

U.E.R. DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'ENVIRONNEMENT
(UNIVERSITE D'AIX-MARSEILLE II)

Thèse de Doctorat de 3ème Cycle
Océanographie biologique

PHYTOPLANKTON ET POLLUTION
La lagune Ebrié (Abidjan)
Le secteur de Cortiou (Marseille)

par Danièle MAURER

soutenue le 10 Novembre 1978 devant la commission d'examen :

MM. J.M. PERES	Président
F. BLANC M. LEVEAU M. TRAVERS	Examineurs
Ph. DUFOUR	Invité

PHYTOPLANKTON ET POLLUTION

LAGUNE EBRIE (ABIDJAN)

SECTEUR DE CORTIOU (MARSEILLE)

par Danièle MAURER

AVANT-PROPOS

Avant de présenter ce travail, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à :

Monsieur le Professeur BOURRELLY qui, avec beaucoup de patience et de gentillesse, m'a guidée dans la plupart des déterminations spécifiques de cet ouvrage au cours de deux stages effectués au Museum d'Histoire Naturelle de Paris,

Messieurs Ph. DUFOUR et L. LEMASSON et tout le personnel du Centre de Recherches Océanographiques d'Abidjan qui m'ont accueillie et aidée tout au long de mon séjour en Côte d'Ivoire,

L'équipe EPOPE M. de l'Université d'Aix-Marseille II, et plus particulièrement Messieurs F. BLANC et M. LEVEAU qui m'ont intégrée à leur équipe et ont guidé mon travail à mon retour en France, ainsi que Madame Marie-Claude BONIN qui, très gentiment, nous a apporté son aide.

Je remercie aussi les membres du jury d'avoir bien voulu accepter de corriger et de juger cet ouvrage.

Enfin, je remercie très profondément tous ceux qui de près, ou de moins près, ont aidé à la réalisation de ce travail qui a pu être mené à bien grâce au soutien de Robert, Jackie et Ded.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : <u>LA LAGUNE EBRIE - LA BAIE DE BIETRI</u>	
CHAPITRE I - CARACTERES GENERAUX DE LA LAGUNE EBRIE	
1. PRESENTATION DU SITE	6
1.1 Description	6
1.2 Dynamique des eaux	7
1.2.1 Apport d'eaux continentales	8
1.2.2 Communication avec la mer : le canal artificiel de Vridi	8
1.2.3 Influence de la marée	9
2. PARAMETRES HYDROBIOLOGIQUES	9
2.1 Méthode utilisée	9
2.2 Résultats	11
2.2.1 La température	11
2.2.2 La transparence des eaux	11
2.2.3 La salinité	11
2.2.4 Les sels nutritifs	13
2.2.5 La biomasse phytoplanctonique	13
CHAPITRE II - DONNEES GENERALES SUR LE PHYTOPLANKTON DE LA LAGUNE EBRIE	
1. METHODE UTILISEE	15
2. LISTE DES GENRES ET ESPECES RENCONTRES EN LAGUNE EBRIE	17
3. RESULTATS CONCERNANT L'ENSEMBLE DE LA LAGUNE	23

3.1 Dates et lieux de prélèvements	23
3.2 Aspect quantitatif	24
3.2.1 Comparaison des différentes zones	24
3.2.2 Variations saisonnières en une même zone	25
3.3 Aspect qualitatif	26
3.3.1 Les zones 6 et 5	26
3.3.2 La zone 4	28
3.3.3 La zone 3	28
3.3.4 La zone 1	29
4. CONCLUSION	30
CHAPITRE III - ETUDE D'UNE BAIE EN ZONE URBAINE :	
LA BAIE DE BIETRI	32
1. GENERALITES	32
1.1 Présentation du site	33
1.2 Calendrier des prélèvements	34
1.3 Variations de la salinité au cours de la période de prélèvements	35
2. LES SERIES QUOTIDIENNES	35
2.1 La salinité	35
2.2 Les sels nutritifs	35
2.3 La production primaire	36
2.4 Le phytoplancton	36
2.4.1 D'un point de vue quantitatif	37
2.4.2 D'un point de vue qualitatif	37
2.4.2.1 Les Diatomées	37
2.4.2.2 Les Euglénophycées	39
2.4.2.3 Les Cryptophycées	39
2.4.2.4 Les indices de diversité spécifique	39
2.5 Fonctionnement des zones étudiées	39
2.6 Conclusion	40

3. ETUDE D'UN RESEAU DE STATIONS COUVRANT LA BAIE DE BIETRI	41
3.1 Variation des paramètres	41
3.1.1 La transparence des eaux	41
3.1.2 La salinité	41
3.1.3 La chlorophylle a	42
3.1.4 Le phytoplancton	42
3.1.4.1 Aspect quantitatif	42
3.1.4.2 Aspect qualitatif	42
3.2 Traitement mathématique	43
3.2.1 Méthode utilisée	43
3.2.2 Résultats	44
3.3 Conclusion	46

CHAPITRE IV - INFLUENCE DES PRINCIPAUX REJETS EN BAIE DE BIETRI

1. METHODE UTILISEE	47
2. ETUDE IN SITU	48
2.1 Rejet de l'huilerie-savonnerie	48
2.1.1 Généralités	48
2.1.2 Etude d'une radiale	50
2.2 Le rejet de la teinturerie industrielle	51
2.2.1 Généralités	51
2.2.2 Etude d'un réseau de trois radiales	52
2.2.2.1 Variations des paramètres	52
2.2.2.2 Le phytoplancton	54
2.2.3 Le traitement mathématique	55
2.2.4 Conclusion	57
2.3 Le rejet des abattoirs de Port-Bouet	57
2.3.1 Généralités	57

2.3.2 Etude d'un réseau de radiales	58
2.3.2.1 Variations des paramètres	58
2.3.2.2 Le phytoplancton	59
2.3.3 Le traitement mathématique	61
2.3.4 Conclusion	62
3. LES BIOESSAIS	63
3.1 L'effluent de l'huilerie-savonnerie	63
3.1.1 Aspect quantitatif	63
3.1.2 Aspect qualitatif	64
3.1.3 Discussion	65
3.2 L'effluent de la teinturerie industrielle	66
3.2.1 Aspect quantitatif	66
3.2.2 Aspect qualitatif	67
3.2.3 Discussion	67
3.3 L'effluent des abattoirs	68
3.3.1 Aspect quantitatif	69
3.3.2 Aspect qualitatif	69
3.3.3 Discussion	69
3.4 Discussion générale sur les bioessais effectués en petit volume (3 l)	71
CONCLUSION	75

DEUXIEME PARTIE : LE SECTEUR DE CORTIOU

CHAPITRE I - CARACTERISTIQUES DE L'EFFLUENT ET DE SA ZONE DE REJET

1. L'EFFLUENT	80
2. LE SECTEUR DE CORTIOU	81

CHAPITRE II - MISSION CORTIOU I (20 AVRIL 1977)	83
1. GENERALITES	81
1.1 Echantillonnage	83
1.2 Situation générale	83
2. LE PHYTOPLANCTON	85
2.1 Aspect qualitatif	85
2.1.1 Les Diatomées	85
2.1.2 Les autres classes	86
2.2 Aspect quantitatif	87
3. TRAITEMENT MATHEMATIQUE	89
CHAPITRE III - MISSION CORTIOU II (27 AVRIL 1977)	92
1. GENERALITES	92
1.1 Echantillonnage	92
1.2 Situation générale	92
2. LE PHYTOPLANCTON	94
2.1 Aspect qualitatif	94
2.2 Aspect quantitatif	94
3. TRAITEMENT MATHEMATIQUE	96
CHAPITRE IV - MISSION CORTIOU III (27 SEPTEMBRE 1977)	99
1. GENERALITES	99
1.1 Echantillonnage	
1.2 Situation Générale	100
1.2.1 L'ensemble des stations	100
1.2.2 Le débouché de l'égout	100

2. LE PHYTOPLANKTON	101
2.1 Aspect qualitatif	101
2.2 Aspect quantitatif	101
2.2.1 En surface	101
2.2.2 Au débouché de l'égout	102
2.2.3 Les eaux intermédiaires	103
CONCLUSION	104
RESUME CONCLUSION	109

INTRODUCTION

Depuis quelques années, l'atteinte de notre environnement par diverses pollutions pose un problème de jour en jour plus aigu. Le milieu marin est particulièrement touché par ce phénomène ; en raison de l'immense volume qu'il représente, on le considérait, à tort, capable d'assurer rapidement "la neutralisation" de tous les effluents, domestiques et industriels, qui y sont déversés. Cependant, de nombreuses études ont montré que de tels rejets ne sont pas sans conséquence sur les écosystèmes marins.

Notre travail a porté sur deux sites présentant comme caractères communs de recevoir directement les effluents non traités, d'origine domestique et industrielle, de deux très grandes villes : Abidjan (Côte d'Ivoire) et Marseille. La quasi totalité des eaux usées de l'agglomération marseillaise sont collectées par un réseau d'assainissement et rejetées par un grand émissaire dans la calanque de Cortiou. En revanche, les effluents de la ville d'Abidjan sont déversés par une centaine de points de rejets dans la lagune Ebrié. C'est pourquoi nous avons centré notre étude sur une baie de la zone urbaine (baie de Biétri) où trois entreprises industrielles évacuent des eaux résiduaires représentant approximativement 1/10^e de la charge polluante de la ville.

La connaissance de nombreux paramètres physiques et chimiques s'avère nécessaire pour tenter de cerner l'état de pollution de l'écosystème pélagique.

Toutefois, il est indispensable d'y ajouter l'étude de paramètres biologiques (tels que chlorophylle a, phytoplancton, zooplancton, etc...) rendant compte de l'impact direct éventuel des eaux usées sur les organismes vivants représentant les premiers maillons de la chaîne alimentaire marine.

L'échelon paraprimaire (bactéries) qui a été trop longtemps négligé et qui est maintenant de plus en plus pris en compte dans divers travaux, apportera aussi de précieux renseignements.

L'étude des populations phytoplanctoniques 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, leur présence ou leur multiplication importante apparaissant anormale dans les eaux considérées. 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.

On pourrait envisager la détermination, à partir de ces données, "d'indices biotiques" dont les valeurs seraient caractéristiques de la qualité d'une eau, comme cela est maintenant couramment pratiqué en rivière, dans le domaine benthique. Cependant, le domaine pélagique, du fait de son instabilité fondamentale, s'avère plus délicat à cerner. De plus, un problème d'échantillonnage se pose, la technique employée (étendue, maille, et...) ne devant pas interférer avec le phénomène écologique étudié (d'autant plus dans les milieux perturbés où les microphénomènes prennent parfois beaucoup d'importance).

Après avoir présenté les résultats obtenus dans les deux sites étudiés, nous tenterons de dégager les caractères de l'échelon primaire subissant l'impact continu d'une importante charge polluante.

PREMIERE PARTIE

LA LAGUNE EBRIE

LA BAIE DE BIETRI

L'étude des milieux lagunaires et saumâtres a pris, depuis une vingtaine d'années, un essor important, principalement dû à l'intérêt économique que peuvent représenter de tels milieux. De tous temps, les lagunes ont été exploitées en raison de leur forte productivité secondaire, liée à une biomasse végétale élevée. Depuis quelques années, les efforts des chercheurs s'étant particulièrement portés sur l'aquiculture, il a été envisagé d'augmenter la production naturelle déjà importante de ces secteurs fermés ou semi-fermés, directement enrichis par les apports d'eaux continentales, topographiquement propices à l'établissement d'installations aquicoles.

Ces raisons ont poussé le Gouvernement ivoirien à demander aux chercheurs de l'ORSTOM une étude de la lagune Ebrié. Cependant, cette dernière n'étant pas exempte de toute atteinte de pollution industrielle et domestique, il s'est avéré important de mener conjointement à l'étude fondamentale du milieu, un travail rendant compte de l'impact de ces pollutions. C'est ainsi, qu'au cours d'un séjour de neuf mois, au Centre de Recherches Océanographiques (C.R.O.) d'Abidjan, nous avons collaboré avec les deux personnes poursuivant ces recherches.

Avant de commencer l'étude d'une baie de la zone urbaine, il nous a paru intéressant d'avoir un aperçu des populations phytoplanctoniques de l'ensemble de la lagune qui n'avaient, jusqu'à présent, jamais été observées. Plus généralement les milieux lagunaires sont, de ce point de vue, encore assez mal connus : si de nombreux travaux ont porté sur l'estimation de la biomasse algale et de sa productivité, les études qualitatives des communautés algales s'avèrent moins fréquentes.

Citons cependant sur ce sujet les recherches de BRAARUD et FOYN (1958), GORHAM (1960), HULBURT (1963), à partir desquelles en particulier, MARGALEF (1969) a réalisé une synthèse très complète sur les communautés planc-

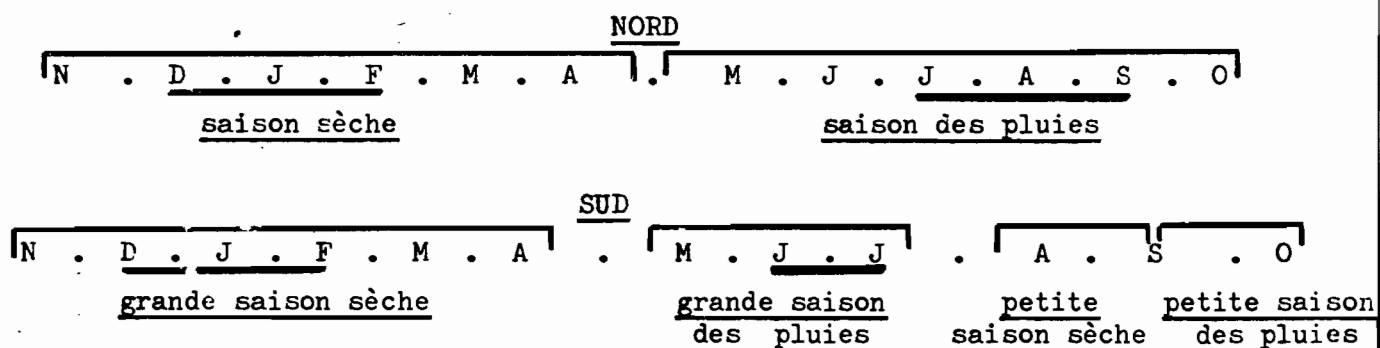
toniques des lagunes littorales, et celles, plus récentes, de VOLTOLINA (1973 - 1975) sur la lagune de Venise, et de SOLAZZI et al. (1973) sur la lagune de Lesina.

Avant d'aborder l'étude de la lagune Ebrié, il faut rappeler quelques caractères généraux géographiques et climatiques de la Côte d'Ivoire qui, nous le verrons ultérieurement, sont essentiels à la compréhension de ce milieu complexe.

La Côte d'Ivoire, pays riverain du Golfe de Guinée, s'étend entre les 5ème et 10ème degrés de latitude Nord, et les 3ème et 8ème degrés de longitude Ouest (fig. 1) ; elle fait partie du domaine sub-équatorial caractérisé par d'abondantes précipitations (ELDIN, 1971). Le relief du pays est assez plat si l'on excepte la région du Nord-Ouest où les monts Nimba culminent à 1752 m.

. On peut distinguer, à la suite de RANCUREL (1967) et ELDIN (1971), deux types climatiques principaux :

- dans le Nord du pays, un climat de type tropical de transition caractérisé par deux saisons : une saison sèche centrée sur les mois de Décembre, Janvier et Février, mais intéressant la période de Novembre à Avril, et une saison des pluies de Mai à Octobre, plus marquée en Juillet, Août et Septembre. La pluviométrie annuelle est de 1.000 à 1.700 mm d'eau.



- dans le Sud du pays, un climat de type sub-équatorial caractérisé par quatre saisons d'inégale importance : les précipitations se répartissent sur deux saisons des pluies, séparées par deux saisons sèches. La pluviométrie annuelle est de l'ordre de 1.500 à 2.000 mm d'eau, répartis sur 90 à 180 jours (TASTET, 1974, données de l'ASECNA). La moyenne annuelle des températures est de 26°C,

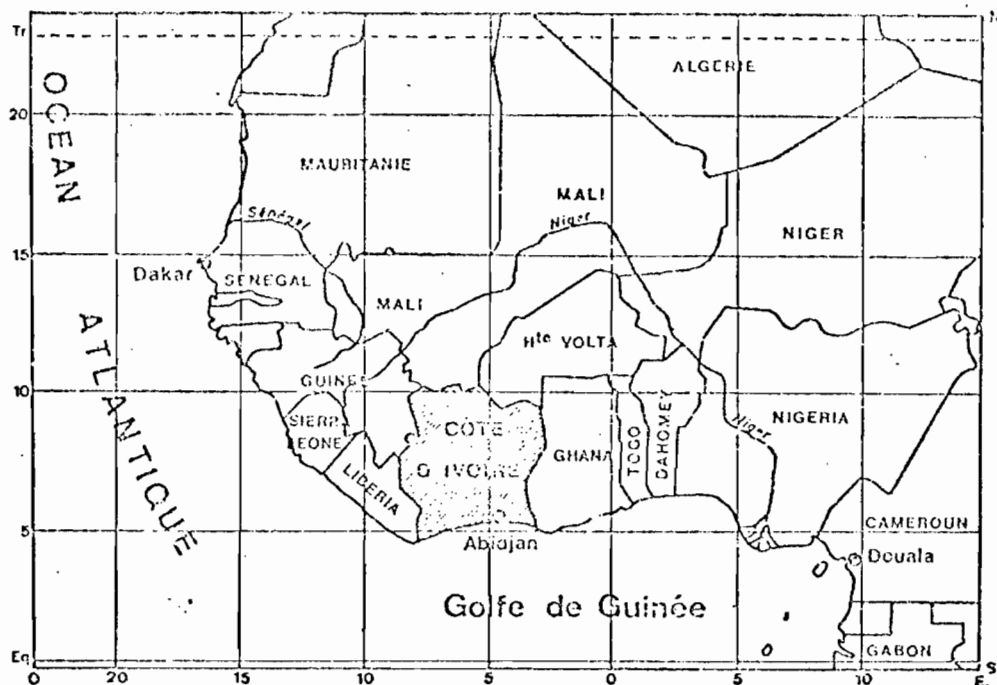


Fig. 1 - L'Afrique Occidentale et la Côte d'Ivoire

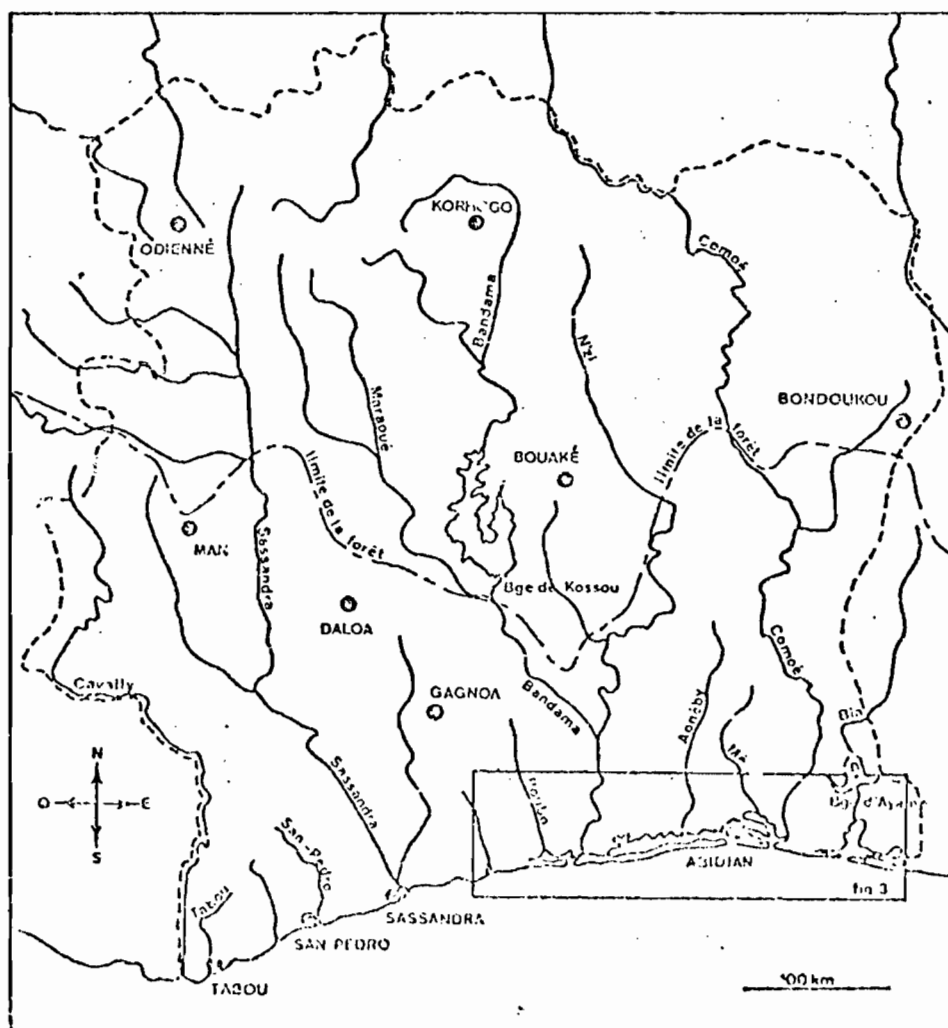


Fig. 2 - Le réseau hydrographique ivoirien

avec un maximum de 28°5C entre Janvier et Mars, et un minimum de 24°5C toujours en Août.

A ces deux types de régions climatiques correspondent deux types de végétation : au Sud, c'est le domaine de la forêt dense-humide, semi-décidue à sempervirente (ELDIN, 1971) qui progressivement fait place, vers le Nord, à la savane boisée.

. Les précipitations étant très abondantes et le relief peu accusé, le réseau hydrographique ivoirien est très dense (fig. 2).

- quatre fleuves principaux drainent l'ensemble du pays du Nord au Sud :

- + Le Comoé : 1.160 km de long et un bassin versant de 76.500 km²
- + Le Bandama : 1.050 km et 97.500 km²
- + + Le Sassandra : 650 km et 66.000 km²
- + Le Cavally : de moindre importance

De nombreux petits fleuves côtiers dont le cours n'excède pas 500 km, coulent dans le Sud du pays : citons la Mé et l'Agnéby qui se jettent dans la lagune Ebrié.

- le réseau lagunaire ivoirien est très important dans le Sud du pays : le système Ebrié en constitue l'élément majeur.

CHAPITRE I

CARACTERES GENERAUX DE LA LAGUNE EBRIE

L'environnement climatique, hydrologique et géologique de la lagune Ebrié a été décrit par VARLET (1958), DEBYSER (1952, 1955, 1961), TASTET (1974), DAGET (1974), DUFOUR (1974), GALOIS (1975), DUFOUR et SLEPOUKHA (1975), PLANTE-CUNY (1977).

La morphologie actuelle de la lagune est le résultat d'une suite de régressions et transgressions marines auxquelles il faut ajouter les actions de la dérive littorale Ouest-Est (due à l'obliquité de la houle sur la côte) et du courant de Guinée orienté Ouest-Est. La dernière transgression marine a envoyé un réseau de vallées qui ont progressivement été barrées par la dérive littorale ; la mer en revenant à son niveau actuel a laissé une série de cordons littoraux parallèles isolant les eaux lagunaires de la mer.

1. PRESENTATION DU SITE

1.1 Description

La lagune Ebrié (fig. 3) s'allonge d'Est en Ouest sur 125 km, le long du littoral Ivoirien ; avec une largeur moyenne de 4 km, elle occupe une surface voisine de 560 km².

. Elle comporte :

- La lagune Ebrié proprement dite, très ramifiée, composée d'un chenal central autour duquel s'organise un réseau de très nombreuses baies orientées Nord-Sud ou Est-Ouest. On rencontre d'Ouest en Est, dans le chenal central, les îles Deblay, Likré, Leydet, Boulay, Désirée et Vitré, ainsi que de nombreux îlots plus petits.

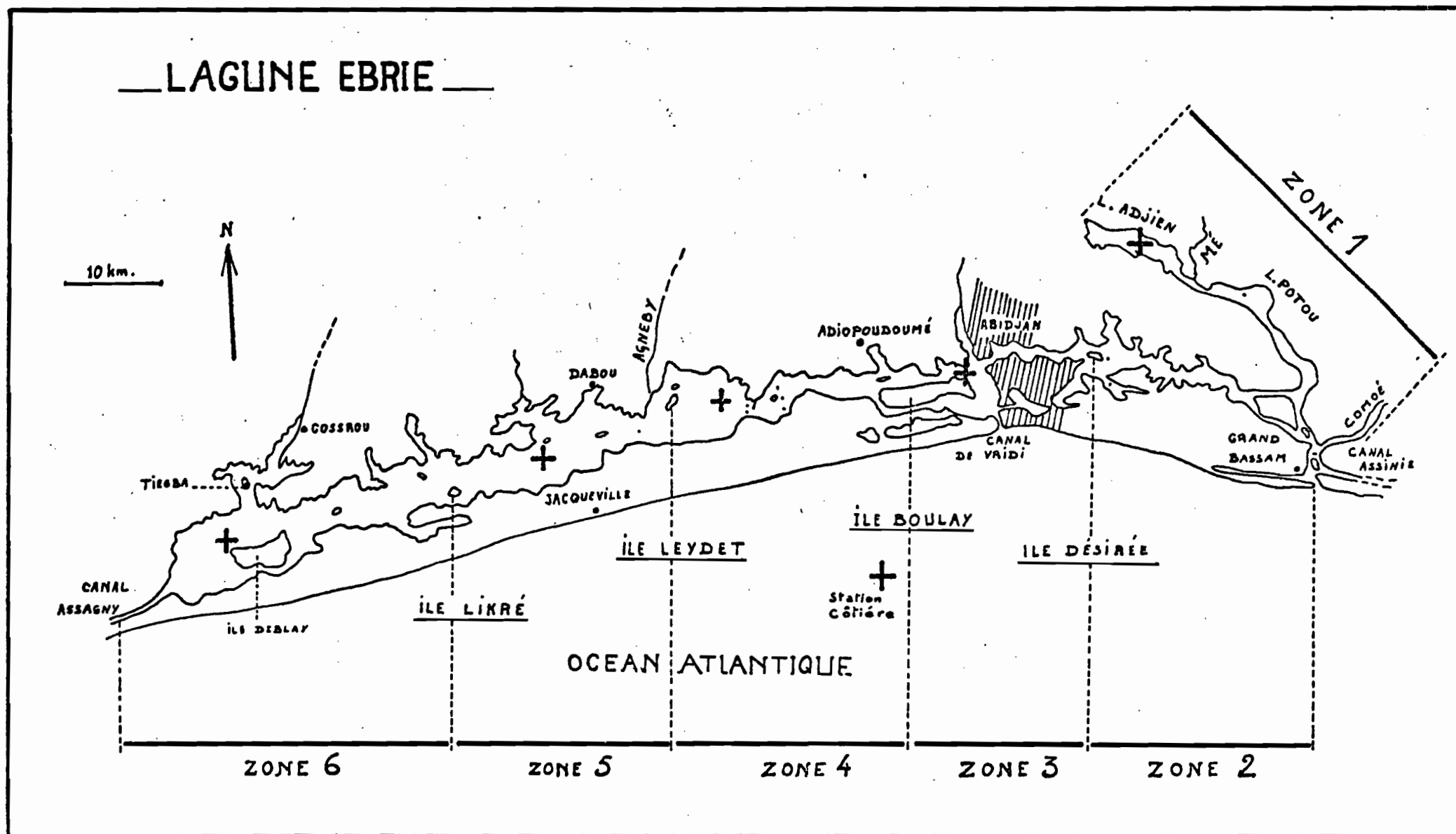


Fig. 3 - La lagune Ebrié

- Le système des lagunes Adjien et Potou, relié à la lagune Ebrié par un long et étroit chenal.
- Des étangs côtiers isolés entre Abidjan et Jacqueville.

. Trois fleuves principaux débouchent dans la lagune Ebrié :

- La Mé et le Comoé à l'Est
- L'Agnéby au centre.

. La lagune communique avec la mer en trois points :

- A l'Ouest par le canal d'Assagny qui ne permet cependant qu'une influence marine limitée.
- En face d'Abidjan par le canal de Vridi qui constitue la principale entrée des eaux marines et sortie des eaux lagunaires.
- A Grand-Bassam par l'embouchure du Comoé qui cependant n'est plus fonctionnelle depuis 1972 (cf. 1.2.1 ci-après).

. Les études bathymétriques de TASTET (1974) ont montré que dans l'ensemble la lagune est peu profonde (< 10 m), exception faite de quelques chenaux, dans la région d'Abidjan, qui peuvent atteindre 25 m (citons le chenal Sud de l'île Boulay). PLANTE-CUNY (1977) estime que les fonds compris entre 0 et 5 m représentent 69 % de la superficie totale. DEBYSER (1955), PLANTE-CUNY (1977) ont décrit des fonds sableux jusqu'à une profondeur de 4 à 5 m et des vases organiques réductrices à des profondeurs supérieures.

. Les rivages de la lagune sont recouverts de forêt dense humide ou de plantations. De nombreux villages et villes sont établis surtout sur la rive Nord. La capitale de la Côte d'Ivoire, Abidjan, s'étend de part et d'autre du chenal central et des baies du Banco, de Cocody, de Koumassi, de Marcory, de Bietri et d'Abidjan (fig. 4). Le développement constant de l'agglomération commence à poser des problèmes de pollution dans la région abidjanaise.

1.2 Dynamique des Eaux

Les résultats présentés dans ce chapitre sont largement empruntés à TASTET qui en fait l'objet d'une partie de son étude : "L'environnement physique du système lagunaire Ebrié". (1974).

La lagune est une étendue d'eau tour à tour douce et saumâtre.

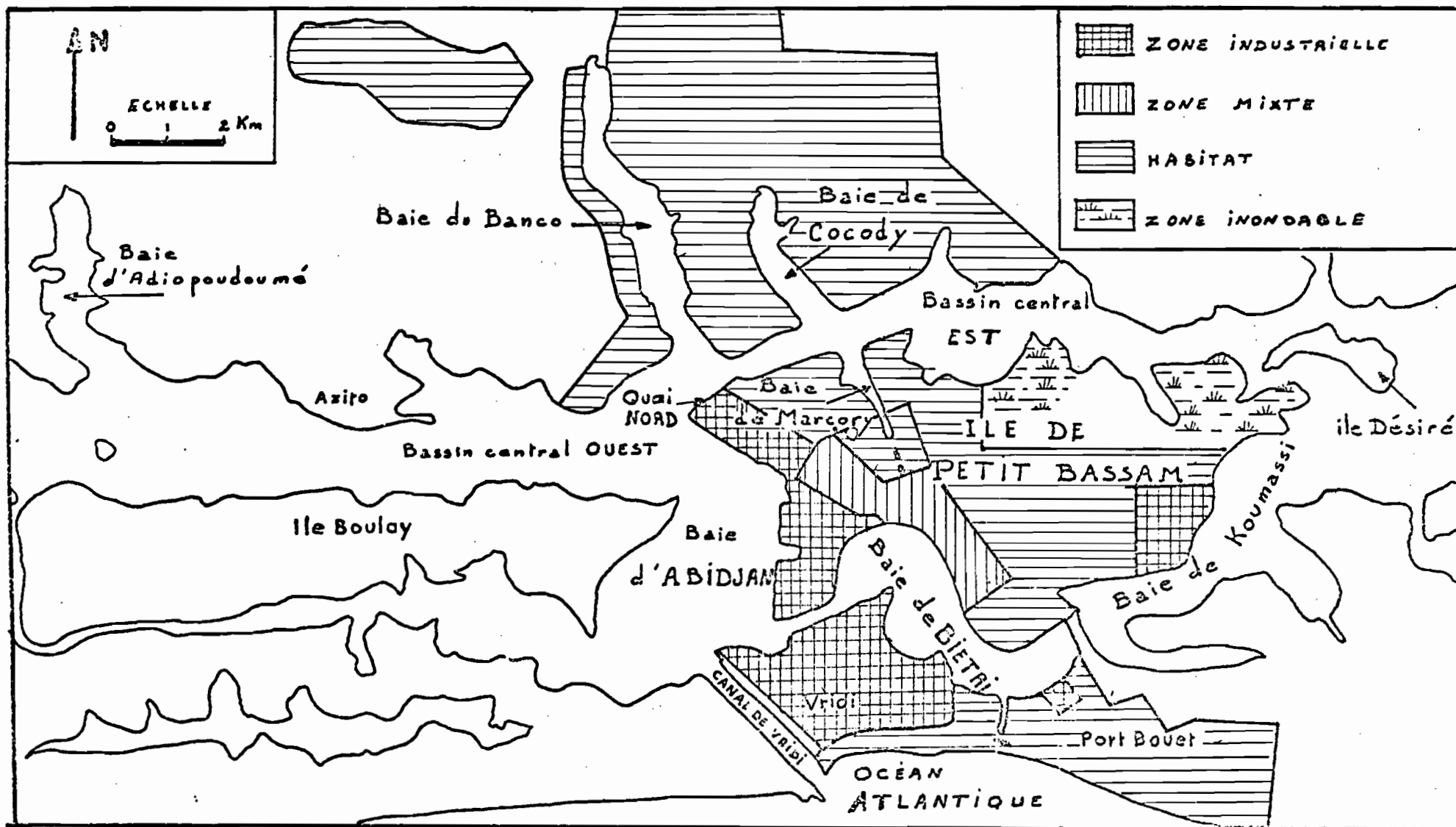


Fig. 4 - L'agglomération Abidjanaise

1.2.1 Apports d'eaux continentales

La lagune Ebrié, nous l'avons vu, est alimentée en eau douce principalement par trois fleuves : la Mé, l'Agnéby et le Comoé.

- La Mé et l'Agnéby, dont le bassin versant est entièrement situé dans le Sud du pays, ont un régime hydrologique soumis aux conditions locales décrites ci-dessus. Il est caractérisé par deux crues correspondant aux saisons des pluies, la principale en Juin-Juillet, la seconde en Septembre-Octobre (fig. 5).

- Le Comoé, en revanche, a un bassin versant qui intègre plusieurs zones climatiques mais il s'avère beaucoup plus influencé par la grande saison des pluies du Nord ; sa crue la plus importante intervient en Septembre (fig. 5).

- Au niveau de la lagune, la figure 6 met en évidence l'importance relative des deux périodes de crue : la première en fin Juin, liée aux précipitations du Sud du pays, la seconde beaucoup plus importante, centrée sur Septembre-Octobre et due à la grande crue du Comoé. Au cours d'une année moyenne, le Comoé apporte 70 % des eaux douces, 8 à 10 % sont dues aux précipitations sur l'ensemble de la lagune, le reste étant apporté par les autres fleuves et rivières.

- Cependant ces apports peuvent être variables d'une année sur l'autre. Ainsi, la sécheresse qui a sévi en 1972 dans le Nord du pays (proche de la zone Sahélienne) a provoqué la disparition de la crue principale. Ce même phénomène s'est reproduit en 1976, année au cours de laquelle nous avons fait des prélèvements phytoplanctoniques. Depuis 1972, l'augmentation de débit du Comoé n'a pas été suffisante pour combattre la fermeture de son embouchure par la dérive littorale. Aussi, la lagune ne communique-t-elle maintenant avec la mer que par le canal de Vridi.

1.2.2 Communication avec la mer : le canal artificiel de Vridi

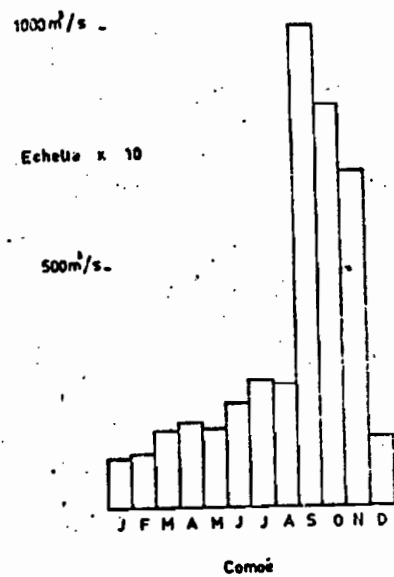
Il a été percé en 1950, en face d'Abidjan, afin de permettre l'établissement d'un port important au sein même de la lagune. Il a provoqué un bouleversement écologique important en permettant l'entrée des eaux marines salées.

Le canal fonctionne comme un quelconque estuaire :

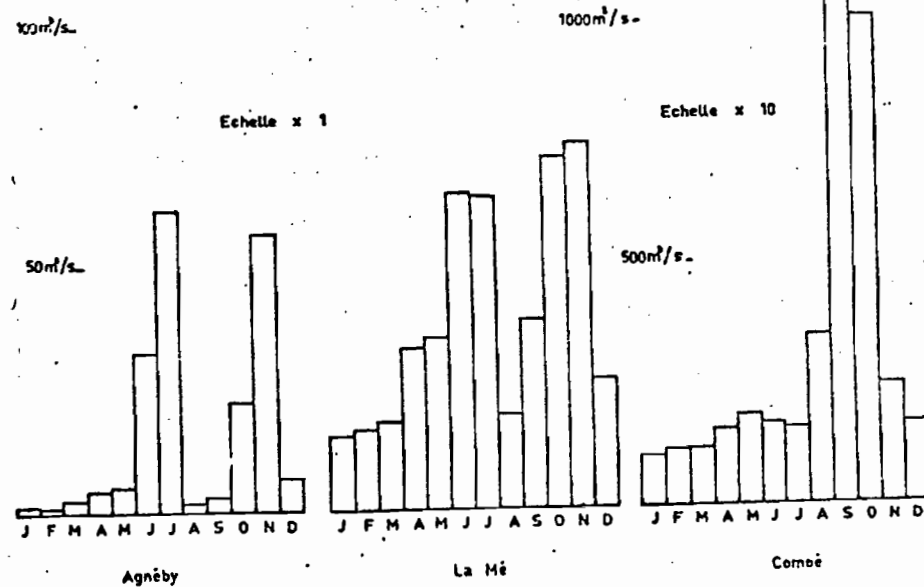
- à marée descendante, les eaux douces ou saumâtres s'écoulent plus rapidement en surface.

- à marée montante, l'incursion des eaux marines se fait sentir plus fortement en profondeur.

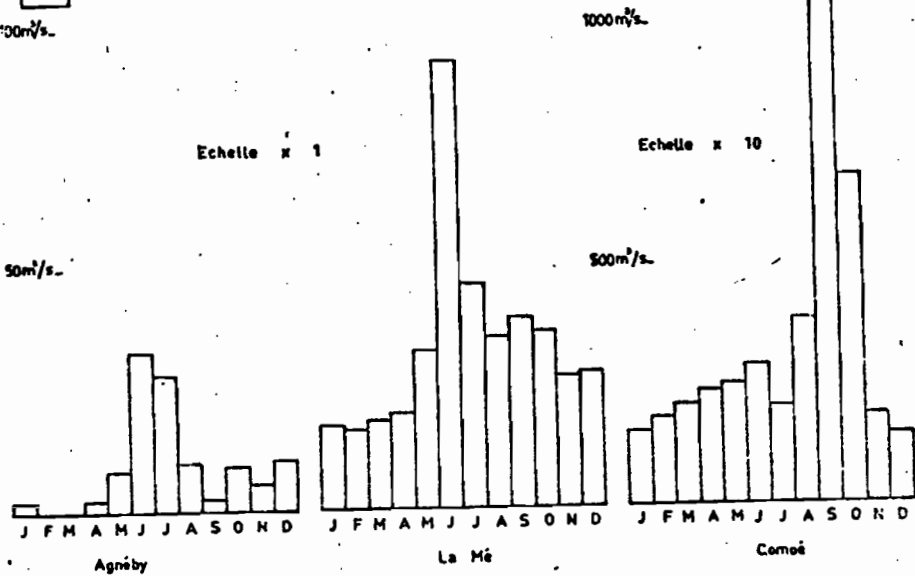
1969



1970



1971



1972

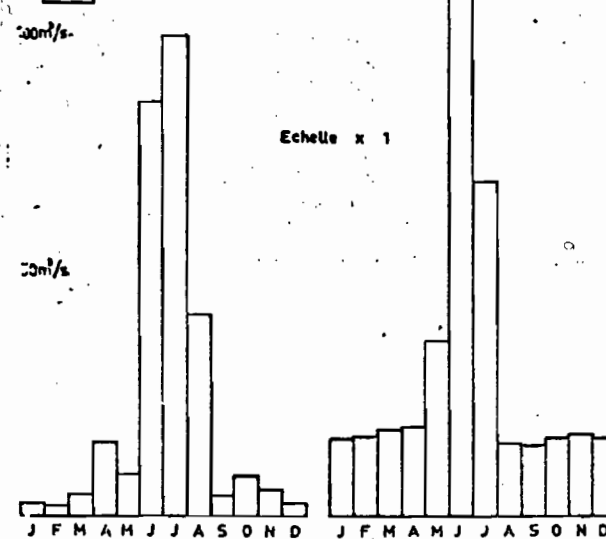


Fig. 5 - Régime hydrologique des trois fleuves principaux alimentant

la lagune Ebrié

emprunté à TASTET (1974)

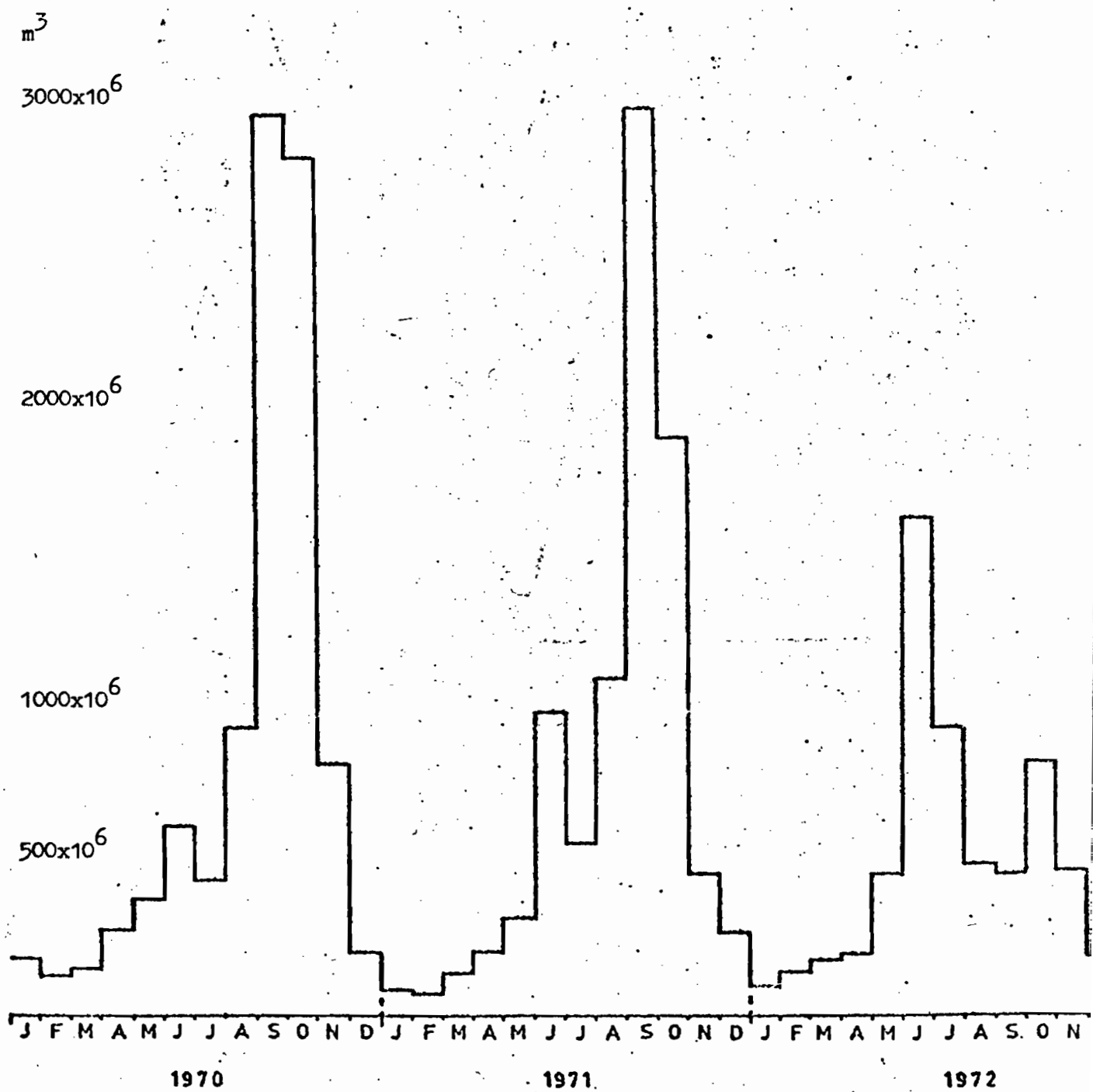


Fig. 6 - Apports mensuels d'eau douce au système Ebrié
emprunté à TASTET (1974)

- à la renverse de marée, les deux courants contraires co-existent. DUFOUR et SLEPOUKHA (1975) constatent le même phénomène, le faciès d'estuaire étant cependant plus marqué en saison d'étiage. Il convient de souligner que la totalité des apports d'eaux douces reçus par le système Ebrié s'évacue par le seul canal de Vridi (le départ par évaporation ne représentant selon TASTET (1974) que 2 à 5 % du total des eaux).

1.2.3 Influence de la marée

La marée se fait sentir sur l'ensemble de la lagune avec amortissement et retard croissant au fur et à mesure que l'on s'éloigne du canal de Vridi. TASTET (1974) donne pour une amplitude moyenne en mer de 0,87 m, des amplitudes de 0,52 m au quai Nord et de 0,08 et 0,10 m aux extrémités Est et Ouest de la lagune. Cependant, dans le système Potou-Adjien, les amplitudes redeviennent plus fortes (0,13 m et 0,16 m) : le flot de marée montante provoquerait une remontée des eaux du Comoé vers les lagunes Potou et Adjien. Notons que ce phénomène se produit également à l'Ouest de Vridi avec l'Agnéby, mais dans des proportions moindres.

Le retard à la marée peut atteindre 5 à 6 heures pour les zones les plus éloignées de Vridi.

2. PARAMETRES HYDROBIOLOGIQUES

Les résultats (non encore publiés) exposés dans ce chapitre m'ont été communiqués par les deux chercheurs de l'ORSTOM, DUFOUR et LEMASSON, travaillant sur l'hydrobiologie de la lagune. Au cours de l'année 1975, un réseau de 54 stations de surface couvrant l'ensemble de la lagune a été régulièrement visité en moyenne une fois toutes les trois ou quatre semaines. Les variations des paramètres température, transparence des eaux, salinité, sels nutritifs, chlorocphyllle a et production primaire ont été étudiées.

2.1 Méthodes utilisées

- La température a été relevée au moyen d'une sonde Y.S.I. (précision 0,5°C) et la transparence des eaux déterminée par la profondeur de disparition du disque de Secchi.
- La salinité a été mesurée au réfractomètre (précision 0,5 %) et le pH au pH mètre électronique BECKMAN (précision 0,01 unité pH).

- Les sels nutritifs ont été dosés à l'analyseur automatique Technicon R, après conservation à - 20°C en pilulier de verre, selon la méthode de STRICKLAND et PARSONS (1972).

- La chlorophylle a a été dosée selon la méthode fluorimétrique in vitro de YENTSCH et MENZEL (1963) : l'eau est passée sur filtres en fibre de verre WHATMAN G.F/C ; les filtres séchés sur silicagel, sont ensuite broyés dans de l'acétone à 90 %. Le broyat est conservé 24 heures à l'obscurité à 5°C, puis filtré à nouveau sur WHATMAN G.F.C ; le filtrat est immédiatement passé au fluorimètre TURNER. Les mesures de fluorescence sont étalonnées par rapport aux valeurs obtenues en spectrophotométrie. La méthode donne une estimation de la chlorophylle a non corrigée des phéopigments : équation de STEELE et BAIRD (1968), (précision 5 %). Nous n'avons pas effectué de calcul de chlorophylle a corrigée des phéopigments, les chlorophylles accessoires b et c et leurs produits de dégradation semblant intervenir de façon trop importante dans notre milieu (NEVEUX, 1976). Ainsi, nous avons souvent dénombré des quantités importantes de Chlorophycées et Euglénophycées notablement riches en chlorophylle b (BOURRELLY, 1966 - 1970).

- La production primaire a été estimée selon la méthode dite de "l'oxygène", par incubation simultanée de bouteilles claires et noires de 300 ml, 4 heures sous lumière artificielle (4 lampes "Cool White" fluorescentes fournissant au total 12.000 lux). Les mesures d'oxygène dissous en début et en fin d'incubation sont faites au moyen d'une sonde polarographique or-argent, à membrane de marque Y.S.I. Seules les différences supérieures à 0,1 mg/l sont considérées comme significatives. 1 mg d'O₂.h⁻¹.l⁻¹ produit correspond à 450 mg de C.h⁻¹.m⁻³ assimilé, avec un coefficient photosynthétique de 1,2 et un coefficient respiratoire de 1 (STRICKLAND et PARSONS, 1972).

A partir des données recueillies, la lagune a été divisée en six secteurs principaux (fig. 3) dont les caractéristiques sont bien marquées et qui correspondent aux secteurs définis par l'Institut des Pêches (C.R.O. Abidjan) :

- Zone 1 : Lagune Potou et Adjien
- Zone 2 : entre l'île Désirée et le Comoé
- Zone 3 : zone urbaine (où l'influence marine est maximale).
- Zone 4 : de l'île Boulay à l'île Leydet.
- Zone 5 : de l'île Leydet à l'île Likré
- Zone 6 : extrémité Ouest et baie de Cosrou.

Nous présenterons les résultats par zones.

2.2 Résultats

2.2.1 La température

C'est un facteur très stable de l'écologie de la lagune. Sa valeur se maintient autour de 29°C toute l'année. La température de l'eau de surface varie de la même façon que celle de l'atmosphère, mais en demeurant supérieure de 2 à 3°C (GARCIA, 1972) (à cause de volant thermique de l'eau, de la faible profondeur de la lagune et de sa masse d'eau finie).

Le maximum d'environ 31°C est atteint en Mars, le minimum de 26°C l'est en Août.

Dans sa valeur absolue, la température est un facteur important de l'écologie de la lagune, mais la faiblesse des variations thermiques lui donne un rôle secondaire par rapport aux variations des autres paramètres.

2.2.2 La transparence des eaux

Les valeurs de la profondeur de disparition du disque de Secchi sont faibles, rarement supérieures à 2 m, souvent inférieures à 1 m ; les zones euphotiques correspondantes sont de 2,5 à 3 m et de 5 à 6 m. Dans l'ensemble, malgré la faible transparence des eaux, les conditions d'éclairement demeurent donc suffisantes pour un développement algal.

2.2.3 La salinité

C'est un facteur prépondérant de l'écologie de la lagune du fait de l'importance de ses variations en fonction des saisons et des zones géographiques (de 0 ‰ à 33 ‰). On observe des minima de salinité aux périodes d'importants apports d'eaux douces (grande saison des pluies en Juin-Juillet, crue du Comoé en Septembre, petite saison des pluies en Octobre) et des maxima aux saisons sèches. L'incursion saline se faisant par le seul canal de Vridi, on constate une décroissance de salinité de part et d'autre de ce canal (fig. 7).

► Les zones 6 et 5 :

Ce sont les zones les plus stables du fait de leur éloignement du canal de Vridi et du Comoé. L'amplitude annuelle n'y dépasse pas en général 3 ‰, avec un maximum de 4 à 5 ‰ centré sur Avril, et un minimum de 2 ‰ à la fin du mois de Juillet : ce sont les variations saisonnières de salinité les plus faibles de la lagune (fig. 8).

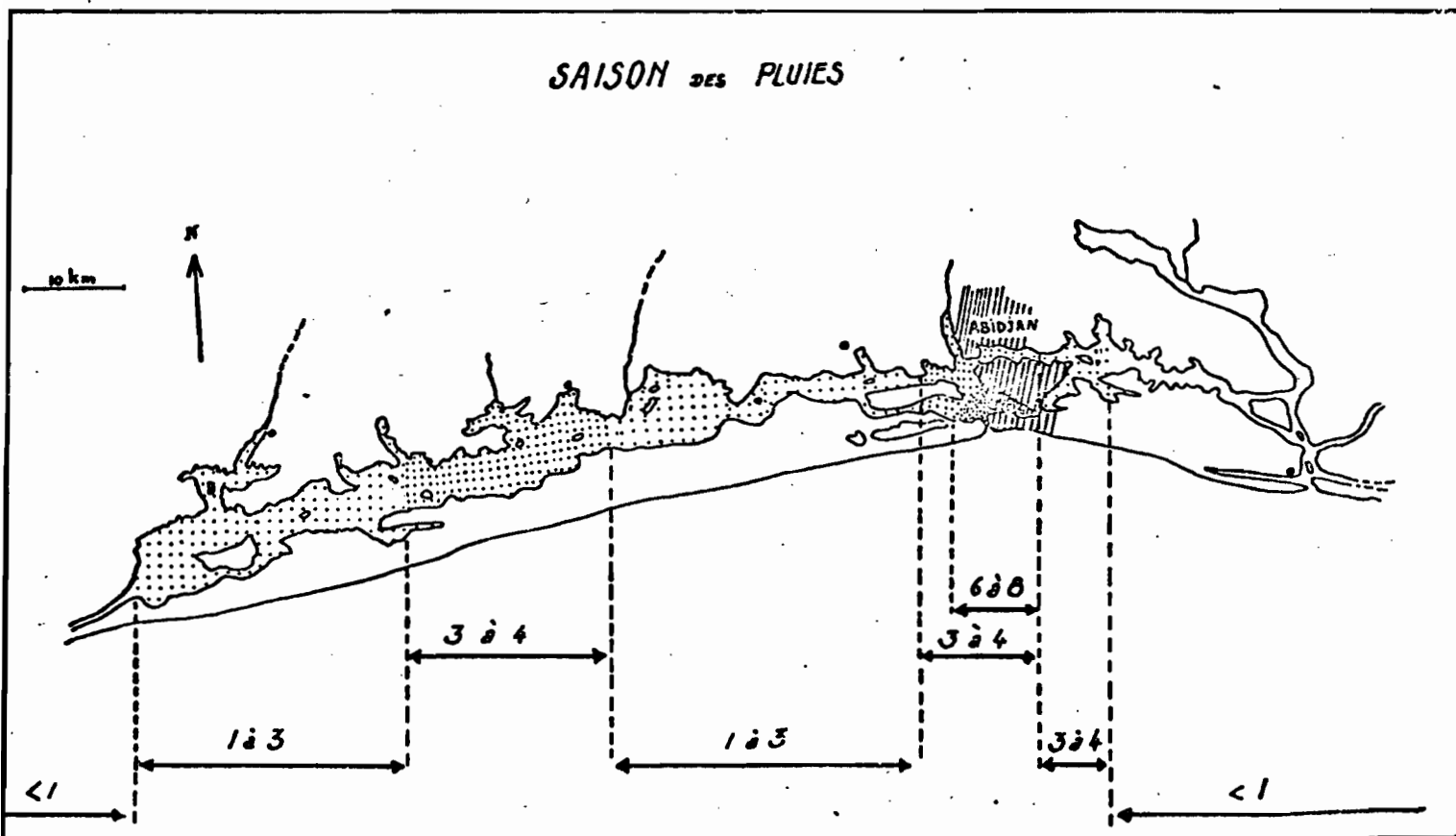
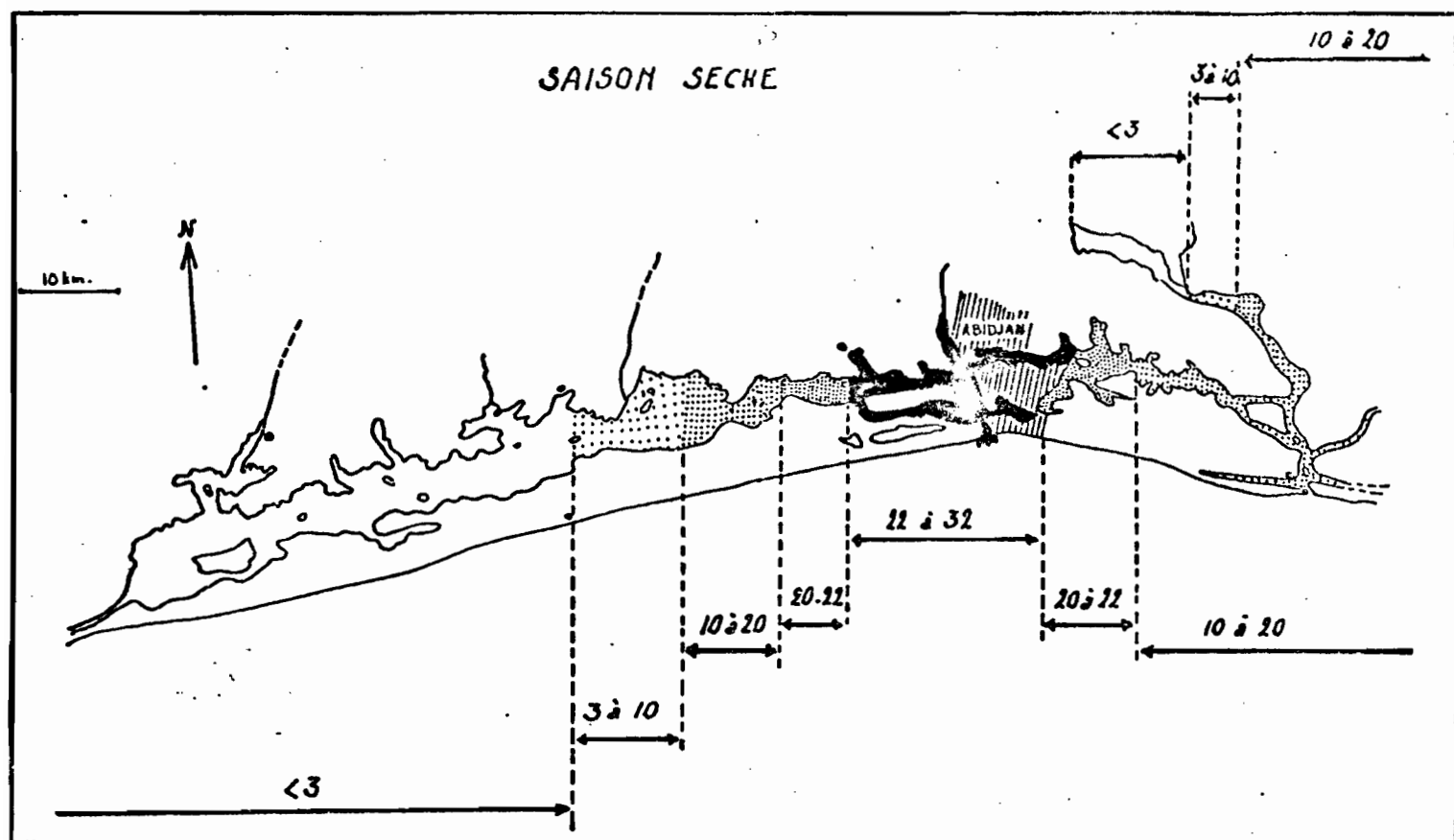


Fig. 7 - Variations géographiques de la salinité en lagune Ebrié à deux saisons extrêmes

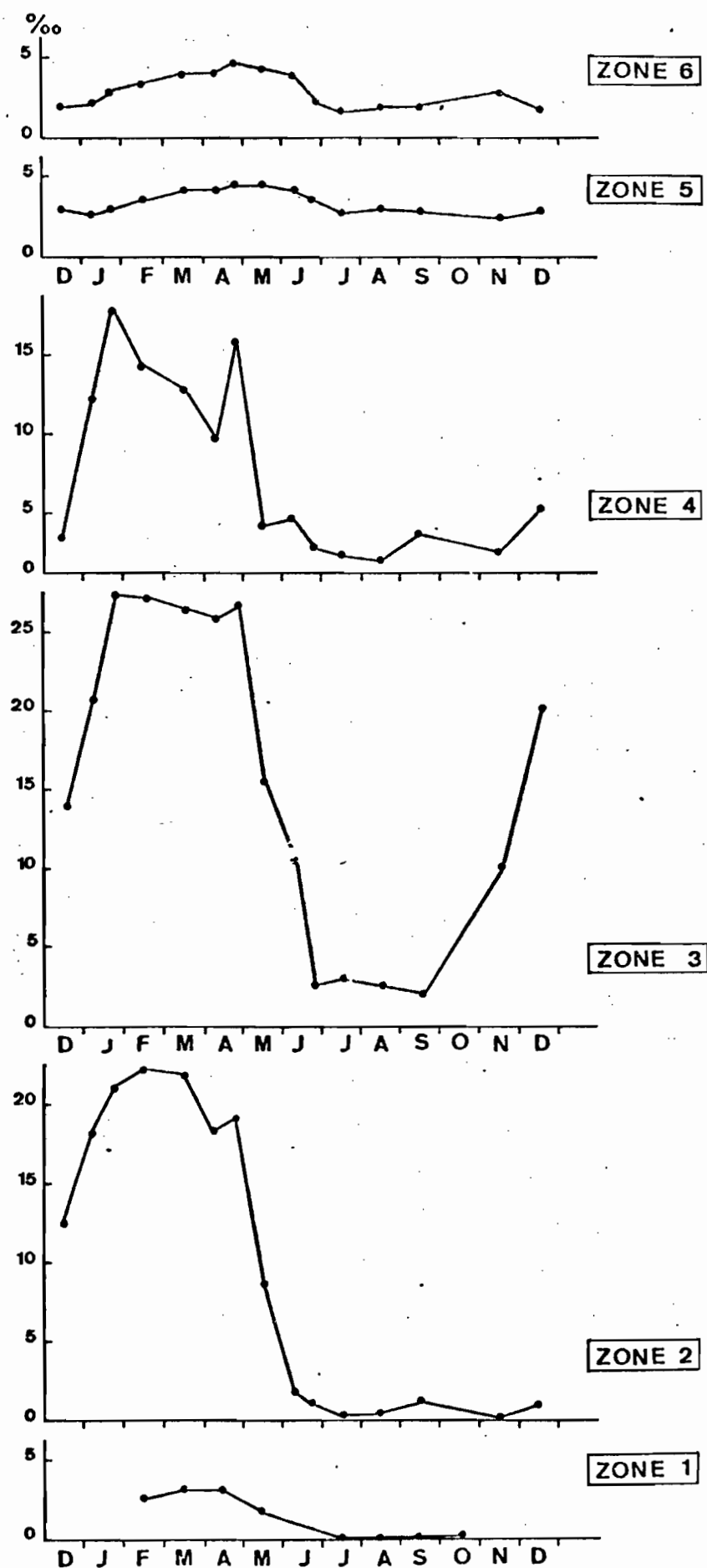


Fig. 8 - Variations de la salinité au cours de l'année 1975 dans les six zones de la lagune Ebrié

La zone 5 présente cependant en Juin des salinités un peu plus élevées que la zone 4. TASTET (1974) a constaté le même phénomène qu'il explique : "les eaux de l'Agnéby, grossies par les pluies, s'écoulent en surface vers Vridi et piègent de l'eau légèrement salée (2 à 4‰) à l'Ouest de son embouchure".

► Les zones 4, 3 et 2 :

Elles sont directement intéressées par le régime estuarien. La salinité maximale s'observe en saison sèche, puis on constate une chute pendant la saison des pluies (Juin-Juillet), chute qui se poursuit avec la crue du Comoé (Septembre). Une remontée plus ou moins marquée selon les années s'intercale durant la petite saison sèche d'Août. La dessalure de la zone 2 est presque totale pendant la crue du fait de la proximité du Comoé (fig. 8).

	Zone 4	Zone 3	Zone 2
Saison sèche	17 ‰	32 ‰	22 ‰
Saison des pluies	2 ‰	2,5 ‰	1 ‰

Tableau 1 : salinités extrêmes des zones 4, 3 et 2 en 1975

Ces zones présentent les variations saisonnières de salinité les plus fortes de la lagune, surtout la zone 3, la plus soumise à l'influence marine (Tableau 1).

► La zone 1 :

Elle varie comme les zones 5 et 6 ; cependant étant sous l'influence directe du Comoé, elle présente une dessalure totale (0 ‰) à la crue de Septembre (fig. 8).

Ces observations sur les variations saisonnières et géographiques de la salinité concordent bien avec celles effectuées auparavant par RAHM (1964), BINDER (1968), TASTET (1974) et GALOIS (1975).

Notons que les variations du pH suivent celles de la salinité ; les eaux de surface du système Ebrié ont un pH qui varie entre 6 et 8, un apport d'eau douce ($\text{pH} < 7$) jouant dans le sens d'une diminution, un apport d'eau salée ($\text{pH} > 7$) jouant dans le sens d'une augmentation (TASTET, 1974).

2.2.4 Les sels nutritifs

Dans le chenal central les concentrations en sels nutritifs sont assez fortes sur l'ensemble de la lagune. Les nitrates varient de valeurs pratiquement nulles à environ $17 \mu \text{ atg/l}$, les phosphates de valeurs inférieures à $0,25 \mu \text{ atg/l}$ à $1,8 \mu \text{ atg/l}$ pour l'année 1975.

La répartition des sels nutritifs est étroitement liée aux apports d'eau douce et à leur cycle. Ainsi, les teneurs en sels augmentent en début de saison des pluies (Mai) et se maintiennent plus ou moins élevées jusqu'à la crue du Comoé. Cette augmentation s'explique par le fait que les eaux d'écoulement et de drainage entraînent avec elles les éléments nutritifs accumulés sur la terre au cours de la saison sèche. La présence de plantations utilisant des engrais, autour de la lagune, accentue ces enrichissements. L'apport maximal est atteint en début de saison des pluies, les eaux passant par la suite sur des sols lessivés.

La période de fin de crue et toute la saison sèche sont marquées par un appauvrissement général en sels nutritifs.

Les eaux lagunaires correspondent à des eaux marines d'up-welling faible, donc riches mais sans excès (ANONYME, 1975).

$$\text{Le rapport N/P} \quad \frac{\text{N-NO}_3, \text{N-NO}_2, \text{N-NH}_3}{\text{P-PO}_4} \quad \text{varie}$$

de 4 à 22 selon les régions et les saisons. D'une façon générale, la production primaire est plutôt limitée par l'azote ; cependant, les eaux atmosphériques et continentales, relativement riches en cet élément, peuvent provoquer une limitation potentielle par le phosphore en saisons des pluies et de crue (DUFOUR et al, 1978).

Les zones 5 et surtout 6 constituent une exception à ce schéma : on y trouve des concentrations en nitrates pratiquement nulles toute l'année et peu de sels nutritifs en général.

2.2.5 La biomasse phytoplanctonique

La biomasse végétale est dans l'ensemble très élevée : les concentrations en chlorophylle a atteignent des valeurs extrêmement fortes, de l'ordre de $70 \mu \text{ g/l}$ et parfois plus dans certaines baies. Toutes les zones ont leur taux maximum de chlorophylle a en début de saison des pluies (Mai), correspondant aux apports massifs en sels nutritifs.

La biomasse la plus importante se trouve dans les secteurs où les variations de salinité sont les plus faibles, c'est-à-dire les zones 5 et 6 (malgré leurs teneurs en nitrates presque nulles toute l'année ; nous discuterons de ce point ultérieurement).

En se rapprochant du canal de Vridi on constate une décroissance de la richesse algale qui réaugmente légèrement à l'Est du canal (zone 2) avant de diminuer dans les lagunes Adjien et Potou (zone 1) - (Tableau 2).

Zones	6	5	4	3	2	1
Minimum	26,9	10,2	3,3	1,7	1,3	0
Maximum	73,8	24,6	14,7	24,7	14,9	9,7
Moyenne arithmétique	38,6	16,7	7,6	6,9	6,4	5,2
Moyenne géométrique	37,2	16,3	7,1	5,5	5,6	3,1

Tableau 2 : Teneurs extrêmes et moyennes de chlorophylle a (en $\mu\text{g/l}$) pour les différentes zones au cours de l'année 1975.

Ces valeurs de la chlorophylle sont en moyenne dix fois supérieures à celles trouvées en mer par DANDONNEAU (1973) à la station côtière située en face d'Abidjan (fig. 3). Signalons que cette région marine est considérée comme riche du fait de l'établissement d'un up-welling intense le long des côtes ivoiriennes en saison marine froide (fin Juillet à début Octobre).

La production primaire (production brute) suit les variations de la chlorophylle a : la zone 6 est la plus productive (maximum : $300 \text{ mgC. h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$) tandis que la zone située entre Abidjan et le Comoé est la plus pauvre (six fois moins productive).

Le schéma de variation des paramètres lagunaires proposé ci-dessus pour l'année 1975 se retrouve d'une année sur l'autre, des différences dues surtout aux irrégularités climatiques pouvant cependant apparaître. Nos prélèvements phytoplanctoniques ont été réalisés l'année suivante, en 1976, toutefois, on peut considérer qu'ils ont été effectués dans le même contexte hydrologique.

CHAPITRE II

DONNEES GENERALES SUR LE PHYTOPLANKTON DE LA LAGUNE EBRIE

Afin d'avoir un aperçu de l'ensemble des populations phytoplanctoniques de la lagune, treize prélèvements ont été effectués en surface à deux saisons extrêmes : saison sèche et saison des pluies, dans les zones 6, 5, 4, 3 et 1. La méthode exposée ci-dessous est valable pour l'ensemble des résultats phytoplanctoniques.

1. METHODE UTILISEE

Les prélèvements d'eau de 100 à 150 ml, effectués à une profondeur de 50 cm, au moyen d'un seau, sont fixés au Lugol acétique mis à sédimenter pendant 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 observations portent sur l'ensemble du nanoplancton et du microplancton végétal, soit sur les organismes de 5 à 500 μ m. Nous considérons l'ensemble de la cuve au grossissement 10 et sept bandes diamétrales régulièrement réparties aux grossissements 25 et 40. Suivant les densités de chaque taxon dans le prélèvement d'origine, différents volumes sédimentés sont pris en compte : 50 ml, 10 ml, 0,1 ml, 1 ml, les deux derniers étant obtenus par dilution (modalités préconisées par SCOR UNESCO, 1974).

. Si l'on considère comme LUND et al. (1958) que la principale source d'erreur est due à l'échantillonnage et que l'on est peu éloigné d'une distribution de poisson, l'intervalle de confiance du comptage est de $\bar{x} \pm 2 \sqrt{\bar{x}}$ au niveau de sécurité 95 % (TRAVERS, 1971). En général, un minimum de 400 individus a été compté, ce qui correspond à une précision de $\pm 10 \%$.

. Les résultats obtenus en nombre de cellules sont 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) :

$$\text{Volume plasmique} = (\text{surface cellulaire}) \times (1 \text{ à } 2) + 0,1 \text{ volume cellulaire}$$

$$(\mu m^3) \quad (\mu m^2) \quad (\mu m) \quad (\mu m^3)$$

Le choix du coefficient (qui correspond à l'épaisseur du cytoplasme pariétal variant de 1 à $2 \mu m$) 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 0,51 et 0,89, de : 1
- Pour un rapport supérieur à 0,9 : pas de correction.

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

. Les indices de diversité sont calculés par la formule de SHANNON (1948) :

$$I = - \sum p_i \log_2 p_i \quad \text{où} \quad p_i = \frac{n_i}{N} = \frac{\text{nombre d'individus de l'espèce } i}{\text{nombre total d'individus}}$$

Deux indices ont été utilisés : le premier portant sur les numérations cellulaires, le second sur les biovolumes. Ne sont pris en compte que les taxons représentant plus de 0,1 % des effectifs totaux ou du biovolume total.

. Les déterminations spécifiques ont parfois été délicates, voire même impossibles pour certains genres, en particulier de Dinoflagellés (Gymnodinium, Gyrodinium) et de Diatomées (Cyclotella), et pour certains petits flagellés. La difficulté de l'identification résulte de la fixation et de la petite taille de la plupart des individus. Nous avons souvent observé certaines espèces entre

lame et lamelle (après concentration des échantillons d'eau) pour bénéficier d'un plus fort grossissement et de la possibilité de faire pivoter les individus.

Pour les Diatomées, afin de mieux observer la structure des frustules sur laquelle est basée leur systématique, nous avons procédé à un grillage des individus avant de fixer la préparation dans de la résine (Clearax).

2. LISTE DES GENRES ET ESPECES RENCONTRES EN LAGUNE EBRIE

Cette liste n'est pas exhaustive ; elle a été constituée à partir des taxons trouvés lors du comptage des échantillons d'eau et de l'examen de prélèvements faits au filet à plancton (maille 50 μ m). Les espèces notées d'une croix (+) ont été observées à la suite d'incubation in vitro de populations naturelles de la lagune dans lesquelles elles n'avaient pas été répertoriées à l'origine.

Dans la première colonne du tableau ci-dessous (1), sont reportés les biovolumes moyens par espèce, en μ m³ ; dans la deuxième colonne (2), les espèces d'eau douce trouvées pour des salinités inférieures à 4 ‰ ; dans la troisième colonne (3), les espèces citées par BOURRELLY (1961) dans les "algues d'eau douce de Côte d'Ivoire" ; et dans la quatrième colonne (4), les espèces citées par DANDONNEAU (1971) dans le plancton marin ivoirien :

CHLOROPHYCEES

Euchlorophycées

. Volvocales

Chlamydomonas sp

Eudorina elegans - Ehrenberg

Pandorina morum - (Muller) Bory

Tetraselmis sp

. Chlorococcococcus

Chodatella sp

Coelastrum cambricum - Archer

Crucigenia tetrapedia - (Kirchner) W & G.S West

Dictyosphaerium pulchellum - Wood

Eremosphaera gigas - (Archer) Fott & Kalina

(1)	(2)	(3)	(4)
100	□	■	
	□	■	
40	□		
	□	■	
65	□		
	□		
	□		

DIATOMOPHYCEES

. Centriques

Actinoptychus splendens - (Shadbolt) Ralfs			
Actinoptychus undulatus - (Bailey) Ralfs			
Asteromphalus flabellatus - (Brebisson) Greville			
Bacteriastrum hyalinum - Lauder			
Biddulphia aurita - (Lyngbye) Brebisson & Godey			
Cerataulina pelagica - (Cleve) Hendey	8.000		○
Chaetoceros sp	500		
Coenobiodiscus muriformis ⁽¹⁾ - Loeblich III, Wight & Marshall Darley			
Coscinodiscus concinnus - W Smith			○
Coscinodiscus lineatus - Ehrenberg			
Coscinodiscus oculus iridis - Ehrenberg	55.000		○
Cyclotella comta - (Ehrenberg) Kützing			
Cyclotella meneghiniana - Kützing	130 à 1.000	□	
Cyclotella stylorum - Brightwell	7.000		
Cyclotella spp			
Guinardia flaccida - (Castracane) Peragallo			○
Hemiaulus membranaceus - Cleve			○
Leptocylindrus minimus - Gran	60		
Lithodesmium undulatum - Ehrenberg			○
Melosira granulata var. angustissima - Müller		□	
Melosira granulata var. granulata - (Ehrenberg) Ralfs	11.000	□	
Melosira granulata var. muzzanensis - (Meister) Bethge		□	
Melosira juergensi - Agardh	6.000		
Rhizosolenia alata - Brightwell			○
Rhizosolenia fragilissima - Bergon	1.500 à 1.700		○
Skeletonema costatum - (Greville) Cleve			
Stephanopyxis palmeriana - (Greville) Grunow			○
Terpsinoe musica - Ehrenberg		□	
Thalassiosira sp	330		

(1) Genre et espèce nouvelle décrite par LOEBLICH III et al. (1968). C'est la première fois qu'elle est observée dans le plancton ivoirien.

• Pennées

Achnantes hauckiana - Grunow

Amphiprora sp⁺

Amphora coffeaeformis⁺ - (Agardh) Kützing

Amphora ovalis - Kützing

Asterionella gracillima f. tabellarioides -
Cleve

Asterionella japonica - Cleve

Campylodiscus echeneis - Ehrenberg

Cocconeis placentula var. euglypta -
(Ehrenberg) Cleve

Eunotia sp

Gyrosigma balticum - (Ehrenberg) Cleve

Gyrosigma obliquum - (Grunow) Boyer

Navicula latissima - Greg

Navicula lyra - Ehrenberg

Neidium hitchcockii - Ehrenberg

Nitzschia delicatissima - Cleve

Nitzschia longissima - (Brebisson) Ralfs

Nitzschia obtusa - Smith

Nitzschia paradoxa - (Gmelin) Grunow

Nitzschia rigida⁺ - Grunow

Nitzschia rigida var. rigidula⁺ - Grunow

Nitzschia tryblionella - Grunow

Pinnularia gentilis - (Donkin) Cleve

Pleurosigma angulatum - Smith

Pleurosigma elongatum - Smith

Pleurosigma intermedium - Smith

Pleurosigma sp

Surirella fastuosa - Ehrenberg

Surirella robusta - Ehrenberg

Surirella spiralis - Kützing

Synedra ulna - (Nitzsch) Ehrenberg

Thalassionema nitzschioides - Grunow

CRYPTOPHYCEES

Cryptomonas spp

Hemiselmis sp

(1)	(2)	(3)	(4)
200			
350			
	□		
160			○
1.500			
1.500			
1.000			
2.000	□		
340			
400			
40			

DINOPHYCEES

Ceratium breve - (Ost f. & Schmidt) Schröder
 Ceratium candelabrum - (Ehrenberg) Stein
 Ceratium furca - (Ehrenberg) Claparède & Lachmann
 Ceratium fusus - (Ehrenberg) Dujardin
 Ceratium massiliense - (Gouret) Jörgensen
 Ceratium teres - Kofoïd
 Ceratium trichoceros - (Ehrenberg) Kofoïd
 Ceratium tripos - (Muller) Nitzsch
 Dinophysis caudata - Saville-Kent
 Dinophysis schroderi - Pavillard
 Goniaulax apiculata - (Penard) Entz
 Gymnodinium splendens - Lebour
 Gymnodinium spp
 Gyrodinium spp
 Peridinium africanum - Lemmermann
 Peridinium depressum - Bailey
 Peridinium divergens - Ehrenberg
 Peridinium minusculum - Pavillard
 Peridinium spp
 Peridinium trochoideum - (Stein) Lemmermann
 Prorocentrum micans - Ehrenberg
 Prorocentrum sp

EUGLENOPHYCEES

Euglena acus - Ehrenberg
 Eutreptiella braarudii (f. minor) - Throndsen
 Eutreptiella sp
 Phacus longicauda - (Ehrenberg) Dujardin
 Strombomonas gibberosa - (Playfair) Deflandre
 Strombomonas verrucosa - (Daday) Deflandre
 Trachelomonas sp

CYANOPHYCEES

Anabaenopsis sp
 Johannesbaptista pellucida - (Dickie)
 Taylor & Drouet

(1)	(2)	(3)	(4)
			○
			○
55.000			○
10.000			○
			○
			○
45.000			○
23.000			
50.000			○
	□		
140.000			
4.500			
1.000			○
1.300	□	■	
à 3.400			
400			
à 500			
	□		
	□	■	
	□	■	
140			

Lyngbia limnetica - Lemmermann	20	□		
Merismopedia tenuissima - Lemmermann	9	□		
Pseudanabaena sp	60	□		
Oscillatoria limnetica - Lemmermann	45	□		
Oscillatoria mougeotii - Kützing	8.000	□		
Oscillatoria thiebautii - (Gom.) Geither	13.000			○

(1)	(2)	(3)	(4)

● Discussion sur l'intérêt des biovolumes

Les résultats que nous avons obtenus en effectifs cellulaires ont été transformés en volumes de matière végétale, semblant plus représentatifs de la richesse algale du milieu, puisqu'ils tiennent compte de la grande diversité des tailles des organismes (variations inter et intra spécifiques).

Dans la suite de ce travail, nous présentons les données relatives à ces deux modes d'estimation de l'abondance phytoplanctonique. Cependant, nous pouvons déjà dégager quelques caractères résultant de leur comparaison.

- le calcul des coefficients de corrélation montre que les biovolumes sont en général plus fortement corrélés que les effectifs cellulaires avec les autres paramètres, estimatifs de la biomasse algale et de sa productivité (chlorophylle a et production primaire) ; cependant, dans les deux cas, les corrélations sont significatives. De plus, les communautés algales que nous avons observées sont en général dominées très notablement par les espèces de petites tailles ; dans ce cas, le calcul des biovolumes rend compte des mêmes variations relatives entre les prélèvements que le dénombrement des cellules.
- les indices de diversité spécifiques calculés à partir des volumes algaux, sont souvent supérieurs à ceux calculés à partir des effectifs cellulaires. Toutefois, ce n'est pas toujours le cas et il arrive que ces deux indices ne varient pas dans le même sens pour tous les prélèvements. Les premiers rendraient mieux compte du degré de structuration d'un peuplement puisqu'ils augmentent de façon notable (non linéaire) "le poids" des espèces de grande

taille, en général peu représentées et caractéristiques de stades plus évolués (et inversement, diminuent celui des espèces de petite taille).

- en ce qui concerne le traitement mathématique (analyse en composantes principales) que nous avons réalisé sur les deux types de données, nous n'avons jamais constaté de différence remarquable.

L'ensemble de ces remarques indique que l'utilisation des biovolumes algaux apporte une information supplémentaire qui n'est jamais négligeable. Cependant, cette information s'avère plus ou moins intéressante : ainsi, au cours des diverses sorties que nous avons effectuées, le plus souvent, les prélèvements présentaient une population constituée des mêmes espèces, à peu près en mêmes proportions. Dans ce cas, les renseignements fournis par les numérations cellulaires semblent suffisants. En revanche, pour comparer des populations totalement différentes, les biovolumes algaux apparaissent plus probants (ce que nous avons fait au cours d'une mission et des bioessais).

Le problème de la rentabilité du calcul des volumes algaux (nécessitant un travail supplémentaire souvent long) n'a pas de solution unique : il doit être posé et résolu dans chaque cas particulier en tenant compte des conditions, des impératifs, du but recherché, etc... S'il est toujours souhaitable de posséder le maximum de données, il s'avère cependant que dans beaucoup de cas, le seul dénombrement cellulaire donne des résultats très satisfaisants.

3. RESULTATS CONCERNANT L'ENSEMBLE DE LA LAGUNE

3.1 Dates et lieux de prélèvements

Pour chaque zone les prélèvements ont été effectués en une station considérée comme caractéristique d'après les résultats de 1975 (fig. 3). Deux stations ont été effectuées en zone 3, l'une dans le chenal central, l'autre dans la baie de Biétri.

Zones	6	5	4	3		1
				chenal central	baie de Biétri	
Saison sèche	3.2.1976	3.2.1976	11.2.1976	17.2.1976	25.3.1976	19.2.1976
Intersaison	7.4.1976	7.4.1976				
Saison des pluies	30.6.1976 1.7.1976	2.7.1976		17.6.1976	11.6.1976	

Bien que peu nombreux, ces prélèvements apportent des renseignements intéressants et originaux sur les populations phytoplanctoniques de la lagune Ebrié. Les résultats des comptages sont reportés aux tableaux 3 à 7.

3.2 Aspect quantitatif

On constate pour le phytoplancton les mêmes variations que celles exposées dans le chapitre précédent.

3.2.1 Comparaison des différentes zones

La richesse phytoplanctonique est maximale à l'extrémité Ouest de la lagune, en zone 6. Lorsqu'on se rapproche du canal de Vridi, elle décroît régulièrement, pour remonter légèrement en lagune Adjien, à l'Est. Les concentrations très fortes en chlorophylle a ($50 \mu\text{g/l}$) correspondent à des effectifs cellulaires énormes (400 millions cell/l) qui, transformés en volume de matière végétale, nous donnent la valeur très importante de $14 \text{ mm}^3/\text{l}$. La zone 3 s'avère la plus pauvre (station du chenal central) des zones échantillonnées. Cependant, la baie de Biétri apparaît déjà comme originale en présentant des effectifs beaucoup plus élevés que la station référence. Il doit en être de même pour les autres baies de la zone urbaine, d'après les valeurs très élevées en chlorophylle a que DUFOUR (communication personnelle) y a observées.

Il est intéressant de constater que le gradient de richesse du microphytobenthose est inverse de celui du phytoplancton : les teneurs les plus élevées en chlorophylle a benthique ont été rencontrées en milieu agité (canal de Vridi, ile de Vitré), dans les petits fonds et jusqu'à 2 ou 3 mètres de profondeur (PLANTE-CUNY, 1977).

ESPECES	ZONE 6			
	Saison sèche	Saison intermédiaire	Saison des pluies	
<u>DIATOMÉES</u>				
Coscinodiscus oculus-iridis	-	-	-	-
Cyclotella spp	-	-	-	-
Melosira juergensi	-	-	-	-
Nitzschia sp ₁	16.428.571 1,9714	12.380.952 1,4867	9.761.905 1,1710	13.333.333 1,6000
Nitzschia sp ₂	380.952 0,3809	285.724 0,2857	95.238 0,0950	166.667 0,1670
<u>CYANOPHYCEES</u>				
Anabaenopsis sp	6.333.333 0,8867	4.16.670 0,5833	380.952 0,0530	738.095 0,1030
Lyngbia limnetica	133.571.420 2,6714	188.571.420 3,7714	16.190.476 0,3240	15.476.190 0,3090
Merismopedia tenuissima	95.238 0,0009	452.381 0,0041	95.238 0,0010	452.381 0,0040
Oscillatoria limnetica	159.285.710 7,1679	145.714.280 6,5571	46.904.762 2,1110	62.857.143 2,8290
Pseudanabaena sp	2.428.571 0,1457	1.976.190 0,1186	650.794 0,0390	1.476.190 0,0890
<u>CHLOROPHYCEES</u>				
Chodatella sp	1.476.190 0,0590	642.857 0,0257	650.794 0,0260	952.381 0,0380
Monoraphidium contortum	523.238 0,0130	1.047.619 0,0251	714.286 0,0180	1.285.714 0,0320
Monoraphidium irregulare	8.571.428 0,0591	72.857.143 0,5100	10.238.095 0,0720	6.904.761 0,0480
Monoraphidium tortile	57.142.857 0,3991	36.428.571 0,2550	14.323.809 0,1020	19.904.761 0,1180
Scenedesmus sp ₁	1.357.143 0,0814	523.809 0,0314	428.571 0,0260	1.000.000 0,0600
Scenedesmus spp	-	-	-	-
Tetraedron muticum	595.238 0,0179	309.524 0,0093	142.857 0,0040	119.048 0,0036
TOTAL Cellules c/l	388.189.840	465.357.090	100.777.770	121.666.640
TOTAL Biovolume mm ³ /l	13,8550	13,6636	4,0420	5,4006
Indice de diversité cellules	2.02	2.06	2.24	2.21
Indice de diversité biovolume	2.10	2.09	1.95	1.97

Tableau 3 - Numérations cellulaires et biovolumes algaux
en zone 6

ESPECES	ZONE 5		
	Saison sèche	Saison intermédiaire	Saison des pluies
<u>DIATOMÉES</u>			
Coscinodiscus oculus-iridis	-	-	-
Cyclotella spp	185.714 0,0024	35.714 0,0046	66.667 0,0037
Melosira juergensi	-	-	-
Nitzschia sp ₁	342.857 0,0410	1.190.500 0,1430	714.286 0,0860
Nitzschia sp ₂	-	-	12.698 0,0130
<u>CYANOPHYCEES</u>			
Anabaenopsis sp	42.857 0,0060	952.381 0,1330	25.397 0,0035
Lyngbia limnetica	14.214.285 0,2840	38.809.524 0,7760	1.714.286 0,0340
Merismopedia tenuissima	371.429 0,0030	59.534 0,0005	49.206 0,0004
Oscillatoria limnetica	10.928.571 0,4920	38.095.238 1,7140	4.976.190 0,2240
Pseudanabaena sp	1.785.714 0,1070	476.190 0,0290	252.381 0,0150
<u>CHLOROPHYCEES</u>			
Chodatella sp	242.857 0,0100	-	59.555 0,0020
Monoraphidium contortum	-	35.714 0,0009	119.048 0,0030
Monoraphidium irregulare	742.857 0,0050	2.381.600 0,0170	761.903 0,0050
Monoraphidium tortile	2.785.714 0,0190	1.905.000 0,0130	1.476.190 0,0100
Scenedesmus sp ₁	300.000 0,0180	23.809 0,0014	42.857 0,0030
Scenedesmus spp	-	-	39.682 0,0040
Tetraedron muticum	-	23.809 0,0007	6.349 0,0002
TOTAL Cellules c/l	31.942.855	83.988.413	10.312.691
TOTAL Biovolume mm ³ /l	1,0090	2,8330	0,4118
Indice de diversité cellules	2.03	1.53	2.32
Indice de diversité biovolume	2.06	1.55	2.18

Tableau 4 - Numérations cellulaires et biovolumes algaux
en zone 5

ESPECES	ZONE 4	
	Saison	sèche
<u>DIATOMÉES</u>		
Coscinodiscus oculus-iridis		220 0,0121
Cyclotella spp		190.476 0,0247
Melosira juergensi		90 0,0005
Nitzschia sp ₁		9.534 0,0011
Nitzschia sp ₂		2.381 0,0024
<u>CYANOPHYCEES</u>		
Anabaenopsis sp		4.762 0,0007
Lyngbia limnetica		395.238 0,0080
Merismopedia tenuissima		200.000 0,0018
Oscillatoria limnetica		776.190 0,0349
Pseudanabaena sp		214.286 0,0128
<u>CHLOROPHYCEES</u>		
Chodatella sp		4.762 0,0002
Monoraphidium contortum		-
Monoraphidium irregulare		7.143 0,00005
Monoraphidium tortile		2.381 0,0000
Scenedesmus sp ₁		- /
Scenedesmus spp		-
Tetradon muticum		-
TOTAL Cellules c/l		1.807.463
TOTAL Biovolume mm ³ /l		0,0994
Indice de diversité cellules		2.21
Indice de diversité biovolume		2.50

Tableau 5 - Numérations cellulaires et biovolumes algaux
en zone 4

ESPECES	ZONE 3			
	Saison sèche		Saison des pluies	
	Chenal Central	Baie de Bietri	Chenal Central	Baie de Bietri
<u>DIATOMÉES</u>				
Amphora sp				1.000 0,0011
Coscinodiscus oculus-iridis	180 0,0099	40 0,0022		
Coscinodiscus sp	600 0,0048		40 0,0003	
Cyclotella sp	11.500 0,0109	269.000 0,2556		
Leptocylindrus minimus				495.900 0,02976
Melosira juergensi	960 0,0058			
Pleurosigma sp	220 0,0008		1.900 0,0068	
Surirella sp	40		40	
<u>DINOFLLAGELLES</u>				
Ceratium furca	20 0,0011			
Gymnodinium spp		71.400 0,0232		
Peridinium spp	100 0,0001			
<u>CYANOPHYCEES</u>				
Oscillatoria thiebautii	400 0,0052			
<u>EUGLENOPHYCEES</u>				
Eutreptiella braarudii	740 0,0013	223.700 0,3803		1.320 0,0022
Eutreptiella sp		79.000 0,0316		
<u>CRYPTOPHYCEES</u>				
Cryptomonas sp			13.700 0,0055	168.000 0,0672
TOTAL Cellules c/l	14.760	643.140	15.680	666.280
TOTAL Biovolume mm ³ /l	0,0398	0,6928	0,0126	0,1003
Indice de diversité cellules	1.34	1.78	0,58	0,85
Indice de diversité biovolume	2.59	1.40	1.14	1.10

Tableau 6 - Numérations cellulaires et biovolumes algaux
en zone 3

ESPECES	ZONE 1		ESPECES	ZONE 1	
	Saison sèche			Saison sèche	
<u>DIATOMEES</u>			<u>CHLOROPHYCEES</u>		
Cyclotella menighiniana var ₁	89.286	0,0116	Chlorophycée indéterminée	39.682	0,0010
Cyclotella menighiniana var ₂	49.603	0,0546	Coelastrum cambricum	5.952	
Melosira granulata	29.571	0,3743	Crucigenia tetrapedia	13.095	0,0009
Synedra ulna	4.762	0,0152	Euastrum denticulatum	9.524	0,0039
<u>DINOFLAGELLES</u>			Monoraphidium contortum	8.333	0,0002
Peridinium sp	1.190		Monoraphidium irregulare	2.361.905	0,0166
<u>CYANOPHYCEES</u>			Nephrochlamys subsolitoria	29.762	0,0018
Oscillatoria limnetica	12.071.428	0,5432	Pediastrum duplex	4.762	0,0119
Oscillatoria mougeotii	15.000	0,1200	Scenedesmus acuminatus	3.571	0,0004
Pseudanabaena sp	1.409.524	0,0846	Scenedesmus oahuensis	23.809	0,0024
<u>EUGLENOPHYCEES</u>			Scenedesmus spp	27.778	0,0028
Euglena acus	2.976		Sphaerocystis Schroeteri	5.952	0,0179
Trachelomonas spp	57.540		Tetraedron muticum	27.778	0,0008
TOTAL Cellules c/l			Indice de diversité Cellules	1,28	
TOTAL Biovolume mm ³ /l			Indice de diversité biovolume	2,42	

Tableau 7 - Numérations cellulaires et biovolumes algaux
en zone 1

Signalons que la zone 5 est la plus riche en zooplancton (d'après les données non publiées de REPELIN).

