

Phytoplancton et pollution : premières études en baie de Bietri (Côte d'Ivoire).

(N)

Traitement mathématique des données

Phytoplankton
Baie de Bietri
Pollution
Traitement des données
Côte d'Ivoire

Phytoplankton
Bietri Bay
Pollution
Data processing
Ivory Coast

R. Arfi^a, P. Dufour^b, D. Maurer^a

^a Laboratoire d'Écologie numérique, Centre Universitaire de Marseille-Luminy, 13288 Marseille Cedex 9.

^b Antenne ORSTOM (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer), Station d'Hydrobiologie de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), 74203 Thonon-les-Bains.

Reçu le 6/11/80, révisé le 13/2/81, accepté le 4/4/81.

RÉSUMÉ

Cette étude des populations phytoplanctoniques d'une baie tropicale (baie de Bietri, Abidjan, Côte d'Ivoire) constitue une approche de l'impact de rejets domestiques et industriels sur les communautés algales de cette aire semi-fermée, enclose dans un tissu urbain assez développé.

Un traitement mathématique des données (analyses en composantes principales) a été effectué, afin de mettre en évidence les relations spécifiques et les groupements d'espèces existant, en fonction de la situation hydrologique locale et de la charge polluante.

Le caractère extrêmement eutrophe de la baie (et particulièrement de son extrémité orientale) se traduit par des développements algaux exubérants à partir d'une population autochtone, l'influence « marine » se limitant à la zone de balancement des marées. L'effet toxique des principaux effluents industriels est évident à forte concentration; mais après dilution et/ou transformation des composés, l'effet eutrophisant s'avère indéniable. Le rejet des abattoirs, en fond de baie, induit ainsi des développements algaux énormes (jusqu'à $116 \cdot 10^6$ cell/l), et paraît le plus préoccupant de ce point de vue.

Un certain nombre d'espèces se développant dans la baie se révèlent caractéristiques de l'intense pollution observée : les Dinoflagellés *Peridinium trochoideum* et *Prorocentrum micans*, l'Euglénophycée *Eutreptiella braarudi*, des Cryptophycées des genres *Cryptomonas* et *Hemiselmis*, et des Chlorophycées des genres *Chlamydomonas* et *Tetraselmis*.

Une zonation géographique de la baie de Bietri a été définie à partir des communautés spécifiques algales qui s'individualisent en fonction des charges nutritives et polluantes présentes et des conditions hydrologiques particulières.

Oceanol. Acta, 1981, 4, 3, 319-329.

ABSTRACT

Phytoplankton and pollution: first studies in Bietri Bay (Ivory Coast).
Mathematical data processing.

That first study of the phytoplanktonic populations from a tropical bay (Bietri Bay, Abidjan, Ivory Coast) approaches the domestic and industrial sewage effects on microalgal communities, in that half-closed area, situated in a fairly dense urbanized zone of the city.

A mathematical processing of the data (Principal Components Analysis) has been conducted, showing specific relationships and planktonic species groups, according to the local hydrological situation, and the pollution load.

The very high eutrophy in the bay (and particularly in its oriental part) is indicated by exuberant phytoplanktonic blooms from autochthonal species; the "marine" influence is limited to the tidal flushing area. The main industrial sewage toxic effects are obvious at high concentration (near the outfalls) but after dilution and/or transformation, the

12 OCT. 1983

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 3333

Cote B u ex 1

B 3333
ex 1

compounds have an undeniable eutrophic effect. The slaughter-house sewage is inducing enormous phytoplanktonic blooms (up to 116×10^6 cell/l), and seems to be the more harmful, on that point of view.

Some of the developing species in the bay are characteristic of the ambient high level pollution: *Peridinium trochoideum* and *Prorocentrum micans* (Dinoflagellates), *Eutreptiella braarudi* (Euglenophyceae), Cryptophyceae from genus *Cryptomonas* and *Hemiselmis*, and Chlorophyceae from genus *Chlamydomonas* and *Tetraselmis*.

A geographical partition of the Bietri Bay is defined, considering the microalgal specific communities, individualised from the local nutrient and pollution load, and the particular hydrological conditions in the bay.

Oceanol. Acta, 1981, 4, 3, 319-329.

INTRODUCTION

La lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) est une importante étendue d'eau tour à tour douce et saumâtre, alimentée en eau douce par trois fleuves principaux. Elle communique avec la mer par le canal de Vridi, qui constitue la principale entrée des eaux marines et sortie des eaux lagunaires.

Cette zone a fait l'objet de nombreuses études, recensées par Charles-Dominique et Durand (1979). Sa morphologie et son hydroclimat ont été décrits par Tastet (1974) et Varlet (1978), tandis que la répartition saisonnière et géographique des sels nutritifs, de la biomasse phytoplanktonique et de la production primaire ont fait l'objet d'un travail de Pages *et al.* (1979). Maurer (1978) a plus précisément travaillé sur la composition taxonomique du phytoplancton de la baie de Bietri, l'une des nombreuses baies sur les rives desquelles est établie la capitale de la Côte d'Ivoire, Abidjan (800 000 habitants en 1976). D'une superficie d'environ 550 ha, c'est la plus isolée des baies de la région urbaine (fig. 1). La construction de la digue de Koumassi et du remblai de Vridi (fig. 2) ont réduit les communications avec la baie d'Abidjan à une simple passe d'environ 100 m de large et 3 m de profondeur. La baie de Bietri présente des fonds peu importants, rarement supérieurs à 4 m, et plus généralement de l'ordre de 3 m. Le renouvellement des eaux est limité, et leur temps de résidence en surface

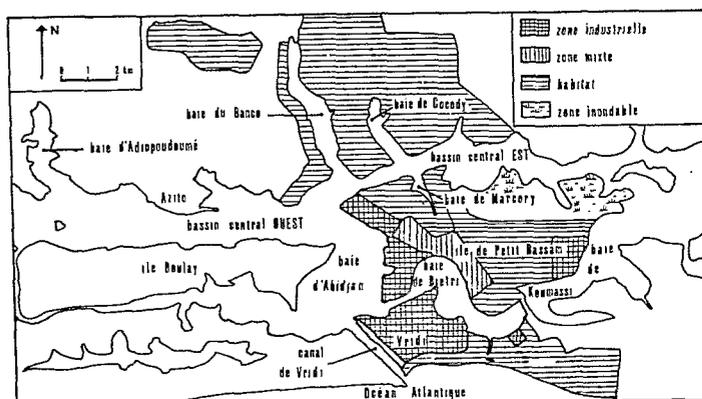


Figure 1
Agglomération abidjanaise. Réseau de baies formant la partie centrale de la lagune Ebrié.
Abidjan. Bights system, forming the Ebrié laguna central part.

