

UNE PÉRIODE DE POUSSÉE PHYTOPLANCTONIQUE PRÈS DE NOSY-BÉ (Madagascar) EN 1971

III - CONDITIONS HYDROLOGIQUES*

B. PITON, Y. MAGNIER et J. CITEAU

Océanographes de l'O.R.S.T.O.M. Nosy-Bé (Rép. Malgache)

RÉSUMÉ

Une étude du plancton a été entreprise en baie d'Ampasindava et sur le plateau continental jusqu'au talus, dans le nord-ouest de Madagascar, du mois d'avril au mois d'août 1971, durant le changement de saison, au moment où disparaissent les sels nutritifs accumulés dans l'eau de fond par la circulation estuaire de saison humide. Nous présentons ici les paramètres physico-chimiques mesurés sous forme de graphiques, coupes et courbes diverses. L'examen des corrélations entre l'oxygène dissous, l'azote minéral et le phosphate aboutit à la constatation d'un important déficit apparent en azote.

ABSTRACT

From april to august 1971, the physical and chemical parameters of the bay of Ampasindava and surroundings (N.W. Madagascar) have been surveyed and are presented on schemes and graphs to help the plancton studies pursued at the same time. During these months, the accumulated nutrients of the previous rainy season disappear as the estuarine circulation vanishes. The correlations between the dissolved oxygen, the mineral nitrogen and the phosphate lead to the evidence of a nitrogen deficiency.

INTRODUCTION

Deux études antérieures (PITON et MAGNIER, 1971 et MAGNIER et PITON, 1972) ont montré que, dans les baies de la côte nord-ouest de Madagascar, aux oscillations de marée se superpose pendant la saison des pluies (été austral) une circulation nette de type « estuaire », dont la conséquence biochimique principale est la formation, dans l'eau de fond, de poches pauvres en oxygène et riches en sels nutritifs.

Une autre étude (PITON et MAGNIER, 1972) a montré l'existence de fortes concentrations en chlorophylle phytoplanctonique durant le changement de saison entre la saison humide et la saison sèche, en mai-juin. C'est pour préciser les méca-

nismes entrant en jeu durant cette période qu'a été réalisé un programme comprenant une série de mesures physico-chimiques et de prélèvements pour une étude du phyto et du zooplancton.

Nous avons mesuré les paramètres classiques : température, salinité, oxygène dissous, phosphate minéral dissous, nitrate et nitrite.

Les méthodes de mesures et les résultats obtenus ont été publiés au Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé (PITON *et al.*, 1971).

Du 8 avril au 7 août 1971, 10 sorties ont été effectuées, chacune comprenant 9 stations fixes entre l'embouchure de la rivière Sambirano et le talus continental (fig. 1) avec 5 ou 6 prélèvements de la surface au fond.

* Cf. SOURNIA (A.) — 1972 a et b.

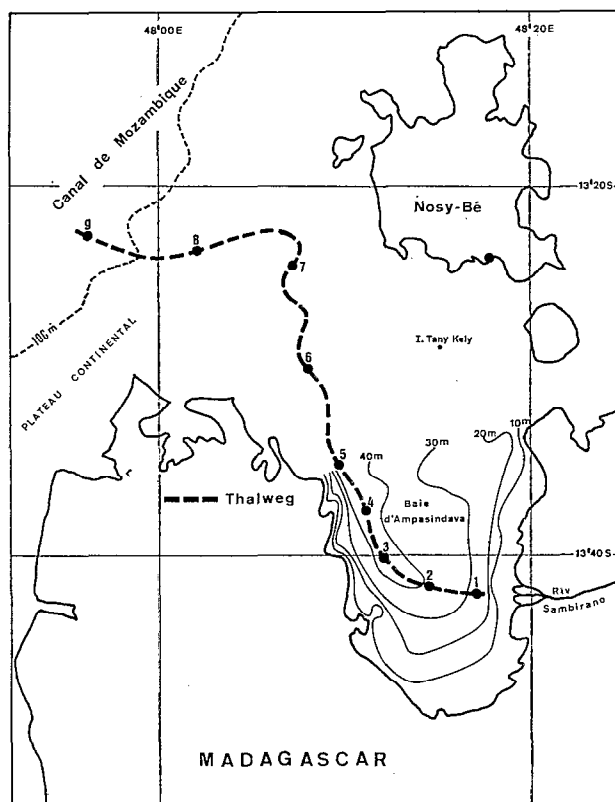


Fig. 1. — Position des stations et isobathes de la baie d'Ampasindava.

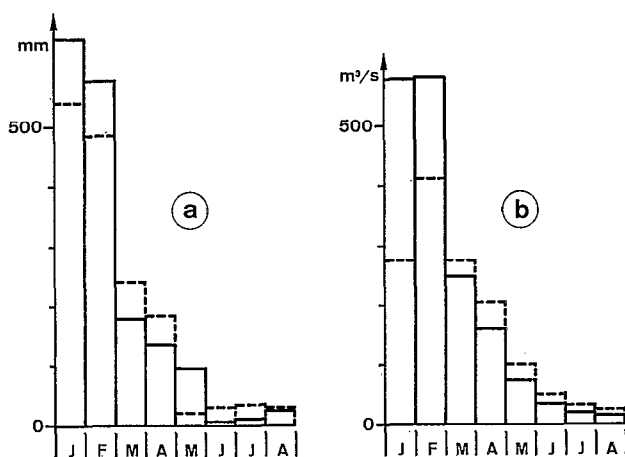


Fig. 2. — a) Relevés pluviométriques mensuels à Tany-Kely, de janvier à août 1971. b) Débits mensuels moyens du Sambirano, de janvier à août 1971. En pointillé, les hauteurs et débits mesurés durant la même période en 1970.