3.2.2 Variations saisonnières en une même zone

Les prélèvements de saison sèche sont tous beaucoup plus riches que ceux effectués fin Juin, alors que la saison des pluies était déjà bien avancée (ces derniers sont en moyenne quatre fois moins riches en nombre de cellules et trois fois en biovolume). Cependant, l'appauvrissement n'est que très relatif pour la zone 6 où subsistent encore des effectifs élevés : 100 millions cell/l auxquels correspondent un biovolume de $5 \text{ mm}^3/\text{l}$ et un taux de chlorophylle a de $33 \mu\text{g/l}$. Pour la zone 3, l'appauvrissement de la saison des pluies ne se manifeste qu'au niveau des biovolumes et des concentrations en chlorophylle a, les effectifs cellulaires restant à peu près identiques.

Malgré la faiblesse du nombre de prélèvements effectués, il semble que les comparaisons entre les différentes zones et en une même zone se justifient du fait des contrastes très marqués du milieu lagunaire. Il est évident toutefois qu'il peut exister des phénomènes de microdistribution. A ce propos, deux prélèvements ont été effectués en zone 6 lors de la saison des pluies, à 24 heures d'intervalle. Les résultats obtenus (100 et 120 millions cell/l correspondant à 4 et $5 \text{ mm}^3/\text{l}$), bien que différents, restent très inférieurs à ceux de saison sèche pour la même zone et très supérieurs à ceux des autres zones pour la même saison.

Les zones 6 et 5 semblant particulièrement intéressantes en raison de leur extrême richesse algale, deux autres prélèvements y ont été effectués au cours du mois d'Avril. Les effectifs cellulaires sont à peu près identiques à ceux observés en saison sèche, sauf peut-être pour la zone 5 où ils sont supérieurs. La grande poussée végétale due aux apports massifs de sels nutritifs est plutôt centrée sur le mois de Mai. Cependant, les premiers orages qui surviennent en Avril peuvent expliquer le début d'augmentation de la biomasse végétale en zone 5.

Quantitativement, les comptages phytoplanctoniques apportent les mêmes renseignements que d'autres paramètres estimatifs de la biomasse algale.

En revanche, l'aspect qualitatif des dénombrements fournit d'intéressants compléments.

3.3 Aspects qualitatifs

Les zones 6, 5 et 4, en grande partie, et la zone 1, sont caractérisées par des populations phytoplanctoniques d'eau douce tandis que la zone 3, y compris la baie de Biétri, l'est par des populations marines ou saumâtres.

3.3.1 Les zones 6 et 5

Les populations phytoplanctoniques y présentent une extrême stabilité : les trois prélèvements effectués au cours de l'année 1976 dans chacune de ces deux zones, ont en effet montré la même composition spécifique. En outre, lors d'un stage effectué au Museum d'Histoire Naturelle de Paris sur des prélèvements faits par M. ILTIS en 1975, nous avons déjà rencontré les mêmes espèces.

- en saison sèche (fig. 9) :

Les Cyanophycées sont très nettement dominantes (près de 80 % en moyenne pour les deux zones), avec comme espèces principales :

- . Oscillatoria limnetica
- . Lyngbia limnetica

et secondairement,

- . Anabaenopsis sp
- . Pseudanabaena sp
- . Merismopedia tenuissima

Les autres groupes présents sont les Chlorophycées (20 % des effectifs, 6 % de la biomasse), avec :

- . Monoraphidium contortum
- . Monoraphidium irregulare
- . Monoraphidium tortile
- . Scenedesmus spp
- . Tetraedron muticum
- . Chodatella sp

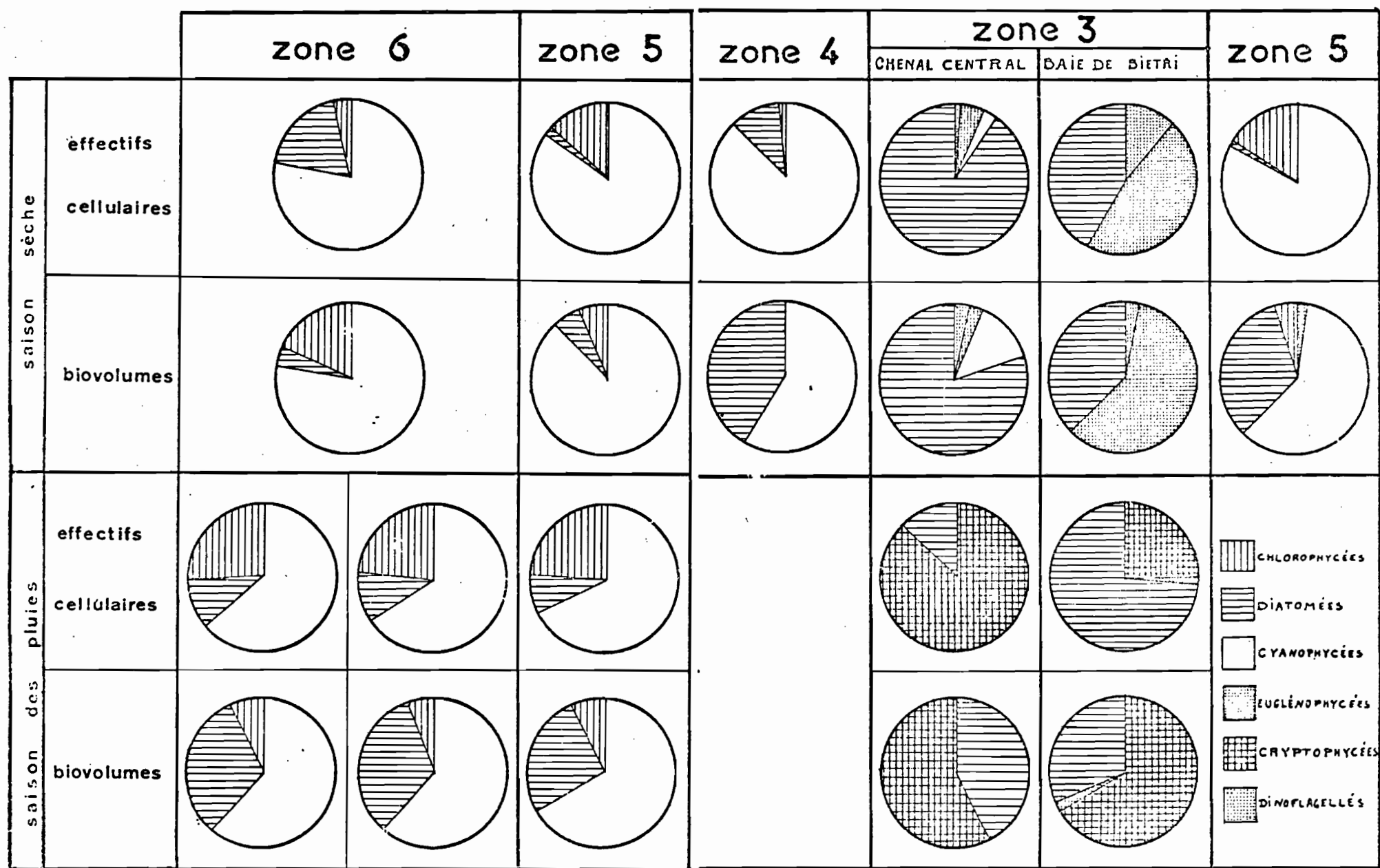


Fig. 9 - Pourcentages représentés par les différentes classes d'algues à deux saisons extrêmes

et les Diatomées représentées par le genre Nitzschia (proportionnellement plus importantes en volume qu'en effectif).

- en saison des pluies

Nous constatons de légères différences dans les pourcentages représentés par les diverses classes. Ainsi, pour les deux zones, les Diatomées augmentent leur participation à la population au détriment des Cyanophycées, les Chlorophycées, elles, restant stationnaires (fig. 9). Cependant, les espèces présentes restent rigoureusement les mêmes. Toutes les espèces citées sont de taille extrêmement petite, en général d'un diamètre inférieur à $3 \mu\text{m}$. Les biovolumes moyens par taxon varient entre $7 \mu\text{m}^3$ et $140 \mu\text{m}^3$, exception faite de Nitzschia sp_2 qui atteint $1.000 \mu\text{m}^3$. Cette faible variabilité des biovolumes explique le peu de différence entre les deux indices de diversité spécifique : 2,02 et 2,1 (tableau 3).

Les populations phytoplanctoniques lagunaires sont en général caractérisées par une faible diversité spécifique (MARGALEF, 1969). Les indices de diversité spécifique de ces deux zones, voisins de 2, apparaissent donc assez élevés pour une lagune bien qu'ils soient considérés comme moyens par rapport au milieu marin (où l'indice peut atteindre couramment 3 et même plus). En outre, la description de la succession des populations en milieu lagunaire faite par MARGALEF (1969) : "elle commence par de petits flagellés et Diatomées, se poursuit par des Dinoflagellés de plus en plus gros, et se termine (contrairement en mer), par des Cyanophycées", indiquerait que la population de ces zones, très fortement dominée par les Cyanophycées, serait à son stade le plus structuré.

La dominance de Cyanophycées pourrait être mise en rapport avec la faiblesse des concentrations en sels nutritifs, particulièrement en nitrates, de ces zones. Cependant, d'après MARGALEF (1974), seules les espèces des genres présentant des hétérocystes (Anabaena, Nostoc, Cylindropsesum, Tolypothrix et Colothrix), ont la propriété de fixer l'azote "atmosphérique" dissous dans l'eau. Le peuplement que nous avons observé, dominé par les genres Oscillatoria et Lyngbia, n'aurait donc pas cette capacité. Dans ce cas, il serait plus logique de supposer que la faiblesse de ces teneurs en sels azotés est due à un recyclage très rapide des sels nutritifs, aidé par une forte minéralisation bactérienne, favorisé par une température élevée toute l'année (environ 29°C). Toutefois, d'après SOURNIA (1970), en mer, les eaux décolorées à Oscillatoria assimileraient

l'azote moléculaire ; ceci serait dû, soit aux bactéries, levures et/ou Cyanophycées nanoplanctoniques accompagnant ces eaux décolorées, soit aux Oscillatoria mêmes qui constitueraient une exception à la règle selon laquelle seuls les genres avec hétérocystes seraient capables d'utiliser l'azote libre.

Bien que les conditions en lagune ne soient pas identiques à celles décrites par SOURNIA (1970), il est possible d'envisager que le même phénomène se produise. Il ne nous est cependant pas permis de trancher entre les deux hypothèses que nous avons présentées.

3.3.2 La zone 4

Cette zone présente une population qui, bien que moins riche que celle des zones 5 et 6, est principalement constituée des mêmes espèces. On constate toutefois une diversification des Diatomées, avec l'apparition de :

- . Coscinodiscus oculus-iridis (espèce marine)
- . Melosira juergensi (d'après PERAGALLO (1965) serait une forme de Melosira varians adaptée aux eaux submarines)

(Notons également que des prélèvements au filet ont montré la présence de Surirella robusta).

Ces espèces de taille plus importante, sont plutôt caractéristiques d'eaux marines ou saumâtres que d'eaux douces. Ainsi, on peut penser que l'incursion saline a des répercussions sur les populations phytoplanctoniques jusqu'à cette zone. Les indices de diversité spécifiques sont assez élevés (2,21 et 2,50).

3.3.3 La zone 3

Les populations rencontrées sont complètement différentes de celles des zones 6, 5 et 4, car elles sont essentiellement marines ou saumâtres. La composition varie selon les saisons : en saison sèche, les Diatomées dominent (80 %), le reste étant constitué de Dinoflagellés et de Cyanophycées marines (fig. 9). En saison des pluies, la zone étant balayée par l'écoulement des eaux

douces, la densité de population et les indices de diversité spécifiques sont très faibles ; ne peuvent être observées que quelques Diatomées et Cryptophycées.

La baie de Biétri présente des caractères originaux par rapport au chenal central : on y constate un développement important d'Euglénophycées et de petits Dinoflagellés en saison sèche. Le prélèvement de saison des pluies montre la présence de Cryptophycées (comme dans le chenal central, mais en quantité plus importante) et de Diatomées (différentes de celles du chenal central).

3.3.4 La zone 1

On y rencontre une population caractéristique des eaux douces que l'on peut rapprocher de celle trouvée à l'extrémité Ouest de la lagune. Cependant, des différences notables apparaissent : si les Cyanophycées restent dominantes avec Oscillatoria limnetica et Pseudanabaena sp., les autres espèces de ce groupe ne sont pas représentées. En revanche, on assiste à une grande diversification des Chlorophycées, avec Crucigenia tetrapedia, Coelastrum cambrium, Nephrochlamys subsolitoria, Pediastrum duplex, Scenedesmus acuminatus, Scenedesmus oahuensis, Sphaerocystis schroeteri, Euastrum denticulatum, et des Diatomées, avec Cyclotella meneghiniana (deux variétés), Melosira granulata (trois variétés), Synedra ulna.

De plus, d'autres groupes apparaissent : Euglénophycées et Dinoflagellés d'eau douce.

Une grande partie des espèces citées sont de taille relativement grande, aussi la participation des Chlorophycées et Diatomées à la population est elle beaucoup plus importante en biovolumes qu'en effectifs (fig. 9).

La diversification peut être mise en rapport avec l'arrivée des fleuves en lagune Adjien (la Mée y débouche, le Comoé y remonte) ; des prélèvements réalisés au filet dans l'embouchure du Comoé ont révélé, en particulier, la présence de Melosira granulata, Synedra ulna et Pediastrum duplex. L'indice de diversité spécifique (relatif au biovolume) plus élevé que ceux de l'extrémité Ouest de la lagune, serait dû au mélange d'une population plutôt lagunaire

(individus de petite taille) et d'une population plutôt fluviatile (individus de taille moyenne).

4. CONCLUSION

Il est possible de dégager, à la suite de MARGALEF (1969), un certain nombre de caractéristiques du phytoplancton lagunaire :

- les populations sont très importantes quantitativement ; elles sont en général constituées d'espèces de petite et parfois même de très petite taille (d'un diamètre inférieur à 3 μ m).
- les indices de diversité spécifique sont bas ; nous n'avons jamais rencontré de population dont l'indice de diversité spécifique soit supérieur à 2,5, même avec un degré de structuration élevé de l'écosystème.
- les classes Cyanophycées, Euglénophycées et Cryptophycées se caractérisent par une participation très notable au plancton lagunaire.
- nous avons remarqué de plus, comme MARGALEF (1969), l'absence de certains genres de Diatomées :
 - . Chaetoceros (très peu représenté)
 - . Hemiaulus
 - . Rhizosolenia (excepté l'espèce fragilissima de petite taille et très tolérante).

. de gros Dinoflagellés de haute mer :

- . Ceratium
- . Ornithocercus
- . Oxytoxum

qui se rencontrent habituellement dans les eaux très pauvres en éléments nutritifs.

. des Desmidiés d'eau douce (à l'extrémité Ouest de la lagune) qui sont aussi caractéristiques d'eaux douces pauvres en éléments nutritifs. (Ceux cités

dans la liste des espèces rencontrées en lagune Ebrié, ont été trouvés à l'embouchure du fleuve Comoé).

Cependant, l'étude du phytoplancton, comme celle des autres paramètres hydrobiologiques, fait apparaître la lagune Ebrié comme un milieu très contrasté :

- l'extrémité Ouest est une région riche, caractérisée par des populations phytoplanctoniques d'eau douce ayant montré au cours de l'année une grande stabilité de composition spécifique qu'il convient de rapprocher de la stabilité des paramètres hydrologiques ; température et salinité.
- le secteur directement influencé par le régime estuarien est plus pauvre et caractérisé par des populations marines et saumâtres pouvant montrer, au cours de l'année, des variations spécifiques importantes à relier à celles des paramètres hydrologiques (rappelons que la salinité passe de 0 à 33‰).

SOLAZZI et al. (1972/1973) ont de même été amenés à diviser la lagune de Lesina en trois régions suivant les variations des facteurs hydrologiques.

L'ouverture du canal de Vridi, par lequel pénètrent les eaux marines, a entraîné, nous l'avons vu, une diminution de la richesse algale dans la zone intéressée par le régime estuarien. Si cet effet peut apparaître néfaste en ce qui concerne 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 des pollutions de la ville d'Abidjan. Cependant, du fait de leur morphologie, certaines baies échappent en partie à ce balayage et présentent des symptômes de pollution très importants. C'est le cas de la baie de Biétri à laquelle nous avons consacré la seconde partie de cette étude.

CHAPITRE III

ETUDE D'UNE BAIE EN ZONE URBAINE : LA BAIE DE BIETRI

1. GENERALITES

La baie de Biétri est l'une des nombreuses baies sur les rives desquelles est établie la capitale de la Côte d'Ivoire, Abidjan. L'agglomération regroupe actuellement 800.000 habitants ; c'est aussi le principal centre industriel. La plupart des eaux usées, domestiques ou industrielles, sont rejetées dans la lagune sans traitement préalable. DUFOUR et SLEPOUKHA (1975) estiment le débit des effluents à $1,5 \text{ m}^3$ seconde par temps sec (en 1974). La figure 10 montre la multiplicité des points de rejet auxquels il faudrait ajouter de nombreux émissaires non recensés.

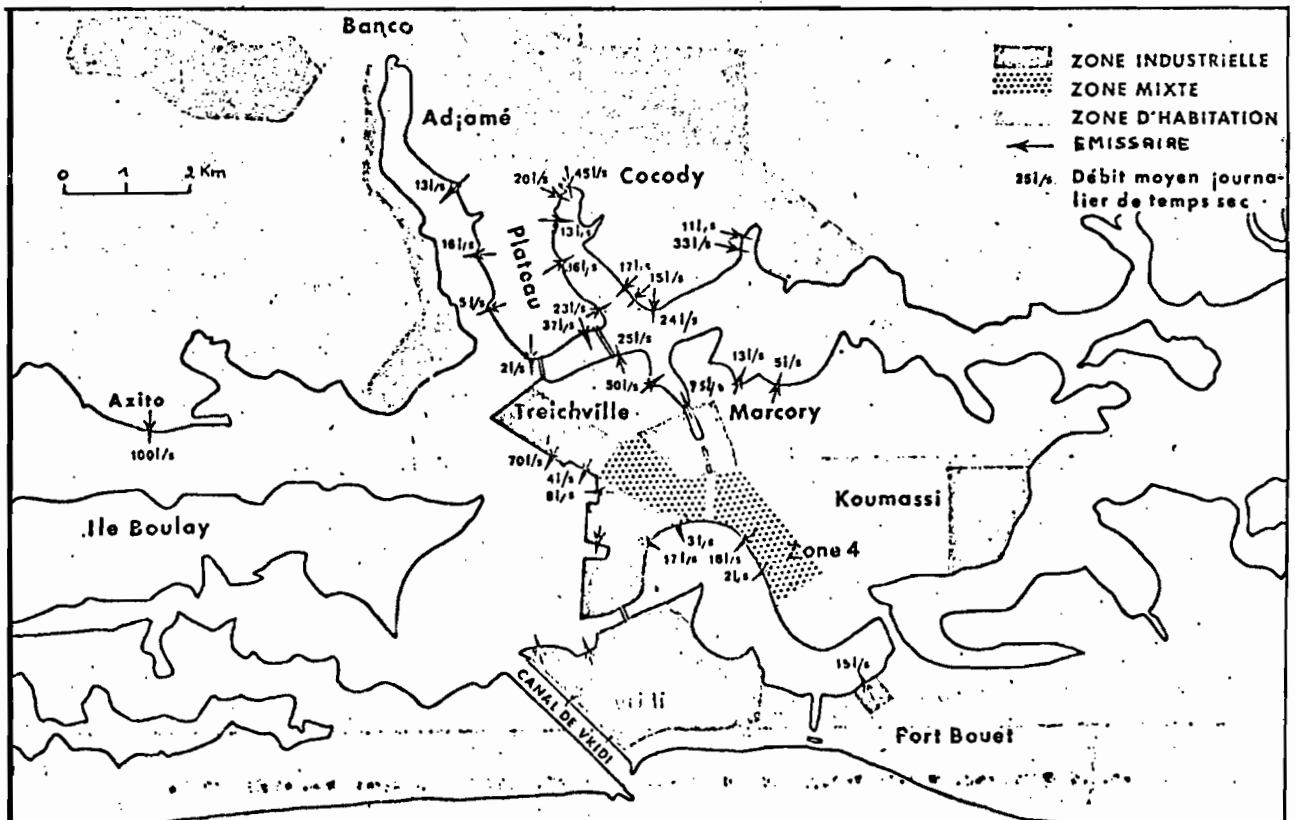


Fig. 10 - Points de rejets des eaux usées de la ville d'Abidjan
emprunté à DUFOUR (1975)

1.1 Présentation du site

La baie de Biétri dont la surface est d'environ 550 ha, est la plus isolée des baies de la région urbaine. La construction de la digue de Koumassi et du remblai de Vridi (fig. 11) ont réduit ses communications avec le chenal central à une simple passe d'environ 100 m de largeur et 3 m de profondeur. La baie est d'une profondeur peu importante (fig. 12), rarement supérieure à 4 m, généralement de l'ordre de 3 m. Le renouvellement des eaux y est limité : DUFOUR (communication personnelle) estime le temps de résidence des eaux de surface entre 4 et 5 jours pour la partie Est, et entre 1 et 2 jours pour la partie Ouest.

Afin d'approcher la courantologie de la baie, le déplacement de plusieurs flotteurs à drogue a été suivi au cours d'un cycle de marée de moyenne amplitude : il semble que la moitié occidentale de la baie soit directement influencée par les courants de marée, l'extrémité orientale ne montrant que des courants tourbillonnaires (fig. 13). Les retards enregistrés à la marée ont été de 25 et 55 minutes respectivement en milieu et fond de baie. Ces chiffres peuvent toutefois présenter des variations importantes au cours de l'année.

Les déversements en baie de Biétri sont nombreux et importants, estimés à 18.000 m^3 par jour (soit approximativement $1/1000^{\text{e}}$ du volume des eaux de la baie évalué à $16,5 \times 10^6 \text{ m}^3$), dont 3.607 kg de matière oxydable (NOVO, 1974). Citons, par ordre d'importance : une industrie d'huilerie savonnerie, Blohorn, qui rejette à elle seule $16.180 \text{ m}^3/\text{jour}$, une teinturerie industrielle, Icodi et les abattoirs de Port-Bouet (fig. 11). Il faut ajouter en outre de petits égouts sur la rive Nord.

Le caractère excessivement eutrophe de la baie a été mis en évidence par DUFOUR et SLEPOUKHA (1975) qui proposent une classification des eaux de la région abidjanaise basée sur les profils verticaux de teneurs en oxygène dissous. La baie de Biétri apparaît comme l'une des plus polluée avec les baies de Marcory et Cocody (fig. 14). Ajoutons que leurs fonds sont recouverts en grande partie d'une épaisse couche de vases organiques réductrices.

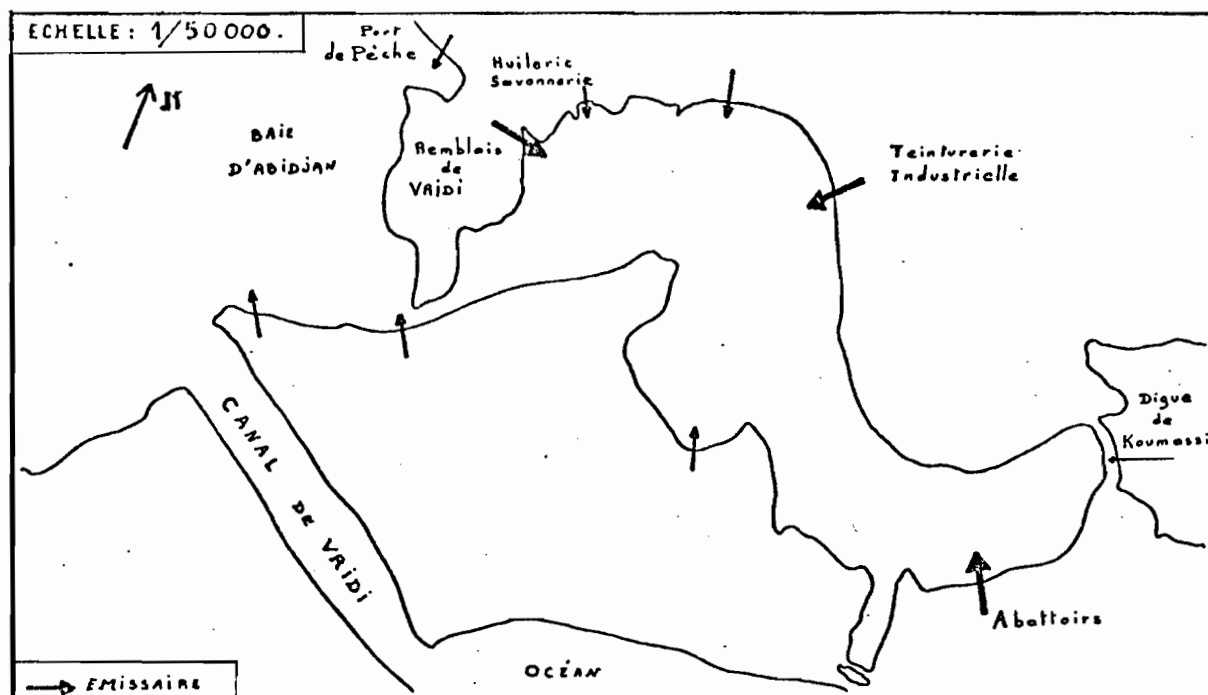


Fig. 11 - La baie de Biétri

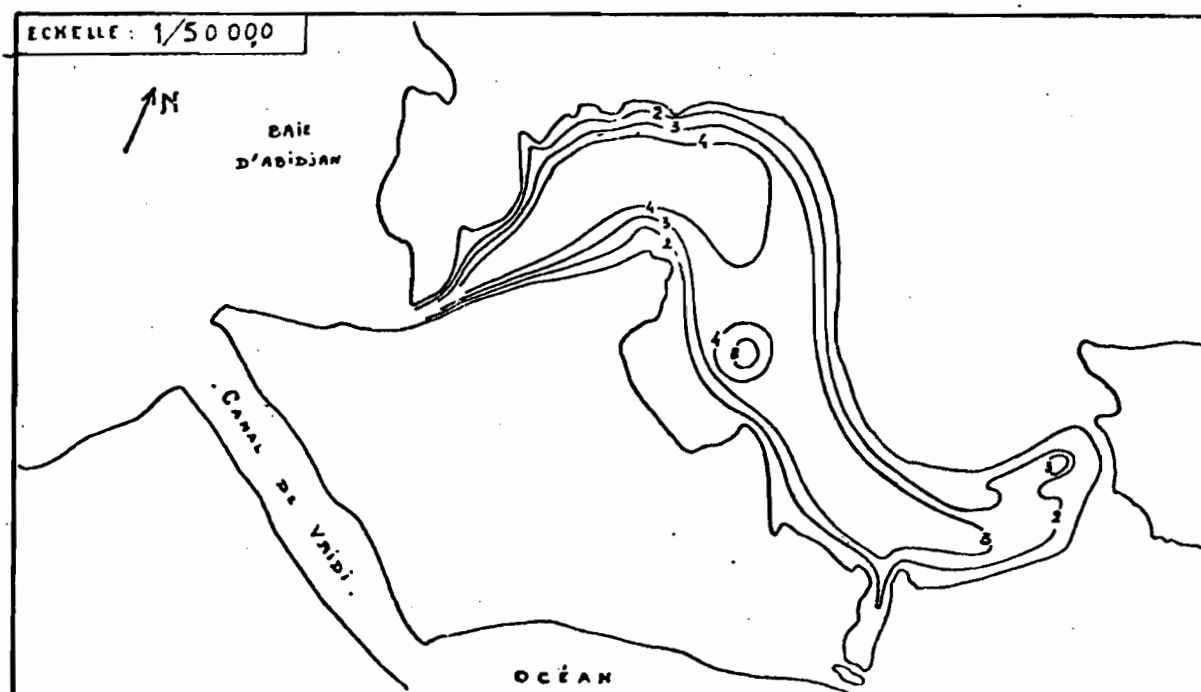


Fig. 12 - Bathymétrie approximative de la baie de Biétri

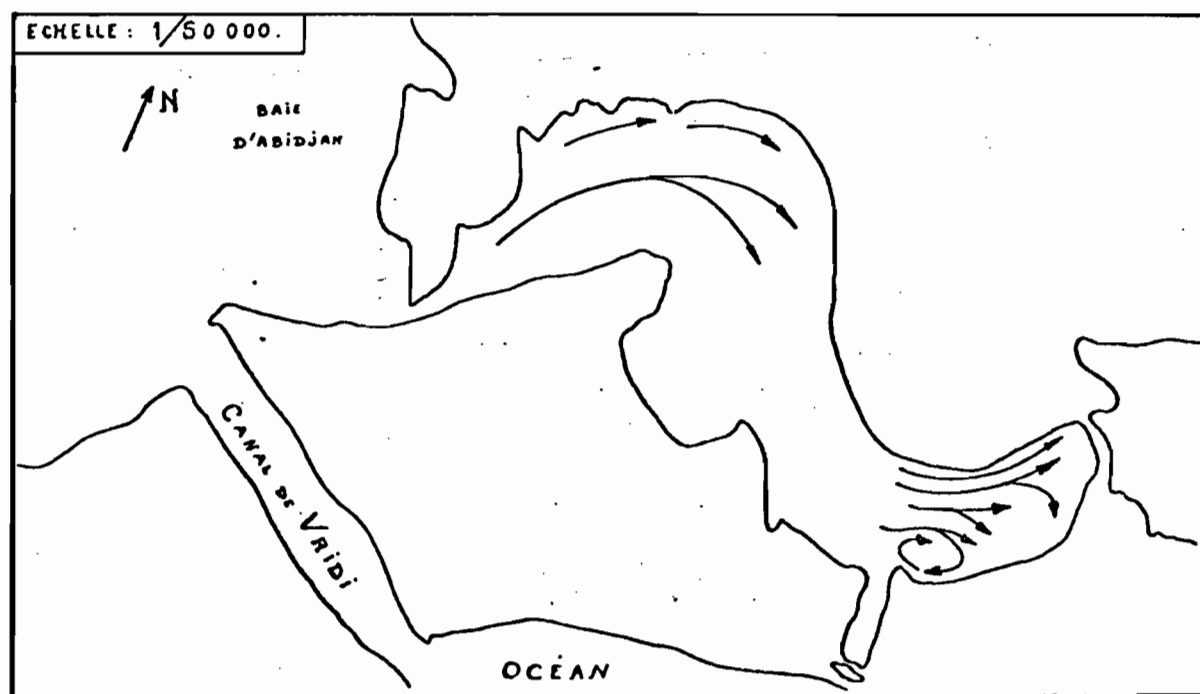
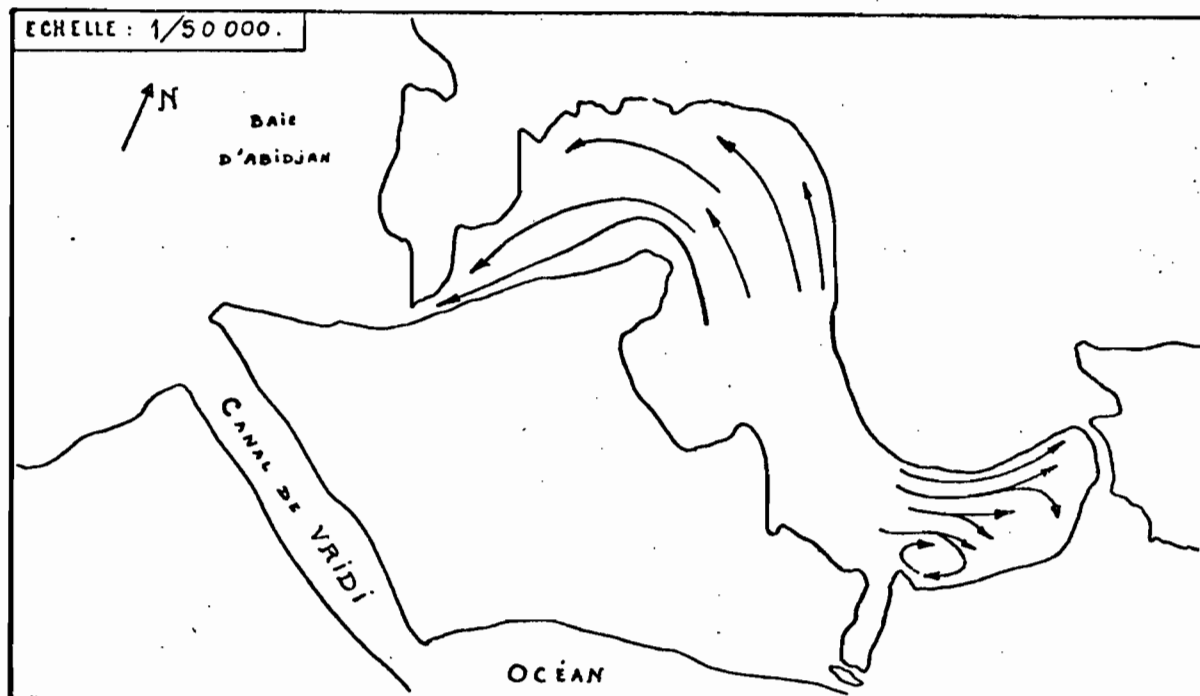


Fig. 13 - Veines de courant déduites du déplacement de plusieurs flotteurs à drogue au cours d'un cycle de marée

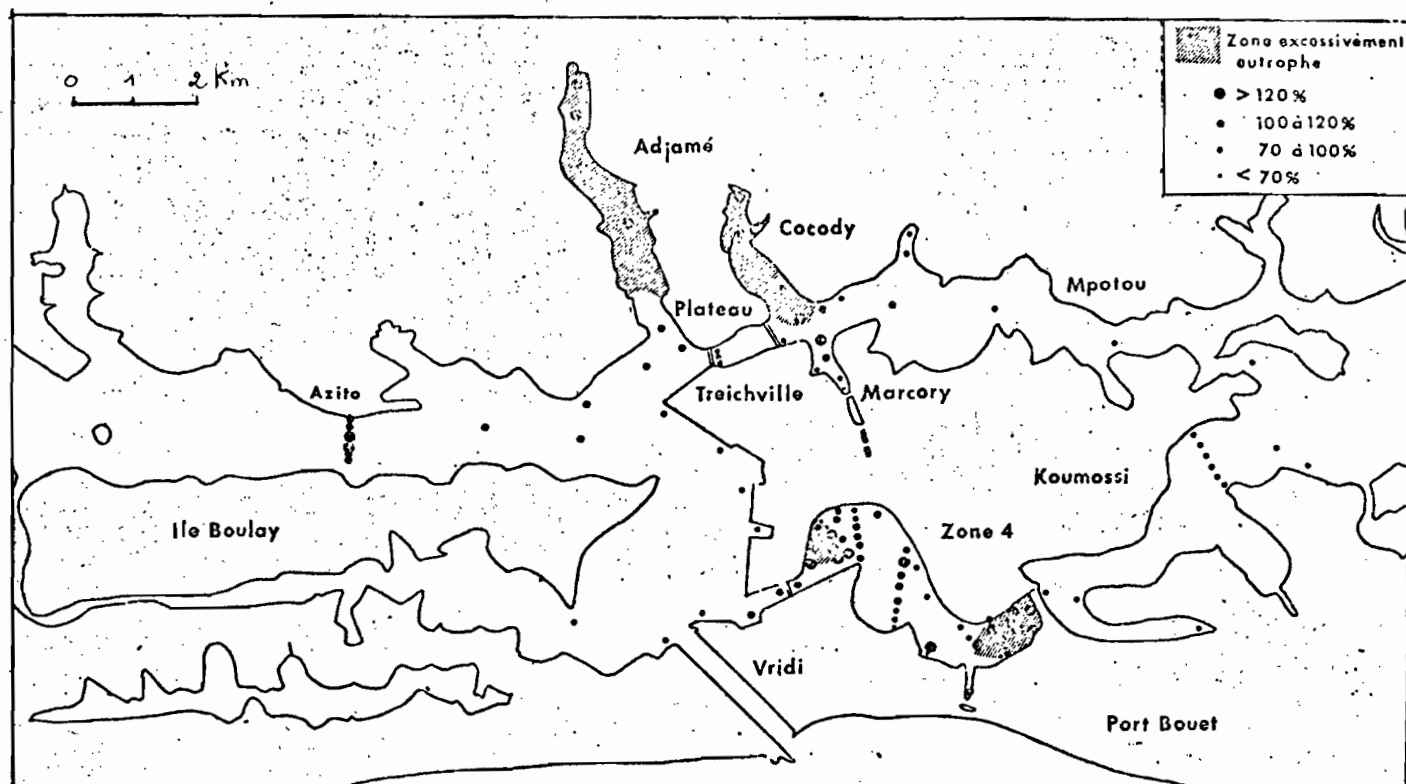


Fig. 14 - Pourcentages de saturation en oxygène des eaux de surface le soir en saison d'été (Mars 1974) emprunté à DUFOUR (1975)

1.2 Calendrier des prélèvements

Afin d'essayer d'évaluer l'impact de ces pollutions sur les populations phytoplanctoniques, une série d'observations ont été effectuées de Mai à Octobre 1976 :

- Les séries quotidiennes : "suivi de trois stations du 12 Mai au 4 Juin au moment de la dessalure des eaux (début de la saison des pluies) - 60 prélèvements.
- Etude de l'influence des rejets d'une huilerie-savonnerie : sur 20 prélèvements effectués à proximité de l'émissaire le 12 Août, 5 seulement ont pu être étudiés en raison d'une mauvaise conservation des autres échantillons.
- Quadrillage de la baie le 3 Septembre : 14 prélèvements.
- Etude de l'influence des rejets d'une teinturerie industrielle le 17 Septembre : 20 prélèvements.
- Etude de l'influence des rejets des abattoirs de Port-Bouet le 6 Octobre 15 prélèvements.
- Afin de compléter l'étude in situ, nous avons procédé à des bioessais sur les trois principaux effluents : 28 comptages.

1.3 Variations de la salinité au cours de la période de prélèvements

La salinité a diminué de 20 ‰ à 0 ‰ durant les mois de Mai et de Juin, puis est remontée progressivement jusqu'à 23 ‰ fin Octobre (fig. 15). La saison des pluies du Sud de la Côte d'Ivoire a été particulièrement marquée au cours de cette année 1976, tandis que la sécheresse sévissant dans le Nord du pays a empêché la crue du Comoé. Nous n'avons donc pas constaté la dessalure habituelle de toute la zone au cours du mois de Septembre.

2. LES SERIES QUOTIDIENNES

Un suivi de trois stations a été réalisé au moment de la dessalure des eaux en Juin : la première station, dans le chenal central, est directement influencée par le canal de Vridi, la seconde station est située au milieu de la baie de Biétri, et la troisième au fond (fig. 16). Les paramètres, salinité, sels nutritifs, production primaire et phytoplancton ont été étudiés.

2.1 La salinité

Elle passe de 20 ‰ à 0 ‰ en moins d'un mois. On constate un retard à la dessalure en baie de Biétri, retard encore plus marqué en fond de baie par rapport à la station référence du chenal central (fig. 17). Ce n'est guère étonnant la station 1 est située sur le passage des eaux douces s'écoulant vers Vridi, alors que la baie de Biétri dont les eaux se renouvellent lentement, est moins directement influencée par les apports d'eau douce. De plus, le réchauffement diurne y favorise l'évaporation et l'élévation de la salinité.

2.2 Les sels nutritifs

Dans l'ensemble, les taux de sels nutritifs sont élevés (fig. 18, 19, 20), supérieurs à plusieurs $\mu\text{atg/l}$. Pour les trois stations on constate une tendance nette à l'augmentation des teneurs avec l'avancement de la saison des pluies. Les coefficients de corrélation de BRAVAIS-PEARSON (Tableaux 9, 10, 11), calculés entre les valeurs des pluies cumulées (fig. 21) et les taux

- de nitrates, sont très hautement significatifs pour les stations 1 et 2, hautement significatifs pour la station 3,

- de nitrites, sont très hautement significatifs pour les stations 2 et 3, il n'y a pas de corrélation linéaire pour la station 1.

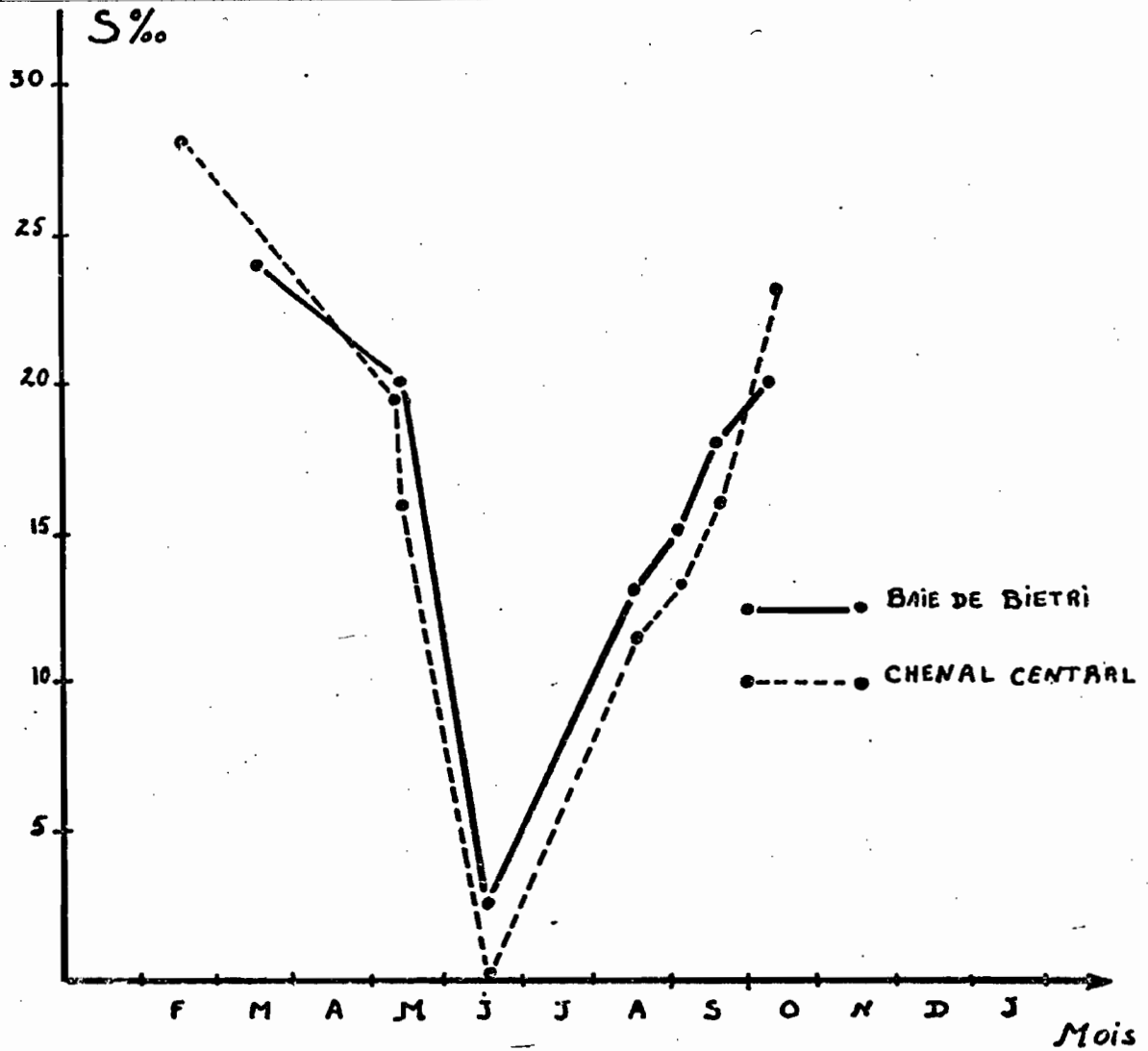


Fig. 15 - Variations de la salinité de Mai à Octobre 1976

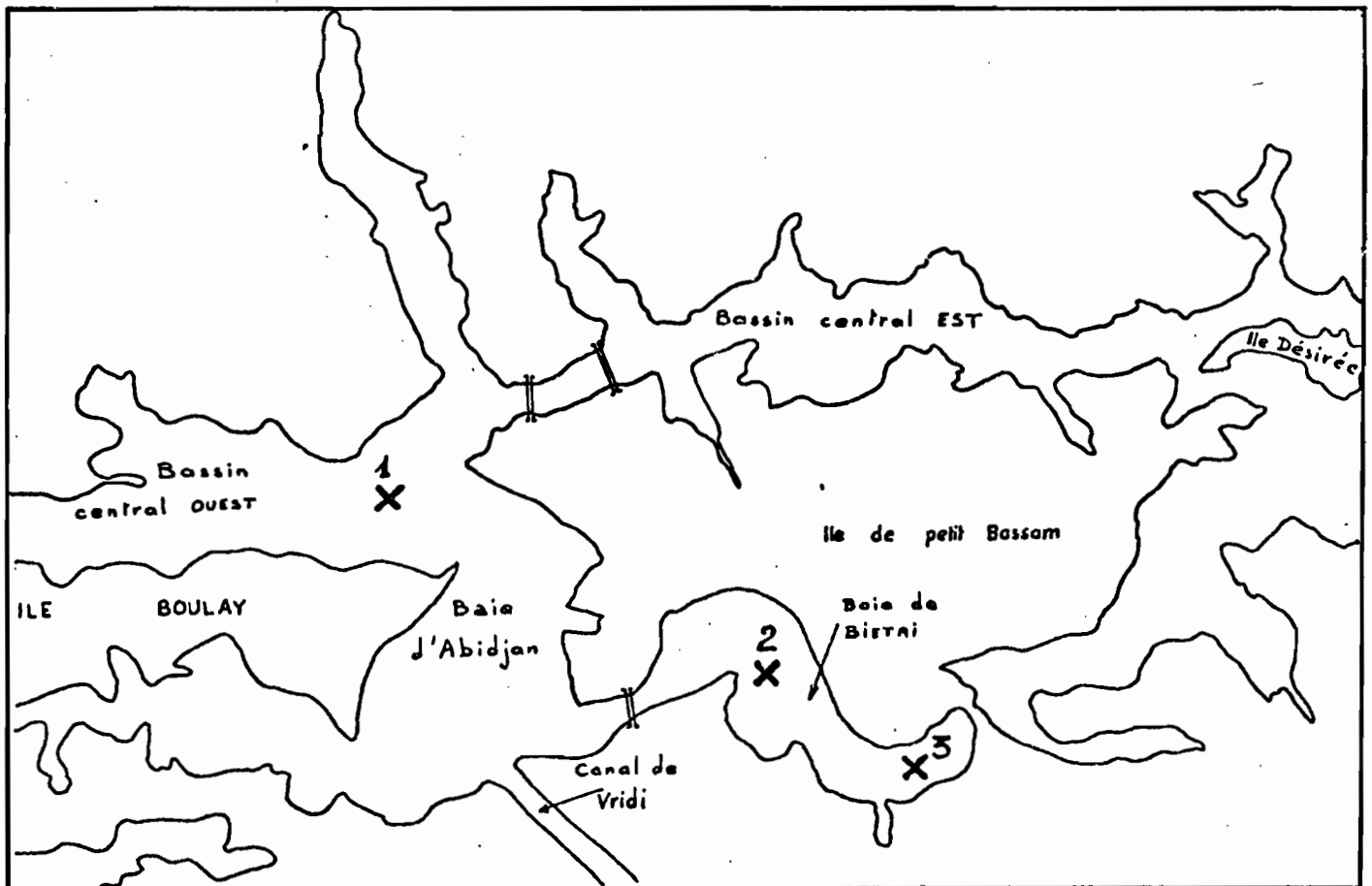


Fig. 16 - Positions des stations des séries quotidiennes

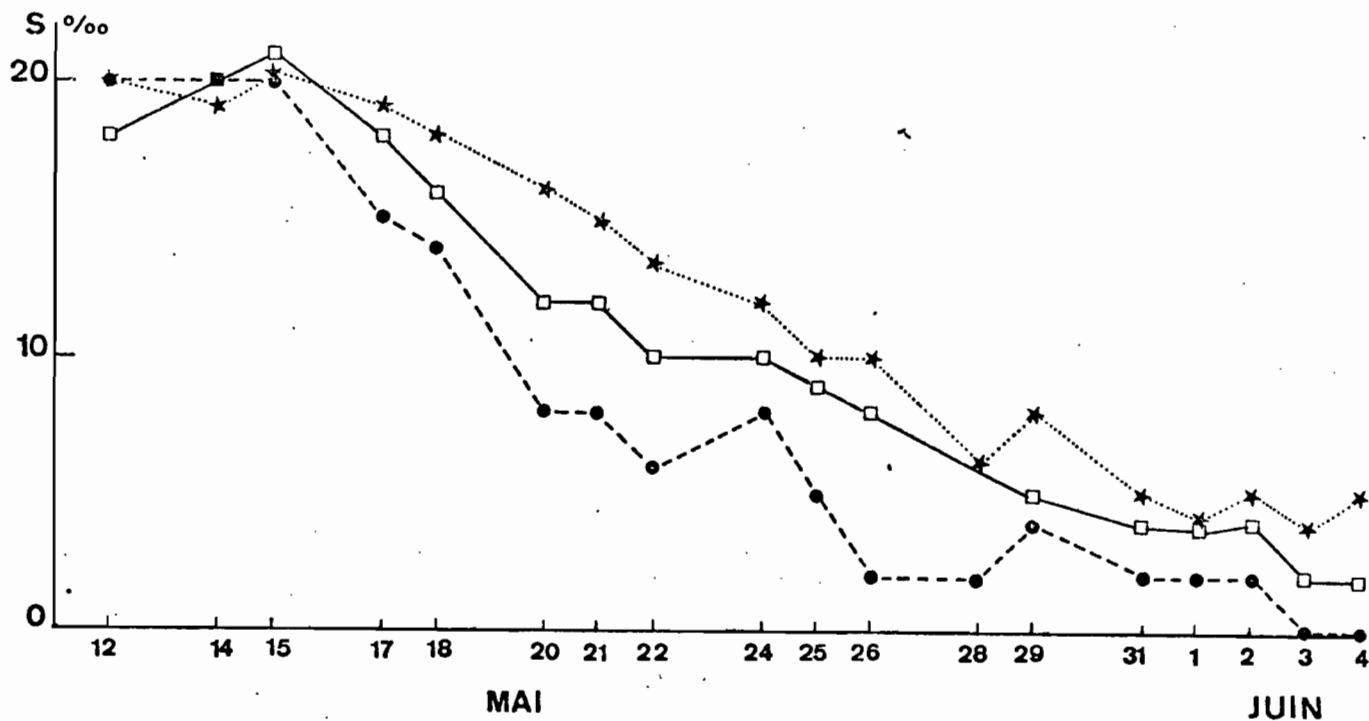


Fig. 17 - Evolution de la salinité (séries quotidiennes)

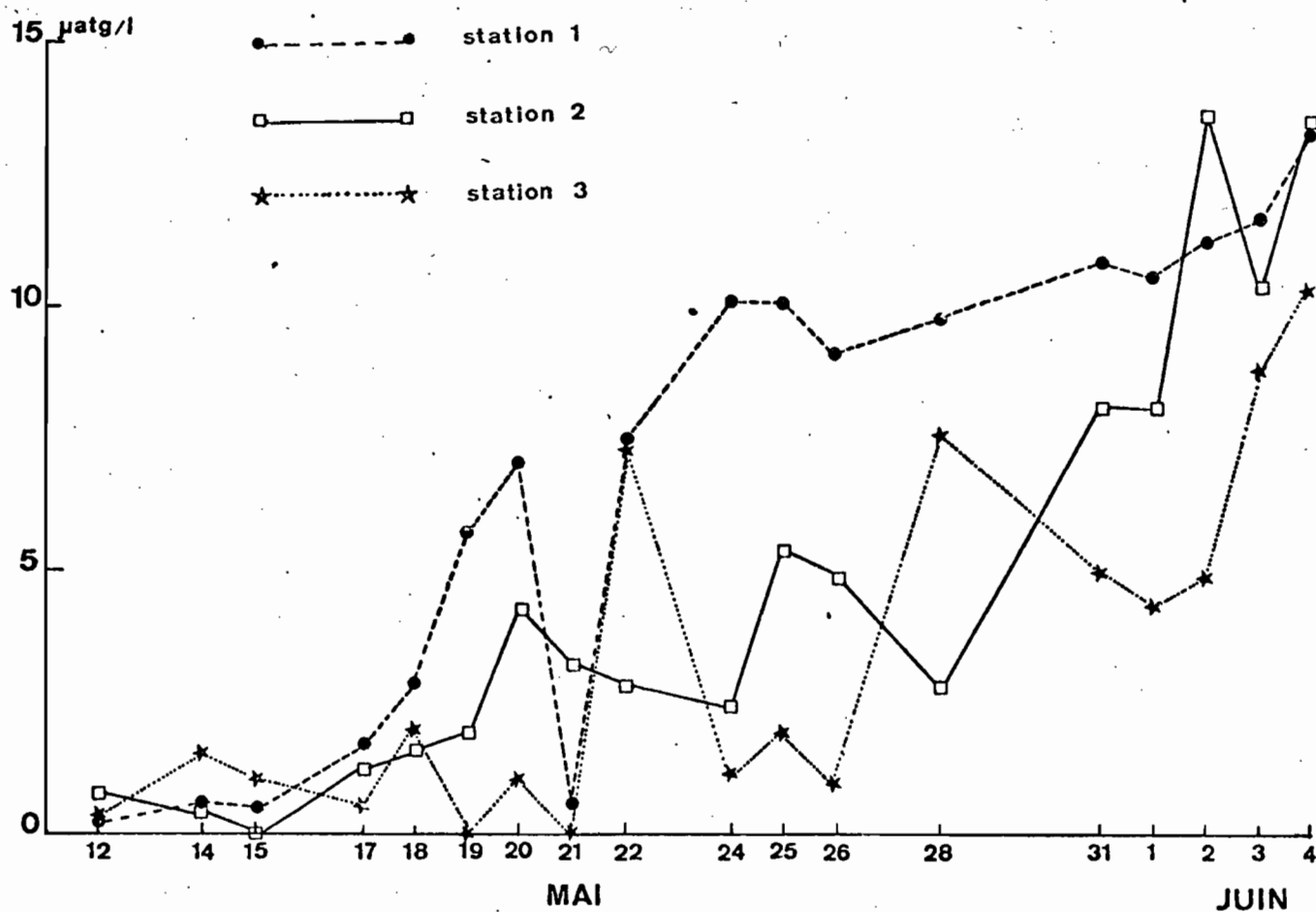


Fig. 18 - Evolution des teneurs en nitrates (séries quotidiennes)

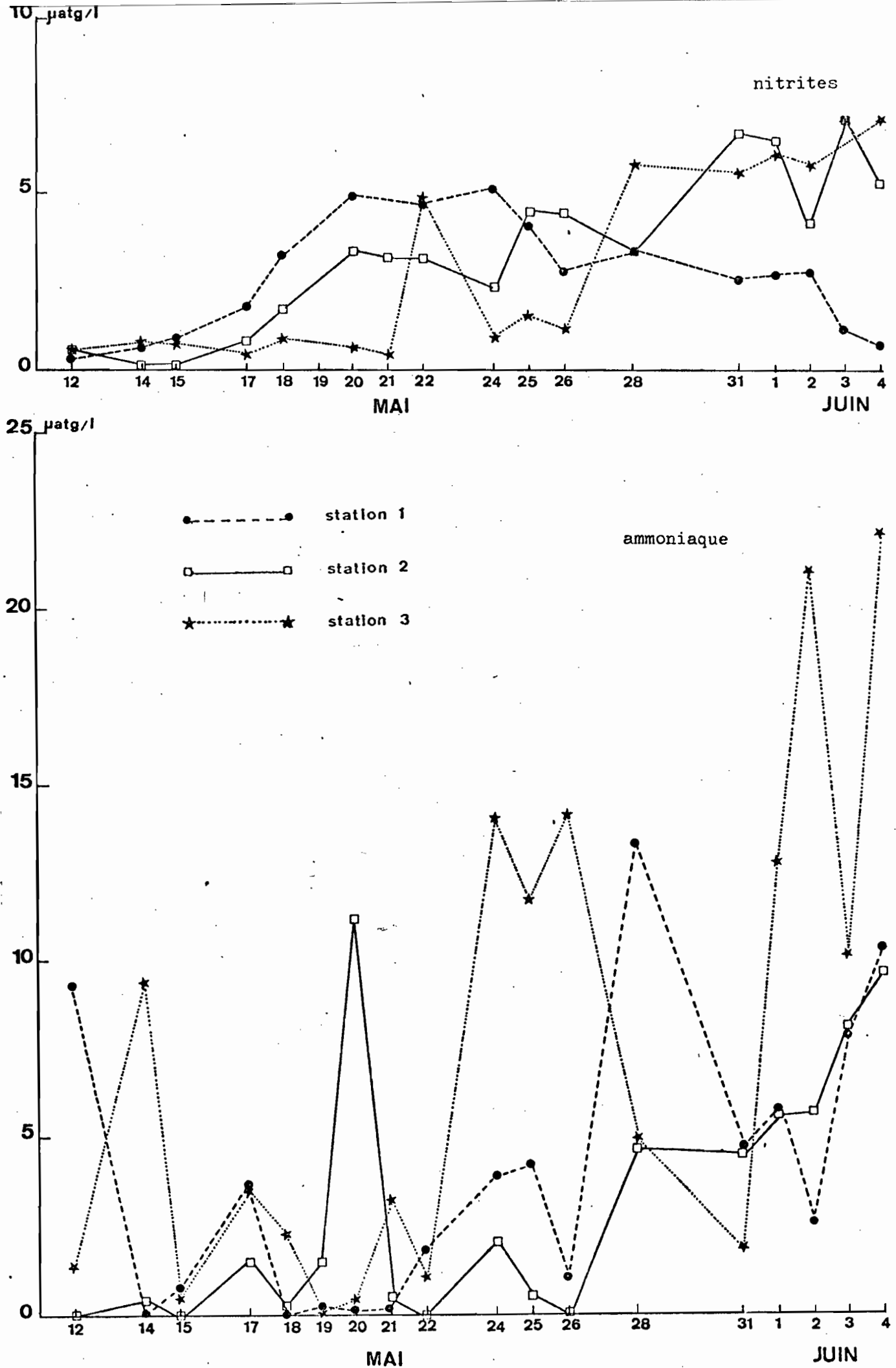


Fig. 19 - Evolution des teneurs en nitrites et en ammoniaque
(séries quotidiennes)

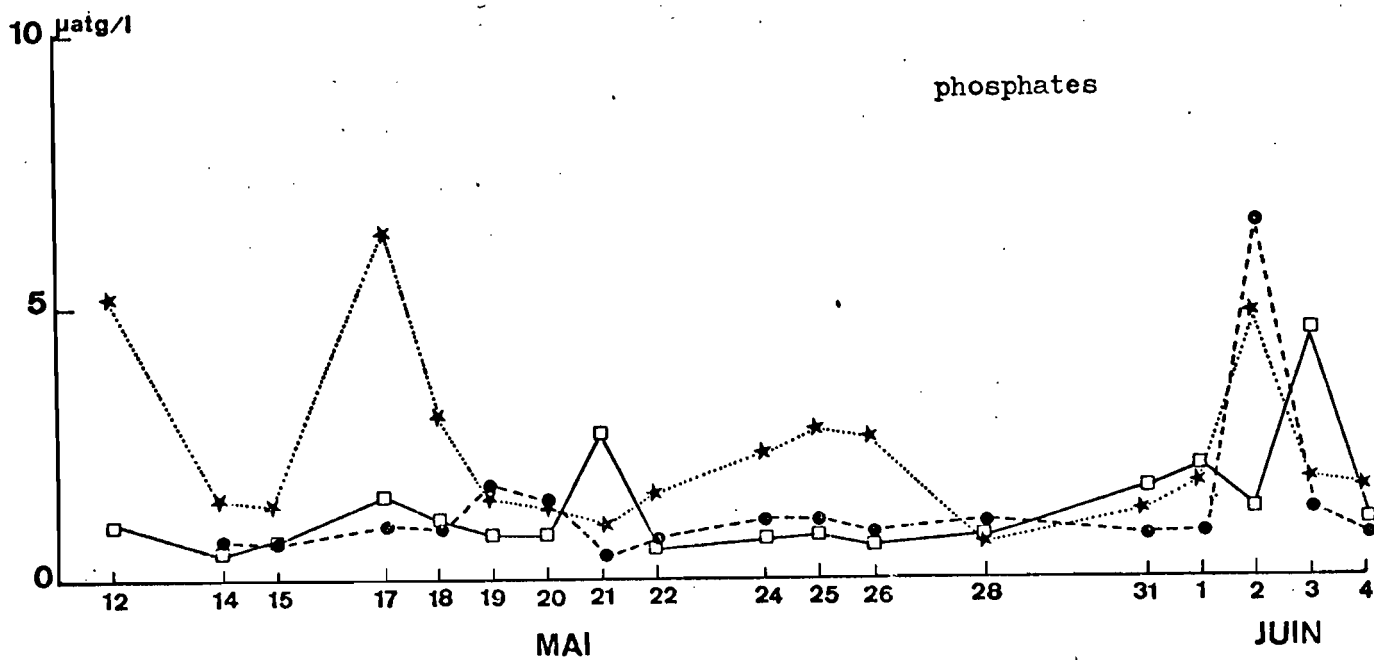
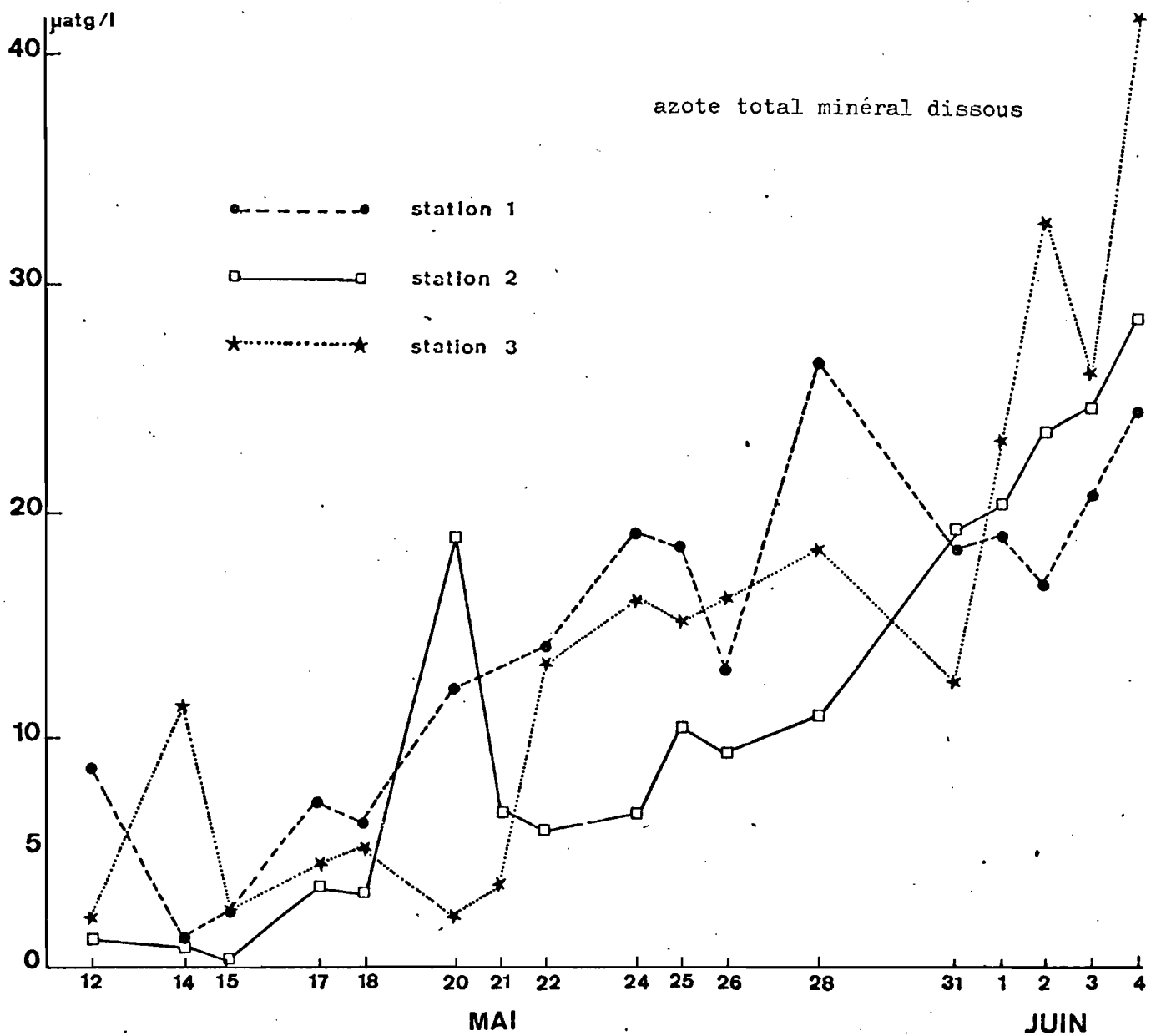


Fig. 20 - Evolution des teneurs en azote total minéral dissous et en phosphates (séries quotidiennes)

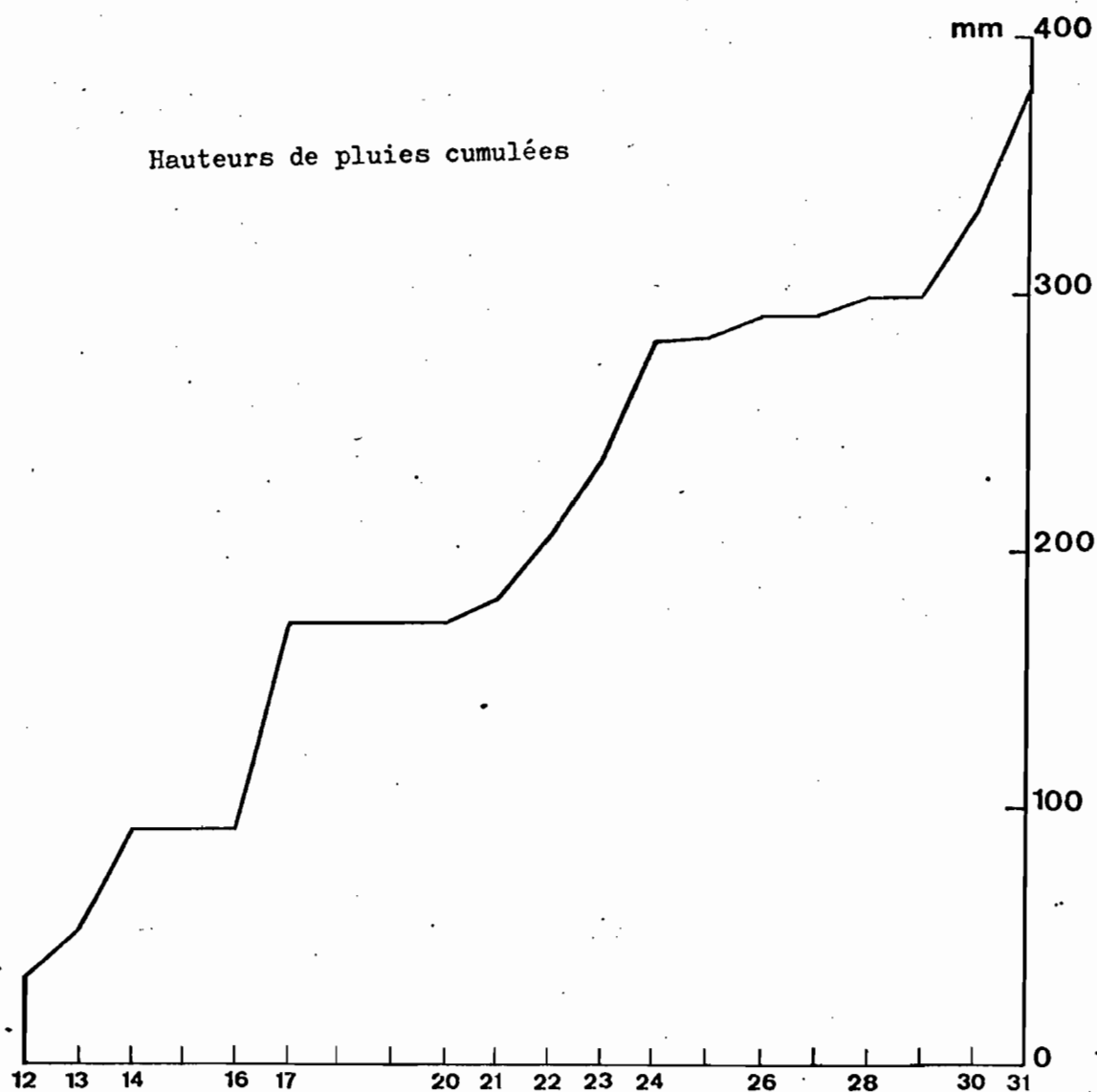
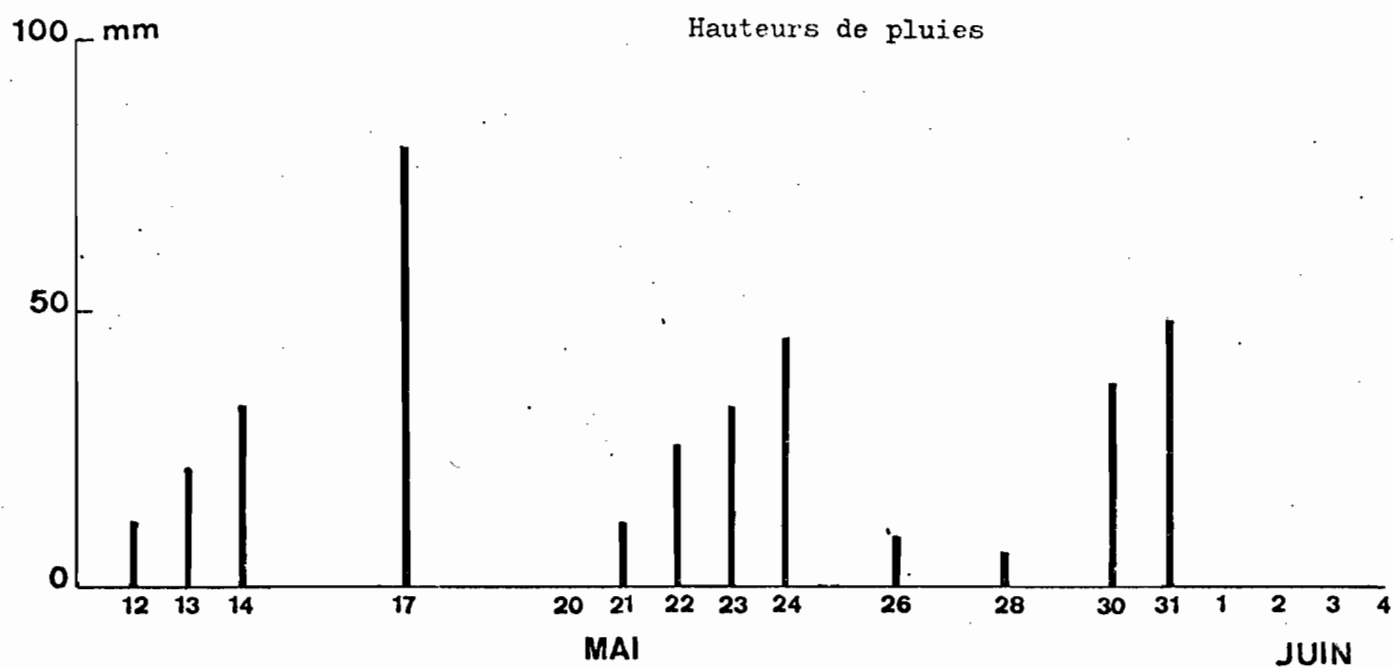


Fig. 21 - Hauteurs de pluies tombées à Abidjan durant les séries quotidiennes. Hauteurs de pluies cumulées

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Pluies cumulées	1	0,926 ⁺⁺⁺	0,260	0,403	0,253	-0,790 ⁺⁺⁺	-0,583 ⁺	-0,614 ⁺⁺	-0,734 ⁺⁺⁺	-0,923 ⁺⁺⁺
2	N-NO ₃		1	0,431	0,459	0,407	-0,906 ⁺⁺⁺	-0,737 ⁺⁺⁺	-0,624 ⁺⁺	-0,697 ⁺⁺	-0,913 ⁺⁺⁺
3	N-NO ₂			1	-0,142	0,652 ⁺⁺	-0,347	-0,226	0,018	-0,006	-0,342
4	N-NH ₄				1	0,073	-0,448	-0,473	-0,505 ⁺	-0,577 ⁺	-0,413
5	P-PO ₄					1	0,073	-0,341	-0,224	-0,228	-0,141
6	Production primaire						1	0,889 ⁺⁺⁺	0,776 ⁺⁺⁺	0,818 ⁺⁺⁺	0,799 ⁺⁺⁺
7	Respiration							1	0,666 ⁺⁺	0,719 ⁺⁺⁺	0,546 ⁺
8	Effectifs cellulaires								1	0,921 ⁺⁺⁺	0,536 ⁺
9	Biovolumes									1	0,638 ⁺⁺
10	Salinité										1

Tableau 9 - Coefficients de corrélation pour la station 1

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	-10
1	Pluies cumulées	1	0,843 ⁺⁺⁺	0,901 ⁺⁺⁺	0,562 ⁺	0,495 ⁺	-0,432	-0,142	-0,631 ⁺⁺	-0,599 ⁺⁺	0,962 ⁺⁺⁺
2	N-NO ₃		1	0,797 ⁺⁺⁺	0,688 ⁺⁺	0,503 ⁺	0,729 ⁺⁺⁺	0,246	-0,678 ⁺⁺	-0,617 ⁺⁺	-0,850 ⁺⁺⁺
3	N-NO ₂			1	0,581 ⁺	0,525 ⁺	0,460	-0,193	-0,697 ⁺⁺	-0,681 ⁺⁺	-0,935 ⁺⁺⁺
4	N-NH ₄				1	0,493 ⁺	-0,550 ⁺	-0,085	-0,461	-0,433	-0,623 ⁺⁺
5	P-PO ₄					1	-0,615 ⁺⁺	-0,353	-0,330	-0,230	-0,475 ⁺
6	Production primaire						1	0,619 ⁺⁺	0,498 ⁺	0,425	0,438
7	Respiration							1	0,243	0,184	0,116
8	Effectifs cellulaires								1	0,959 ⁺⁺⁺	0,745 ⁺⁺⁺
9	Biovolumes									1	0,735 ⁺⁺⁺
10	Salinité										1

Tableau 10 - Coefficients de corrélation pour la station 2

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Pluies cumulées	1	0,678 ⁺⁺	0,808 ⁺⁺⁺	0,599 ⁺⁺	-0,221	0,048	-0,145	0,601 ⁺⁺	0,535 ⁺	-0,966 ⁺⁺⁺
2	N-NO ₃		1	0,935 ⁺⁺⁺	0,347	0,359	-0,143	-0,099	0,558 ⁺	0,503	-0,734 ⁺⁺⁺
3	N-NO ₂			1	0,404	-0,297	-0,006	-0,105	0,682 ⁺⁺	0,594	-0,869 ⁺⁺⁺
4	N-NH ₄				1	0,142	-0,328	0,012	0,284	0,149	-0,573 ⁺
5	P-PO ₄					1	0,125	-0,062	0,010	-0,146	0,292
6	Production primaire						1	0,219	0,208	0,257	0,041
7	Respiration							1	-0,262	-0,301	0,080
8	Effectifs cellulaires								1	0,906 ⁺⁺⁺	-0,638 ⁺⁺
9	Biovolumes									1	-0,565 ⁺
10	Salinité										1

Tableau 11 - Coefficients de corrélation pour la station 3

- d'ammoniaque, sont significatifs pour la station 2, hautement significatifs pour la station 3. Il n'y a pas de corrélation significative pour la station 1,

- de phosphates, sont significatifs pour la station 2. Il n'y a pas de corrélation significative pour les stations 1 et 3.

Des corrélations inverses, présentant à peu près les mêmes degrés de significativités, existent avec la salinité.

On peut donc penser que les pluies entraînent une chute de la salinité et un apport en sels nutritifs, particulièrement en nitrates. En revanche, il ne semble pas en être de même pour les phosphates, ce qui va dans le sens des remarques de DUFOUR (1978) (cf. Chap. I - 2.2.5).

2.3 La production primaire

Elle est exprimée en $\text{mg d'O}_2 \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ produit. Il s'agit de la production brute, c'est-à-dire de la somme de la production nette et de la respiration, mesurées respectivement par la différence d'oxygène dissous dans des flacons clairs et des flacons sombres en début et fin d'incubation. Rappelons que la respiration mesurée correspond à la consommation d'oxygène par le milieu, résultant de la respiration des organismes vivants (en particulier, bactéries, phytoplancton), et de l'oxydation de la matière organique. De même que pour les courbes de salinité, les courbes de production primaire sont échelonnées, la station 3 étant plus productive que la station 2, elle-même plus productive que la 1. La station 3 apparaît très productive, en moyenne $1,33 \text{ mg d'O}_2 \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. La station 2 (en moyenne $0,60 \text{ mg d'O}_2 \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) (fig.22) présente deux maxima : le premier en début de dessalure à 0,87, le second en fin de dessalure à 1,19, avant une chute importante de la production. La station 1, beaucoup moins productive, présente une période de production relativement élevée pendant tout le début des "séries quotidiennes" (jusqu'au 22 Mai : $m = 0,48$), puis une période de production faible et même parfois nulle ($m = 0,08$).

2.4 Le phytoplancton

Les résultats sont reportés dans les tableaux 12, 13 et 14.