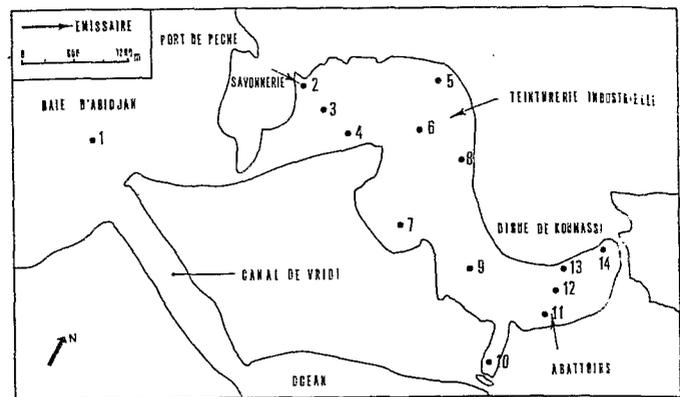


Figure 2
Baie de Bietri. Principaux émissaires (savonnerie, teinturerie industrielle et abattoirs). Emplacement des 14 stations de prélèvement couvrant la baie.

Bietri Bay. Main outfalls (soap-works, dye-works and slaughter-house). Localization of the 14 sampling stations.

estimé à 4 à 5 jours pour la partie Est de la baie. 1 à 2 jours pour la partie Ouest. Sa moitié occidentale est donc directement influencée par les courants de marée, tandis que son extrémité orientale ne présentera que des mouvements de type tourbillonnaire.

Les déversements d'effluents dans la baie sont nombreux et importants. Ils sont estimés à environ $18\,000\text{ m}^3$ par jour (dont 3 600 kg de matières oxydables), soit approximativement 1/1 000 du volume des eaux de la baie, estimé par Novo (1974) à 16,5 millions de mètres cubes. Le caractère excessivement eutrophe de la baie de Bietri a été mis en évidence par Dufour et Slepoukha (1975), qui ont proposé une classification de la région abidjanaise basée sur les profils verticaux des teneurs en oxygène dissous. La baie de Bietri apparaît comme l'une des plus polluées; ajoutons que ses fonds sont recouverts en grande partie d'une épaisse couche de vases organiques réductrices.

Cet état de pollution peut être reflété par de nombreuses variables physiques et chimiques. Toutefois, la connaissance de paramètres biologiques, rendant compte plus directement de l'impact éventuel des eaux usées sur les organismes vivants représentant les premiers maillons de la chaîne alimentaire paraît indispensable. C'est ainsi que l'étude des populations phytoplanktoniques s'avère très intéressante. Globalement, elle reflète le degré de sensibilité et de réaction d'un peuplement algal à un

effluent urbain; qualitativement, elle peut conduire à la reconnaissance d'espèces indicatrices d'une perturbation du milieu. Cet aspect structural de la communauté photoautotrophe est très important en ce qui concerne les études d'impact de pollution. La littérature récente montre en effet que l'architecture d'un écosystème peut être modifiée dans des directions privilégiées par des types bien particuliers de stress.

Le présent travail s'attache à décrire pour la première fois la partie phytoplanctonique du système pélagique en baie de Bietri, à travers les résultats de trois sorties réalisées les 3 et 19 septembre, et le 6 octobre 1976; l'ensemble de la zone a d'abord été prospecté, puis deux secteurs soumis à une charge polluante plus localisée ont été étudiés.

MÉTHODES ET TECHNIQUES

Sur tout ou partie des prélèvements, les paramètres suivants ont été étudiés selon les méthodes indiquées :

- la transparence des eaux a été déterminée par la profondeur de disparition du disque de Secchi;
- la salinité a été mesurée au réfractomètre;
- les phosphates ont été dosés à l'aide d'un analyseur automatique Technicon^R, après conservation à -20°C en pilulier de verre, selon les méthodes recommandées par Strickland et Parsons (1972);
- la chlorophylle a été dosée selon la méthode fluorimétrique *in vitro* de Yentch et Menzel (1963). Nous n'avons pas effectué de calcul de la chlorophylle *a* corrigée des phéopigments, les chlorophylles accessoires *b* et *c*, ainsi que leurs produits de dégradation semblant intervenir de façon trop importante dans le milieu étudié (Neveux, 1976). Ainsi, nous avons souvent dénombré d'importantes quantités de Chlorophycées et d'Euglénophycées, notablement riches en chlorophylle *b* (Bourrelly, 1966 et 1970);
- la production primaire a été estimée selon la méthode dite de « l'oxygène », par incubation simultanée de bouteilles noires et claires (Strickland, Parsons, 1972);
- les mesures d'oxygène dissous ont été faites au moyen d'une sonde polarographique;
- en ce qui concerne le phytoplancton, les prélèvements d'eau (100 à 150 ml) effectués à une profondeur de 0,5 m ont été fixés au lugol acétique, mis à sédimenter 24 à 48 heures, puis observés au microscope inversé Wild. La méthode de comptage utilisée est celle d'Utermöhl (1958), avec les modalités préconisées par Travers (1971) concernant le sous-échantillonnage et le remplissage des chambres à sédimentation. Les résultats obtenus en nombre de cellules ont été transformés en volume de matière végétale, plus représentatif de la richesse algale du milieu. Le volume d'une cellule est calculé à partir du volume moyen de 15 à 20 individus. Cette conversion introduit une erreur supplémentaire, surtout pour les espèces de forme compliquée et pour les Diatomées, dont le volume global ne correspond pas au biovolume réel du fait de la présence de vacuoles. Afin de corriger cette dernière erreur, nous avons évalué les volumes des Diatomées en utilisant la formule de Smayda (1965) :

$$\text{volume plasmique} = \frac{\text{surface cellulaire} \times C}{\mu\text{m}^2 \times \mu\text{m}^3}$$

+ 0,1 (volume cellulaire).

Le choix du coefficient *C*, qui correspond à l'épaisseur du cytoplasme pariétal variant de 1 à 2 μm , est fonction du rapport surface/volume de la cellule. Pour un rapport inférieur à 0,35 le coefficient est de 2; pour un rapport compris entre 0,35 et 0,5 il est de 1,5. Pour un rapport compris entre 0,5 et 0,9, *C* est égal à 1. Quand le rapport est supérieur à 0,9, il n'est pas apporté de correction.

En ce qui concerne les autres organismes, nous n'avons pas effectué de correction.

TRAITEMENT MATHÉMATIQUE

Le traitement utilisé ici est celui des composantes principales. Il a pour objet de condenser et de hiérarchiser l'information globale contenue dans un tableau de données (*P* espèces planctoniques réparties sur *N* stations), difficilement manipulable en raison de son volume, tout en déformant le moins possible la structure originelle. Ce type d'analyse a été retenu en raison de l'intérêt porté, dans cette première étude, à l'aspect quantitatif du problème (Chardy *et al.*, 1976; Dessier, Laurec, 1978), avec une approche résolument descriptive des phénomènes envisagés (Blanc, Laurec, 1976).