RAPPEL DES CONDITIONS GÉOGRAPHIQUES ET CLIMATIQUES

La baie d'Ampasindava située sur la côte nord-ouest de Madagascar a les caractéristiques suivantes :

- surface : 428 km²,
- volume moyen : 9,8 km³,
- profondeur moyenne : 23 mètres, et maximale : 60 mètres.

Elle reçoit une rivière principale, le Sambirano, de 140 km de long, descendant du massif du Tsaratanana (2880 m) et drainant 80 % du bassin versant de la baie, soit 2980 km². Elle débouche sur un plateau continental large d'une douzaine de milles et profond de 20 à 100 mètres.

Le climat de cette région de Madagascar est surtout caractérisé (fig. 2 a) par une saison sèche de mai à octobre, où les précipitations sont en moyenne cinq fois plus petites que celles de la saison humide, entre novembre et avril (moyenne annuelle de 2 mètres environ). Il s'ensuit pour le Sambirano (fig. 2 b) une période d'étiage (débits pouvant être inférieurs à 5 m³/s) et une période de crues (maximum de 2700 m³/s le 26 janvier 1971).

La température de l'air varie assez peu d'une saison à l'autre : de l'ordre de 24-25 °C en saison sèche, elle est de 28-29 °C en saison humide.

ÉVOLUTION DES PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES

(a) Baie d'Ampasindava

L'évolution physico-chimique de la baie est schématisée par les coupes verticales de la salinité et des teneurs en oxygène dissous et anions azotés (fig. 3, 4 et 5). Les caractères et les conséquences de la circulation estuaire y apparaissent clairement : une grande dilution de l'eau superficielle décroissant du fond de la baie vers le large, la présence de poches subsuperficielles pauvres en oxygène et riches en anions azotés. Ces traits s'atténuent à l'apparition de la saison sèche et l'on aboutit, au mois d'août, à une grande homogénéité verticale de l'eau en salinité et oxygène dissous et à une grande pauvreté en sels nutritifs azotés.

MAGNIER et PITON (1972) distinguent 3 couches d'eau (fig. 6) :

- une couche superficielle de 5 à 10 mètres d'épaisseur où le gradient vertical de salinité est très grand, les teneurs en oxygène élevées et où les anions azotés sont à l'état de traces. La vitesse résultante estimée est de 9-10 cm.s⁻¹ maximum en surface à la sortie de la baie, vers le large,

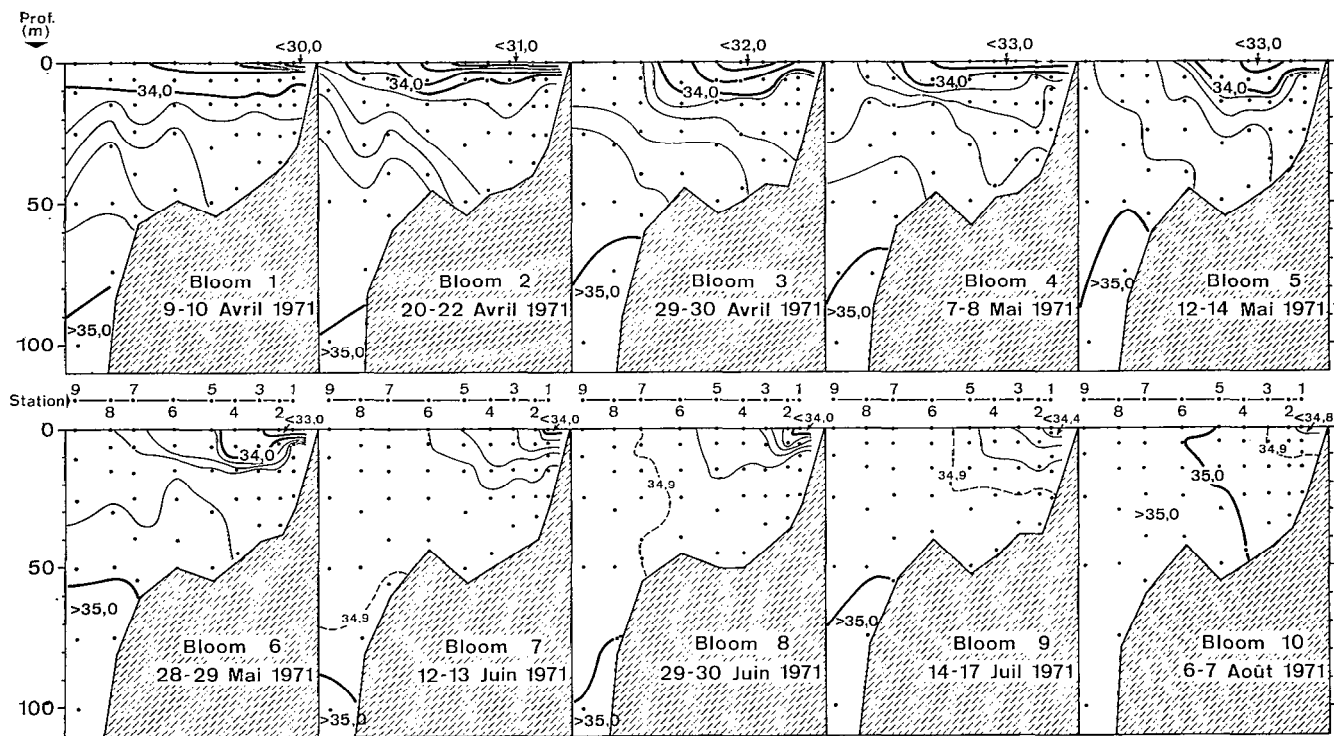


Fig. 3. -- Distribution verticale de la salinité à chaque sortie effectuée du mois d'avril au mois d'août 1971.