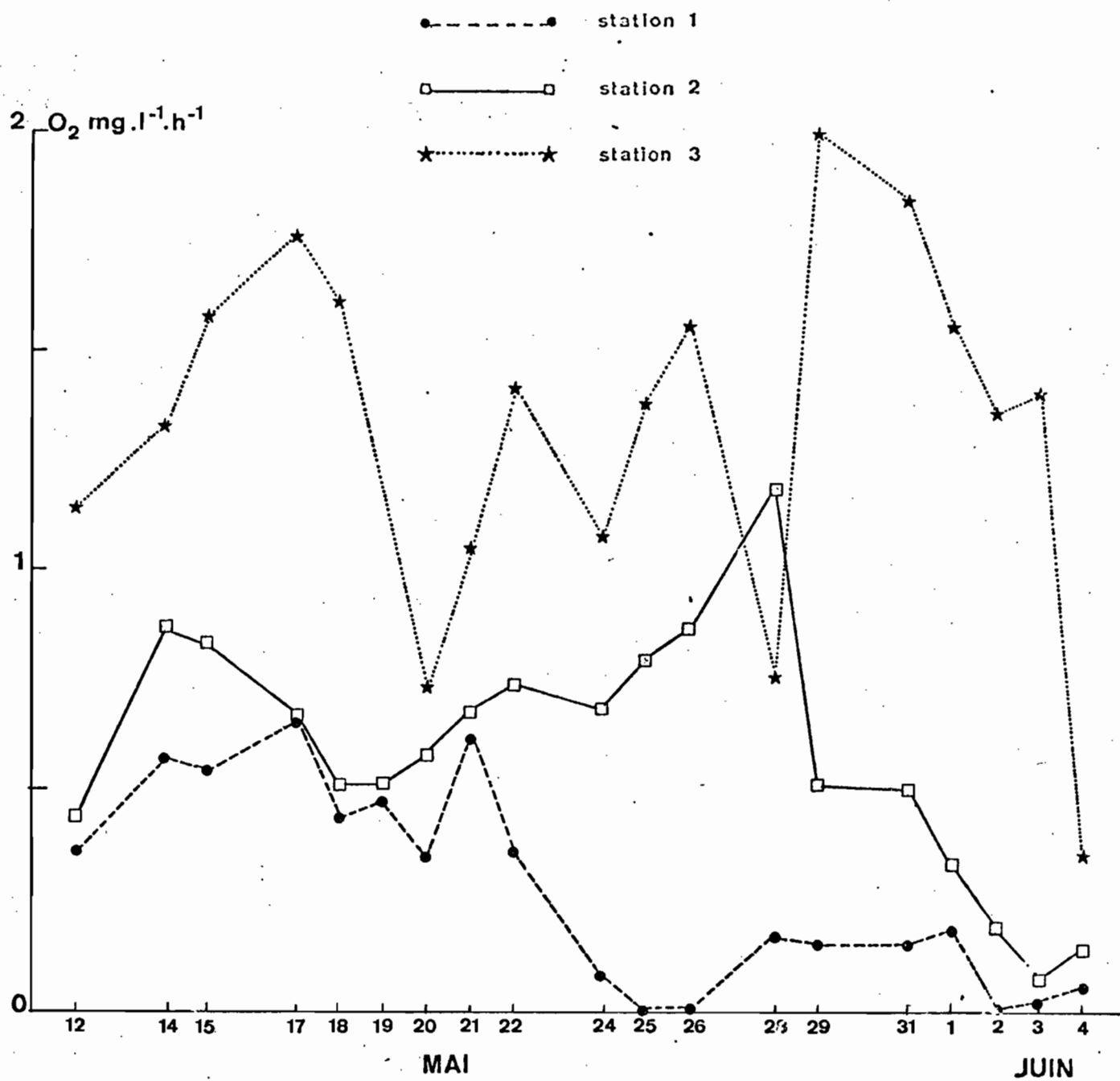


Fig. 22 - Evolution de la production primaire (séries quotidiennes)

ESPECES	DATES								
	12 Mai	14 Mai	15 Mai	17 Mai	18 Mai	20 Mai	21 Mai	22 Mai	24 Mai
<u>DIATOMÉES</u>									
Leptocylindrus minimus	179.000 0,0107	326.000 0,0196	640.000 0,0384	1.544.000 0,0926	362.000 0,0217	816.000 0,0490	-	2.223.000 0,1334	-
Nitzschia delicatissima	199.000 0,0318	450.000 0,0720	767.000 0,1227	247.000 0,0395	98.000 0,0157	33.000 0,0053	-	-	-
Pleurosigma sp	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thalassionema nitzschioides	13.100 0,0045	67.000 0,0228	52.600 0,0179	10.000 0,0034	12.000 0,0041	14.300 0,0049	-	12.000 0,0041	-
<u>EUGLENOPHYCEES</u>									
Eutreptiella braarudii	21.000 0,0378	4.800 0,0086	-	14.200 0,0256	16.000 0,0288	76.000 0,1368	-	43.000 0,0559	-
Eutreptiella sp	-	43.000 0,0172	9.500 0,0038	4.700 0,0019	30.000 0,0120	7.100 0,0028	-	4.700 0,0019	-
<u>CRYPTOPHYCEES</u>									
Cryptomonas sp	-	-	28.500 0,0114	10.000 0,0040	2.400 0,0010	23.800 0,0095	-	28.000 0,0112	-
Hemiselmis sp	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL Cellules c/l	432.100	890.800	1.497.600	1.829.500	520.400	970.200	-	2.310.700	-
TOTAL Biovolume mm ³ /l	0,0848	0,1402	0,1942	0,1630	0,0832	0,2083	-	0,2064	-
Indice de diversité cellule	1.61	1.56	1.35	0.75	1.37	0.94	-	0.30	-
Indice de diversité biovolume	1.65	1.94	1.55	1.69	2.38	1.44	-	1.32	-

ESPECES	DATES								
	25 Mai	26 Mai	28 Mai	29 Mai	31 Mai	1er juin	2 juin	3 juin	4 juin
<u>DIATOMÉES</u>									
Leptocylindrus minimus	5.000 0,0003	40.000 0,0024	81.200 0,0049	24.000 0,0014	-	-	-	-	-
Nitzschia delicatissima	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pleurosigma sp	-	-	-	20 0,0001	20 0,0001	-	5.700 0,0205	160 0,0006	-
Thalassionema nitzschioides	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>EUGLENOPHYCEES</u>									
Eutreptiella braarudii	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eutreptiella sp	1.200 0,0005	2.460 0,0010	9.500 0,0038	18.000 0,0072	19.000 0,0076	23.000 0,0092	-	12.000 0,0048	4.800 0,0019
<u>CRYPTOPHYCEES</u>									
Cryptomonas sp	7.400 0,0030	36.000 0,0144	40.000 0,0160	46.000 0,0184	17.000 0,0068	33.000 0,0132	9.500 0,0038	43.000 0,0172	48.000 0,0192
Hemiselmis sp	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL Cellules c/l	13.600	78.400	130.700	88.020	36.020	56.000	32.200	55.160	52.800
TOTAL Biovolume mm ³ /l	0,0037	0,0178	0,0247	0,0271	0,0145	0,0224	0,0243	0,0226	0,0211
Indice de diversité cellules	0.65	0.83	1.22	1.47	1.00	0.98	0.93	0.76	0.45
Indice de diversité biovolume	0.94	0.86	1.28	1.11	1.00	0.98	0.00	0.76	0.44

Tableau 12 - Numérations cellulaires et biovolumes algues
station 1 (séries quotidiennes)

ESPECES	DATES								
	12 Mai	14 Mai	15 Mai	17 Mai	18 Mai	20 Mai	21 Mai	22 Mai	24 Mai
<u>DIATOMÉES</u>									
Leptocylindrus minimus	198.000 0,0118	411.500 0,0247	2.362.000 0,1417	2.800.000 0,1680	1.690.000 0,1014	2.317.000 0,1390	2.896.000 0,1738	2.574.000 0,1544	2.544.000 0,1526
Nitzschia delicatissima	1.009.000 0,1614	3.500.000 0,6240	7.309.000 1,1694	4.743.000 0,7589	800.000 0,1280	714.000 0,1142	809.000 0,1294	238.000 0,0381	228.500 0,0366
Pleurosigma sp	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thalassionema nitzschioides	9.000 0,0031	23.000 0,0078	19.000 0,0065	152.000 0,0517	38.000 0,0129	3.200 0,0011	57.000 0,0194	25.000 0,0085	30.000 0,0102
<u>EUGLENIOPHYCEES</u>									
Eutreptiella braarudii	65.000 0,1170	52.300 0,0941	119.000 0,2142	51.000 0,0918	14.000 0,0252	4.800 0,0086	9.500 0,0124	28.500 0,0371	87.000 0,1131
Eutreptiella sp	47.000 0,0188	50.000 0,0200	110.000 0,0440	76.000 0,0304	25.000 0,0100	41.000 0,0164	48.000 0,0192	28.000 0,0112	110.000 0,0440
<u>CRYPTOPHYCEES</u>									
Cryptomonas sp	-	-	26.000 0,0104	19.000 0,0076	38.000 0,0152	13.000 0,0052	9.500 0,0038	19.000 0,0076	44.000 0,0176
Hemiselmis sp	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL Cellules c/l	1.328.000	4.436.800	9.945.000	7.841.000	2.605.000	3.093.000	3.829.000	2.912.500	3.043.500
TOTAL Biovolume mm ³ /l	0,3122	0,7707	1,5798	1,1084	0,2927	0,2846	0,3542	0,2568	0,3741
Indice de diversité cellules	1.14	0.67	1.01	1.21	1.21	0.94	1.00	0.69	0.97
Indice de diversité biovolume	1.51	0.98	1.25	1.48	1.94	1.56	1.72	1.76	2.09

ESPECES	DATES								
	25 Mai	26 Mai	28 Mai	29 Mai	31 Mai	1er juin	2 juin	3 juin	4 juin
<u>DIATOMÉES</u>									
Leptocylindrus minimus	2.047.500 0,1229	-	1.515.200 0,0909	1.636.000 0,0982	1.014.000 0,0608	915.000 0,0549	63.000 0,0038	92.000 0,0055	213.000 0,0128
Nitzschia delicatissima	46.000 0,0074	-	-	-	-	-	-	-	-
Pleurosigma sp	-	-	-	-	20 0,0001	-	400 0,0014	960 0,0035	640 0,0023
Thalassionema nitzschioides	17.000 0,0058	-	-	-	-	-	-	-	-
<u>EUGLENIOPHYCEES</u>									
Eutreptiella braarudii	18.000 0,0234	-	57.000 0,1026	19.000 0,0342	127.000 0,2286	30.000 0,0540	-	3.700 0,0052	-
Eutreptiella sp	162.000 0,0648	-	51.000 0,0204	38.000 0,0152	111.000 0,0444	74.000 0,0296	17.000 0,0068	9.500 0,0038	4.800 0,0019
<u>CRYPTOPHYCEES</u>									
Cryptomonas sp	42.000 0,0168	-	86.000 0,0344	152.000 0,0608	145.000 0,0580	126.000 0,0504	121.000 0,0484	81.000 0,0324	55.000 0,0220
Hemiselmis sp	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL Cellules c/l	2.332.500	-	1.709.200	1.845.000	1.397.020	1.145.000	201.400	187.160	273.440
TOTAL Biovolume mm ³ /l	0,2410	-	0,2483	0,2084	0,3919	0,1889	0,0604	0,0504	0,0390
Indice de diversité cellule	0.75	-	0.69	0.63	1.28	1.00	1.27	1.36	0.85
Indice de diversité biovolume	1.88	-	1.75	1.73	1.63	1.96	0.85	1.38	1.20

Tableau 13 - Numérations cellulaires et biovolumes algues
station 2 (séries quotidiennes)

ESPECES	DATES								
	12 Mai	14 Mai	15 Mai	17 Mai	18 Mai	20 Mai	21 Mai	22 Mai	24 Mai
<u>DIATOMEES</u>									
Leptocylindrus minimus	130.000 0,0078	1.645.000 0,0987	5.760.000 0,3456	2.534.000 0,1520	1.056.000 0,0634	1.798.000 0,1079	1.766.000 0,1060	2.799.000 0,1679	4.257.000 0,2554
Nitzschia delicatissima	630.000 0,1008	1.238.000 0,1981	5.343.000 0,8549	2.267.000 0,3627	1.457.000 0,2331	805.000 0,1288	1.505.000 0,2408	1.428.500 0,2285	290.000 0,0464
Pleurosigma sp	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thalassionema nitzschioides	-	-	-	-	-	19.000 0,0065	52.000 0,0177	11.000 0,0037	8.000 0,0027
<u>EUGLENOPHYCEES</u>									
Eutreptiella braarudii	171.500 0,3087	188.000 0,3384	121.000 0,2178	400.000 0,7200	202.000 0,3636	243.000 0,4374	1.570.000 2,0410	265.000 0,3445	1.980.000 2,5740
Eutreptiella sp	230.000 0,0920	163.000 0,0652	45.000 0,0180	150.000 0,0600	38.000 0,0152	90.000 0,0360	285.000 0,1140	200.000 0,0800	371.000 0,1484
<u>CRYPTOPHYCEES</u>									
Cryptomonas sp	-	257.000 0,1028	210.000 0,0840	550.000 0,2200	300.000 0,1200	38.000 0,0152	9.500 0,0038	267.000 0,1068	233.000 0,0932
Hemiselmis sp	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL Cellules c/l	1.161.500	3.491.000	11.479.000	5.901.000	3.053.000	2.993.000	5.187.500	4.970.500	7.139.000
TOTAL Biovolume mm ³ /l	0,5093	0,8032	1,5203	1,5148	0,7953	0,7317	2,5232	0,9315	3,1174
Indice de diversité cellule	1,70	1,75	1,22	1,77	1,71	1,52	1,88	1,64	1,54
Indice de diversité biovolume	1,44	2,07	1,66	1,93	1,85	1,68	1,03	2,17	0,98

ESPECES	DATES								
	25 Mai	26 Mai	28 Mai	29 Mai	31 Mai	1er juin	2 juin	3 juin	4 juin
<u>DIATOMEES</u>									
Leptocylindrus minimus	1.462.000 0,0877	3.010.000 0,1806	3.190.000 0,1914	3.120.000 0,1872	1.297.500 0,0779	1.557.000 0,0934	4.730.400 0,2838	3.040.000 0,1824	830.000 0,0498
Nitzschia delicatissima	42.000 0,0067	4.700 0,0008	-	-	-	-	-	-	-
Pleurosigma sp	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Thalassionema nitzschioides	7.500 0,0026	6.000 0,0020	-	-	-	-	-	-	-
<u>EUGLENOPHYCEES</u>									
Eutreptiella braarudii	191.000 0,2483	309.000 0,4017	1.800.000 3,2400	2.490.000 4,4820	57.000 0,1026	200.000 0,3600	106.000 0,1908	55.000 0,0770	44.000 0,0616
Eutreptiella sp	629.000 0,2516	241.000 0,0964	364.000 0,1456	475.000 0,1900	130.000 0,0520	80.000 0,0320	65.000 0,0260	6.800 0,0027	4.000 0,0016
<u>CRYPTOPHYCEES</u>									
Cryptomonas sp	167.000 0,0668	61.000 0,0244	305.000 0,1220	177.000 0,0468	17.000 0,0068	48.000 0,0192	69.000 0,0276	168.000 0,0672	31.000 0,0124
Hemiselmis sp	-	-	79.333.000 3,1733	107.000.000 4,2800	69.286.000 2,7714	31.714.000 1,2686	188.857.000 7,5543	202.286.000 8,0914	11.238.000 0,4495
TOTAL Cellules c/l	2.498.500	3.631.700	24.922.000	13.202.000	70.787.500	33.599.000	193.827.000	205.555.000	12.147.000
TOTAL Biovolume mm ³ /l	0,6611	0,7059	6,8723	9,1860	3,0106	1,7731	8,0825	8,4208	0,5749
Indice de diversité cellule	1,62	0,91	0,45	0,38	0,16	0,36	0,18	0,13	0,42
Indice de diversité biovolume	1,88	1,56	1,39	1,29	0,53	1,21	0,44	0,30	1,07

Tableau 14 - Numérations cellulaires et biovolumes algaux
station 3 (séries quotidiennes)

2.4.1 D'un point de vue quantitatif, exprimé en biovolumes afin de faire une meilleure comparaison, on observe de nouveau la gradation entre les courbes des trois stations (fig. 23). La station 3 s'avère beaucoup plus riche que la station 2, elle-même plus riche que la station 1. La dessalure semble particulièrement favoriser les développements algaux à la station 3, contrairement à ce qu'on observe en station 1, la station 2 apparaissant intermédiaire.

Les valeurs des coefficients de corrélation (Tableaux 9, 10, 11) font apparaître une corrélation inverse, très hautement significative à la station 1 et hautement significative à la station 2, entre les pluies cumulées et les biovolumes algaux. En revanche, la station 3 présente une corrélation directe significative entre ces mêmes paramètres. Il s'avère donc que les sels nutritifs, présents dans le milieu, ne sont pas consommés aux stations 1 et 2, tandis qu'à la station 3, ils entraînent des multiplications algales exubérantes.

2.4.2 D'un point de vue qualitatif, le suivi a été mené sur les huit espèces principales. Ce sont :

- des Diatomées
 - . Nitzschia delicatissima
 - . Leptocylindrus minimus
 - . Thalassionema nitzschioides
 - . Pleurosigma sp
- des Cryptophycées
 - . Cryptomonas sp
 - . Hemiselmis sp
- et des Euglénophycées
 - . Eutreptiella braarudii
 - . Eutreptiella sp

2.4.2.1 Les Diatomées

■ Nitzschia delicatissima : Il vaudrait mieux dire Nitzschia de la série delicatissima, HASLE (1976) ayant montré qu'il s'agit en fait de plusieurs espèces différentes, séparables seulement par une étude au microscope électronique. Les individus rencontrés ici sont d'extrêmement petite taille ($30-32 \mu\text{m}$ de long sur $2,5 \mu\text{m}$ de large), leur biovolume moyen ayant été estimé à $160 \mu\text{m}^3$. C'est une espèce néritique très commune, connue pour sa capacité à constituer l'espèce principale de développements importants en Méditerranée (TRAVERS, 1971). DANDONNEAU (1971) l'a signalée dans le plancton côtier ivoirien comme relativement pérennante. Lors du début des séries quotidiennes (fig. 24) elle est

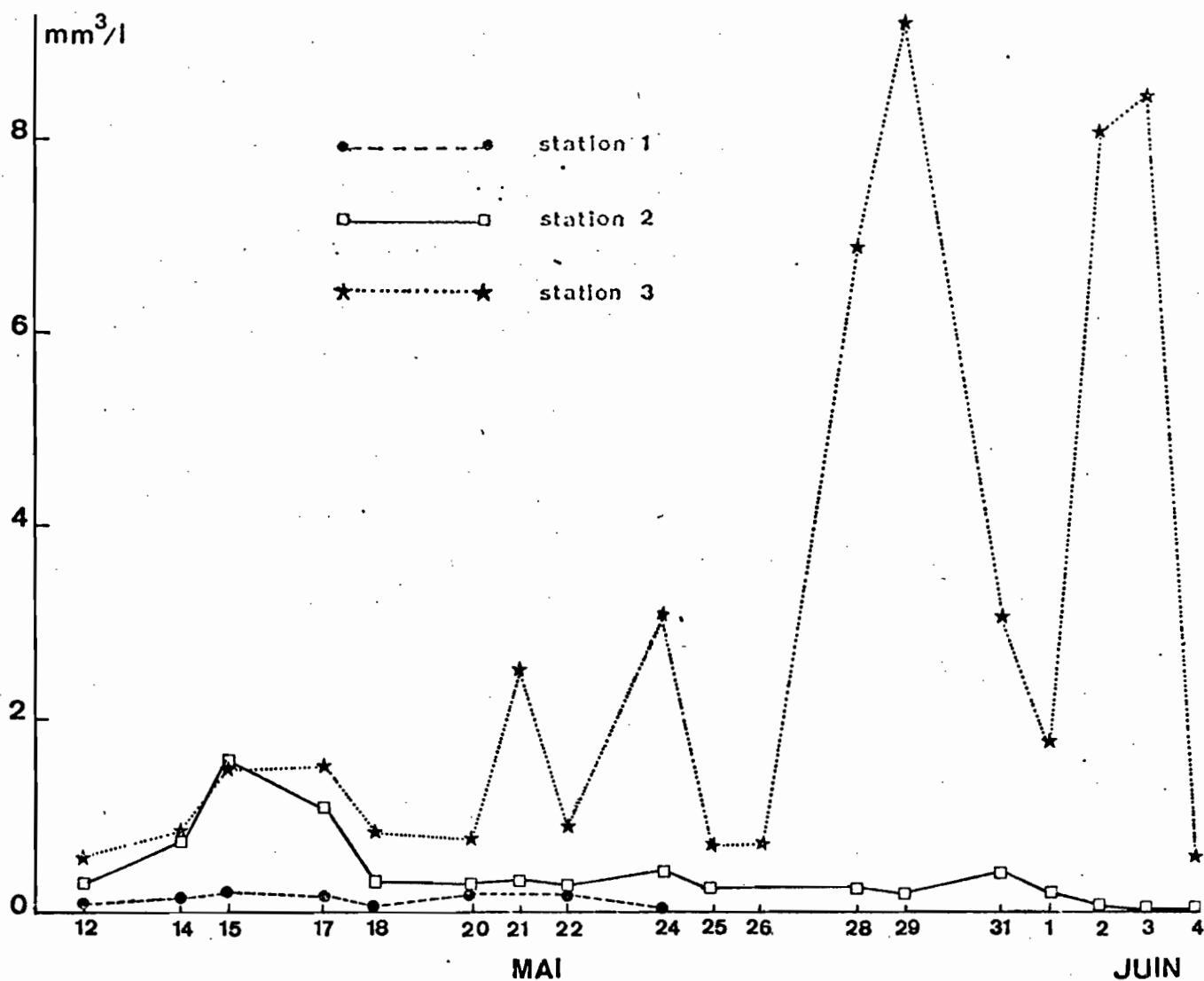


Fig. 23 - Evolution des biovolumes algaux (séries quotidiennes)

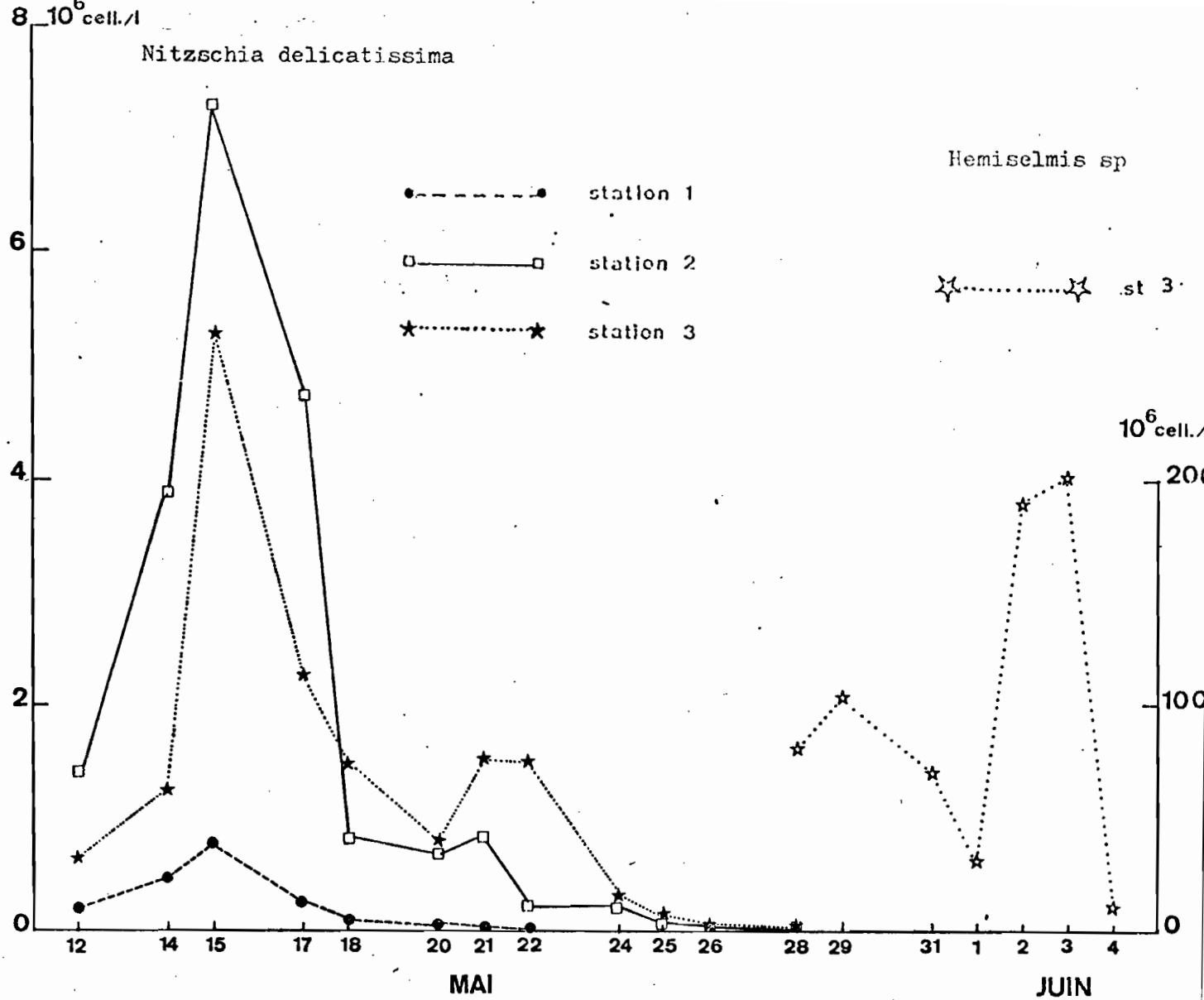


Fig. 24 - Evolution des effectifs de *Nitzschia delicatissima* et de *Hemiselmis sp* (séries quotidiennes)

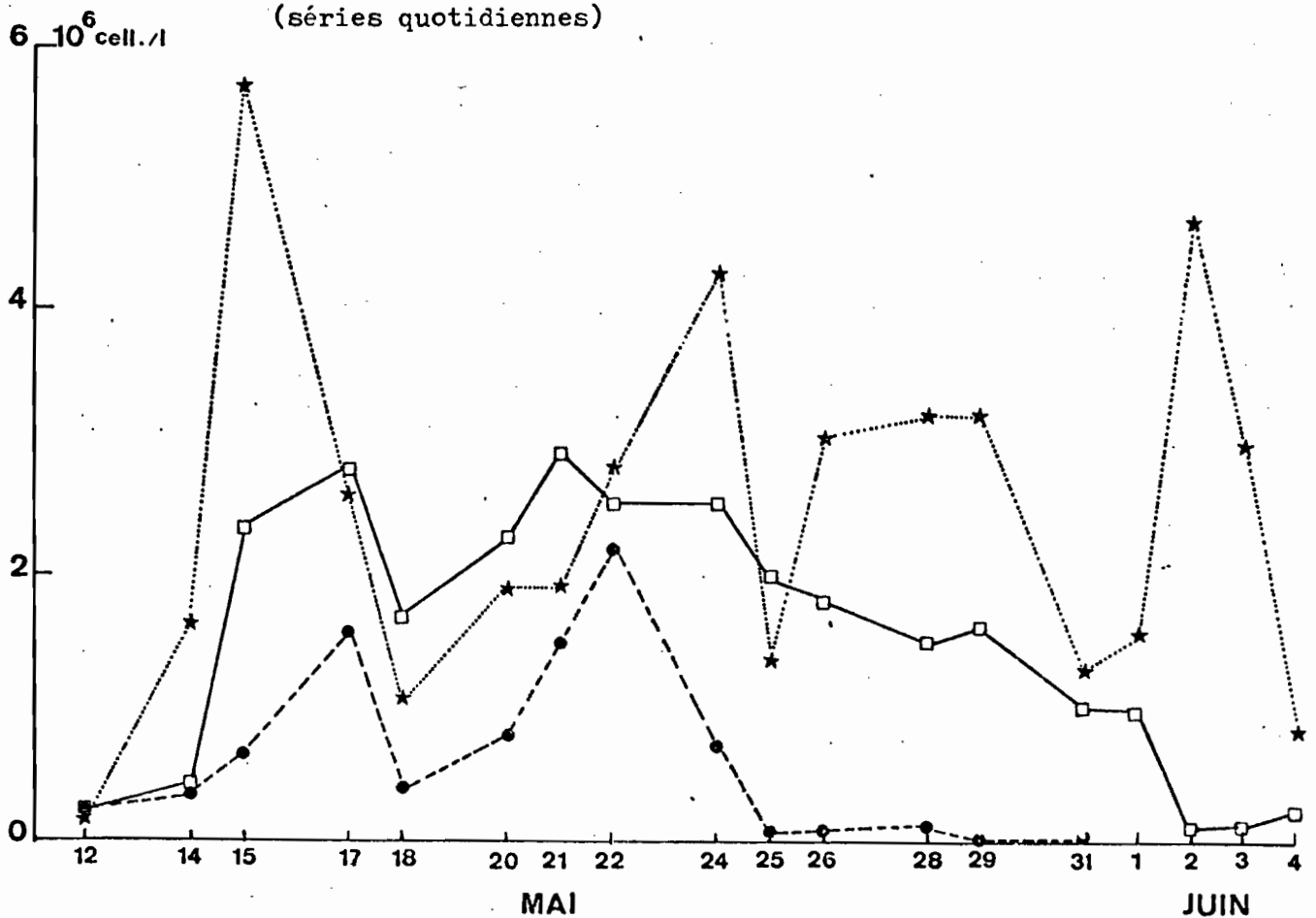


Fig. 25 - Evolution des effectifs de *Lentocylindrus minimus* (séries quotidiennes)

déjà présente et se développe de façon plus ou moins importante selon les stations : du 12 au 22 Mai, à la station 1, du 12 au 28 Mai, aux stations 2 et 3. Elle disparaît alors que la salinité est à 6°/oo aussi bien à la station 1 le 22, qu'aux stations 2 et 3, le 28 (fig. 20). Il semble donc qu'elle présente au moins une tolérance de 20 à 6°/oo de salinité dans ce milieu lagunaire. Le maximum des effectifs est observé le 15 Mai avec 800.000 cellules par litre à la station 1, 6.600.000 à la station 2 et 5.200.000 à la station 3, la salinité étant de 20°/oo pour les trois stations. C'est donc une espèce à fort potentiel multiplicatif qui s'avère avant tout opportuniste. BLANC et al. (1967) l'ont trouvée en quantité dans la zone la moins salée de l'étang de Berre (32°/oo).

- Leptocylindrus minimus (fig. 25) : C'est une espèce néritique, considérée comme relativement rare et se développant peu par VOLTOLINA (1975). Elle semble toutefois assez fréquente en Méditerranée (TRAVERS, 1971). De plus, JACQUES et al. (1973) la signalent comme en partie responsable de certaines floraisons dans le plancton de Banyuls-sur-mer. DANDONNEAU (1971) ne la cite cependant pas dans le plancton côtier ivoirien. Elle apparaît aussi comme une espèce opportuniste à fort potentiel multiplicatif favorisé par sa petite taille (biovolume $60 \mu m^3$). Elle est présente pendant toute la série aux stations 2 et 3, et jusqu'au 29 Mai à la station 1 (ajoutons que lors du prélèvement de saison des pluies le 12 Juin, à la station 3, elle était toujours présente). Elle semble donc être très tolérante aux variations de salinité. Elle se développe particulièrement bien dans la baie mais aussi à la station 1 jusqu'au 25 Mai.
- Thalassionema nitzschioides (fig. 26) : C'est également une espèce néritique très commune, habituellement considérée comme une espèce psychrophile. . Cependant VOLTOLINA (1975) la signale comme eurytherme et euryhaline. Elle apparaît d'abord aux stations 1 et 2, plus tardivement à la station 3. Les maxima sont décalés : à la station 1, le 14 (67.000 cell/l), à la station 2, le 17 (150.000 cell/l), à la station 3, le 21 (50.000 cell/l). Elle disparaît le 25 en station 1, le 28 à la station 2 et 3, la salinité étant à 6°/oo.
- Pleurosigma sp (fig. 26) : elle apparaît tardivement le 31 Mai tout d'abord en station 1 (maximum le 2 Juin avec 5.800 cell/l), puis en station 2 en quantité moins importante (maximum le 3 Juin avec 10.000 cell/l). Elle est inexistante en station 3. La provenance de cette espèce apparue en station 1 alors que la salinité était à 2°/oo serait d'eau douce ou d'eau très dessalée. Notons que lors du prélèvement de saison des pluies, le 17 Juin, en station 1, elle était toujours présente.

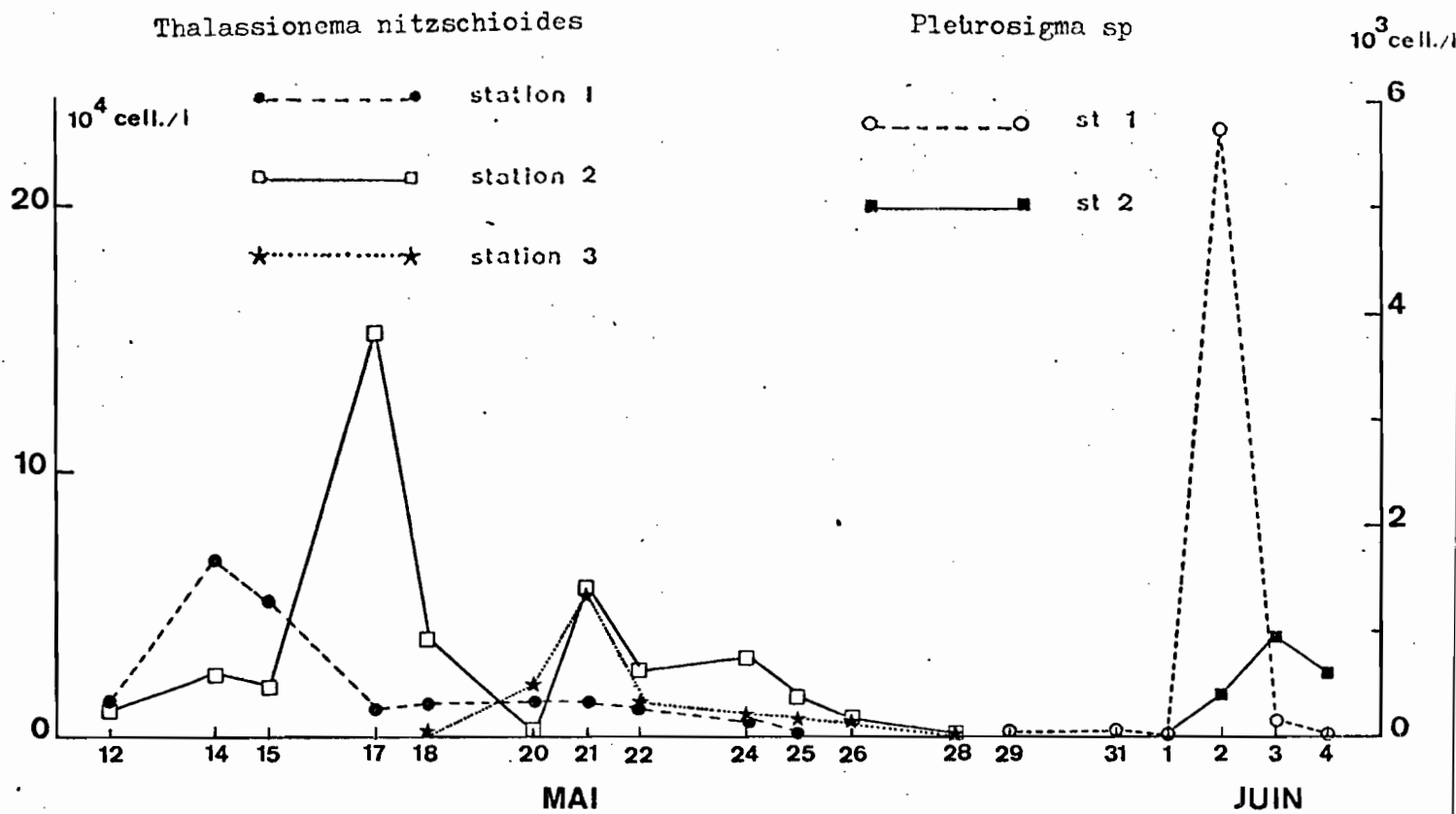


Fig. 26 - Evolution des effectifs de Thalassionema nitzschioides et Pleurosigma sp (séries quotidiennes)

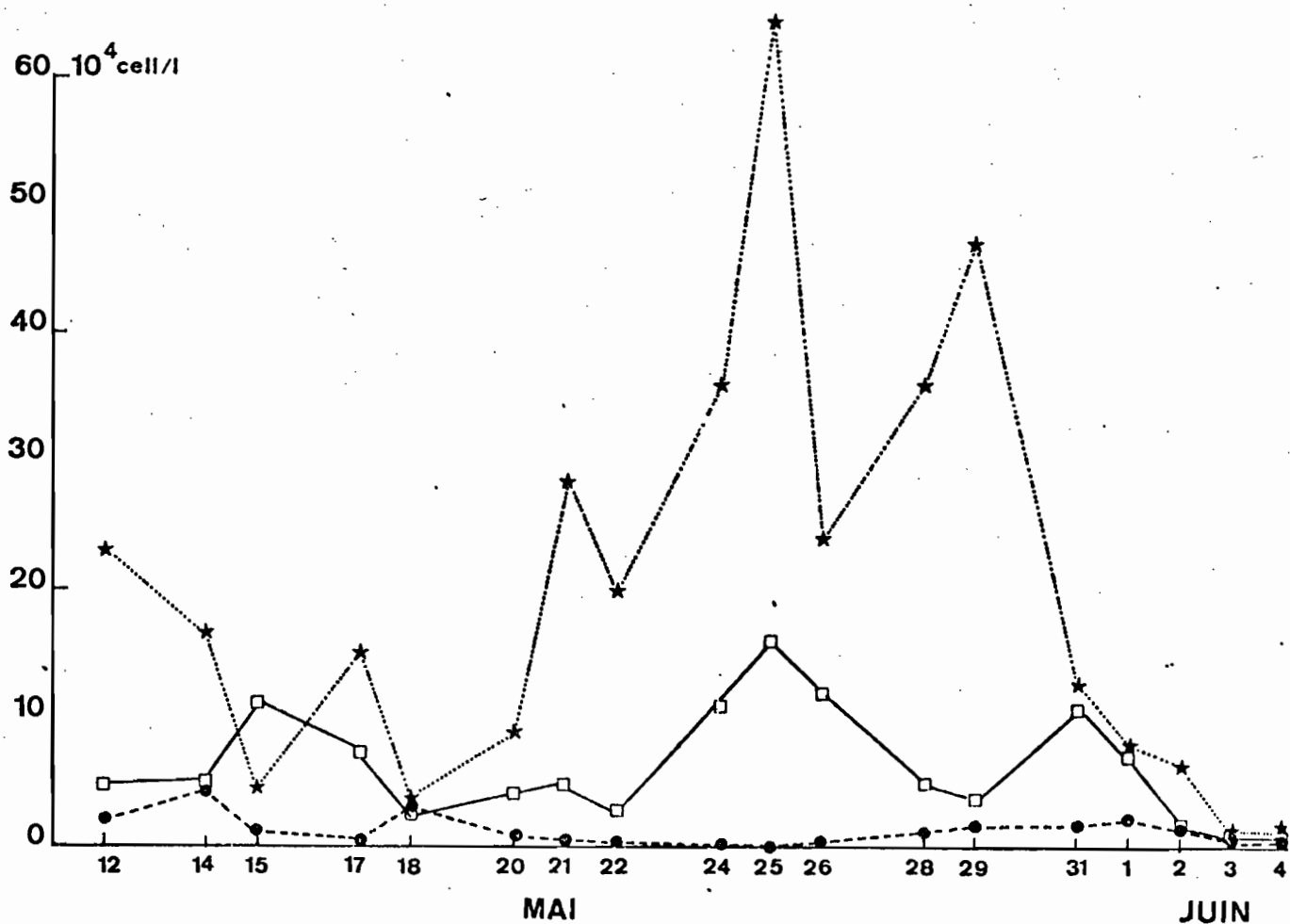


Fig. 27 - Evolution des effectifs de Eutreptiella sp (séries quotidiennes)

2.4.2.2 Les Euglénophycées (fig. 27, 28)

- Elles sont représentées par deux espèces : Eutreptiella braarudii et Eutreptiella sp. Leur lieu de prédilection est le fond de la baie où elles présentent des développements énormes. Toutes deux montrent des maxima (respectivement 2.500.000 et 650.000 cell/l) entre le 20 et le 31 Mai, pour des salinités comprises entre 16 et 5‰. Ce genre est réputé pour son affinité pour les eaux riches en matière organique (BOURRELLY, 1970). Il est présent dans le plancton néritique méditerranéen (JACQUES, 1968), mais n'y présente jamais de tels développements. VOLTOLINA (1975) a trouvé des Euglénophycées dans la lagune de Venise, en quantité notable, et signale que ces organismes sont généralement lagunaires.

2.4.2.3 Les Cryptophycées (fig. 24, 29)

- . Elles sont représentées par deux espèces de petite taille : Cryptomonas sp et Hemiselmis sp (respectivement 300 et 40 μm^3).
- Cryptomonas sp : se maintient pendant toute la série en quantité plus importante à la station 3 que dans les autres stations. Le maximum est atteint le 17 Mai avec 550.000 cell/l, la salinité étant alors de 19‰.
- Hemiselmis sp : apparaît uniquement à la station 3 en fin de dessalure. Son développement est très intense et très court : du 28 Mai au 4 Juin, jusqu'à 200 millions cell/l, la salinité passant alors de 8 à 4‰.

Les Cryptophycées apparaissent aussi comme des espèces à fort potentiel multiplicatif, favorisées par la dessalure ainsi que JACQUES (1968) l'a constaté : "Des dilutions superficielles favorisent leur développement".

2.4.2.4 Les indices de diversité spécifique (fig. 30)

Dans l'ensemble, les indices de diversité spécifique calculés à partir des effectifs cellulaires sont plus faibles que ceux calculés à partir des biovolumes. Ces derniers sont cependant rarement supérieurs à 2 et varient surtout entre 2 et 1. Plus ou moins progressivement, on constate une chute des valeurs pour les stations 1 et 3 (≤ 1), tandis que celles de la station 2 se maintiennent voisines de 1,5 pendant toute la série.

2.5 Fonctionnement des zones étudiées

Le chenal central (station 1) subit en début de dessalure une influence marine avec la présence de Nitzschia delicatissima, Leptocylindrus minimus et

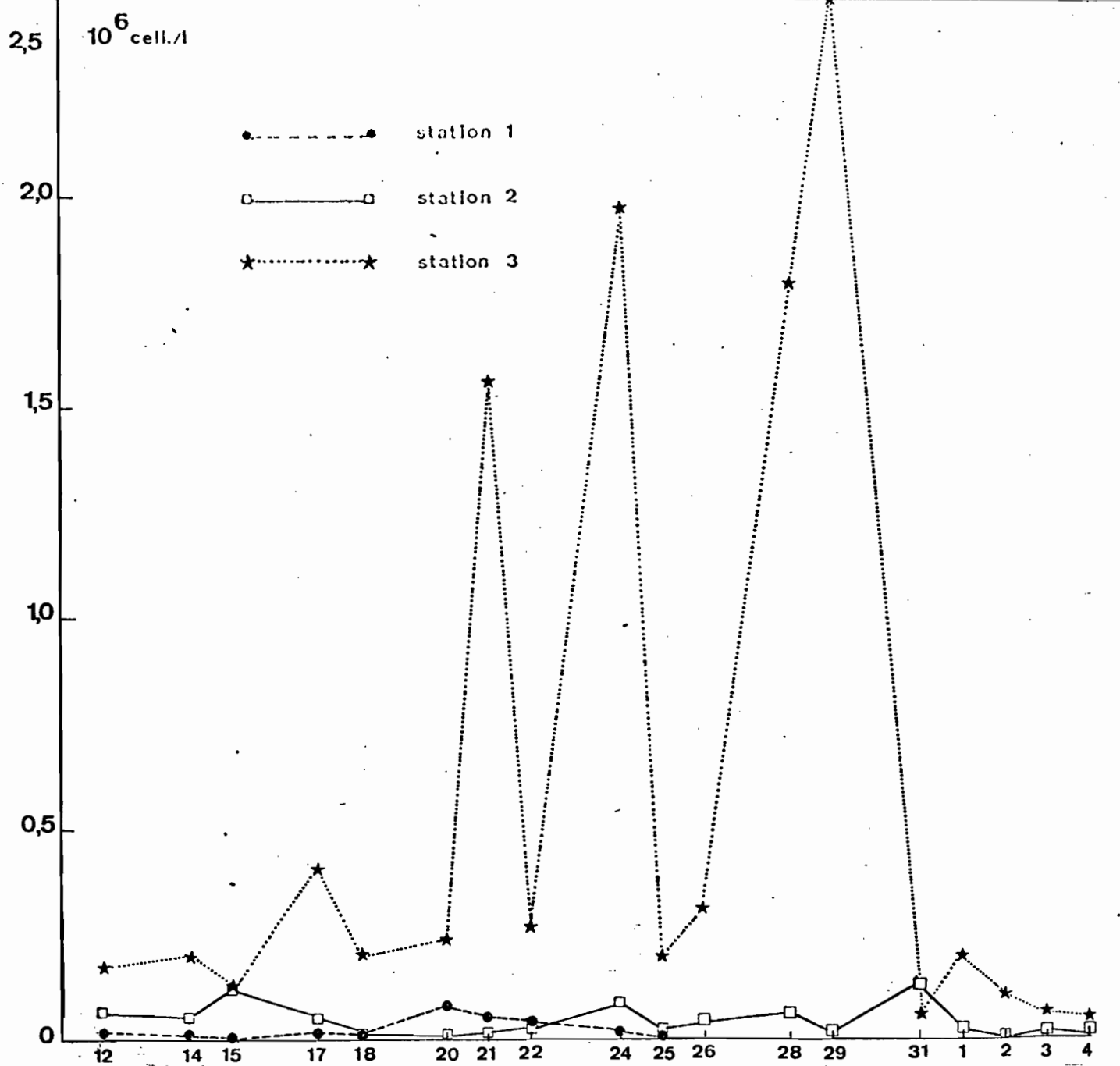


Fig. 28 - Evolution des effectifs de Eutreptiella braarudii (séries quotidiennes)

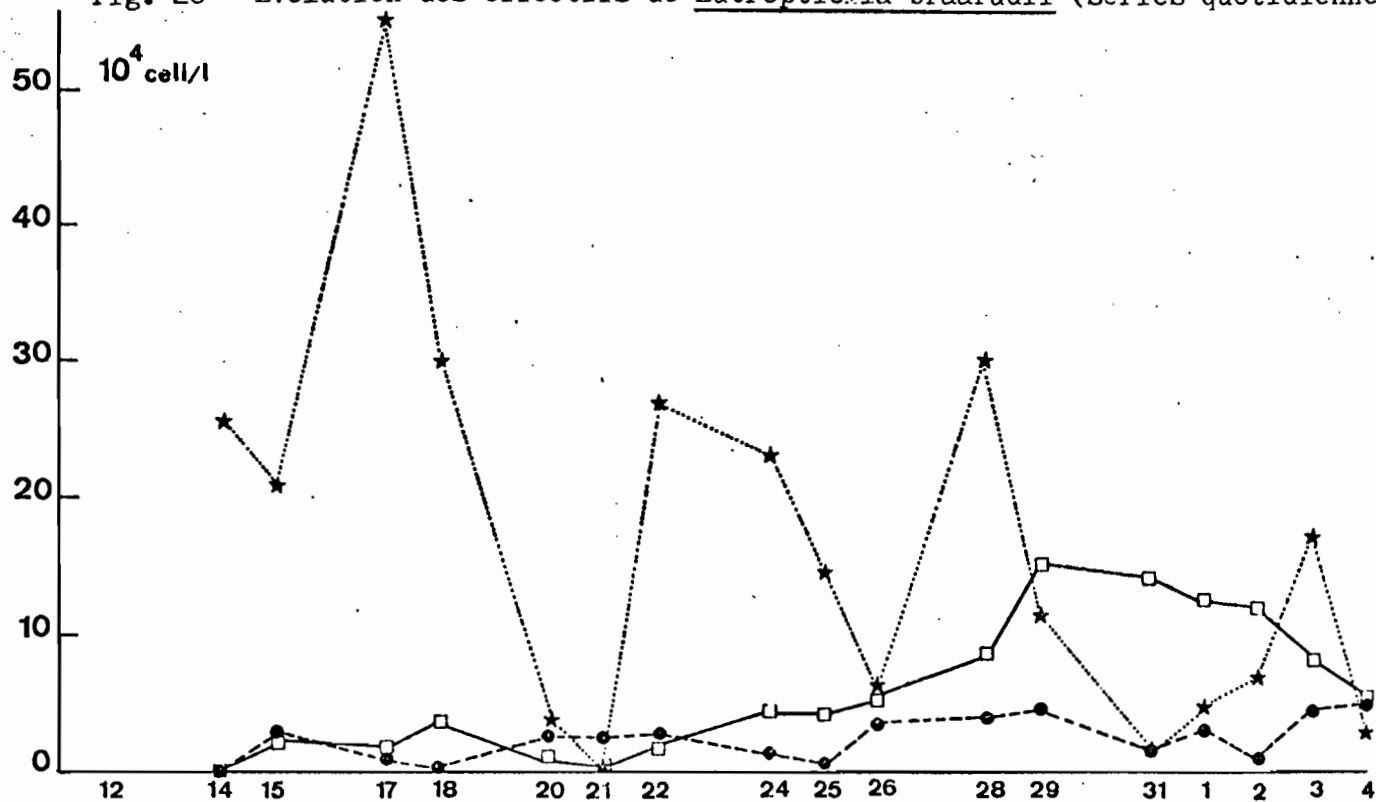


Fig. 29 - Evolution des effectifs de Cryptomonas sp (séries quotidiennes)

Thalassionema nitzschioides. Par la suite, balayé par les apports d'eaux augmentant sans cesse, il ne présente en fin de dessalure que quelques espèces, soit se maintenant grâce à un fort potentiel multiplicatif (MARGALEF, 1969) : Cryptomonas sp et Eutreptiella sp, soit apportées par les eaux douces : Pleurosigma sp. Les indices de diversité sont alors très faibles (< 1).

L'entrée et le milieu de la baie (station 2) subissent aussi l'influence marine en début de dessalure. Les espèces : Nitzschia delicatissima, Leptocylindrus minimus, Thalassionema nitzschioides, pénètrent dans la baie, s'y développent et s'y maintiennent plus longtemps que dans le chenal central. En fin de dessalure la zone subit l'influence des eaux douces : on y trouve Pleurosigma sp, cependant moins développé que dans le chenal central. On rencontre également, dans tous les prélèvements effectués au cours de cette période, des espèces qui apparaissent caractéristiques de la baie : Eutreptiella braarudii, Eutreptiella sp et Cryptomonas sp. Ceci explique le maintien des indices de diversité autour de 1,5.

Le fond de la baie (station 3) semble moins influencé par les espèces marines : Nitzschia delicatissima et Thalassionema nitzschioides s'y développent moins bien qu'à la station 2, ce qui toutefois n'est pas le cas de Leptocylindrus minimus. Cette zone favorise le développement important des Euglénophycées et des Cryptophycées qui concurrencent peut-être les Diatomées marines. En fin de dessalure, Hemiselmis sp s'y multiplie de façon exubérante, provoquant une chute des indices de diversité spécifique.

2.6 Conclusion

La baie de Biétri est donc exceptionnellement riche en phytoplancton par rapport au chenal central. La richesse maximale du fond de la baie semble pouvoir être mise en rapport avec la relative stabilité du milieu, le renouvellement des eaux y étant moins important qu'en milieu de baie et surtout, que dans le chenal central. On peut aussi penser à une efficacité moindre de la lumière dans le chenal central, due à la forte turbidité non phytoplanctonique : les particules minérales et organiques s'y maintiendraient en suspension du fait des courants, alors que dans la baie de Biétri, elles sédimenteraient plus facilement. Ajoutons l'effet eutrophisant des nombreux déversements effectués dans la baie.

On constate au moment de la dessalure des eaux une très forte euryhalinité des espèces présentes dans la zone.

Signalons que si les sels nutritifs ne semblent pas consommés dans le chenal central, ils favorisent à leur arrivée en mer le développement du phytoplancton néritique. Cette période correspond à l'une des saisons de décharge décrites par DANDONNEAU (1973).

3. ETUDE D'UN RESEAU DE STATIONS COUVRANT LA BAIE DE BIETRI

Un réseau de 14 stations a été prospecté le 3 Septembre (fig. 31). Parmi elles, une station référence a été choisie en dehors de la baie, au débouché du canal de Vridi, et trois stations se trouvent près des points de rejets importants. Les paramètres, transparence des eaux, salinité, chlorophylle a et phytoplancton, ont été étudiés.

3.1 Variation des paramètres

3.1.1 La transparence des eaux

Elle est plus élevée en dehors de la baie et dans sa première moitié, sans pour autant atteindre des valeurs très importantes (210 cm et 150 cm), que dans le reste du secteur prospecté. Les valeurs les plus faibles de la disparition du disque de Secchi (80 cm) sont dues, soit aux déversements (aux stations 2, 5 et 11), soit aux développements algaux (aux stations 9, 13 et 14).

3.1.2 La salinité

Les salinités trouvées lors de cette sortie sont généralement de 15°/oo. Elles ne présentent pas de fortes variations, mais on peut noter que l'extérieur de la baie est légèrement moins salé (13°/oo), ainsi que la station 2, influencée par les déversements de l'huilerie-savonnerie Blohorn.

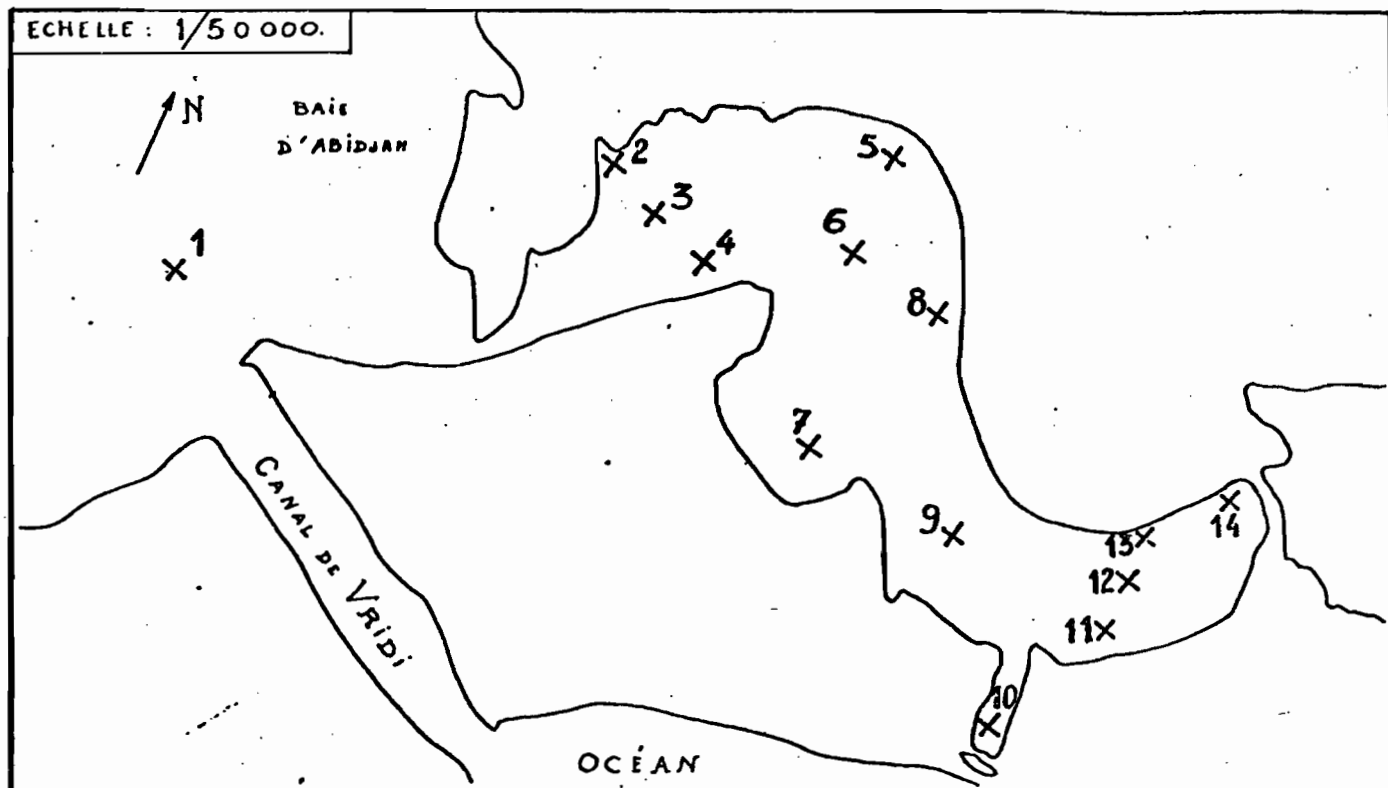


Fig. 31 - Position des stations du réseau

3.1.3 La chlorophylle a

Les taux de chlorophylle a sont élevés : en moyenne $18 \mu\text{g/l}$, avec un minimum de $7 \mu\text{g/l}$ à la station 1, et un maximum de $56 \mu\text{g/l}$ à la station 13. On observe un gradient de richesse croissant le long de la radiale 1, 3, 6, 9 et 13 (fig. 32). Ces stations forment une radiale centrale si l'on excepte le dernier point : 13, qui n'est pas dans l'axe. Ceci s'explique par la courantologie du fond de la baie qui entraîne un phénomène d'accumulation le long de la côte Nord.

3.1.4 Le phytoplancton

Les résultats sont reportés aux tableaux 15 et 16.

3.1.4.1 Aspect quantitatif

Le phytoplancton, aussi bien en nombre de cellules qu'en biovolume, suit les mêmes variations que la chlorophylle a ; on observe le même gradient de richesse (fig. 33). Les coefficients de corrélation chlorophylle-nombre de cellules : $r = 0,97^{+++}$, chlorophylle-biovolume : $r = 0,96^{+++}$ sont très hautement significatifs. Le nuage de points (dessiné avec les effectifs cellulaires en abscisse, et les taux de chlorophylle a en ordonnée) est évidemment attiré par les fortes valeurs. Cependant, on constate (fig. 34) un bon ajustement à la droite de régression. Les effectifs varient de 400.000 cellules par litre (station 2) à 22,6 millions (station 13), les biovolumes correspondants étant de $0,2 \text{ mm}^3/\text{l}$ et $9 \text{ mm}^3/\text{l}$.

3.1.4.2 Aspect qualitatif

14 espèces phytoplanctoniques ont été répertoriées au cours de cette mission. Il convient de souligner l'importance très grande de l'espèce Cryptomonas sp qui représente en moyenne 93 % des effectifs et 82 % du biovolume. Contrairement aux observations faites pendant les séries quotidiennes, cette espèce ne reste pas cantonnée dans une région de la baie, mais l'envahit totalement. Rappelons que JACQUES (1968) a mis en évidence cette propriété de Cryptophycées de pouvoir se développer de façon importante dans les eaux dessalées.

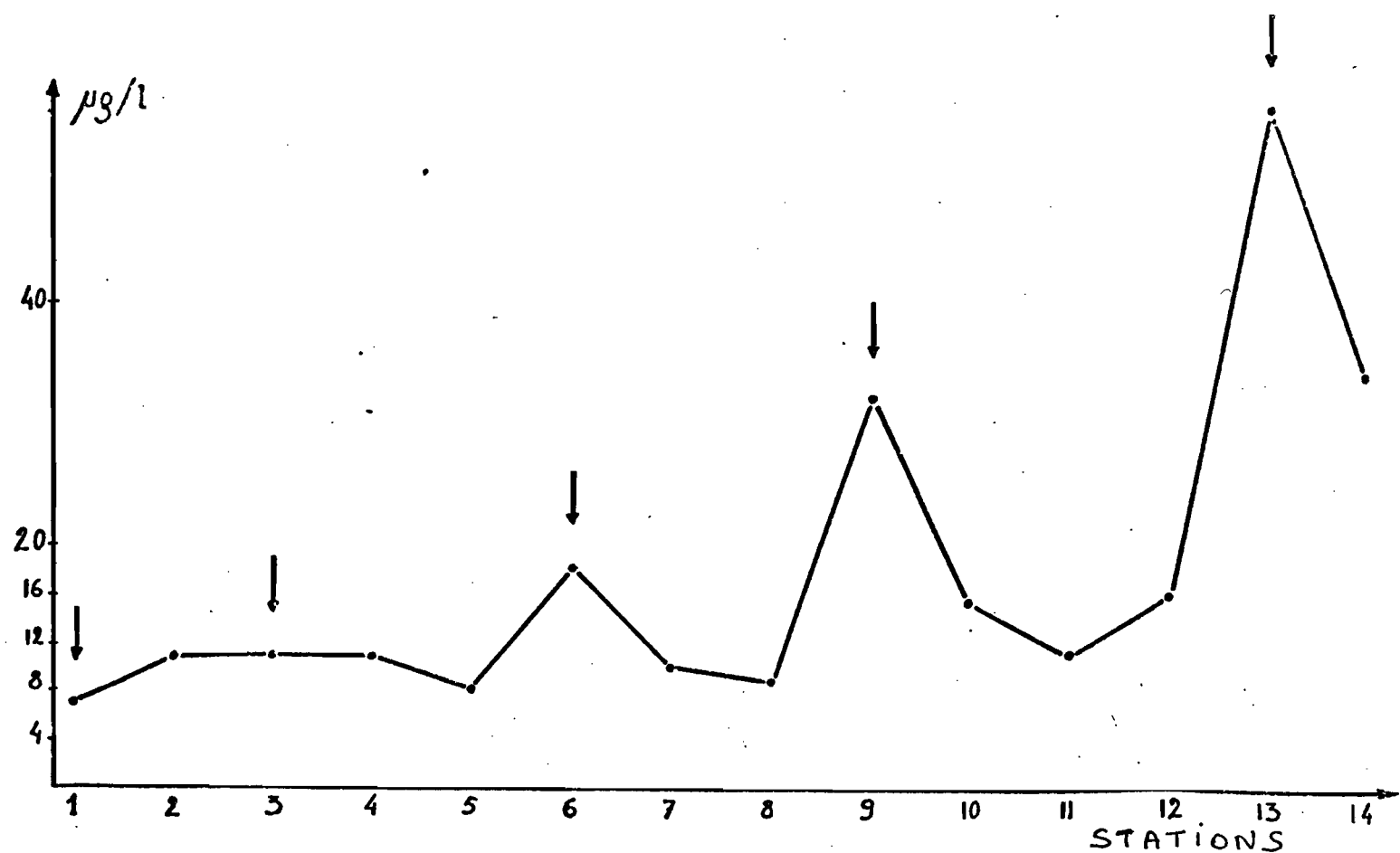


Fig. 32 - Teneurs en chlorophylle a (réseau)

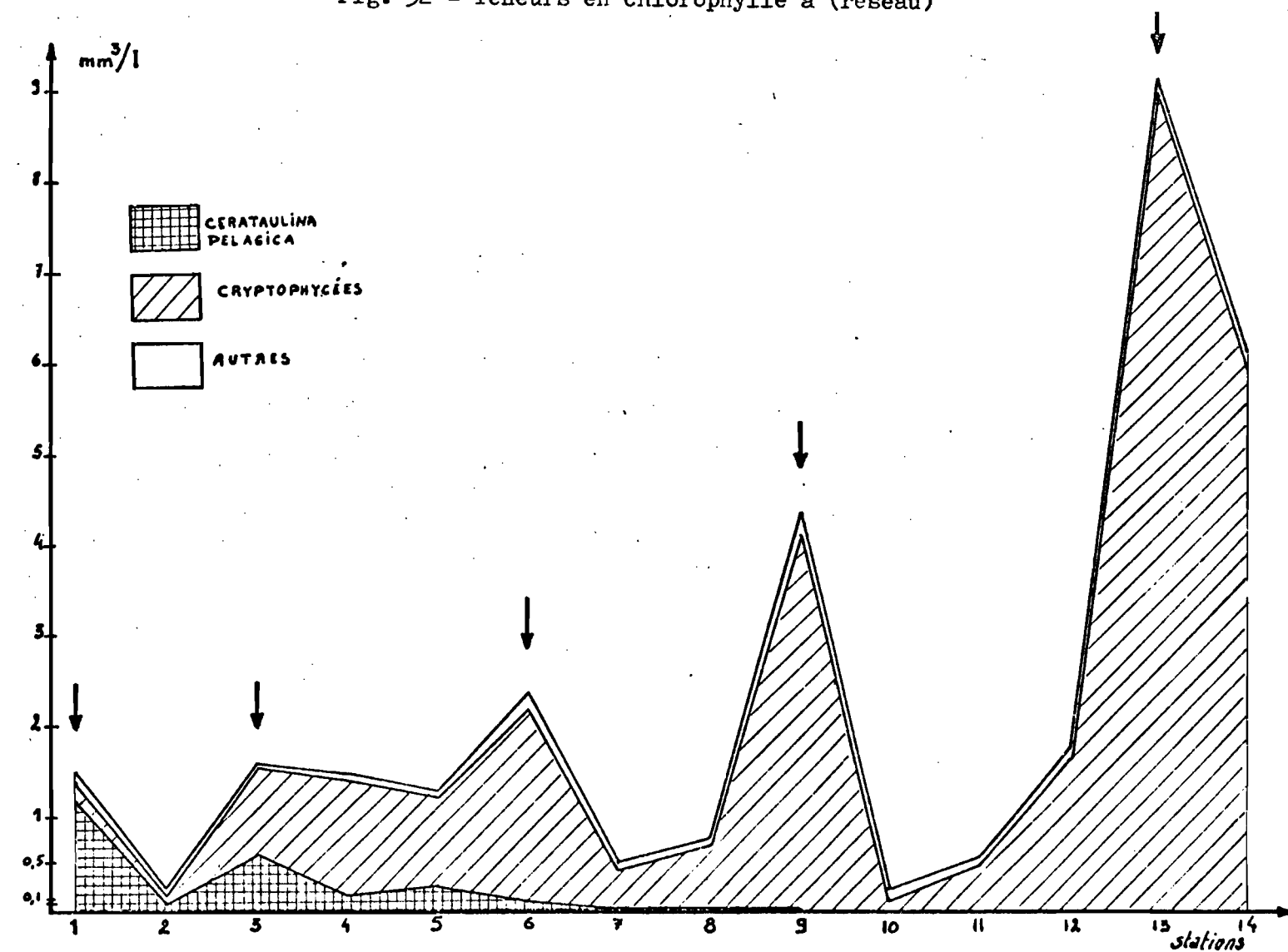


Fig. 33 - Biovolumes algues (réseau)

ESPECES	STATIONS						
	1	2	3	4	5	6	7
<u>DIATOMES</u>							
Bacteriastrium hyalinum	100	-	100	-	-	-	-
Carataulina pelagica	150.000	5.850	75.000	19.000	30.000	11.300	2.500
Chaetoceros sp	54.000	-	13.320	4.312	220	500	200
Coscinodiscus oculus-iridis	140	-	80	20	-	20	-
Coscinodiscus sp	-	-	240	-	220	100	-
Leptocylindrus minimus	52.080	-	17.857	-	70.998	177.940	4.212
Melosira juergensi	20	-	-	170	900	-	-
Pleurosigma sp	20	20	40	20	-	-	-
<u>DINOFAGELLES</u>							
Ceratium furca	120	-	-	-	20	-	-
Gymnodinium spp	-	23.000	18.277	52.500	126.000	90.936	40.000
<u>CYANOPHYCEES</u>							
Oscillatoria sp	-	-	-	40	280	-	60
<u>EUGLENOPHYCEES</u>							
Eutreptiella braarudii	-	700	1.320	8.180	6.720	17.600	4.700
<u>CRYPTOPHYCEES</u>							
Cryptomonas sp	568.000	357.143	2.395.000	3.393.000	2.405.500	5.441.000	1.166.000
TOTAL Cellules c/l	824.480	386.713	2.521.234	3.477.242	2.640.858	5.758.754	1.222.872
INDICE DE DIVERSITE Cellules	1.33	0.46	0.37	0.20	0.57	0.37	0.30
<u>PARAMETRES</u>							
Secchi (cm)	210	80	150	160	90	140	130(fond)
Salinité ‰	13	14	15	15	15	15	15,5
Chlorophylle a	7.12	11.04	11.12	11.44	8.32	18.4	9.84

ESPECES	STATIONS						
	8	9	10	11	12	13	14
<u>DIATOMES</u>							
Bacteriastrium hyalinum	-	-	-	-	-	-	-
Carataulina pelagica	4.000	150	150	120	570	600	1.350
Chaetoceros sp	20	200	-	-	-	20	-
Coscinodiscus oculus-iridis	-	-	-	-	-	-	-
Coscinodiscus sp	20	-	-	-	-	-	-
Leptocylindrus minimus	3.654	6.480	7.353	580	-	-	-
Melosira juergensi	-	-	140	-	-	40	-
Pleurosigma sp	40	-	80	20	20	60	-
<u>DINOFAGELLES</u>							
Ceratium furca	-	-	-	-	-	-	-
Gymnodinium spp	52.000	220.588	45.168	94.500	126.000	200.000	294.000
<u>CYANOPHYCEES</u>							
Oscillatoria sp	-	-	-	220	100	20	-
<u>EUGLENOPHYCEES</u>							
Eutreptiella braarudii	1.720	19.600	2.460	1.680	3.540	6.260	19.100
<u>CRYPTOPHYCEES</u>							
Cryptomonas sp	1.859.000	10.598.000	554.622	1.428.000	4.296.000	22.600.000	15.000.000
TOTAL Cellules c/l	1.920.454	10.845.018	609.973	1.525.120	4.426.130	22.807.000	15.314.450
INDICE DE DIVERSITE Cellules	0.23	0.17	0.52	0.36	0.78	0.41	0.66
<u>PARAMETRES</u>							
Secchi (cm)	120	80	110	80	100	70	80
Salinité ‰	15	15,5	15,5	15	15,5	15	15
Chlorophylle a	8,96	32,16	15,44	11,52	16	55,76	34,32

Tableau 15 - Numérations cellulaires (réseau)

ESPECES	STATIONS						
	1	2	3	4	5	6	7
<u>DIATOMEES</u>							
Bacteriastrum hyalinum	0,0016	-	0,0016	-	-	-	-
Carataulina pelagica	1,2000	0,0468	0,6000	0,1520	0,2400	0,0904	0,0200
Chaetoceros sp	0,0270	-	0,0067	0,0022	0,0001	0,0003	0,0001
Coscinodiscus oculus-iridis	0,0077	-	0,0044	0,0011	-	0,0011	-
Coscinodiscus sp	-	-	0,0019	-	0,0018	0,0008	-
Leptocylindrus minimus	0,0031	-	0,0011	-	0,0043	0,0107	0,0003
Melosira juergensi	0,0001	-	-	0,0010	0,0054	-	-
Pleurosigma sp	0,0003	0,0003	0,0006	0,0003	-	-	-
<u>DINOFLAGELLES</u>							
Ceratium furca	0,0060	-	-	-	0,0010	-	-
Gymnodinium spp	-	0,0075	0,0060	0,0171	0,0402	0,0294	0,0130
<u>CYANOPHYCEES</u>							
Oscillatoria sp	-	-	-	0,0005	0,0036	-	0,0008
<u>EUGLENOPHYCEES</u>							
Eutreptiella braarudii	-	0,0023	0,0045	0,0278	0,0228	0,0598	0,0160
<u>CRYPTOPHYCEES</u>							
Cryptomonas sp	0,2272	0,1429	0,9580	1,3572	0,9622	2,1764	0,4664
TOTAL Biovolume mm^3/l	1,4731	0,1998	1,5847	1,5592	1,2821	2,3888	0,5217
INDICE DE DIVERSITE Biovolume	0.82	1.10	1.10	0.71	1.12	0.55	0.62

ESPECES	STATIONS						
	8	9	10	11	12	13	14
<u>DIATOMEES</u>							
Bacteriastrum hyalinum	-	-	-	-	-	-	-
Carataulina pelagica	0,0320	0,0012	0,0012	0,0010	0,0046	0,0048	0,0108
Chaetoceros sp	-	0,0001	-	-	-	-	-
Coscinodiscus oculus-iridis	-	-	-	-	-	-	-
Coscinodiscus sp	0,0002	-	-	-	-	-	-
Leptocylindrus minimus	0,0002	0,0004	0,0004	-	-	-	-
Melosira juergensi	-	-	0,0008	-	-	0,0002	-
Pleurosigma sp	0,0006	-	0,0012	0,0003	0,0003	0,0009	-
<u>DINOFLAGELLES</u>							
Ceratium furca	-	-	-	-	-	-	-
Gymnodinium spp	0,0169	0,0716	0,0147	0,0307	0,0409	0,0650	0,0956
<u>CYANOPHYCES</u>							
Oscillatoria sp	-	-	-	0,0020	0,0013	0,0003	-
<u>EUGLENOPHYCEES</u>							
Eutreptiella braarudii	0,0058	0,0666	0,0084	0,0057	0,0120	0,0213	0,0649
<u>CRYPTOPHYCEES</u>							
Cryptomonas sp	0,7436	4,2392	0,2218	0,5712	1,7184	9,0400	6,0000
TOTAL Biovolume mm^3/l	0,7993	4,3792	0,2426	0,6118	1,7775	9,1325	6,1713
INDICE DE DIVERSITE Biovolume	0.47	0.24	0.67	0.43	0.25	0.09	0.22

Tableau 16 - Biovolumes algaux (réseau)

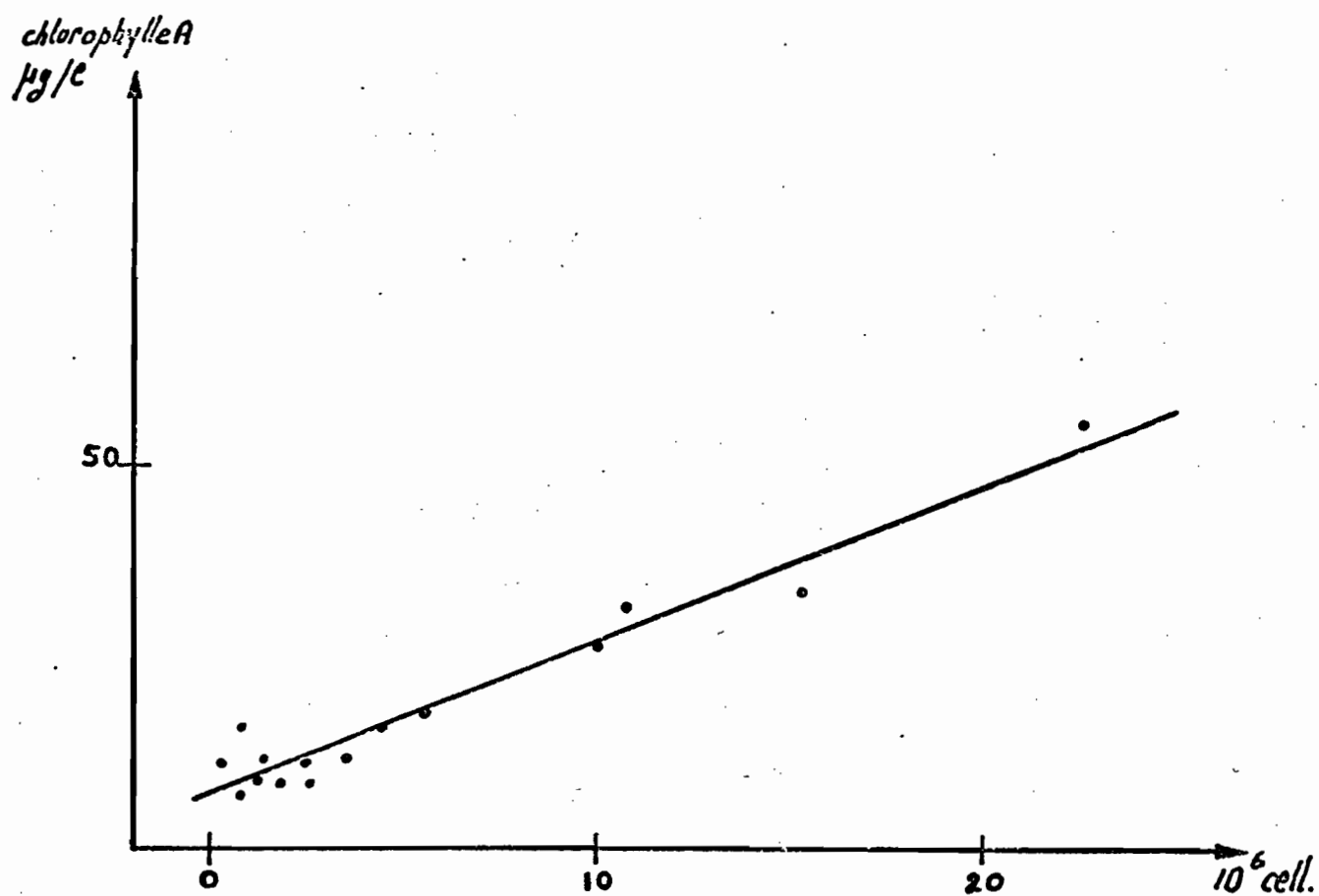


Fig. 34 - Droite de régression chlorophylle a-effectifs cellulaires (réseau)

Les Diatomées sont représentées par ordre d'importance décroissante par : Cerataulina pelagica, Chaetoceros sp, Leptocylinthus minimus, Coscinodiscus oculus-iridis, Coscinodiscus sp (de la série lineatus), Melosira juergensi, Bacteriastrum hyalinum, pour les centriques, et Pleurosigma sp, pour les pennées. Ce sont toutes des espèces marines qui semblent bien supporter des dessalures importantes. Cerataulina pelagica est citée par DANDONNEAU (1971) dans le plancton côtier ivoirien comme une espèce assez fréquente, favorisée par des apports terrigènes. VOLTOLINA (1975) la signale comme thermophile.

Les Dinoflagellés sont représentés par Ceratium furca (cité comme fréquent par DANDONNEAU, 1971) et Gymnodinium spp, espèces de petite taille qui se développent surtout en fond de baie. Apparaissent aussi une Cyanophycée du genre Oscillatoria et une Euglénophycée citée dans les séries quotidiennes : Eutreptiella braarudii.

Les indices de diversité spécifiques sont très faibles, en moyenne 0,48. L'extérieur de la baie présente la diversité la plus élevée : $I = 1,33$. Cependant, les indices calculés avec les biovolumes algaux donnent les diversités les plus élevées pour les stations 1, 2, 3 et 5. En moyenne, ils sont plus forts ($m = 0,60$) que ceux calculés avec les effectifs cellulaires, mais ils restent très faibles.

3.2 Traitement mathématique

3.2.1 Méthode utilisée

Le traitement utilisé ici, et dans tout le reste du travail, est celui des composantes principales. Il a pour but de condenser et de hiérarchiser l'information globale contenue dans un tableau de données (p, espèces phytoplanctoniques réparties dans n stations), difficilement manipulable, en déformant le moins possible la structure originelle.

Mathématiquement, cela correspond, à partir de l'une ou l'autre des deux matrices de corrélation $n \times n$ ou $p \times p$ (équivalentes), à chercher la matrice diagonale répondant à l'équation : $|R - \lambda I| = 0$, R étant la matrice de corrélation et I la matrice unité (d'ordre n, ou p, selon la matrice de corrélation considérée). Les valeurs propres (λ) obtenues et les vecteurs

propres correspondants définissent des axes linéairement indépendants : les composantes d'inertie. Les valeurs propres étant hiérarchisées, on se limite en général aux 5 à 6 premières composantes qui retirent la plus grande partie de l'information originelle. La représentation des vecteurs espèces (ou stations) dans l'espace des composantes principales se fait par projection de ces vecteurs dans les plans que forment les axes d'inertie pris deux à deux. La répartition des projections des vecteurs espèces (ou stations) reflète les liaisons existant entre les espèces (ou les stations), entre-elles, et celles existant entre les espèces (ou les stations) et les axes d'inertie. Une espèce (ou une station) est d'autant plus liée à un axe que sa contribution relative (carré de cosinus de l'angle de ce vecteur avec l'axe) est élevée. La contribution absolue d'une espèce (ou d'une station) à un axe, correspond à la part d'information amenée par la variable au nouvel axe. Une information triviale ou au contraire, originale, pourra amener une contribution absolue élevée, pouvant ainsi masquer la structure restante. Dans ce cas, on recommence l'analyse en considérant, si possible, cette espèce comme variable témoin supplémentaire intervenant sans masse dans l'analyse afin d'avoir une meilleure idée du reste de la structure. D'autres variables témoins peuvent être introduites sans masse dans l'analyse afin d'aider à l'interprétation des axes.

Pour pouvoir tester la significativité des composantes, l'hypothèse de multinormalité des distributions est nécessaire. Le non respect de cette multinormalité permet seulement de décrire une structure sans faire d'inférences sur les composantes. Nous avons effectué une transformation des données x en $\log (x + 1)$ afin d'homogénéiser les variances, bien que cela ne suffise pas pour obtenir la multinormalité de nos distributions.

Enfin, pour faciliter l'interprétation de l'analyse d'inertie, on superpose les deux espaces duaux des composantes principales (espèces et stations).

3.2.2 Résultats

L'analyse a porté sur 11 espèces phytoplanctoniques et sur 14 stations. Les paramètres, salinité, transparence des eaux et chlorophylle a , sont utilisés comme variables témoins intervenant sans masse dans l'analyse. Celle-ci a été effectuée deux fois : la première avec les effectifs cellulaires, la seconde avec les biovolumes. Les résultats obtenus étant identiques, nous présenterons ceux relatifs aux effectifs.

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

L'axe 1 (fig. 35) semble assimilable à un axe de pénétration des eaux "marines" ⁽¹⁾ dans la baie. En effet, dans l'espace des stations, les stations 1 et 3 (extérieur et entrée de baie) s'opposent au groupe des stations 9, 12, 13 et 14 (fond de baie). Dans l'espace des espèces, les espèces marines, Cerataulina pelagica, Coscinodiscus oculus iridis et Chaetoceros sp, s'opposent au groupe, Eutreptiella braarudii, Cryptomonas sp et Gymnodinium spp. La projection des variables témoins montre, à une extrémité de l'axe, la salinité et la chlorophylle a, à l'autre, la transparence (rappelons que l'extérieur de la baie est moins salé). L'axe 1 est donc bien un axe de pénétration des eaux "marines", lié 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 le fond de la baie l'est par des Euglénophycées, Cryptophycées et petits Dinoflagellés. Les cartes de répartition des espèces montrent aussi nettement l'incursion de ces eaux "marines" (fig. 33, 36). Cependant, l'analyse fait apparaître, en outre, que les espèces réparties dans toute la baie (fig. 33) sont plutôt caractéristiques de sa moitié orientale.

L'axe 2 est caractérisé à une extrémité par les stations 5 et 6 dans l'espace des stations et par les espèces, Coscinodiscus sp, Melosira juergensi et Leptocylindrus minimus, dans l'espace des espèces. L'interprétation de cet axe est 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 de renouvellement des eaux au cours d'un cycle de marée. Il est possible aussi que les développements importants du fond de la baie aient empêché ces Diatomées de s'y multiplier.

L'axe 3 de l'analyse (fig. 37) retire 15,9 % de la variance. Il fait apparaître une partition des stations : le groupe des stations 2, 5, 7, 8, 10, 11 et 12 s'opposant aux autres, 1, 3, 4, 6, 9, 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. L'axe 3 correspondrait à un gradient de richesse croissante : du rivage au milieu de la baie, les stations 2, 5 et 11 étant de plus à proximité des rejets importants. Dans l'espace des espèces, une des extrémités de l'axe apparaît caractérisée par Oscillatoria sp (CR = 0,47).

(1) Nous parlons d'eaux "marines" bien que le terme soit peut-être mal approprié en raison de la faible salinité de ces eaux (13‰). Cependant, elles sont directement sous l'influence océanique se faisant par le canal de Vridi et elles rendent compte de cette même influence dans la baie malgré la dilution.

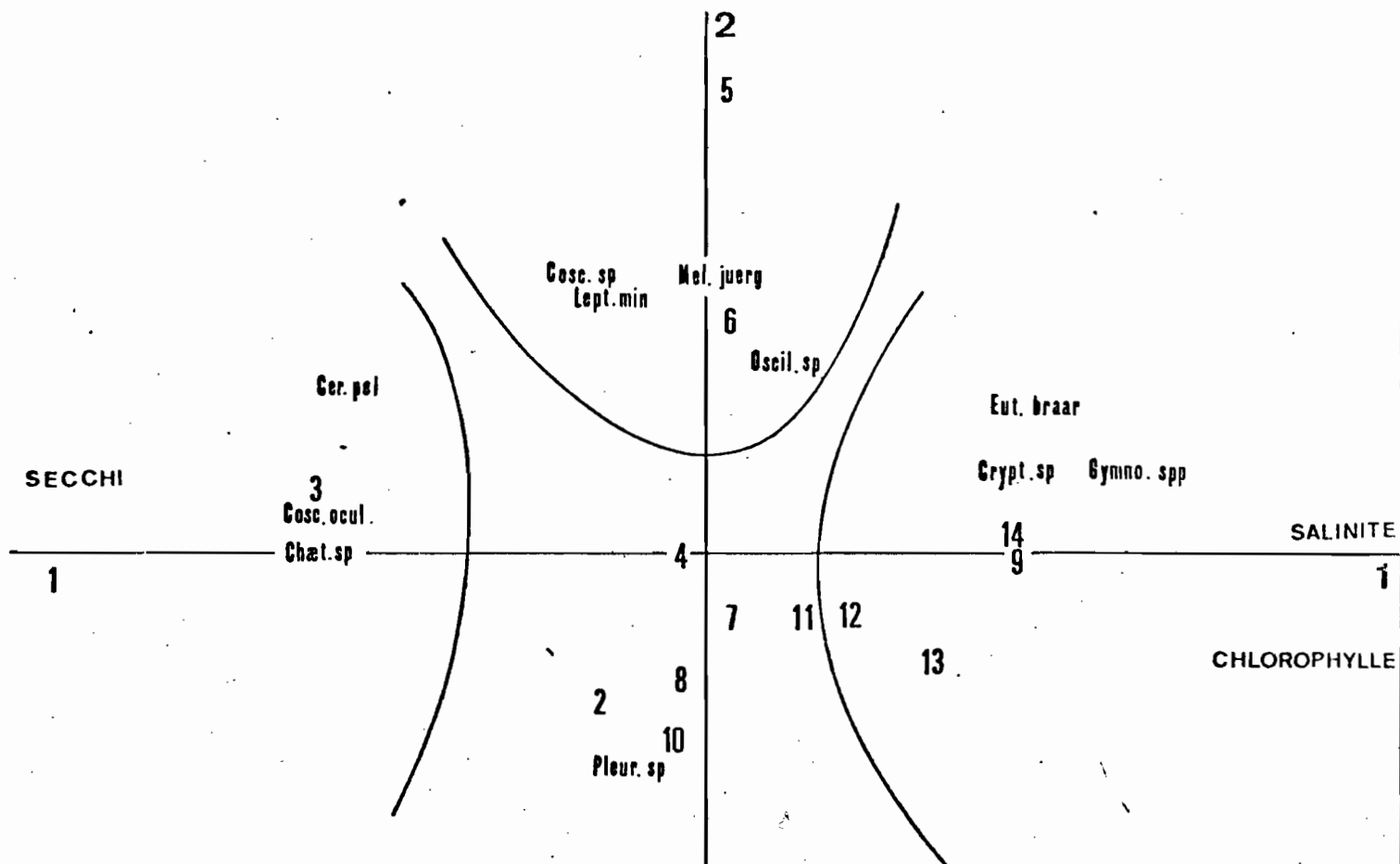


Fig. 35 - Plan 1-2 de l'analyse en composantes principales (réseau)

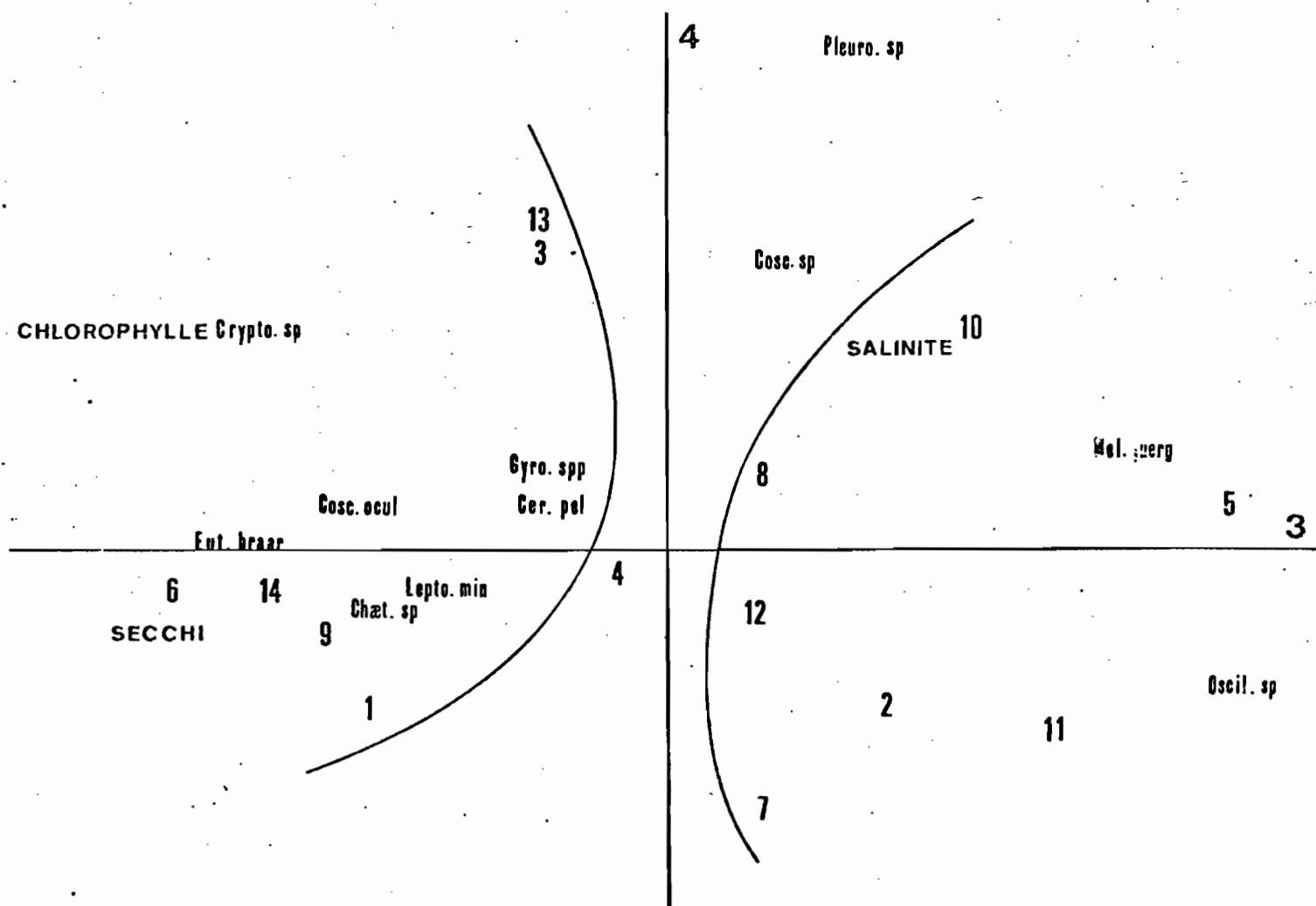


Fig. 37 - Plan 3-4 de l'analyse en composantes principales (réseau)

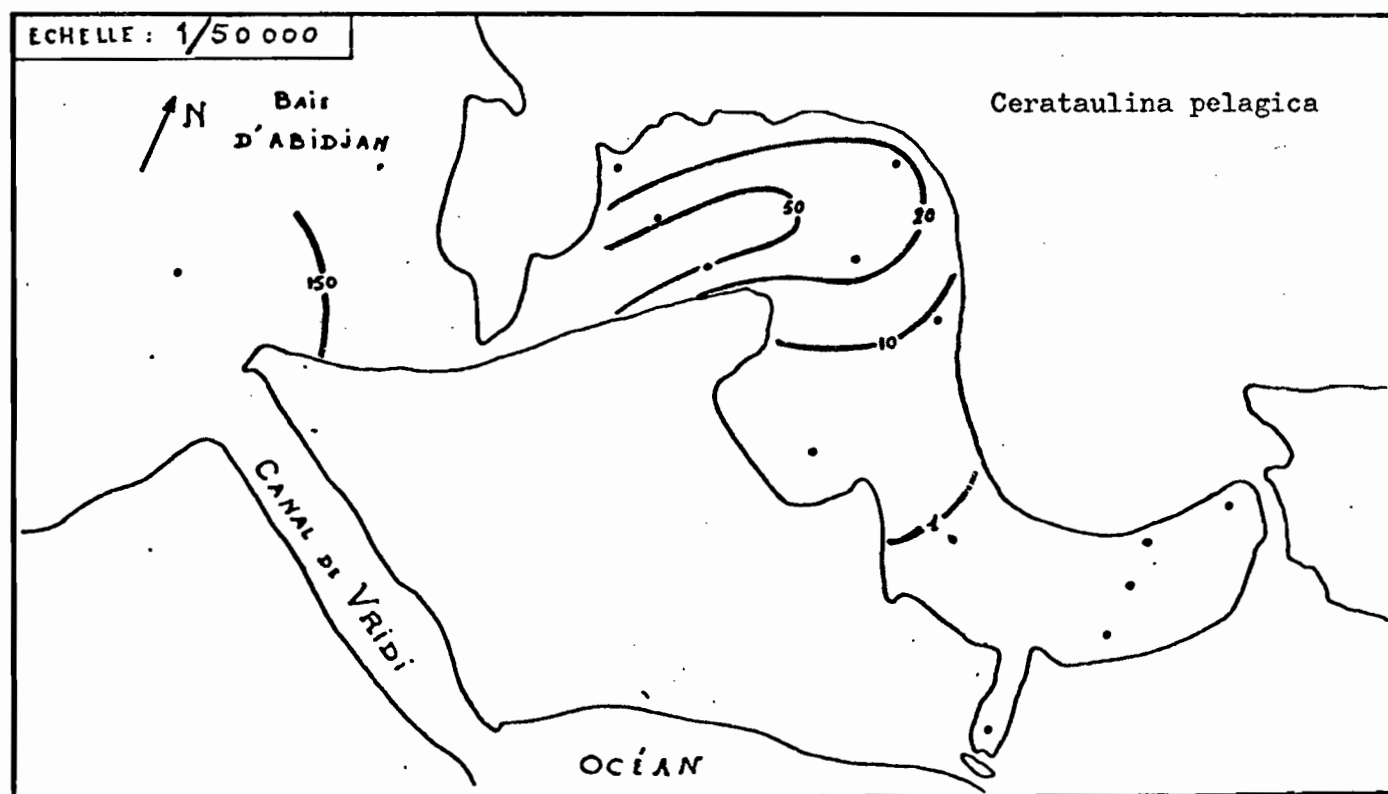
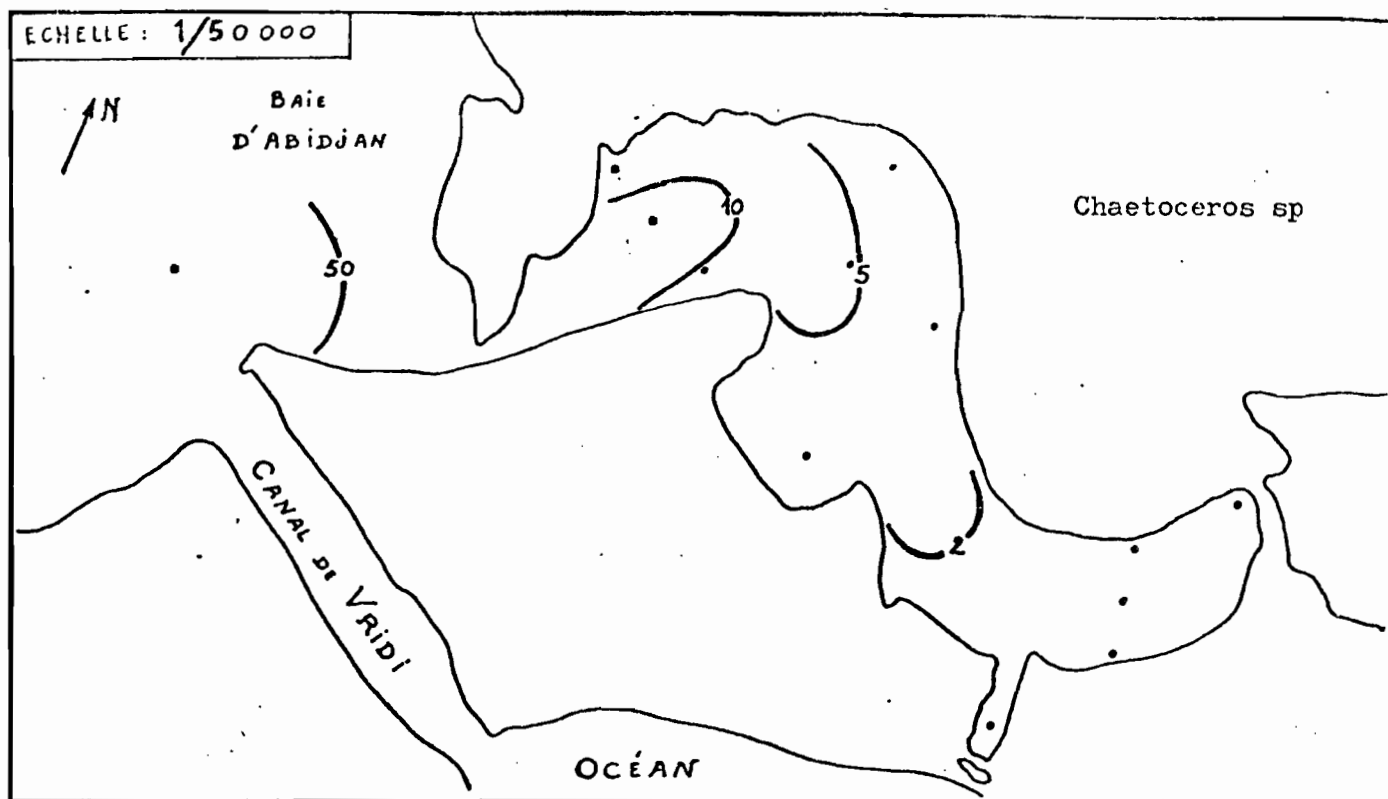


Fig. 36 - Isolignes des effectifs de Chaetoceros sp et Cerataulina pelagica (réseau)
(en 10^3 cell/l)

Les stations ayant les contributions relatives les plus fortes à cet axe sont la station 5 et la station 11 ($CR = 0,21$ et $CR = 0,42$) situées en face des 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.