Nous avons effectué une transformation des données de type $\log(x_i + 1)$ afin d'homogénéiser les variances, bien que cela ne remplace pas l'hypothèse de multinormalité de nos distributions, mais constitue seulement une approche de cette condition. Pour faciliter l'interprétation des analyses (qui portent toutes sur des matrices de corrélation entre espèces), les espaces duaux des variables et des observations ont été superposés.

Cette étude écologique réalisée à partir d'un traitement mathématique des données aujourd'hui classique va nous amener à établir la structure des populations phytoplanctoniques étudiées. Il nous était apparu également intéressant d'appliquer cette méthode aux effectifs, mais aussi aux biovolumes cellulaires, qui semblent *a priori* plus représentatifs de la richesse du milieu. En effet, ils intègrent les effectifs des différentes espèces, mais aussi la grande diversité de taille des organismes. À cet égard, le calcul des coefficients de corrélation a montré que les biovolumes sont en général plus fortement corrélés avec les autres paramètres estimatifs de la biomasse algale et de sa productivité (chlorophylle *a* et production primaire) que les effectifs cellulaires, bien que, dans les deux cas, les corrélations soient significatives. Cependant, le type d'analyse retenu ne permettait pas une telle approche, la métrique utilisée se basant sur le coefficient de corrélation : les corrélations interspèces (effectifs) sont alors égales aux corrélations interspèces (biovolumes), et les paramètres de dispersion respectivement égaux aux coefficients de conversion effectifs-biovolumes près. Pour être à même de travailler sur des tableaux se rapportant aux biovolumes, et de comparer les structures établies à celles obtenues à partir de tableaux d'effectifs, un autre type d'analyse factorielle doit donc être envisagé.

Désireux dans un premier temps, de préciser au mieux les relations interspécifiques du phytoplancton dans ce milieu perturbé, nous avons maintenu notre approche, se basant sur des analyses en composantes principales. Dans le secteur étudié, les communautés algales rencontrées au cours de nos prélèvements étant en général notablement dominées par des espèces de petite taille, le calcul des biovolumes rend alors compte des mêmes variations relatives entre échantillons que le dénombrement des cellules. Ne travailler que sur les effectifs n'induisait pas alors une trop grande perte d'information.

ÉTUDE D'UN RÉSEAU DE STATIONS COUVRANT LA BAIE DE BIETRI

Un réseau de 14 stations a été prospecté le 3 septembre 1976. Une d'entre elles, servant de référence, a été choisie en dehors de la baie, au débouché du canal de Vridi; trois autres stations se trouvent près des points de rejet importants (fig. 2). Les paramètres transparence des eaux, salinité chlorophylle *a* et effectifs phytoplanctoniques ont été étudiés.

La transparence des eaux est plus élevée en dehors de la baie et dans sa moitié occidentale (210 et 150 cm) que dans le reste du secteur prospecté (70 à 110 cm). Les salinités sont de l'ordre de 15 ‰, mais on peut noter que l'extérieur de la baie est légèrement moins salé (13 ‰). Les taux de chlorophylle *a* sont élevés, avec un minimum de 7 µg/l à la station 1, et un maximum de 56 µg/l à la station 13. On observe un gradient de richesse croissante de l'extérieur de la baie vers son extrémité orientale. Les effectifs phytoplanctoniques suivent une même évolution, et varient de 0,4 (station 2) à 22,6 millions de cellules par litre (station 13), les biovolumes correspondants étant respectivement de 0,2 et 9 mm³. 14 espèces phytoplanctoniques ont été répertoriées au cours de cette sortie, l'une d'entre elles (*Cryptomonas* sp.) représentant en moyenne 93 % des effectifs, et 82 % du biovolume. Les autres espèces sont des Diatomées marines, qui paraissent bien supporter des dessalures importantes, des Dinoflagellés, une Cyanophycée du genre *Oscillatoria*, et une Euglénophycée, *Eutreptiella braarudi*.

L'analyse mathématique a porté sur 11 espèces phytoplanctoniques observées sur 14 stations.

Le premier plan factoriel de l'analyse extrait à lui seul une grande partie de l'information, le premier axe expliquant 38 % de la variance totale et le second 24 %, soit au total 62 % pour ce plan 1-2.

L'axe 1 peut être assimilé à la pénétration des eaux marines dans la baie (nous parlons d'eaux marines bien que ce terme soit sans doute mal approprié en raison de la faible salinité de ces eaux : 13 ‰; cependant, elles sont directement sous influence océanique par le canal de Vridi, et elles rendent compte de cette même influence dans la baie malgré la dilution). En effet, dans l'espace des observations (stations), les points de prélèvement 1 et 3 (extérieur et entrée de la baie) s'opposent au groupe des stations 9, 12, 13, et 14 (fond de baie). Dans l'espace des variables, les espèces marines *Cerataulina pelagica*,

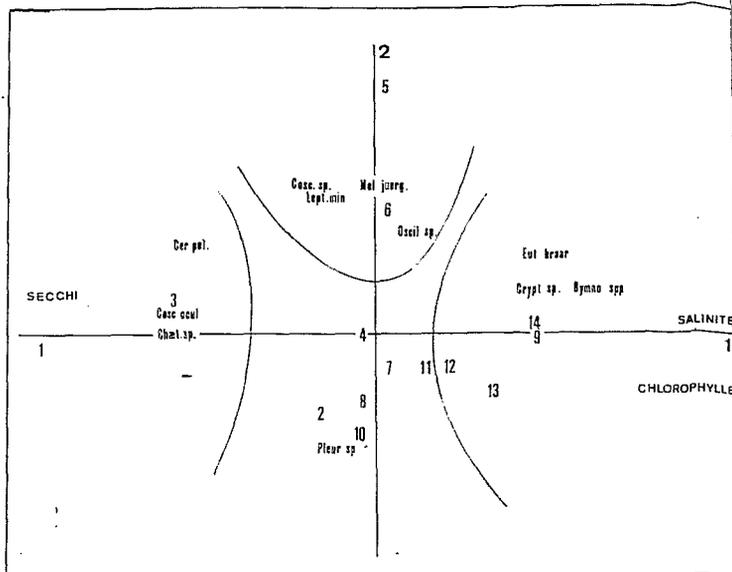


Figure 3

Baie de Bietri. Graphe-plan 1-2 de l'analyse en composantes principales des espèces phytoplanctoniques, avec les variables « générales » en témoins et projection des prélèvements.

Bietri Bay. First factorial plane (1-2 axis) of the principal components analysis on the phytoplankton species table, with "general" parameters as supplementary elements, and observations projections.