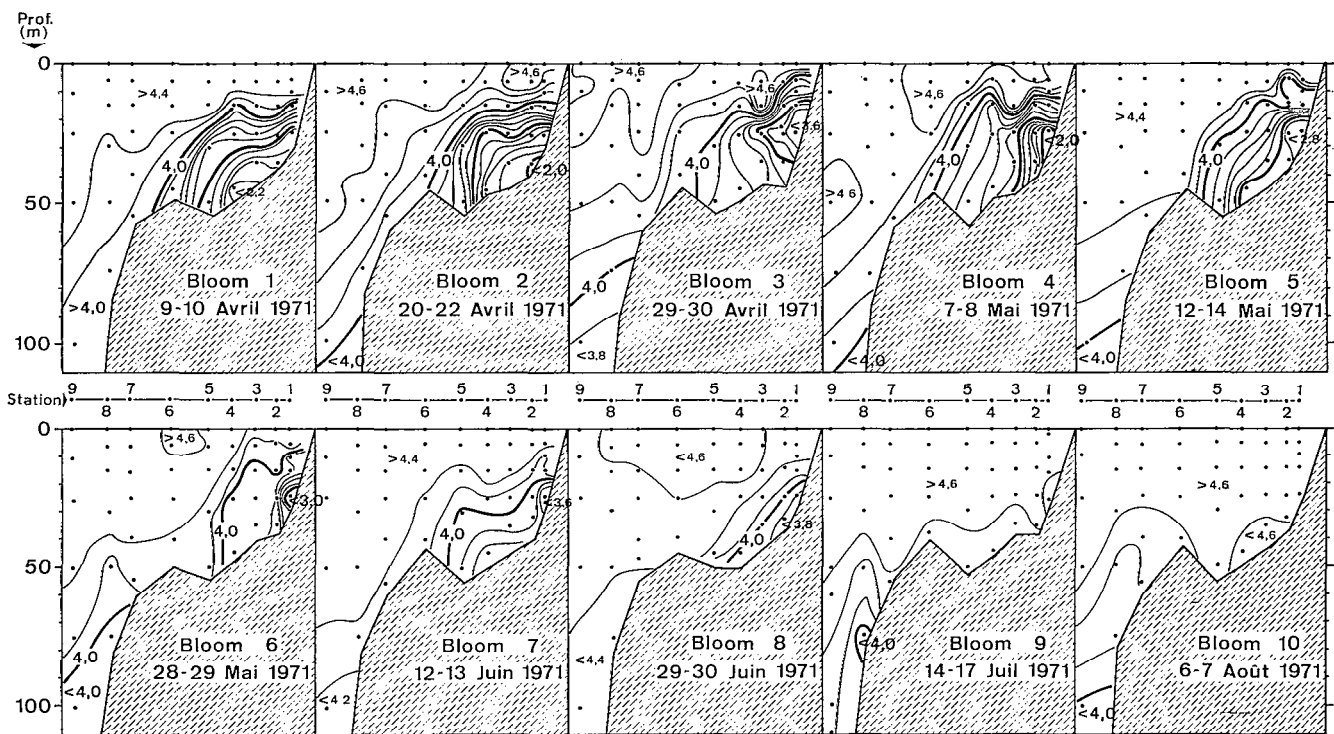


Fig. 4. — Distribution verticale des teneurs en oxygène dissous à chaque sortie effectuée du mois d'avril au mois d'août 1971.

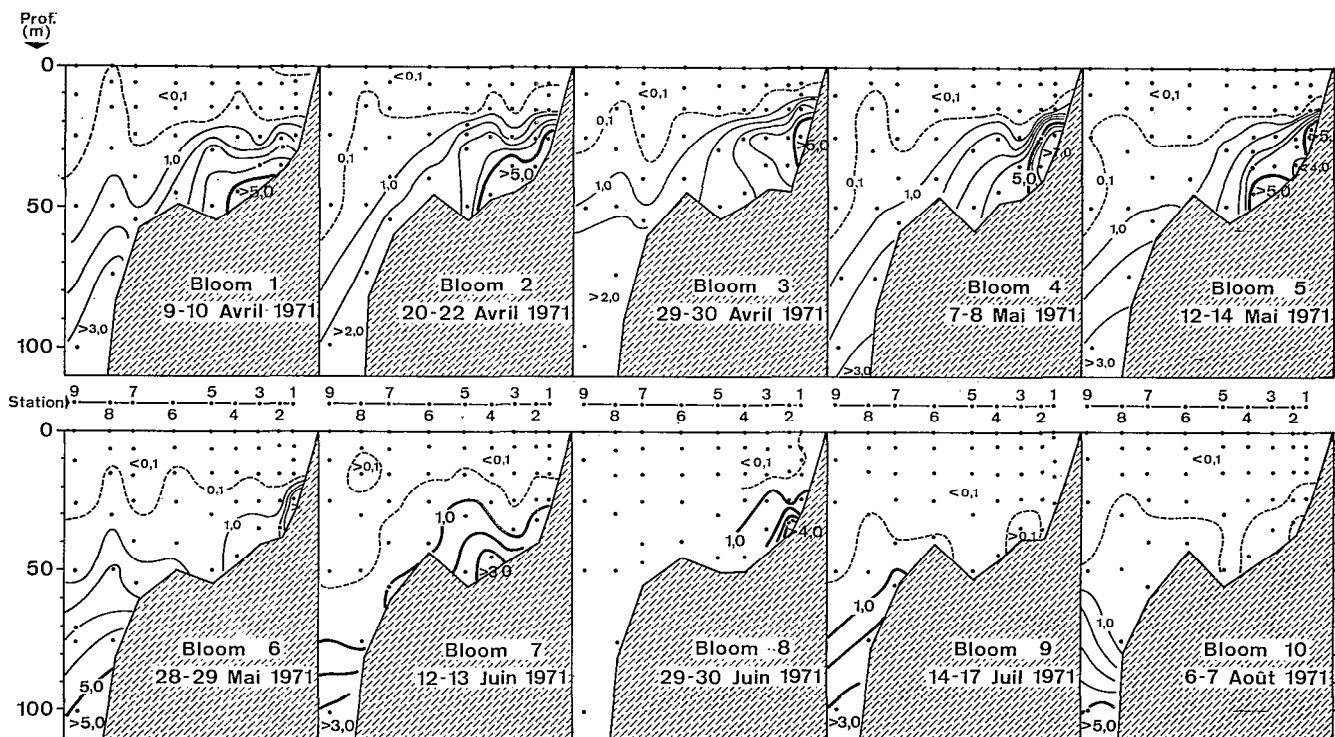


Fig. 5. — Distribution verticale des teneurs en anions azotés (nitrate+nitrite) à chaque sortie effectuée du mois d'avril au mois d'août 1971.