3.3 Conclusion

Cette mission a confirmé l'aspect très eutrophe de la baie, particulièrement de son extrémité orientale, qui montre des développements algaux très importants, et qui du point de vue de l'analyse, est caractérisée par des espèces liées à la pollution : Euglénophycées, Cryptophycées et Dinoflagellés (Gymnodinium spp). Ces espèces semblent particulièrement pérennantes puisqu'elles ont déjà été trouvées lors des séries quotidiennes. L'influence de la pénétration "marine" a également été confirmée. Si la richesse de la baie peut être mise en rapport avec la stabilité du milieu, il est évident aussi que les nombreux déversements sont à l'origine d'une accentuation de l'eutrophie déjà naturelle à la lagune Ebrié. Afin de cerner de plus près l'impact de ces rejets sur les populations phytoplanctoniques, nous avons procédé à l'étude des principaux effluents.

CHAPITRE IV

INFLUENCE DES PRINCIPAUX REJETS EN BAIE DE BIETRI

1. METHODES UTILISEES

Dans le but de cerner l'impact sur le milieu des trois principaux effluents se déversant en baie de Biétri, nous avons effectué, d'une part, une étude in situ, d'autre part, une étude in vitro.

In situ, les missions effectuées dans les aires de déversements des rejets l'ont toutes été dans les conditions suivantes :

- réseau de stations constitué de plusieurs radiales convergeant vers le point de rejet. Les stations sont au plus espacées de quelques centaines de mètres, souvent moins.
- prélèvements de surface et analyses simultanées des divers paramètres.
- les sorties, effectuées le matin, en moins de quatre heures, sont centrées sur l'étiage de marée basse.

In vitro, les bioessais ont été réalisés sur les trois effluents, selon le protocole suivant :

- De l'eau de lagune est prélevée dans une zone réputée peu polluée (en dehors de la région urbaine). De l'eau de l'émissaire, fraîchement récoltée y est ajoutée moins de deux heures après, à différentes concentrations allant de 0 à 10^{-1} . Trois bocaux en verre ordinaire de 3 litres sont remplis pour chaque

concentration et mis en incubation à la lumière naturelle. Une circulation d'eau autour des bocal maintient leur température entre 25 et 27°C, soit approximativement la température des eaux de surface de la baie pour la période considérée.

L'effet du confinement sur la teneur en oxygène est limité par une aération forcée de chaque bocal trois fois par jour (bullage). Quotidiennement, les bocal "pollués" sontensemencés par inoculation de 1 ml d'eau des bocal non pollués (témoins) afin de simuler le mélange des espèces in situ.

Sur tout ou partie des bocal ont été réalisées les mesures suivantes : pH, teneur en sels nutritifs et chlorophylle a, estimation de la production primaire et de la respiration, dénombrements phytoplanctoniques. L'évolution des trois bocal d'une même concentration ayant été similaire, nous présenterons la moyenne des trois résultats obtenus. L'examen phytoplanctonique n'a cependant été effectué que sur un seul bocal.

2. ETUDE IN SITU

2.1 Rejet de l'huilerie-savonnerie

2.1.1 Généralités

Il s'agit d'une huilerie-savonnerie employant 477 personnes en 1974. Les matières premières et les produits fabriqués sont reportés dans le tableau suivant :

. Matières premières

- huile brute de palme	50.000 tonnes
- graines de coprah	6.000 tonnes
- graines de palmiste	2.000 tonnes
Total	58.000 tonnes

. Produits fabriqués

- huile alimentaire	24.000 tonnes
- huile de palme	15.000 tonnes
- savons, savonnettes	22.000 tonnes
- glycérine	11.000 tonnes
- huile de coprah	4.000 tonnes
- huile de palmiste	2.000 tonnes
- acides gras	10.500 tonnes
<hr/>	
Total	88.500 tonnes

Il s'agit d'un bilan annuel, ne tenant sans doute pas compte des variations de stocks.

Le rejet est constitué de 16.000 m³/jour d'eaux de refroidissement saumâtres et de condensation, non polluées, mélangées à 180 m³/jour d'eaux résiduelles de fabrication, polluées. Le seul procédé actuel d'épuration est une décoloration (le rejet de terres absorbantes utilisé dans la décoloration a été supprimé en 1974). La charge en matière oxydable (M.O) de l'effluent est estimée à 4.400 kg/jour.

(M.O = $\frac{DCO + 2 DBO_5}{3}$, d'après les textes applicables en France aux agences de bassin).

Elle est cependant très variable, la DBO₅ ayant été mesurée entre 100 et 6.880 mg/l. Le volume des eaux usées de l'usine représente 1/1000^e du volume des eaux de la baie. Ce chiffre, bien que basé sur plusieurs estimations, donne cependant une idée de l'importance du déversement pour l'écologie de la baie. Les eaux résiduelles contiendraient d'après FRANCOIS (1974) des acides gras, glycérols, savons, huiles, soude, sels minéraux, stérols, phénols, terpènes et hydrocarbures aliphatiques. Leur pH est variable, mais dans l'ensemble élevé comme le montre le tableau suivant :

Date (1976)	23/08	1/09	22/11	23/11	25/11	30/11	10/12
pH	12,15	12,04	7,65	7,06	10,4	11,55	12,05

Elles contiennent aussi des sels nutritifs en quantité. Nous avons mesuré jusqu'à 244 µ atg/l d'azote minéral dissous.

2.1.2 Etude d'une radiale

Les résultats sont reportés au tableau 17.

Une mission a été réalisée le 12 Août 1976 à proximité du rejet de l'usine (fig. 38). La sortie a été effectuée en trois heures, à marée descendante de vives eaux, un vent de secteur Sud-Sud-Ouest de 5 m/s poussant les eaux sales vers le Nord-Est. Les résultats en seront exposés succinctement, seuls quelques prélèvements phytoplanctoniques ayant pu faire l'objet d'un dénombrement cellulaire.

La salinité au cours de cette sortie, était de 12,5‰ en moyenne. Légèrement plus faible à l'émissaire (12‰), elle augmente jusqu'à 13‰ à la station 5 (fig. 39). Les eaux de rejet de l'industrie sont saumâtres et de même salinité que celles de la baie. Cependant, des eaux douces résiduelles y sont ajoutées, ce qui explique la très légère dessalure.

La transparence des eaux n'a pu être mesurée au rejet en raison des fonds situés à 50 cm, toutefois, signalons que les eaux sales sont reconnaissables à leur couleur blanche caractéristique. En s'éloignant, la profondeur de disparition du disque de Secchi prend des valeurs de 130 à 150 cm.

Les taux de chlorophylle a croissent régulièrement de l'égout jusqu'à une distance de 250 m environ (16 μ g/l), puis diminuent (5 μ g/l) à 1.200 m (fig. 39).

L'action de l'effluent, vérifiée par d'autres études (DUFOUR, com. pers.), est de deux types : à des concentrations élevées, il est toxique, puis, suffisamment dilué, il a un effet eutrophisant qui se répercute sur les populations phytoplanctoniques.

Lors de cette sortie, ces deux aspects n'apparaissent pas très nettement en raison du vent qui pousse les populations phytoplanctoniques vers l'émissaire. Ainsi, les maxima de phytoplancton sont obtenus dans un rayon de 100 m autour du point de rejet (fig. 39). La station 1, cependant, présente des effectifs très faibles. Il faut toutefois noter que la charge en particules détritiques de l'effluent rend difficile le comptage des petites espèces qui dominent toujours dans la baie.

ESPECES	STATIONS				
	1	2	3	4	5
<u>DIATOMÉES</u>					
Coscinodiscus oculus-iridis	300 0,0165	220 0,0121	300 0,0165	120 0,0066	80 0,0044
Leptocylindrus minimus	-	1.640.000 0,0984	1.568.000 0,0955	1.436.000 0,0862	870.000 0,0162
Melosira juergensi	40 0,0002	80 0,0005	80 0,0005	140 0,0003	80 0,0005
Nitzschia paradoxa	-	60 0,0001	-	-	1.210 0,0018
Nitzschia rigida	-	20	-	-	200 0,0003
<u>DINOFILAGELLES</u>					
Ceratium furca	40 0,0020	40 0,0020	80 0,0040	20 0,0010	-
Gymnodinium spp	-	52.000 0,0169	164.000 0,0533	56.000 0,0182	7.983 0,0026
Peridinium spp	-	696.000 0,3480	644.000 0,3220	356.000 0,1780	51.471 0,0257
<u>EUGLENOPHYCEES</u>					
Eutreptiella braarudii	-	12.800 0,0218	20.400 0,0347	2.680 0,0046	760 0,0013
Eutreptiella sp	-	20.000 0,0080	4.000 0,0016	19.000 0,0076	3.570 0,0014
<u>CRYPTOPHYCEES</u>					
Cryptomonas sp	-	764.000 0,3056	916.000 0,3664	500.000 0,2000	65.120 0,0251
TOTAL Cellules c/l	380	3.185.220	5.336.860	2.369.960	400.410
TOTAL Biovolume mm ³ /l	0,0187	0,8134	0,8942	0,5030	0,0803
Indice de diversité cellules	0,95	1,64	1,75	1,52	1,42
Indice de diversité biovolume	0,59	1,86	1,99	1,94	2,31
<u>PARAMETRES</u>					
Distance à l'émissaire m	30	110	110	250	1.210
Secchi cm		90	130	130	140
Salinité ‰	12	13	12,5	12,5	13
Chlorophylle a /l	13.98		15.28	15.93	5.28

Tableau 17 - Numérations cellulaires et biovolumes algaux
(rejet de l'huilerie-savonnerie)

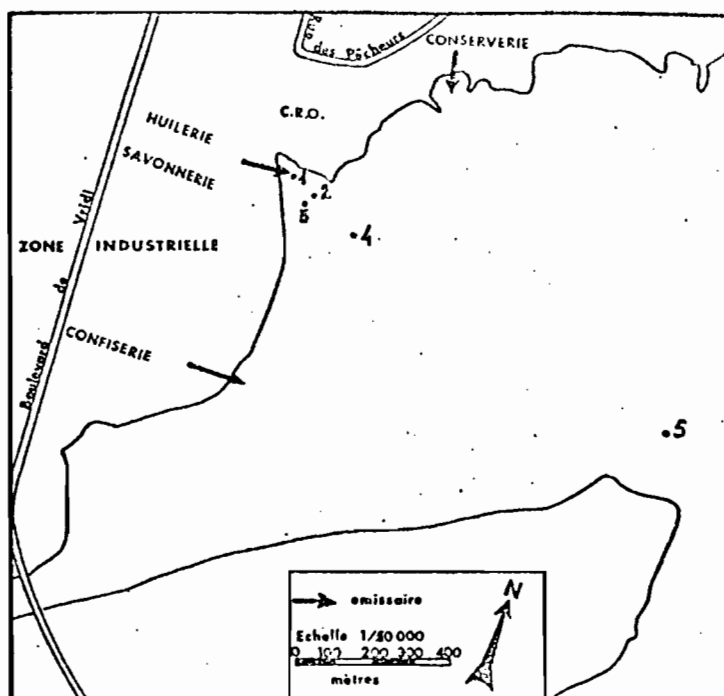


Fig. 38 - Position des stations (rejet de l'huilerie-savonnerie)

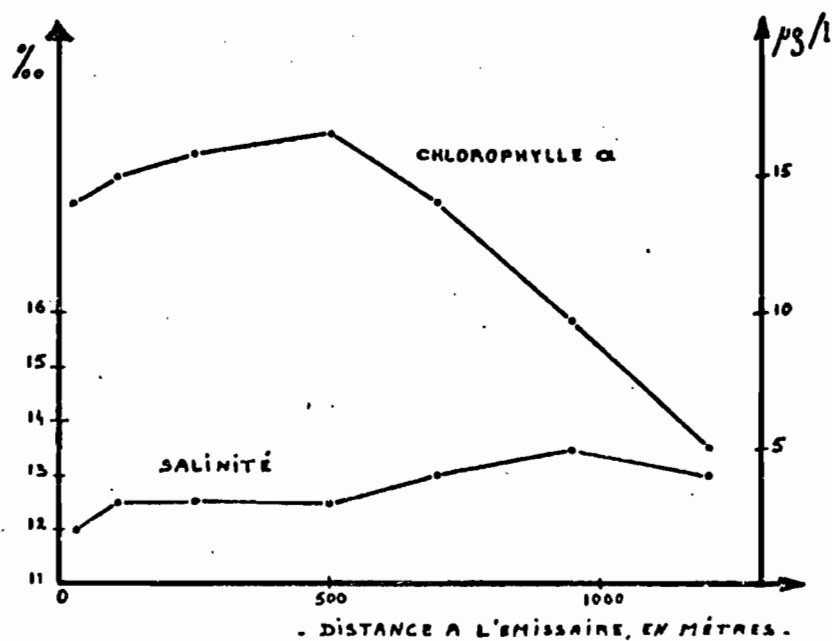
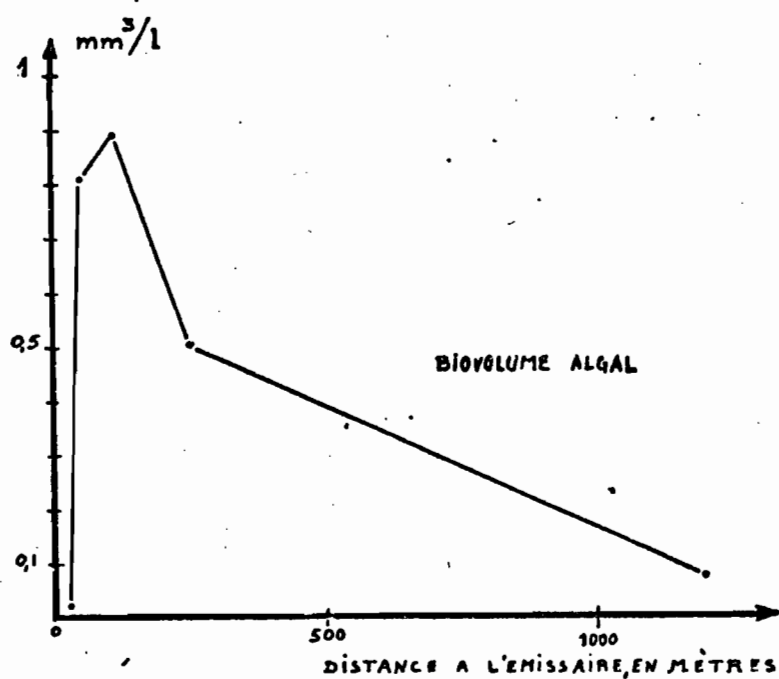


Fig. 39 - Salinités, teneurs en chlorophylle a et biovolumes algues (rejet de l'huilerie-savonnerie)

D'un point de vue qualitatif, 11 espèces phytoplanctoniques ont été répertoriées au cours de cette mission. L'essentiel de la population est constitué par : Leptocylindrus minimus, Cryptomonas sp, Peridinium spp et Gymnodinium spp, tous de petite taille. Les indices de diversité sont plus forts à distance de l'émissaire (2,31 à 1.200 m contre 0,59 et 2 dans un rayon de 250 m) (tableau 17).

L'impact de l'effluent est sans doute très important sur l'écologie du milieu. Cependant, sa situation géographique à l'entrée de la baie diminue son influence, particulièrement lors des marées de vives eaux où le balayage et le renouvellement des eaux sont relativement intenses.

2.2 Le rejet de la teinturerie industrielle

2.2.1 Généralités

Il s'agit d'une teinturerie industrielle sur coton. C'est la principale industrie aboutissant à l'égout de la rue Thomas Edison qui se jette dans la baie de Biétri. Les rejets sont estimés à 1.440 m³/jour. Les opérations débutent par un lavage à l'aide d'agents tensio-actifs et de lessives entraînant une forte charge des eaux résiduaires en détergents. Le coton est ensuite teint en milieu basique avec un traitement de mordantage, à l'aide de dérivés phénoliques ou à l'acide tannique. Les bains de cuve apportent de la lessive de soude, de l'hydrosulfite, du sulfate d'ammonium, etc... Les bains de colorant soufrés utilisés pour teindre les cotons sans mordantage, contiennent du sulfure de sodium, du carbonate de calcium et du chlorure de sodium.

D'une manière générale, les rejets de la teinturerie sont donc chargés de produits de façon irrégulière, selon les opérations effectuées. D'après la direction de l'usine, il est procédé avant rejet, à une décantation des eaux résiduaires, puis à une filtration, et enfin à un passage dans un oxydateur rotatif. D'après NOVO (1974), le rejet de matière oxydable est estimé à 481 kg/jours.

La température des eaux résiduaires est de 32°C, leur pH de 11,5. Le rejet contient de fortes quantités de sels nutritifs : 340 µatg/l d'azote minéral dissous (sous forme de NO₃, NO₂, NH₃) et 40 µatg/l de phosphate minéral dissous.

Des analyses effectuées par le service de l'environnement industriel (Ministère des Travaux Publics de Côte d'Ivoire) donnent pour les métaux lourds : Co = 0,4 mg/l, Cr = 0 mg/l, Cu = 0,2 mg/l, Mn = 0,3 mg/l, Ni = 0,2 mg/l, Pb = 0 mg/l, Zn = 1,8 mg/l, Mg = 3,4 mg/l.

D'autres industries rejettent également dans le secteur considéré :

- une fabrique de chaussures en matière plastique : rejet de 80 m³/jour, dont 20 kg/jour de matière oxydable dans le même égout.
- une laiterie (55 m³/jour, dont 20 kg/jour de M.O) et une fabrique d'allumettes (15 kg/jour de M.O) rejettent à 400 mètres à l'Ouest de l'émissaire étudié.
- une industrie textile (144 m³/jour, dont 16 kg de M.O) à 200 m au Sud.
- une fabrique de cacao (165 kg de M.O/jour) et un garage (14 kg de M.O/jour) à 500 m au Sud.

On peut considérer cependant que les observations faites à proximité des points de rejet sont dues principalement à la teinturerie industrielle (sauf peut-être au niveau de la chocolaterie). La pollution engendrée par cette industrie textile est de deux types : pollution organique (due à la forte charge en matière oxydable), pollution chimique (détergents, métaux lourds et pH élevé).

2.2.2 Etude d'un réseau de trois radiales (21 stations)

Un réseau de trois radiales principales, convergeant sur l'émissaire de la rue Thomas Edison, a été prospecté en 4 heures, le 19 Septembre 1976, à l'étiage de marée basse. Une station référence a été choisie en dehors de la baie, au débouché en lagune du canal de Vridi (fig. 40). Les paramètres, transparence des eaux, salinité, oxygène dissous, phosphates, chlorophylle a, production primaire, respiration et phytoplancton, ont été étudiés. Il convient de préciser l'échelle des prélèvements : la station la plus éloignée de l'émissaire est à 1,2 km, les autres sont à une distance comprise entre 0 et 700 m.

2.2.2.1 Variation des paramètres

Les valeurs de la profondeur de disparition du disque de Secchi sont dans l'ensemble faibles, comme dans toute la lagune ; à proximité de l'émissaire, elles ne dépassent pas 60 cm. Notons que les eaux résiduaires

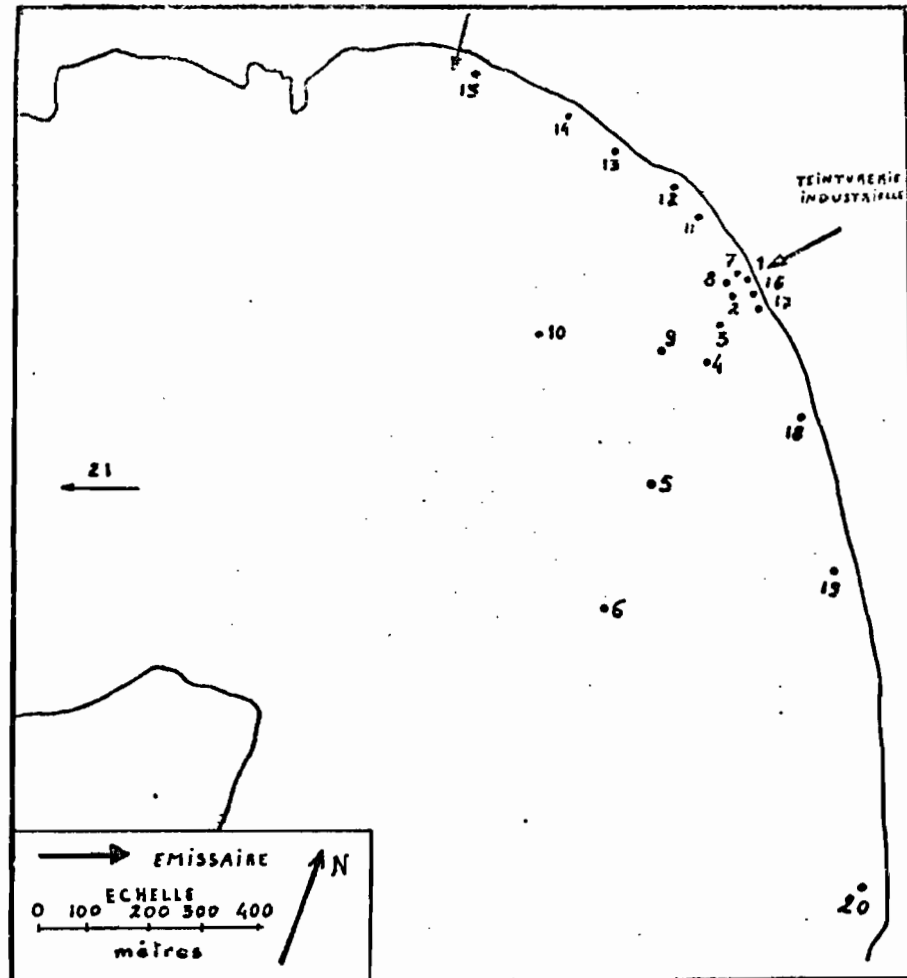


Fig. 40 - Position des stations (rejet de la teinturerie industrielle)

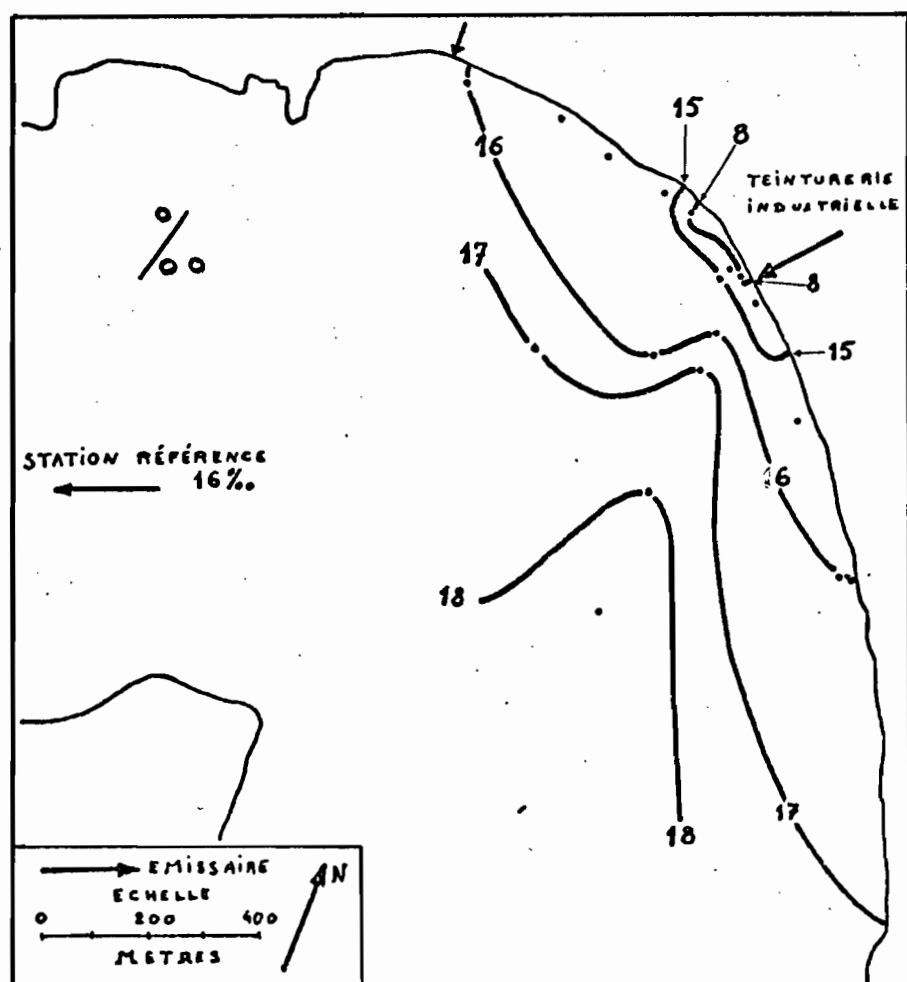


Fig. 41 - Isohalines (rejet de la teinturerie industrielle)

de l'industrie textile sont bien reconnaissables à leur couleur bleue (le prélèvement de la station 1 n'a d'ailleurs pas pu être compté : disparition du disque de Secchi à 15 cm). Les valeurs augmentent régulièrement avec l'éloignement de l'égout jusqu'à 140 cm.

La salinité (fig. 41) varie de 8 à 18‰. Les stations proches de l'émissaire présentent une dessalure plus ou moins marquée (les stations 1, 2, 7, 8, 11, 16 et 17 ont une salinité inférieure à 15‰). Les isohalines s'écrasent le long de la côte. Une pénétrante légèrement plus salée se manifeste cependant le long de la radiale 6, 5, 4, 3, 2, 1. On peut voir là l'influence, sous l'action du vent, du fond de baie plus salé (18‰) que l'extérieur de la baie (station référence 16‰).

Dans les stations proches de l'émissaire (1, 2, 7, 8, 11, 16 et 17), les teneurs en oxygène dissous sont nulles. Ensuite, elles augmentent progressivement avec l'éloignement du point de rejet (fig. 42) jusqu'à atteindre des taux montrant une oxygénation normale du milieu (7 à 8 mg/l), le taux de saturation étant de 7 mg/l (soit 5 ml/l) à 16‰ et 27°C. Cette valeur est atteinte à une distance de l'égout plus élevée vers le Sud que vers le Nord, la station 15 présentant cependant un taux légèrement plus faible (6,35 mg/l).

Les teneurs élevées en phosphates sont localisées autour de l'égout (4 μ atg/l). Dans les stations éloignées de l'émissaire, elles sont plus faibles, mais restent cependant fortes (0,6 μ atg/l). La station 15 montre un taux légèrement supérieur (1,4 μ atg/l). Les isolignes de phosphates (fig. 43) montreraient un écoulement préférentiel de la nappe d'eaux usées le long de la radiale 3, 4, 5, 6.

Les taux de chlorophylle a varient de 1,68 μ g/l (station 1) à 52,26 μ g/l (station 19). Plutôt faibles à l'égout, ils augmentent le long de chaque radiale (stations 3, 4, 13, 14, 18, 19), puis chutent à nouveau (stations 5, 6, 15, 20) (fig. 44). La production primaire suit les mêmes variations, en passant d'une production nulle à une production maximale en station 19 (1,06 mg $O_2 \cdot h^{-1} \cdot l^{-1}$, soit 477 mg $C \cdot h^{-1} \cdot m^{-3}$). Le maximum de la station 19 serait peut-être à rapprocher des déversements de la chocolaterie s'effectuant à ce niveau.

L'ensemble de ces résultats montrerait un écoulement préférentiel de la nappe vers le Sud, le long de la côte (radiale 18, 19, 20) : les forts développements phytoplanctoniques peuvent en effet expliquer la faiblesse des teneurs en phosphates. Secondairement, il y aurait aussi un écou-

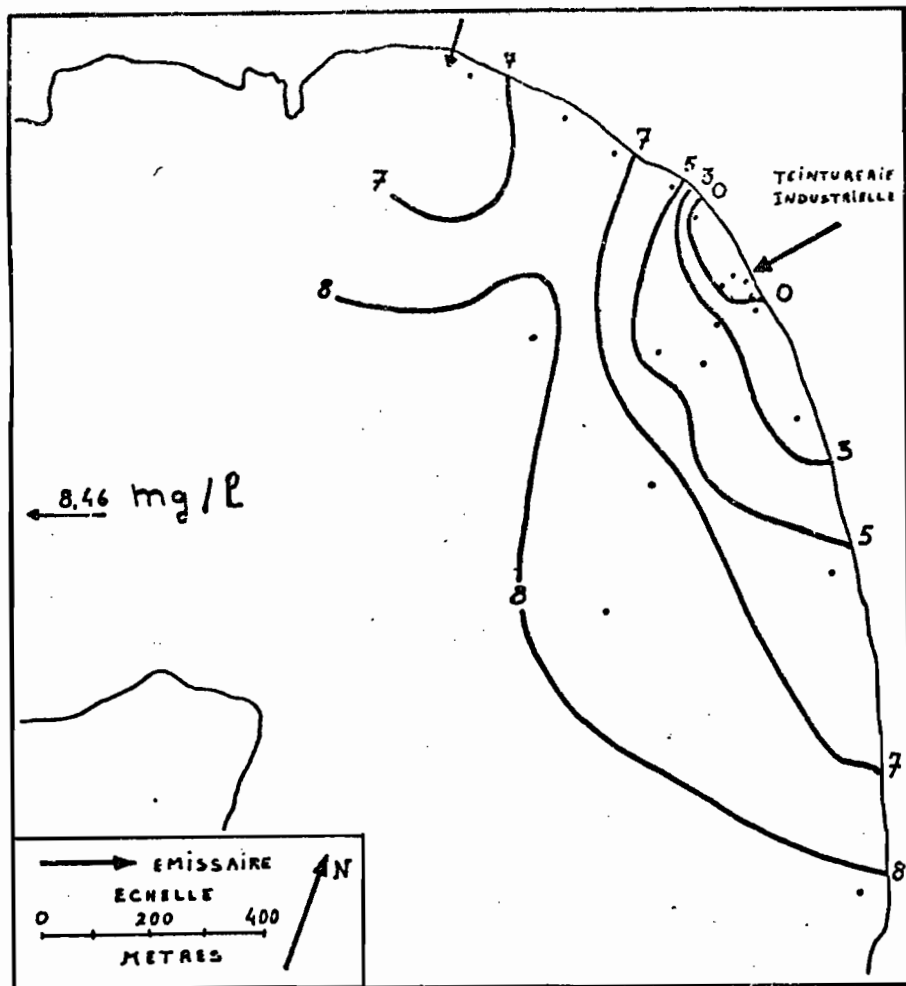


Fig. 42 - Isolignes des teneurs en oxygène dissous (rejet de la teinturerie industrielle)

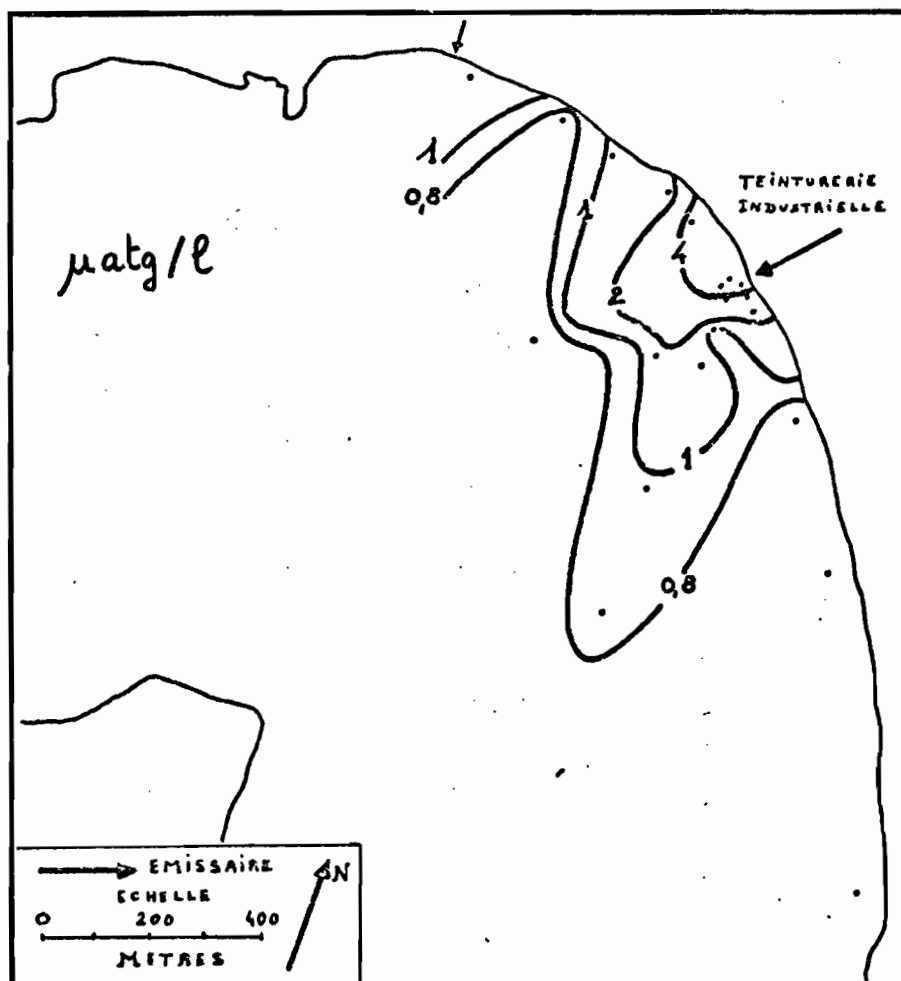


Fig. 43 - Isolignes des teneurs en phosphates (rejet de la teinturerie industrielle)

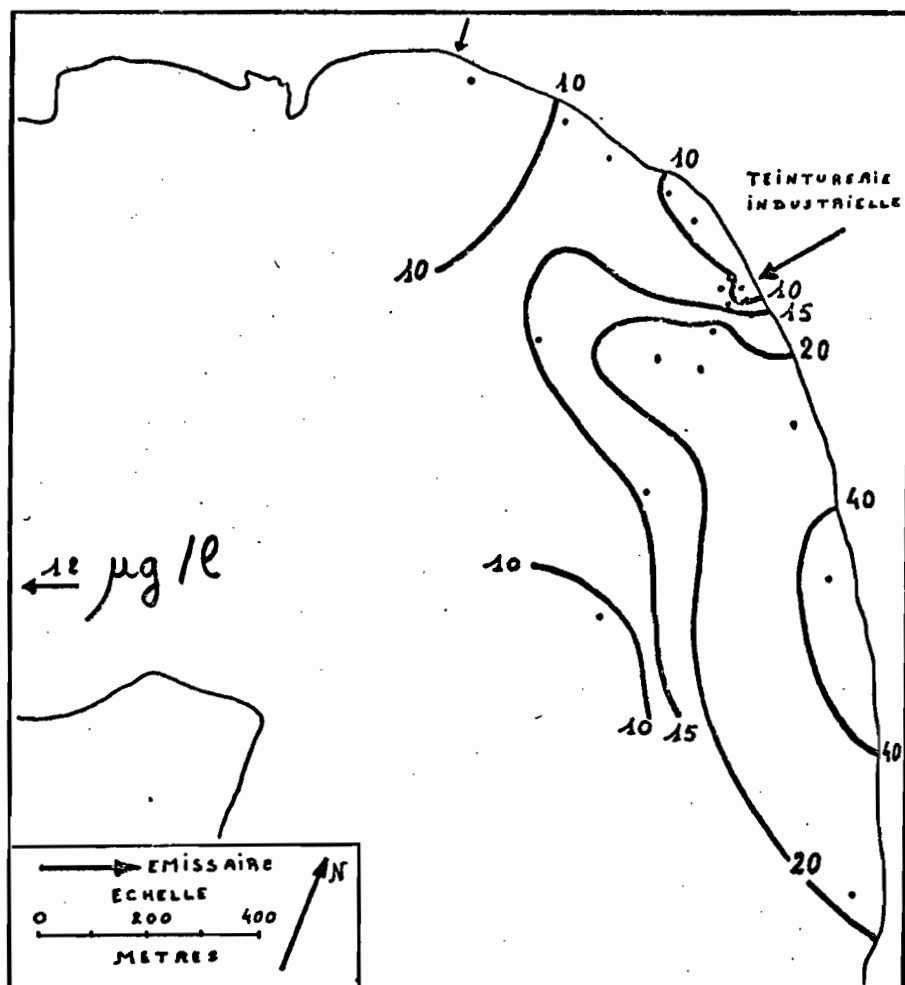


Fig. 44 - Isolignes des teneurs en chlorophylle a
(rejet de la teinturerie industrielle)

lement le long de la radiale 3, 4, 5, 6, l'influence du fond de baie y augmentant cependant la salinité.

2.2.2.2 Le phytoplancton

Les résultats sont reportés aux tableaux 18 et 19. Le prélèvement de la station 9 n'a pu être examiné.

► Aspect quantitatif

Les effectifs cellulaires et les biovolumes suivent la même répartition que la chlorophylle a (fig. 45). On trouve d'ailleurs d'excellentes corrélations, chlorophylle-nombre de cellules ($r = 0,79^{+++}$), chlorophylle-biovolume ($r = 0,91^{+++}$), production brute-nombre de cellules ($r = 0,73^{++}$) et production brute-biovolume ($r = 0,75^{++}$). Les effectifs cellulaires varient de 470.000 cell/l à la station 16, à 21 millions cell/l à la station 19, ce qui correspond respectivement à des biovolumes de $0,041 \text{ mm}^3/\text{l}$ et $6,69 \text{ mm}^3/\text{l}$.

► Aspect qualitatif

Au cours de cette mission, il a été répertorié 28 espèces phytoplanctoniques dont 7 constituent l'essentiel de la population ; citons par ordre d'importance :

- une Cryptophycée (photo 1) : Cryptomonas sp qui, responsable du bloom du réseau du 3 septembre, s'est maintenu en quantité importante jusqu'au 17.
- une très petite Diatomée centrique, sans doute du genre Cyclotella, qui d'après MARGALEF (1969), présente fréquemment une réduction de taille en lagunes.
- une autre Diatomée centrique, plus grosse que la précédente et sans doute du genre Thalassiosira.
- deux genres de petits Dinoflagellés, Gyrodinium spp et Peridinium spp.
- des Flagellés verts : Chlamydomonas sp et Tetraselmis sp. Leur détermination a été délicate, cependant, les individus trouvés lors de cette sortie se rapprochaient, autant que la fixation permettait de le voir, des deux genres cités. Chlamydomonas est un genre principalement d'eau douce, très diversifié, bien que quelques unes des espèces soient complètement marines (BUTCHER, 1959). En revanche, Tetraselmis est un genre caractéristiquement euryhalin (BUTCHER, 1959).

ESPECES	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
DIATOMÉES										
Amphiprora sp	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-
Cerataulina pelagica	-	-	20	20	80	-	-	-	-	100
Cocconeodiscus oculus-iridis	-	40	300	300	400	100	80	40	160	-
Cyclotella sp	-	1050.000	6288.000	7.437.000	6.607.000	2531.000	1.369.000	1.147.000	16.200.000	399.600
Cyclotella stylorum	-	-	1.160	1.200	3.720	2.180	520	600	2.780	400
Fragilaria sp	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-
Gyrosigma sp	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-
Licmophora sp	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-
Melosira juergensi	-	240	1.020	2.000	280	-	8.460	1.680	20	5.300
Navicula sp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitzschia longissima	-	20	140	520	160	200	160	-	-	-
Nitzschia obtusa	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-
Nitzschia paradoxa	-	80	-	-	160	480	200	-	-	-
Nitzschia rigida	-	-	120	220	80	220	-	-	-	100
Pleurosigma sp	-	20	60	60	20	100	-	-	-	-
Rhizosolenia fragilissima	-	-	-	660	1.300	240	-	-	-	-
Thalassiosira sp	-	241.000	293.118	431.000	410.000	156.000	111.000	74.000	1.147.000	59.200
DINOFLAGELLÉS										
Ceratium furca	-	-	-	80	20	-	-	-	140	-
Dinophysis spp	-	-	-	40	20	-	-	-	80	-
Gyrodinium spp	-	20.000	150.000	150.000	200.000	180.000	20.000	37.000	222.000	-
Peridinium spp	-	-	189.000	273.000	157.000	52.000	-	37.000	185.000	3.700
Prorocentrum micans	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prorocentrum sp	-	-	-	-	-	-	-	-	180	-
CRYPTOPHYTES										
Cryptomonas sp.	-	-	4210.000	7.353.000	1.954.000	1.176.470	296.000	592.000	3922.000	11.100
CYANOPHYTES										
Lyngbia sp	-	-	-	-	-	-	40	-	-	-
Oscillatoria sp	-	200	360	160	20	120	840	1.000	-	600
CHLOROPHYTES										
Chlamydomonas sp	-	600.000	800.000	366.000	-	-	481.000	1.110.000	-	277.500
Tetraselmis sp	-	100.000	600.000	600.000	170.000	150.000	185.000	550.000	-	11.100
TOTAL Cellules c/1	-	2011.600	13034298	16615.266	9.504.200	1.249.210	2.472.380	3.550.320	1679.400	768.700
Indice de Diversité cellule	-	1.66	1.76	1.63	1.36	1.59	1.88	2.16	1.11	1.59
ESPECES	ESPECES									
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
DIATOMÉES										
Amphiprora sp	-	120	440	480	-	40	-	-	-	-
Cerataulina pelagica	20	120	-	-	140	-	-	-	-	-
Cocconeodiscus oculus-iridis	20	80	80	160	20	-	-	80	160	240
Cyclotella sp	1998.000	4481.000	2.405.000	851.000	420.000	888.000	3245.000	4.080.000	2160.000	2275.000
Cyclotella stylorum	820	2.120	1.320	880	300	720	1.400	120	600	3.600
Fragilaria sp	160	560	1.160	680	-	-	-	-	-	-
Gyrosigma sp	-	160	200	200	20	-	-	-	-	-
Licmophora sp	120	-	240	160	-	-	40	-	-	-
Melosira juergensi	14.800	1.760	10.880	4.860	420	1.080	1.600	20	-	-
Navicula sp	280	240	80	40	60	280	120	-	-	-
Nitzschia longissima	80	1.080	8.440	6.200	-	40	160	-	-	-
Nitzschia obtusa	-	200	80	160	-	-	-	-	-	-
Nitzschia paradoxa	280	7.960	1.880	440	-	200	120	20	-	-
Nitzschia rigida	260	680	800	720	-	360	160	-	-	-
Pleurosigma sp	80	360	320	80	20	-	-	20	-	-
Rhizosolenia fragilissima	-	320	240	200	-	-	80	-	40	-
Thalassiosira sp	185.000	370.000	48.000	71.000	35.560	148.000	296.000	240.000	660.000	1369.000
DINOFLAGELLÉS										
Ceratium furca	40	160	40	-	-	-	-	-	-	-
Dinophysis spp	-	-	-	40	-	-	40	-	-	40
Gyrodinium spp	37.000	185.000	185.000	222.000	-	37.000	185.000	120.000	660.000	-
Peridinium spp	48.000	37.000	37.000	37.000	-	-	-	300.000	660.000	-
Prorocentrum micans	60	400	80	-	20	80	-	-	-	-
Prorocentrum sp	20	80	40	40	-	-	40	-	40	120
CRYPTOPHYTES										
Cryptomonas sp.	2590.000	2368.000	1.480.000	925.000	740	148.000	3145.000	15.180.000	8260.000	259.000
CYANOPHYTES										
Lyngbia sp	-	-	-	-	-	40	40	-	-	-
Oscillatoria sp	280	280	440	480	260	400	480	40	-	-
CHLOROPHYTES										
Chlamydomonas sp	-	-	-	-	16.200	1332.000	518.000	-	-	-
Tetraselmis sp	318.000	481.000	296.000	518.000	-	259.000	740.000	960.000	1480.000	-
TOTAL Cellules c/1	5483.320	2638.580	4.477.760	2642.820	473.760	2815.240	8033.280	20880.300	14580.840	1407.000
Indice de Diversité cellules	1.73	1.65	1.64	2.11	0.65	1.90	1.94	1.20	1.83	1.19

Tableau 18 - Numérations cellulaires (rejet de la teinturerie industrielle)

ESPECES	STATIONS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
DIATOMÉES										
Amphiprora sp	-	-	-	-	-	-	0,0060	-	-	-
Cerataulina pelagica	-	-	0,0002	0,0002	0,0006	-	-	-	-	0,0008
Coscinodiscus oculus-iridis	-	0,0022	0,0165	0,0165	0,0220	0,0055	0,0044	0,0022	0,0088	-
Cyclotella sp	-	0,0420	0,2715	0,2948	0,2543	0,1012	0,0548	0,0459	0,6480	0,0150
Cyclotella stylorum	-	-	0,0081	0,0084	0,0260	0,0153	0,0036	0,0042	0,0195	0,0028
Fragilaria sp	-	-	-	-	-	-	0,0006	-	-	-
Gyrosigma sp	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0003	-
Licmophora sp	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0003	-
Melosira juergensi	-	0,0014	0,0051	0,0120	0,0017	-	0,0508	0,0101	0,0001	0,0318
Navicula sp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nitzschia longissima	-	-	0,0001	0,0002	0,0001	0,0001	0,0001	-	-	-
Nitzschia obtusa	-	-	-	-	-	0,0005	-	-	-	-
Nitzschia paradoxa	-	0,0001	-	-	0,0003	0,0008	0,0003	-	-	-
Nitzschia rigida	-	-	0,0002	0,0003	0,0001	0,0003	-	-	-	0,0002
Pleurosigma sp	-	0,0003	0,0009	0,0009	0,0003	0,0015	-	-	-	-
Rhizosolenia fragilissima	-	-	-	0,0010	0,0020	0,0004	-	-	-	-
Thalassiosira sp	-	0,0795	0,0970	0,1422	0,1353	0,0515	0,0366	0,0244	0,3785	0,0195
DINOFLAGELLES										
Ceratium furca	-	-	-	0,0040	0,0010	-	-	-	0,0070	-
Dinophysis spp	-	-	-	0,0010	0,0005	0,0005	-	-	0,0020	-
Gyrodinium spp	-	0,0200	0,1500	0,1500	0,2000	0,1800	0,0200	0,0370	0,2220	-
Peridinium spp	-	-	0,0945	0,1365	0,0785	0,0260	-	0,0185	0,0093	0,0019
Prorocentrum micans	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Prorocentrum sp	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0022	-
CRYPTOPHYCEES										
Cryptomonas sp.	-	-	1,6840	2,9412	0,7816	0,4706	0,1184	0,2368	1,5688	0,4440
CYANOPHYCEES										
Lyngbia sp	-	-	-	-	-	-	0,0005	-	-	-
Oscillatoria sp	-	0,0026	0,0047	0,0021	0,0003	0,0016	0,0109	0,0013	-	0,0078
CHLOROPHYCEES										
Chlamydomonas sp	-	0,0600	0,0800	0,0360	-	-	0,0481	0,1110	-	0,0278
Tetraselmis sp	-	0,0100	0,0600	0,0600	0,0170	0,0150	0,0185	0,0550	-	0,0001
TOTAL Biovolume mm ³ /l	-	0,2182	2,4737	3,8106	1,5315	0,8707	0,3677	0,5581	2,8665	0,1120
Indice de Diversité	-	2.25	1.75	1.37	2.15	2.02	2.82	2.55	1.77	2.60
ESPECES	STATIONS									
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
DIATOMÉES										
Amphiprora sp	0,0018	0,0066	0,0072	-	0,0006	-	-	-	-	-
Cartaulina pelagica	0,0002	0,0003	-	-	0,0011	-	-	-	-	-
Coscinodiscus oculus-iridis	0,0011	0,0044	0,0044	0,0088	0,0011	-	-	0,0044	0,0088	0,0132
Cyclotella sp	0,0799	0,1672	0,0962	0,0340	0,0168	0,0355	0,1258	0,1632	0,0984	0,1110
Cyclotella stylorum	0,0057	0,0148	0,0092	0,0062	0,0021	0,0050	0,0098	0,0084	0,0042	0,0252
Fragilaria sp	0,0002	0,0008	0,0017	0,0010	-	-	-	-	-	-
Gyrosigma sp	-	0,0024	0,0030	0,0030	0,0003	-	-	-	-	-
Licmophora sp	0,0004	-	0,0008	0,0006	-	-	0,0001	-	-	-
Melosira juergensi	0,0288	0,0106	0,0653	0,0292	0,0025	0,0065	0,0096	0,0001	-	-
Navicula sp	0,0002	0,0002	0,0001	-	-	0,0002	0,0001	-	-	-
Nitzschia longissima	-	0,0004	0,0030	0,0022	-	0,0001	0,0001	-	-	-
Nitzschia obtusa	-	0,0050	0,0020	0,0040	-	-	-	-	-	-
Nitzschia paradoxa	0,0005	0,0135	0,0032	0,0007	-	0,0003	0,0002	-	-	-
Nitzschia rigida	0,0004	0,0010	0,0012	0,0011	-	0,0005	0,0002	-	-	-
Pleurosigma sp	0,0012	0,0054	0,0048	0,0012	0,0003	-	-	0,0003	-	-
Rhizosolenia fragilissima	-	0,0005	0,0004	0,0003	-	-	0,0001	-	0,0001	-
Thalassiosira sp	0,0611	0,1221	0,0158	0,0244	0,0117	0,0488	0,0977	0,0792	0,2178	0,4518
DINOFLAGELLES										
Ceratium furca	0,0020	0,0080	0,0020	-	-	-	-	-	-	-
Dinophysis spp	-	-	-	0,0010	-	-	0,0010	-	-	0,0010
Gyrodinium spp	0,0370	0,1850	0,1850	0,2220	-	0,0370	0,1850	0,1200	0,6600	-
Peridinium spp	0,0740	0,0185	0,0185	0,0185	-	-	-	0,1500	0,3300	-
Prorocentrum micans	0,0001	0,0004	0,0001	-	-	0,0001	-	-	-	-
Prorocentrum sp	0,0002	0,0010	0,0005	0,0005	-	-	0,0005	0,0005	-	0,0002
CRYPTOPHYCEES										
Cryptomonas sp	1,0360	0,9472	0,5920	0,3700	0,0003	0,0592	0,1580	6,0720	3,5040	0,1036
CYANOPHYCEES										
Lyngbia sp	-	-	-	-	-	0,0005	0,0005	-	-	-
Oscillatoria sp	0,0036	0,0023	0,0057	0,0062	0,0034	0,0052	0,0062	-	-	-
CHLOROPHYCEES										
Chlamydomonas sp	-	-	-	-	0,0016	0,1332	0,0518	-	-	-
Tetraselmis sp	0,0518	0,0461	0,0296	0,0518	-	0,0259	0,0740	0,0960	0,1080	-
TOTAL Biovolume mm ³ /l	1,3845	1,9616	1,0511	0,7939	0,0413	0,3537	1,8208	6,6866	4,9317	0,7060
Indice de diversité biovolume	1.51	2.00	2.18	2.35	2.43	2.63	1.66	0.67	1.50	1.53

Tableau 19 - Biovolumes algaux (rejet de la teinturerie industrielle)

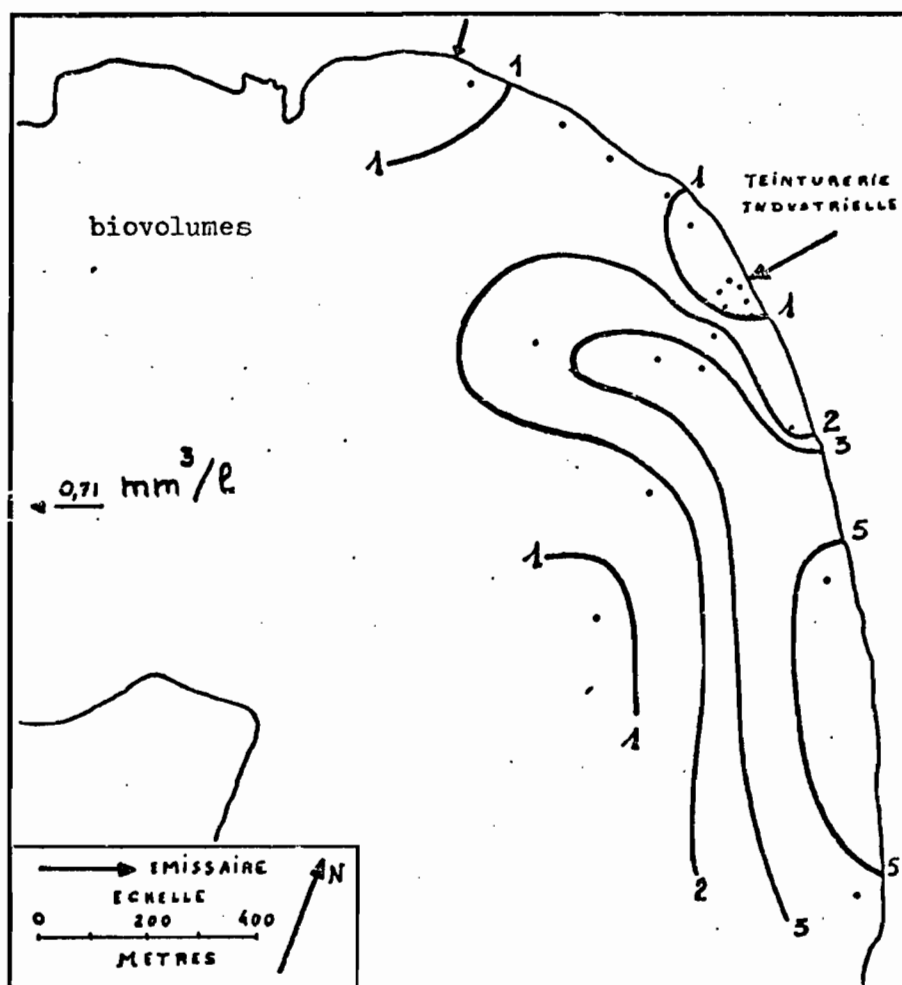
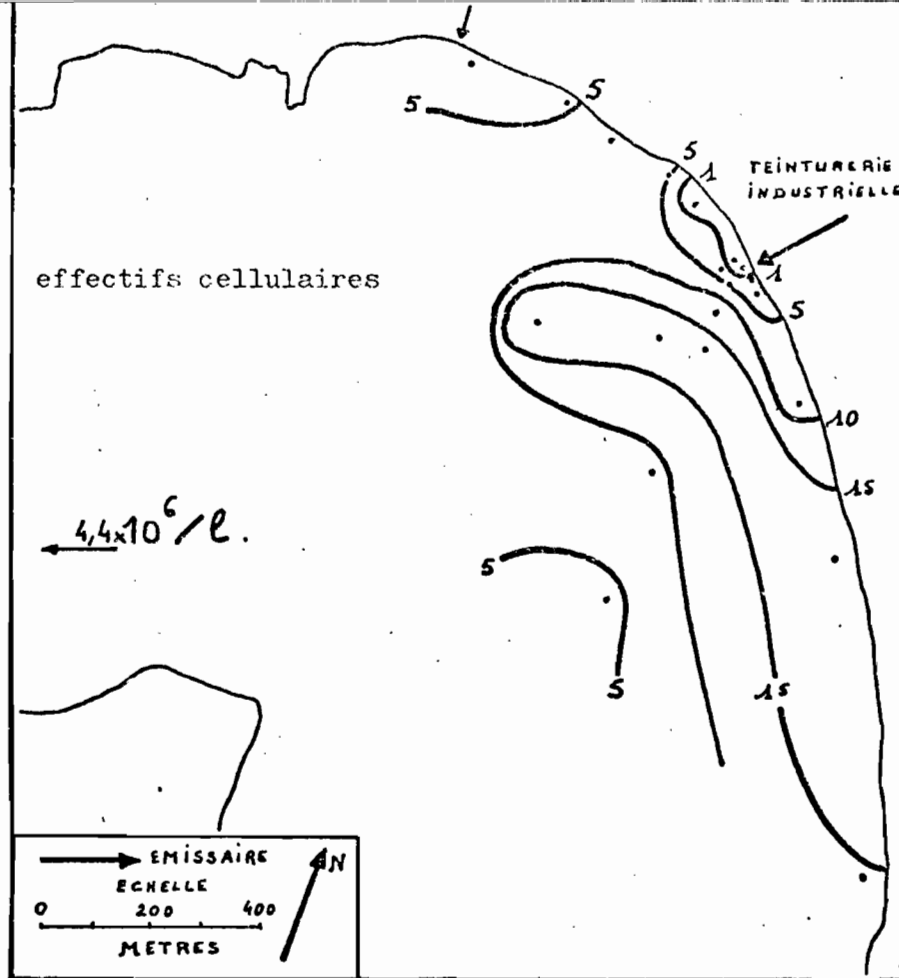


Fig. 45 - Isolignes des effectifs et des biovolumes algaux
(rejet de la teinturerie industrielle)

Les autres espèces apparaissant sont principalement :

- des Diatomées centriques : Cyclotella stylum (photo 1), Melosira juergensi, Rhizosolenia fragilissima, Cerataulina pelagica (photo 2) et Coscinodiscus oculus-iridis (photo 3).
- des Diatomées pennées : diverses Nitzschia, un genre d'eau douce, Fragilaria, trois genres benthiques : Gyrosigma, Pleurosigma et Amphiprora.
- quelques gros Dinoflagellés : Ceratium furca et Dinophysis caudata.
- une Cyanophycée, du genre Oscillatoria.

Les espèces principales sont toutes de taille extrêmement petite, avec des biovolumes moyens compris entre 100 et 1.000 μm^3 . En revanche, les autres taxons cités sont dans l'ensemble beaucoup plus gros, mais ils ne dépassent que rarement 1.000 cell/l, alors que les premiers atteignent plusieurs millions de cellules par litre.

Les indices de diversité spécifique sont en moyenne de 1,61 pour ceux relatifs aux effectifs cellulaires et de 1,99 pour ceux relatifs aux biovolumes.

Il peut sembler étonnant que les indices des stations proches de l'émissaire (stations 2, 7, 8, 11, 16 et 17) aient une moyenne supérieure à la moyenne générale, particulièrement quand ils sont calculés à partir des biovolumes ($m = 2,54$). Trois raisons peuvent expliquer ce phénomène :

- les stations proches de l'égout ont les effectifs cellulaires les plus faibles. Elles ne présentent donc pas le développement algal important (dominé par Cryptomonas sp) des autres stations qui voient, elles, leur diversité diminuer (indice de diversité "biovolume", de 0,67 à la station 19) (fig. 46).
- En revanche, l'aire proche de l'égout semble favoriser la présence de Chlamydomonas sp, mais en quantité relativement faible.
- les Diatomées, Cyclotella sp et Thalassiosira sp, paraissent plus ou moins résister aux conditions locales.

2.2.3 Traitement mathématique

L'analyse a porté sur 26 espèces phytoplanctoniques et 20 stations. 7 variables témoins (paramètres hydrobiologiques) y sont introduites sans masse. L'analyse a été effectuée deux fois : la première avec les effectifs cellulaires, la seconde avec les biovolumes. Pour le plan 1.2, les résultats obtenus sont identiques; les différences apparaissent au niveau du plan 3.4 . Nous présenterons

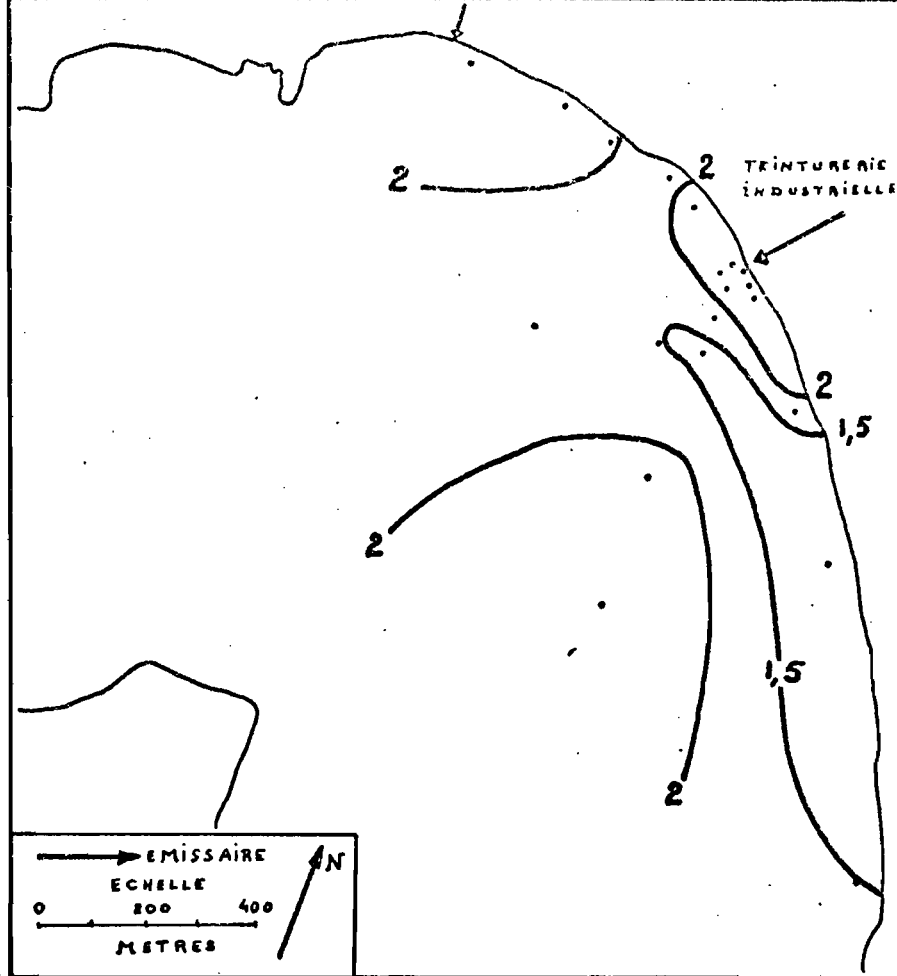


Fig. 46 - Indices de diversité spécifique relatifs
aux biovolumes (rejet de la teinturerie industrielle)

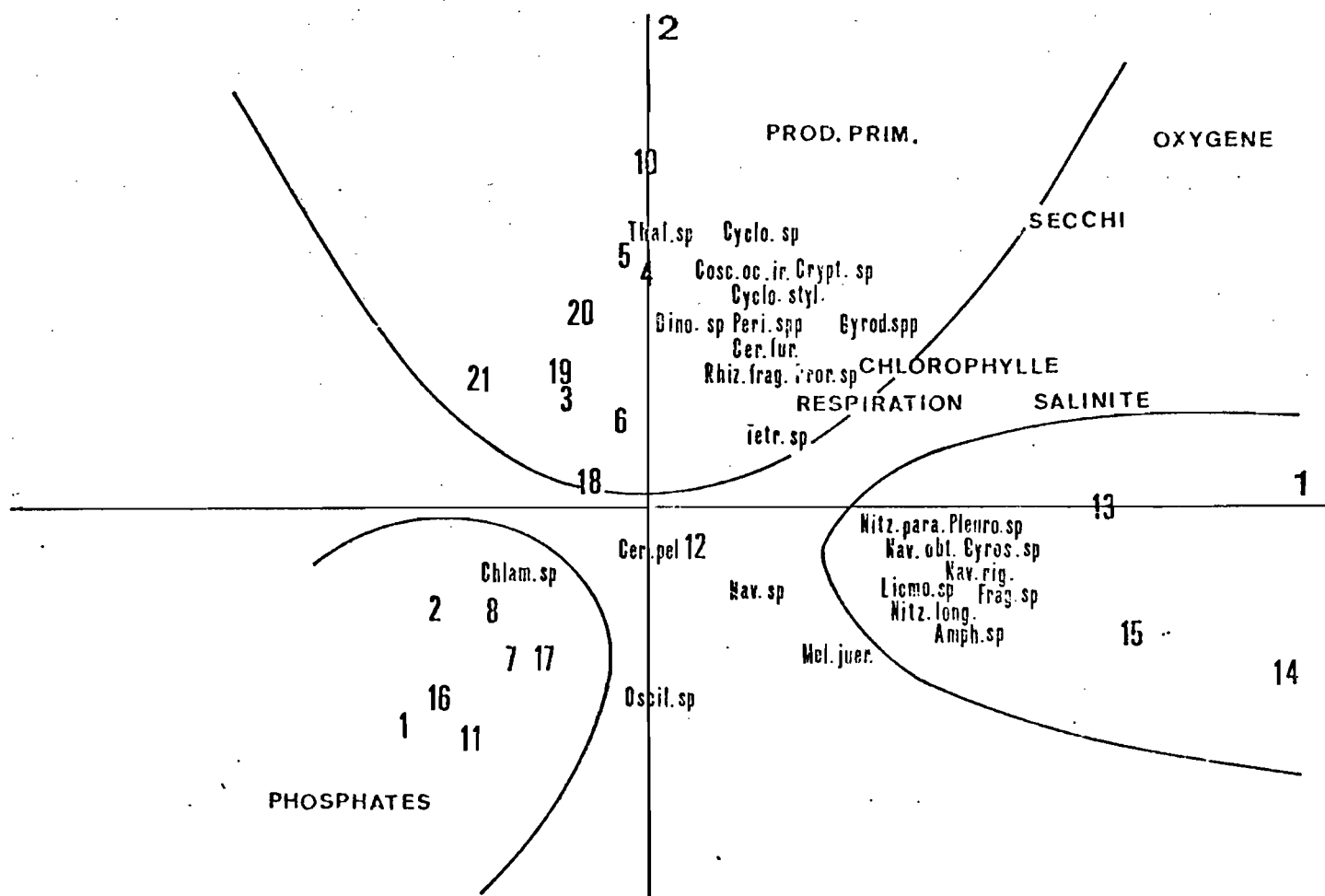


Fig. 47 - Plan 1-2 de l'analyse en composantes principales
(rejet de la teinturerie industrielle)

les résultats obtenus avec les biovolumes qui sont les plus nets.

● Le plan 1-2 (fig. 47) extrait à lui seul 55,1 % de l'information totale (avec 31,6 % pour l'axe 1, et 23,5 % pour l'axe 2). Dans l'espace des stations, trois groupes distincts apparaissent : les stations 1, 2, 7, 8, 11, 16 et 17 à une extrémité, et les stations 13, 14, 15, à l'autre. Le reste des stations au bout de l'axe 2 (la station référence fait partie de ce groupe). Dans l'espace des espèces, on trouve également trois groupes : Chlamydomonas, toutes les Diatomées pennées et Melosira juergensi, et enfin les autres espèces avec principalement : Cyclotella sp, Thalassiosira sp, Coscinodiscus oculus-iridis, Peridinium spp, Cryptomonas sp, Cyclotella stylorum, Gyrodinium spp, Dinophysis caudata. Les paramètres témoins se projettent à une extrémité de l'axe 1 pour les phosphates, et pour les autres, à l'extrémité opposée et à égale distance des axes 1 et 2.

On peut donc penser que la structure dégagée par l'analyse est la suivante :

Les stations proches de l'égout, avec des teneurs en phosphate élevées, une salinité, une transparence des eaux, une teneur en chlorophylle a, faibles et un taux d'oxygène dissous nul, sont caractérisées par Chlamydomonas sp. La radiale 12, 13, 14, 15 le long de la côte Nord semble subir une autre influence : ces stations sont caractérisées par des Diatomées pennées dont un genre d'eau douce et trois genres benthiques ; elles pourraient être influencées par de petits émissaires urbains se jetant à ce niveau (rappelons les taux d'oxygène plus faible et de phosphates plus forts en station 15). En revanche, le reste des stations y compris la station référence, forme un tout caractérisé aussi bien par des espèces de Diatomées marines que par des espèces pérennantes de la baie.

● Dans le plan 3-4 (fig. 48), l'axe 3 extrait 10 % de l'information totale. Il semble faire une partition des stations du troisième groupe déterminées par le plan 1-2 de l'analyse. A l'une des extrémités, les stations 10 et 21 s'opposent aux stations 3, 8, 19 et 20, à l'autre extrémité. De même dans l'espace des espèces, deux groupes s'opposent le long de l'axe 3 : Dinophysis spp, Prorocentrum sp, Cyclotella stylorum et Ceratium furca, d'une part, Tetraselmis sp, Peridinium spp, Gyrodinium spp et Cryptomonas sp, d'autre part (au niveau desquels se projette le paramètre chlorophylle a).

On peut interpréter cette partition comme celle de l'influence du rejet.

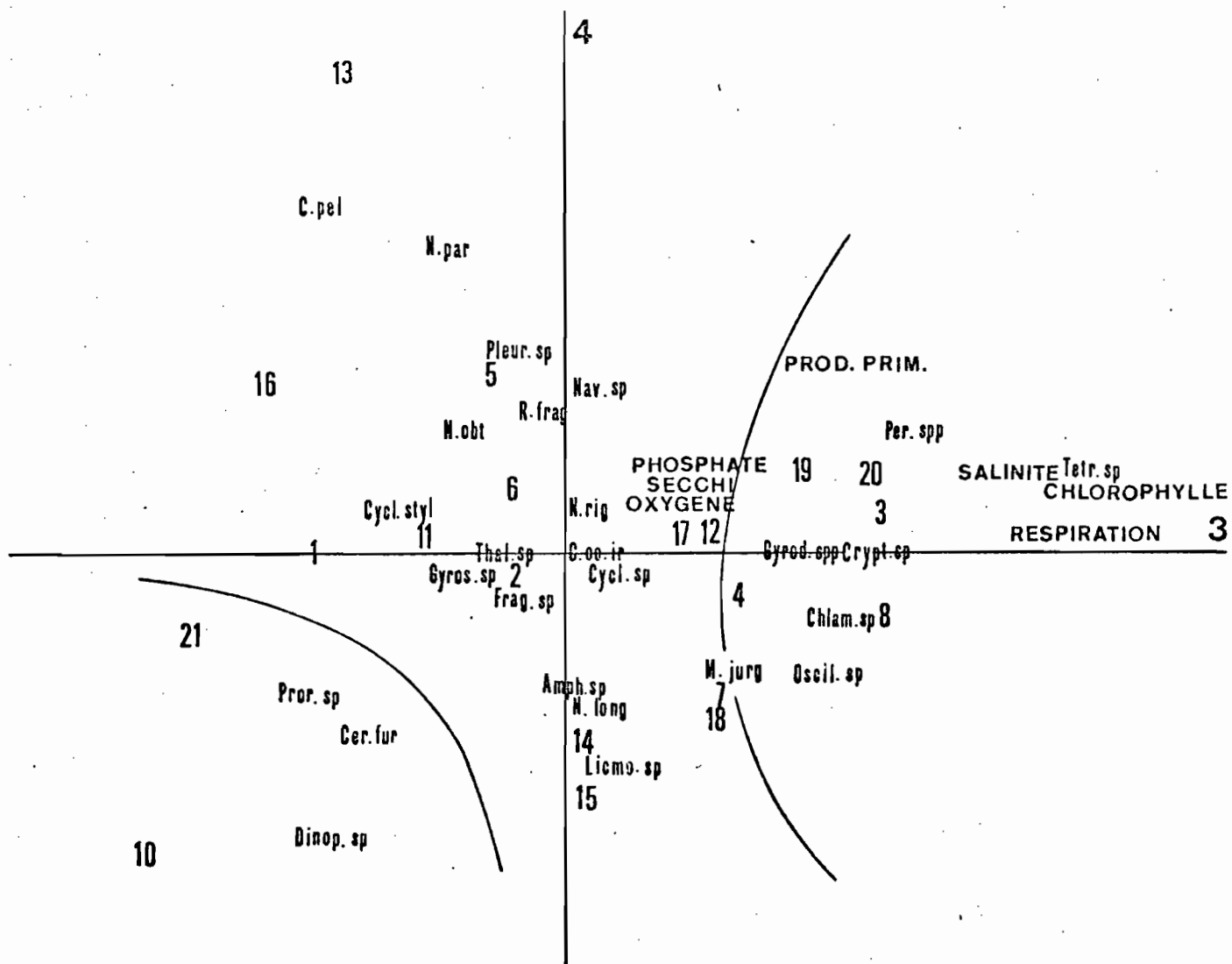


Fig. 48 - Plan 3-4 de l'analyse en composantes principales
(rejet de la teinturerie industrielle)

Les stations 3, 8, 19 et 20 sont caractérisées par des espèces dont le développement est favorisé par l'effluent. En revanche, l'extérieur de la baie et la station 10 sont caractérisés par des espèces marines (de grande taille), mais ne présentent pas les espèces Tetraselmis sp, Peridinium spp, Gyrodinium spp (Cryptomonas sp est peu abondant).

Les espèces Cyclotella sp, Thalassiosira sp, Coscinodiscus oculus-iridis qui sont groupées dans le plan 1.2 avec celles citées ci-dessus, se projettent dans le plan 3.4 à l'origine de l'axe 3 et ne contribuant donc pas de façon significative à la structure ($CR < 0,0081$). Elles sont développées de la même façon dans toutes les stations de ce troisième groupe. Ceci rend compte des échanges existant entre cette zone et l'extérieur de la baie.

2.2.4 Conclusion

Au vu de la répartition des valeurs des différents paramètres et de l'analyse mathématique, l'effluent de la teinturerie industrielle s'avère :

- toxique, à forte concentration : la zone s'étendant dans un rayon de 150 m autour du point de rejet présente les populations phytoplanctoniques de plus faibles effectifs, caractérisées par Chlamydomonas sp.
- suffisamment dilué, il a un effet eutrophisant qui favorise le développement intense des espèces : Cryptomonas sp, Tetraselmis sp, Gyrodinium spp et Peridinium spp.

In situ, cela se manifeste par un anneau d'eutrophie (valeur des chlorophylle a, production primaire et effectifs cellulaires maximum) à une distance de 300 à 600 m de l'émissaire (stations 3, 4, 13, 14, 18 et 19).

L'impact de l'effluent se faisait sentir, le jour de notre mission, sur une surface approximative de 20 hectares, soit 4 % de la surface de la baie.

2.3 Le rejet des abattoirs de Port-Bouet

2.3.1 Généralités

Les abattoirs de Port-Bouet sont situés à quelques centaines de mètres de la baie de Biétri. Le déversement est effectué sur la rive Sud du fond de la baie. L'effluent présente un débit irrégulier qui peut être estimé

toutefois à $100 \text{ m}^3/\text{jour}$ en moyenne. La charge en matière oxydable est évaluée à 556 kg/jour , ce qui semble important par rapport au débit de l'émissaire. Cependant, les rejets d'abattoirs sont principalement constitués de matières organiques : contenus stomacaux et intestinaux, sang, débris végétaux, ... La pollution engendrée par un tel rejet est donc essentiellement de type organique, bien que des détergents puissent aussi être apportés.

2.3.2 Etude d'un réseau de radiales (15 stations) (fig. 49)

Un réseau de quatre radiales convergeant sur le point de rejet des abattoirs a été prospecté le 6 Octobre 1976. Les prélèvements ont été effectués dans la matinée, en 3 heures 30. Les paramètres salinité, transparence des eaux, phosphates, oxygène dissous, chlorophylle a, production primaire, respiration et phytoplancton ont été étudiés. L'échelle des prélèvements est très réduite : la station la plus éloignée (15) est à 1.100 m de l'émissaire, les autres se situant dans un rayon de 650 m .

2.3.2.1 Variation des paramètres

La salinité est, dans l'ensemble, de 20‰ . La station près du débouché de l'effluent présente une légère dessalure (18‰).

La profondeur de disparition du disque de Secchi est très faible au rejet (10 cm) ; elle augmente ensuite régulièrement jusqu'à atteindre 240 cm . Le long de la radiale 11, 12, 13, 14, 15, on observe cependant une diminution des valeurs à partir de la station 13 jusqu'à la station 15 où elle est de 50 cm : cette faible transparence des eaux est à relier aux fortes densités phytoplanctoniques.

Les taux d'oxygène dissous trouvés à l'émissaire (stations 1 et 2) sont nuls. Ensuite, on constate une augmentation régulière et rapide des valeurs (très vite supérieures à 7 mg/l) (fig. 50), sauf à la station 15 ($5,72 \text{ mg/l}$). Le taux de saturation d'oxygène à la salinité de 20‰ et à la température de 28°C est de 7 mg/l . Les teneurs trouvées ici montrent donc une sur-oxygénation du milieu, avec des pourcentages de saturation supérieurs à 100% , à relier aux fortes densités algales.

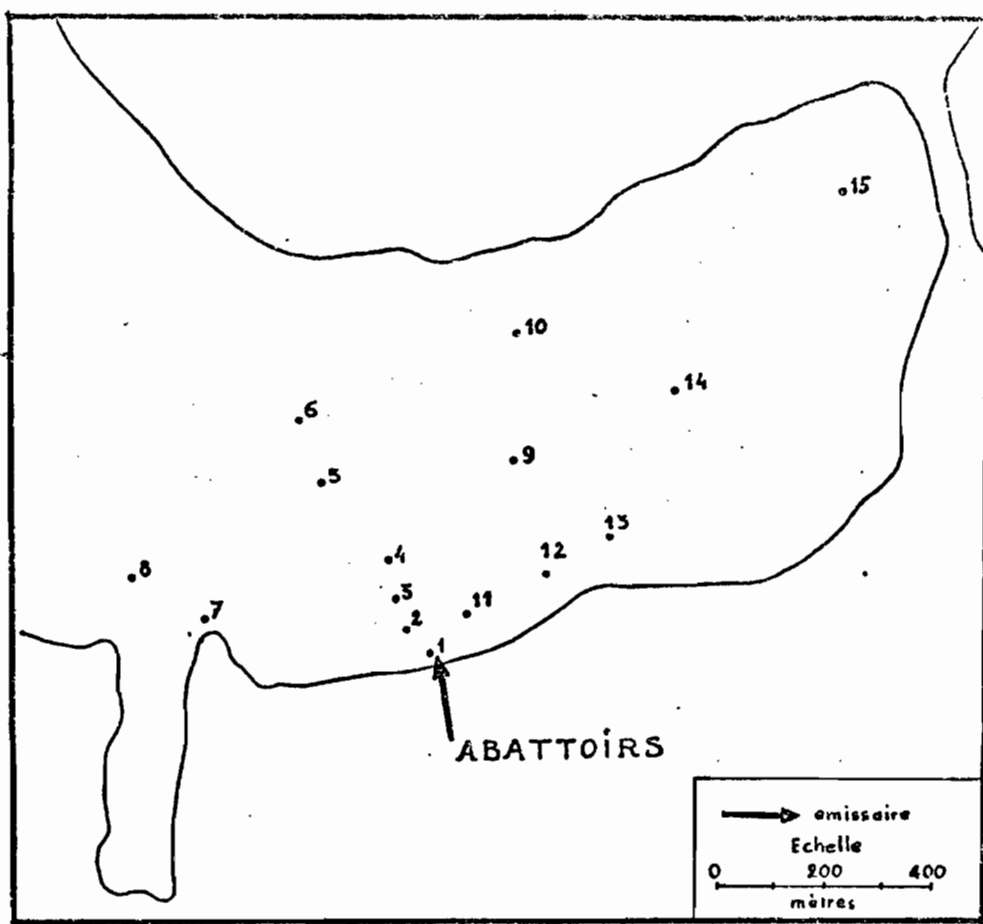


Fig. 49 - Position des stations (rejet des abattoirs)

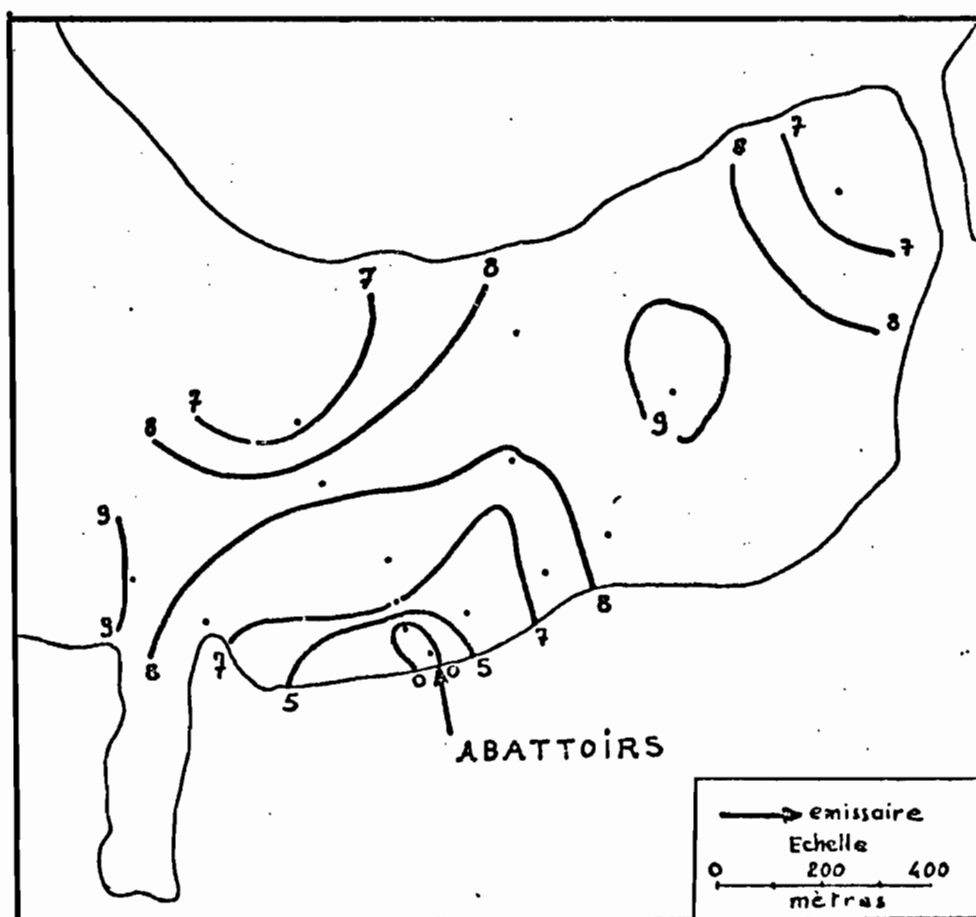


Fig. 50 - Isolignes des teneurs en oxygène dissous (mg/l) (rejet des abattoirs)

Au débouché de l'émissaire, il existe une zone présentant de fortes concentrations en phosphates ($20 \mu \text{atg/l}$). Dans l'ensemble, l'Est de l'effluence est plus riche (teneurs comprises entre 0,5 et $1 \mu \text{atg/l}$) et l'Ouest plus pauvre (inférieures à $0,5 \mu \text{atg/l}$) (fig. 51).

Les concentrations en chlorophylle a trouvées au cours de cette sortie sont très fortes, en moyenne arithmétique de $40,2 \mu \text{g/l}$, en moyenne géométrique de $27,8 \mu \text{g/l}$. Le minimum est constaté à l'égout ($10 \mu \text{g/l}$), le maximum à l'extrémité de la baie ($227 \mu \text{g/l}$). A l'Ouest du point de rejet, les taux de chlorophylle a croissent (jusqu'aux stations 3, 4, 8), puis diminuent (stations 5 et 6). Les stations 9 et 10 au Nord présentent une relative pauvreté tandis que la radiale des stations 11 à 15 à l'Est s'avère très riche et montre une croissance régulière du Sud-Ouest vers le Nord-Est (fig. 52).

Les taux d'oxygène dissous et de phosphate rendent compte des phénomènes dynamiques. La quantité d'oxygène dissous mesurée correspond au bilan : consommation d'oxygène par oxydation de la matière organique et respiration des organismes vivants, production très importante d'oxygène photosynthétique par la communauté algale. De même les teneurs en phosphates rendent compte d'un apport par l'effluent, mais aussi d'une consommation plus ou moins intense par le phytoplancton. Au vu de la répartition de ces paramètres, il semble que temporairement une tendance à l'écoulement de l'effluent se fasse le long de la radiale 1, 2, 3, 4. Mais, principalement, il y aurait un phénomène très intense d'accumulation des rejets au fond de la baie.

2.3.2.2 Le phytoplancton

Les résultats sont reportés au tableau 20.

► Aspect quantitatif

De ce point de vue, aussi bien exprimé en biovolumes qu'en nombre de cellules, le phytoplancton suit remarquablement bien la distribution de la chlorophylle a (fig. 53). Les coefficients de corrélation chlorophylle a-nombre de cellules et chlorophylle a-biovolumes, sont extrêmement élevés (respectivement $r = 0,98^{+++}$ et $r = 0,97^{+++}$), en ne considérant que les 13 premiers couples de variables, les deux derniers étant trop élevés (fig. 54). La corrélation biovolume-production brute est aussi très hautement significative ($r = 0,89^{+++}$).