Coscinodiscus oculus iridis et *Chaetoceros* sp. s'opposent au groupe *Eutreptiella braarudi*, *Cryptomonas* sp. et *Gymnodinium* spp. (fig. 3). La projection des variables témoins montre à une extrémité de l'axe, la salinité et la chlorophylle *a*, et à l'autre extrémité, la transparence des eaux (rappelons que l'extérieur de la baie est moins salé que l'intérieur). La première composante reflète donc bien la pénétration des eaux « marines », liée également à une idée de richesse croissante. L'extérieur et l'entrée de la baie sont caractérisés par des espèces de Diatomées néritiques, tandis que l'extrémité opposée de la baie l'est par des Euglénophycées, des Cryptophycées et des petits Dinoflagellés. Les cartes de répartition des espèces montrent nettement l'incursion des eaux « marines »; cependant, l'analyse fait également apparaître que les espèces réparties dans toute la baie (et surtout *Cryptomonas* sp.) sont plutôt caractéristiques de sa moitié orientale.

La seconde composante est caractérisée à une de ses extrémités par les stations 5 et 6 (dans l'espace des observations) et par les espèces *Coscinodiscus* sp., *Melosira juergensi* et *Leptocylindrus minimus* (dans l'espace des variables). L'interprétation de cette composante paraît plus délicate; on peut cependant penser que les espèces citées, d'origine marine, ont été apportées auparavant dans la baie et s'y sont maintenues à la limite du renouvellement des eaux au cours d'un cycle de marée. Il est aussi possible que les développements algaux préexistant dans la baie aient empêché ces Diatomées de s'y multiplier.

L'axe 3 de cette analyse retire 15,9 % de la variance. Il fait apparaître dans l'espace des observations une partition des stations (fig. 4) : le groupe des prélèvements 2, 5, 7, 8, 10, 11 et 12 s'oppose en effet aux stations 1, 3, 4, 6, 13 et 14. Dans le premier groupe, les stations sont toutes situées à proximité des rivages de la baie, et présentent

une richesse moins importante. Cet axe correspondrait à un gradient d'enrichissement croissant du rivage vers le milieu de la baie, les stations 2, 5 et 11 étant de plus localisées à proximité des rejets importants. Dans l'espace des variables, une des extrémités de cet axe est caractérisée par *Oscillatoria* sp. A ce niveau, se projettent les stations ayant les contributions relatives à cet axe les plus fortes (stations 5 et 11). Ces points de prélèvement sont situés face aux émissaires de la teinturerie industrielle et des abattoirs. On peut donc penser que l'aire de rejet de ces deux industries est caractérisée par *Oscillatoria* sp., genre réputé pour son affinité avec une pollution par excès de matières organiques.

Cette analyse nous a donc amené à hiérarchiser les différents phénomènes observés en baie de Bietri. Celle-ci présente dans sa presque totalité un caractère fortement eutrophe, en nette opposition avec le milieu extérieur. Cette eutrophie est particulièrement marquée et son extrémité orientale, qui paraît caractérisée par des espèces liées à une pollution par matières organiques : Euglénophycées, Cryptophycées et Dinoflagellés. En outre, on observe une certaine individualisation de l'aire de balancement des marées. Enfin, un gradient rivage-milieu de la baie reflète une richesse croissante, mais aussi l'impact des effluents sur le milieu lagunaire.

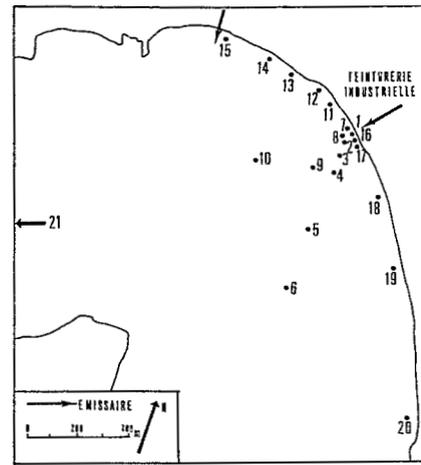


Figure 5
Baie de Bietri. Nappe d'épandage de l'émissaire de la teinturerie industrielle : emplacement des 21 stations d'échantillonnage.
Bietri Bay. Area concerned by the dye-works outfall. Localisation of the 21 sampling stations.

relation avec un pH élevé, et les taux de détergents et de métaux lourds rencontrés.

Un réseau de trois radiales principales (21 stations), convergeant vers l'émissaire, a été prospecté en 4 heures, le 19 septembre 1976, à l'étiage de marée basse. Une station de référence a été choisie en dehors de la baie, au débouché en lagune du canal de Vridi (fig. 5). Les paramètres transparence des eaux, salinité, oxygène dissous, phosphates, chlorophylle *a*, production primaire, respiration et effectifs phytoplanctoniques ont été étudiés. Il convient de préciser l'échelle des prélèvements : la station la plus éloignée de l'émissaire est à 1200 m du débouché, les autres points étant à des distances comprises entre 0 et 700 m.

Les valeurs de la profondeur de disparition du disque de Secchi sont dans l'ensemble faibles, comme dans toute la lagune. Elles passent régulièrement de 15 à 60 cm aux stations proches de l'émissaire à 140 cm pour les prélèvements les plus éloignés. La salinité varie de 8 à 18 ‰; les stations proches de l'égoût présentent une dessalure plus ou moins marquée (les stations 1, 2, 8, 11, 16 et 17 ont une salinité inférieure à 15 ‰). Une pénétrante légèrement plus salée se présente le long de la radiale constituée par les stations 1 à 6. On peut voir là l'influence des eaux de l'extrémité de la baie, plus salée (18 ‰) que l'extérieur de la baie (la salinité de la station de référence est de 16 ‰), sans doute sous l'action du vent.

Les stations proches de l'émissaire (1, 2, 7, 8, 11, 16 et 17) montrent des teneurs en oxygène dissous nulles. Ensuite, elles augmentent progressivement avec l'éloignement du point de rejet, jusqu'à atteindre des valeurs reflétant une oxygénation normale du milieu (7 à 8 mg/l). Les teneurs les plus élevées en phosphates sont localisées autour de l'égoût (4 µg/l). Aux stations éloignées de l'émissaire, les valeurs sont plus faibles, mais demeurent cependant relativement élevées (0,6 µg/l).