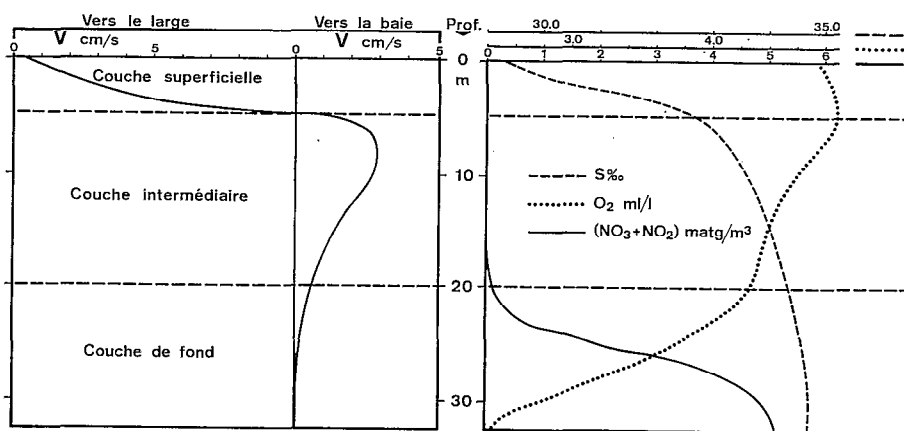


Fig. 6. — Profils verticaux-typiques de la vitesse résultante estimée, de la salinité, des teneurs en oxygène dissous et en nitrate+nitrite à l'entrée de la baie d'Ampasindava.

— une couche intermédiaire de 10 à 15 mètres d'épaisseur à petit gradient vertical de salinité, où les teneurs en oxygène sont élevées et celles en sels azotés, basses. Le courant y est dirigé vers l'amont, avec une intensité résultante maximale estimée à 3 cm.s^{-1} environ, vers 10 mètres d'immersion,

— une couche de fond de 10 à 20 mètres d'épaisseur, où le gradient vertical de salinité est presque nul, alors que les gradients d'oxygène et d'anions azotés y sont importants. Dans cette couche, la vitesse résultante vers l'amont est très petite ($<1 \text{ cm.s}^{-1}$).