Les effectifs ont varié de 140.000 (station 1) à 117 millions cell/l (station 15), soient des biovolumes de 0,24 à $82 \text{ mm}^3/\text{l}$ (la photo 4 montre bien

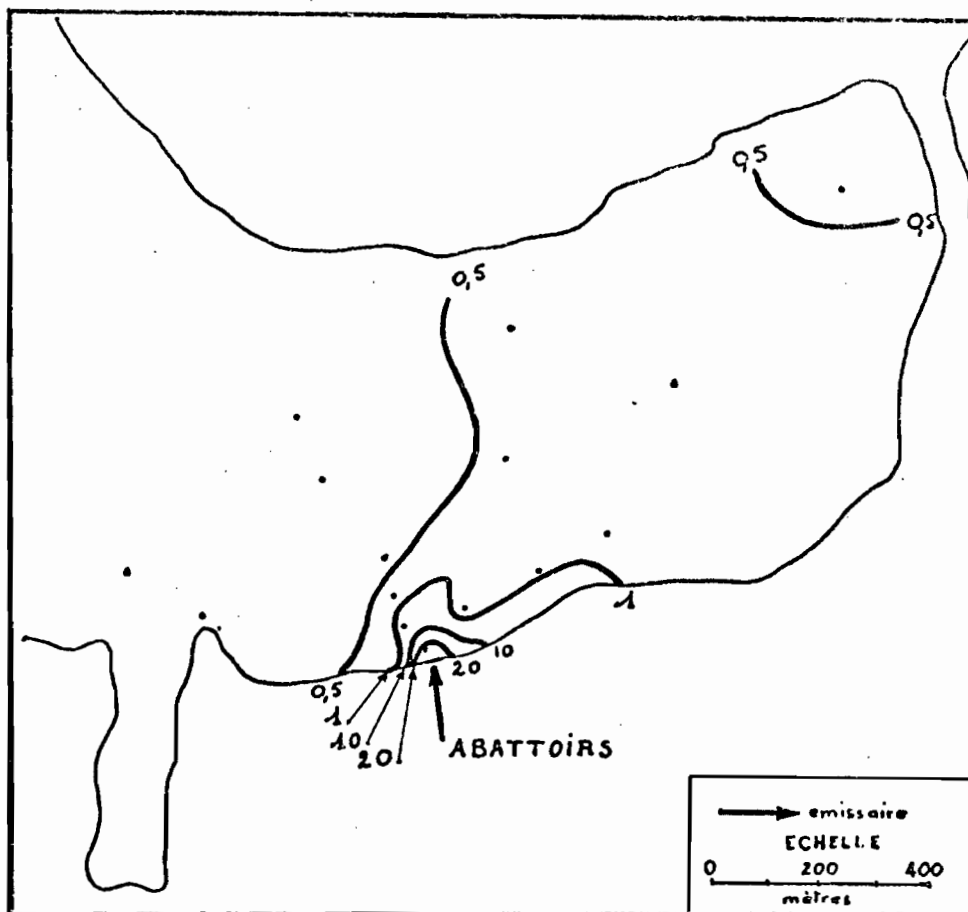


Fig. 51 - Isolignes des teneurs en phosphates
($\mu \text{ atg/l}$) (rejet des abattoirs)

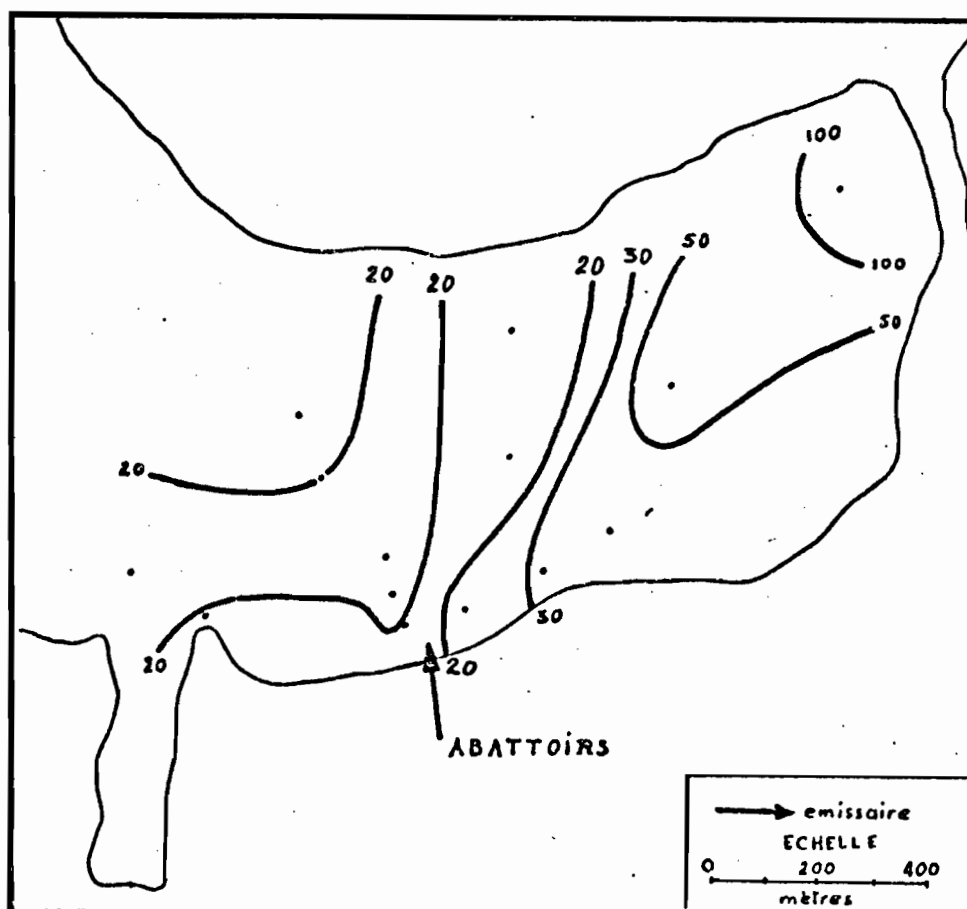


Fig. 52 - Isolignes des teneurs en chlorophylle a
($\mu \text{ g/l}$) (rejet des abattoirs)

ESPECES	STATIONS						
	1	2	3	4	5	6	7
<u>DIATOMES</u>							
Rhizosolenia fragilissima	3.750 0,0064	570 0,0010	2.000 0,0034	6.920 0,0118	5.920 0,0101	6.800 0,0116	1.000 0,0016
<u>DINOFLAGELLES</u>							
Gymnodinium sp ₁	-	3.228.000 1,0086	3.618.000 1,1759	4.412.000 1,4339	1.961.000 0,6373	3.781.000 1,1288	1.450.000 0,4510
Gymnodinium sp ₂	-	70.000 0,1050	75.000 0,1125	75.000 0,1125	81.000 0,1215	80.000 0,1200	54.000 0,0810
Gymnodinium sp ₃	-	-	-	-	-	-	-
Gyrodinium sp ₁	-	30.000 0,2700	35.000 0,3150	35.000 0,3150	37.800 0,3402	40.000 0,3600	43.200 0,3888
Gyrodinium sp ₂	-	35.000 0,0525	45.000 0,0675	50.000 0,0750	43.200 0,0648	45.000 0,0675	54.000 0,0810
Peridinium trochoideum	-	12.800 0,0576	16.200 0,0729	9.000 0,0405	8.140 0,0366	4.000 0,0180	7.560 0,0342
Prorocentrum micans	-	-	5.000 0,0050	6.000 0,0060	5.180 0,0052	3.000 0,0030	3.240 0,0032
<u>EUGLENOPHYCES</u>							
Eutreptiella braarudii	138.000 0,2346	1.209.000 2,0553	1.244.000 3,3048	2.206.000 3,7502	1.887.000 3,2079	1.166.000 1,9822	1.258.000 2,1386
Eutreptiella sp	-	1.491.000 0,5964	3.186.000 1,2744	5.567.000 2,2268	1.961.000 0,7844	2.962.000 1,1848	1.517.000 0,6068
<u>CRYPTOPHYCES</u>							
Cryptomonas sp	-	168.000 0,0672	594.000 0,2376	452.000 0,1808	185.000 0,0740	378.000 0,1512	148.000 0,0592
TOTAL Cellules c/l	141.750	6.304.370	9.520.200	12.818.930	6.175.240	8.465.825	4.566.080
TOTAL Biovolume mm ³ /l	0,2409	4,2736	6,5690	8,1525	5,2820	5,1271	3,8757
Indice de diversité cellules	0,18	1,75	1,87	1,78	1,93	1,80	1,97
Indice de diversité biovolume	0,18	2,05	2,04	1,98	1,83	2,20	2,00

ESPECES	STATIONS							
	8	9	10	11	12	13	14	15
<u>DIATOMES</u>								
Rhizosolenia fragilissima	1.560 0,0027	3.700 0,0063	6.480 0,0110	-	3.240 0,0055	5.400 0,0092	-	-
<u>DINOFLAGELLES</u>								
Gymnodinium sp ₁	2.516.000 0,8177	2.146.000 0,6975	962.000 0,3127	540.000 0,1755	7.182.000 2,3342	12.260.000 3,3345	20.250.000 6,5813	5.588.000 14,8161
Gymnodinium sp ₂	91.800 0,1377	70.200 0,1053	118.800 0,1782	75.600 0,1134	259.200 0,3888	340.200 0,5103	275.400 0,4131	1.350.000 2,0250
Gymnodinium sp ₃	-	-	-	43.200 0,0216	534.600 0,2673	345.600 0,1228	2.251.800 1,1259	7.533.000 3,7665
Gyrodinium sp ₁	43.200 0,3888	129.600 1,1664	43.200 0,3888	232.200 2,0898	437.400 3,9096	534.600 4,8114	307.800 2,7702	3.780.000 24,0200
Gyrodinium sp ₂	54.000 0,0810	75.600 0,1134	70.200 0,1053	54.000 0,0810	75.600 0,1134	124.200 0,1863	64.800 0,0972	378.000 0,5670
Peridinium trochoideum	21.460 0,0966	12.580 0,0566	9.720 0,0437	6.480 0,0292	14.040 0,0632	25.920 0,1166	45.360 0,2041	77.600 0,3455
Prorocentrum micans	1.480 0,0015	11.100 0,0111	12.960 0,0130	-	4.320 0,0043	19.440 0,0194	33.160 0,0832	3.720.000 3,7200
<u>EUGLENOPHYCES</u>								
Eutreptiella braarudii	1.147.000 1,9499	333.000 0,5661	666.000 1,1322	851.000 1,4467	756.000 1,2852	1.134.000 1,9278	2.700.000 4,5900	1.110.000 1,8870
Eutreptiella sp	2.775.000 1,1100	1.443.000 0,5772	1.073.000 0,4292	2.808.000 1,1232	8.694.000 3,4776	10.746.000 4,2984	13.230.000 5,2920	12.332.000 16,9328
<u>CRYPTOPHYCES</u>								
Cryptomonas sp	703.000 0,2812	222.000 0,0880	222.000 0,0880	216.000 0,0864	1.026.000 0,4104	1.782.000 0,7128	1.890.000 0,7560	10.740.000 4,2960
TOTAL Cellules c/l	7.354.500	4.446.780	3.184.360	4.820.480	28.936.400	35.317.360	41.098.320	44.608.000
TOTAL Biovolume mm ³ /l	4,8670	3,5879	2,7021	5,1668	12,2595	16,0966	21,9129	82,3769
Indice de diversité cellules	2,01	1,93	2,25	1,90	1,86	1,87	1,87	2,12
Indice de diversité biovolume	2,34	2,46	2,48	2,08	2,39	2,44	2,49	2,41

Tableau 20 - Numérations cellulaires et biovolumes algaux
(rejet des abattoirs)

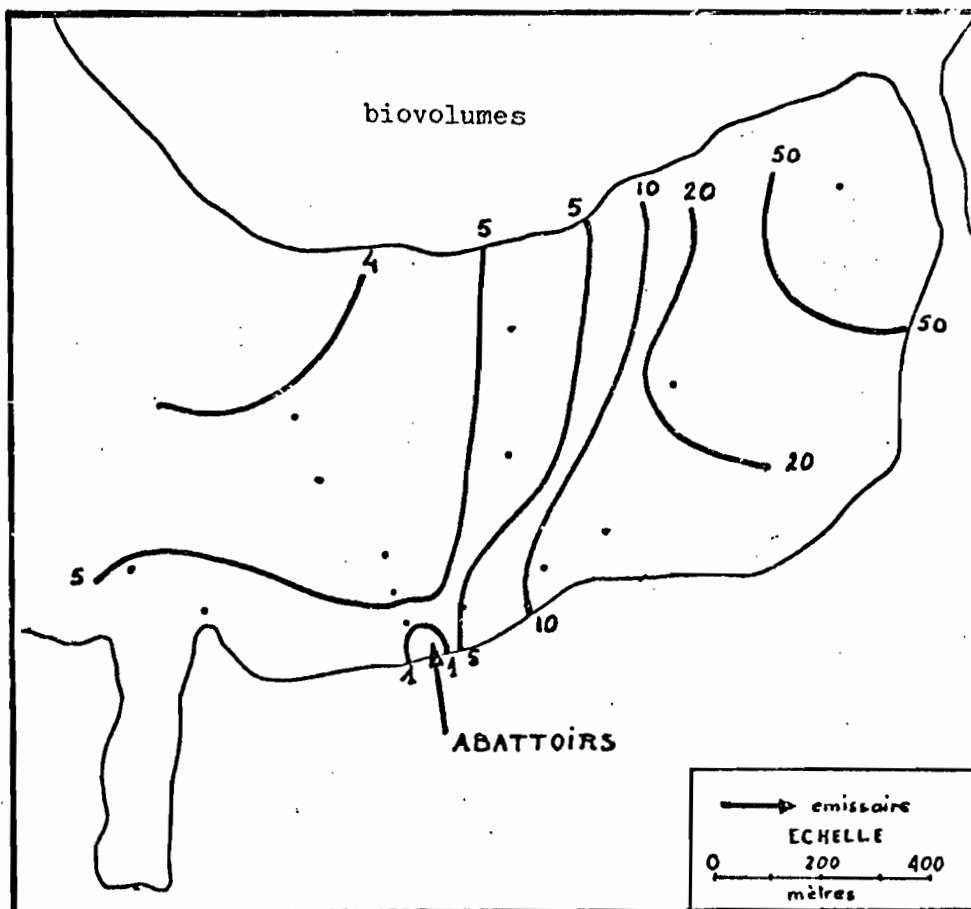
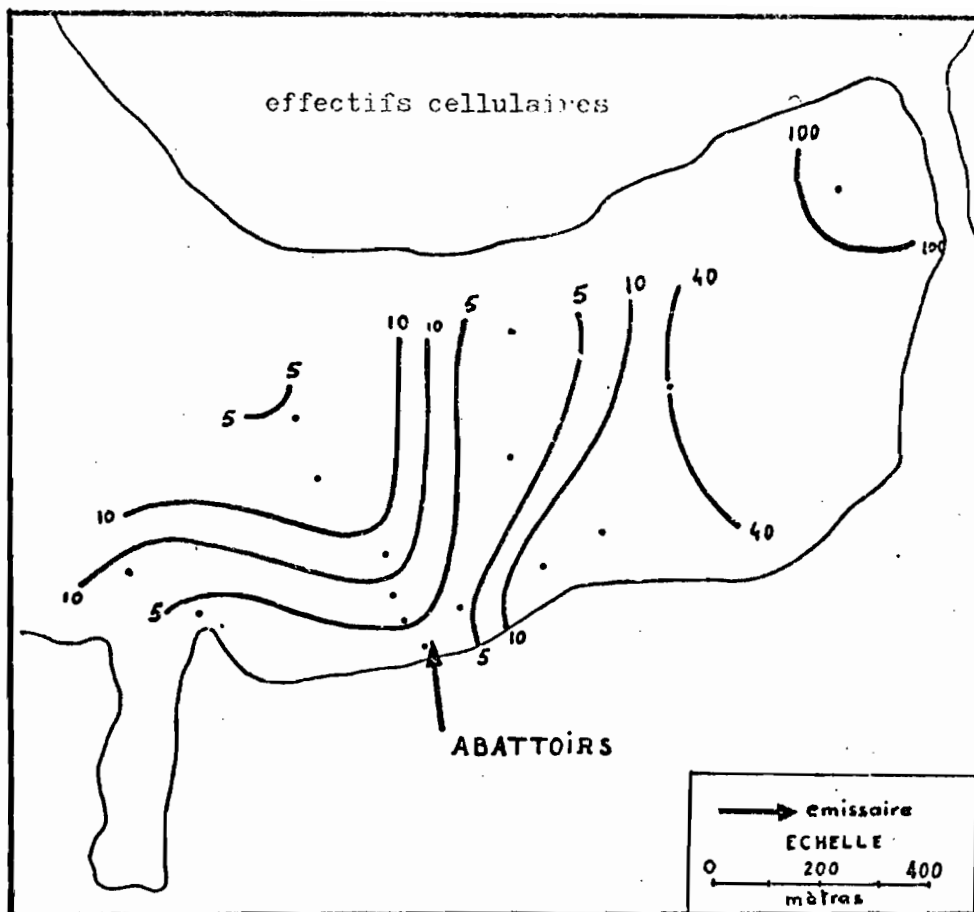


Fig. 53 - Isolignes des effectifs cellulaires (en 10^6 cell/l) et des biovolumes algaux (mm^3/l) (rejet des abattoirs)

cette énorme densité cellulaire, sachant que 2,5 ml ont été sédimentés).

Signalons qu'il est peu probable que le taux de chlorophylle a (10 $\mu\text{g/l}$) trouvé à la station 1 corresponde aux 140.000 cellules au litre dénombrées. Il y aurait apport de chlorophylle a par l'effluent (contenus stomacaux des animaux herbivores abattus) : ceci est d'ailleurs confirmé par les dosages de chlorophylle a faits sur l'effluent plus ou moins dilué au cours des bioessais.

► Aspect qualitatif (photos 5 à 8)

Au cours de cette mission, il a été répertorié 11 espèces phytoplanctoniques dont la plupart présentent des développements exubérants, ce sont :

- les Euglénophycées (Eutreptiella braarudii, Eutreptiella sp) et les Cryptophycées (Cryptomonas sp) déjà cités auparavant.
- des Dinoflagellés qui se multiplient de façon très importante en restant, malgré tout, relativement diversifiés : trois espèces du genre Gymnodinium, deux du genre Gyrodinium, Peridinium trochoideum et Prorocentrum micans. La non compétition générique semble caractéristique des milieux d'eutrophie excessive (BLANC et al., 1975). Signalons que Gyrodinium sp, ressemble au Gyrodinium nasutum décrit par SCHILLER (1931), bien qu'il s'agisse d'une espèce antarctique.
- une Diatomée, Rhizosolenia fragilissima, connue pour son euryhalinité (optimum de salinité 20 à 25‰) et son aptitude à supporter des températures élevées (IGNATIADES et SMAYDA, 1970). Elle ne dépasse jamais un effectif de 7.000 cellules par litre.

Les indices de diversité, calculés avec les biovolumes, sont dans l'ensemble supérieurs à 2, sauf pour la station proche de l'émissaire (0,18).

Le développement exubérant des Dinoflagellés fait que nous nous trouvons devant un véritable phénomène d'eaux décolorées. Certains Dinoflagellés sont réputés pour leur capacité à se multiplier ainsi dans des eaux riches en matière organique (eaux décolorées décrites par BLANC et LEVEAU, 1973, dans le golfe de Fos, et par BENON et al., 1977, dans l'étang de Berre) ; de plus, ils sont souvent thermophiles. TALASKIAN et HARDY (1976) les citent comme indicateurs de pollution des eaux néritiques du Liban. Les autres groupes, Euglénophycées et Cryptophycées présentent les mêmes caractères.

Nous nous trouvons donc devant une population dont toutes les espèces sont indicatrices d'une intense pollution organique.

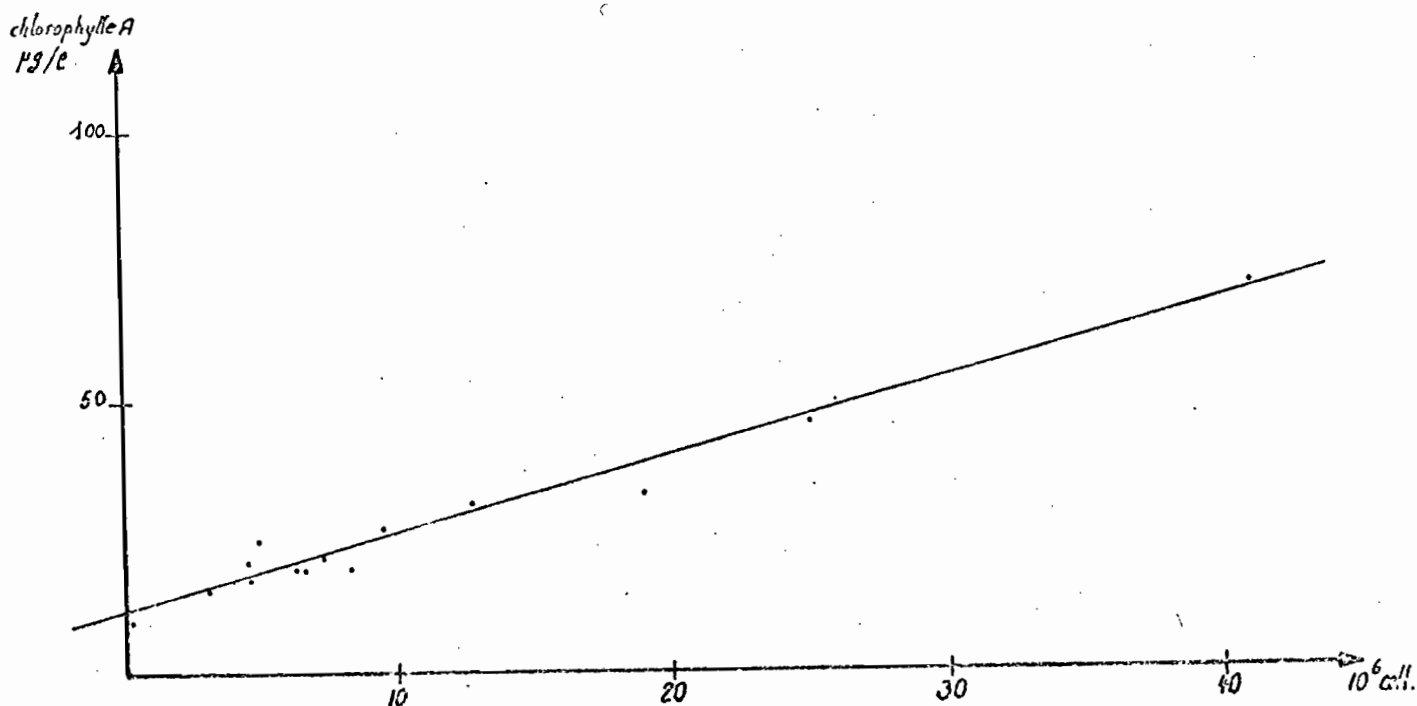


Fig. 54 - Droite de régression chlorophylle a-effectifs cellulaires
(rejet des abattoirs)

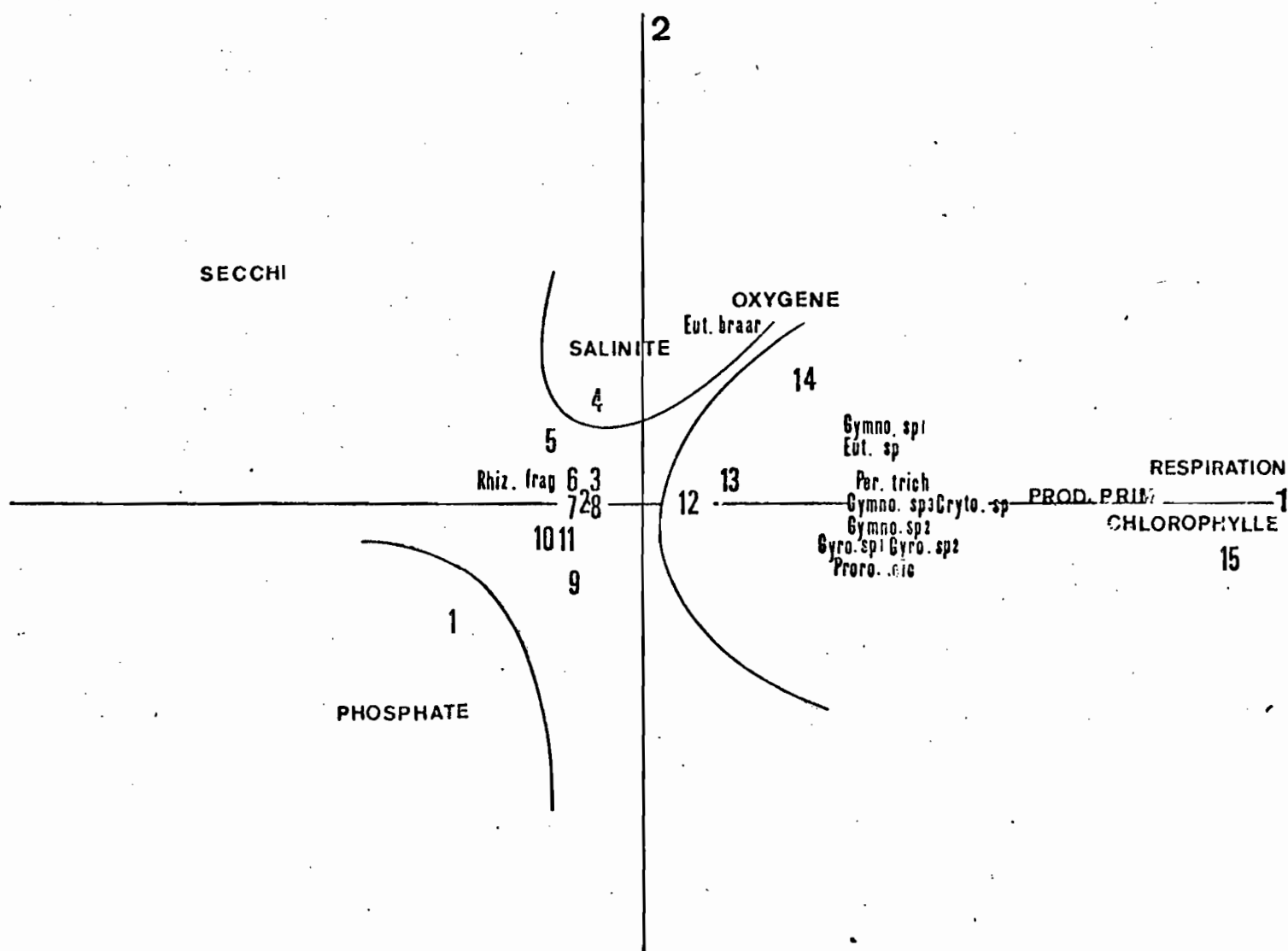


Fig. 55 - Plan 1-2 de l'analyse en composantes principales
(rejet des abattoirs)

2.3.3 Le traitement mathématique

L'analyse a porté sur 11 espèces phytoplanctoniques et 15 stations. 7 variables témoins (paramètres hydrobiologiques) ont été introduites sans masse. Elle a été effectuée deux fois, la première avec les effectifs cellulaires, la seconde avec les biovolumes. Les résultats obtenus étant identiques, nous exposerons ceux relatifs aux effectifs cellulaires.

● Le plan 1-2 (fig. 55) de l'analyse extrait 87,7 % de l'information totale, l'axe 1 à lui seul expliquant 75,5 % de la variance totale, l'axe 2, 11,9 %. Dans l'espace des stations, la station 1, à une extrémité de l'axe 1, s'oppose au groupe des stations 12, 13, 14 et 15, à l'autre extrémité. Dans l'espace des espèces, de même, Rhizosolenia fragilissima s'oppose à l'ensemble des autres espèces, excepté Eutreptiella braarudii. La projection des variables témoins montre, à une extrémité de l'axe 1, les phosphates, à l'autre, tous les paramètres indicatifs d'une biomasse végétale élevée : chlorophylle a, production primaire, respiration.

Ainsi, l'axe 1 rend compte de l'opposition très marquée entre la proximité du point de rejet, riche en phosphates, pauvre en cellules, et l'extrémité Est de la baie, zone d'accumulation et de développement intense phytoplanctonique caractérisée par tous les Dinoflagellés, Eutreptiella sp et Cryptomonas sp.

La contribution absolue de la station 15 à l'axe 1 est très forte, 0,7. Nous avons donc recommencé l'analyse en supprimant cette station qui pouvait masquer la structure restante de la mission. Il s'est avéré que cela ne changeait pas l'axe 1, la station 14 prenant alors le relai en présentant aussi une contribution absolue élevée : 0,45 ; de même pour la station 13 (C.A = 0,52) après suppression de la station 14. Nous avons donc conservé pour l'étude la première analyse effectuée.

L'axe 2 est caractérisé à une extrémité par la station 4 (C.R = 0,53) dans l'espace des stations, et par Eutreptiella braarudii (C.R = 0,86) dans l'espace des espèces. Il nous semble que cet axe rend compte d'une réaction immédiate du milieu au déversement (orienté selon la radiale 1, 2, 3, 4), en présentant un développement dominé par Eutreptiella braarudii.

2.3.4 Conclusion

L'ensemble de nos résultats fait apparaître la toxicité de l'effluent des abattoirs à forte concentration. Suffisamment dilué, il induit une intense pollution organique des eaux, se traduisant par des développements algaux exubérants dont les espèces sont indicatrices de cette pollution. Rappelons nos résultats antérieurs (les séries quotidiennes et l'étude du réseau) qui avaient déjà dégagé ces caractéristiques de l'extrémité Est de la baie de Biétri.

Le phénomène d'eaux décolorées que nous avons constaté n'est pas sans conséquences sur l'écosystème. Il peut nuire à l'écologie de la baie pour plusieurs raisons :

- 1) certains Dinoflagellés, en particulier du genre Gymnodinium, excrètent des substances toxiques (PINCEMIN, 1969).
- 2) de tels développements algaux influent sur le bilan en oxygène de la zone :
 - la profondeur de compensation est réduite, du fait de la forte turbidité,
 - la production d'oxygène photosynthétique suit un rythme nycthéméral : la superposition des processus de production et de consommation (respiration) conduit à des concentrations d'oxygène d'origine biologique minimales à la fin de la nuit, et maximales au milieu de l'après-midi. L'amplitude de ces variations est d'autant plus accusée que la communauté vivante est importante. Une forte sursaturation l'après-midi peut donc conduire à une forte sous-saturation le matin, préjudiciable à l'activité biologique (DUFOUR et SLEPOUKHA, 1975).
 - De plus, nous avons constaté, à la suite de BLANC et LEVEAU (1973), BENON et al. (1977), que les fortes concentrations algales diminuent le taux d'assimilation photosynthétique : les concentrations de chlorophylle a et les taux de production primaire, ramenés à 10^6 cellules, diminuent avec l'augmentation des effectifs cellulaires (fig. 56).

BENON et al. (1977) expliquent ce phénomène en partie par des changements dans les histogrammes de classe de taille des populations : en effet, les populations les plus importantes quantitativement voient leur pourcentage de cellules de petite taille augmenter. Nous ne retiendrons pas cette explication puisque nous avons constaté la même relation en utilisant cette fois les biovolumes cellulaires (fig. 57). De même BLANC et LEVEAU (1973) ont rejeté cette hypothèse puisqu'ils avaient travaillé sur des populations monospécifiques (à plus de 90 %) de Skeletonema costatum.

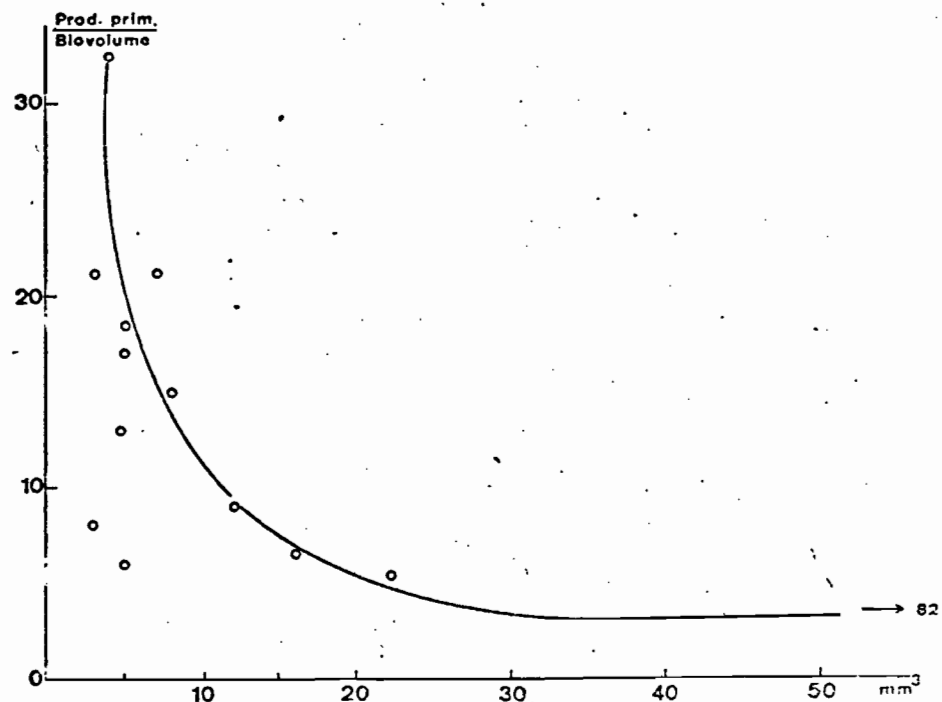
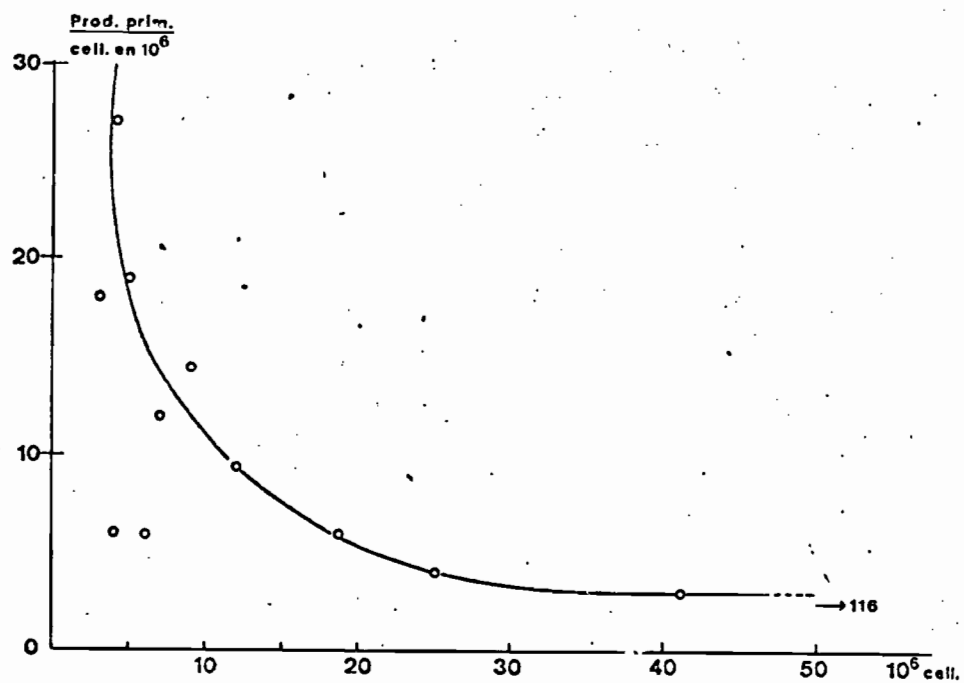
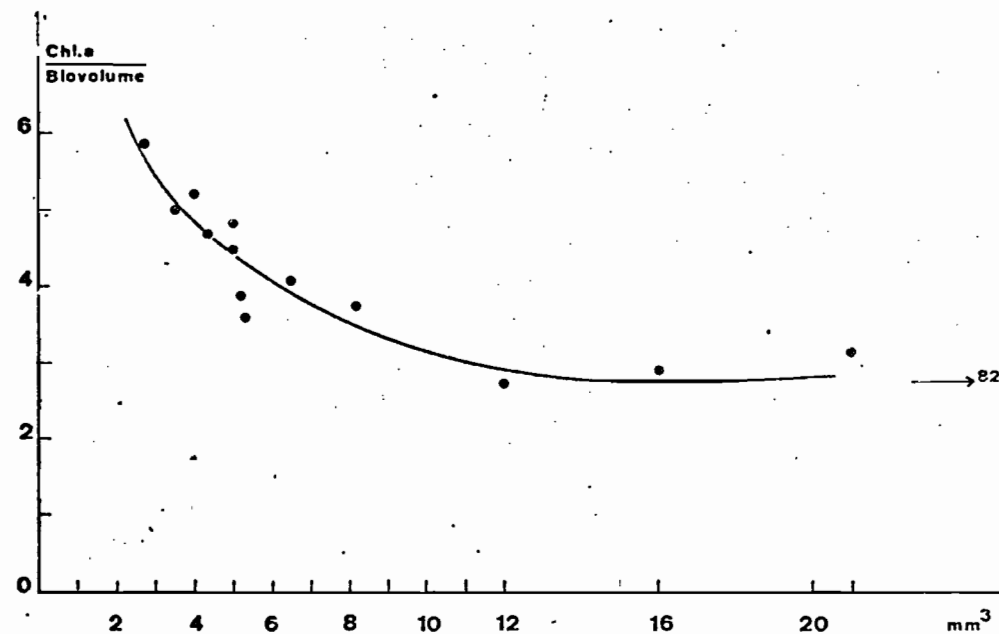
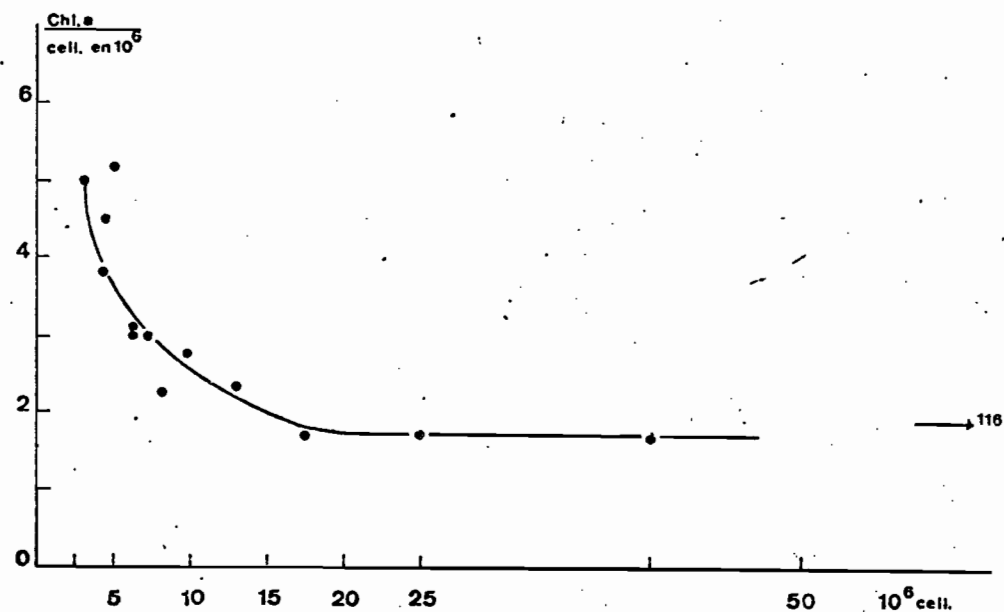


Fig. 56 - Taux de chlorophylle a ($\mu\text{g/l}$) et production primaire ($\text{O}_2 \text{ mg.H}^{-1}.\text{l}^{-1}$) ramenés à 10^6 cell/l .

Fig. 57 - Taux de Chlorophylle a ($\mu\text{g/l}$) et production primaire ($\text{O}_2 \text{ mg.H}^{-1}.\text{l}^{-1}$) par unité de volume algal (mm^3/l)

Il est vrai toutefois que la taille moyenne d'une espèce n'a pas été estimée pour chaque prélèvement. On peut donc envisager qu'elle soit plus petite dans les prélèvements présentant de fortes densités cellulaires, comme c'est le cas en culture monospécifique. Il nous semble malgré tout peu probable qu'il y ait de telles différences entre nos stations. Nous retiendrons donc la seconde hypothèse formulée par BENON et al. (1977) ayant constaté le même phénomène, mais cette fois concernant l'A.T.P. (diminution des taux intracellulaires d'A.T.P avec l'augmentation des effectifs cellulaires) : la majeure partie des cellules dénombrées sont mortes ou en état de vie ralentie. Signalons que NEVEUX (1976) a mis en évidence la disparition de la linéarité entre la fluorescence et la teneur en pigments pour des concentrations en chlorophylle a supérieures à 750 μ g/l d'acétone à 90 %, mais que les taux auxquels nous avons travaillé ne dépassent jamais ce seuil.

- 3) la matière organique (celle contenue dans les effluents rejetés et celle que représente le phytoplancton mort) en sédimentant, forme, au fond, des vases organiques réductrices ; à ce niveau, le déficit en oxygène provoque le remplacement des processus aérobies par des processus anaérobies, aboutissant à la formation d' H_2S , susceptible de diffuser à travers la couche supérieure oxygénée et de l'empoisonner.

3. LES BIOESSAIS

3.1 L'effluent de l'huilerie-savonnerie

L'effluent a été testé aux concentrations suivantes : 0 (témoin), 10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} et 1. La durée de l'incubation a été de 15 jours. L'inoculum, prélevé le 23 Août 1976, au débouché du canal de Vridi en lagune, présentait une salinité de 12‰.

3.1.1 Aspect quantitatif

On constate aussi bien sur les courbes d'évolution des teneurs en chlorophylle a que sur celles de production primaire (fig. 58 et 59) :

- pour les concentrations 0 et 10^{-3} , une augmentation très importante des valeurs de ces paramètres qui se manifeste dès le premier jour d'incubation et atteint son maximum le 3^{ème} jour,

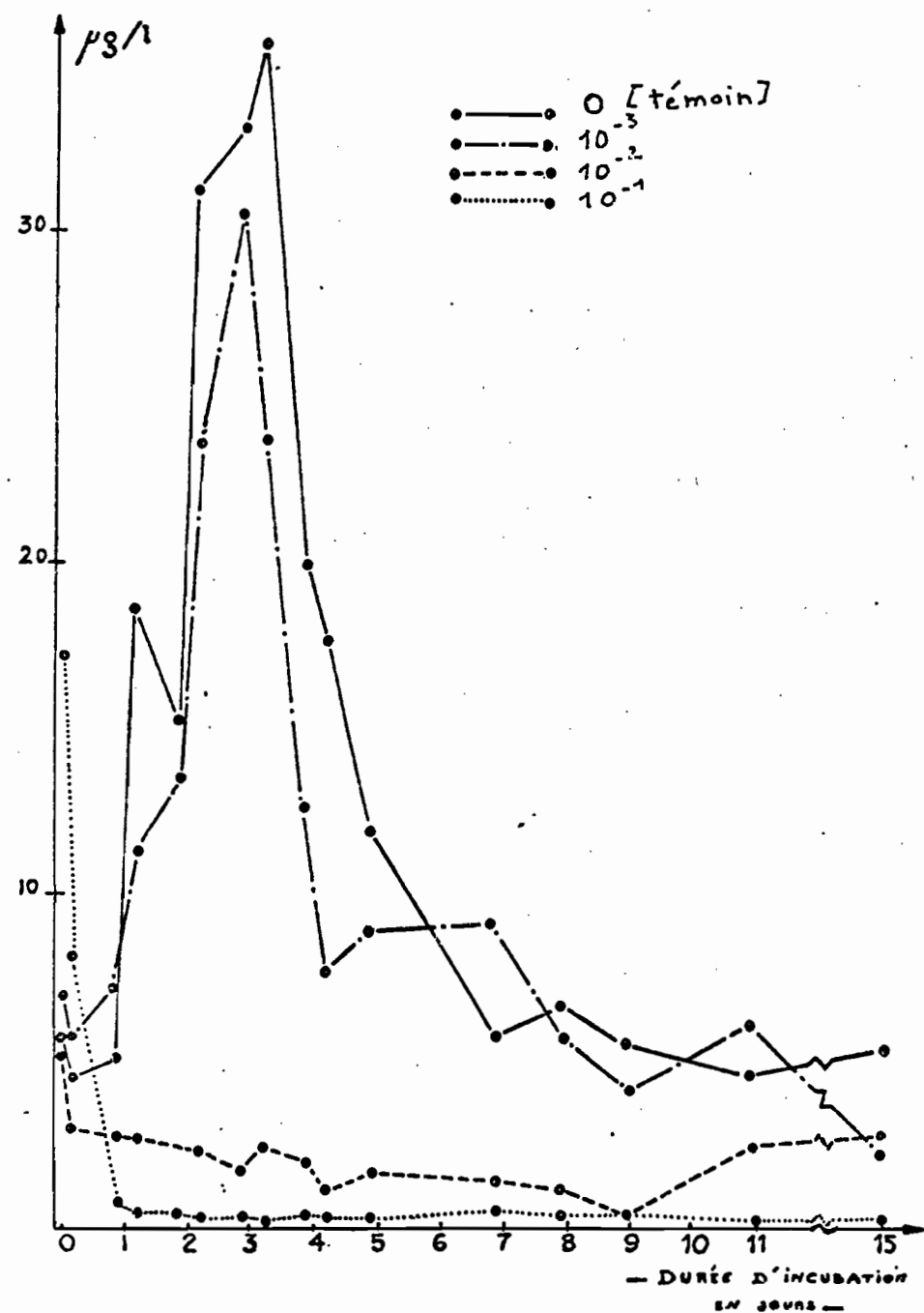


Fig. 58 - Evolution des taux de chlorophylle a au cours de la période d'incubation (effluent de l'huilerie-savonnerie)

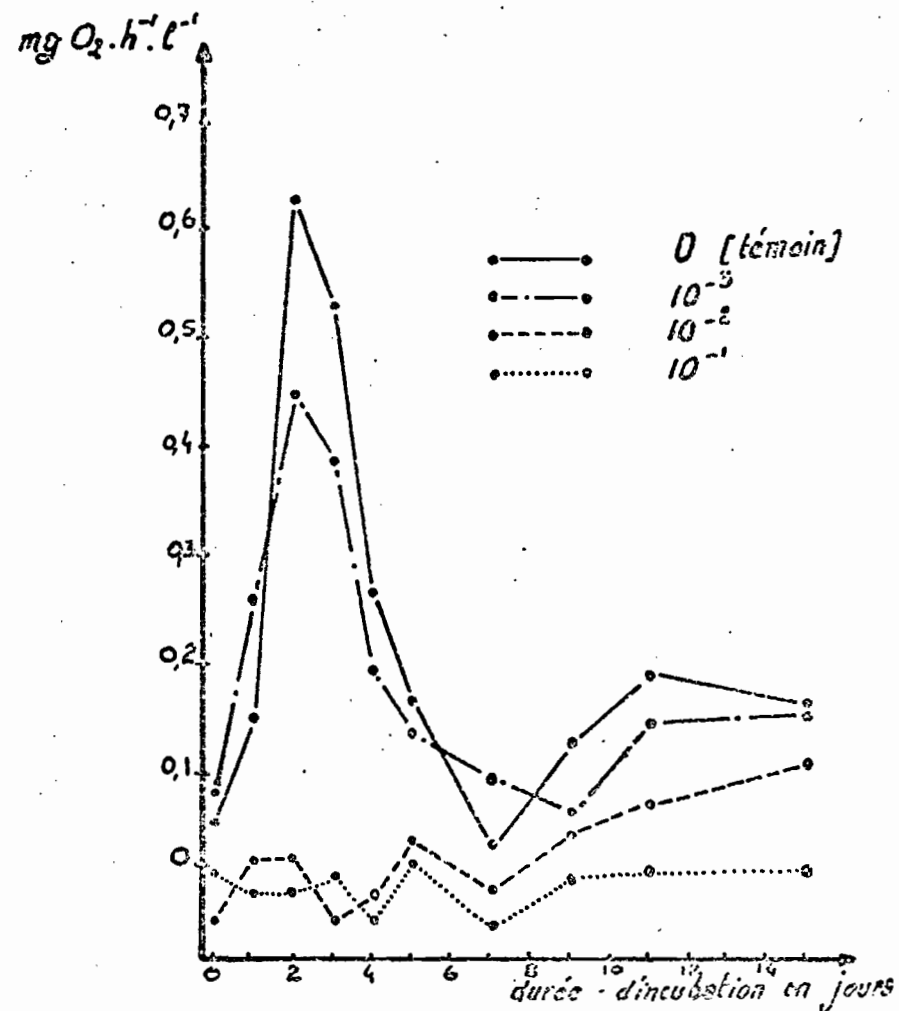


Fig. 59 - Evolution de la production primaire au cours de la période d'incubation (effluent de l'huilerie-savonnerie)

- en revanche, pour les concentrations 10^{-2} , 10^{-1} et 1, une chute des valeurs de ces paramètres qui se maintiennent à des taux très faibles jusqu'à la fin de la période d'incubation. Seule la concentration 10^{-2} voit une légère augmentation à partir du 9eme jour d'incubation.

Les comptages phytoplanctoniques (tableaux 21, 22, 23) effectués aux 3eme, 7eme et 11eme jour d'incubation rendent compte des mêmes phénomènes : le témoin et la concentration 10^{-3} (fig. 60 et 61) présentent une augmentation des effectifs le 3eme jour, puis une chute le 7eme jour. Cependant, cette diminution n'est pas aussi importante que le laisserait supposer les teneurs en chlorophylle a. De plus, le 11eme jour voit de nouveau une augmentation du biovolume algal total. Les évolutions du témoin et de la concentration 10^{-3} n'apparaissent pas différentes.

La concentration 10^{-2} (fig. 62) montre une légère augmentation des effectifs le 3eme jour, avant une chute importante le 7eme jour, puis un léger redémarrage le 11eme jour.

La croissance observée le 3eme jour d'incubation apparaît très en-dessous de celle des deux autres concentrations (0 et 10^{-3}).

Pour les concentrations 10^{-1} et 1, aucun individu n'a été observé tout au long de la période d'incubation, autant que la turbidité de l'effluent permettait de le voir.

3.1.2 Aspect qualitatif

D'un point de vue qualitatif, l'inoculum comprend 13 espèces, les Diatomées, avec principalement Cerataulina pelagica et Leptocylindrus minimus, représentant 37 % du biovolume total, les Euglénophycées, Eutreptiella braarudii et Eutreptiella sp, et les Cryptophycées, Cryptomonas sp, représentant 55 %.

L'évolution de la composition spécifique des trois concentrations (fig. 60), témoin, 10^{-3} , 10^{-2} , est la même. La croissance observée le 3eme jour concerne la population initiale (exceptées les Cryptophycées qui disparaissent aux concentrations 0 et 10^{-3} et se maintiennent légèrement à la concentration 10^{-2}). De plus, apparaissent des Chlorophycées du genre Stichococcus et des

ESPECES	Inoculum	Durée d'incubation en jours		
		3e jour	7e jour	11e jour
<u>DIATOMÉES</u>				
Cerataulina pelagica	16.000 0,1280	313.000 2,5040	-	-
Chaetoceros sp	500 0,0002	-	-	-
Coscinodiscus oculus-iridis	140 0,0077	3.800 0,2090	10.900 0,5995	4.000 0,2200
Coscinodiscus sp	160 0,0012	3.800 0,0304	9.000 0,0720	5.400 0,0432
Cyclotella spp	13.000 0,0026	442.000 0,0884	410.000 0,0820	-
Leptocylindrus minimus	87.000 0,0052	-	-	-
Melosira juergensi	20 0,0001	37.000 0,2220	409.000 2,4540	460.000 2,7600
Navicula spp + Nitzschia spp	1.000 0,0002	28.000 0,0056	431.000 0,0862	580.000 0,1160
<u>DINOFLAGELLÉES</u>				
Ceratium furca	520 0,0286	500 0,0275	400 0,0220	-
Dinophysis caudata	20 0,0004	-	-	-
<u>EUTREPTIACEES</u>				
Eutreptiella braarudii	118.000 0,2003	806.000 1,3702	-	-
Eutreptiella sp	6.500 0,0026	104.000 0,0416	-	-
<u>CRYPTOPHYCEES</u>				
Cryptomonas sp	37.000 0,0148	-	-	-
<u>Espèces "apparues"</u>				
<u>DIATOMÉES</u>				
Amphora coffeaeformis		21.000 0,0074	588.000 0,2058	690.000 0,2415
Nitzschia rigida		-	45.000 0,0675	60.000 0,0900
Nitzschia rigida var rigidula		48.000 0,0480	534.000 0,5340	2.600.000 2,6000
<u>CHLOROPHYCEES</u>				
Stichococcus sp		50.700.000 3,0420	357.000 0,0214	-
TOTAL biovolume mm ³ /l	0,3924	7,5961	4,1444	6,0707

Tableau 21 - Témoin - Biovolumes algaux au cours de l'incubation
(effluent de l'huilerie-savonnerie)

ESPECES	Inoculum	Durée d'incubation en jours		
		3e jour	7e jour	11e jour
<u>DIATOMÉES</u>				
Cerataulina pelagica	16.000 0,1280	401.000 3,2080	7.000 0,0560	-
Chaetoceros sp	500 0,0002	500 0,0003	-	-
Coscinodiscus oculus-iridis	140 0,0077	3.600 0,1980	8.000 0,4400	5.700 0,3135
Coscinodiscus sp	160 0,0012	1.400 0,0112	10.800 0,0864	5.100 0,0408
Cyclotella spp	13.000 0,0026	1.006.000 0,2012	115.000 0,0230	-
Leptocylindrus minimus	87.000 0,0052	82.000 0,0049	-	-
Melosira juergensi	20 0,0001	36.000 0,2160	241.000 1,4460	574.000 3,4440
Navicula spp + Nitzschia spp	1.000 0,0002	70.000 0,0140	326.000 0,0652	714.000 0,1428
<u>DINOFLAGELLÉES</u>				
Ceratium furca	520 0,0286	600 0,0330	300 0,0165	-
Dinophysis caudata	20 0,0004	-	-	-
<u>EUTREPTIACEES</u>				
Eutreptiella braarudii	118.000 0,2003	247.000 0,4199	-	-
Eutreptiella sp	6.500 0,0026	9.000 0,0036	-	-
<u>CRYPTOPHYCEES</u>				
Cryptomonas sp	37.000 0,0148	-	-	-
<u>Espèces "apparues"</u>				
<u>DIATOMÉES</u>				
Amphora coffeaeformis		16.000 0,0056	704.000 0,2464	1.700.000 0,5950
Nitzschia rigida		-	43.000 0,0645	200.000 0,3000
Nitzschia rigida var rigidula		34.000 0,0340	350.000 0,3500	1.500.000 1,5000
<u>CHLOROPHYCEES</u>				
Stichococcus sp		21.603.000 1,2962	284.000 0,0170	-
TOTAL biovolume mm^3/l	0,3924	5,6456	2,8110	6,3361

Tableau 22 - Concentration 10^{-3} - Biovolumes algaux au cours de
l'incubation (effluent de l'huilerie-savonnerie)

ESPECES	Inoculum	Durée d'incubation en jours		
		5e jour	7e jour	11e jour
<u>DIATOMÉES</u>				
Cerataulina pelagica	16.000 0,1280	30.000 0,2400	-	-
Chaetoceros sp	500 0,0002	-	-	-
Coccinodiscus oculus-iridis	140 0,0077	1.120 0,0616	1.260 0,0693	900 0,0425
Coccinodiscus sp	160 0,0012	220 0,0018	2.020 0,0162	2.420 0,0194
Cyclotella spp	13.000 0,0026	521.000 0,1042	75.000 0,0150	-
Leptocylindrus minimus	87.000 0,0052	-	-	-
Melosira juergensi	20 0,0001	900 0,0054	520 0,0031	5.700 0,0034
Navicula spp + Nitzschia spp	1.000 0,0002	15.000 0,0030	3.000 0,0006	-
<u>DINOFLAGELLES</u>				
Ceratium furca	520 0,0286	100 0,0055	60 0,0033	-
Dinophysis caudata	20 0,0004	40 0,0009	-	-
<u>EUGLENOPHYCEES</u>				
Eutreptiella braarudii	118.000 0,2006	-	-	-
Eutreptiella sp	6.500 0,0026	1.000 0,0004	-	-
<u>CRYPTOPHYCEES</u>				
Cryptomonas sp	37.000 0,0143	17.000 0,0068	-	-
<u>Espèces "apparues"</u>				
<u>DIATOMÉES</u>				
Amphora coffeaeformis		-	1.000 0,0004	1.000 0,0004
Nitzschia rigida		-	-	-
Nitzschia rigida var rigidula		-	4.400 0,0044	38.000 0,0380
<u>CHLOROPHYCEES</u>				
Stichococcus sp		172.000 0,0103	-	-
TOTAL biovolume mm ³ /l	0,3924	0,4399	0,1122	0,1414

Tableau 23 - Concentration 10^{-2} - Biovolumes algaux au cours de l'incubation (effluent de l'huilerie-savonnerie)

C.P. Cerataulina pelagica
 N.R. Nitzschia rigida
 N.R.V.R. Nitzschia rigida var. rigidula
 A.C. Amphora coffeaeformis
 M.J. Melosira juergensi
 C.O.I. Coscinodiscus oculus-iridis
 S. sp Stichococcus sp

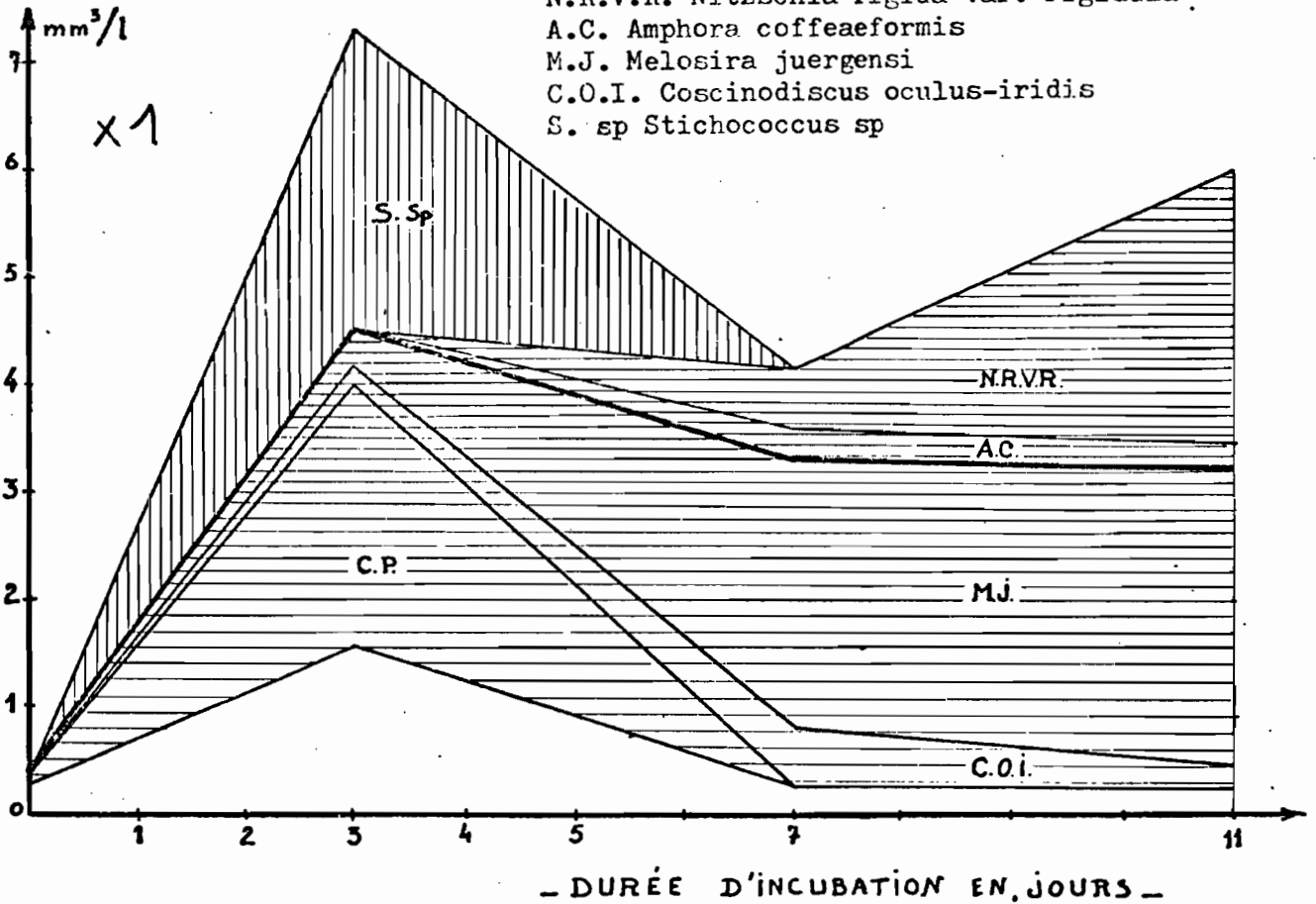


Fig. 60 - Témoin - Evolution des biovolumes algaux totaux et par espèce
 (effluent de l'huilerie-savonnerie)

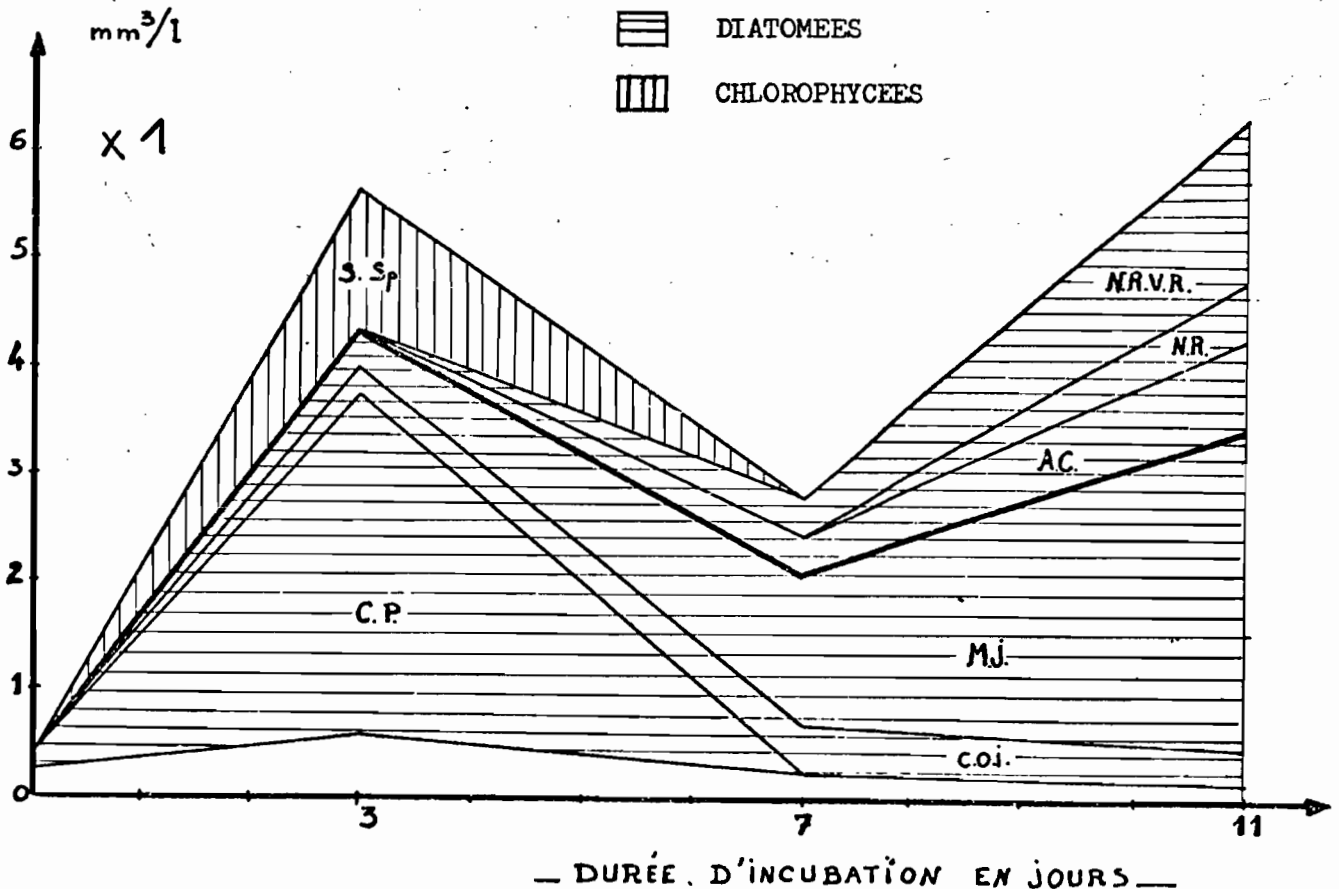


Fig. 61 - Concentration 10^{-3} - Evolution des biovolumes algaux totaux et
 par espèce (effluent de l'huilerie-savonnerie)

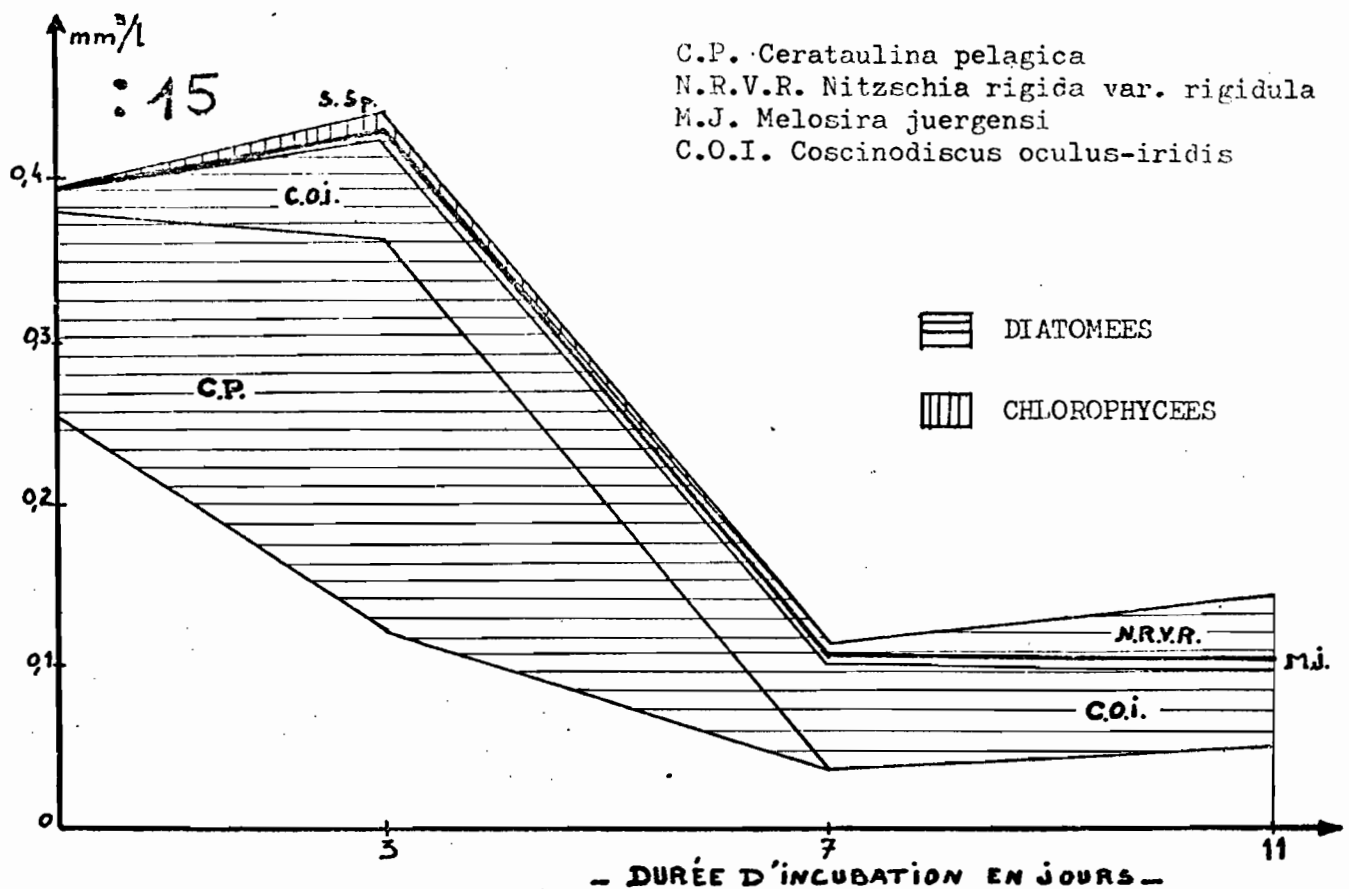


Fig. 62 - Concentration 10^{-2} - Evolution des biovolumes algaux totaux et par espèce (effluent de l'huilerie-savonnerie)

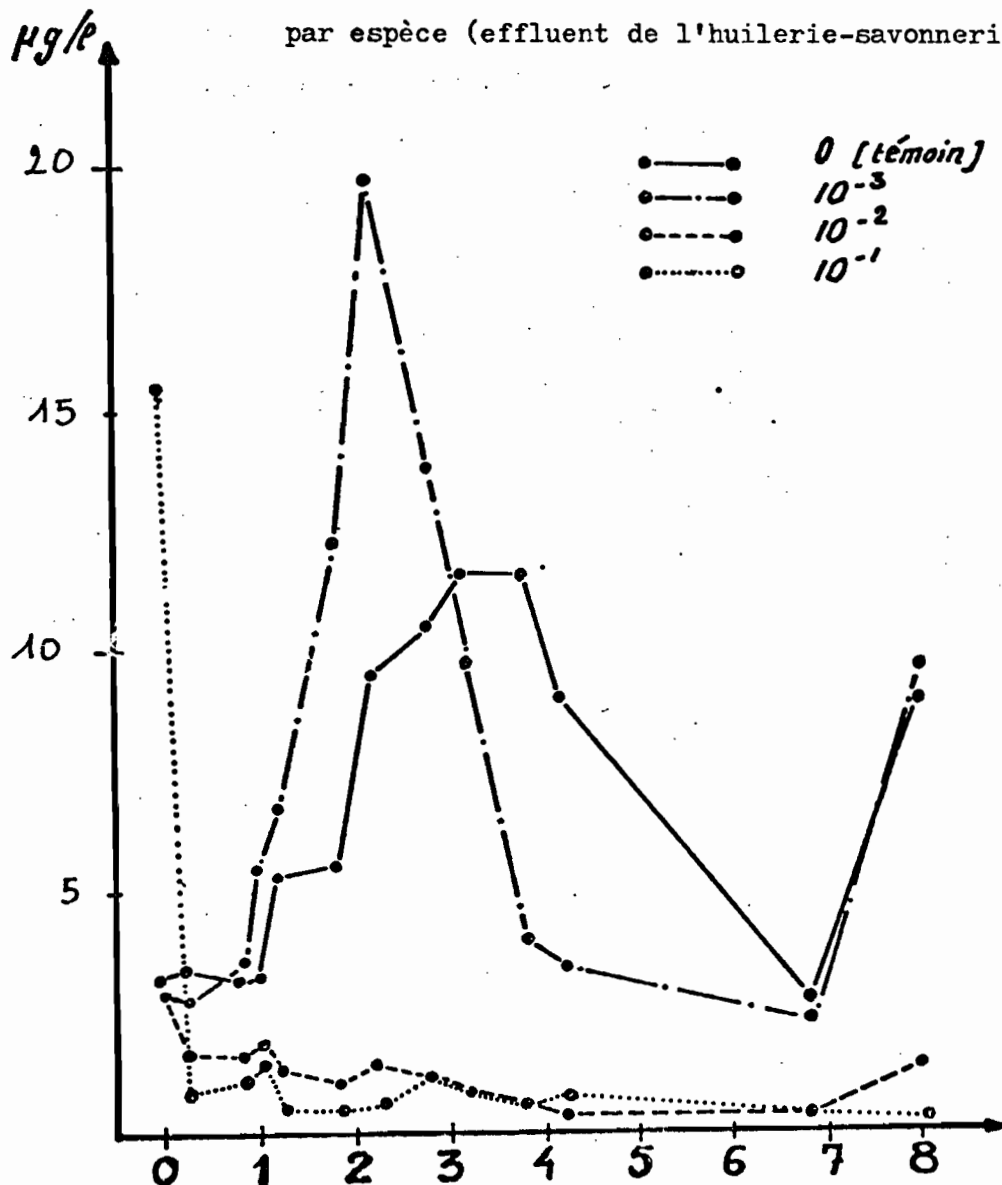


Fig. 63 - Evolution des taux de chlorophylle a - Autre expérience - (effluent de l'huilerie-savonnerie)

Diatomées pennées des genres Nitzschia et Amphora.

Le 7eme jour d'incubation voit décroître les Chlorophycées, les Euglénophycées et certaines Diatomées : Cerataulina pelagica et Cyclotella spp, tandis que les autres continuent à se développer. Le 11eme jour, les populations sont constituées uniquement de Diatomées, soit présentes dans l'inoculum, mais en très faible quantité (Coscinodiscus oculus-iridis, Melosira juergensi), soit apparues au cours de l'incubation (Nitzschia rigida, Amphora coffeaeformis).

3.1.3 Discussion

L'effet de l'effluent apparaît toxique pour les concentrations 10^{-2} , 10^{-1} et 1. Cette toxicité peut être expliquée en partie par le pH élevé de l'effluent, souvent supérieur à 11,5. En effet, de telles valeurs sont incompatibles avec l'activité biologique. Des pH très élevés empêchent l'activité bactérienne ; le pH de 10,3, pour la concentration 10^{-1} , peut expliquer à lui seul le blocage de l'activité oxydante, celle-ci devant être essentiellement d'origine bactérienne. De plus, BERLAND (1966) a constaté qu'à partir d'un pH de 10, le développement algal est inhibé.

DEGREMONT (1972) signale la variabilité du pH des rejets des huileries-savonneries qui peuvent être extrêmes, car les eaux résiduaires contiennent des acides gras (pH = 1 à 2) et des résidus de saponification (pH = 13). Une condition à l'auto-épuration rapide de l'effluent semble être sa neutralisation. Le mélange des résidus serait donc recommandé. Il imposerait des bassins tampons de volume important. Cependant, d'autres produits contenus dans les rejets, phénols, hydrocarbures, etc..., peuvent aussi expliquer l'effet défavorable à forte concentration de l'effluent.

L'effet eutrophisant de l'effluent dilué n'est pas mis en évidence dans cette expérience, celui-ci devant se manifester pour des concentrations comprises entre 10^{-2} et 10^{-3} . Cependant, la variabilité de la composition du rejet a permis lors d'une autre expérience, de le mettre en évidence pour la dilution 10^{-3} (fig. 63), l'effluent étant sans doute plus concentré le jour du prélèvement.

Les résultats obtenus à partir de ces bioessais concordent bien avec ceux observés in situ : la zone proximale de l'émissaire est caractérisée par un peuplement phytoplanctonique très réduit. De plus, nous y avons constaté

une inhibition de la consommation d'oxygène. Ajoutons que l'effet défavorable du rejet y est sans doute accentué du fait de sa forte turbidité et de la présence d'un film gras en surface qui limitent la pénétration lumineuse.

Du point de vue de la composition spécifique des populations, les espèces qui apparaissent au cours des bioessais n'ont jamais été dominantes in situ, bien que Coscinodiscus oculus-iridis et Melosira juergensi aient été trouvés, mais en faible quantité. Rappelons cependant la persistance de Cryptomonas sp (très importante in situ) à la concentration 10^{-2} , le 3ème jour d'incubation.

3.2 L'effluent de la teinturerie industrielle

L'effluent a été testé aux concentrations suivantes : 0 (témoin), 10^{-4} , 10^{-2} et 10^{-1} . L'incubation a duré 14 jours ; l'inoculum prélevé dans le chenal Sud de l'île Boulay, le 11 Octobre 1976, présentait une salinité de 23‰.

3.2.1 Aspect quantitatif

Les comptages phytoplanctoniques ont été effectués les 1er, 5ème et 8ème jours pour les concentrations 0 et 10^{-4} , les 3ème, 5ème et 8ème jours pour 10^{-2} et 2ème, 6ème et 11ème jours pour 10^{-1} (tableaux 24 à 27).

Les courbes d'évolution des teneurs en chlorophylle a (fig. 64) et celles des biovolumes totaux (fig. 65 à 68) font apparaître :

- une croissance algale maximale le 1er jour d'incubation pour le témoin et la concentration 10^{-4} , le 2ème jour pour la concentration 10^{-2} . Pour ces trois concentrations, le 5ème jour est marqué par une chute des effectifs cellulaires avant un redémarrage qui atteint son maximum le 8ème jour.

Le maximum observé en début d'incubation pour la concentration 10^{-2} est très supérieur à ceux des deux autres dilutions.

La différence cependant observée entre ces deux dernières concentrations est à mettre en rapport avec la différence des inoculum qui apparaît avec les dosages des teneurs en chlorophylle a : 1,6 µg/l et 3,6 µg/l (et non avec les dénombrements cellulaires, l'inoculum n'ayant été examiné qu'une fois).

JACQUES (1973), ayant observé que la croissance algale in vitro était proportionnelle au nombre de cellules initiales, on peut considérer que ces deux dilutions n'évoluent pas de façon différente.

