 : 81-91.
- LATHAM (M.), QUANTIN (P.) et AUBERT (G.), 1978. — Étude des sols de la Nouvelle-Calédonie. Notice explicative n° 78. ORSTOM, Paris, 138 p., 2 cartes.
- LATHAM (M.), 1981. — Pédologie. Atlas de la Nouvelle-Calédonie et dépendances, planche 14. ORSTOM, Paris.
- LEWIS (J. B.), 1981. — Coral Reef Ecosystems. *In* : Analysis of Marine Ecosystems, A. R. LONGHURST (Ed.), Academic Press : 127-158.
- PAASCHE (E.), 1980. — Silicon. *In* : The physiological ecology of phytoplankton, I. MORRIS (Ed.), Studies in Ecology, vol. 7. Blackwell scientific publication : 259-284.
- PAFFENHOFER (G. A.), 1976. — Feeding growth and food conversion of the marine planktonic Copepod *Calanus helgolandicus*. *Limnol. Oceanogr.*, 21 (1) : 39-50.
- REVELANTE (N.), WILLIAMS (W. T.) and BUNT (J. S.), 1982. — Temporal and spatial distribution of diatoms, dinoflagellates and *Trichodesmium* in waters of the Great Barrier Reef. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 63 (2) : 27-45.
- ROOSE (E.), 1981. — Dynamique actuelle des sols ferralitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. *Trav. Doc. ORSTOM*, 130, 569 p.
- ROUGERIE (F.), 1986. — Le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie : spécificité hydrologique, dynamique et productivité. Études et Thèses. ORSTOM, Paris, 234 p. 67 fig.
- RYTHER (J. H.) and DUNSTAN (W. M.), 1971. — Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. *Science*, 171 (3975) : 1008-1013.
- SIEGEL (S.), 1956. — Nonparametric statistics for the behavioral sciences. International student edition. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, Tokyo, 312 p.
- TESTAU (J. L.) et CONAND (F.), 1983. — Estimations des surfaces des différentes zones des lagons de Nouvelle-Calédonie. Centre ORSTOM de Nouméa, 5 p., 4 fig.
- TRESCASES (J. J.), 1975. — L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale. Formation des gisements nickelifères de Nouvelle-Calédonie. Mémoire ORSTOM 78, ORSTOM, Paris, 259 p.