Il n'a pas été tenu compte du champ de tempé-

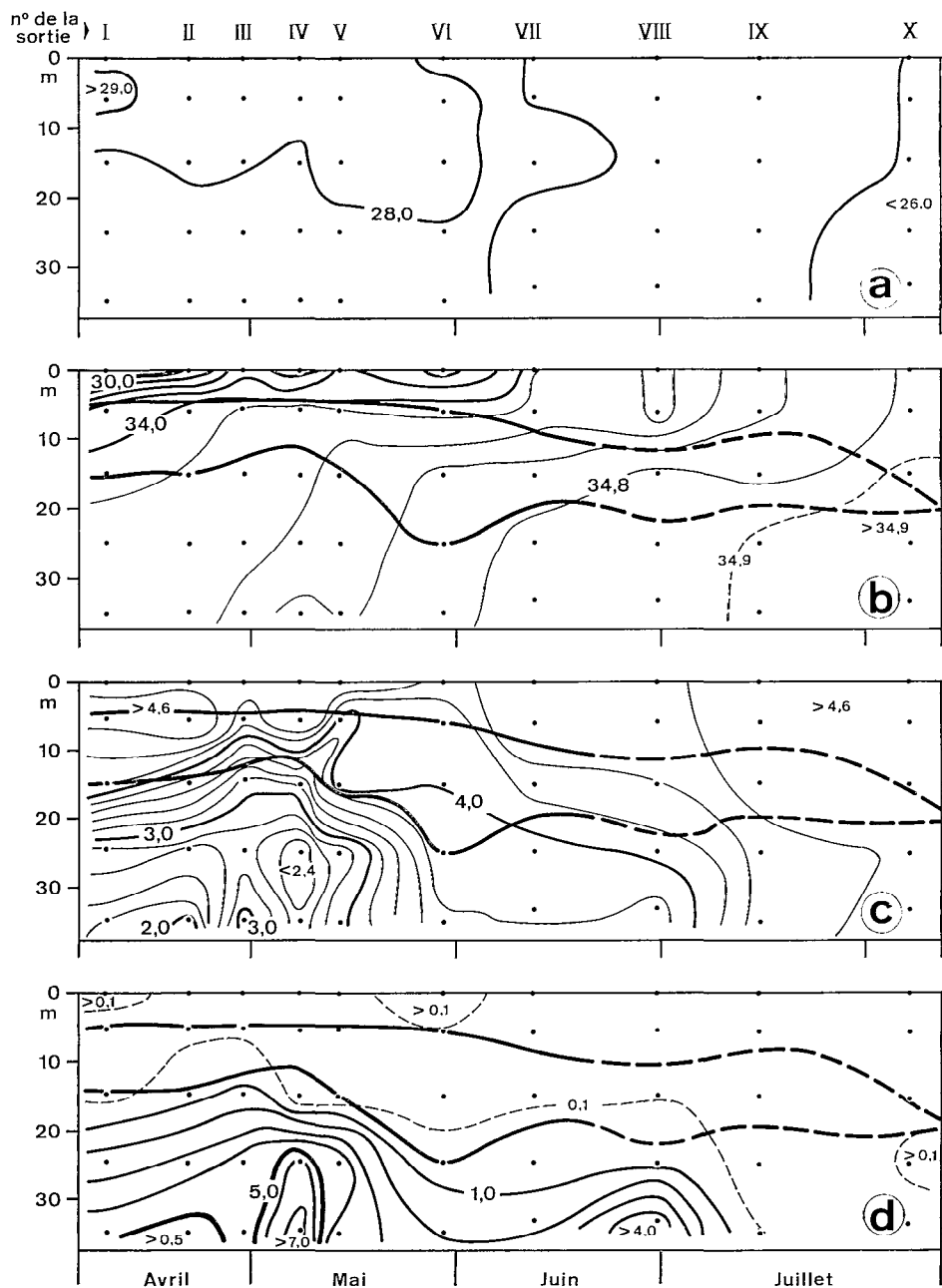


Fig. 7. — Évolution de la température, de la salinité, des teneurs en oxygène dissous et en nitrate + nitrite, et de l'immersion des limites des couches à la station 2, du mois d'avril au mois d'août 1971.

rature dans l'identification de ces 3 couches, car la stratification thermique est de peu d'importance au regard de celles des autres paramètres. Les frontières déterminées d'après les critères précédents sont portées sur la figure 7 qui prend pour exemple l'évo-

lution des caractéristiques physico-chimiques à la station 2, située au centre de la baie d'Ampasindava.

Pour suivre l'évolution de la baie, les valeurs moyennes des paramètres mesurés aux stations 1 à 5 ont été calculées pour chaque couche puis les

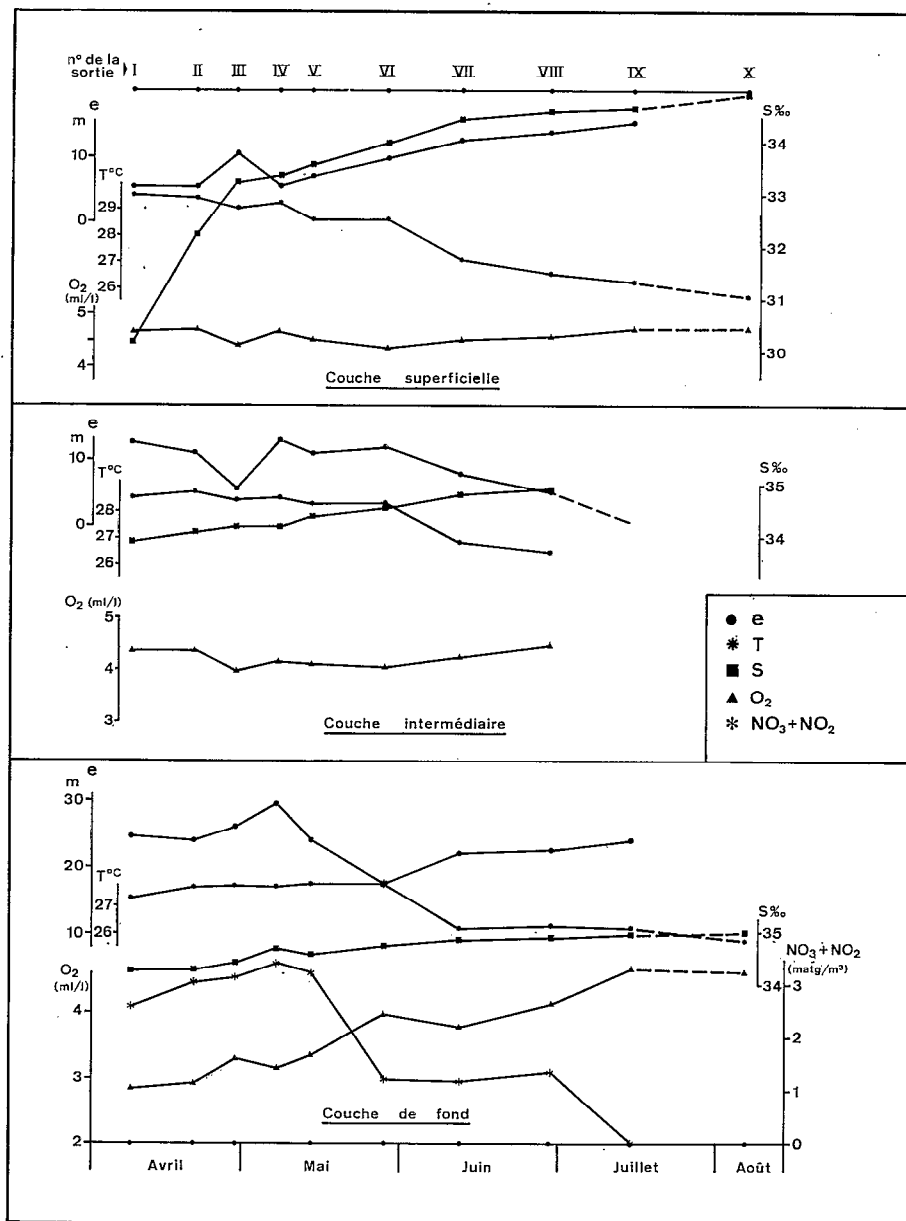


Fig. 8. — Évolution des valeurs moyennes, pour chaque couche, de la température, de la salinité, de l'oxygène dissous et du nitrate+nitrite du mois d'avril au mois d'août 1971.

moyennes pour chaque groupe de 5 valeurs ont été déterminées pour chaque sortie, après pondération de l'épaisseur respective des couches (fig. 8).