ESPECES	Inoculum	Durée d'incubation en jours		
		1er jour	5e jour	8e jour
<u>DIATOMÉES</u>				
Cyclotella spp		0,0158	0,0018	0,1308
Leptocylindrus minimus		-	-	-
Rhizosolenia fragilissima		-	-	-
Thalassionema nitzschioïdes		0,0143	-	-
<u>DINOFIAGELLÉES</u>				
Ceratium candelabrum		-	-	-
Ceratium furca		0,0154	-	-
Ceratium fusus		0,0064	-	-
Ceratium teres		0,0006	-	-
Ceratium tripos		-	-	-
Dinophysis caudata		0,0018	-	-
Dinophysis schroederi		0,1541	-	-
Gymnodinium splendens		0,2600	-	0,0080
Gymnodinium spp		0,0040	-	-
Peridinium divergens		0,0308	-	-
Peridinium trochoideum		0,0072	-	-
Prorocentrum micans		0,0003	-	-
<u>ECOLOGOPHYCES</u>				
Eutreptiella braarudii		0,0124	-	-
Eutreptiella sp		0,0080	-	-
<u>Espèces "apparues"</u>				
<u>DIATOMÉES</u>				
Amphiprora sp		-	-	-
Amphora coffeaeformis		-	0,0126	0,8407
Coccinodiscus oculus-iridis		-	-	0,0033
Diatomées indéterminées		-	-	-
Melosira juergensii		-	-	0,0016
Navicula spp + Nitzschia spp		-	-	-
Nitzschia rigida		-	-	-y
Nitzschia sp		-	-	-
<u>DINOFIAGELLÉES</u>				
Peridinium sp		-	-	0,0405
<u>CHLOROPHYTES</u>				
Chlamydomonas sp		-	-	-
Tetraselmis sp		-	-	0,2226
<u>XANTHOPHYTES</u>				
Centritractus africanus		-	-	0,0352
TOTAL Biovolume $\text{mm}^3/1$	0,32	0,5312	0,0144	1,2227

Tableau 24 - Témoin - Biovolumes algaux au cours de l'incubation
(effluent de la teinturerie industrielle)

ESPECES	Inoculum	Durée d'incubation en jours		
		1er jour	5e jour	8e jour
<u>DIATOMÉES</u>				
Cyclotella spp	0,0196	0,0210	0,0112	0,0441
Leptocylindrus minimus		-	-	-
Rhizosolenia fragilissima	0,0029	-	-	-
Thalassionema nitzschioïdes	0,0147	0,0224	0,0190	0,0045
<u>DINOFIAGELLÉES</u>				
Ceratium candelabrum	0,0039	-	-	-
Ceratium furca	0,0143	0,0418	-	-
Ceratium fusus	0,0090	0,0142	-	-
Ceratium teres	0,0013	-	-	-
Ceratium tripos	0,0024	-	-	-
Dinophysis caudata	0,0018	0,0018	-	-
Dinophysis schroederi	0,1219	0,0989	-	-
Gymnodinium splendens	0,4150	0,8500	-	-
Gymnodinium spp	0,0293	0,0159	-	-
Peridinium divergens	0,0280	0,0196	-	0,0028
Peridinium trochoideum	0,0378	0,0212	-	-
Prorocentrum micans	0,0003	0,0012	-	0,0001
<u>ECOLOGOPHYCES</u>				
Eutreptiella braarudii	0,0090	0,0168	-	-
Eutreptiella sp	0,0090	0,0068	-	-
<u>Espèces "apparues"</u>				
<u>DIATOMÉES</u>				
Amphiprora sp		-	-	-
Amphora coffeaeformis		-	0,0002	0,1120
Coccinodiscus oculus-iridis		0,0022	-	0,0055
Diatomées indéterminées		-	-	-
Melosira juergensii		-	-	0,0010
Navicula spp + Nitzschia spp		-	-	-
Nitzschia rigida		-	-	-
Nitzschia sp		-	-	-
<u>DINOFIAGELLÉES</u>				
Peridinium sp		-	-	-
<u>CHLOROPHYTES</u>				
Chlamydomonas sp		-	-	-
Tetraselmis sp		-	-	0,9303
<u>XANTHOPHYTES</u>				
Centritractus africanus		-	0,0002	0,0342
TOTAL Biovolume $\text{mm}^3/1$	0,7201	1,1338	0,0301	1,1344

Tableau 25 - Concentration 10^{-4} - Biovolumes algaux au cours de
l'incubation (effluent de la teinturerie industrielle)

ESPECES	Inoculum	Durée d'incubation en jours		
		2e jour	5e jour	8e jour
<u>DIATOMÉES</u>				
Cyclotella spp	0,0196	0,0960	0,0678	0,0198
Leptocylindrus minimus	-	-	-	-
Rhizosolenia fragilissima	0,0029	-	-	-
Thalassionema nitzschioides	0,0147	0,0955	0,1241	0,0517
<u>DINOFLAGELLÉS</u>				
Ceratium candelabrum	0,0039	-	-	-
Ceratium furca	0,0143	0,0308	-	0,0011
Ceratium fuscum	0,0090	0,0104	-	-
Ceratium teres	0,0013	-	-	-
Ceratium tripos	0,0024	-	-	-
Dinophysis caudata	0,0018	-	-	-
Dinophysis schroederi	0,1219	0,0313	-	-
Gymnodinium splendens	0,4150	0,2050	0,0650	-
Gymnodinium spp	0,0293	0,0185	-	-
Peridinium divergens	0,0280	0,0084	-	-
Peridinium trochoideum	0,0378	0,1800	-	-
Prorocentrum micans	0,0003	-	-	-
<u>EUTREPTIACEES</u>				
Eutreptiella braarudii	0,0090	0,0900	-	-
Eutreptiella sp	0,0090	0,0352	-	-
<u>Espèces "apparues"</u>				
<u>DIATOMÉES</u>				
Amphiprora sp	-	-	-	-
Amphora coffeaeformis	-	-	-	0,1295
Coscinodiscus oculus-iridis	-	-	-	0,0033
Diatomées indéterminées	-	-	-	-
Melosira juergensii	-	-	-	0,0047
Navicula spp + Nitzschia spp	0,0036	0,0040	-	0,0040
Nitzschia rigida	-	-	-	-
Nitzschia sp	-	-	-	-
<u>DINOFLAGELLÉS</u>				
Peridinium sp	-	-	0,0846	0,2355
<u>CHLOROPHYTES</u>				
Chlamydomonas sp	-	-	-	-
Tetraselmis sp	-	-	0,0800	1,2300
<u>XANTHOPHYTES</u>				
Centritractus africanus	-	-	0,0050	0,0020
TOTAL Biovolume mm ³ /l	0,7201	2,6497	0,4265	1,7176

Tableau 26 - Concentration 10^{-2} - Biovolumes algues au cours de l'incubation (effluent de la teinturerie industrielle)

ESPECES	Inoculum	Durée d'incubation en jours			
		2e jour	6e jour	11e jour	
<u>DIATOMÉES</u>					
Cyclotella spp	0,0196	0,0042	0,2208	-	
Leptocylindrus minimus	-	-	-	-	
Rhizosolenia fragilissima	0,0029	-	-	-	
Thalassionema nitzschioides	0,0147	-	-	-	
<u>DINOFLAGELLÉS</u>					
Ceratium candelabrum	0,0039	-	-	-	
Ceratium furca	0,0143	-	-	-	
Ceratium fuscus	0,0090	-	-	-	
Ceratium teres	0,0013	-	-	-	
Ceratium tripos	0,0024	-	-	-	
Dinophysis caudata	0,0018	-	-	-	
Dinophysis schroederi	0,1219	-	-	-	
Gymnodinium splendens	0,4150	-	-	-	
Gymnodinium spp	0,0293	-	-	-	
Peridinium divergens	0,0280	-	-	-	
Peridinium trochoideum	0,0378	-	-	-	
Prorocentrum micans	0,0003	-	-	-	
<u>EUTREPTIACEES</u>					
Eutreptiella braarudii	0,0090	-	-	-	
Eutreptiella sp	0,0090	-	-	-	
<u>Espèces "apparues"</u>					
<u>DIATOMÉES</u>					
Amphiprora sp	-	-	1,7226	0,7842	
Amphora coffeaeformis	-	-	4,2280	21,1029	
Coscinodiscus oculus-iridis	-	-	0,1089	0,0005	
Diatomées indéterminées	-	-	-	-	
Melosira juergensii	-	-	0,0031	0,0036	
Navicula spp + Nitzschia spp	-	-	0,6906	0,9804	
Nitzschia rigida	-	-	0,4440	0,7220	
Nitzschia sp	-	-	0,0320	4,4120	
<u>DINOFLAGELLÉS</u>					
Peridinium sp	-	-	-	-	
<u>CHLOROPHYTES</u>					
Chlamydomonas sp	-	-	3,5084	-	
Tetraselmis sp	-	-	-	-	
<u>XANTHOPHYTES</u>					
Centritractus africanus	-	-	2,0168	0,1470	
TOTAL Biovolume	mm ³ /l	0,7201	0,0042	12,9842	28,1526

Tableau 27 - Concentration 10^{-1} - Biovolumes algues au cours de l'incubation (effluent de la teinturerie industrielle)

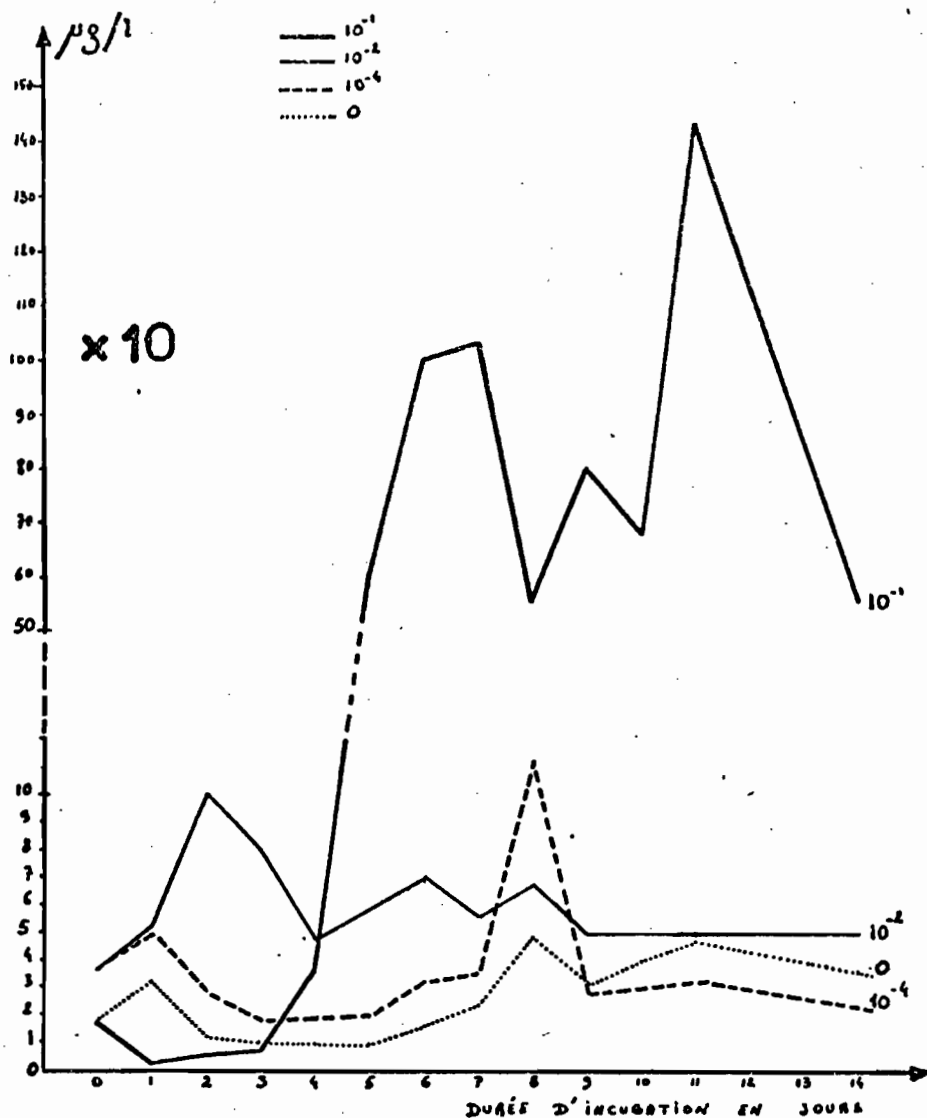


Fig. 64 - Evolution des taux de chlorophylle a au cours de la période d'incubation (effluent de la teinturerie industrielle)

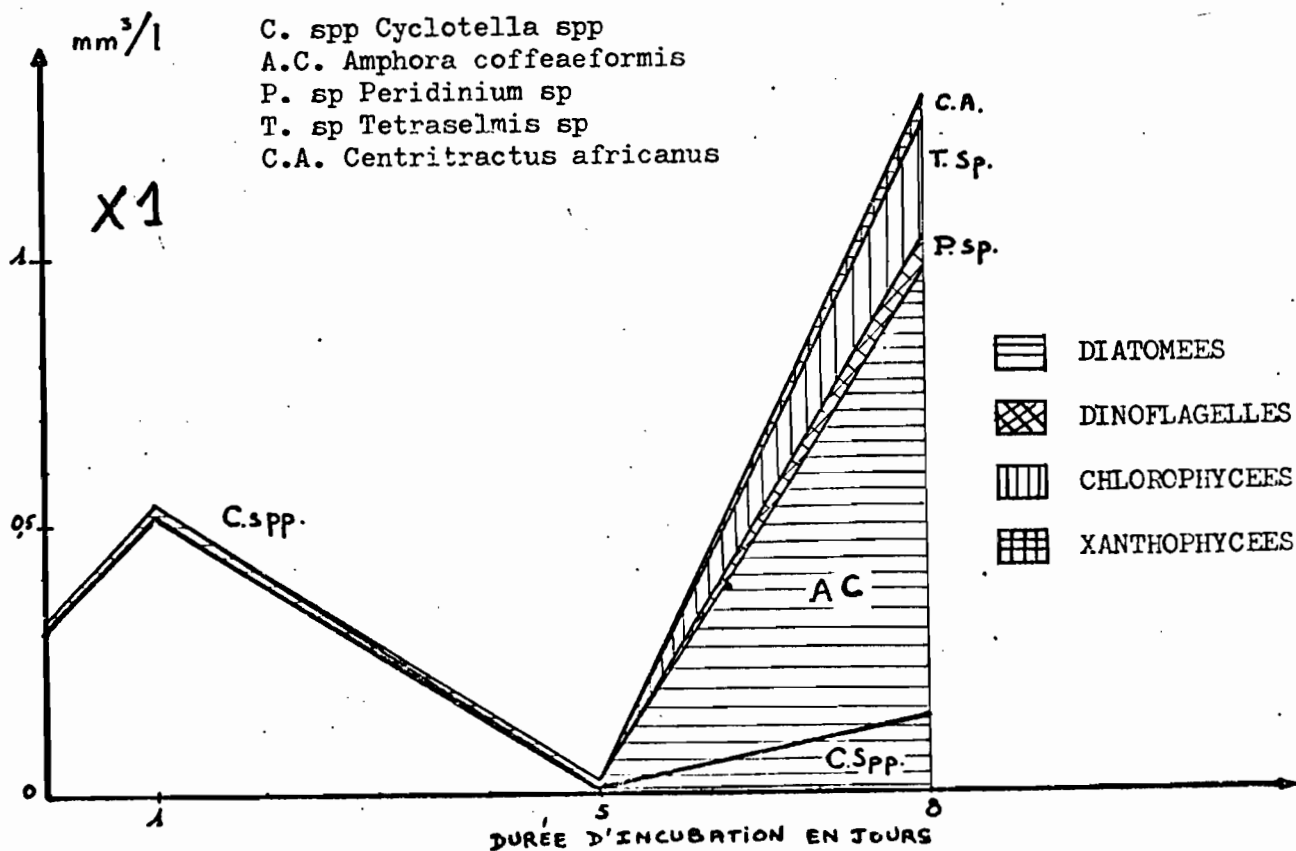


Fig. 65 - Témoin - Evolution des biovolumes algaux totaux et par espèce (effluent de la teinturerie industrielle)

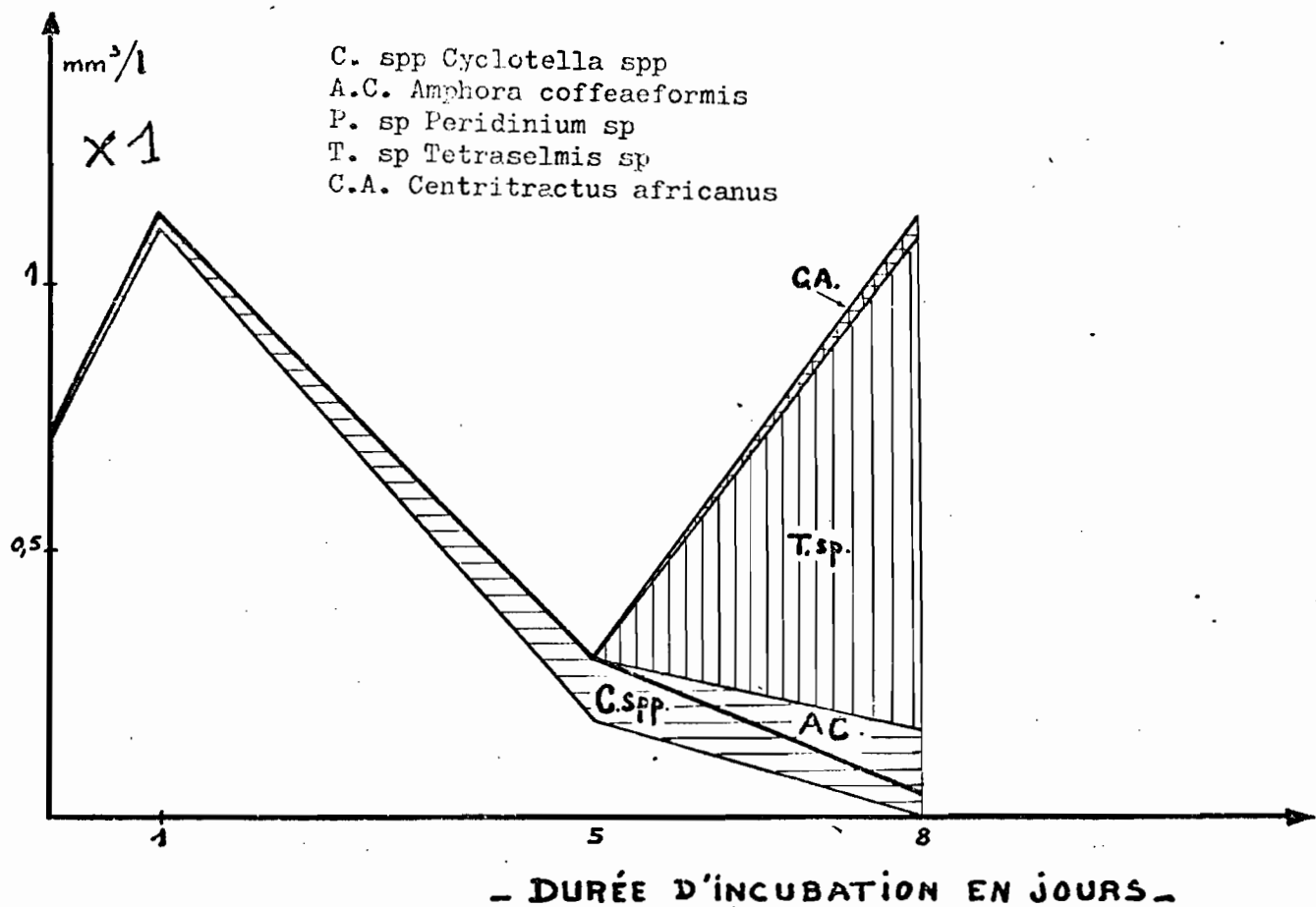


Fig. 66 - Concentration 10^{-4} - Evolution des biovolumes algaux totaux et par espèce (effluent de la teinturerie industrielle)

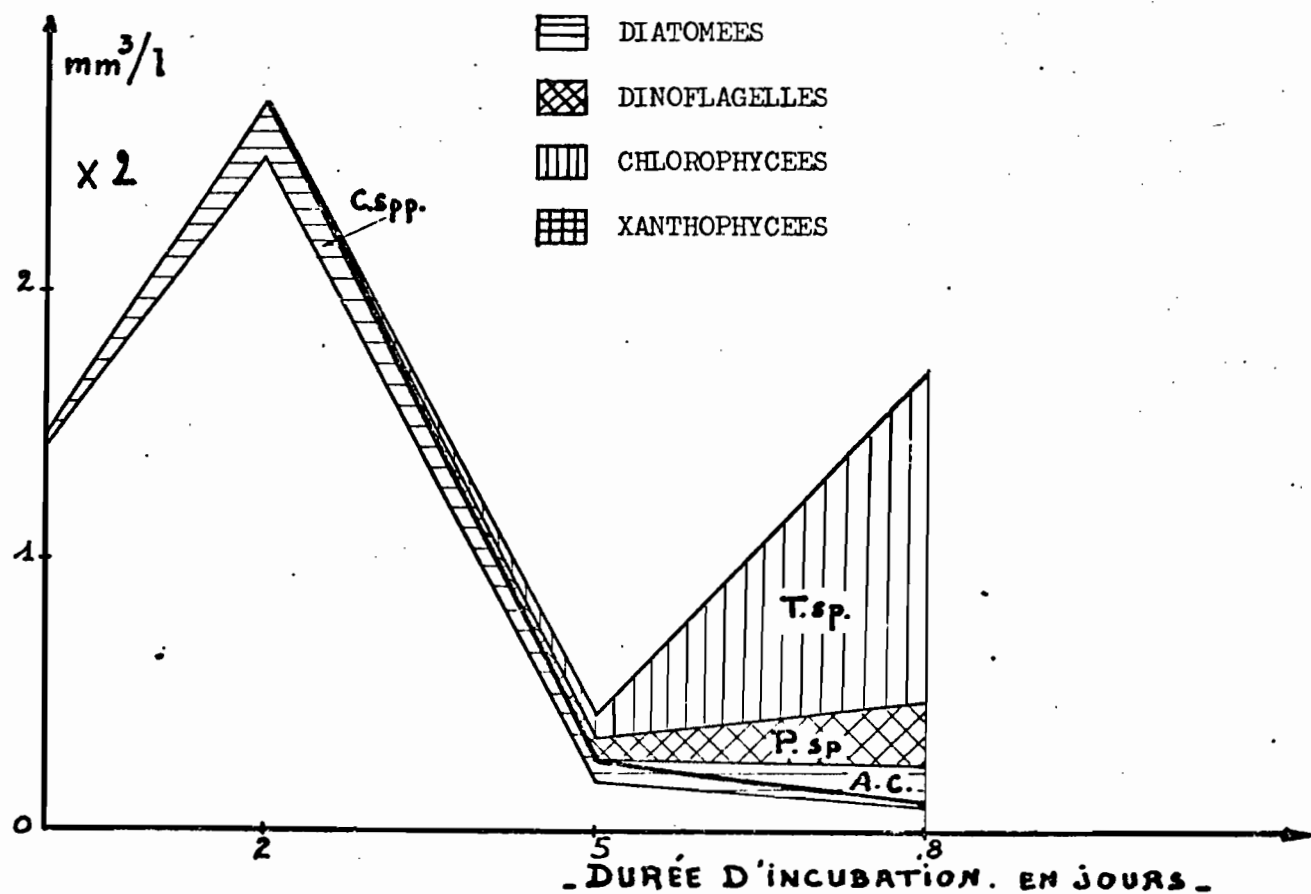


Fig. 67 - Concentration 10^{-2} - Evolution des biovolumes algaux totaux et par espèce (effluent de la teinturerie industrielle)

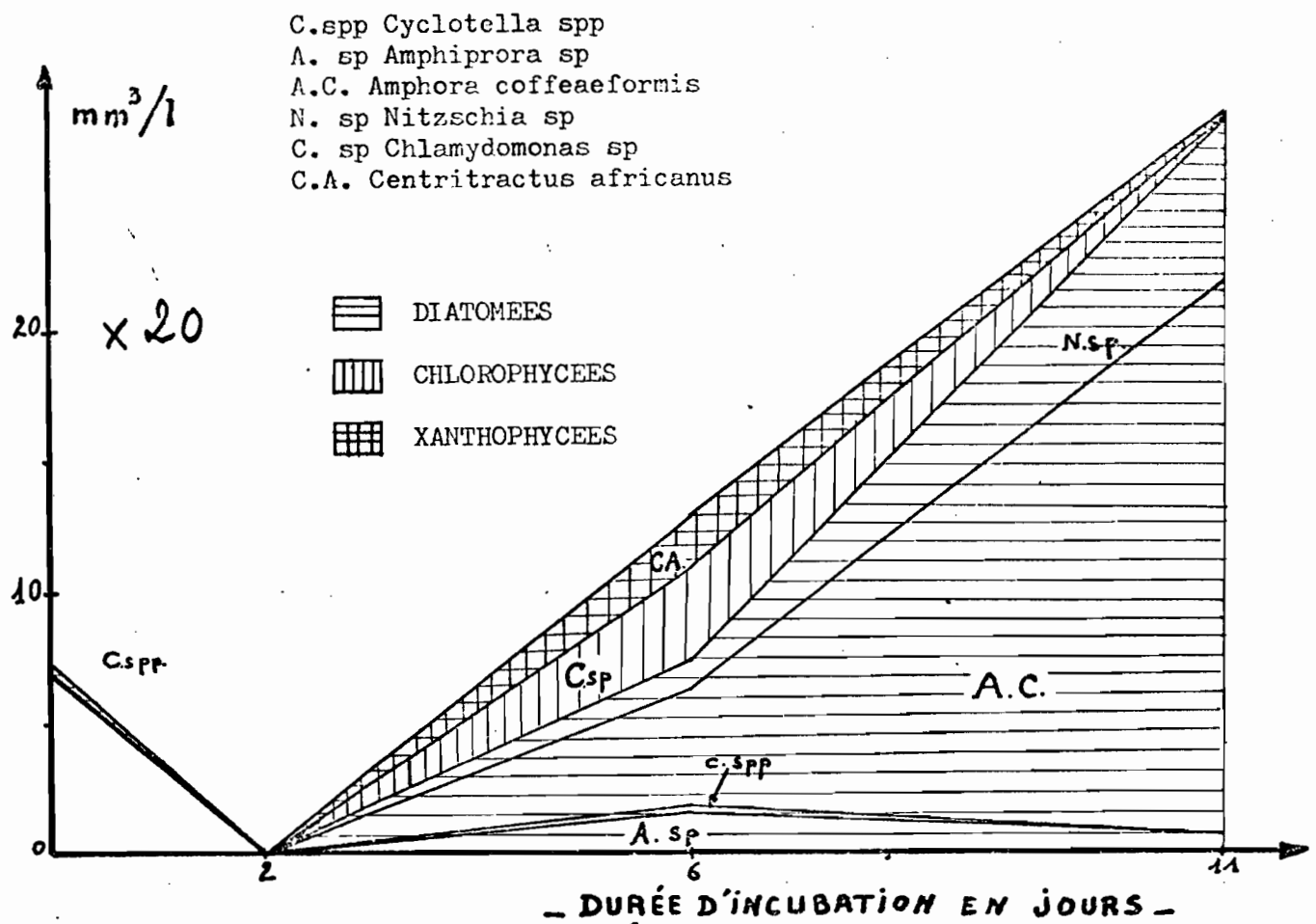


Fig. 68 - Concentration 10^{-1} - Evolution des biovolumes algaux totaux et par espèce (effluent de la teinturerie industrielle)

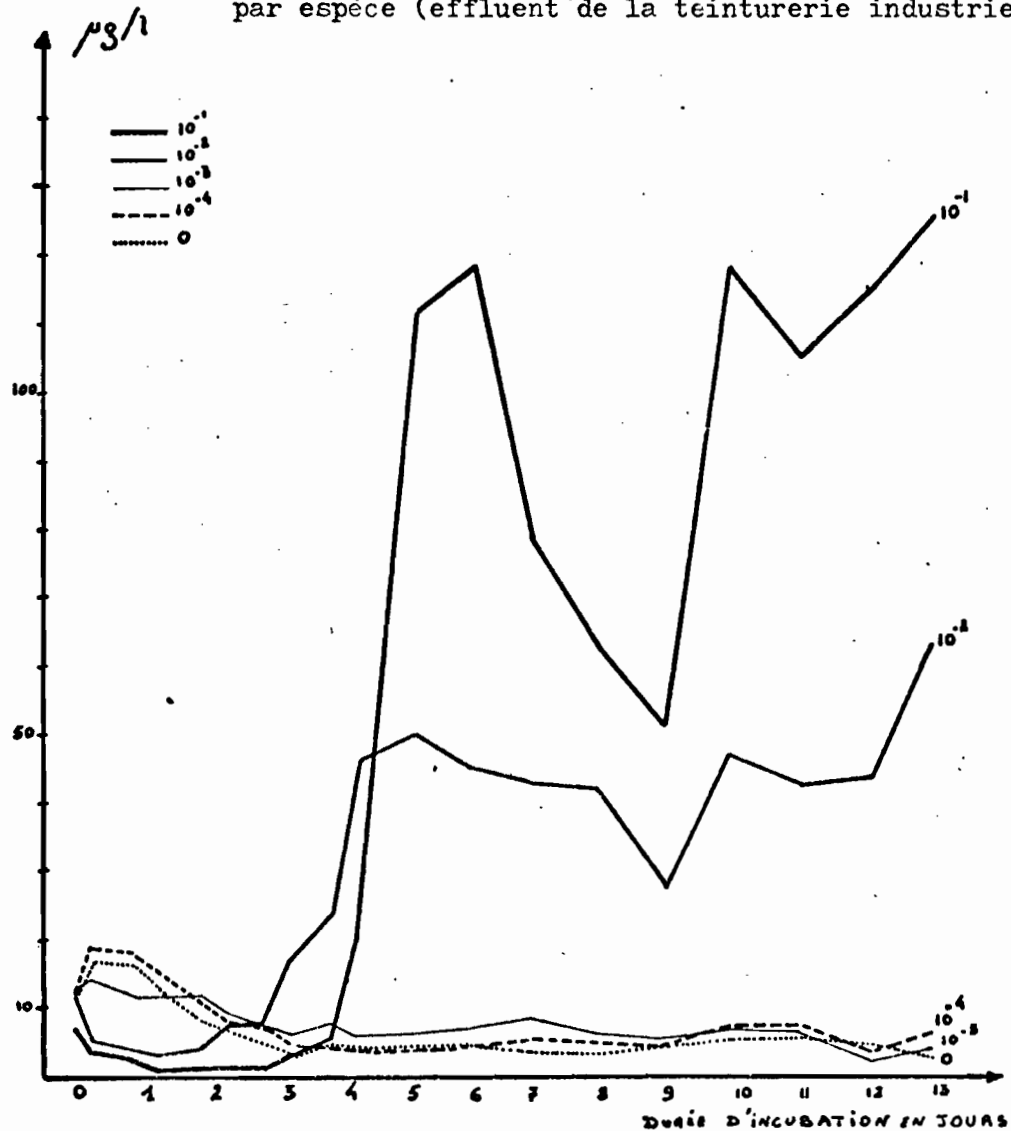


Fig. 69 - Evolution des taux de chlorophylle a - Autre expérience -

- une chute des valeurs de ces paramètres, pour la concentration 10^{-1} , le 1er et le 2eme jours d'incubation, puis une augmentation très importante les 6eme et 11eme jours.

3.2.2 Aspect qualitatif

D'un point de vue qualitatif, l'inoculum est composé en majeure partie de gros Dinoflagellés, Gymnodinium splendens, Dinophysis schroderi, de quelques Diatomées et Euglénophycées. C'est une population typiquement marine. Comme pour les bioessais effectués avec l'effluent de l'huilerie-savonnerie, la croissance du 1er jour concerne la population initiale. Par la suite, des différences de composition spécifique apparaissent entre les diverses dilutions (fig. 60).

- pour les concentrations 0 et 10^{-4} , le 5eme jour, ne restent que quelques espèces de l'inoculum. De nouvelles espèces apparaissent : Amphora coffeaeformis, Centritractus africanus.
- pour la concentration 10^{-2} , en plus des espèces citées ci-dessus, on trouve des Flagellés (voisins de Tetraselmis), un Peridinium et de petites Diatomées des genres Nitzschia et Navicula.

Le 8eme jour d'incubation voit, pour les trois dilutions, une croissance de cette nouvelle population, dominée par les Diatomées et les Chlorophycées.

- la concentration 10^{-1} présente aussi le 6eme jour les espèces Amphora coffeaeformis, Centritractus africanus et les petites Diatomées pennées, auxquelles s'ajoutent des espèces qui n'apparaissent pas dans les autres dilutions : Amphiprora sp, Nitzschia rigida, Nitzschia sp et Chlamydomonas sp. Le 11eme jour, la population est exclusivement constituée de Diatomées.

3.2.3 Discussion

. L'effluent s'avère toxique, à court terme, à de fortes concentrations (10^{-1}) ; de même que pour l'effluent de l'huilerie-savonnerie de Blohorn, cet effet peut être dû au pH élevé, mais aussi à la présence de métaux dans les eaux de rejet. La toxicité semble disparaître (différence avec les bioessais précédents) après 5 jours d'incubation. Le démarrage tardif d'une population algale peut s'expliquer :

- par une auto-épuration. L'activité bactérienne même réduite peut libérer des acides organiques qui provoquent un abaissement du pH.
- par une adaptation des algues aux éléments toxiques (métaux lourds, par ex.), STOCKNER et al. (1976) ayant montré qu'elle pouvait se produire.

A partir de ce 5^{ème} jour d'incubation, l'effluent s'avère extrêmement eutrophisant. Cet effet était déjà mis en évidence pour la concentration 10^{-2} , dès le 2^{ème} jour d'incubation. Signalons la variabilité de la composition du rejet, DUFOUR, (com. pers.) ayant mis en évidence dans une autre expérience (fig. 69) son effet toxique pour la concentration 10^{-2} .

. In situ, nous avons constaté les mêmes phénomènes. Signalons que l'absence d'oxygène dissous à l'émissaire aurait pu sembler une cause de l'effet néfaste de l'effluent, cependant pour les bioessais, les taux d'oxygène dissous ont toujours été élevés du fait de l'aération forcée effectuée sur les bocal, mais les conditions toxiques restaient inchangées.

D'un point de vue qualitatif, il est remarquable de noter que Chlamydomonas sp trouvé près de l'émissaire in situ, ne se développe qu'à la concentration 10^{-1} lors des bioessais. De même, Tetraselmis sp trouvé à distance du point de rejet in situ, ne se développe que pour les concentrations 0, 10^{-4} et 10^{-2} .

Ajoutons qu'après 6 jours d'incubation, on voit apparaître, bien qu'en faible quantité, Melosira juergensi et Coscinodiscus oculus-iridis (qui étaient très développés à la fin des précédentes incubations). Insistons aussi sur la présence en quantité très importante d'Amphora coffeaeformis pour toutes les dilutions (comme lors des bioessais réalisés avec l'effluent de l'huilerie-savonnerie).

3.3 L'effluent des abattoirs

L'inoculum ayant servi à ce bioessai étant le même que celui des précédentes incubations, les bocal témoins sont communs. L'effluent a été testé aux concentrations : 0 (témoin), 10^{-1} et 10^{-2} , pendant une durée d'incubation de 14 jours. Les résultats sont reportés aux tableaux 28 et 29 .

ESPECES	Inoculum	Durée d'incubation en jours		
		4e jour	7e jour	11e jour
<u>DIATOMÉES</u>				
Cyclotella spp	0,0196	3,6324	0,6324	-
Leptocylindrus minimus	-	-	-	-
Rhizocolonia fragilissima	0,0029	-	-	-
Thalassionema nitzschioides	0,0147	-	-	-
<u>DINOFAGELLES</u>				
Ceratium candelabrum	0,0039	-	-	-
Ceratium furca	0,0143	-	-	-
Ceratium fuscus	0,0090	-	-	-
Ceratium teres	0,0013	-	-	-
Ceratium tripos	0,0024	-	-	-
Dinophysis caudata	0,0018	-	-	-
Dinophysis schroderi	0,1219	-	-	-
Gymnodinium splendens	0,4150	-	-	-
Gymnodinium spp	0,0293	0,1543	-	-
Peridinium divergens	0,0280	-	-	-
Peridinium trochoideum	0,0378	-	-	-
Prorocentrum micans	0,0003	-	-	-
<u>EUTREPTICÉES</u>				
Eutreptiella braarudii	0,0090	1,0147	9,0369	-
Eutreptiella sp	0,0090	-	-	-
<u>Espèces "apparues"</u>				
<u>DIATOMÉES</u>				
Amphiprora sp	-	-	-	-
Amphora coffeaeformis	-	0,0256	0,2832	4,8125
Cocconeodiscus oculus-iridis	-	-	-	-
Diatomées indéterminées	-	12,8770	-	-
Helosira juergensi	-	-	-	-
Navicula spp + Nitzschia spp	-	-	-	-
Nitzschia rigida	-	-	-	-
Nitzschia sp	-	-	-	-
<u>DINOFAGELLES</u>				
Peridinium sp	-	0,4965	1,0295	-
<u>CHLOROPHYTES</u>				
Chlamydomonas sp	-	-	0,8088	12,1428
Tetraselmis sp	-	-	-	-
<u>XANTHOPHYTES</u>				
Centritractus africanus	-	-	0,1030	-
TOTAL Biovolume $\text{mm}^3/1$	0,7201	18,2005	11,8928	16,9553

ESPECES	Inoculum	Durée d'incubation en jours		
		6e jour	8e jour	11e jour
<u>DIATOMÉES</u>				
Cyclotella spp	0,0196	0,0072	-	-
Leptocylindrus minimus	-	-	-	-
Rhizocolonia fragilissima	0,0029	-	-	-
Thalassionema nitzschioides	0,0147	-	-	-
<u>DINOFAGELLES</u>				
Ceratium candelabrum	0,0039	-	-	-
Ceratium furca	0,0143	-	-	-
Ceratium fuscus	0,0090	-	-	-
Ceratium teres	0,0013	-	-	-
Ceratium tripos	0,0024	-	-	-
Dinophysis caudata	0,0018	-	-	-
Dinophysis schroderi	0,1219	-	-	-
Gymnodinium splendens	0,4150	-	-	-
Gymnodinium spp	0,0293	-	-	-
Peridinium divergens	0,0280	-	-	-
Peridinium trochoideum	0,0378	-	-	-
Prorocentrum micans	0,0003	-	-	-
<u>EUTREPTICÉES</u>				
Eutreptiella braarudii	0,0090	0,0144	-	-
Eutreptiella sp	0,0090	-	-	-
<u>Espèces "apparues"</u>				
<u>DIATOMÉES</u>				
Amphiprora sp	-	-	-	-
Amphora coffeaeformis	-	3,8003	18,0145	36,6300
Cocconeodiscus oculus-iridis	-	-	-	-
Diatomées indéterminées	-	-	-	-
Helosira juergensi	-	-	-	-
Navicula spp + Nitzschia spp	-	-	-	-
Nitzschia rigida	-	-	-	-
Nitzschia sp	-	0,8270	1,3000	-
<u>DINOFAGELLES</u>				
Peridinium sp	-	-	-	-
<u>CHLOROPHYTES</u>				
Chlamydomonas sp	-	-	-	7,0588
Tetraselmis sp	-	-	-	-
<u>XANTHOPHYTES</u>				
Centritractus africanus	-	-	-	-
TOTAL Biovolume $\text{mm}^3/1$	0,7201	4,6489	19,3145	43,6887

Tableau 28 - Concentration 10^{-2} - Biovolumes algaux au cours de l'incubation (effluent des abattoirs)

Tableau 29 - Concentration 10^{-1} - Biovolumes algaux au cours de l'incubation (effluent des abattoirs)

3.3.1 Aspect quantitatif

Les courbes d'évolution des taux de chlorophylle a (fig. 70) et celles des biovolumes totaux (fig. 71 et 72), font apparaître, pour les deux concentrations 10^{-2} et 10^{-1} , une chute de ces valeurs dès le 1er jour d'incubation, contrairement à ce qu'on observe pour le témoin (fig. 65). Par la suite, les valeurs augmentent fortement le 4eme jour d'incubation pour la concentration 10^{-2} , et les 6eme, 8eme et 11eme jours, pour la concentration 10^{-1} (le maximum atteint est bien supérieur au précédent).

3.3.2 Aspect qualitatif

A la concentration 10^{-2} , le 4eme jour d'incubation voit une population de composition spécifique différente de celle de l'inoculum, avec cependant le maintien de Gymnodinium sp, Cyclotella spp et Eutreptiella braarudii. De plus, apparaissent, Amphora coffeaeformis, des Diatomées centriques non identifiées, Peridinium sp.

Le 7eme jour, on constate une multiplication intense d'Eutreptiella braarudii et l'apparition de Chlamydomonas sp et Centritractus africanus. Le 11eme jour, seuls subsistent Amphora coffeaeformis et Chlamydomonas sp.

A la concentration 10^{-1} , les 6eme et 8eme jours d'incubation, la population est constituée uniquement de Diatomées. Le 11eme jour, reste seule Amphora coffeaeformis, tandis que Chlamydomonas sp apparaît en quantité.

3.3.3 Discussion

De même que pour l'effluent de la teinturerie industrielle : la toxicité de l'effluent des abattoirs est mise en évidence à forte concentration (10^{-2} et 10^{-1}) et à court terme ; à la suite probablement d'une auto-épuration (plus longue pour la concentration 10^{-1} que 10^{-2}), son effet eutrophisant s'avère très intense, surtout à la concentration 10^{-1} . Des dosages de sels nutritifs ont été effectués au cours de ce bioessai. Ils sont particulièrement probants en ce qui concerne l'azote minéral total dissous (fig. 73).

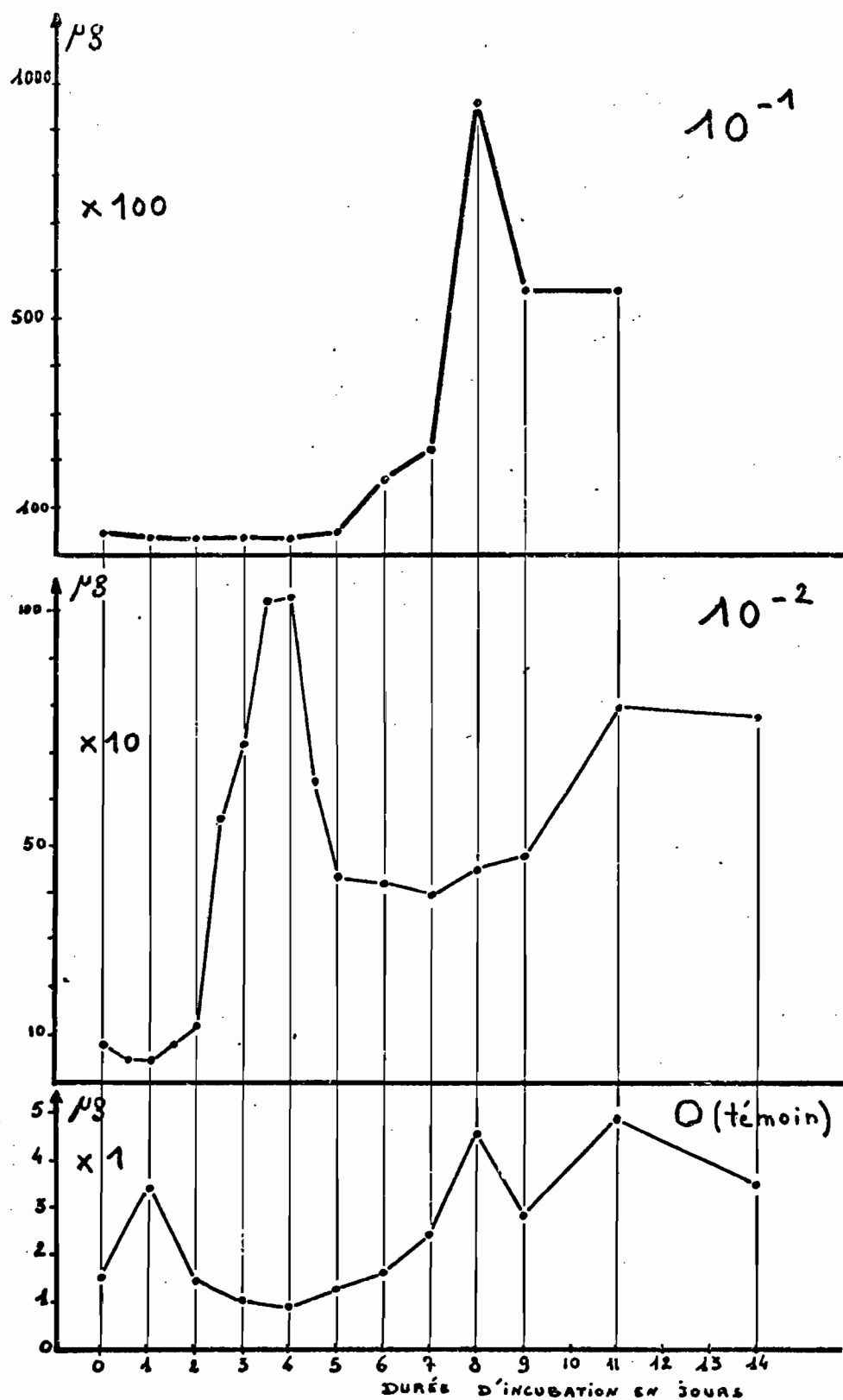


Fig. 70 - Evolution des taux de chlorophylle a au cours de la période d'incubation (effluent des abattoirs)

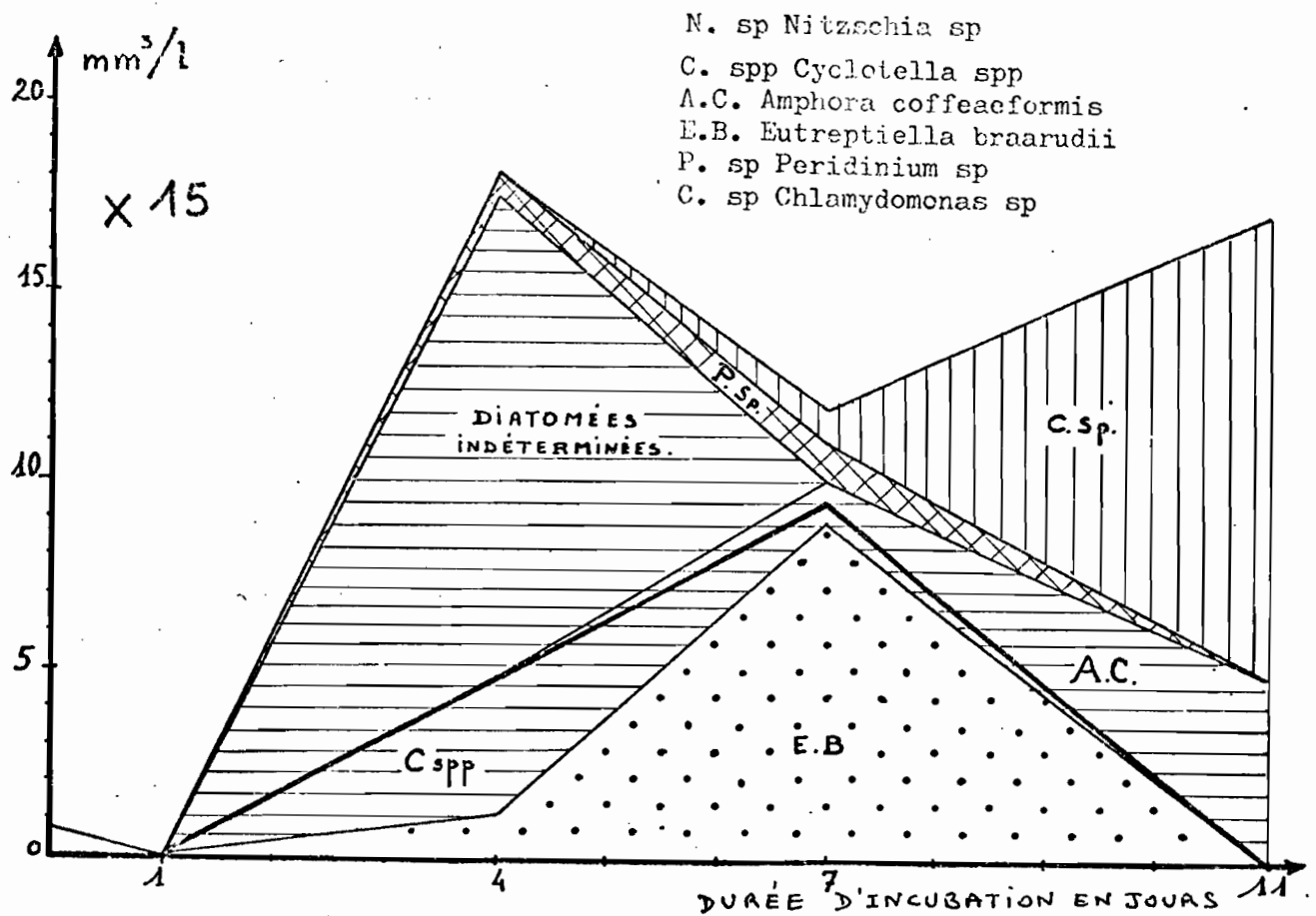


Fig. 71 - Concentration 10^{-2} - Evolution des biovolumes algaux totaux et par espèce (effluent des abattoirs)

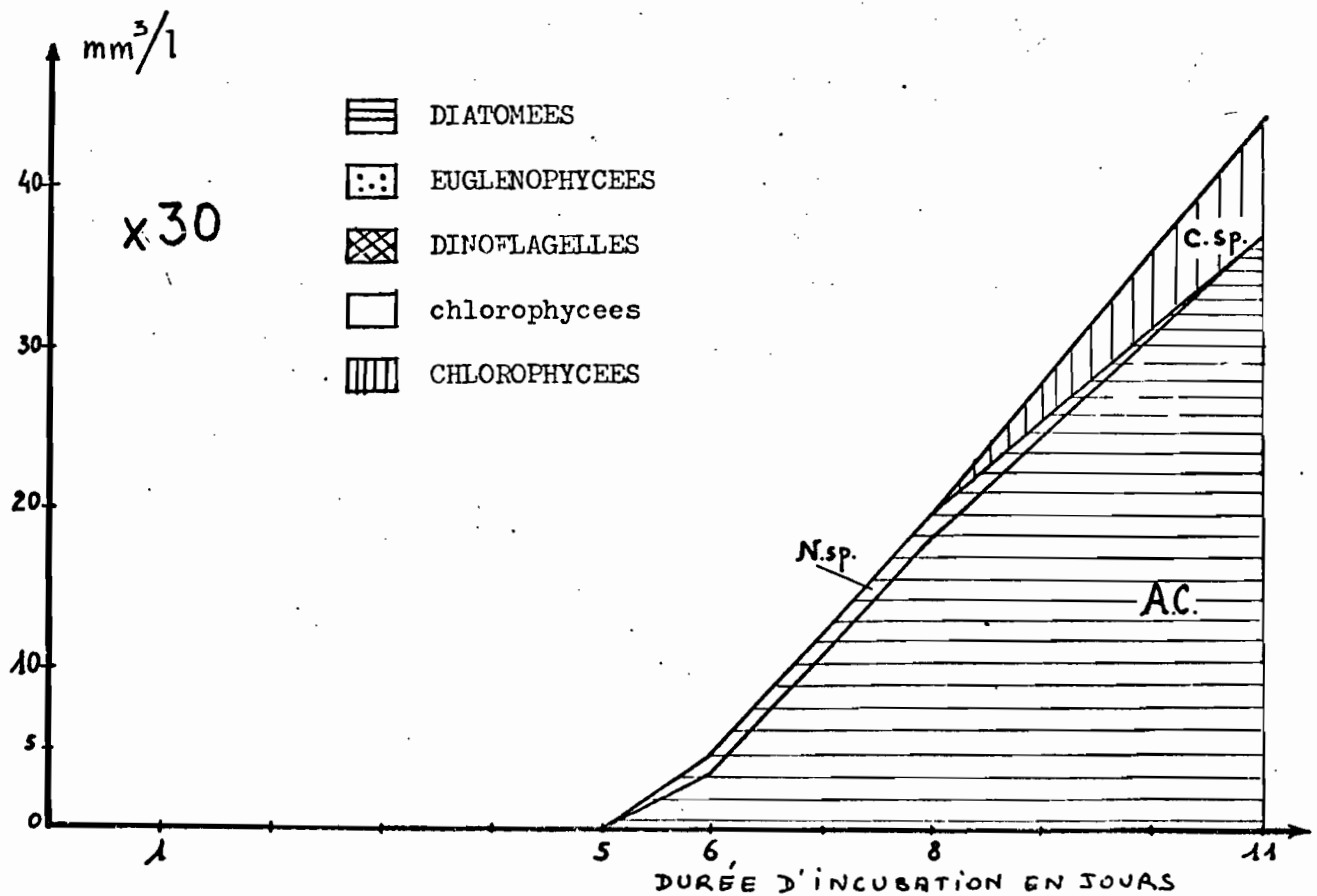


Fig. 72 - Concentration 10^{-1} - Evolution des biovolumes algaux totaux et par espèce (effluent des abattoirs)

Au jour 0, les teneurs augmentent avec la concentration de l'effluent :

témoin	10^{-2}	10^{-1}
15 μ atg/l	25 μ atg/l	125 μ atg/l

. Pour le témoin, on observe une chute de cette valeur les 1er et 2eme jours d'incubation (correspondant au premier maximum phytoplanctonique), puis une augmentation jusqu'à 5 μ atg/l le 5eme jour (minimum phytoplanctonique) et un second minimum le 8eme jour (essor d'une nouvelle population).

. A la concentration 10^{-2} , une augmentation des teneurs se manifeste jusqu'au 2eme jour d'incubation (minéralisation de la matière organique) (115 μ atg/l), puis on observe une chute radicale de cette valeur le 4eme jour, jour du développement d'une nouvelle communauté algale.

. A la concentration 10^{-1} , de même on observe une augmentation des teneurs jusqu'au 7eme jour d'incubation ($> 500 \mu$ atg/l) (bien supérieure à celle de la concentration 10^{-2}). Puis, une diminution à partir du 8eme jour, bien que les taux se maintiennent élevés (250 μ atg/l).

Les résultats confirment l'apport par l'effluent de sels nutritifs et de matières organiques ; la levée des conditions toxiques s'accompagne d'une minéralisation intense de cette matière organique. Ceci correspond tout à fait aux observations faites in situ.

D'un point de vue qualitatif, il est remarquable de constater que le fort développement d'Eutreptiella braarudii intervient uniquement à la concentration 10^{-2} (et pas dans le bioessai précédent où le même inoculum a été utilisé) et que, de même, c'est à cette dilution que l'on constate un certain maintien des petits Dinoflagellés. Ceci confirme que le fond de la baie est bien le lieu de prédilection de ces espèces, sous l'influence prépondérante du rejet des abattoirs.

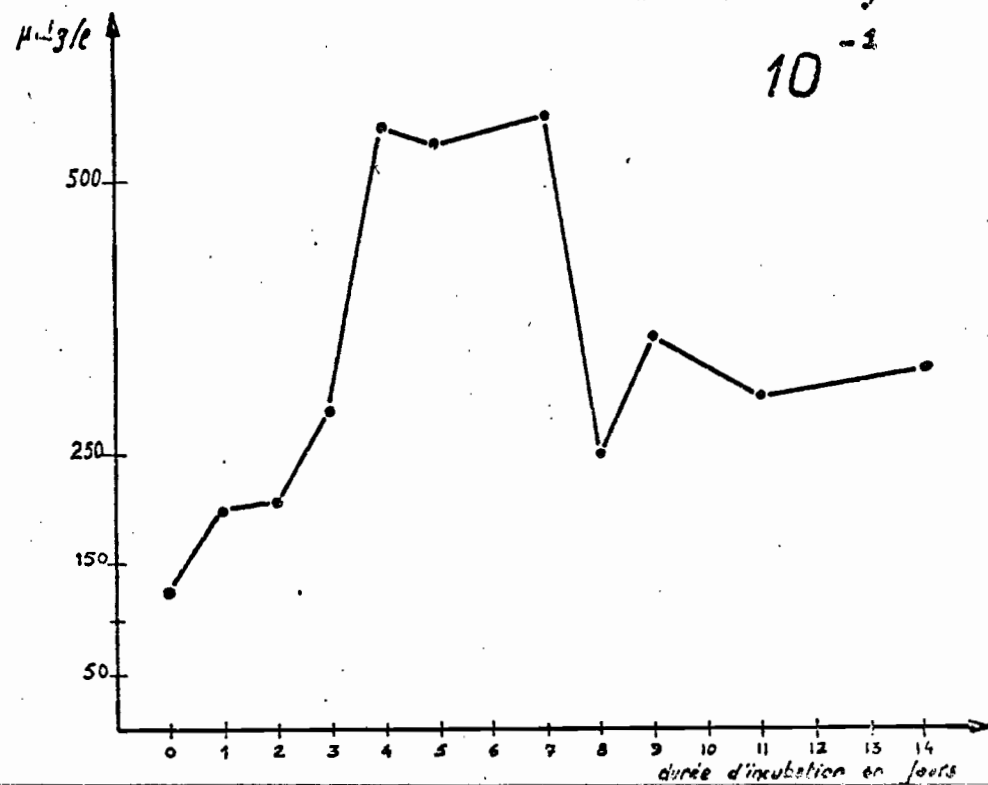
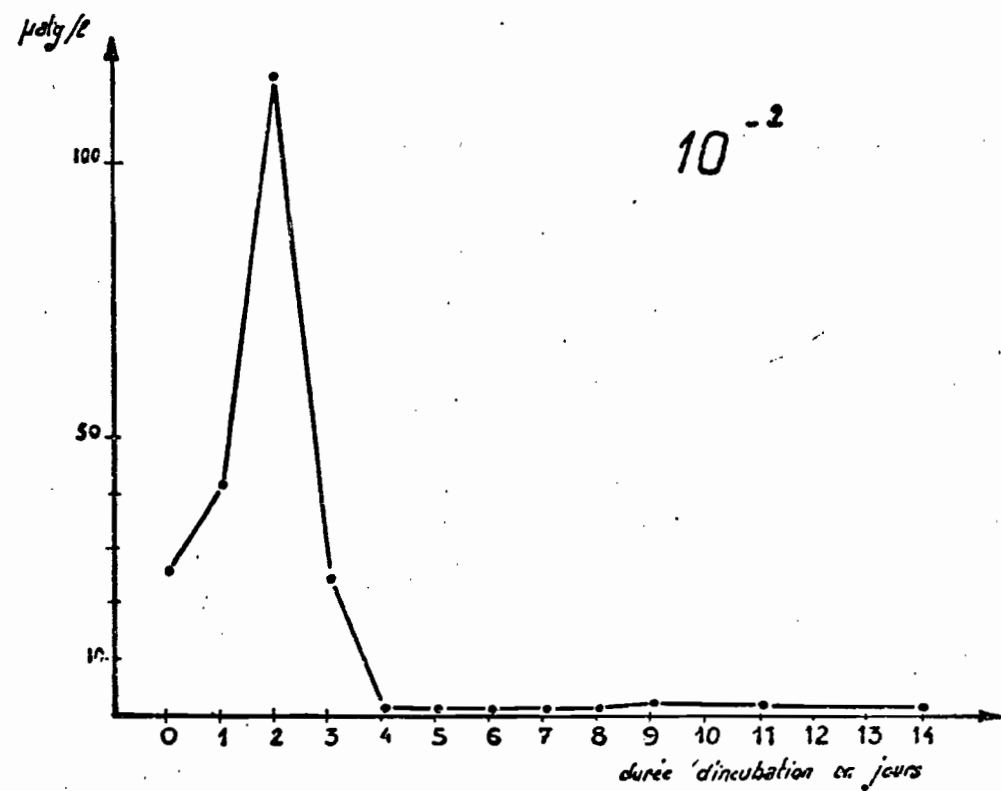
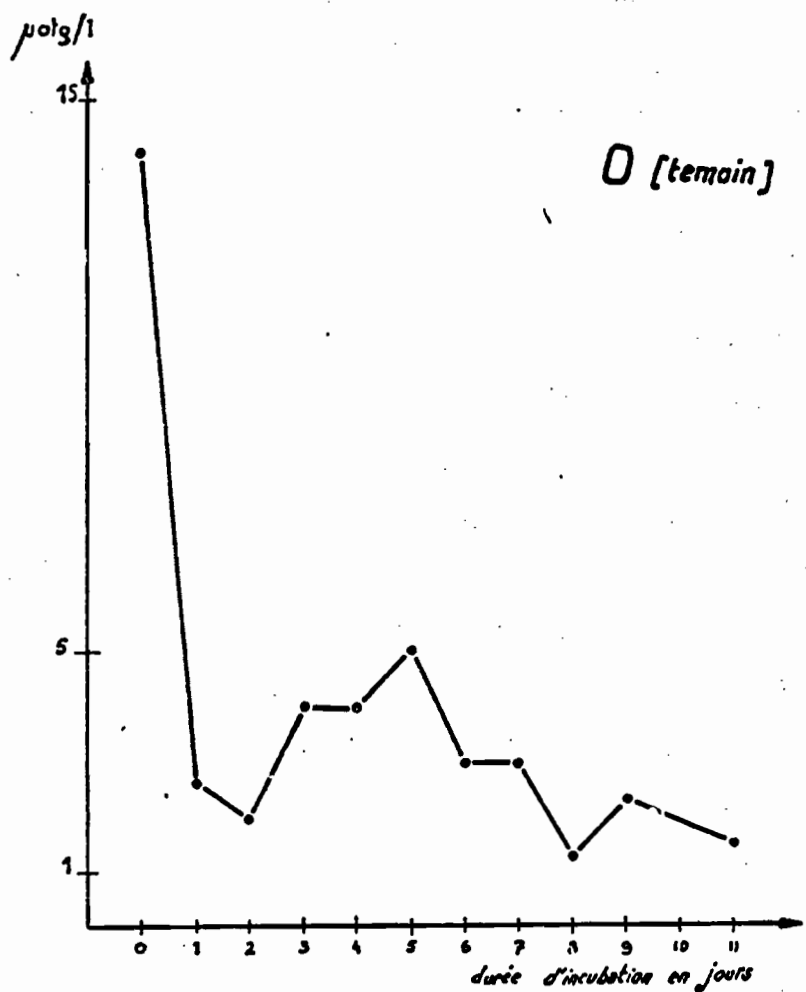


Fig. 73 - Evolution des teneurs en azote minéral total dissous (effluent des abattoirs)

3.4 Discussion générale sur les bioessais effectués en petit volume (3 l)

JACQUES et al. (1973), ayant réalisé des études "in vitro" d'enrichissements de communautés phytoplanctoniques néritiques de Méditerranée Nord Occidentale, dans des flacons de 10 litres exposés à 16°, sous lumière artificielle, constatent pour des incubations de 12 jours :

- les algues se multiplient aussi dans les flacons témoins et le nombre de cellules de l'inoculum conditionne la densité finale.
- la composition qualitative finale est identique quelle que soit la nature de l'enrichissement, et même si l'eau n'a pas été enrichie.
- les espèces les mieux représentées en fin d'expérience sont celles qui dominent lors des floraisons méditerranéennes : Nitzschia delicatissima, Leptocylindrus minimus, Chaetoceros insignis, Skeletonema costatum.

On peut considérer que nous sommes arrivés aux mêmes conclusions, c'est-à-dire, développement de la population initiale, mais seulement :

- sur une durée d'incubation de quelques jours,
- pour les bocaux témoins et ceux contenant de faibles concentrations d'effluent.

La température plus élevée (29°C), accélérant la physiologie des algues et le fait que nous travaillons en milieu riche, peuvent expliquer la rapidité d'évolution de nos populations (15 jours) par rapport à ce qu'ont observé JACQUES et al. (1973). En effet, ces derniers signalent, qu'en conditions oligotrophes, le phytoplancton répond lentement à l'addition d'éléments limitants. En outre, ils ajoutent : "le déroulement de la chaîne d'évènements consécutifs à l'addition de facteurs limitants, n'est pas arrivée, après 12 jours d'incubation à son terme : le remaniement qualitatif des populations". En effet, FEDOROV et SEMIN (1970) décrivent l'évolution d'une communauté phytoplanctonique après addition d'un facteur limitant :

- 1) Modification du métabolisme de ce composé
- 2) changement quantitatif du phytoplancton qui consomme l'élément ajouté
- 3) redistribution de cet élément
- 4) remaniement qualitatif de la communauté.

On peut considérer que pour nos bioessais, l'ajout d'effluent à de faibles concentrations revient à ajouter des éléments limitants. Nous constatons le

même schéma que celui décrit par FEDOROV, la population initiale pouvant marquer une chute radicale avant redémarrage d'une autre population, ou bien les deux phénomènes pouvant se juxtaposer (disparition de certaines espèces en même temps qu'apparition de nouvelles). Ajoutons que pour les témoins, les mêmes phénomènes se produisent sans ajout de sels nutritifs. Il y aurait consommation des sels présents dans le milieu et aussi recyclage des éléments nutritifs contenus dans le peuplement algal initial (CHARPY et CHARPY, 1977).

► Caractères des populations finales obtenues

- Le nombre des espèces se réduit au cours de l'incubation : bien que la population finale ne soit pas unispécifique, elle est notablement moins diversifiée que l'inoculum, sans doute à cause d'une compétition plus efficace que dans des conditions naturelles.

Ceci rejoint les observations faites par DUNSTAN et TENORE (1972) sur des cultures enrichies, soit par un milieu artificiel, soit par des effluents traités.

- Certaines espèces ne se maintiennent ou ne se développent que pour de fortes concentrations d'effluents. Ce sont : Cryptomonas sp, Chlamydomonas sp, Peridinium sp et Eutreptiella braarudii. Elles s'avèrent donc caractéristiques de la pollution causée par les rejets, d'autant plus qu'elles ont été observées in situ.

- Les populations finales obtenues présentent de grandes similitudes avec la présence en quantité d'Amphora coffeaeformis, Nitzschia rigida, Coscinodiscus oculus-iridis, Melosira juergensi dans tous les bioessais, quel que soit l'inoculum et quelles que soient la nature et la quantité d'effluent ajouté.

+ Le développement de ces espèces est d'autant plus remarquable qu'il ne rend absolument pas compte des phénomènes se déroulant in situ où ce sont en général des petits flagellés des classes Cryptophycées, Euglénophycées et Dinoflagellés qui dominent.

+ Que deux des espèces citées : Coscinodiscus oculus-iridis et Melosira juergensi, sont de grande taille; en effet, ce genre d'expérimentation conduit souvent à l'essor d'algues de petite taille, présentant un potentiel multiplicatif théoriquement plus élevé que celui des grosses espèces.

Il nous semble donc que ce type de bioessais, en petits volumes, favorisent principalement les Diatomées et les Chlorophycées. Les expériences faites par JACQUES et al. (1973), DUNSTAN et TENORE (1974), KULPER (1977), d'incubation de populations naturelles sur des volumes respectivement de 10 l, 400 l et 1.400 l, ont toujours abouti à des populations finales constituées uniquement de Diatomées et de Chlorophycées (KULPER (1977) cite des microflagellés sans préciser leur appartenance à un groupe). Seuls BROCKMANN et al. (1977) observent une succession de communautés algales, d'abord dominées par des Diatomées, puis par des Dinoflagellés, mais en travaillant dans de très grands volumes : 3 m³.

Ainsi, les incubations en petits volumes dans le but de tester l'impact d'un effluent sur une population algale naturelle nous semblent donner de bons résultats :

- quantitatifs (effet toxique et effet eutrophisant des eaux usées mis en évidence selon leur concentration et la durée de l'incubation).
- qualitatifs (espèces s'avérant indicatrices de la pollution causée par les rejets).

Cependant, ces expériences ne donnent pas une reproduction qualitative totalement fidèle du milieu naturel, sauf peut-être si celui-ci présente des peuplements constitués essentiellement de Diatomées (ce qui est souvent le cas en mer Méditerranée) (JACQUES et al., 1973). MENZEL et al. (1963) ont constaté le même phénomène : "un des aspects de toutes les expériences d'enrichissement que nous avons décrites, est la prépondérance des Diatomées dans les populations finales". Or, les Diatomées, au cours du cycle annuel phytoplanctonique de la mer des Sargasses, ne sont dominantes que pendant une très brève période (deux semaines ou moins) de la floraison printanière.

Il nous faut donc nuancer les résultats de JACQUES et al. (1973) : "que l'on peut mener à bien sur des volumes réduits des expériences de longue durée d'incubation", ou de DUNSTAN et TENORE (1974) : "ces manipulations sont intéressantes pour l'aquaculture, mais aussi pour aider à identifier les effets de l'eutrophisation sur les populations phytoplanctoniques naturelles".

Dans le cas qui nous intéresse, il s'avère que la concurrence entre les différents groupes ne s'exerce pas de la même façon dans les conditions naturelles et in vitro. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce phénomène :

- les Diatomées ont un potentiel multiplicatif plus élevé que les Dinoflagellés. De plus, l'ensemble des microflagellés supporte mal les conditions particulières des bioessais.

- des expériences menées à plus long terme pourraient améliorer la reproductivité des phénomènes naturels.
- l'emploi de bocaux de verre peut, par relargage, fournir un apport en silice favorisant les Diatomées. C'est la raison évoquée par MENZEL et al. (1963) pour expliquer cette différence de peuplement in situ et in vitro. Si nous retenons la même hypothèse, cela peut impliquer que la silice est un des facteurs limitant la croissance des Diatomées en lagune Ebrié.

CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

La lagune Ebrié est caractérisée par une biomasse algale extrêmement élevée, mais variable. Les effectifs cellulaires oscillent couramment entre quelques milliers à quelques millions de cellules par litre, des développements de 100 ou 200 millions de cellules par litre pouvant être atteints. Ces fortes densités concernent des populations pour lesquelles les individus sont de très petite taille, souvent d'un diamètre de l'ordre de 3μ m. Les indices de diversité spécifiques sont en général bas et souvent très bas : nous avons rarement trouvé des indices supérieurs à 2.

Les taux de chlorophylle a correspondants oscillent entre quelques μ g/l à 70 μ g/l, des valeurs de 200 μ g/l pouvant même être atteintes dans certaines baies. La lagune est donc un milieu extrêmement fertile, enrichi en sels nutritifs et en matière organique facilement minéralisable par les pluies et les fleuves. En zone urbaine, l'eutrophisation du milieu est accentuée 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 (apport d'eaux douces par les pluies). Cependant, la faible profondeur de la lagune et la faible épaisseur de la zone euphotique font que les fortes concentrations et productions algales ne s'observent que sur une couche d'eau de quelques mètres. En zone côtière marine, ces dernières valeurs sont dix fois inférieures, mais la zone euphotique est dix fois supérieure à celle de l'écosystème lagunaire. On peut donc considérer que la richesse par unité de surface de la lagune est celle d'un up-welling côtier moyen. Il n'en demeure pas moins que la richesse algale est plus directement utilisable par les échelons supérieurs en lagune qu'en mer.

Si la lagune Ebrié apparaît globalement extrêmement riche en phytoplancton, il existe toutefois des variations de la biomasse algale :

- saisonnières (saison sèche - saison des pluies)
- annuelles (année sèche - année humide)
- géographiques :

- . gradient de richesse croissante du canal de Vridi vers les extrémités Est et surtout Ouest de la lagune.

- . gradient chenal central - baies
- . gradient dû aux pollutions domestiques et industrielles.

Ces caractères rejoignent la description faite par MARGALEF (1969) des milieux lagunaires.

L'importance des fluctuations en lagune Ebrié contraste le milieu et le caractérise :

. l'extrémité Ouest est une zone hydrologiquement stable ; la population algale presque d'eau douce, a peu varié de composition au cours de l'année : Cyanophycées, Chlorophycées et Diatomées. Elle serait à son stade le plus structuré.

. En revanche, la zone sous influence marine présente de grandes variations hydrologiques qui se répercutent sur les populations phytoplanctoniques. Si, dans les lacs et en mer, il est possible de caractériser les successions du phytoplancton, cela s'avère plus difficile dans cette zone : d'une part, les successions sont très rapides et ne vont jamais très loin, d'autre part, la période de calme hydrologique et de diminution de la richesse en sels nutritifs permettant au système d'évoluer vers des étapes plus structurées, n'a pas été observée pendant la durée de nos prélèvements.

Ainsi les populations que nous avons trouvées sont toutes caractéristiques de stades peu évolués : espèces de petite taille à fort potentiel multiplicatif. L'abondance de matières organiques semble favoriser le développement de petits organismes flagellés : Cryptophycées, Euglénophycées, petits Dinoflagellés. Signalons que les Cryptophycées semblent mieux se développer en culture quand ils disposent de carbone non dissocié (MARGALEF, 1969) et, qu'en outre, de nombreux auteurs ont montré que le phytoplancton a la possibilité d'utiliser l'azote sous forme organique dissoute (ANTIA et al., 1975 - 1976 ; HERBLAND, 1976 ; ANTIA et al., 1977). Les Diatomées sont rarement dominantes pour la période étudiée ; les développements que nous avons constatés étaient dus à de petites espèces à fort potentiel multiplicatif, connues pour leur tolérance à la pollution et à la dessalure :

- . Nitzschia delicatissima
- . Leptocylindrus minimus
- . Cyclotella sp
- . Thalassiosira sp

citons aussi :

- . Coscinodiscus oculus-iridis
- . Coscinodiscus sp
- . Melosira juergensi
- . Cerataulina pelagica

espèces de taille assez grande, qui apparaissent relativement pérennantes, mais ne se développent jamais beaucoup. Il est possible qu'au cours de la saison sèche, les Diatomées prennent beaucoup plus d'importance, d'une part, en raison d'une plus grande stabilité hydrologique de la zone (bien que l'incursion saline soit maximale) et, d'autre part, d'une richesse moindre en sels nutritifs.

Insistons sur la très grande euryhalinité de toutes les espèces citées, ce qui rejoint les observations faites par de nombreux auteurs sur l'aptitude de beaucoup d'espèces phytoplanctoniques à supporter de fortes variations de salinité (tableau 30).

Dans ce milieu très riche qu'est la lagune Ebrié, la baie de Biétri apparaît comme excessivement eutrophe : elle est le siège d'une intense pollution organique due à des déversements importants. La baie présente des développements algaux énormes dont certaines espèces sont caractéristiques de cette pollution : Eutreptiella braarudii, Eutreptiella sp, Cryptomonas sp, Hemiselmis sp, Prorocentrum micans, Gymnodinium spp, Gyrodinium spp, Peridinium spp (tableau 30).

Ajoutons que les études réalisées par PAGES (1975) rendent compte aussi d'une intense pollution bactérienne de cette zone.

Les trois effluents que nous avons étudiés se sont révélés toxiques à forte concentration, la toxicité de celui de l'huilerie-savonnerie semblant être la plus importante (pas de développements algaux au cours des bioessais dans les bocaux contenant les plus fortes doses d'eaux usées de cette industrie, contrairement à ce que nous avons observé au cours des deux autres bioessais réalisés avec les effluents de la teinturerie industrielle et des abattoirs).

Les trois effluents ont un effet eutrophisant très marqué, celui des abattoirs bien que quantitativement le moins important, ayant l'effet le plus marqué, d'une part en raison de sa très forte charge en matière oxydable,

espèces	Salinités pour lesquelles les espèces ont été observées durant la période étudiée	espèces indicatrices de pollution	espèces prédominantes pour la période étudiée
<u>DIATOMÉES</u>			
<i>Amphora coffeaeformis</i>	12 à 23		
<i>Cerataulina pelagica</i>	12 à 16		+
<i>Cheetoceros</i> sp	12 à 15		
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i>	12 à 23		+
<i>Coscinodiscus</i> sp	12 à 28		+
<i>Cyclotella atylorum</i>	8 à 17		
<i>Cyclotella</i> spp	8 à 28		
<i>Leptocylindrus minimus</i>	2 à 23		+
<i>Melosira puergensi</i>	12 à 23		+
<i>Nitzschia "delicatissima"</i>	6 à 20		
<i>Nitzschia longissima</i>	12 à 18		
<i>Nitzschia paradoxa</i>	8 à 18		
<i>Nitzschia rigida</i>	12 à 23		
<i>Pleurosigma</i> spp	0 à 28		
<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	16 à 23		+
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	6 à 23		
<i>Thalassiosira</i> sp	16 à 18		
<u>DINOFLAGELLÉS</u>			
<i>Ceratium candelabrum</i>	23		
<i>Ceratium furca</i>	12 à 28		+
<i>Ceratium fusus</i>	23		
<i>Ceratium terces</i>	23		
<i>Ceratium tripos</i>	23		
<i>Dinophysis caudata</i>	12 à 23		
<i>Dinophysis schroderi</i>	16 à 23		
<i>Gymnodinium splendens</i>	23		
<i>Gymnodinium</i> spp	12 à 23	+	+
<i>Gyrodinium</i> spp	15 à 21	+	+
<i>Peridinium divergens</i>	23		
<i>Peridinium</i> spp	12 à 23	+	+
<i>Peridinium trochoideum</i>	20 à 23	+	
<i>Prorocentrum micans</i>	16 à 23	+	
<i>Prorocentrum</i> sp	16		
<u>EUGLENOPHYCEES</u>			
<i>Eutreptiella braarudii</i>	2,5 à 28	+	+
<i>Eutreptiella</i> sp	4 à 24	+	+
<u>CRYPTOPHYCEES</u>			
<i>Cryptomonas</i> sp ₁	0 à 20		+
<i>Cryptomonas</i> sp ₂	8 à 21	+	+
<i>Hemiselmis</i> sp	4 à 8	+	
<u>CHLOROPHYCEES</u>			
<i>Chlamydomonas</i> sp	8 à 23	+	
<i>Stichococcus</i> sp	12		
<i>Tetraselmis</i> sp	8 à 23	+	
<u>CYANOPHYCEES</u>			
<i>Lyngbia</i> sp	12 à 16		
<i>Oscillatoria</i> sp	8 à 15	+	
<i>Oscillatoria thiebautii</i>	28		
<u>XANTHOPHYCEES</u>			
<i>Centritractus africanus</i>	23		

Tableau 30 - Quelques caractères écologiques des espèces rencontrées
en baie de Biétri

d'autre part en raison de son lieu de déversement, en fond de baie. Nous avons vu qu'il a pu causer de véritables phénomènes d'eaux décolorées, particulièrement nuisibles à l'écologie de la baie.

Si nous avons mis en évidence une pollution intense de la baie de Biétri par rapport au chenal central, cela ne veut pas dire que ce dernier soit à l'abri de toute pollution. En effet, des déversements y sont effectués et il peut y avoir, en outre, contamination du chenal par la baie de Biétri.

La lagune Ebrié est, nous l'avons vu, un milieu extrêmement riche qui possède un stock de poissons et crustacés : mérrou, sardinelles et surtout ^{rejets} crevettes ~~blanches~~ dont l'importance est considérable dans l'économie de la Côte d'Ivoire. Or, une partie du cycle de ces espèces s'effectue en mer et 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 pleine zone urbaine. La pollution risque de perturber le passage des jeunes poissons et crevettes, d'autant plus que, dans leur phase juvénile, ils y sont particulièrement sensibles.

Si l'on considère que les rejets augmentent de 10 à 15 % par an proportionnellement à l'accroissement de la population et de l'activité industrielle, le problème se pose avec encore plus d'acuité. Les autorités ivoiriennes en sont bien conscientes : un projet d'assainissement de la ville a été préparé ; il prévoit qu'en 1980, 60 % des eaux usées de la ville seront rejetés en mer, ce qui évitera une aggravation de la situation actuelle. Ceci ne résoudra cependant pas tous les problèmes, comme nous allons le voir en étudiant le rejet des eaux usées de la ville de Marseille qui se fait en mer Méditerranée, dans l'anse de Cortiou.

DEUXIEME PARTIE

LE SECTEUR DE CORTIOU

Depuis plusieurs décennies, Marseille, ville industrielle de plus d'un million d'habitants, rejette en mer, dans l'anse de Cortiou, ses eaux usées sans traitement préalable, si ce n'est un simple dégrillage. Le rejet correspond à $1,6 \times 10^6$ Eq x h (Anonyme, 1977). L'ampleur d'un tel effluent, à la fois industriel et urbain, ne peut rester sans effet sur l'écosystème néritique marin.

Le domaine benthique de ce secteur est depuis longtemps étudié par de nombreux chercheurs (BELLAN, 1967 ; BELLAN et BELLAN-SANTINI, 1972 ; BELLAN et PERES, 1972 ; AUCLAIR-DESSEMON, 1973 ; BELLAN et al., 1975 ; LEUNG-TACK, 1975 ; PICARD, 1976 ; BELSHER et BOUDOURESQUE, 1976). Les organismes benthiques et le substrat subissant de façon continue l'impact de l'effluent sont de très bons indicateurs de l'extension constante de l'aire d'influence du rejet.

En revanche, le domaine pélagique est beaucoup moins connu. En ce qui concerne le système planctonique, une seule étude, limitée à quelques prélèvements, a été effectuée par BENON et al. (1977). C'est pourquoi, une équipe pluridisciplinaire a réalisé une série de missions "CORTIOU" dans l'aire considérée.

Le présent travail a pour but de tenter de cerner l'impact des eaux usées de la ville de Marseille, tout particulièrement sur les populations phytoplanctoniques, les autres paramètres étudiés étant utilisés comme facteurs explicatifs.

Ajoutons que Robert ARFI réalise actuellement une synthèse (à laquelle il sera fait référence au cours du présent travail) de l'ensemble des données réunies par l'équipe.

CHAPITRE I

CARACTERISTIQUES DE L'EFFLUENT ET DE SA ZONE DE REJET

1. L'EFFLUENT

L'effluent a un débit variant de 4 à 6 m³/s, se décomposant en 1,5 m³/s d'eaux résiduaires et 2,5 à 4,5 m³/s d'eaux de dilutions diverses.

Il est globalement très riche en matière organique (sous forme particulaire et dissoute), sels nutritifs, bactéries et polluants divers.

Cependant, il présente des fluctuations qualitatives et quantitatives :

- journalières : on constate en particulier un minimum de matières en suspension et de détergents tôt dans la matinée (correspondant aux heures de nuit, le temps de transit des effluents étant de 3 à 4 heures) et deux maxima vers 14 heures et 20 heures (Anonyme, 1977).
- hebdomadaire : le rejet est 20 à 25 % moins important les samedi et dimanche.
- annuel : bien qu'en été le cours de l'Huveaune soit dévié dans le grand collecteur, la charge est moins importante en cette saison.

Ces fluctuations rendent compte de la périodicité des diverses activités domestiques (ménagères et sanitaires) et industrielles. Signalons que de

nombreuses industries rejettent des effluents non traités.

A partir des données de la ville de Marseille et de celles de l'UNEP (1977), ARFI (1978) a estimé la charge du rejet aux quantités suivantes :

- matières azotées : 3 à 4 tonnes/jour
- phosphore : 3 à 6 tonnes/jour
- détergents : 1 à 9 tonnes/jour

Ces quelques estimations donnent une idée de l'importance du rejet, amplifiée si l'on considère le caractère continu du déversement. Ajoutons que les eaux usées sont la plupart du temps bien reconnaissables à leur couleur marron que l'on peut observer jusqu'à des distances de plusieurs kilomètres de l'émissaire.

2. LE SECTEUR DE CORTIOU

Le grand collecteur débouche en surface, au niveau d'une des nombreuses calanques qui jalonnent la côte très découpée du Massif de Marseille-Veyre : la calanque de Cortiou.

A quelques 4 kilomètres au Sud-Ouest du point de rejet, l'archipel de Riou (îles de Riou, Plane et Jarre) délimite une cuvette se relevant progressivement jusqu'au plateau des Chèvres à l'Ouest. A ce niveau, la profondeur n'est plus que de 12 mètres pour une passe de largeur inférieure à 1 km, tandis que l'autre extrémité de la cuvette possède des fonds de l'ordre de 80 mètres. L'Est du point de rejet peut être considéré comme une zone néritique ouverte sur la mer, si l'on excepte les calanques de Sormiou et de Morgiou.

L'allure générale du secteur est donc celle d'un vaste entonnoir orienté Nord-Ouest, Sud-Est (ARFI, 1978) ; (fig. 1).

Les fonds, à proximité de l'égout, sont recouverts de vase ; cette zone constitue l'aire de pollution maximale des substrats meubles, à Capitella capitata (BELLAN et al., 1975). Au-delà, d'après les mêmes auteurs, s'étend

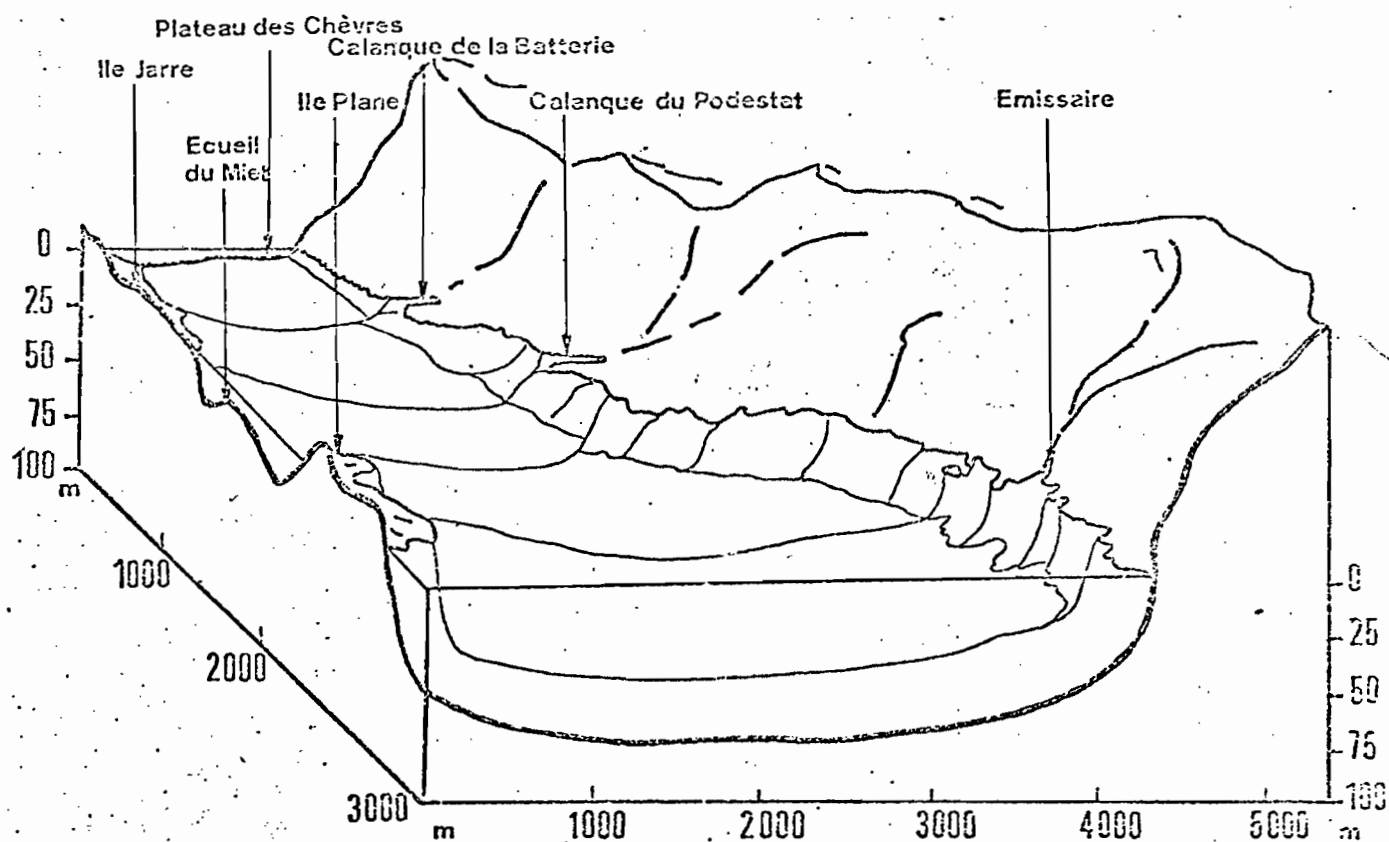


Fig. 1 - Le secteur de Cortiou

une zone subnormale où les peuplements benthiques sont perturbés ; les fonds sont recouverts de boues mélangées à du sable et des déchets. Cette aire s'étendrait au-delà des îles Maire et Jarre, à l'Ouest, et serait délimitée au Sud par l'île de Riou, et à l'Est par les calanques de Sormiou et Morgiou.

Cette région est, du point de vue courantologique, sous l'influence principale du courant liguro-provençal orienté Est-Ouest. Cependant, les conditions météorologiques locales et la topographie des lieux peuvent provoquer des courants annexes et même une renverse complète de la dérive générale des eaux.

Il était donc important de réaliser plusieurs missions dans des conditions météorologiques différentes afin d'avoir une image aussi complète que possible des phénomènes se déroulant à Cortiou. Dans ce même but, différentes stratégies d'échantillonnage ont été employées au cours des trois missions effectuées, les 20 et 27 Avril et le 27 Septembre 1977. Le secteur prospecté, lors de ces trois sorties, s'étend à l'Ouest, au-delà de l'île Maire, au Sud, jusqu'aux îles Plane et Jarre et à l'Est, au-delà de la calanque de Morgiou.

CHAPITRE II

MISSION CORTIOU I (20 AVRIL 1977) :

1. GENERALITES

1.1 Echantillonnage

Cette sortie a été effectuée alors que la nappe polluée se dirigeait globalement vers le Sud-Est sous l'action d'un vent de secteur Nord-Ouest (Mistral) établi déjà depuis plusieurs jours.

Un réseau de 33 stations a été prospecté en une dizaine d'heures, en suivant des directions grossièrement perpendiculaires à l'axe d'écoulement de la nappe, tout en s'éloignant du point de rejet (fig. 2). Les prélèvements d'eau ont été effectués en surface, au moyen d'un seau.

Il s'agit donc d'un quadrillage classique du secteur qui permet, pour une première mission, une bonne approche du milieu malgré les caractères d'instabilité et d'hétérogénéité des masses d'eau considérées.

1.2 Situation générale

L'effluent se dilue très rapidement dans le milieu marin : la salinité, à moins d'une centaine de mètres de l'émissaire, est de 32°/oo (station 4), et de 37°/oo à 500 mètres. Plus au large, la valeur de 37,8°/oo, que l'on peut considérer comme une salinité normale, est atteinte.

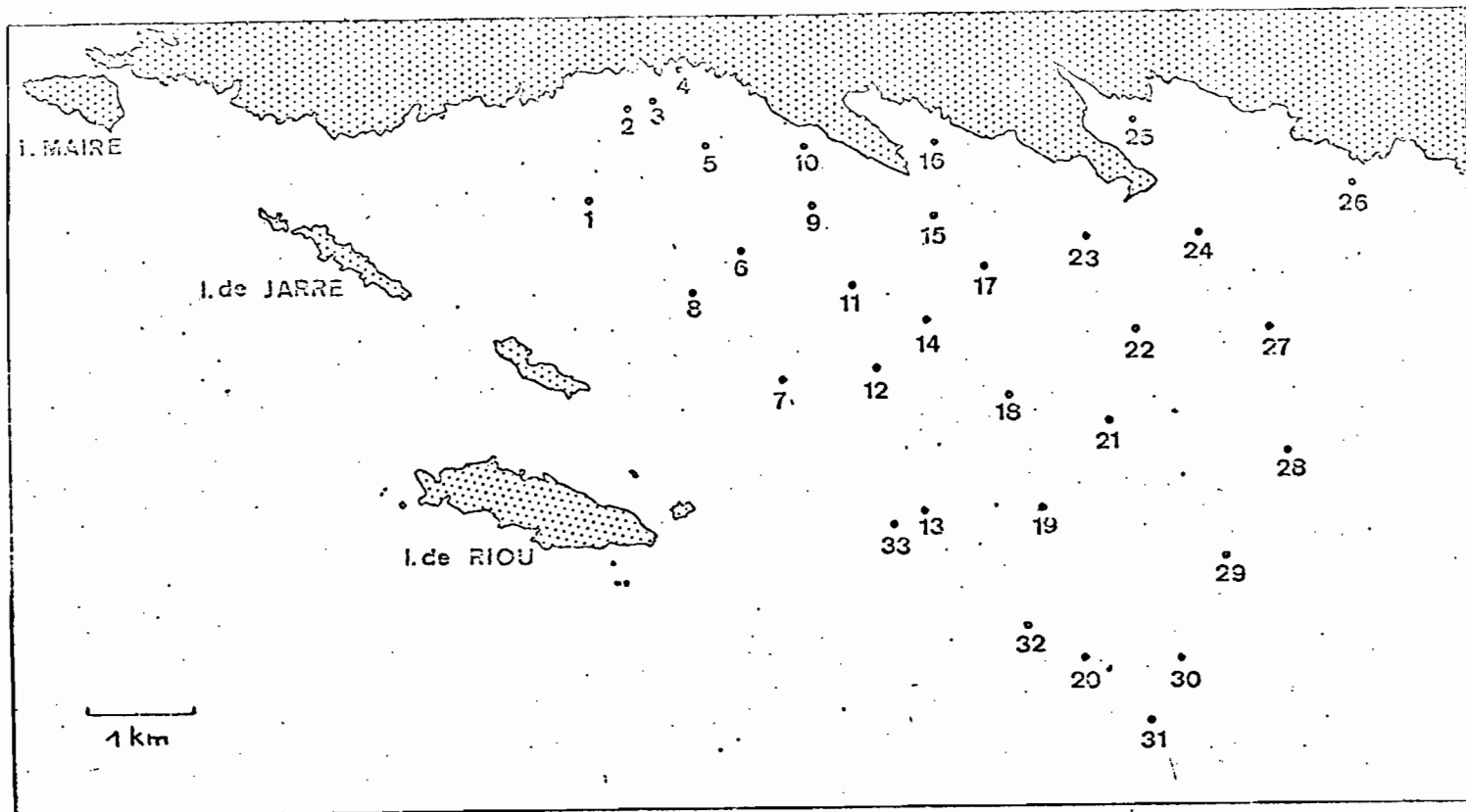


Fig. 2 - Position des stations de Cortiou I

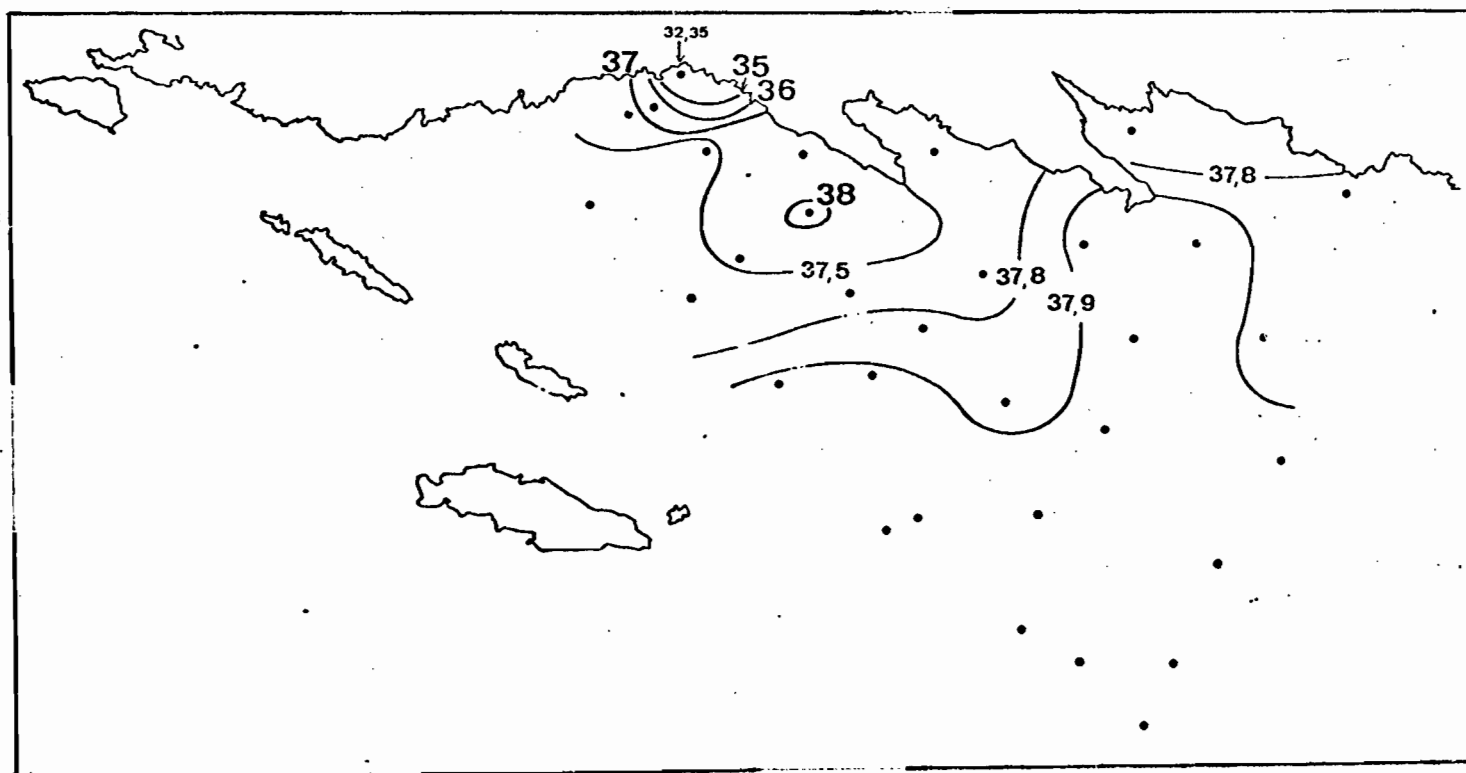


Fig. 3 - Isohalines (Cortiou I)

Les isohalines (fig. 3) montrent cependant la pénétration de la nappe dans le prolongement du bec de Sormiou, tandis que la station 9 représente une lentille d'eau plus salée et vraisemblablement plus propre.

Cette dilution rapide de l'effluent semble due à l'action du vent qui provoque une chasse rapide des eaux de surface et une remontée des eaux intermédiaires qui, à proximité du point de rejet, se mêlent intensément aux eaux usées.

Ce brassage des eaux joué aussi dans le sens d'une oxygénation du milieu qui explique le taux relativement élevé d'oxygène dissous face à l'égout (4,77 ml/l), compte tenu des importants processus d'oxydation qui doivent s'y dérouler. Plus au large, la valeur de 6 ml/l, montrant une oxygénation normale du milieu, est rapidement atteinte.

Les sels nutritifs et l'urée, apportés par l'effluent, sont présents en quantités très importantes à proximité de l'égout ($N-NO_3 = 9,03 \mu\text{atg/l}$, $N-NO_2 = 1,49 \mu\text{atg/l}$, $N-NH_4 = 65 \mu\text{atg/l}$, $P-PO_4 = 10,53 \mu\text{atg/l}$, $N\text{-urée} = 8,04 \mu\text{atg/l}$) ; les taux de phosphates, d'ammoniaque et d'urée particulièrement élevés, sont en partie le reflet de l'activité domestique (détergents) et des rejets d'excréments humains (matières fécales). Le processus de dilution des eaux usées entraîne une diminution rapide de ces valeurs qui, plus au large (environ 5 km de l'émissaire), deviennent celles d'une eau néritique classique pour les nitrites et les nitrates (fig. 4), et demeurent légèrement élevées pour les phosphates (fig. 5), l'ammoniaque (fig. 6) et l'urée (fig. 7) ($P-PO_4 = 0,5$ à $1 \mu\text{atg/l}$, $N-NH_4 = 1$ à $2 \mu\text{atg/l}$, $N\text{-urée} = 1$ à $2 \mu\text{atg/l}$).

Dans l'ensemble, ces apports sont proportionnellement riches en phosphates. On constate dans la totalité du secteur un déséquilibre du rapport N/P ($N-NO_3$, NO_2 , NH_4 / $P-PO_4$) vers de faibles valeurs (voisines de 3).

Les teneurs en détergents et en phénols sont généralement faibles, si ce n'est à la station 4 où elles sont plus fortes (respectivement 2 ppm et 190 ppb) sans être cependant exceptionnellement élevées.