Les taux de chlorophylle *a* varient de 1,68 µg/l (station 1) à 52,26 µg/l (station 19). Plutôt faibles à l'émissaire, les concentrations en pigments augmentent le long de

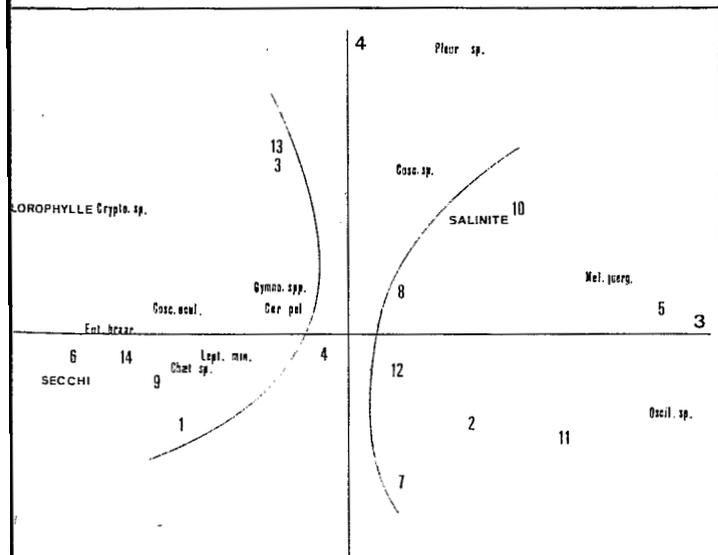


Figure 4
Baie de Bietri. Graphe-plan 3-4 de l'analyse en composantes principales des espèces phytoplanctoniques avec les variables « générales » en témoins et projection des prélèvements.
Bietri Bay. Second factorial plane (3-4 axis) of the principal components analysis on the phytoplankton species table, with "general" parameters as supplementary elements, and observations projections.

ÉTUDE DE TROIS RADIALES EFFECTUÉES DANS L'AIRES DE REJET DE LA TEINTURERIE INDUSTRIELLE

Cette teinturerie est le principal établissement industriel dont les effluents aboutissent à l'égoût de la rue Edison, aboutissant en baie de Bietri. Les rejets sont estimés à 1440 m³ par jour, la pollution engendrée par cette teinturerie étant de deux types : une pollution organique d'une part, due à la forte charge en matières oxydables de l'effluent, et une pollution chimique d'autre part, en

Le plan factoriel 3-4 (fig. 7) représente 19,2% de l'information totale (respectivement 9,9 et 9,3% pour les axes 3 et 4). Le long de la troisième composante, on remarque l'opposition des stations 10 et 21 par rapport aux stations 3, 8, 19 et 20. De même, l'ensemble regroupant les espèces *Dinophysis caudata*, *Prorocentrum* sp., *Cyclotella stylum* et *Ceratium furca* s'oppose, dans l'espace des variables, à *Tetraselmis* sp., *Peridinium* spp., *Cyrodinium* spp. et *Cryptomonas* sp. On peut interpréter cette partition comme le reflet de l'influence du rejet : en effet, les stations du second groupe sont caractérisées par des espèces de petite taille, dont le développement serait favorisé par l'effluent. En revanche, l'extérieur de la baie et la station 10 sont plutôt caractérisés par des espèces de plus grande taille.

Sur l'axe 4, et dans l'espace des variables, une partition entre espèces aux très faibles effectifs est observée.

L'analyse détaillée ci-dessus fait donc apparaître la présence de trois groupements parmi les points de prélèvements :

- le premier paraît être sous l'influence directe de l'effluent, qui serait relativement toxique. Les populations phytoplanctoniques présentent des effectifs faibles, et sont dominées par une espèce paraissant particulièrement résistante et/ou adaptée, *Chlamydomonas* sp.;
- le second semble subir l'influence plus limitée de petits émissaires situés plus au nord de la teinturerie;
- le troisième groupe, enfin, s'individualise par rapport aux deux autres, mais présente lui-même deux sous-divisions importantes; c'est ainsi que l'on remarque d'une part l'effet eutrophisant de l'effluent suffisamment dilué, favorisant le développement de petites espèces caractéristiques des peuplements de la baie de Bietri, et d'autre part, l'influence des eaux extérieures à la baie, de caractère plus marin.

ÉTUDE DE QUATRE RADIALES SITUÉES DANS L'AIRE DE REJET DES ABATTOIRS DE PORT-BOUËT

Les abattoirs de Port-Bouët sont situés à quelques centaines de mètres de la baie de Bietri. Le déversement des résidus est effectué sur la rive Sud, à l'extrémité orientale de la baie. L'égout présente un débit irrégulier, qui peut toutefois être estimé à environ 100 m³ par jour, en moyenne. La charge en matières oxydables est évaluée à 556 kg par jour.

Un réseau de quatre radiales (fig. 8) convergeant vers le point de rejet des abattoirs a été prospecté en octobre 1976. Les prélèvements furent effectués en 3 h 30 mn dans la matinée. Les paramètres salinité, transparence des eaux, phosphates, oxygène dissous, chlorophylle *a*, production primaire, respiration et effectifs phytoplanctoniques ont été étudiés. L'échelle des prélèvements est très réduite : la station 15, la plus éloignée, est à 1 100 m de l'émissaire, tandis que les autres se répartissent sur une distance inférieure ou égale à 650 m.

La salinité est en moyenne de 20 ‰ sur les 15 stations, le point de prélèvement le plus proche de l'émissaire ayant

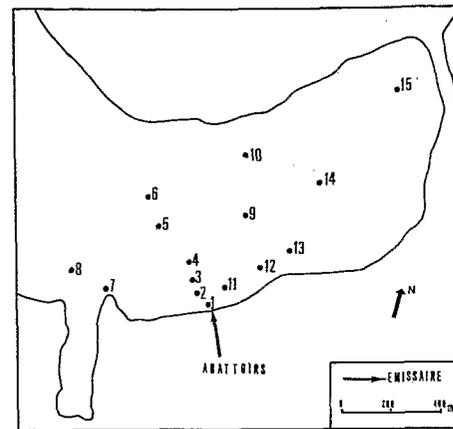


Figure 8

Baie de Bietri. Nappe d'épandage de l'émissaire des abattoirs de Port-Bouët : emplacement des 15 stations d'échantillonnage.

Bietri Bay. Area concerned by the slaughter-house outfall. Localization of the 15 sampling stations.

une salinité de 18 ‰. La profondeur de disparition du disque de Secchi est faible au niveau du rejet (110 cm); elle augmente ensuite régulièrement jusqu'à atteindre 240 cm. Les taux d'oxygène dissous relevés à l'émissaire (stations 1 et 2) sont nuls; puis on remarque une augmentation régulière et rapide des valeurs, très vite supérieures à 7 mg/l. Les concentrations en phosphates, élevées à l'émissaire (20 µatg/l) diminuent avec l'éloignement, et se stabilisent autour de 0,5 µatg/l. Les teneurs en chlorophylle *a* sont en général très importantes, avec un minimum face à l'égout (10 µg/l) et un maximum en station 15, à l'extrémité Est de la baie (227 µg/l). Les effectifs phytoplanctoniques correspondants sont de 0,14 et 117 millions de cellules par litre, avec des biovolumes respectifs de 0,24 et 82 mm³/l.