Entre avril et juillet, l'épaisseur de la couche superficielle passe de 5 à 15 mètres ; sa température diminue régulièrement de 29,5 °C à 25,6 °C ; sa salinité augmente rapidement de 30,2 à 33,2 ‰,

puis croît régulièrement jusqu'à 34,9 ‰, sa teneur en oxygène reste voisine de 4,6 ml/l ; on n'observe que des traces d'anions azotés (<0,1 matg/m³) provenant vraisemblablement du Sambirano. (Il a été mesuré des teneurs en nitrate de 7,5 matg/m³ et en nitrite de 5,2 matg/m³ dans l'eau de cette rivière).

Pour ce qui est de la couche intermédiaire, son

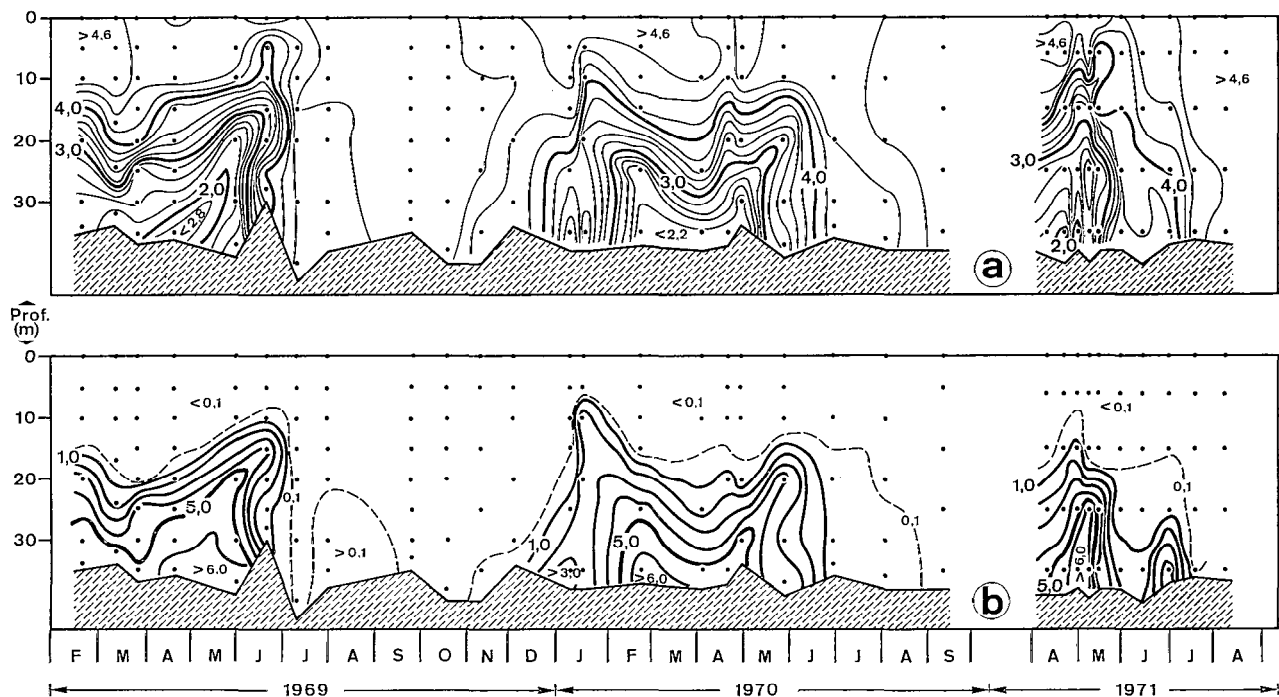


Fig. 9. — Évolution des teneurs en oxygène dissous et en nitrate+nitrite en baie d'Ampasindava (station 2) de février 1969 à août 1971.

épaisseur varie entre 5 et 13 mètres, sa température décroît de 28,6 °C à 26,5 °C, sa salinité croît régulièrement de 33,9 à 34,9 ‰, sa teneur en oxygène dissous varie autour d'une valeur moyenne de 4,25 ml/l et sa teneur en anions azotés est très basse (<0,2 matg/m³).

L'épaisseur de la couche de fond, assez variable, est de 24 mètres en moyenne ; sa température qui est de 27,8 °C en avril et mai, passe à 26,2 °C en juin, juillet et août ; sa salinité croît de 34,3 à 35,0 ‰ ; sa teneur en oxygène augmente régulièrement de 2,8 à 4,6 ml/l alors que sa teneur en anions azotés qui croît de 2,6 à 3,4 matg/m³ jusqu'au début de mai, tombe à 1,2 matg/m³ en fin mai jusqu'à fin juin, puis devient presque nulle au début de juillet.

Il semble qu'en 1971, des concentrations élevées de sels nutritifs aient été observées plus longtemps qu'en 1969 et 1970 (fig. 9). On note même en fin du mois de juin, des teneurs plus élevées en anions azotés qu'au début du mois. Ce détail mis à part, il semble que les conséquences biochimiques de la circulation de type estuaire en baie d'Ampasindava se répètent d'une année à l'autre avec beaucoup de similitude.

(b) Plateau continental et talus

Les conséquences biochimiques de la circulation de type estuaire dans l'eau de fond sont beaucoup moins importantes sur le plateau continental, la vitesse résultante devant y être plus grande que dans la baie (PITON et MAGNIER, 1971).

Sur le talus, on constate qu'à la station 8, située dans un canyon sous-marin, les propriétés physico-chimiques sont influencées par des remontées intermittentes d'eau profonde (fig. 10), qui peuvent enrichir l'eau superficielle en sels nutritifs, comme par exemple au début du mois d'avril. MAGNIER et PITON (1972) ont déjà signalé cette particularité.

Jusqu'à présent, il n'a pas été possible de relier avec certitude ce régime d'« upwellings » intermittents à un régime de vent de reflux. On peut seulement dire que toute la région nord-ouest de Madagascar est sans doute favorable à ce phénomène : le courant géostrophique décrit par DONGUY et PITON (1961) longe en effet la côte, du sud-ouest vers le nord-est.