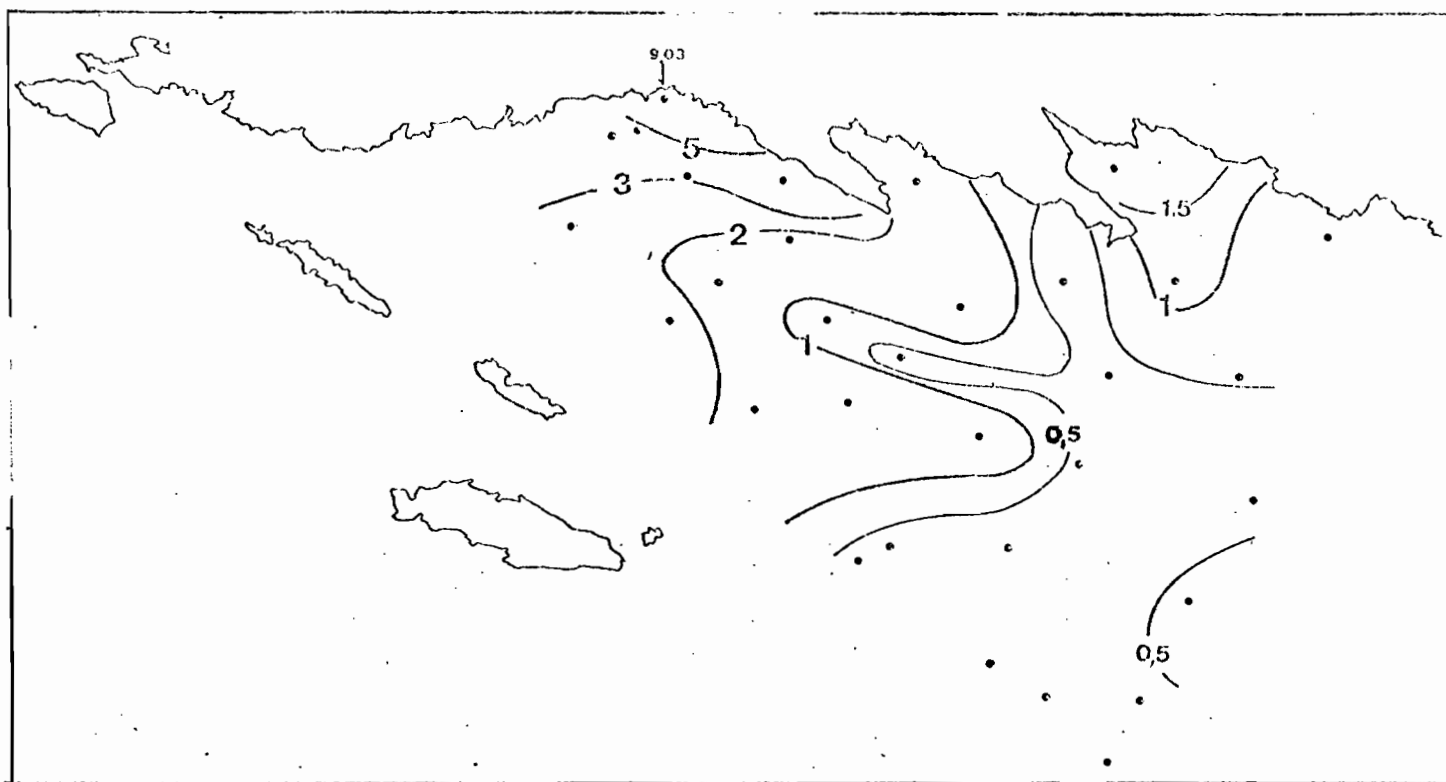


Fig. 4 - Isolignes des teneurs en nitrates (Cortiou I) $\mu\text{g/l}$

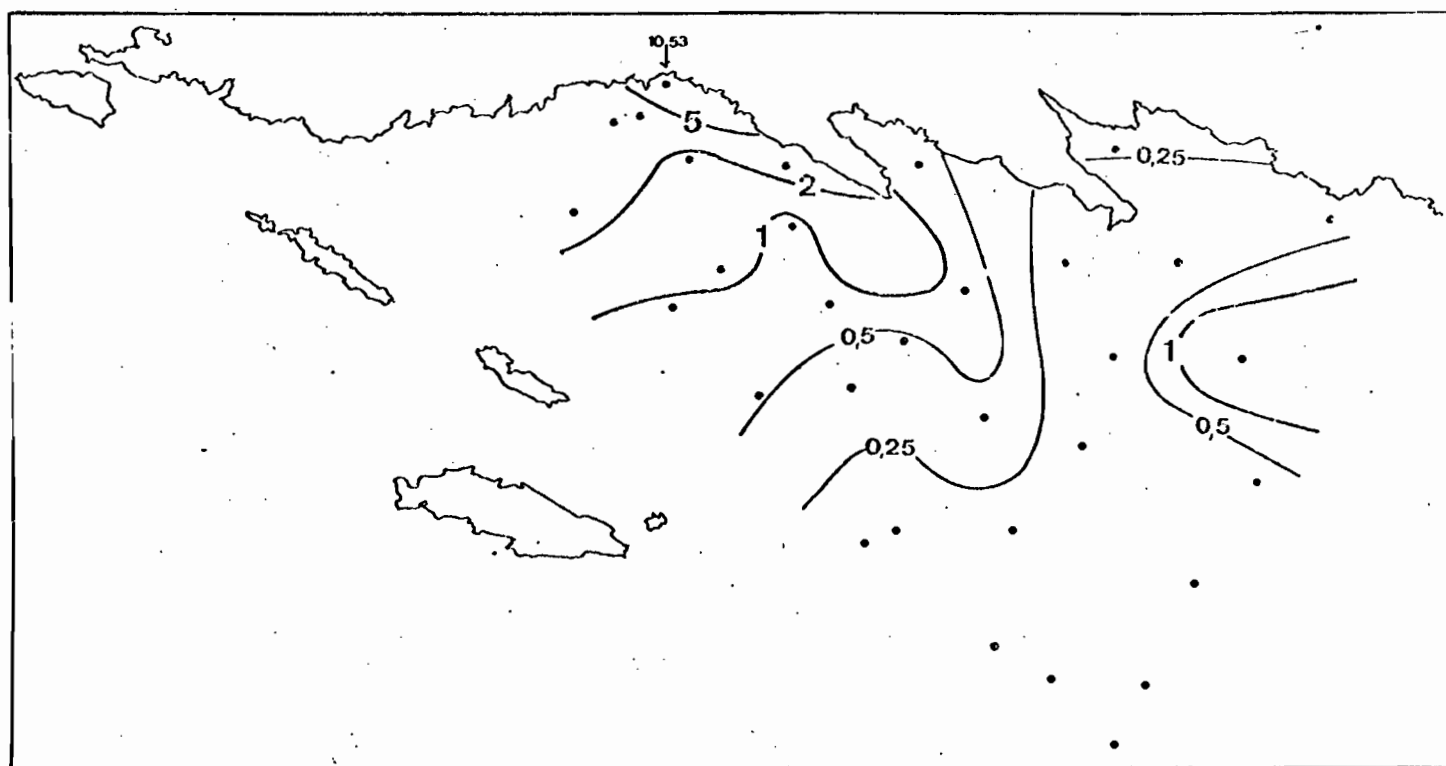


Fig. 5 - Isolignes des teneurs en phosphates (Cortiou I) $\mu\text{g/l}$

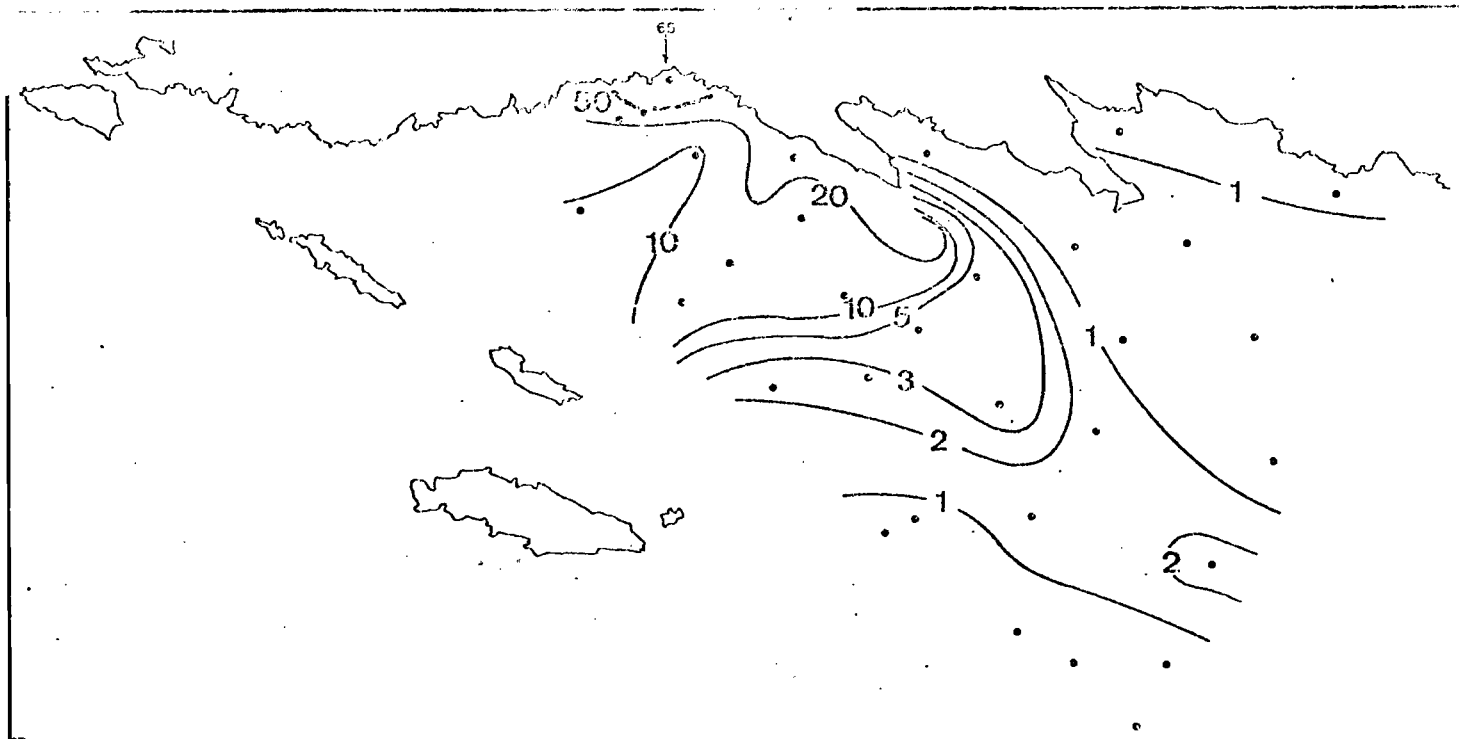


Fig. 6 - Isolignes des teneurs en ammoniacque (Cortiou I) $\mu\text{atg/l}$

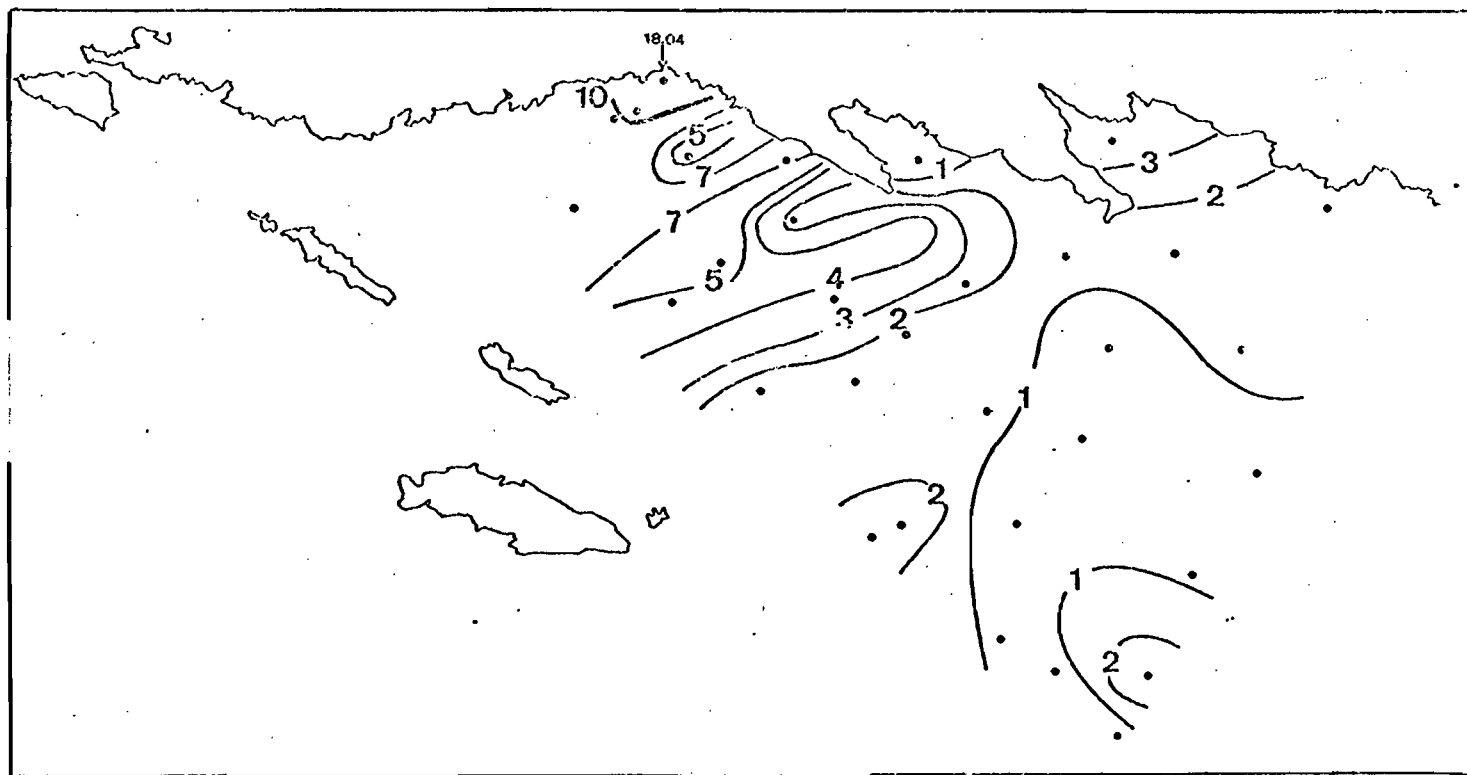


Fig. 7 - Isolignes des teneurs en urée (Cortiou I) $\mu\text{atg/l}$

2. LE PHYTOPLANKTON

2.1 Aspect qualitatif

Il a été trouvé lors de la mission de Cortiou I, 54 espèces phytoplanctoniques (tableau 1) :

- les Diatomées sont bien représentées puisqu'elles forment en moyenne 51 % de la population. Ce sont principalement Nitzschia "seriata", et, secondairement, Nitzschia closterium, Nitzschia "delicatissima", Leptocylindrus danicus, Thalassiothrix frauenfeldii, le genre Chaetoceros, avec surtout Chaetoceros curvisetus, et aussi Chaetoceros decipiens, Chaetoceros affinis.
- la classe des Dinoflagellés est très peu représentée et apparaît de façon assez épisodique, exception faite de Prorocentrum micans.
- une espèce de la classe des Cyanophycées occupe une part très importante quantitativement, représentant en moyenne 24 % de la population (le dénombrement de cette espèce est relatif aux cellules et non aux filaments). Dans certaines stations, ce pourcentage peut être beaucoup plus élevé, atteignant 64 et 66 % aux stations 4 et 2, et même 84 % à la station 1. Cryptophycées (Cryptomonas sp) et Euglénophycées (Eutreptia sp) apparaissent également de façon très constante, en quantité non négligeable.

• Signification écologique des espèces :

2.1.1 Les Diatomées

- les espèces principales constituant la population des Diatomées ont couramment été trouvées dans le Golfe de Marseille (TRAVERS, 1971 ; PATRITI, 1976) : elles font partie du peuplement néritique habituel. Ce sont toutes des espèces pérennantes qui présentent donc une certaine eurythermie. Nitzschia "seriata" cependant se fait rare pendant les mois d'hiver et réapparaît en Février. Elle peut participer aux différentes poussées phytoplanctoniques de l'année de façon importante, plus particulièrement, au printemps. Il en est de même pour Nitzschia "delicatissima" et Leptocylindrus danicus, qui semblent cependant plus développés à l'automne. Chaetoceros curvisetus se maintient aussi toute l'année. Il peut

ESPECES	STATIONS															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<u>DIATOMES CENITRIFUGES</u>																
<i>Chaetoceros attenuatus</i> - Lauder					++	++		+			+					
<i>Chaetoceros curvicaetus</i> - Cleve					++	+++		++	++	+++	++	+++	+++	++		++
<i>Chaetoceros dolioides</i> - Cleve								+	++			++			++	
<i>Chaetoceros debilis</i> - Schutt														++		
<i>Chaetoceros</i> spp							++									
<i>Chaetocella</i> sp	++	++						+							+	
<i>Chaetocella mediterranea</i> -Peragallo																
<i>Gilvordia fleccida</i> - Castracane																
<i>Hemiaulus hauckii</i> - Grunow	+								+							
<i>Isodera borealis</i> - Gran																
<i>Lectocylindrus danicus</i> - Cleve								++		++	++	++	++	++	++	++
<i>Helosira granulata</i> - Ehrenberg															++	++
<i>Minicoccolithus alata</i> - Brightwell										+		++				
<i>Minicoccolithus alata</i> f. <i>gracillima</i> (Cleve) Grunow		+						++								
<i>Minicoccolithus delicatula</i> - Cleve			++	+	+				++		+					
<i>Minicoccolithus imbricata</i> - (Cleve) Schroder											++					
<i>Minicoccolithus robusta</i> - Normann																
<i>Minicoccolithus stelleri</i> Peragallo										++						
<i>Minicoccolithus styliformis</i> - Brightwell								+								+
<i>Steletonema contatum</i> - (Greville) Cleve						++++		+++								+++
<u>DIATOMES PLEURES</u>																
<i>Amphora</i> sp	++		++	+	++			+		+						+
<i>Asterionella japonica</i> sp	++			+					++							+
<i>Chlorococcoides</i> sp			+													
<i>Chaetoceros marina</i> - (Lyngbye) Kutzin	++	+	++	++					+	+	+		++			++
<i>Chaetoceros abbreviatus</i> - Agardh		+	+											+		++
<i>Nitzschia closterium</i> - (Ehr.) Smith	++	++		++		++	++	+				+		++	++	++
<i>Nitzschia delicatissima</i> - Cleve	++	+	++			++	++					++		++	++	++
<i>Nitzschia longissima</i> - (Breb) Ralf				+												
<i>Nitzschia seriata</i> - Cleve	+++	+++	+++		+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Pleurosigma</i> sp	+															
<i>Striatella unipunctata</i> - Lyngbye										+						+
<i>Synedra</i> sp		+			+											+
<i>Thalassiosira nitroschioides</i> - Grunow	+++	+++	++	++				+	++		++	++			+	++
<i>Thalassiosira frauenfeldii</i> - (Grunow) Cleve & Moller	++				++	+	++		++	++	++	+	++	+	++	++
<u>DIPLOMASTELLES</u>																
<i>Amphidinium</i> sp	+						++								++	
<i>Ceratium furca</i> - (Ehr) Clap & Lachm											+					
<i>Exuviaella marina</i> - Cienkowski																+
<i>Goniaulax polyedra</i> - Stein	++															+
<i>Gymnodinium</i> sp																
<i>Gymnodinium fusus</i> - Schutt														+		
<i>Gymnodinium fusiforme</i> - Kopoid & Surezy																
<i>Oxytoxum</i> sp																
<i>Peridinium breve</i> - Paulsen																
<i>Peridinium diabolus</i> - Cleve							+	+								
<i>Peridinium minusculum</i> - Pavillard	++									+						
<i>Peridinium steinii</i> - Jorgensen													+			
<i>Prorocentrum micans</i> - Ehrenberg	++						+	++	++	++		++		++	+	++
<u>CYANOSPHYCES</u>																
<i>Cyanophyce</i> sp	+++	+++	+++	+++			+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<u>EUCALYPTOPHYCES</u>																
<i>Eutima</i> sp	++	++	+			++	++	+	++	+	+	++	++	+	+	++
<u>CRYPTOPHYTES</u>																
<i>Cryptomonas</i> sp	+++	+++	++	+++				++			+++			+++	+	++
<u>CHLOROPHYTES</u>																
<i>Chlorococcoides</i> sp				+				+		+	+	+	+			
<u>CHLOROPHYTES</u>																
<i>Chlorococcoides</i> sp		++			+	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	++

Tableau 1 -- Abondance des espèces rencontrées lors de Cortiou I

0	rien
1 à 2.000	+
2.001 à 20.000	++
20.001 à 60.001	+++
60.000	++++

ESPECES	STATIONS																
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
<u>DIATOMÉES CIRCULAIRES</u>																	
<i>Chaetoceros affinis</i>																	
<i>Chaetoceros curvicaetus</i>	++	++	+	+++	++	++				++	++	+		+			
<i>Chaetoceros decipiens</i>			++	++				++				+	++	++	++		
<i>Chaetoceros holmanticus</i>		++	+	++								+	++				
<i>Chaetoceros</i> spp	++	+	++		++	++	++			++	++	++		++	++		
<i>Cyclotella</i> sp										++							
<i>Dactyliosolen mediterraneus</i>						++						+	++		+		
<i>Guinardia flaccida</i>								+								+	
<i>Hemiaulus hauckii</i>																	
<i>Lauderia borealis</i>																	
<i>Leptocylindrus danicus</i>		+	+			++	++	++	++		+	++	++	++	++		
<i>Melosira granulata</i>			++														
<i>Rhizosolenia alata</i>		+			+			++		+			+			++	
<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>gracillima</i>		+						+		+	+				+		
<i>Rhizosolenia delicatula</i>		+		++						++		+			+	++	
<i>Rhizosolenia imbricata</i>																	
<i>Rhizosolenia robusta</i>																	
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>			++					++			+	++			+	+	
<i>Rhizosolenia styliformis</i>		+			+		+										
<i>Skeletonema costatum</i>											++++	+				+++	
<u>DIATOMÉES PENNÉES</u>																	
<i>Amphora</i> sp									+							+	
<i>Asterionella japonica</i> sp							+	+			++			+			
<i>Climacophenia</i> sp																+	
<i>Grammatophora marina</i>										+++						++	
<i>Licmophora abbreviata</i>		+		+					+	+	+						
<i>Nitzschia closterium</i>		++	++	++	++		++	++	+	++	++	+	+	++	+	+	
<i>Nitzschia delicatissima</i>		+	++		++		++	++	+	+	++	+		++	+	++	
<i>Nitzschia longissima</i>																	
<i>Nitzschia seriata</i>	+++	+++	++	+++	++	++	++	++	++	+++	+++	++	++	++	++	++	
<i>Pleurosigma</i> sp												+			+		
<i>Striatella unipunctata</i>																	
<i>Synedra</i> sp					+					+	+						
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	++			++	++		++	+	+++	++	+	++	+	+	+	+	
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>			++	++	++	+++	++	+			++	+	++	++	++	+	
<u>DINOFLAGELLÉS</u>																	
<i>Amphidinium</i> sp	++		++			+							+	+		+	
<i>Ceratium furca</i>				+				+				+					
<i>Exuviella marina</i>			+												+		
<i>Goniaulax polyedra</i>																	
<i>Gymnodinium</i> sp														+			
<i>Gymnodinium fucus</i>			+		+			+		+			+	+	+	+	
<i>Gyrodinium fusiforme</i>					+								+				
<i>Oxytoxum</i> sp					+										+		
<i>Peridinium breve</i>					+						+		+	+	+		
<i>Peridinium diabolus</i>				+	+												
<i>Peridinium minusculum</i>		+				+		+		+	+			+	+	+	
<i>Peridinium steinii</i>															+	+	
<i>Prorocentrum micans</i>				+		+++	+++	+++	++		++						
<u>CYANOPHYCÉES</u>																	
<i>Cyanophycée</i> sp	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++		+++	+++	++	+	++	++	+	++	
<u>EUGLENOPHYCÉES</u>																	
<i>Eutreptia</i> sp	++	++	+	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	+	
<u>CRYPTOPHYCÉES</u>																	
<i>Cryptomonas</i> sp		++		+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
<u>SILICOFLAGELLÉS</u>																	
<i>Dictyocha fibula</i>	+		+					+				+		+	+	+	
<u>TINTINÉIDES</u>																	
	+		++		++	++	++	+	+	++	+	+	++	++	++	+	

Tableau 1 - Abondance des espèces rencontrées lors de Cortiou I (suite)

constituer l'espèce principale de certaines floraisons, en particulier à l'automne. Nitzschia closterium et Thalassiothrix frauenfeldii sont présentes toute l'année de façon non négligeable. Cette dernière peut parfois se développer mais de façon moindre que les espèces citées auparavant. Quant à Nitzschia closterium, elle ne prend le pas sur les autres qu'aux périodes de pauvreté hivernale et estivale .

- Certaines de ces Diatomées sont aussi citées dans les aires polluées de la région : nous avons trouvé Chaetoceros curvisetus particulièrement développé dans le golfe de Fos et au débouché du Rhône. PATRITI (1976) le signale comme caractéristique des milieux portuaires. Ce dernier auteur ne constate cependant pas de différence notable pour les autres espèces entre ces milieux et les eaux du golfe de Marseille. BLANC et LEVEAU (1973) citent Nitzschia "delicatissima", Nitzschia "seriata", Nitzschia closterium et Leptocylindrus spp comme plus particulièrement liés aux nitrates et aux déséquilibres du rapport N/P vers des fortes valeurs, au débouché du Rhône. De plus, ils mettent en évidence une tolérance certaine de ces espèces à la dessalure. Nitzschia "delicatissima" a été trouvée en quantité dans la zone la moins salée de l'étang de Berre (avant cependant la mise en place du canal de dérivation de la Durance).

Ces Diatomées de petite taille, à potentiel multiplicatif élevé, s'avèrent donc avant tout opportunistes. On les trouve aussi bien dans des milieux néritiques normaux que dans des aires plus ou moins dessalées et/ou polluées. Leur large répartition écologique rend délicate l'interprétation de leur présence dans le secteur de Cortiou.

2.1.2 Les autres classes

- Prorocentrum micans est une espèce thermophile qui apparaît de Mai à Novembre. Elle est citée par PATRITI (1976) comme caractéristique des milieux portuaires et par BLANC et LEVEAU (1973), comme très liée aux eaux polluées du Nord du golfe de Fos et aux zones dessalées à forte charge organique. Elle peut donner lieu, par des développements massifs, à des phénomènes "d'eaux décolorées".

Dans le golfe de Marseille, elle apparaît, mais avec des effectifs faibles, rarement supérieurs à 1.000 cell/l (TRAVERS, 1971) et inférieurs à ceux trouvés par les auteurs cités ci-dessus. A Cortiou, son maximum se situe à 40.000 cell/l.

- Les Cyanophycées n'apparaissent pas dans les communautés habituelles du golfe de Marseille. En revanche, BENON et al. (1977) citent des Cyanophycées du genre Oscillatoria en quantités importantes dans les eaux dessalées et polluées du golfe de Fos, au débouché du canal de Caronte, et à la sortie de l'égout d'Arenc, dans le port de Marseille.

- Souvent les Euglénophycées et les Cryptophycées ne sont pas répertoriées en raison de leur mauvaise conservation après fixation. Les Euglénophycées sont réputées pour leur affinité pour les eaux dessalées riches en matière organique. Cependant, elles ne sont en général pas citées dans les descriptions des milieux eutrophes de la région. JACQUES (1968) les signale dans le nanoplancton de Banyuls/mer. Quant aux Cryptophycées, certains auteurs, tels JACQUES (1968), MARGALEF (1969) ou LEGER (1972) ont montré qu'elles pouvaient participer de façon importante aux populations phytoplanctoniques. Cependant, cette participation s'avère plus limitée si on considère que ce sont des cellules de petit volume (TRAVERS, 1971). D'un point de vue écologique, JACQUES (1968) a constaté que des dilutions superficielles pouvaient entraîner leur multiplication intense. Il nous semble que leur développement pourrait être favorisé à proximité du rejet de Cortiou.

Ainsi, contrairement aux Diatomées que nous avons trouvées, les autres espèces citées semblent avoir une signification écologique assez nette. Elles seraient caractéristiques d'eaux plus ou moins dessalées et/ou riches en matière organique.

2.2 Aspect quantitatif

La moyenne des effectifs cellulaires est voisine de 200.000 cell/l. Sur l'ensemble des stations, les valeurs oscillent entre 100.000 et 200.000 cell/l excepté aux stations 1 (1.930.000 cell/l), station 2 (374.000 cell/l) et station 4 (320.000 cell/l) où elles sont beaucoup plus élevées. Ces fortes valeurs sont essentiellement dues à la présence de Cyanophycées en quantité importante. Ces stations seraient sous l'influence de masses d'eaux venues de l'Ouest et s'individualiseraient par rapport à toutes les autres stations qui forment, du point de vue de l'abondance phytoplanctonique, un ensemble assez homogène (fig. 8). En ce qui concerne la chlorophylle a, l'étroitesse de l'échelle des valeurs (de 0,25 μ g/l à 40 μ g/l) pour la majorité des prélèvements confirme cette idée d'homogénéité d'une grande partie du secteur (fig. 9).

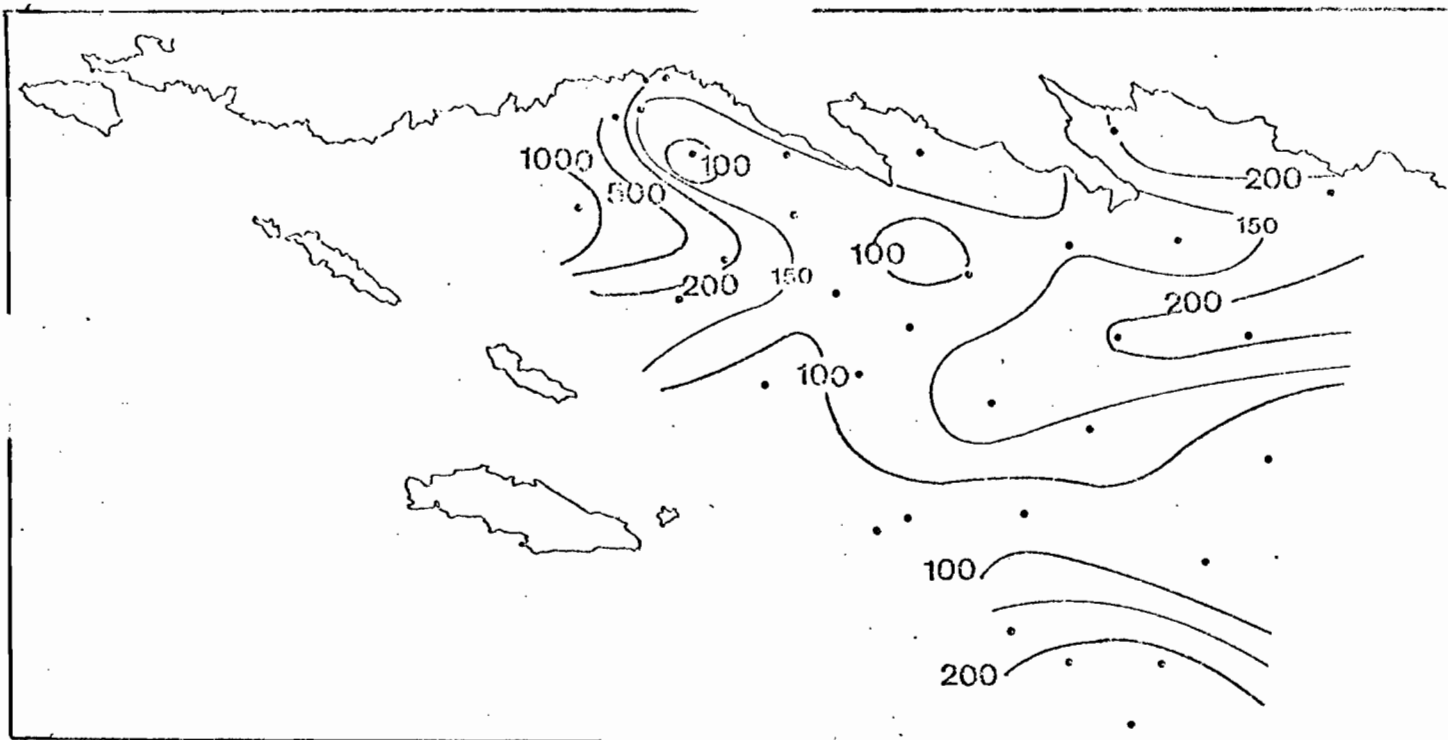


Fig. 8 - Isolignes des effectifs phytoplanctoniques (Cortiou I) en 10^3 cell/l

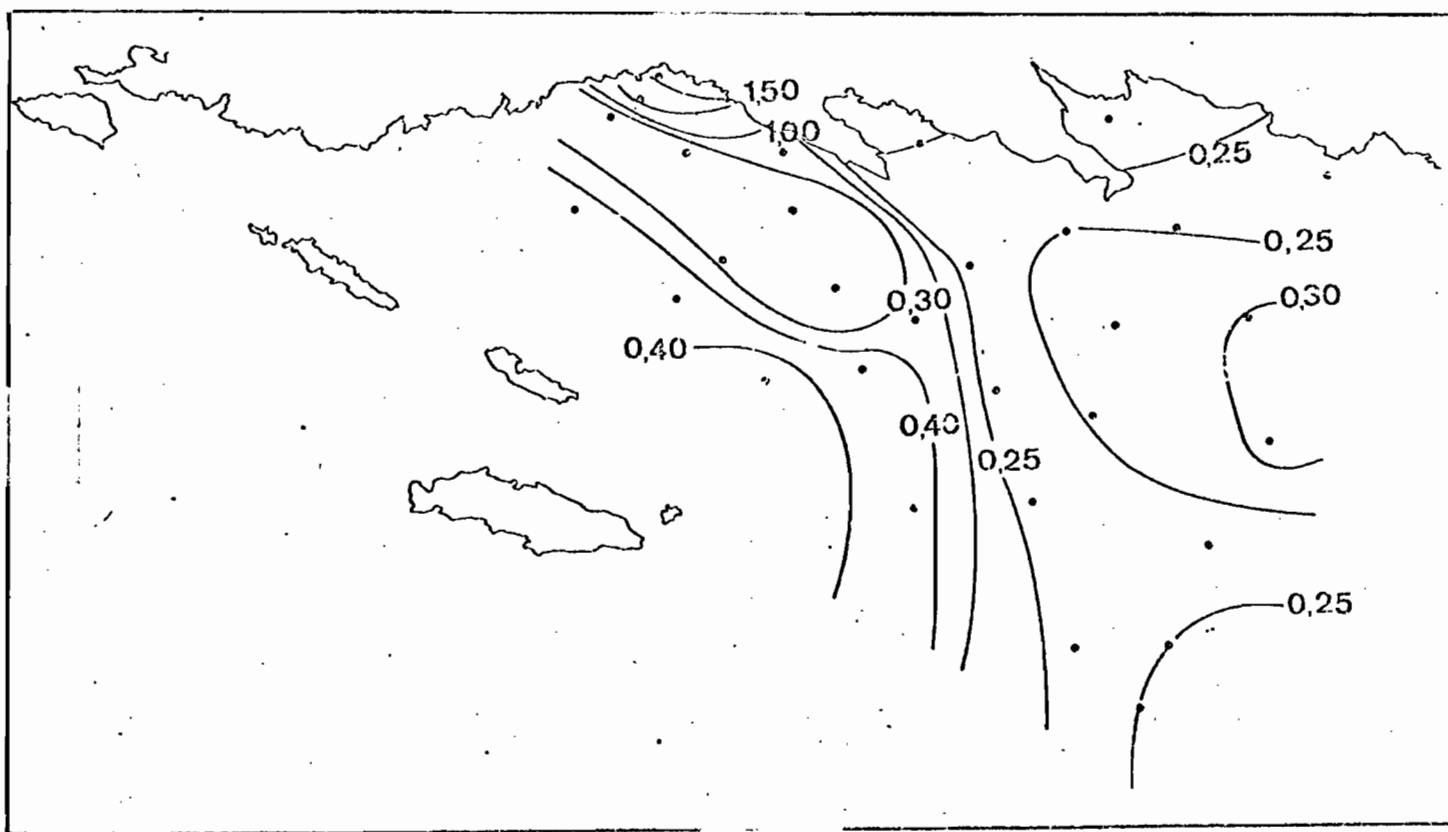


Fig. 9 - Isolignes des taux de chlorophylle a (Cortiou I) μ g/l

Cependant, deux remarques s'imposent :

- les forts effectifs cellulaires, dus principalement aux Cyanophycées, ne sont pas accompagnés de maxima de chlorophylle a, ce qui indiquerait un taux intra-cellulaire de ce pigment extrêmement faible pour cette espèce.
- en revanche, les fortes valeurs ($1,29 \mu\text{g/l}$ et $1,76 \mu\text{g/l}$) atteintes aux stations 4 et 3 (proches de l'émissaire) non en proportion avec les effectifs cellulaires, indiquent des apports de chlorophylle a par l'égout, valeurs qui correspondraient à des pigments biliaires et à des déchets végétaux divers charriés par l'effluent. Ajoutons que les teneurs élevées à ce niveau en phéophytine ($3,24 \mu\text{g/l}$ et $0,59 \mu\text{g/l}$) confirment l'hypothèse d'une arrivée de matériel détritique végétal en partie dégradé.

► Discussion

Si l'on effectue la moyenne des effectifs cellulaires diminués des Cyanophycées et Cryptophycées qui n'apparaissent pas habituellement dans les communautés algales du golfe de Marseille, on obtient 90.000 cell/l, nombre qui apparaît relativement faible compte tenu de la saison. On s'attendrait à trouver des développements phytoplanctoniques importants correspondant à la poussée printanière en général centrée sur Avril. Nous nous trouvons en face de deux possibilités :

- la poussée classique composée presque uniquement de Diatomées n'a pas eu lieu dans le secteur de Cortiou. Elle serait inhibée par les rejets qui contiennent en quantités importantes des polluants (détergents, hydrocarbures, phénols).
- la poussée dans l'ensemble du golfe a été réduite ou bien décalée dans le temps et nous serions dans une période de relative pauvreté des populations.

Nous pencherions plus volontiers pour la seconde solution. Si on considère les stations les moins influencées par l'émissaire, comme référence des eaux du golfe, on voit qu'elles ont des effectifs assez faibles. Par ailleurs, TRAVERS (1971) a montré que la poussée printanière peut être plus ou moins importante selon les années et plus ou moins décalée. PATRITI (1976) constate aussi des variations importantes d'une année à l'autre, ainsi que des minimas

aux mois d'Avril des années 1971 et 1972. De plus, le mistral qui a soufflé très violemment pendant les huit jours précédant la sortie a pu entraîner un bouleversement des structures thermohalines et une remontée d'eaux plus profondes pauvres en phytoplancton.

Les indices de diversité spécifique avec une moyenne de 2,7 pour les stations les plus éloignées de l'émissaire et les espèces présentes, Nitzschia "seriata" et le genre Chaetoceros, indiqueraient une ébauche de stade 2 (sensu Margalef). Cependant, le mélange de populations néritiques classiques et de populations semblant plus spécifiques de la cuvette de Cortiou, joue dans le sens d'une élévation de l'indice de diversité spécifique. La carte de répartition des valeurs de cet indice (fig. 10) montre nettement une augmentation de la diversité avec l'éloignement de l'émissaire, dans l'axe d'écoulement de la nappe d'eaux usées.

3. TRAITEMENT MATHEMATIQUE

L'analyse a porté sur 24 espèces phytoplanctoniques et 33 stations. L'utilisation des variables générales (21 paramètres hydrobiologiques) en tant que paramètres témoins, entrant sans masse dans l'analyse, facilite l'interprétation des axes. Leur projection sur le premier plan de l'analyse (fig. 11) en composantes principales, fait apparaître que :

- l'axe 1 semble définir l'abondance phytoplanctonique plutôt en relation avec le milieu pollué. En effet, le paramètre "effectifs phytoplanctoniques" se projette à une extrémité de l'axe 1, à proximité du groupe des paramètres caractéristiques de l'effluent : sels nutritifs, polluants, etc...
- l'axe 2 présente une opposition nette entre le milieu pollué, défini par les paramètres cités ci-dessus, et un milieu propre caractérisé par une salinité, une charge énergétique et des taux d'oxygène dissous élevés, ainsi que la présence du paramètre effectif zooplanctonique, le zooplancton fuyant les aires de maxima de pollution.

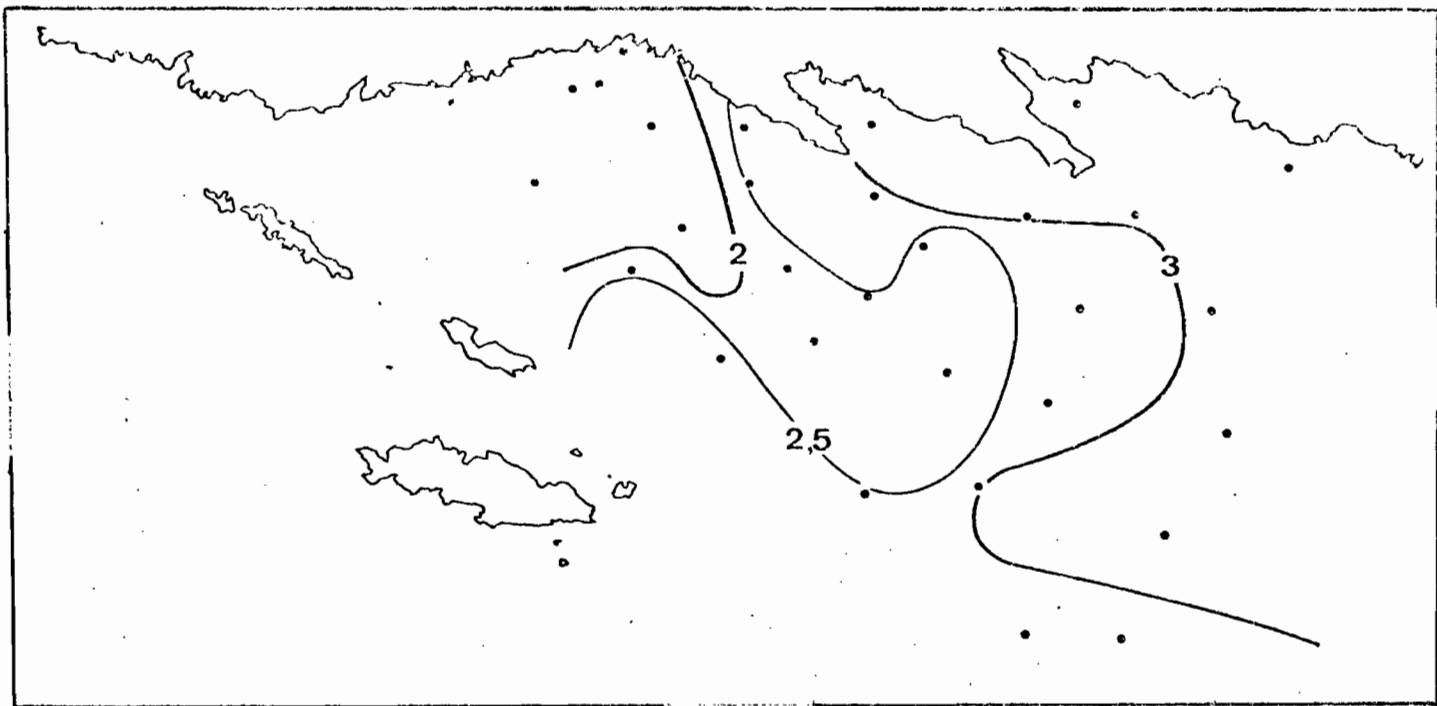


Fig. 10 - Isolignes des indices de diversité spécifique (Cortiou I)

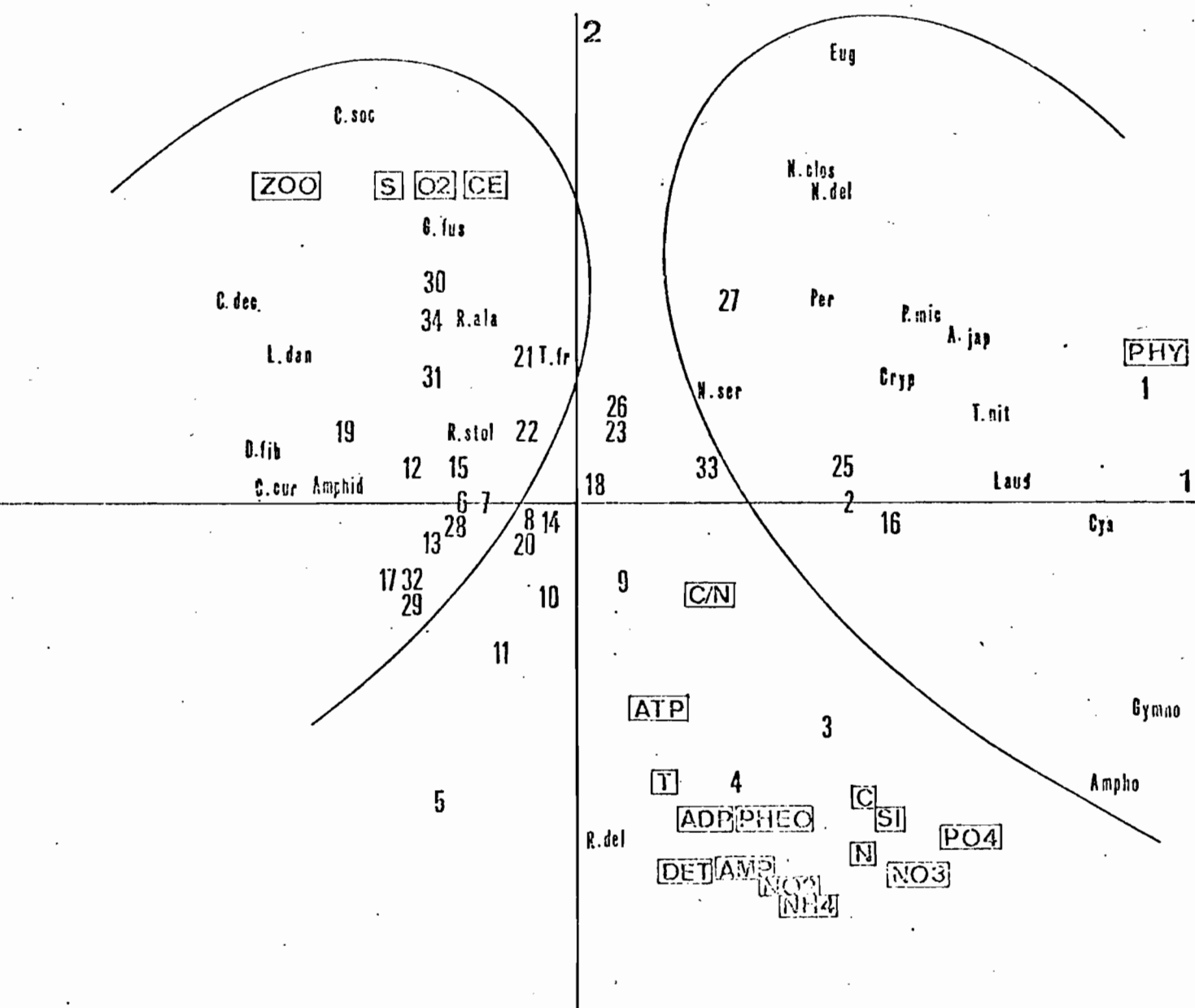


Fig. 11 - Plan 1-2 de l'analyse en composantes principales (Cortiou I)

• Plan 1-2 des variables et observation (fig. 11)

Les deux premiers axes retirent peu d'information $\lambda_1 = 15,9 \%$,
 $\lambda_2 = 11,3 \%$, soit 27,2 % pour ce plan 1.2.

- les contributions à l'axe 1 de la variable Cyanophycées (CA = 0,11, CR = 0,42) et de la station 1 (CA = 0,32, CR = 0,70) sont élevées. L'axe 1 est bien un axe d'abondance phytoplanctonique, mais qui prend en compte le grand nombre de Cyanophycées de la première station (85 % de l'effectif total).
- sur l'axe 2, se différencient une zone d'eau polluée (I) et une zone d'eau plus propre (II). Les espèces phytoplanctoniques se répartissent suivant ces zones, en deux groupes principaux :

- . l'un lié à l'abondance en Cyanophycées, paraît donc accepter une eau relativement dessalée et riche en charge polluante. Il comprend principalement : Cyanophycées, Euglénophycées, Cryptophycées, Prorocentrum micans, Peridinium minusculum, Asterionella japonica.

- . l'autre, d'abondance moindre, apparaît lié à une eau non dessalée. Il comprend Nitzschia 'seriata', tout le groupe des Chaetoceros, Rhizosolenia alata, Rhizosolenia stolterfothii, etc...

Les variables témoins effectifs zooplanctoniques et charge énergétique qui se projettent à ce niveau, semblent indiquer que le système planctonique y est relativement structuré. En effet, une charge énergétique élevée ($CE = \frac{ATP + 1/2 ADC}{ATP + ADI + AMP}$) rend compte d'un bon état physiologique des cellules et d'une bonne adaptation au milieu, la présence du zooplancton, d'un système planctonique équilibré.

Il est remarquable de constater que dans l'ensemble, ces deux groupes d'espèces correspondent bien à la description écologique qui en est faite précédemment. Notons l'affinité des Cryptophycées avec une certaine dessalure et/ou pollution.

En portant sur une carte (fig. 12) les stations des deux zones, on voit apparaître deux axes de pénétration des eaux usées. Le fait que les stations des calanques soient incluses dans la zone I, serait plutôt à rattacher à leur

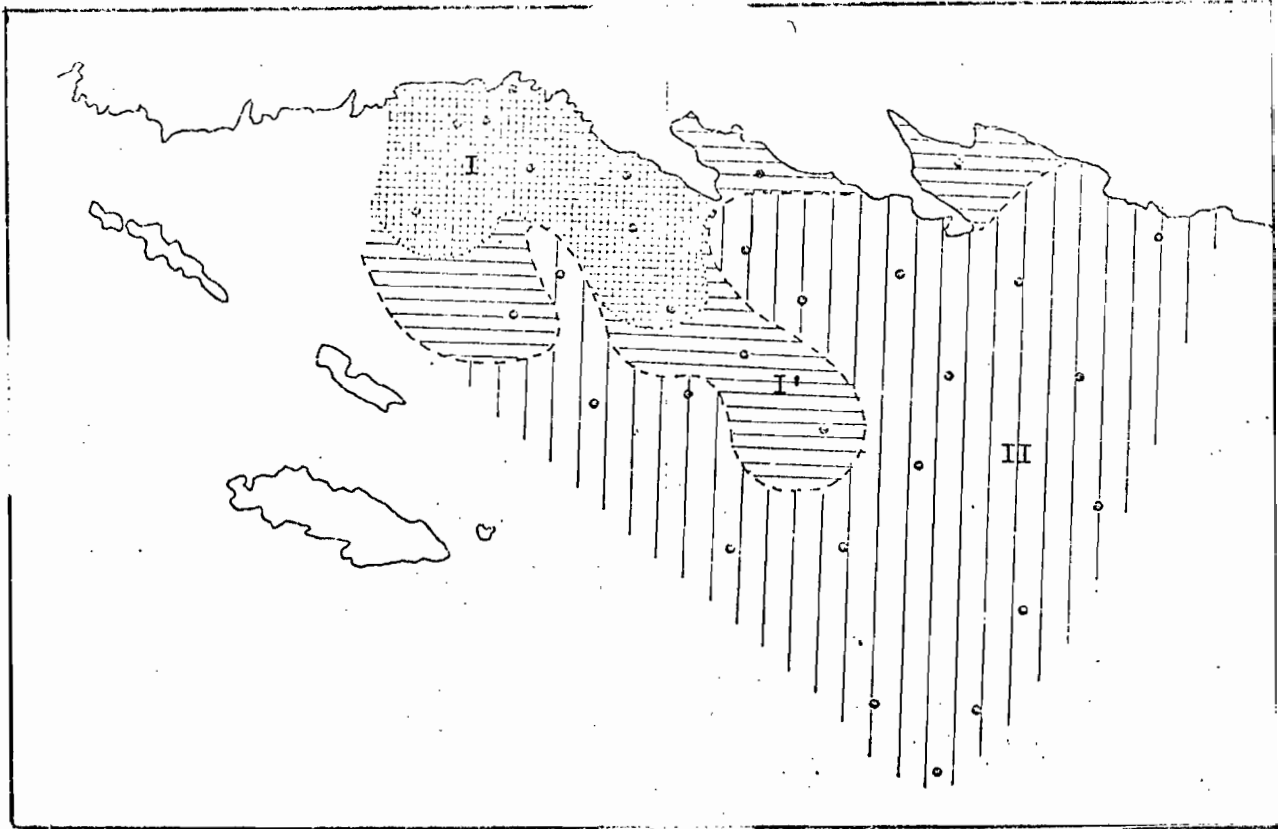


Fig. 12 - Structure géographique dégagée par l'analyse (Cortiou I)

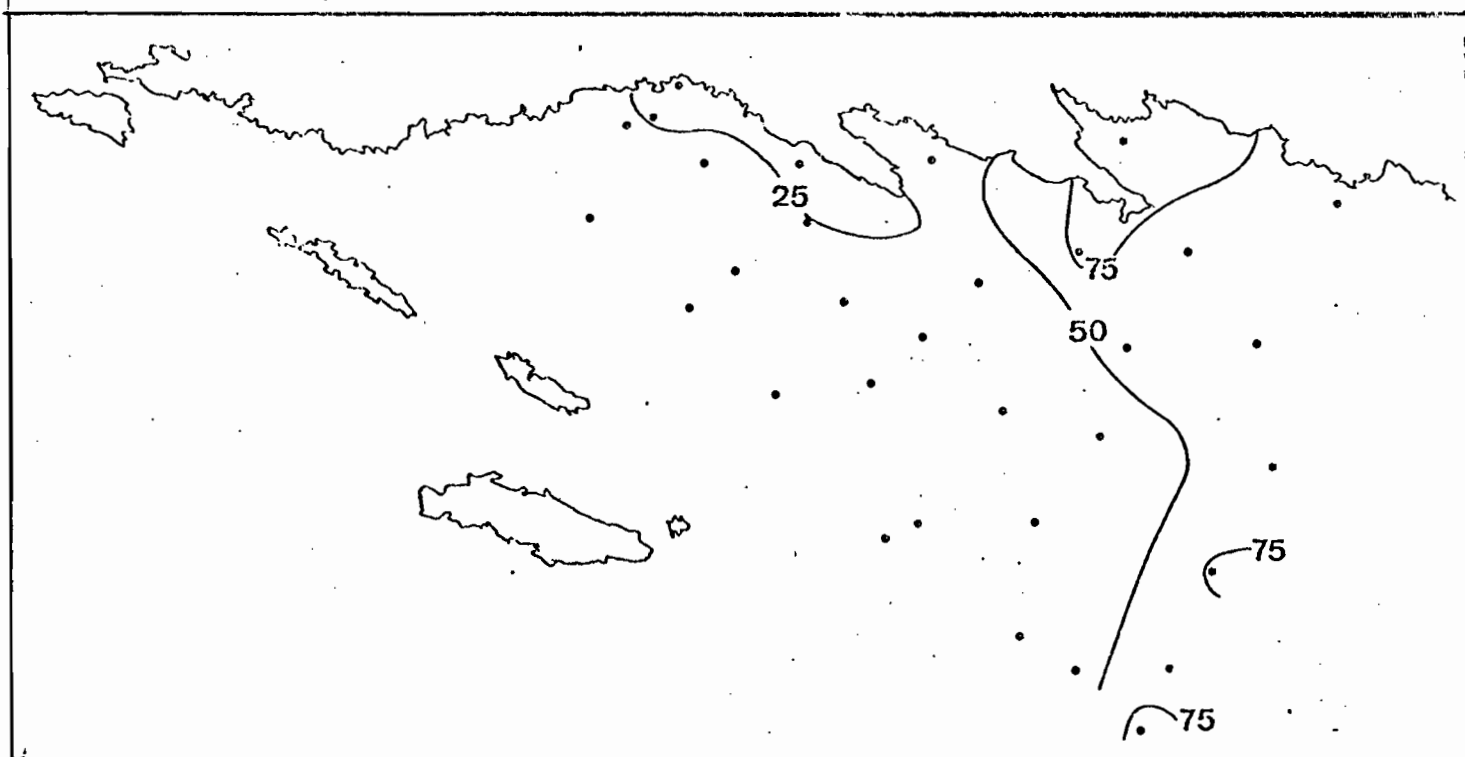


Fig. 13 - Isolignes des valeurs de la charge énergétique (Cortiou I) en 10^{-2}

relative richesse en Cyanophycées (station 16 : 64.800 cell/l ; station 15 : 56.000 cell/l) due à une dessalure locale du fond des calanques ou/et à une pollution résiduelle issue du hameau établi sur la côte à cet endroit (les teneurs en amoniacque sont relativement élevées à ces stations).

Ainsi, l'analyse en composantes principales fait apparaître une structure tant sur le plan géographique que sur le plan des espèces. On peut distinguer :

- un premier secteur (I), sous influence directe de l'égout, caractérisé par des espèces connues pour leur résistance à la pollution et à la dessalure. Les indices de diversité spécifiques y sont bas ($< 2,5$), la charge énergétique faible.
- un deuxième secteur (II), moins influencé par les rejets, caractérisé par des espèces de Diatomées néritiques classiques, qui apparaîtrait donc normalement structuré. Cependant, au vu des cartes de répartition des valeurs de la charge énergétique (fig. 13) et des indices de diversité spécifiques (fig. 10), ce second secteur s'avère en partie perturbé en présentant des charges énergétiques inférieures à 0,5 et des indices de diversité spécifiques (inférieurs à 3) qui n'ont pas encore atteint les maxima de la zone prospectée. Le déséquilibre provoqué par la nappe d'eaux usées semblerait donc s'étendre assez loin de l'émissaire (jusqu'à environ 5 km). Au-delà, le système planctonique redeviendrait normal. Toutefois, il ne faut pas oublier que l'analyse en composantes principales ne fait qu'une partition entre les stations prospectées et que nous manquons de référence simultanée à un milieu exempt de toute influence polluante, ou tout au moins au golfe de Marseille et à son peuplement.

Notons que les cartes de répartition des effectifs phytoplanctoniques par espèces (fig. 14, 15, 16), ne donnent pas une idée nette de la structure dégagée par l'analyse.

Il nous semble que ceci peut être attribué à un "bruit de fond" important qui serait le résultat d'un brassage intensif des eaux par suite du vent très violent de secteur Nord-Ouest qui s'atténue à peine lors de cette mission. Ce mélange accentué des eaux polluées et marines rend délicate la mise en évidence de structures qui habituellement sont sans doute plus nettement délimitées.

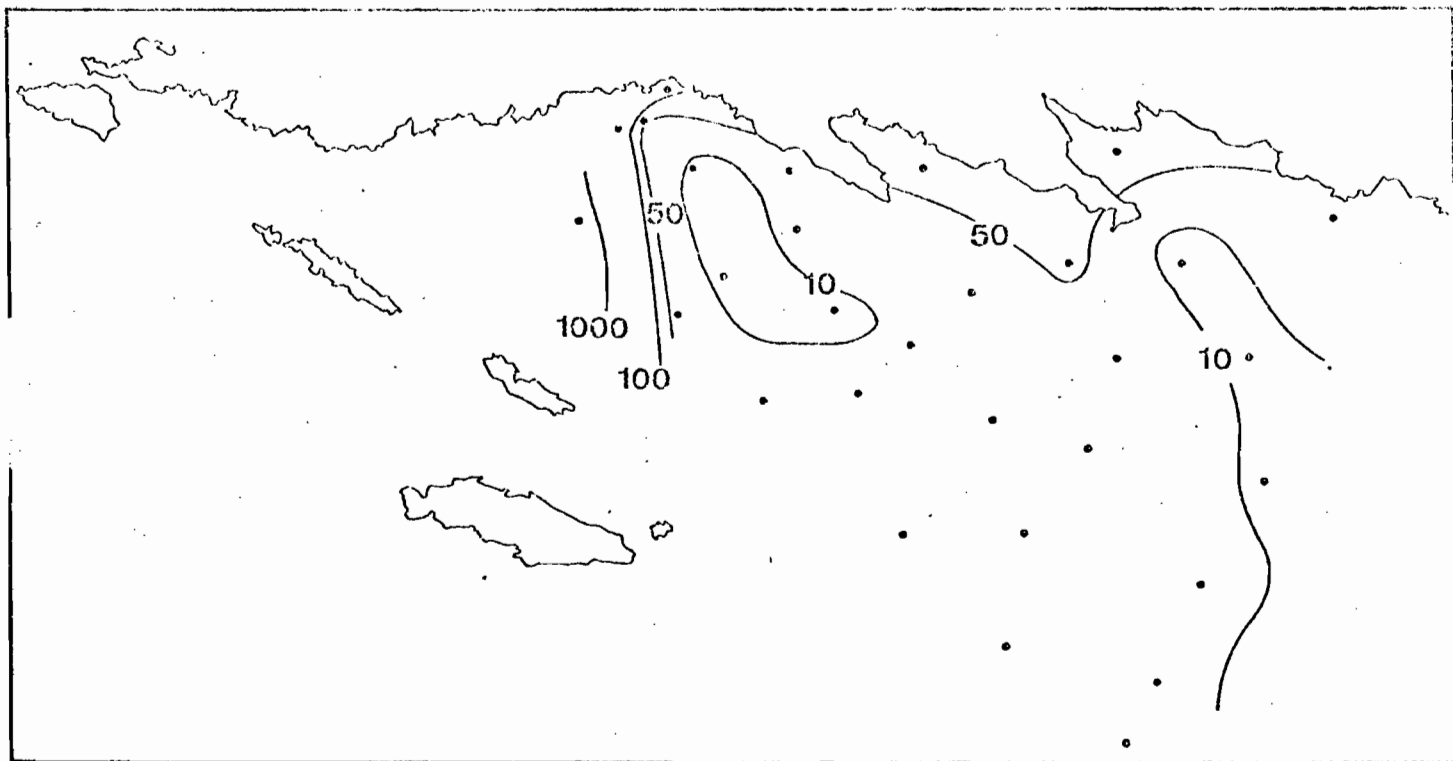


Fig. 14 - Répartition des Cyanophycées (Cortiou I) en 10^3 cell/l

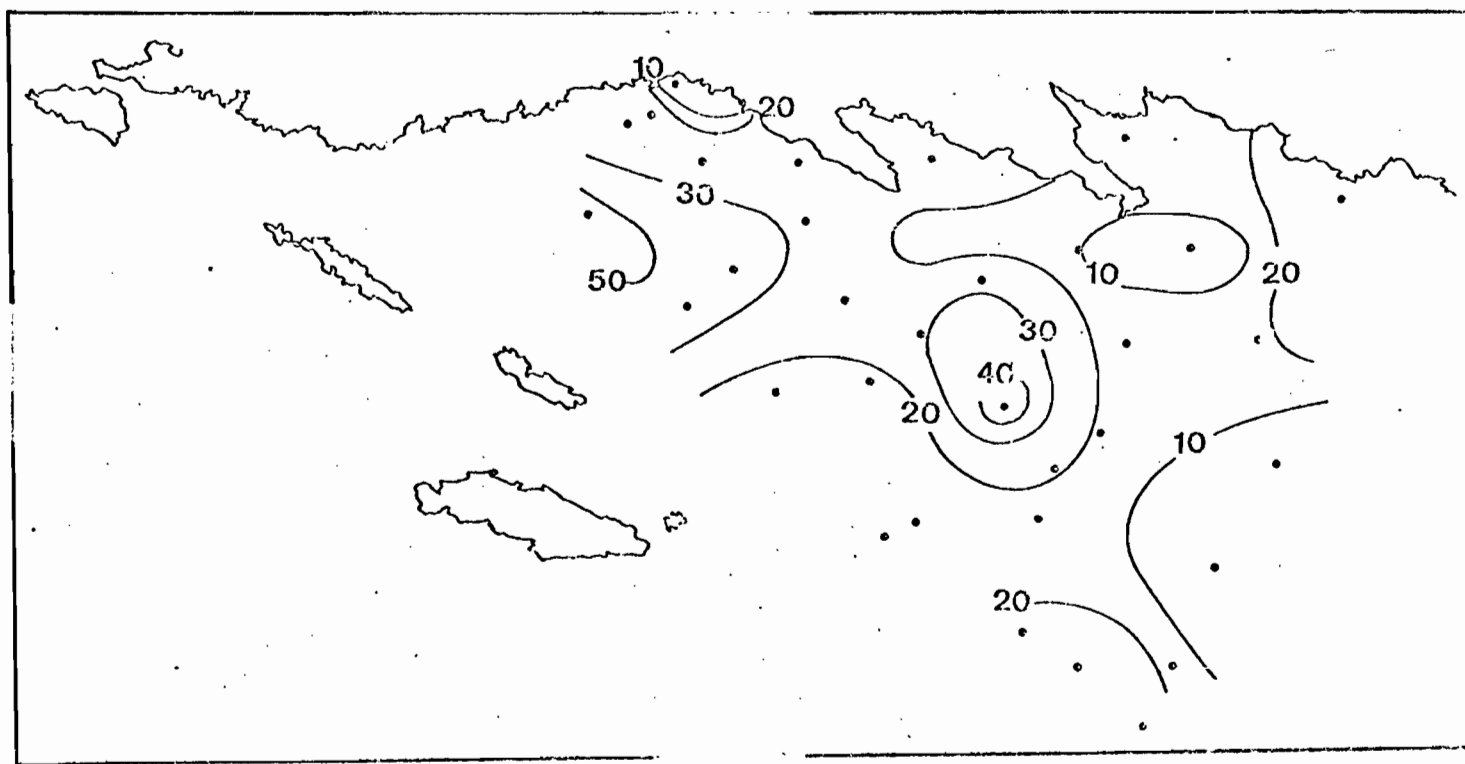


Fig. 15 - Répartition de Nitzschia "seriata" (Cortiou I) en 10^3 cell/l

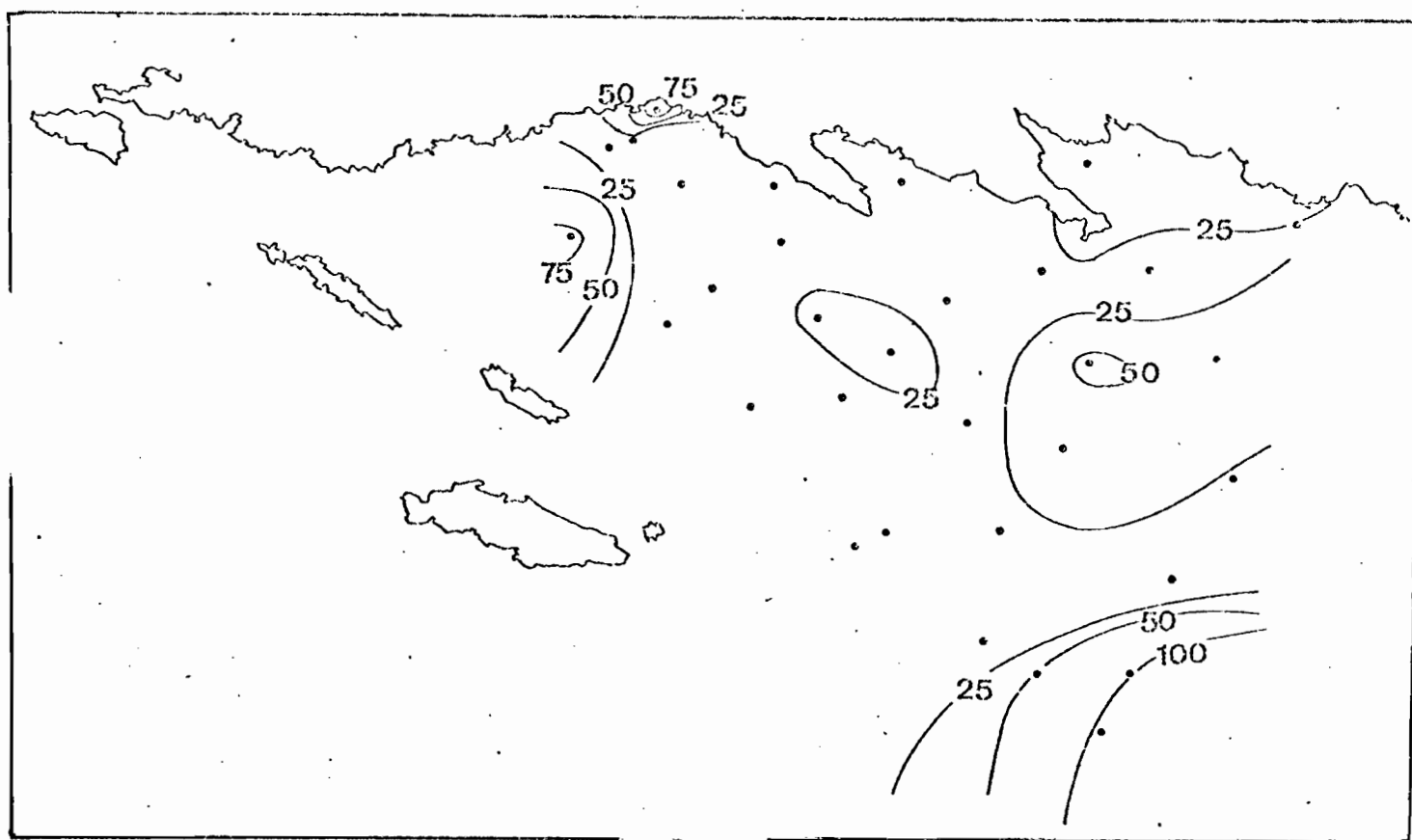


Fig. 16 - Répartition de *Cryptomonas* sp (Cortiou I) en 10^3 cell/l

CHAPITRE III

MISSION CORTIOU II (27 Avril 1977) :

1. GENERALITES

1.1 Echantillonnage

Une drogue, larguée à proximité de l'émissaire, a été suivie pendant 24 heures. Au cours de sa dérive, un prélèvement de surface était fait à son voisinage immédiat, toutes les demi-heures. 40 stations ont ainsi été prospectées du point de rejet de l'effluent jusqu'au Sud du golfe de Marseille, au-delà de l'île Maire (fig. 17). Le but était d'appréhender le devenir des eaux usées après rejet et de suivre leur mélange progressif avec les eaux marines du courant liguró-provençal.

1.2 Situation générale

Cette mission a été réalisée par vent très faible de secteur Sud-Est. La nappe d'épandage se dirigeait vers l'Ouest, sans être réellement plaquée contre la côte. Cette dérive est très proche du mouvement général des eaux superficielles, par temps calme (CASTELBON, 1972). La trajectoire de la bouée montre bien l'extension des masses d'eaux polluées, d'abord vers le centre de la cuvette, puis vers l'Ouest, au-delà du plateau des Chèvres.

L'ensemble des paramètres hydrologiques, biologiques et de pollution, montrent une dilution globale croissante de l'effluent dans le milieu marin.

Ainsi, la salinité de 32,5‰, à proximité de l'égout, passe à 37‰ au centre de la cuvette, puis à 37,8‰ au niveau du plateau des chèvres (fig. 18).

Cependant, il est apparu que cette tendance générale à la dilution ne s'effectuait pas de façon régulière, les stations 4, 7, 10 et 14 montrant une chute marquée de la salinité. Il semble que, contrairement à notre attente, la drogue suivie n'ait pas été entraînée par une même masse d'eau, mais ait été rattrapée par des eaux usées émises postérieurement par l'égout (ARFI, 1978). Ceci rend compte, in situ, des variations quantitatives et qualitatives de l'effluent, ainsi que de la présence de lentilles d'eaux présentant une charge polluante élevée et dérivant assez loin de l'émissaire. Se juxtaposant à ces lentilles d'eau "sale", on trouve aussi des lentilles d'eau plus propre présentant une salinité relativement élevée (station 3 et station 9 : 37,4‰). Compte tenu de la proximité de l'émissaire, elles correspondraient à des déchirures dans la nappe d'écoulement des eaux usées.

Par rapport à Cortiou I, la dilution de l'effluent apparaît donc moins rapide ; de plus, l'absence de brassage intensif des eaux permet la présence de lentilles d'eau plus sale se conservant au cours de leur dérive.

Les teneurs en oxygène dissous sont, comme à Cortiou I, non nulles à proximité du point de rejet (4,65 ml/l à la station 1) et augmentent graduellement jusqu'à 5,9 ml/l. Les stations situées au niveau des lentilles d'eaux plus sales présentent des taux relativement faibles, compris entre 5 et 5,25 ml/l.

Les teneurs en sels nutritifs et en urée (fig. 19, 20 et 21), élevées à l'émissaire et aux stations 2, 4 et 7 (ainsi qu'aux stations 10 et 14 pour l'ammoniaque et l'urée) diminuent avec l'éloignement de l'émissaire jusqu'à :

- devenir "normales" en ce qui concerne les nitrates et les nitrites (signalons cependant 2 pics de nitrates aux stations 28 et 33).
- demeurer légèrement élevées par rapport à une eau néritique habituelle pour l'ammoniaque, les phosphates et l'urée. Cette situation a déjà été remarquée lors de Cortiou I.

Quant aux polluants, ils présentent dans l'ensemble des taux faibles, plus élevés cependant à l'émissaire.

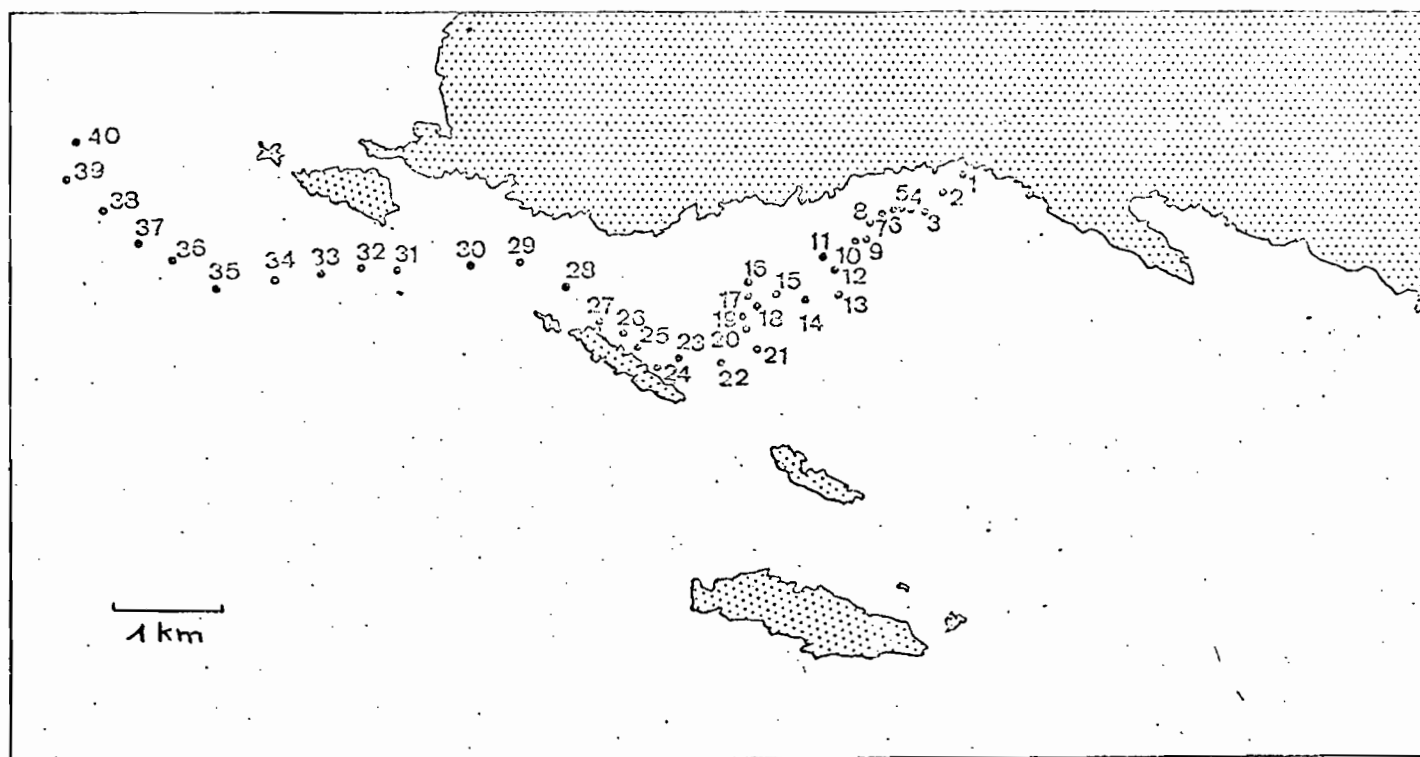


Fig. 17 - Position des stations de Cortiou II

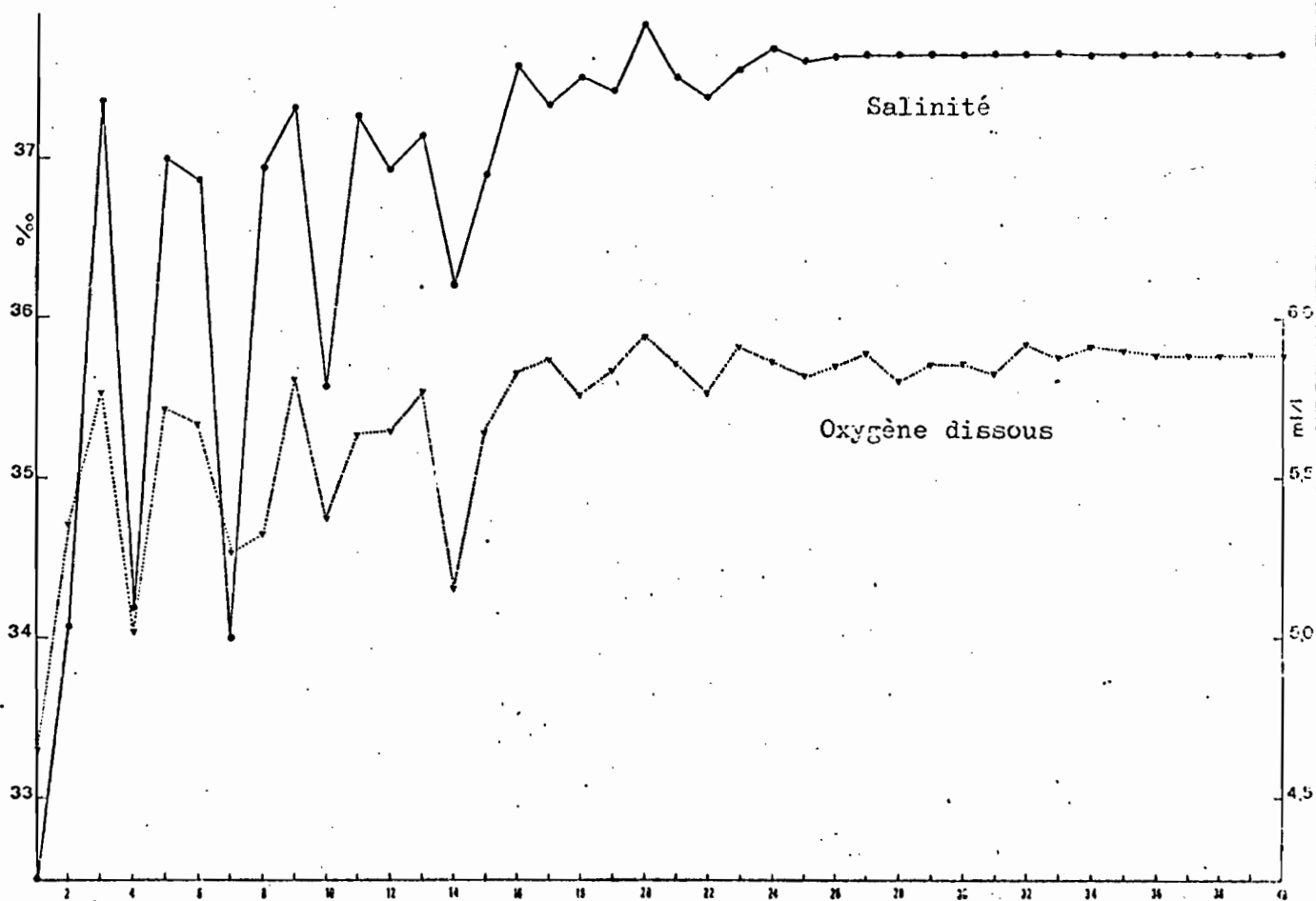


Fig. 18 - Evolution de la salinité et des teneurs en oxygène dissous (Cortiou II)

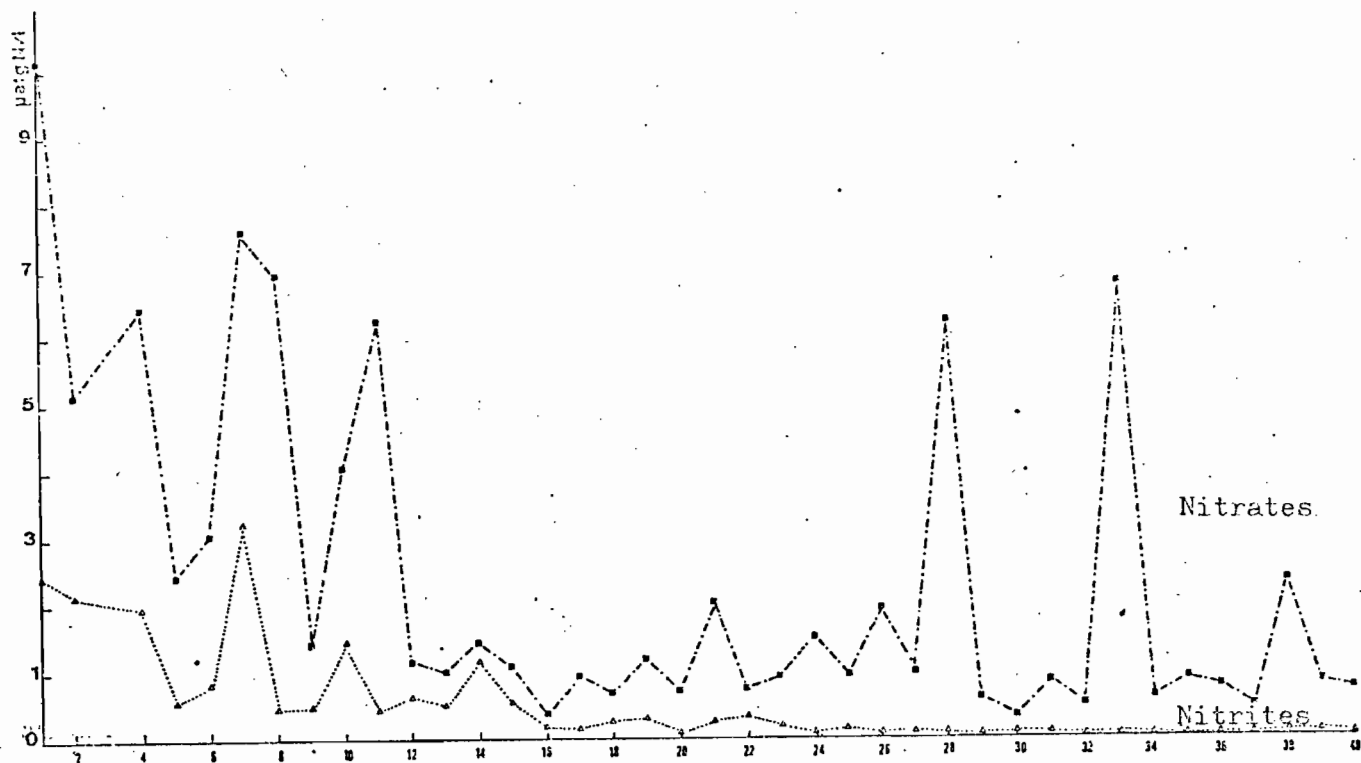


Fig. 19 - Evolution des teneurs en nitrates et en nitrites (Cortiou II)

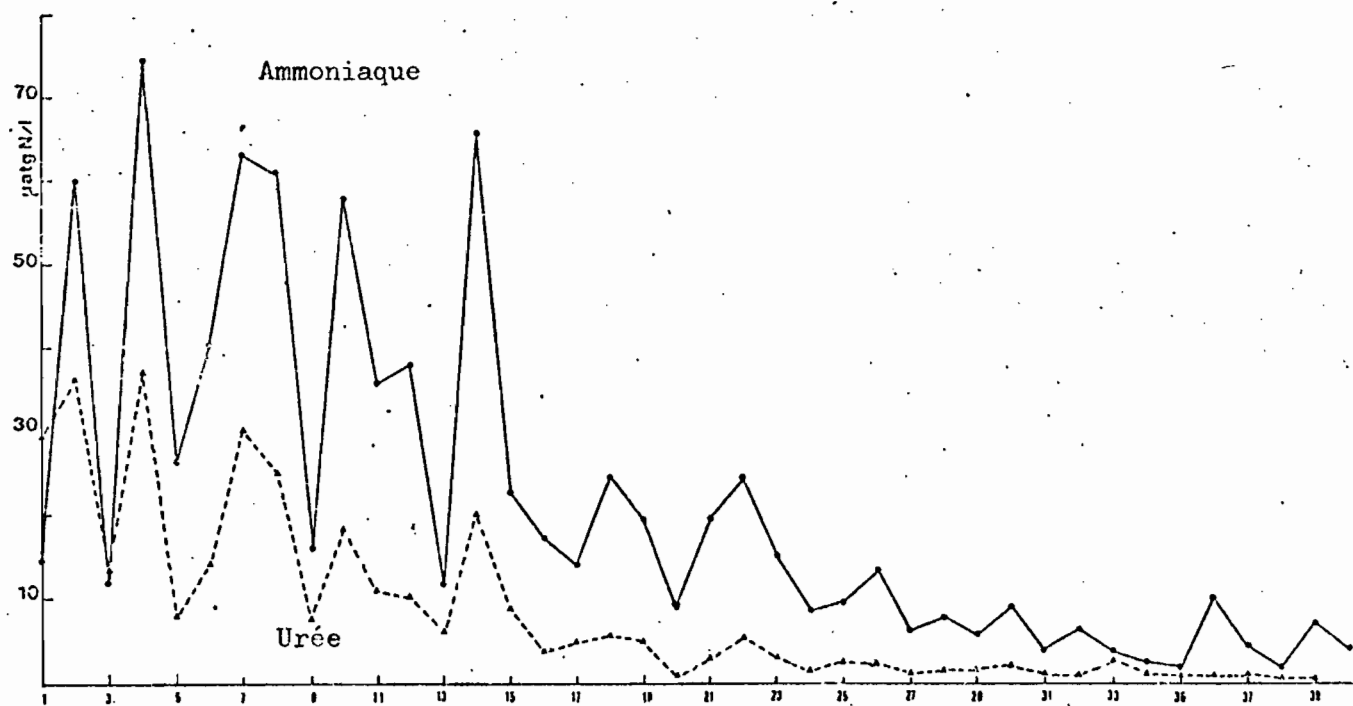


Fig. 20 - Evolution des teneurs en ammoniaque et en urée (Cortiou II)

2. LE PHYTOPLANKTON

(Tableau 2)

2.1 Aspect qualitatif

Il a été trouvé lors de Cortiou II, 64 espèces phytoplanctoniques. Cette mission ayant été effectuée une semaine après Cortiou I, il n'est guère étonnant d'y retrouver les mêmes espèces principales : Nitzschia "seriata", Nitzschia "delicatissima", Thalassiothrix frauenfeldii, Leptocylindrus danicus et diverses espèces du genre Chaetoceros.

Cependant, des différences apparaissent :

- Leptocylindrus danicus est légèrement en augmentation,
- les Cyanophycées ont presque totalement disparu si ce n'est à la station 14 (où elles demeurent avec un effectif relativement élevé de 38.000 cell/l) et plus généralement dans la totalité de la cuvette (station 11 à 32).
- Euglénophycées et Prorocentrum micans voient leurs effectifs diminuer considérablement tandis que les Cryptophycées n'apparaissent plus que de façon épisodique,
- en revanche, on assiste à une diversification et une présence plus constante des Rhizosolenia avec Rhizosolenia alata, Rhizosolenia calcar-avis, Rhizosolenia hebetata, Rhizosolenia stolterfothii, Rhizosolenia delicatula et Rhizosolenia fragilissima. Notons que les quatre premières espèces citées sont des espèces de grande taille.

Du fait de la disparition presque totale à Cortiou II de certaines espèces qui étaient importantes à Cortiou I (Cyanophycées en particulier), les Diatomées constituent plus de 90 % de la population (contre 31 % à Cortiou I). Cependant, il y a quelques exceptions à la station 14 où les Cyanophycées représentent 81 % du peuplement, et aux stations 30 et 31 où les Cryptophycées en constituent respectivement 25 et 22 %.

2.2 Aspect quantitatif

La moyenne des effectifs s'avère plus faible (30.000 cell/l) que lors de Cortiou I.