Onze espèces phytoplanctoniques ont été répertoriées, dont sept espèces de Dinoflagellés, deux espèces d'Euglénophycées, une Crysophycée et une Diatomée. Exceptée cette dernière, qui ne présente que de faibles effectifs, toutes les autres espèces sont indicatrices d'un intense enrichissement organique des eaux de la baie.

L'analyse a porté sur les onze espèces, relevées sur 15 stations. Sept variables témoins (paramètres hydrobiologiques) ont été introduites sans masse dans l'analyse.

Le premier plan factoriel (fig. 9) extrait 87,7 % de l'information initiale, l'axe 1 expliquant à lui seul 75,5 % de la variance totale.

Dans l'espace des observations, la station 1, qui se projette à une extrémité du premier axe, s'oppose au groupe des prélèvements 12, 13, 14 et 15.

Dans l'espace des variables, c'est à ce niveau que se projette l'ensemble des espèces phytoplanctoniques (et donc tous les Dinoflagellés) exceptées *Eutreptiella braarudi* et *Rhizosolenia fragilissima*. La projection des variables témoins montre à un bout de la première composante les phosphates, et à l'autre tous les paramètres indicatifs d'une biomasse végétale élevée : respiration, chlorophylle *a* et production primaire. Ainsi, l'axe 1 semble rendre compte de l'opposition très marquée entre la proximité du point de rejet, riche en phosphates, pauvre en phytoplancton, et l'extrémité Est

de la station 15. Les deux espèces citées contribuent de façon importante à la définition des deux axes; elles s'opposent le long de la seconde composante, tandis que leurs projections sur l'axe 3 sont relativement proches. Les stations 9, 10, 12 et 13 paraissent donc caractérisées par *Rhizosolenia fragilissima*, et s'opposent aux stations 2, 3, 7, 8 et 14, caractérisées par *Eutreptiella braarudi*. Quant au groupe des prélèvements 4, 5 et 6, il paraît caractérisé autant par l'une que par l'autre des deux espèces. Ce secteur est donc sous l'influence de l'égout et des eaux extérieures à cette zone. En revanche, les stations 1 et 11 ne présentent pas de relation particulière vis-à-vis de *R. fragilissima* et *E. braarudi*.

Le traitement des données a donc fait apparaître une opposition très marquée entre la proximité du point de rejet, pauvre en phytoplancton, et l'Est de la baie, où des développements algaux exubérants, dominés par des Dinoflagellés, ont été observés. Il s'agit là d'un véritable phénomène d'eaux décolorées, révélateur de l'intense pollution organique induite par les effluents des abattoirs. Ce développement est lié à un processus d'accumulation vers l'extrémité de la baie; dans une zone moins éloignée de l'émissaire, l'effluent semble favoriser le développement de l'Euglénophycée *Eutreptiella braarudi*, tandis que la Diatomée *Rhizosolenia fragilissima* paraît rendre compte d'apports extérieurs à la baie.

DISCUSSION

La lagune Ebrié est donc caractérisée par une biomasse algale extrêmement élevée, mais présentant d'importantes variations. Les effectifs cellulaires oscillent couramment entre quelques milliers et quelques millions de cellules par litre, et des développements de 100 ou 200 millions de cellules par litre ont été observés. Ces fortes densités concernent principalement des populations d'individus de très petite taille, souvent d'un diamètre de l'ordre de 3 μm . Les indices de diversité spécifique sont le plus souvent faibles, dépassant rarement 2 bit/cell. Les taux de chlorophylle *a* correspondants varient entre quelques microgrammes et 70 μg par litre, des valeurs de 200 $\mu\text{g/l}$ pouvant même être atteintes dans certaines baies. La lagune est donc un milieu extrêmement fertile, enrichi en sels nutritifs et en matières organiques minéralisables par les pluies et les eaux fluviales. En zone urbaine, l'eutrophisation du milieu est accentué par les nombreux déversements d'eaux usées qui y sont effectués. En outre, la faiblesse de la profondeur permet aux sédiments de piéger les éléments nutritifs, qui sont par la suite remis en circulation, à la faveur des bouleversements hydrologiques. Cependant, la faible épaisseur de la couche euphotique fait que les fortes concentrations en éléments et l'importante production algale ne s'observent que sur une profondeur limitée. En aire côtière marine, ces dernières valeurs sont près de dix fois inférieures, mais la couche euphotique est dix fois plus profonde que celle du système lagunaire. On peut donc considérer que la richesse par unité de surface de la lagune est celle d'un upwelling côtier moyen. Il apparaît, en outre, que la richesse algale est plus directement utilisable par les échelons supérieurs en lagune qu'en mer.

L'ouverture du canal de Vridi, par lequel pénètrent les eaux marines, a entraîné une certaine diminution de cette richesse algale dans la zone intéressée par ce régime de type estuarien. Si cet effet est négatif quant à la productivité du milieu, il est évident qu'en permettant une circulation plus intense des eaux dans le chenal central, l'ouverture du canal a permis une diminution de l'impact direct des pollutions de la cité sur la lagune. Cependant, et du fait de leur morphologie, certaines baies semi-fermées, comme la baie de Biétri, échappent en partie à ce balayage, et présenteront des caractéristiques particulières.

Tableau 1

Caractères écologiques des espèces rencontrées en baie de Biétri de mai à octobre 1976. Tolérance aux variations de salinité, pérennité pendant la période d'observation (+) et espèces présentes en aires directement polluées (p).

Ecological characteristics of the phytoplanktonic species observed in the Biétri bay waters, from May to October 1976. Salinity variations tolerance, perennity during the sampling period (+), and presence in the directly polluted areas (p).