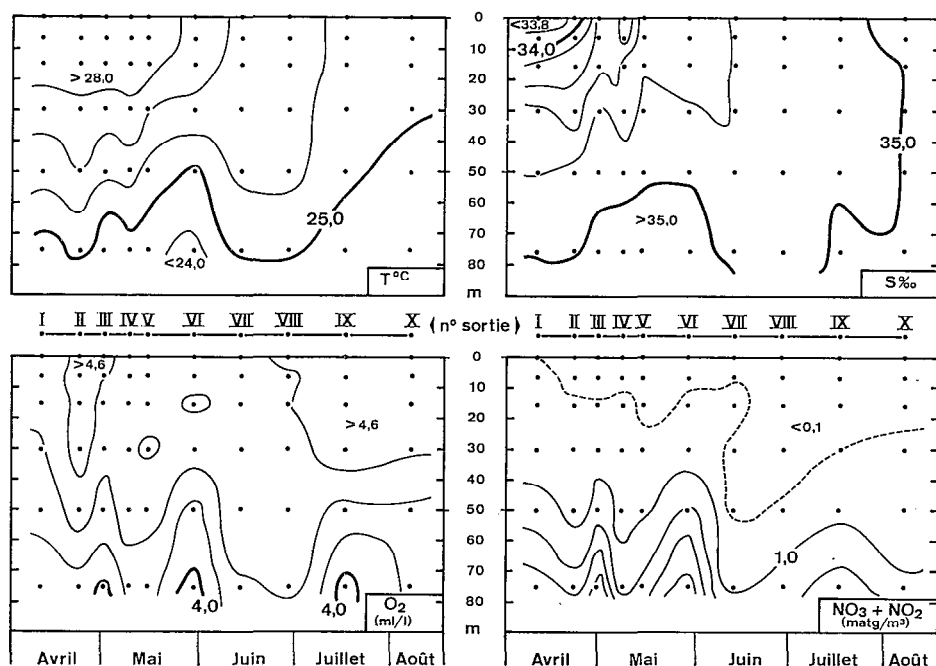


Fig. 10. — Évolution de la température, de la salinité, des teneurs en oxygène dissous et en nitrate+nitrite à la station 8 du mois d'avril au mois d'août 1971.

CORRÉLATION O/N/P EN BAIE D'AMPASINDAVA

Les rapports atomiques de minéralisation généralement retenus pour l'eau de mer (REDFIELD *et al.*, 1963) sont :

$$\Delta O/\Delta N/\Delta P = -276/16/1$$

Les mesures effectuées sur le talus continental et le proche large de la côte nord-ouest de Madagascar (PITON *et al.*, 1969), donnent, dans l'eau subsuperficielle, entre l'immersion de l'isoplethe UAO = 0 et

celle du minimum d'oxygène vers 200-250 mètres, les rapports :

$$\Delta O/\Delta N/\Delta P = -263/16,8/1,$$

proches de la relation classique.

En baie d'Ampasindava, aux stations 1 à 5, au-dessous du niveau de l'isoplethe UAO = 0 vers 10 mètres d'immersion, les équations des différentes droites de régression obtenues (fig. 11) sont données par le tableau ci-dessous :

Corrélation	n	r	Équation de la droite de régression (unité : mg/m ³)	P ₁	P ₂
(NO ₃ +NO ₂)N/P	68	0,89	(NO ₃ +NO ₂)N = 8,5 P-1,75	8,5	16
P/O	67	-0,93	P = 0,0035 O+1,51	-0,0035	-0,0036
(NO ₃ +NO ₂)N/O	158	-0,86	(NO ₃ +NO ₂)N = 0,0275 O+10,7	-0,0275	-0,0580
(NO ₃ +NO ₂ +NH ₄ [*])N/O	23	-0,91	(NO ₃ +NO ₂ +NH ₄)N = -0,0328 O+12,3	-0,0328	-0,0580
(NO ₃ +NO ₂ +NH ₄ [*])N/P	23	0,85	(NO ₃ +NO ₂ +NH ₄)N = 9,3 P-1,66	9,3	16

n = nombre de couples de mesures retenus

r = coefficient de régression

p₁ = pente calculée

p₂ = pente théorique avec l'unité choisie

* Les teneurs en ammoniacque retenues sont celles mesurées lors de la sortie du 21-22 avril 1971, les autres déterminations étant trop sujettes à caution (nombreuses sources de pollution possible sur le VAUBAN). La méthode employée a été préconisée par OUDOT (*comm. pers.*) inspirée de la méthode de STRICKLAND et PARSONS (manuscrit non publié) : l'eau de mer est traitée par de l'hypochlorite de sodium et du phénol en présence de nitroprussiate de sodium, dans un milieu alcalin contenant du citrate de sodium.