	Salinités observées (‰)	
Diatomées :		
<i>Amphora coffeaformis</i> Kützing	12 à 23	
<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey	12 à 16	+
<i>Chaetoceros</i> sp.	12 à 15	
<i>Coscinodiscus oculus iridis</i> Ehrenberg	12 à 28	+
<i>Coscinodiscus</i> sp.	12 à 28	+
<i>Cyclotella stylum</i> Brightwell	8 à 17	
<i>Cyclotella</i> spp.	8 à 28	
<i>Leptocylindrus minimus</i> Gran	2 à 23	+
<i>Melosira juergensi</i> Agardh	12 à 23	+
<i>Nitzschia "delicatissima"</i> Cleve	6 à 20	
<i>Nitzschia paradoxa</i> (Cmelin) Grunow	8 à 18	
<i>Nitzschia rigida</i> Grunow	12 à 23	
<i>Nitzschia longissima</i> (Brebisson) Ralfs	12 à 18	
<i>Pleurosigma</i> spp.	0 à 28	
<i>Rhizosolenia fragilissima</i> Bergon	16 à 23	+
<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunow	6 à 23	
<i>Thalassiosira</i> sp.	16 à 18	
Dinoflagellés :		
<i>Ceratium candelabrum</i> (Ehrenberg) Stein	23	
<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparede et Lachmann	12 à 28	+
<i>Ceratium fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin	23	
<i>Ceratium teres</i> Kofoid	23	
<i>Ceratium tripos</i> (Muller) Nitzsch	23	
<i>Dinophysis caudata</i> Saville-Kent	12 à 23	
<i>Dinophysis schroderi</i> Pavillard	16 à 23	
<i>Gymnodinium splendens</i> Lebour	23	
<i>Gymnodinium</i> spp.	12 à 23	+ p
<i>Gyrodinium</i> spp.	15 à 21	+ p
<i>Peridinium divergens</i> Ehrenberg	23	
<i>Peridinium</i> spp.	12 à 23	+ p
<i>Peridinium trochoideum</i> Stein	20 à 23	p
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg	16 à 23	p
<i>Prorocentrum</i> sp.	16	
Euglénophycées :		
<i>Eutreptiella braarudi</i> Thronsen	2,5 à 28	+ p
<i>Eutreptiella</i> sp.	4 à 24	+ p
Cryptophycées :		
<i>Cryptomonas</i> sp. 1	0 à 20	+
<i>Cryptomonas</i> sp. 2	8 à 21	+ p
<i>Hemiselmis</i> sp.	4 à 8	p
Chlorophycées :		
<i>Chlamydomonas</i> sp.	8 à 23	p
<i>Stichococcus</i> sp.	12	
<i>Tetraselmis</i> sp.	8 à 23	p
Cyanophycées :		
<i>Lyngbia</i> sp.	12 à 16	
<i>Oscillatoria</i> sp.	8 à 15	p
<i>Oscillatoria thiebautii</i> Geithner	28	
Xanthophycées :		
<i>Centritractus africanus</i> Lemmermann	23	

Tableau 2

Représentation spécifique principale des zones sous influence particulière (émissaire), reflétant la situation écologique observée les jours des missions en baie de Bietri. Les superficies indiquées ne sont que des estimations. Abréviations : S, salinité; O₂, oxygène dissous; Turb., turbidité; Chl. a, chlorophylle a; Prod., production primaire; PO₄, phosphate inorganique. Les valeurs indiquées sous forme de symboles vont de « --- » (très faible) à « + + + + » (très élevée), et ne sont fournies qu'à titre de comparaison.

Main species representation of the areas under particular influence (outfall), reflecting the ecological situations observed in the Bietri bay, during the sampling days. Surfaces are only given as estimations. Abbreviations used in the table: S, salinity; O₂, dissolved oxygen; Turb., turbidity; Chl. a, chlorophyll a; Prod., primary production; PO₄, inorganic phosphates. Values are produced on a symbolic form, from " --- " (very low) to " + + + + " (very high), and only for comparison.

Aires concernées et influence principale	S	O ₂	Turb.	Chl. a	Prod.	PO ₄	Représentation spécifique principale
Aires très polluées :							
1. Bande le long de la berge, centrée sur l'émissaire de la teinturerie (≈ 0,5 km ²)	--	--	++++	-	--	++++	<i>Chlamydomonas</i> sp. (Chlorophycée) <i>Oscillatoria</i> sp. (Cyanophycée)
2. Aire d'environ 0,3 km ² , face à l'émissaire des abattoirs de Port-Bouët	--	--	++++	--	--	++++	
Aires perturbées par la pollution :							
3. Bande le long de la berge, face aux petits émissaires de la côte N (≈ 0,3 km ²)	-	-	+++	++++	--	--	<i>Amphidinium</i> sp. et <i>Gyrodinium</i> sp. (Péridiniens); <i>Fragilaria</i> sp., <i>Lichmophora</i> sp., <i>Navicula</i> sp., <i>Nitzschia obtusa</i> , <i>N. longissima</i> , <i>N. paradoxa</i> et <i>Pleurosigma</i> sp. (Diatomées pennées); <i>Leptocyclus minimus</i> , <i>Melosira</i> sp. et <i>Rhizosolenia fragilissima</i> (Diatomées centriques); <i>Eutreptiella braarudi</i> (Euglénophycée).
4. Bande perpendiculaire à la berge, entre l'aire d'eutrophie 6 et le reste de la baie (≈ 1,5 km ²)	++	++	+++	+	+	+	
5. Aire située au SW des zones 1 et 3, centrée sur la teinturerie (≈ 2 km ²)							
Aires eutrophes :							
6. Extrémité orientale de la baie, à l'Ouest de l'émissaire des abattoirs de Port-Bouët (≈ 7 km ²)	-	-	+++++	+++++	+++++	--	<i>Ceratium furca</i> , <i>C. pelucidum</i> , <i>Gymnodinium</i> sp., <i>Gyrodinium</i> sp., <i>Peridinium</i> sp., <i>P. tronchoideum</i> , <i>Prorocentrum</i> sp., <i>P. micans</i> (Péridiniens); <i>Thalassiosira</i> sp. (Diatomées pennées); <i>Coscinodiscus</i> sp., <i>Cyclotella</i> sp. et <i>Rhizosolenia fragilissima</i> (Diatomées centriques); <i>Tetraselmis</i> sp. (Prasinophycée); <i>Eutreptiella braarudi</i> (Euglénophycée)
7. Centre de la baie, entre les aires très perturbées par les nappes de dilution des différents émissaires	++	++	+	++++	++++	++	
8. Zone de balancement de la baie et extérieur de la baie	---	---	---	---	---	---	<i>Cerataulina pelagica</i> et <i>Chaetoceros</i> sp. (Diatomées centriques)

Dans ce milieu très riche qu'est la lagune Ebrié, la baie de Bietri apparaît donc comme excessivement eutrophe, en relation avec l'intense pollution organique amenée par les déversements industriels. On y observe des développements algaux souvent énormes, certaines espèces apparaissant particulièrement tolérantes aux variations de salinité, ou caractérisant assez bien un milieu pollué (tableau 1). En outre, on peut établir un découpage éco-géographique des aires polluées de la baie, en fonction des communautés spécifiques caractéristiques d'une situation écologique particulière (tableau 2 et fig. 11).