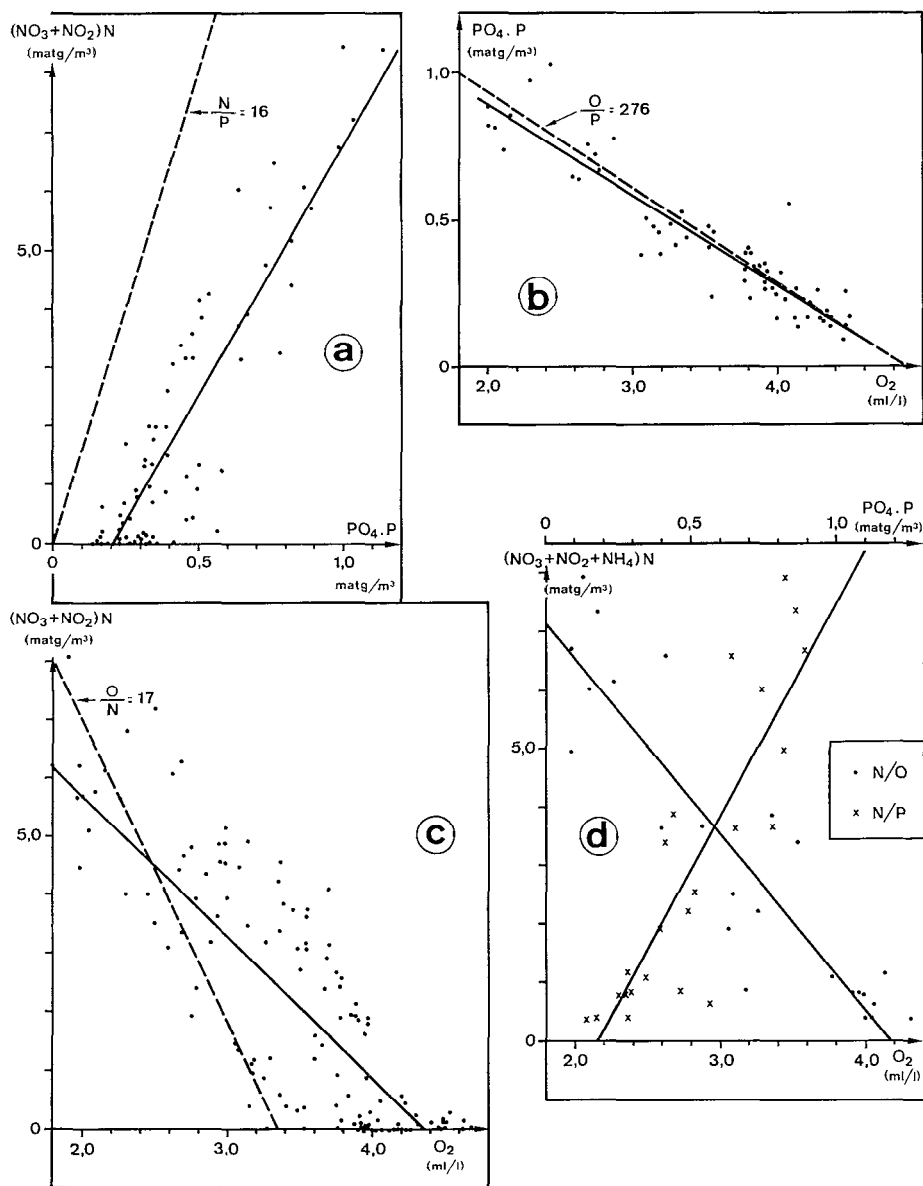


Fig. 11. -- Corrélations entre les teneurs en oxygène dissous, en nitrate + nitrite et en phosphate mesurées sur le talus continental et le proche large de la côte nord-ouest de Madagascar en juillet 1968.

D'après ce tableau, le rapport : $\Delta O/\Delta N/\Delta P$ est — 286/9/1.

Il y a donc un déficit important en azote minéral, même lorsqu'on tient compte de l'azote ammoniacal : la concentration de l'azote minéral devrait être environ deux fois plus élevée.

La figure 9 permet de distinguer 3 périodes dans le fonctionnement du système d'assimilation et de régénération des sels nutritifs :

(1) du mois de novembre au mois de mars, la reminéralisation est supérieure à l'assimilation ; il y a donc création des « poches » pauvres en oxygène et riches en sels nutritifs,

(2) du mois de mars au mois de juillet l'assimilation est supérieure à la régénération, les poches disparaissent,

(3) du mois de juillet au mois de novembre,

l'équilibre du système est maintenu, avec absence apparente des formes minérales de l'azote et maintien du phosphate en petite quantité ($<0,2 \text{ matg/m}^3$).

Les pentes calculées dans les corrélations $(\text{NO}_3 + \text{NO}_2)/\text{N/O}$ et P/O pour chacune des deux premières

périodes, à partir de résultats de mesures effectuées entre novembre 1969 et juillet 1970, ne sont pas statistiquement différentes entre elles et montrent le même déficit en azote.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 22 janvier 1973.

BIBLIOGRAPHIE

- DONGUY (J. R.), PITON (B.), 1969. — Aperçu des conditions hydrologiques de la partie nord du canal de Mozambique. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. VII, n° 2 : 3-26.
- MAGNIER (Y.), PITON (B.), 1972. — La circulation en baie d'Ampasindava (Madagascar) et ses implications biochimiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. X, n° 1.
- PITON (B.), MAGNIER (Y.), 1971. — Les régimes hydrologiques en baie d'Ambaro (nord-ouest de Madagascar). *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. IX, n° 2 : 149-166.
- PITON (B.), MAGNIER (Y.), 1972. — Le cycle annuel des sels nutritifs et des pigments dans les baies de la côte nord-ouest de Madagascar. *Ann. Univ. Madagascar, sér. Math. et Sci. Nature*, n° 9 : 93-104.
- PITON (B.), MAGNIER (Y.), CITEAU (J.), 1971. — Résultats des observations physico-chimiques en baie d'Ampasindava d'avril à août 1971. *Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé, sér. Archives*, n° 1 (multigr.).
- PITON (B.), PRIVÉ (M.), TERAY (A.), 1969. — Résultats des observations physicochimiques en baie d'Ampasindava, sur le plateau continental et au large de la côte nord-ouest de Madagascar, de décembre 1967 à janvier 1969. *Centre O.R.S.T.O.M. de Nosy-Bé, Doc. n° 6* (multigr.).
- REDFIELD (A. C.), KETCHUM (B. H.), RICHARDS (F. A.), 1963. — The influence of organisms on the composition of sea-water. *In* : The Sea, HILL (M. N.) ed., Interscience pub. : 26-77.
- SOURNIA (A.), 1972 a. — Une période de poussées phytoplanctoniques près de Nosy-Bé (Madagascar) en 1971. I, espèces rares ou nouvelles du phytoplancton. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. X, n° 2 : 151-159.
- SOURNIA (A.), 1972 b. — Une période de poussées phytoplanctoniques près de Nosy-Bé (Madagascar) en 1971. II. Production primaire. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.*, vol. X, n° 3 : 289-300.