Si les trois effluents que nous avons étudiés se sont révélés toxiques au niveau des émissaires (le rejet de l'huilerie-savonnerie paraissant être le plus néfaste), ils présentent tous, après dilution, une action eutrophisante certaine. Le rejet des abattoirs, bien que quantitativement plus faible, montre les effets les plus marqués, en raison de sa forte charge en matières oxydables, mais aussi en raison de sa situation en fond de baie. La pollution intense de la baie de Bietri par rapport au chenal central de la baie d'Abidjan est évidente. Mais cela ne signifie pas que ce dernier soit à l'abri de toute pollution. En effet, des déversements y sont effectués, et il peut y avoir contamination du chenal par la baie de Bietri. Or, la

lagune Ebrié possède un stock important de poissons et crustacés (mérus, sardinelles, et surtout crevettes blanches) dont l'importance est grande pour l'économie du pays. Une partie du cycle biologique de ces espèces s'effectue en mer, l'autre en lagune. Le transfert entre ces deux milieux ne peut s'effectuer que par le canal de Vridi et la baie d'Abidjan, en zone urbaine. La pollution risque de perturber le passage des stades juvéniles, qui sont particulièrement sensibles à ses effets. Si l'on considère

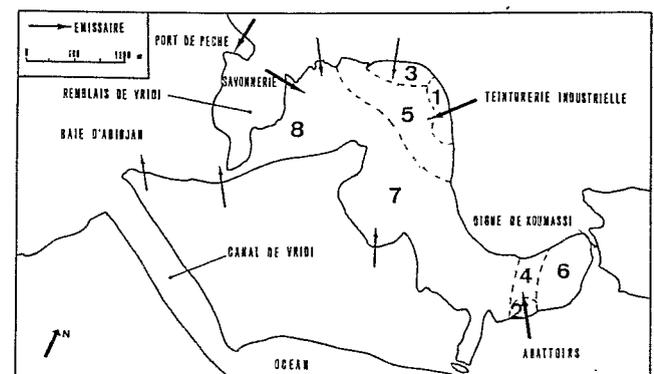


Figure 11

Délimitation des aires sous influence urbaine perturbatrice, réalisée à partir de leurs représentations spécifiques.
Delimitation of the areas under perturbing urban influence, realized from their phytoplanktonic specific representation.

que les rejets augmentent de 10 à 15 % par an, proportionnellement à l'accroissement de la population et de l'activité urbaine, le problème se pose avec plus d'acuité. Les autorités ivoiriennes en ont conscience, et un projet d'assainissement des eaux usées de la ville est préparé, prévoyant qu'en 1980, 60 % des rejets se feront directement en mer, ce qui posera probablement d'autres problèmes, mais évitera une aggravation de la situation actuelle.

CONCLUSIONS

Les structures des populations phytoplanctoniques étudiées dans la baie de Bietri au cours de ces missions confirment l'excessive eutrophie de cette partie de la lagune d'Abidjan. Il est ainsi possible de caractériser certaines aires parmi les plus polluées de la baie, à partir des communautés spécifiques que l'on y observe.

Le phytoplancton de la baie de Bietri apparaît très original par rapport à celui du chenal central, présentant en particulier des Euglénophycées, des Cryptophycées et des Dinoflagellés, avec de forts effectifs. De plus, la très importante richesse algale, reflétant l'intense eutrophisation du milieu, suit un gradient croissant de l'entrée de la baie jusqu'à son extrémité orientale. Conjointement, l'influence « marine » diminue, ainsi que le taux de renouvellement des eaux, au fur et à mesure que l'on s'éloigne du canal de communication avec la baie d'Abidjan proprement dite.

Les effluents, peu ou pas dilués, déversés par de nombreux émissaires côtiers paraissent avoir un effet assez néfaste sur les phytoplanctontes. Par contre, après dilution et/ou transformation, ils seraient à l'origine de développements algaux intenses, observés en plusieurs points. Ceux-ci seraient également fonction de la stabilité du milieu, qui permettrait des évolutions relativement rapides.

L'eutrophie engendrée par ces rejets urbains paraît particulièrement préoccupante à l'extrémité Est de la baie (effluents issus des abattoirs) où s'observent de véritables phénomènes d'eaux décolorées. Au niveau de l'émissaire de la rue T. Edison, le même processus d'enrichissement existe, mais il paraît quelque peu tempéré par d'autres influences, en particulier celle des eaux extérieures à la baie. La construction du remblai de

Vridi, accentuant le caractère de « bras mort » de la baie de Bietri, a, semble-t-il, entraîné une évolution de ce milieu vers un déséquilibre prononcé et permanent, en relation avec l'intensité des rejets peu ou pas traités. Il serait sans doute du plus grand intérêt de suivre l'évolution du plancton dans la baie, dans le contexte de l'urbanisation de plus en plus poussée de la capitale de Côte d'Ivoire, comme de l'augmentation de la charge polluante rejetée.

RÉFÉRENCES

- Bourrelly P., 1966. *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique*. 1. *Les algues vertes*, édité par Boubée, Paris, 511 p.
- Bourrelly P., 1970. *Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique*. 3. *Les algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines*, édité par Boubée, Paris, 512 p.
- Charles-Dominique E., Durand J. R., 1979. Les lagunes de Côte d'Ivoire. Bibliographie provisoire, *Arch. Sci. Cent. Rech. Océanogr., Abidjan*, 5, 2, 1-24.
- Dufour P., Slepoukha M., 1975. L'oxygène dissous en lagune Ebrié : influence de l'hydroclimat et des pollutions, *Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr., Abidjan*, 6, 2, 75-118.
- Maurer D., 1978. Phytoplancton et pollution. Lagune Ebrié (Abidjan); secteur de Cortiou (Marseille), *Thèse Doct. 3^e cycle, Univ. Aix-Marseille-II*, 1-112.
- Neveux J., 1976. Dosage de la chlorophylle *a* et de la phéophytine par fluorimétrie, *Ann. Inst. Océanogr., Paris*, 52, 2, 165-174.
- Novo B., 1974. *La pollution des eaux par l'industrie à Abidjan*. Rapport Secrétariat d'État chargé des Mines, Abidjan, 1-15.
- Pages J., Lemasson L., Dufour P., 1979. Éléments nutritifs et production primaire dans les lagunes de Côte d'Ivoire. Cycle annuel, *Arch. Sci. Cent. Rech. Océanogr., Abidjan*, 5, 1, 1-60.
- Smayda T. J., 1965. A quantitative analysis of the phytoplankton of the Gulf of Panama. II. On the relationship between C¹⁴ assimilation and the diatom standing crop, *Bull. Int. Am. Trop. Tuna Comm.*, 7, 3, 193-253.
- Strickland J. D. H., Parsons T. R., 1972. A practical hand-book of seawater analysis, *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 167, 310 p.
- Tastet J. P., 1974. *L'environnement physique du système lagunaire Ebrié*, Doc. Univ. Abidjan, Dep. Sci. Terre, 28 p.
- Travers M., 1971. Le microplancton du golfe de Marseille. Étude quantitative, structurale et synécologique. Variations spatio-temporelles, *Thèse Doct. État, Univ. Aix-Marseille-II*, 1-596.
- Utermöhl H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen phytoplankton Methodik, *Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.*, 9, 1-38.
- Varlet F., 1978. Le régime de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire), *Trav. Doc. ORSTOM*, 83, 1-164.
- Yentsch C. S., Menzel D. W., 1963. A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and pheophytin by fluorescence, *Deep-Sea Res.*, 10, 221-231.