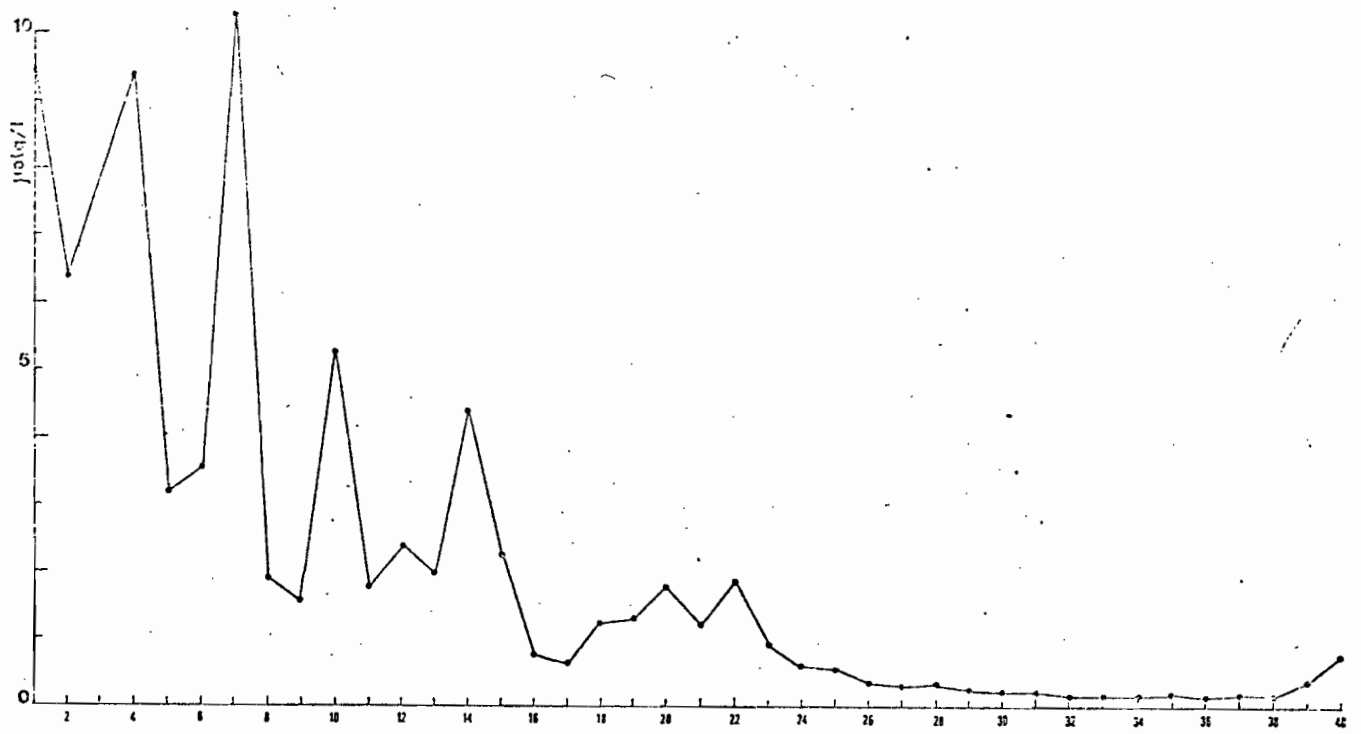


Fig. 21 - Evolution des teneurs en phosphates (Cortiou II)

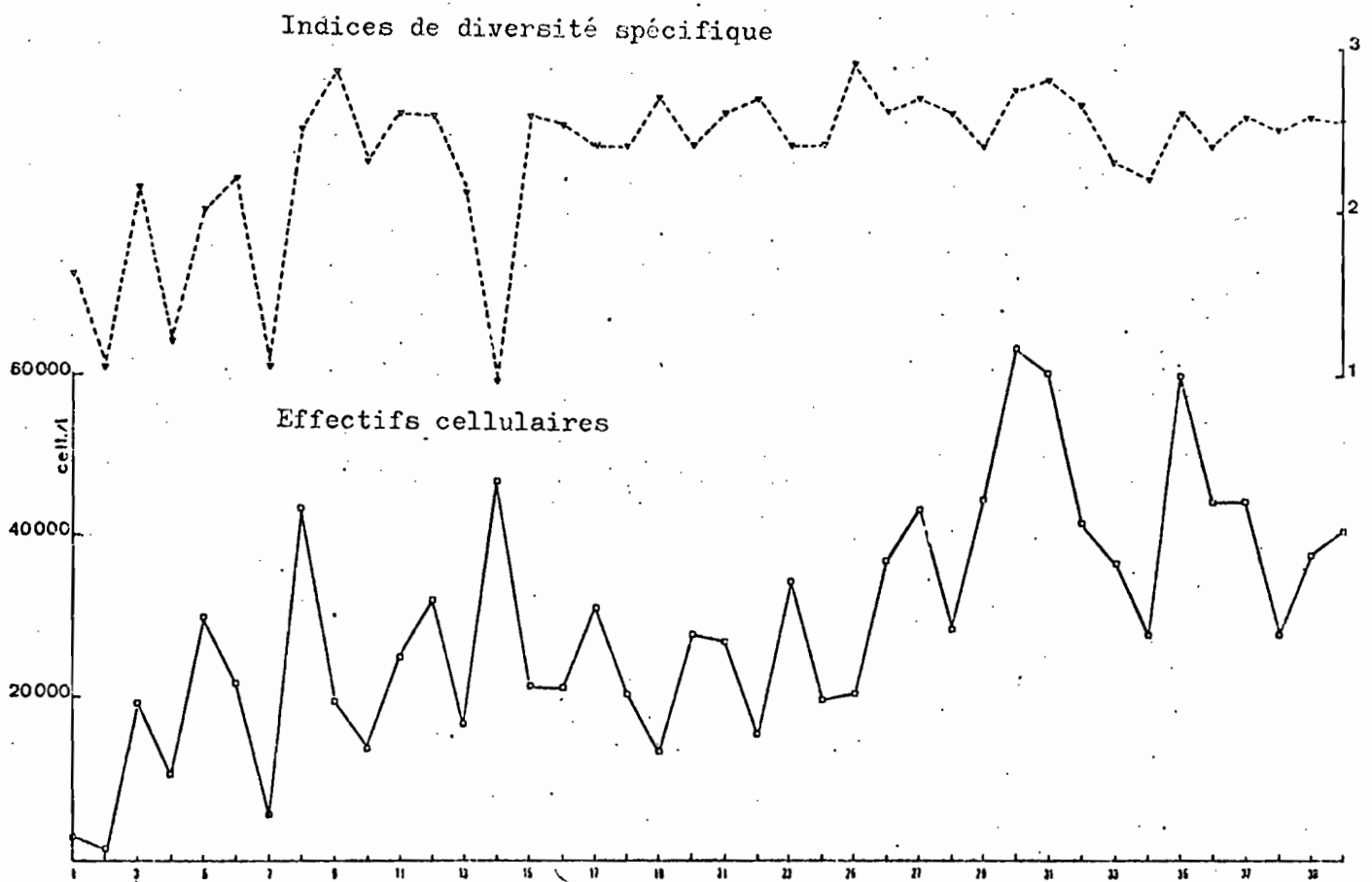


Fig. 22 - Evolution des effectifs cellulaires et des indices de diversité spécifique (Cortiou II)

La courbe de variation des effectifs (fig. 22) montre une tendance générale très nette à l'augmentation lorsqu'on s'éloigne de l'émissaire.

Il est remarquable de constater que les stations 1, 2, 4, 7 et 10, correspondant soit à la proximité de l'égout, soit aux lentilles d'eaux "sales" signalés ci-dessus, ont des effectifs particulièrement faibles. Le fait que la station 14 fasse exception à ce schéma est à relier à l'importance des Cyanophycées dans ce prélèvement ; en revanche, les valeurs des Diatomées néritiques y présentent toutes une chute notable (fig. 23 à 27).

Signalons que les stations 28 et 33 qui semblent rendre compte de "taches" présentant des caractères de pollution (ARFI, 1978), en plus de leurs fortes teneurs en sels nutritifs, ne s'avèrent pas particulièrement originales du point de vue du phytoplancton : si les densités du peuplement marquent une chute à la station 28, il n'en est pas de même à la station 33.

Les courbes d'évolution des effectifs par espèces (fig. 23 à 27) font apparaître que l'aire sous l'influence directe de l'effluent ne semble pas favorable aux espèces Leptocylindrus danicus, Nitzschia "delicatissima", et Rhizosolenia spp. En revanche, bien qu'elles s'avèrent mal tolérer une forte charge polluante (stations 1, 2, 3, 4, 7, 10 et 14), Nitzschia "seriata" et Chaetoceros spp. sont présents en quantité grossièrement équivalente dans l'aire proche de l'égout (stations 5, 6, 8 et 9) et dans l'aire la plus éloignée, (stations 29 à 40) ; elles sont de plus moins représentées dans le secteur intermédiaire correspondant à la cuvette de Cortiou. Il est cependant délicat d'en tirer des conclusions quant à une sensibilité plus ou moins grande de ces espèces à l'effluent.

Les indices de diversité spécifique augmentent, comme les effectifs de façon très nette avec l'éloignement de l'émissaire (fig. 22). Cependant, ils sont en moyenne plus faibles ($m = 2,55$) lors de cette sortie que lors de la précédente ($m = 2,7$) : ceci peut s'expliquer par le fait qu'à Cortiou I, la communauté algale est constituée d'un mélange d'espèces néritiques et d'espèces semblant liées au secteur de Cortiou. Ce mélange tend à augmenter l'indice de diversité spécifique, sans prouver pour autant une structuration de l'écosystème ; la disparition presque totale de ces dernières espèces à Cortiou II peut expliquer la légère diminution des indices de diversité spécifique .

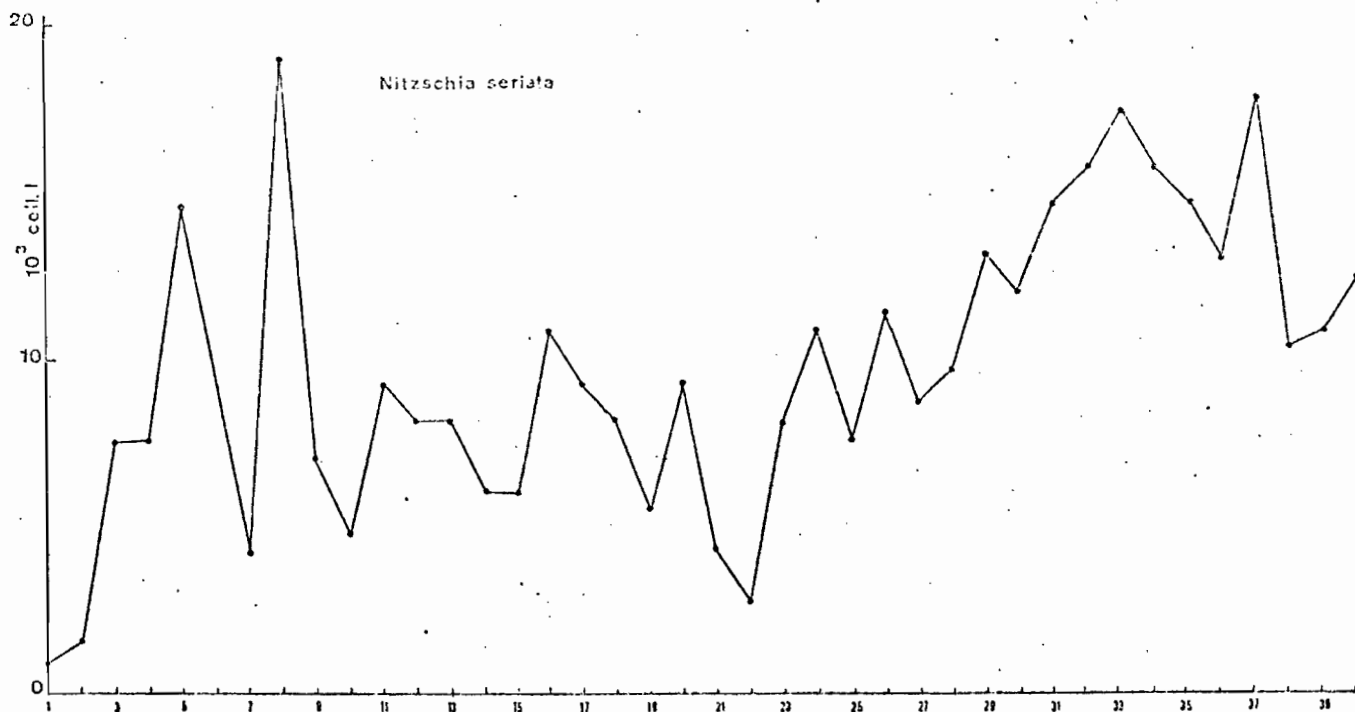


Fig. 23 - Evolution des effectifs de Nitzschia "seriata" (Cortiou II)



Fig. 24 - Evolution des effectifs de Nitzschia "delicatissima" (Cortiou II)

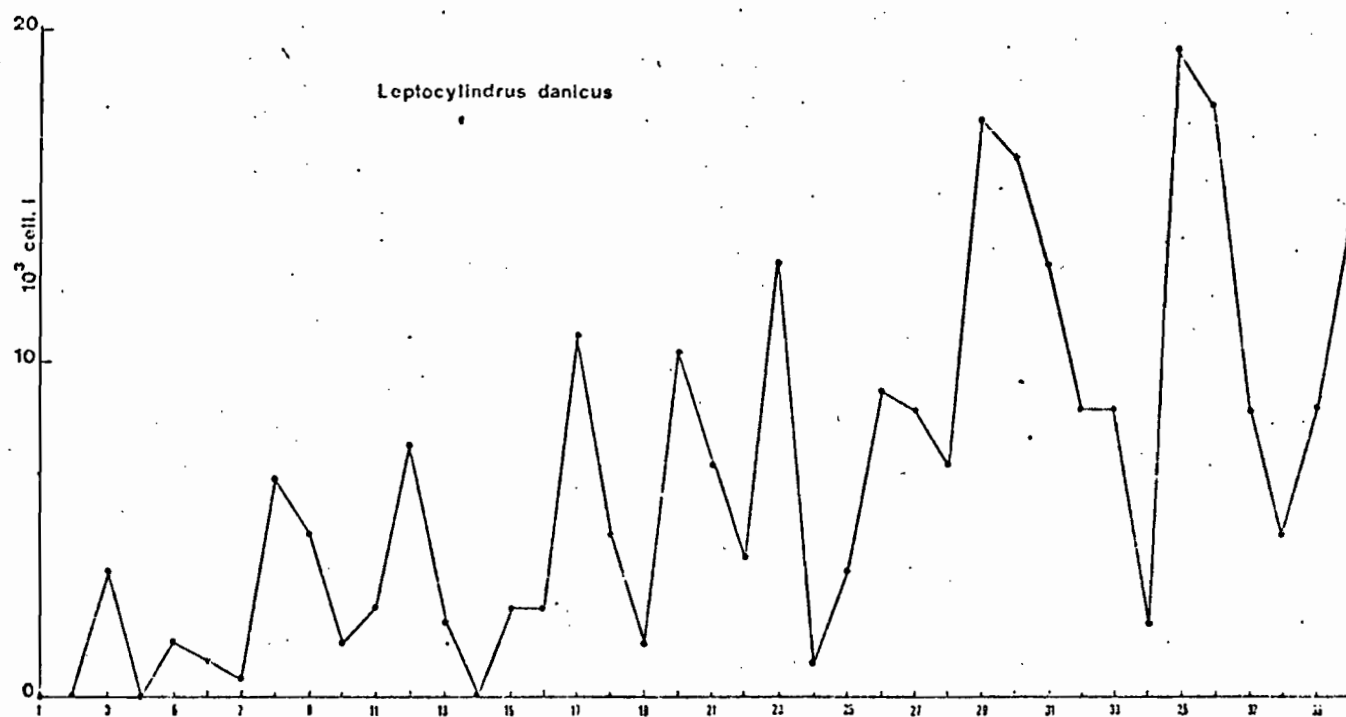


Fig. 25 - Evolution des effectifs de Leptocylindrus danicus (Cortiou II)

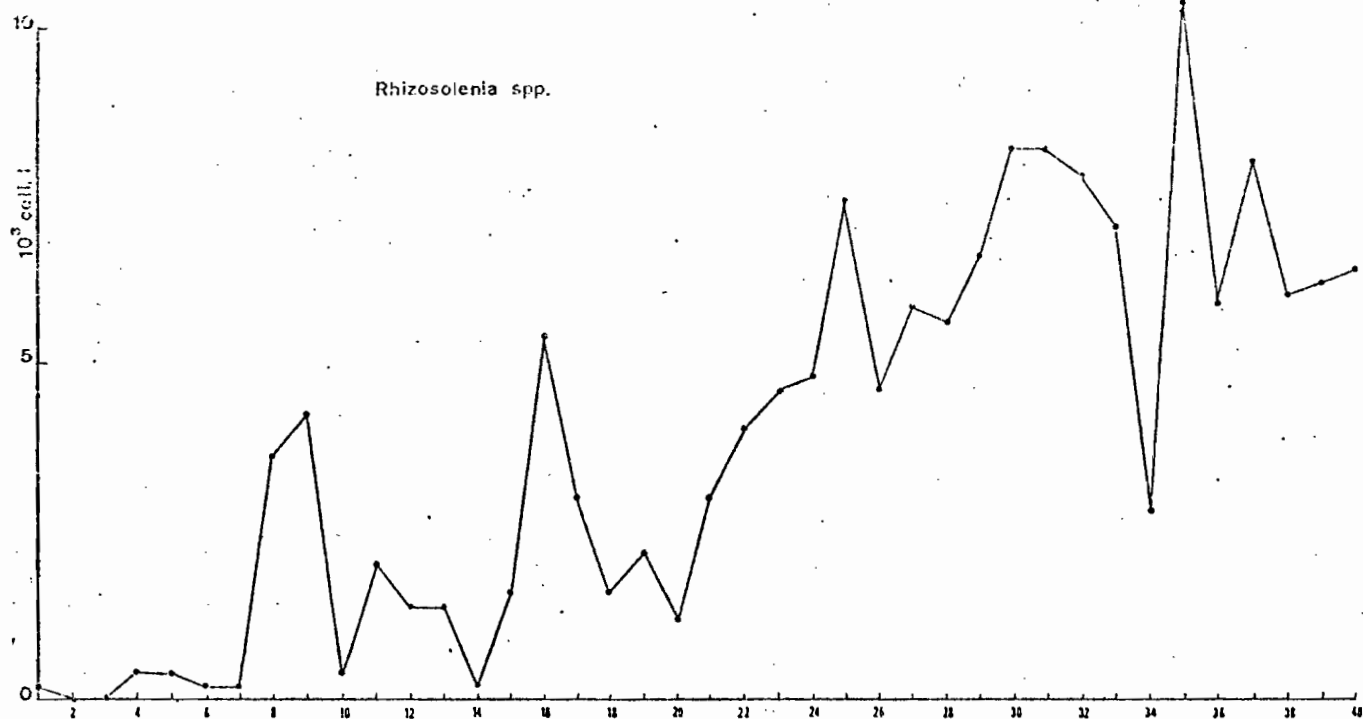


Fig. 26 - Evolution des effectifs de Rhizosolenia spp (Cortiou II)

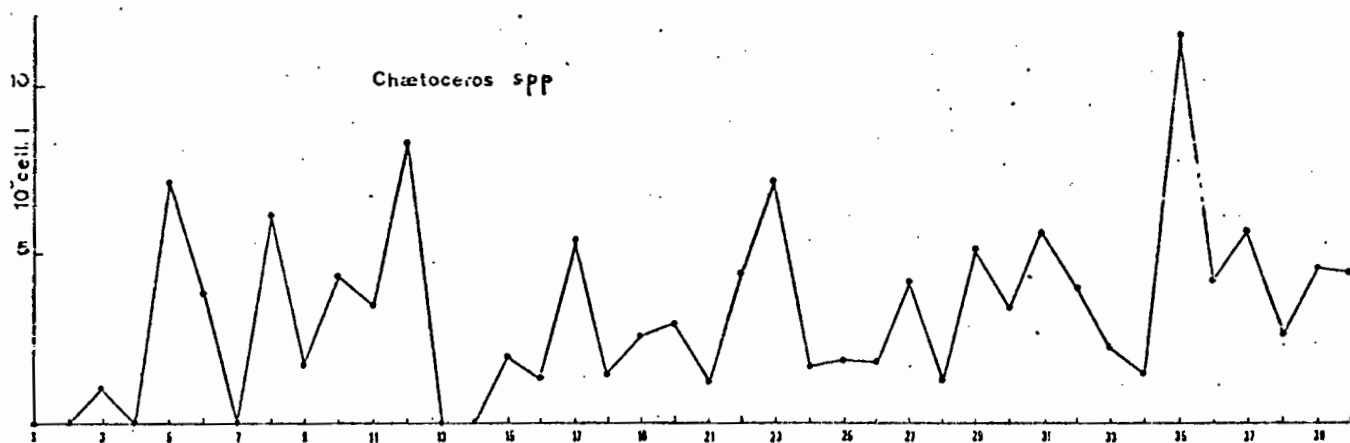


Fig. 27 - Evolution des effectifs de Chaetoceros spp (Cortiou II)

De plus, on peut penser, au vu du déclin des populations et de l'apparition de grosses Diatomées du genre Rhizosolenia, que le système planctonique a continué à se structurer durant la semaine qui a séparé les deux missions.

3. LE TRAITEMENT MATHÉMATIQUE

L'analyse a porté sur 40 espèces phytoplanctoniques et 40 stations, 29 variables générales ayant été utilisées comme paramètres témoins. Cette analyse a en fait été effectuée deux fois :

- la première, avec les variables générales intervenant sans masse dans l'analyse,
- la seconde, avec 17 variables générales intervenant avec masse, soit le traitement d'une matrice de corrélation 57 x 57. Il est remarquable de constater que dans les deux cas, la structure dégagée est identique.

La projection des variables témoins sur le premier plan de l'analyse (fig. 28) fait apparaître deux groupes de paramètres qui s'opposent : l'un, comprenant la salinité, l'oxygène, le phytoplancton et la charge énergétique, l'autre, toutes les variables caractéristiques de l'effluent. Il est vraisemblable que comme pour l'analyse précédente (cette fois par rapport au premier axe), la première direction dégage l'influence de la dilution de la nappe d'épandage.

● Plan 1-2 des variables et des observations (fig. 28)

Le pourcentage d'inertie expliqué par les deux premiers axes ($\lambda_1 = 26 \%$, $\lambda_2 = 7,4 \%$) est de 33,4 %.

L'axe 1, au vu de la répartition des projections des stations, peut être en effet assimilé à la dilution de l'effluent dans le milieu marin. La position des paramètres témoins chlorophylle a et ATP, pouvait permettre d'assimiler le deuxième axe à une évolution de la biomasse. Mais il est peu probable que

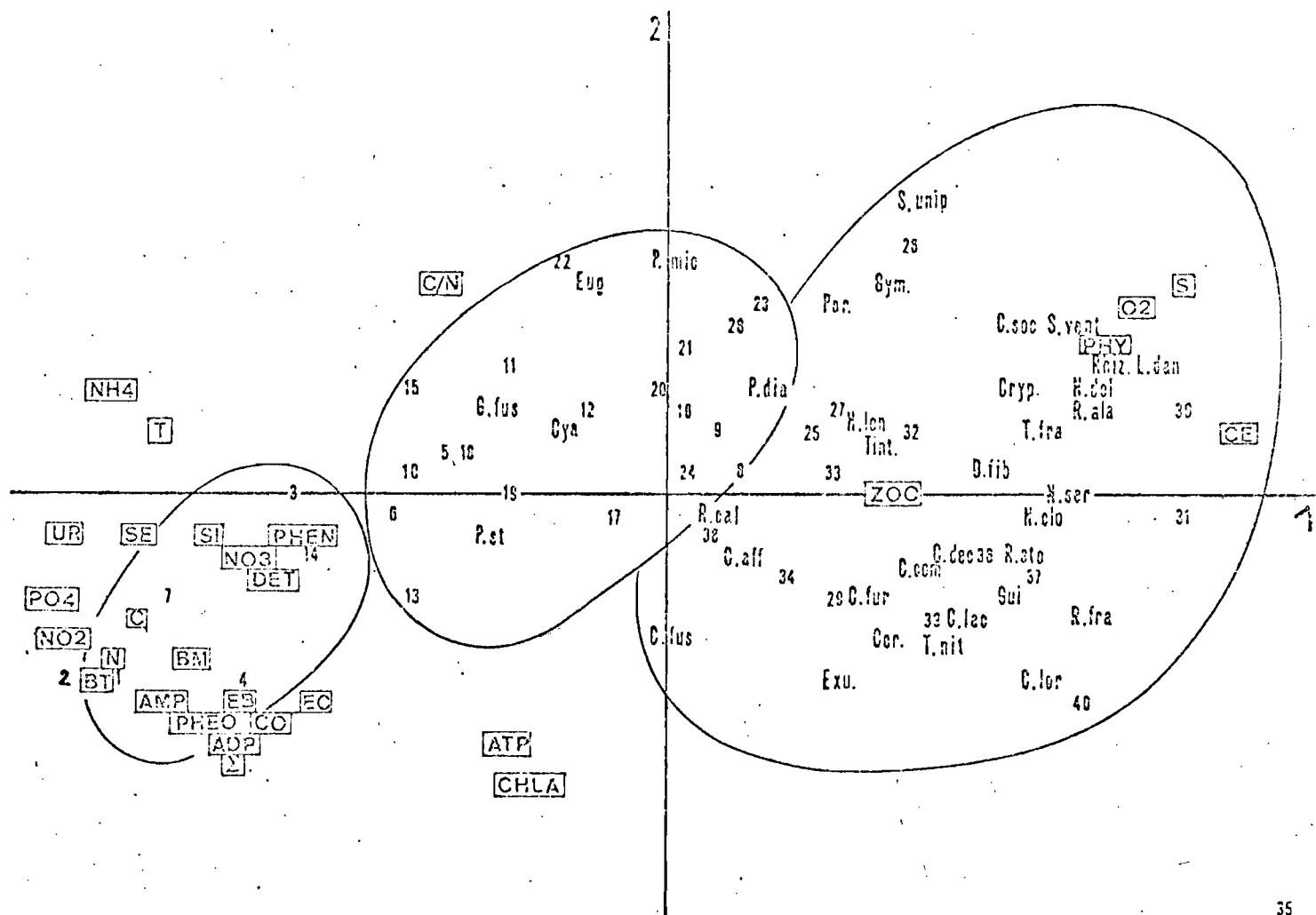


Fig. 28 - Plan 1-2 de l'analyse en composantes principales (Cortiou II)

les quelques milliers de cellules par litre observés près de l'émissaire, puissent correspondre aux valeurs relativement élevées de chlorophylle a (fig. 29). Nous avons déjà observé ce phénomène lors de Cortiou I et conclu, au vu des très fortes valeurs de phéophytine, accompagnant ces maxima de chlorophylle a, que cette dernière était apportée par l'égout sous forme de débris végétaux en partie dégradés. Quant aux taux élevés d'ATP, ils peuvent être expliqués par le très grand nombre de bactéries (ARFI, 1978) observées au débouché de l'émissaire.

La répartition en arc de cercle des stations autour de ces deux variables (effet Guttman) laisse supposer une relation quadratique entre les deux axes : les fortes valeurs de chlorophylle a et d'ATP sont dues aux débris végétaux et aux bactéries près de l'égout, alors qu'elles proviennent du phytoplancton en mer ouverte.

Dans l'espace des variables, les espèces phytoplanctoniques se projettent en deux groupes : l'un comprenant peu d'espèces : *Cyanophycées*, *Eutreptia sp*, *Prorocentrum micans*, *Gymnodinium fusus*, l'autre comprenant l'ensemble des Diatomées néritiques citées auparavant.

La superposition des deux espaces observations et variables permet de dégager une structure composée de quatre secteurs :

- près de l'émissaire et au niveau des lentilles d'eau polluée (stations 1, 2, 4 et 7), avec en moyenne 5.000 cell/l, une zone où le phytoplancton ne résiste pas aux conditions extrêmes de turbidité et de pollution (I). Les valeurs des indices de diversité spécifiques y sont très faibles ($m = 1,22$), celles de la charge énergétique, inférieures à 0,4 (fig. 30).
- une zone englobant la cuvette de Cortiou avec les stations 3, 5, 6 et 8 à 22, la moyenne des effectifs cellulaires augmente (25.000 cell/l). Il en est de même pour celle des valeurs des indices de diversité spécifique ($m = 2,36$) et des charges énergétiques ($m = 0,5$). (I').

Cette zone apparaît caractérisée par certaines espèces liées aux milieux pollués, en particulier : *Cyanophycées*, *Eutreptia sp*, *Prorocentrum micans*. Il est remarquable de constater que l'on retrouve une situation semblable à Cortiou I du point de vue de l'analyse de ces espèces (exception faite

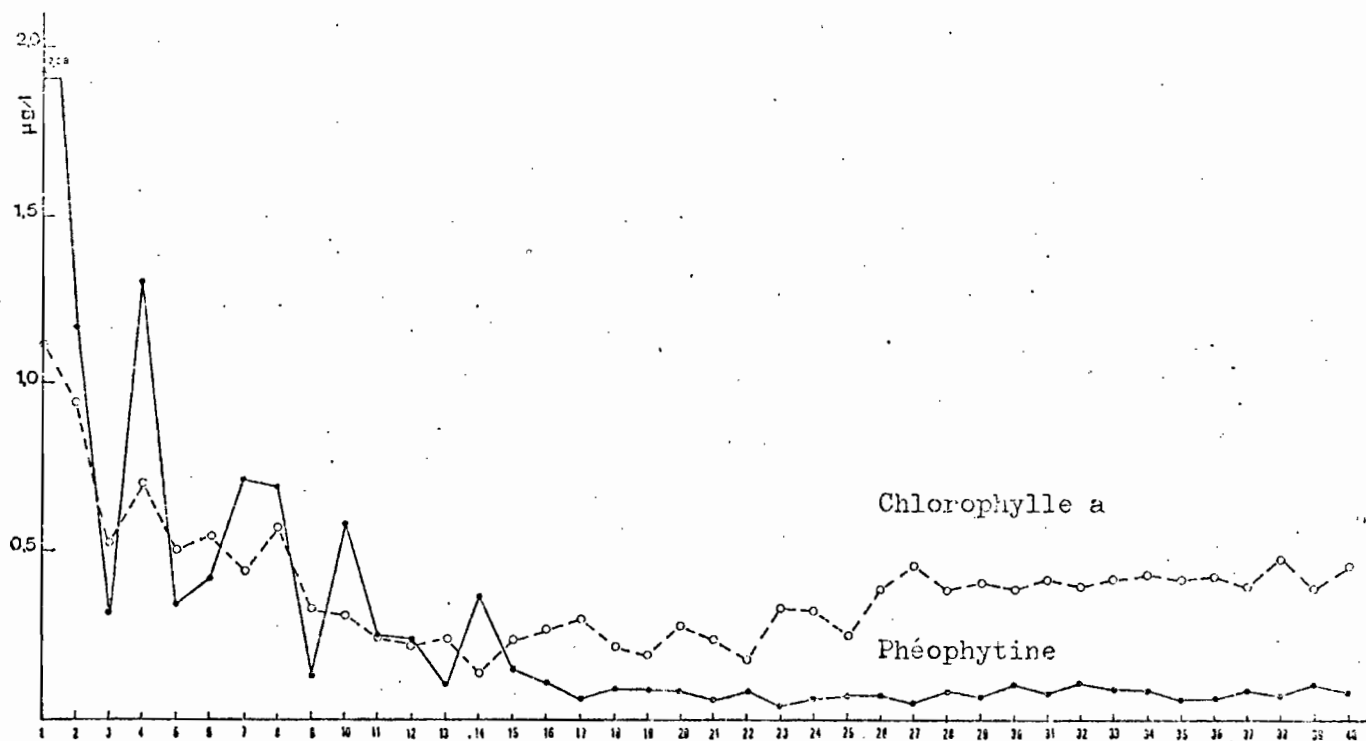


Fig. 29 - Evolution des taux de chlorophylle a et de phéophytine (Cortiou II)

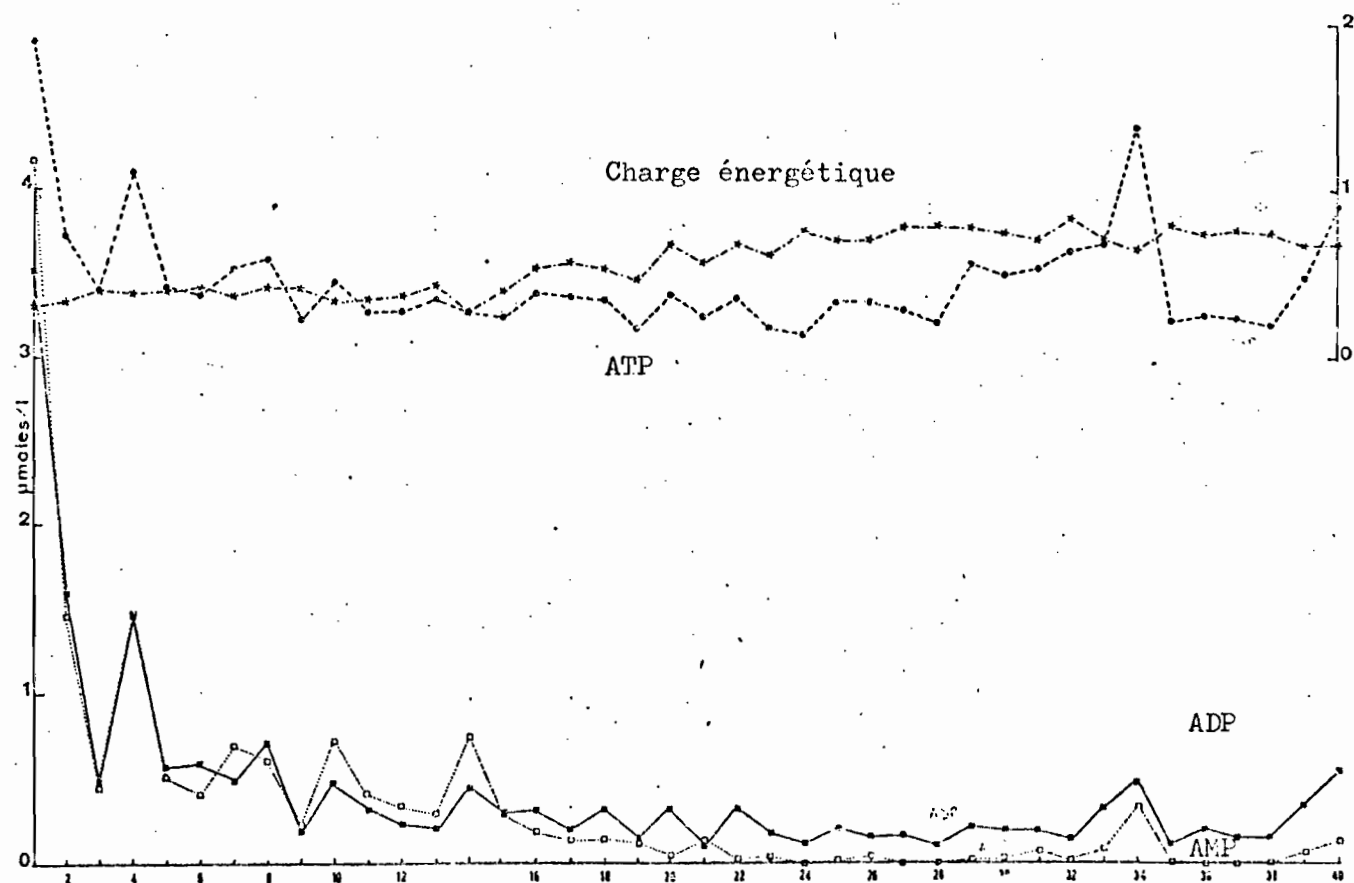


Fig. 30 - Evolution des taux d' ATP, ADP, AMP, et des valeurs de la charge énergétique (Cortiou II)

cependant des Cryptophycées), malgré leur diminution notable d'effectifs.

- la côte Est de l'île Jarre (stations 23 à 28) représente un secteur limité où les effets de la pollution s'atténuent et où le système se restructure progressivement (II). La moyenne des effectifs cellulaires se situe à 30.000 cell/l, celle des indices de diversité spécifique à 2,6 et les valeurs de la charge énergétique sont supérieures à 0,6.
- Après le plateau des Chèvres, on retrouve une zone néritique classique avec de nombreuses espèces de Diatomées (III) d'eau propre. Les moyennes des effectifs cellulaires et des indices de diversité spécifiques y sont respectivement de 44.000 cell/l et de 2,53, la charge énergétique y est supérieure à 0,6.

CHAPITRE IV

MISSION CORTIOU III (27 Septembre 1977) :

Cette mission sera abordée plus succinctement, tous les paramètres n'étant pas encore disponibles, et le nombre de prélèvements à un même niveau étant trop faible pour effectuer un traitement mathématique.

1. GENERALITES

1.1 Echantillonnage

Cette sortie a été effectuée de jour, par vent faible ou nul, soufflant en alternance de secteur Est et Sud. 16 stations situées sur quatre radiales convergant sur le point de rejet, couvrant la cuvette de Cortiou, ont été échantillonnées à trois niveaux : en surface, à moins 7 mètres et près du fond (fig. 31). Les prélèvements ont été faits au moyen de bouteilles à renversement type N.J.O.

Ce type d'échantillonnage classique nous a permis d'avoir un aperçu des fluctuations des rejets au cours de la journée (trois stations sont situées à proximité de l'émissaire) et d'étudier les eaux intermédiaires et du fond.

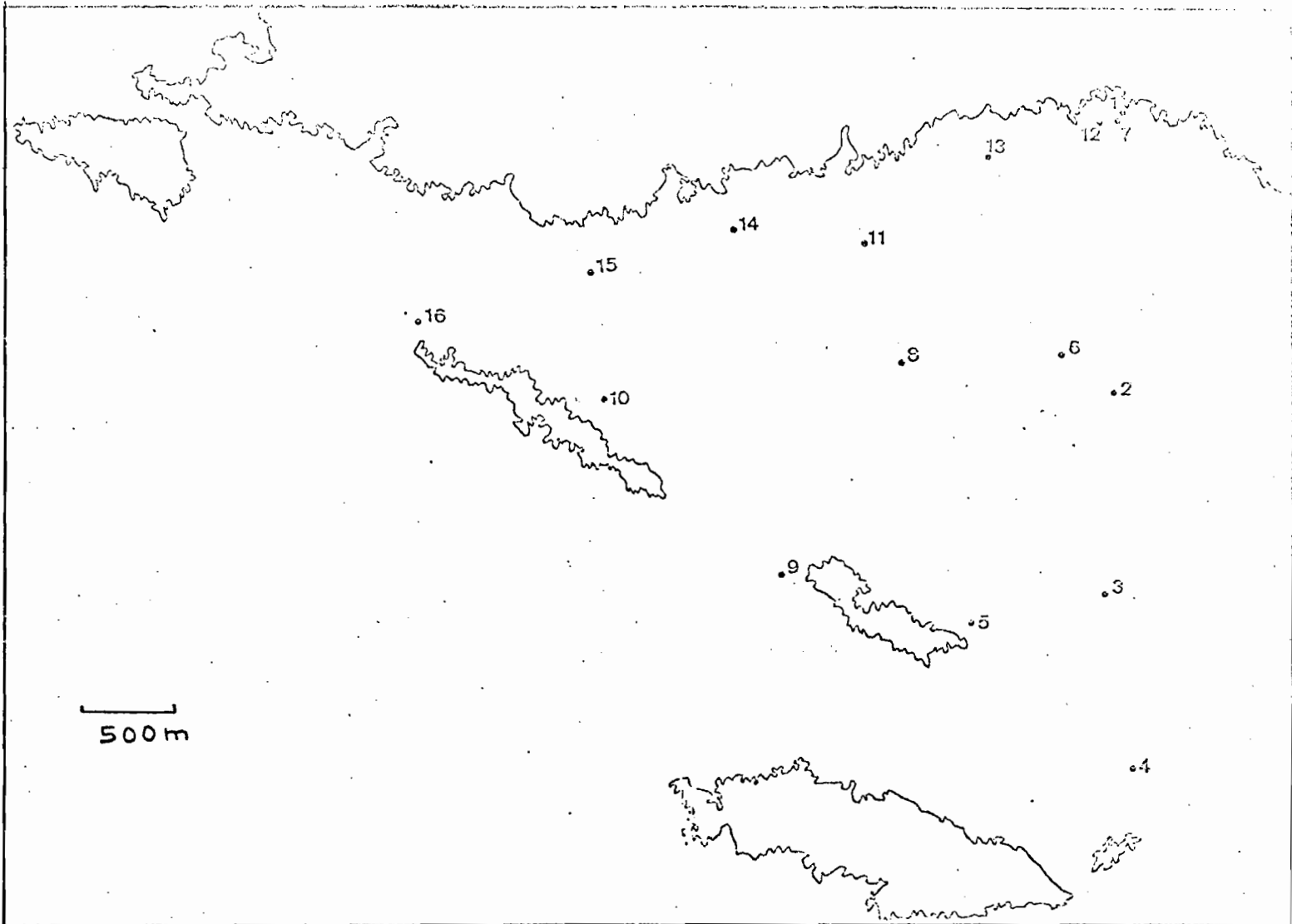


Fig. 31 - Position des stations de Cortiou III

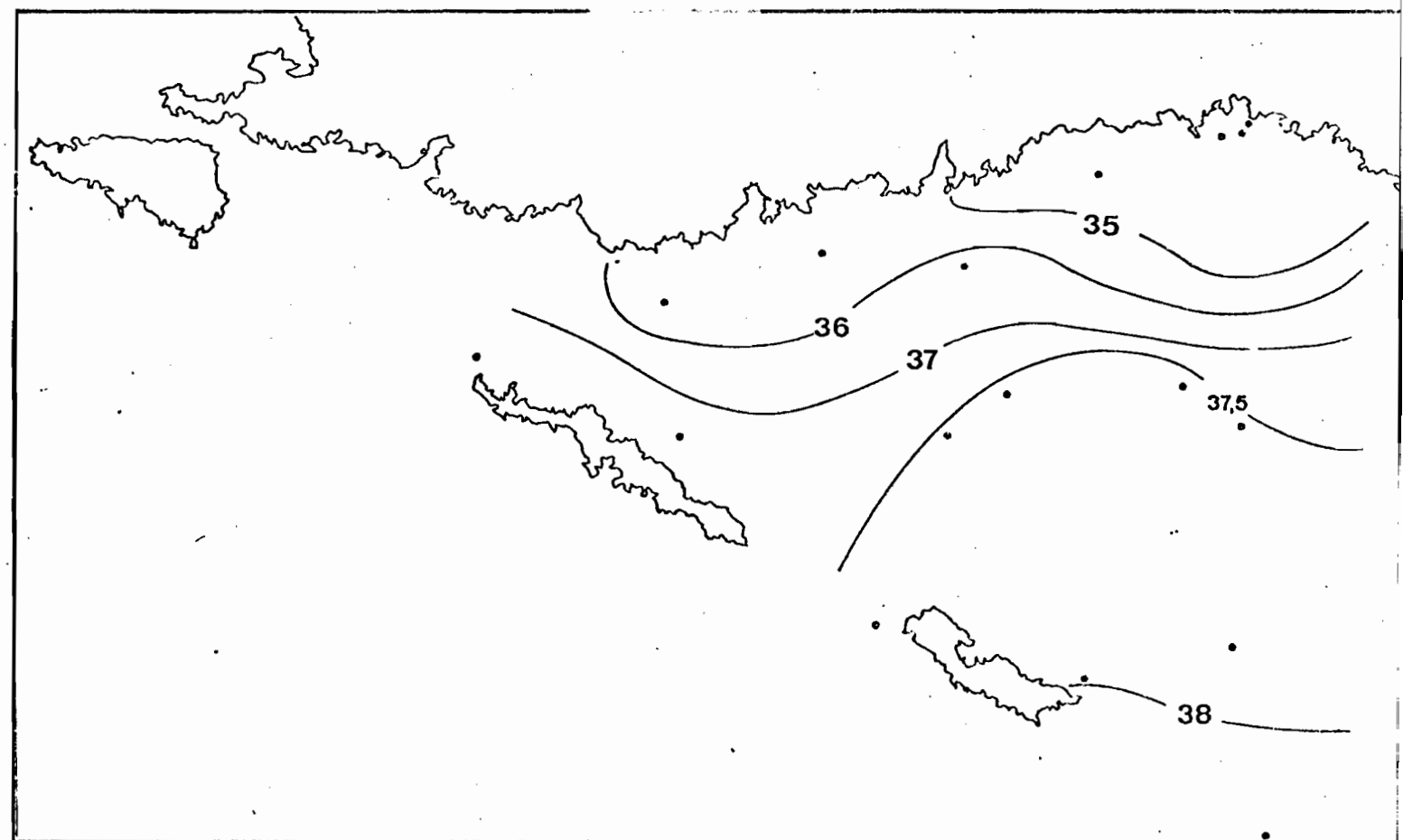


Fig. 32 - Isohalines de surface (Cortiou III)

1.2 Situation générale

1.2.1 L'ensemble des stations

Si l'on considère la salinité comme traceur de la nappe d'écoulement (les autres paramètres turbidité, sels nutritifs et polluants donnant les mêmes renseignements), on remarque (fig. 32) :

- l'écoulement en surface des eaux usées : la salinité à - 7 m et au fond est toujours très voisine de 38°/oo (sauf à la station 2 où elle est légèrement plus faible : 37,5°/oo).
- la présence de deux axes de dilution : le premier le long de la radiale 1.2, le second avec un gradient de salinité beaucoup plus marqué le long de la radiale 12-13-14-15 et 16.

En début de mission, la nappe d'épandage s'étend au Sud de l'émissaire, sans doute encore sous l'influence des vents de secteur Nord qui ont soufflé les jours précédents. La dilution est particulièrement rapide : 37,5°/oo à la station 2. contre 32,8°/oo à la station 1, face à l'égout.

Par la suite, un vent de secteur Est commençant à se lever, la nappe a suivi un écoulement le long de la côte, vers l'Ouest. A ce moment, on constate une persistance de la dessalure jusqu'au plateau des Chèvres (station 15 : 35,6°/oo). Cette dilution plus réduite de l'effluent peut s'expliquer par la faiblesse du vent (qui d'ailleurs avait pratiquement cessé en fin de mission) permettant simplement une orientation de la nappe d'épandage, mais non un brassage intensif des eaux. Les deux radiales médianes, à la suite de ce changement de direction des eaux usées, semblent donc relativement épargnées.

1.2.2 Le débouché de l'égout

Les trois stations ont été prospectées à quelques heures d'intervalle : station 1 à 8 heures, station 7 à 13 heures et station 12 à 16 heures. Si l'on constate une forte dessalure pour les trois prélèvements (32,8°/oo, 35°/oo et 31,5°/oo), les autres paramètres présentent des fluctuations notables (fig. 33) :

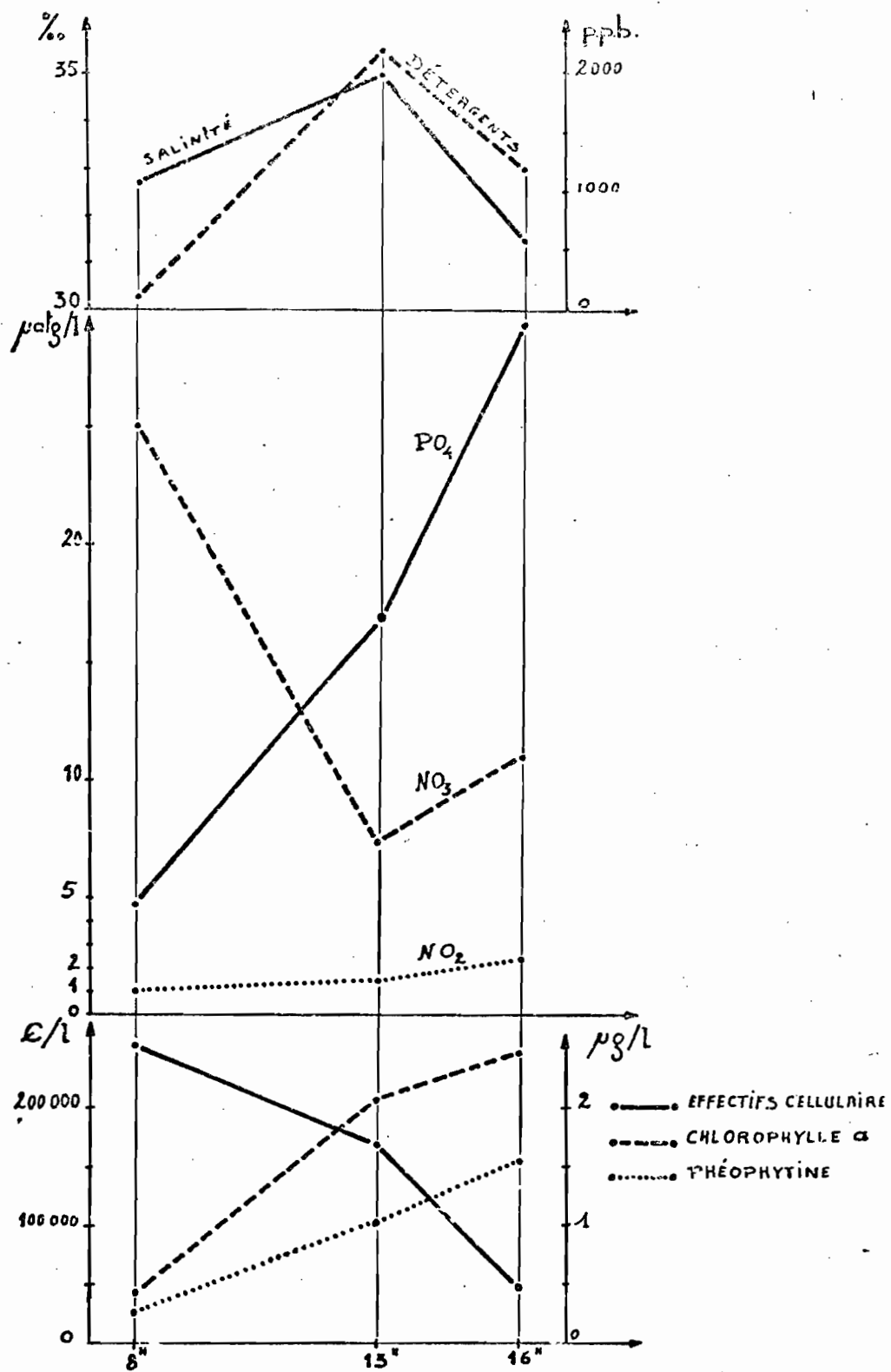


Fig. 33 - Evolution de quelques paramètres au débouché de l'égout, au cours de la journée (Cortiou II)

- . $N-NO_2$ passe de 0,93 $\mu\text{atg/l}$ à 1,09, puis à 2,18 $\mu\text{atg/l}$
- . $N-NO_3$ passe de 24,87 $\mu\text{atg/l}$ à 7,13, puis à 10,78 $\mu\text{atg/l}$
- . $P-PO_4$ passe de 4,65 $\mu\text{atg/l}$ à 16,93, puis à 29,36 $\mu\text{atg/l}$
- . Détergents passent de 110ppb à 2.250ppb, puis à 1.160ppb.

On constate donc au cours de la journée une augmentation constante de la charge polluante de l'effluent (le maximum de certains paramètres pouvant toutefois être atteint en milieu de journée, détergents par exemple; ou le matin, $N-NO_3$). Ce n'est guère étonnant compte tenu de la réduction des activités humaines au cours de la nuit et du temps de transit des eaux usées dans le grand collecteur.

2. LE PHYTOPLANKTON (Tableau 3)

2.1 Aspect qualitatif

Il a été trouvé à Cortiou III 45 espèces phytoplanctoniques. Les Diatomées constituent l'essentiel de la population avec principalement : Leptocylindrus danicus qui représente en moyenne plus de 60 % des effectifs. Citons comme autres espèces, Nitzschia "delicatissima", Rhizosolenia fragilissima, Rhizosolenia stolterfothii et le genre Chaetoceros dominé par Ch. curvisetus, Ch. affinis et Ch. compressus.

L'écologie de ces espèces a déjà été abordée auparavant, exception faite de Rhizosolenia fragilissima et de Rhizosolenia stolterfothii. Ce sont des espèces présentes dans le golfe de Marseille à peu près toute l'année, sauf en hiver. Elles peuvent jouer un rôle non négligeable, mais rarement principal, dans les différentes poussées de l'année (TRAVERS, 1971).

2.2 Aspect quantitatif

2.2.1 En surface, la moyenne des effectifs est beaucoup plus élevée que lors des deux premières sorties (400.000 cell/l). La répartition se fait de la manière suivante (fig. 34) : les stations directement influencées par l'effluent (stations 1, 7, 12, 13 et 14) présentent des effectifs de l'ordre de 200.000 cell/l. A proximité de cette zone apparaît une auréole de maxima (stations 15, 11, 8, 6 et 2) particulièrement fortes pour les stations 11, 8 et 6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<u>DIATOMES CENTRIQUES</u>																
<i>Pachydermus hyalinus</i> - Lauder		++														
<i>Chaetoceros affinis</i> - Lauder	++	+++	++			+++	+	+++		+	+					
<i>Chaetoceros compressus</i> - Lauder	+++	++				+++				+	+	+	++	++	++	++
<i>Chaetoceros curvisetus</i> - Cleve	++	+++	+++	++	+++	++	++	+++	++		+	+	++	+	++	++
<i>Chaetoceros</i> spp			++		+	++		(1)	+	+			++			
<i>Hemiaulus hauckii</i> - Grunow	++				+			++	+	+	+	+	+			
<i>Guillardia fleccida</i> - (Castracane) Peragallo									+	+			+		+	+
<i>Leptocylindrus danicus</i> - Cleve	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
<i>Rhizosolenia fragilissima</i> - Bergen	++	++	++	++	+++	+++	++	+++	+++	++	++	+	++	++	++	++
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i> - Peragallo	++	++					++	++	++	+	+	+	+	+	+	+
<i>Rhizosolenia</i> spp	+			+	++	++		++	+			+	+	+	+	+
<i>Skeletonema costatum</i> - (Greville) Cleve									+		+					
<u>DIATOMES PLEURES</u>																
<i>Nitzschia "delicatissima"</i> - Cleve	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	++	++	++	++	++
<i>Nitzschia "seriata"</i> - Cleve	++	++	++			+++	++	+++	++	+++	++	++	++	++	++	++
<i>Thalassionema nitzschioides</i> - Grunow	++	++					++	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i> - (Grunow) Cleve & Moller	+	++		++	++	++	++	+	+			+				
<u>DINOFAGILES</u>																
<i>Amphidinium</i> sp						+			+							
<i>Ceratium</i> spp																
<i>Exuviella</i> sp			+								+	+			+	+
<i>Goniolax</i> sp			+				+	+								
<i>Gymnodinium</i> spp																
<i>Gyrodinium</i> spp								+	+				+		+	+
<i>Peridinium</i> spp	+			+					+		+				+	+
<i>Prorocentrum micans</i> - Ehrenberg	+	+														
<u>CYANOPHYCES</u>																
<i>Oscillatoria</i> sp	+															
<u>SILICOFLAGILES</u>																
<i>Dictyocha fibula</i> - Ehrenberg	+											+				
<u>COCOLITHOPHORIDES</u>																
					+			+		+	+					
<u>CRYPTOPHYCES</u>																
<i>Cryptomonas</i> sp									++	++	+					
<u>TINTINNIDES</u>																
	+	+		++	++	++			+		+		+	+	+	+
ESPECES																
PRELEVEMENTS A -7 METRES																
<u>DIATOMES CENTRIQUES</u>																
<i>Pachydermus hyalinus</i> - Lauder										+				+		
<i>Chaetoceros affinis</i> - Lauder	++	++	++	++	++	++	++	+	+							
<i>Chaetoceros compressus</i> - Lauder	+++				++			+	++	+	+++	++	++			+
<i>Chaetoceros curvisetus</i> - Cleve	++		++	++	++	++	++	+	+		+++	++	+	+	+	+
<i>Chaetoceros</i> spp	+		++	++	++	++	+				+	+	++			
<i>Hemiaulus hauckii</i> - Grunow				++		++		+		+	++	+	+		++	
<i>Guillardia fleccida</i> - (Castracane) Peragallo									+	+	+	+			+	
<i>Leptocylindrus danicus</i> - Cleve	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	++	+++
<i>Rhizosolenia fragilissima</i> - Bergen	++		++	++	++	+++	++	+++	++	+++	++	++	++	++	++	++
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i> - Peragallo	++		++	++		++		++	++	++	++	++	++	++	+	+
<i>Rhizosolenia</i> spp	++			+		++		+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Skeletonema costatum</i> - (Greville) Cleve	++											++				
<u>DIATOMES PLEURES</u>																
<i>Nitzschia "delicatissima"</i> - Cleve	++++		++	+++	+++	+++	++	+++	+++	++	+++	+++	++	+	+	+++
<i>Nitzschia "seriata"</i> - Cleve	+++			++		++		++	++	++	++	+	++			+
<i>Thalassionema nitzschioides</i> - Grunow								+	+	+	+	+		+		
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i> - (Grunow) Cleve & Moller		+		++	++	++		+			+					
<u>DINOFAGILES</u>																
<i>Amphidinium</i> sp				++				+					+			
<i>Ceratium</i> spp								+	+	+	+	+	+		+	
<i>Exuviella</i> sp				+				+								
<i>Goniolax</i> sp				+												
<i>Gymnodinium</i> spp		+														
<i>Gyrodinium</i> spp									++		++	+	+		+	
<i>Peridinium</i> spp			+				+		+	+	++		+	+		
<i>Prorocentrum micans</i> - Ehrenberg		+						+					+			
<u>CYANOPHYCES</u>																
<i>Oscillatoria</i> sp												+		+		
<u>SILICOFLAGILES</u>																
<i>Dictyocha fibula</i> - Ehrenberg								+								
<u>COCOLITHOPHORIDES</u>																
				+				+	+		+		+			
<u>CRYPTOPHYCES</u>																
<i>Cryptomonas</i> sp				++					+++		++	+	+			++
<u>TINTINNIDES</u>																
	+			++		++	++	+	++	+	+	+	+	+	+	+

Tableau 3 - Abondance des espèces rencontrées lors de Cortiou III

avec respectivement 533.000, 265.000 et 1.431.000 cell/l. Puis les stations périphériques (16, 10, 9, 3, 4 et 5) voient leurs effectifs chuter à 200.000 cell/l, exceptée la station 5 (470.000 cell/l) dont le taux cellulaire serait à rapprocher des maxima des stations 6 et 8.

Tout se passe comme si l'effluent favorisait, à proximité de son aire d'épandage directe, une poussée phytoplanctonique localisée, intéressant le centre de la cuvette de Cortiou.

Il est remarquable de constater que les maxima des stations 6 et 8 s'accompagnent d'une chute très nette des Coliformes totaux. Ceci pourrait être mis en rapport avec le pouvoir bactéricide du phytoplancton : rappelons cependant le fait que ces stations semblent épargnées par les eaux usées, ce qui peut aussi expliquer cette faiblesse du nombre de bactéries. Remarquons aussi que les détergents qui présentent des valeurs relativement élevées, avec 0,59 ppm à la station 6 et 0,08 ppm à la station 8, ne paraissent pas avoir d'incidence néfaste sur le développement algal (fig. 35). BENON et al. (1977) constatent le même phénomène dans le golfe de Fos. Il semble que les effets nocifs des détergents se fassent sentir pour des concentrations beaucoup plus élevées, de l'ordre de plusieurs ppm (CABRIDENC et LEPAILLEUR, 1969; AUBERT et al., 1970). Cependant, nous reviendrons dans la discussion sur les possibilités d'effets sublétaux plus difficilement discernables.

2.2.2 Au débouché de l'égout

En surface, nous constatons une diminution des effectifs cellulaires (fig. 33), (station 1 : 250.000 cell/l, station 7 : 171.000 cell/l et station 12 : 49.000 cell/l) au cours de la journée, diminution qu'il convient de rapprocher de l'augmentation de la charge polluante de l'effluent. Cependant, les déplacements de masses d'eaux dans ce secteur rendent délicates des conclusions visant à montrer une mortalité du phytoplancton due à l'effluent : il pourrait y avoir mélange des eaux usées avec une eau marine moins riche. Même dans une éventualité contraire, on peut se demander si lors du dénombrement de la population algale, il est possible de différencier des cellules mortes seulement quelques heures auparavant. Il faudrait donc, pour prouver la toxicité immédiate des eaux usées, supposer que les cellules mortes aient, par exemple, sédimenté plus rapidement que les autres, ou alors se soient rapidement abîmées jusqu'à ne plus être observées.

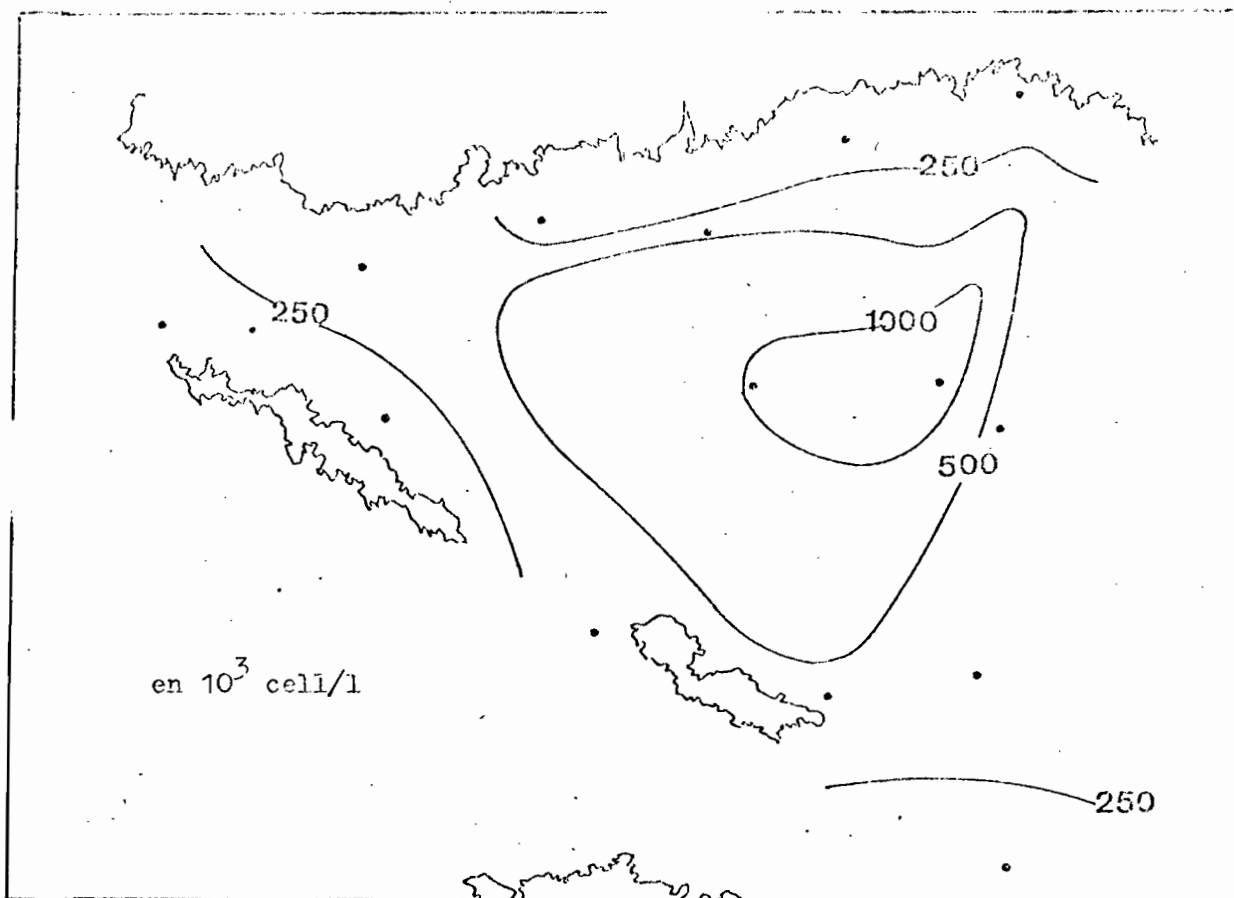


Fig. 34 - Isolignes de surface des effectifs cellulaires (Cortiou III)

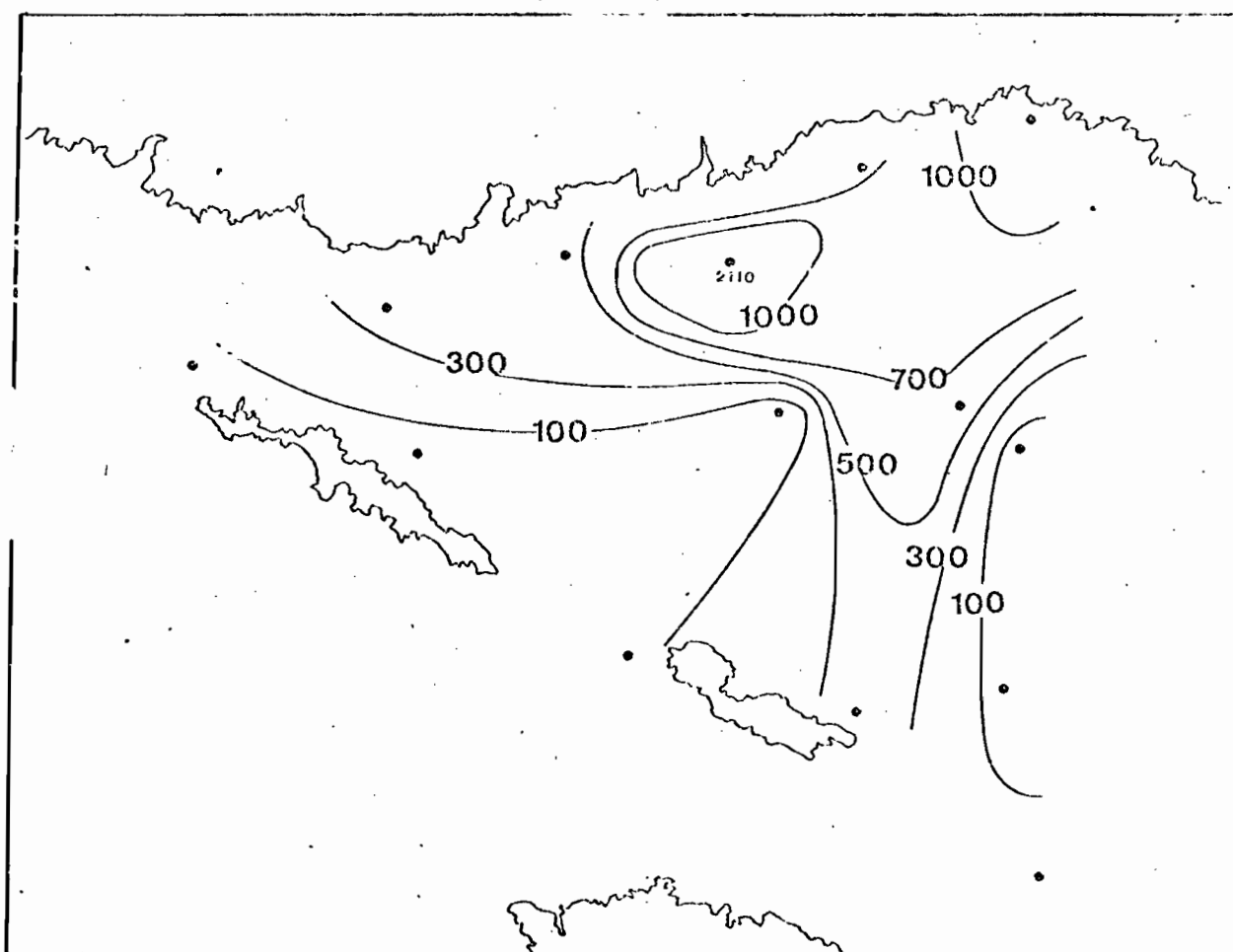


Fig. 35 - Isolignes de surface des taux de détergents (Cortiou III) ppb

Les pigments chlorophylliens suivent quant à eux une évolution contraire à celle des effectifs phytoplanctoniques, les taux de chlorophylle a passant de 0,42 $\mu\text{g/l}$ à 2,11 $\mu\text{g/l}$, puis 2,49 $\mu\text{g/l}$, ceux de phéophytine de 0,26 à 0,92, puis 1,51 $\mu\text{g/l}$. Il est vraisemblable que le matin les valeurs en chlorophylle a correspondent aux cellules phytoplanctoniques. Par la suite, comme lors des missions précédentes, une grande partie de la chlorophylle a est apportée par l'effluent.

A moins 7 mètres, la salinité est toujours voisine de 38‰. Nous constatons la présence de populations relativement importantes, particulièrement en fin de mission où la densité du peuplement devient très forte avec 800.000 cell/l. Ce maximum serait à rapprocher de ceux des stations 6 et 8 en surface. Il nous semble qu'il y ait des apports d'eaux propres, riches en phytoplancton, sous l'égout, les quelques heures séparant les stations 7 et 12 n'étant pas suffisantes pour une multiplication cellulaire sur place.

2.2.3 Les eaux intermédiaires

Les eaux intermédiaires s'avèrent dans l'ensemble deux à trois fois moins riches que les eaux de surface (fig. 36) et légèrement plus que les eaux voisines du fond. Cependant, à l'émissaire, nous l'avons vu, et dans la zone d'écoulement de la nappe (radiale 13, 14, 16), c'est le contraire qui se produit, les eaux intermédiaires ayant des effectifs égaux ou supérieurs à ceux des eaux de surface. Les salinités de 38‰ à 7 mètres y indiqueraient des eaux propres où le phytoplancton serait plus favorisé que dans les eaux sales de surface.

La turbidité bien que forte, permettrait un éclaircissement suffisant de ces niveaux intermédiaires : la profondeur de disparition du disque de Secchi voisine de 10 mètres, indiquerait en effet une profondeur de compensation de 25 à 30 mètres.

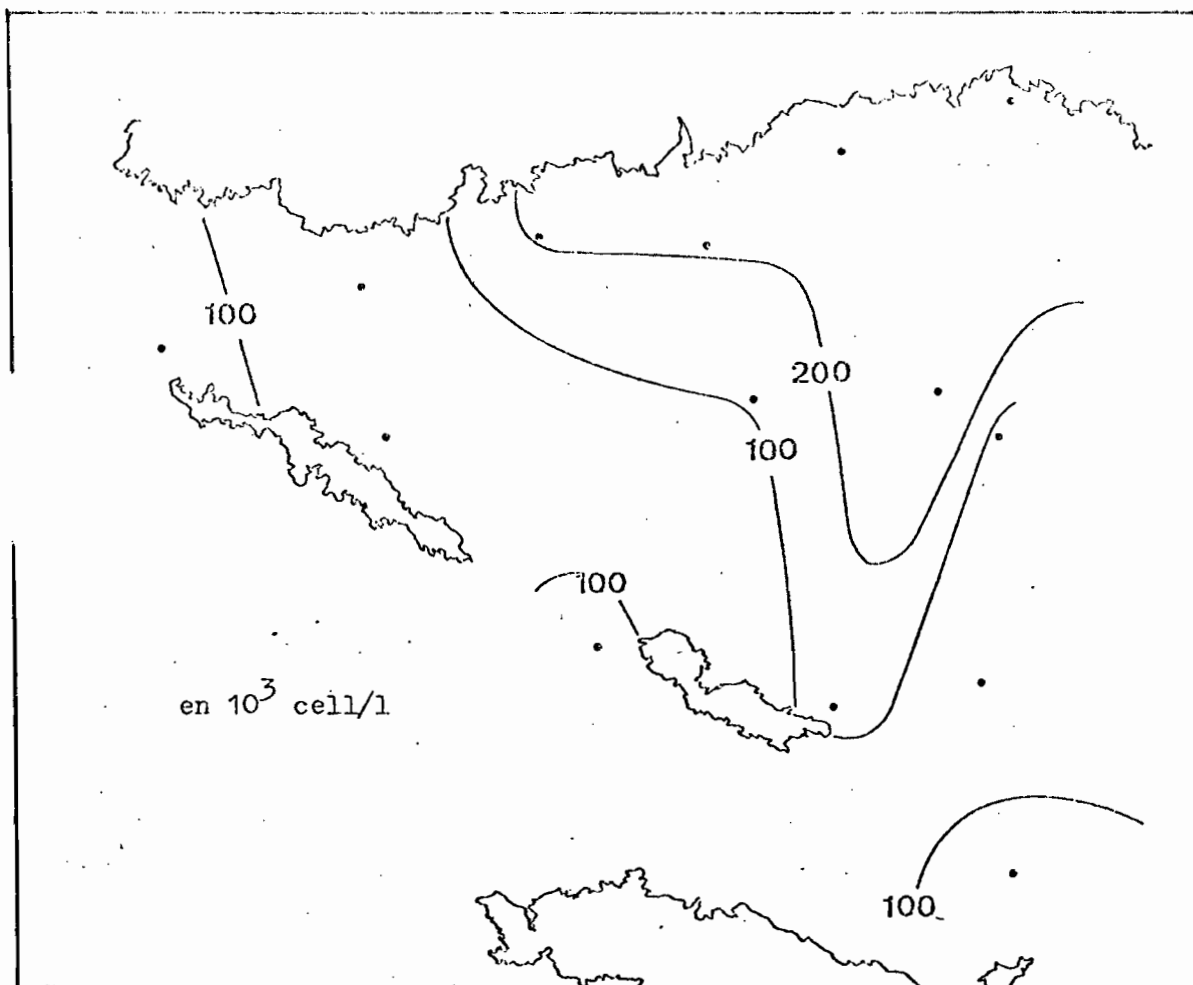


Fig. 36 - Isolignes à - 7m des effectifs cellulaires (Cortiou III)

CONCLUSION DE LA SECONDE PARTIE

Il nous a semblé intéressant d'étudier l'impact de l'effluent de la ville de Marseille, que l'on peut supposer à la fois eutrophisant et polluant, sur les populations phytoplanctoniques néritiques.

1. D'un point de vue ^{qualitatif} ~~quantitatif~~, 54 espèces phytoplanctoniques ont été répertoriées lors de la mission Cortiou I, 64 lors de Cortiou II et 45 lors de Cortiou III. Ce sont essentiellement pour les trois sorties des Diatomées néritiques particulièrement opportunistes, à large répartition écologique. Cependant, lors de Cortiou I et de Cortiou II, nous avons de plus constaté la présence en quantité souvent importante d'espèces et de groupes inhabituels dans le golfe de Marseille (Cyanophycées en particulier) et caractéristiques de milieux pollués et riches en matière organique. Ces espèces représenteraient une population propre à la cuvette de Cortiou, bien que nous ne puissions conclure quant à leur pérennité dans le secteur considéré.
2. D'un point de vue quantitatif, la moyenne des effectifs a varié de 30.000 cell/l (Cortiou II) à 400.000 cell/l (Cortiou III).

2.1 La zone située à proximité immédiate de l'émissaire s'avère relativement pauvre (5.000 cell/l lors de Cortiou II et 40.000 cell/l lors de Cortiou III). Le phytoplancton ne semble pas y trouver des conditions favorables à son développement, ni même à son maintien : la faiblesse de ces effectifs par rapport à ceux des stations voisines ne peut s'expliquer uniquement par un phénomène de "dilution" des populations phytoplanctoniques dans les eaux usées, les différences de salinité de 32‰ à 18‰, ne rendent compte que d'une

baïsse d'environ 1/5 du peuplement, contre les 4/5 constatés.

Il convient donc d'évoquer le caractère néfaste de l'effluent, dû à sa forte turbidité et à sa charge en polluants divers (métaux lourds, phénols, hydrocarbures, détergents).

Cependant, deux remarques viennent nuancer cette constatation :

- les taux de polluants trouvés face à l'égout (détergents : 2 ppm, phénols : 0,1 ppm) sont inférieurs aux taux letaux cités dans la littérature (mais il est vrai que nous ne les avons pas tous dosés et que les conditions sont différentes).
- la courantologie locale, très complexe, sous l'influence de la topographie des lieux, des vents et du débit de l'émissaire, peut entraîner le mélange des eaux usées avec des eaux intermédiaires plus pauvres en phytoplancton.

Nous ne pouvons donc que constater la faiblesse numérique et spécifique des peuplements dans le secteur proche de l'émissaire et énoncer des hypothèses qui bien qu'allant dans des sens différents, peuvent toutes participer à la situation finale que nous avons observée.

2.2 Lorsqu'on s'éloigne du point de rejet, les effectifs phytoplanctoniques s'élèvent, mais on ne constate pas une augmentation particulièrement intense (sauf peut être lors de Cortiou III) bien que des conditions extrêmement favorables à un développement algal important, soient réunies.

- l'effluent, nous l'avons vu, apporte en grande quantité, des sels nutritifs, nitrates, nitrites (soit, rappelons le, 3 à 4 tonnes par jour de matières azotées sous forme minérale dissoute), phosphates (3 à 6 tonnes par jour) ainsi que des substances azotées sous forme organique dissoute.
- les conditions d'éclairement, malgré la turbidité de l'effluent, semblent être suffisantes, la profondeur de disparition du disque de Secchi étant voisine de 10 mètres, à quelques centaines de mètres de l'émissaire.
- la dilution des eaux usées amène les taux de polluants à des valeurs qui paraissent peu élevées.

Or, l'eutrophisation du milieu due à l'effluent ne se répercute pas sur les peuplements phytoplanctoniques. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce phénomène :

- des taux de polluants, considérés comme faibles, peuvent malgré tout avoir des effets sublétaux altérant la croissance (BERNHARD et ZATTERA, 1973 ; BERLAND et al., 1977), ainsi que des effets de synergie encore assez mal connus.
- le brassage et le renouvellement des eaux, sous l' action du courant liguro-provençal et des vents qui soufflent fréquemment dans la région marseillaise, sont relativement importants dans le secteur de Cortiou. Les conséquences en sont doubles:
 - . la salinité à quelques centaines de mètres de l'émissaire redevient pratiquement normale; or, les développements algaux exubérants, décrits dans les milieux eutrophes de la région, sont souvent accompagnés d'une dessalure importante des eaux qui semble favoriser ces floraisons.
 - . les populations phytoplanctoniques, entraînées par un déplacement rapide des masses d'eau, restent en contact un temps limité avec l'effluent, plus ou moins dilué selon la proximité de l'émissaire. De plus, leur réponse au rejet n'étant pas immédiate, il est possible que l'effet de l'eutrophisation ou des polluants se fasse sentir en dehors du secteur de Cortiou, et que dans ce cas la zone prospectée soit trop restreinte. Ainsi dans le golfe de Fos, l'impact de l'eutrophisation, principalement due aux apports d'eaux duranciennes par le canal de Caronte, est-il plus facilement discernable, l'étang de Berre servant de "bassin tampon " où le phytoplancton a "le temps de réagir " aux différentes influences qu'il subit.
- la réponse de l'écosystème planctonique néritique au rejet de Cortiou est aussi fonction du cycle algal annuel de la région, qui présente des périodes de développement intense alternant avec des périodes de déclin des populations. Citons de nouveau pour exemple le golfe de Fos qui, considéré comme une zone très eutrophisée toute l'année, montre cependant une période hivernale de relative pauvreté phytoplanctonique. De plus, par vent de secteur Ouest à Nord-Ouest, ce sont les eaux du golfe de Marseille qui pénètrent dans la

cuvette de Cortiou, tandis que par vent faible de secteur Est à Sud, ce sont les eaux néritiques provençales qui dérivent devant Cortiou. Ces masses d'eaux ont des propriétés plus ou moins différentes, ce qui n'est pas sans influencer sur l'abondance et la composition qualitative du plancton, et aussi sur la maturité du système étudié.

Il s'avère donc délicat (à l'aide de trois missions) dans un milieu aussi complexe que le secteur de Cortiou, de cerner d'une manière exhaustive l'impact de l'effluent de la ville de Marseille sur les populations phytoplanctoniques néritiques.

On peut cependant penser que l'hydrodynamisme de la zone atténue l'effet directement perceptible de ces 560.000 m³ d'eaux usées déversées quotidiennement. Les observations que nous avons faites (et qui ne sont qu'une approche du problème) n'apparaissent donc pas aussi spectaculaires que dans les milieux eutrophes de la région (ports de Marseille, golfe de Fos, étang de Berre). Cependant, il ne faudrait pas oublier les effets moins décelables par nos méthodes d'approche (altération de l'état physiologique des cellules, par exemple) et ceux qui peuvent à plus long terme bouleverser l'équilibre de l'écosystème planctonique.

Il nous semble que ce dernier n'est gravement atteint actuellement que dans une aire limitée à quelques centaines de mètres carrés autour de l'émissaire. Au-delà, la cuvette de Cortiou représente une zone où l'équilibre des populations algales est perturbé. Selon les conditions météorologiques, ce secteur est plus ou moins étendu à l'Est ou à l'Ouest du point de rejet. Enfin, malgré un manque de référence simultanée à un milieu exempt de toute influence polluante, nous pouvons supposer que le reste du secteur prospecté est normalement structuré.

Il serait donc souhaitable de poursuivre les recherches afin de pouvoir, d'une part, généraliser - ou non - les situations que nous avons observées et, d'autre part, entreprendre une étude à la fois plus serrée et plus étendue géographiquement et temporellement, qui apporterait une meilleure compréhension du milieu. Ajoutons qu'une bonne connaissance de la courantologie locale, par différents types de vents, compléterait utilement tous les travaux effectués.

RESUME ET CONCLUSION GENERALE

Après avoir présenté les caractères généraux de la lagune Ebrié, et de ses populations phytoplanctoniques, nous avons étudié l'impact des rejets sur les populations algales en baie de Biétri, baie semi-fermée de la zone urbaine d'Abidjan.

Les deux premières missions réalisées ont mis en évidence l'incursion des eaux marines dans la baie de Biétri et leur influence. Par là même est apparu le caractère d'extrême eutrophie de la baie (particulièrement de son extrémité orientale) par rapport au chenal central, cette eutrophie se traduisant par des développements algaux exubérants. De plus, l'idée de l'existence d'une population autochtone a été dégagée.

Les trois effluents principaux se déversant dans ce secteur ont fait l'objet d'une étude plus détaillée, conjointement menée in situ (radiales convergeant sur les points de rejet) et in vitro (bioessais). Ces deux types d'observation ont montré une bonne concordance et complémentarité :

- l'effet toxique des trois effluents, à forte concentration, sur les organismes végétaux, a été mis en évidence. Le rejet de l'huilerie-savonnerie semble avoir l'effet le plus intense, surtout si l'on considère qu'il représente presque 90 % des eaux usées déversées. Cependant, ce jugement doit être nuancé du fait de l'emplacement de l'émissaire, à l'entrée de la baie, où le renouvellement et le brassage des eaux réduisent cet impact.
- l'effet eutrophisant des trois effluents, suffisamment dilués (et/ou transformés) s'est avéré indéniable. Le rejet des abattoirs de Port-Bouet, en fond de baie, est le plus préoccupant de ce point de vue, en raison des développements énormes qu'il induit, pouvant causer de véritables phénomènes d'eaux décolorées.

L'impact des eaux usées sur les populations phytoplanctoniques est donc très apparent quantitativement. De plus, un certain nombre d'espèces se développant dans la baie, se révèlent caractéristiques de la pollution intense exercée. Ce sont des Dinoflagellés : Gymnodinium sp, Gyrodinium sp, Peridinium trochoideum, Peridinium spp, Prorocentrum micans, des Euglénophycées : Eutreptiella braarudii et Eutreptiella sp, des Cryptophycées : Cryptomonas sp, Hemiselmis sp, des Chlorophycées : Chlamydomonas sp et Tetraselmis sp. Toutes ces espèces sont de très petite taille. Signalons que Chlamydomonas sp et Eutreptiella braarudii ont été observés au cours des bioessais.

La seconde partie de notre travail a porté sur le secteur de Cortiou que nous avons prospecté au cours de trois missions.

La proximité de l'émissaire est une zone défavorable au phytoplancton. Avec l'éloignement, les effectifs cellulaires augmentent, mais on ne constate pas, en règle générale, de développements algaux particulièrement intenses bien que l'effluent enrichisse notablement le milieu en sels nutritifs et en matière organique.

L'eutrophisation s'effectuant par ces eaux usées ne semble donc pas se répercuter quantitativement sur les populations phytoplanctoniques. Les espèces dominantes que nous avons observées sont le plus souvent des Diatomées néritiques, opportunistes, à large valence écologique. Cependant, des espèces indicatrices d'une pollution ont été mises en évidence. Ce sont : Cryptomonas sp, Prorocentrum micans, Peridinium minusculum, des Cyanophycées et des Euglénophycées.

Ainsi, les eaux usées de la ville de Marseille ont un effet sur les populations algales du secteur de Cortiou. Elles provoquent un déséquilibre de l'écosystème, décelable par ces espèces indicatrices, les indices de diversité spécifique faibles ($I < 2$) et les valeurs de la charge énergétique basses ($CE < 0,5$) rendant compte d'un mauvais état physiologique des organismes.

A priori, il existe des similitudes importantes entre les deux milieux étudiés :

- les rejets sont de même type, domestiques et industriels. Ils présentent donc en commun, outre leur variabilité, une forte charge en matière organique, en sels nutritifs et en polluants divers.
- si les volumes d'eaux usées rejetés en un jour (18.000 m^3 en baie de Biétri et 560.000 m^3 dans la calanque de Cortiou) semblent très différents, les milieux dans lesquels ils sont déversés le sont aussi (la baie de Biétri représentant un volume d'eau de $16,5 \times 10^6 \text{ m}^3$, la cuvette de Cortiou $350 \times 10^6 \text{ m}^3$). Ainsi, dans les deux cas, les eaux usées représentent approximativement 1/1000e du volume total dans lequel elles sont rejetées, ce qui semble très important.

Malgré ces similitudes, nous avons vu que l'impact des effluents n'est pas aussi spectaculaire à Cortiou qu'en lagune Ebrié. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette différence, mais la plus importante nous semble être l'hydrologie des secteurs considérés. En effet, si les volumes d'eaux concernés s'avèrent proportionnellement identiques, il n'en est pas de même des taux de renouvellement : le débit dans les passes (plateau des Chèvres, écueil du Miet) est estimé à Cortiou à $2.300 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui conduit à estimer que la totalité des eaux de la cuvette de Cortiou est renouvelée en moins de 48 heures. En revanche, le temps de résidence des eaux de surface de la baie de Biétri est évalué à 1 ou 2 jours dans la moitié occidentale, et à 4 à 5 jours, dans la moitié orientale. Or, il faut un à plusieurs jours pour que l'impact des effluents s'effectue. En outre, un taux de renouvellement élevé des eaux a pour conséquence une dilution rapide des rejets qui agissent moins visiblement lorsqu'ils sont à faible concentration.

La seconde raison tient aux différences géographiques des deux milieux. La température élevée des eaux lagunaires permet une réponse plus rapide des populations algales aux effluents et favorise le développement des Dinoflagellés, souvent thermophiles.

La dessalure importante de la baie de Biétri, ~~la~~ la faible profondeur ~~de~~ ~~l'écosystème~~ favorisent, de plus, les multiplications des organismes phytoplanctoniques.

Malgré les différences que nous venons d'énoncer, l'impact des effluents dans les deux milieux présente des similitudes importantes :

- les rejets sont néfastes aux populations algales et l'on voit se dessiner, autour des émissaires, une aire plus ou moins étendue où les conditions empêchent presque toute vie planctonique. L'augmentation des volumes d'eaux usées ne peut qu'entraîner une extension de cette zone presque azoïque au niveau planctonique.
- des espèces caractéristiques de la pollution exercée ont été mises en évidence. Pour les deux milieux, ce sont principalement des organismes appartenant aux classes des Dinoflagellés, Cryptophycées et Euglénophycées.
- dans le secteur de Cortiou, il est nettement apparu une diminution de la diversité spécifique liée aux rejets ; nous avons constaté le même phénomène en baie de Biétri, bien que ce ne soit pas toujours aussi net, les milieux lagunaires étant, à l'origine, caractérisés par une faible diversité spécifique.

Ainsi, bien que nous n'ayons pu cerner toutes les conséquences des rejets sur l'échelon primaire, les impacts néfastes des déversements ont été mis en évidence. Si ces derniers sont parfois macroscopiquement peu inquiétants (à Cortiou en particulier), sur le plan fonctionnel (microphénomènes), ils se révèlent plus alarmants.

L'étude des populations phytoplanctoniques s'avère donc particulièrement intéressante pour cerner les déséquilibres du système pélagique provoqués par les déchets domestiques et industriels dont le déversement dans notre environnement constitue une agression grave du milieu naturel.

B I B L I O G R A P H I E

- ANONYME, 1975 - Comité Technique 1975. Compte-rendu des débats. Ministère de la Recherche Scientifique de Côte d'Ivoire. O.R.S.T.O.M. Centre de Recherches Océanographiques. Doc. multigr. : 27
- ANONYME, 1977 - Mairie de Marseille, D.G.S.T. Station d'épuration de Marseille Mission préliminaire d'étude. Rapport 1, Juin 1977.
- ANTIA N.J., BERLAND B.R., BONIN D.J. et MAESTRINI S.Y., 1975 - Comparative evaluation of certain organic and inorganic sources of nitrogen for phototrophic growth of marine microalgae. J. mar. biol. Ass. U.K., 55 : 519-539
- , BERLAND B.R., 1976 - Utilisation de la matière organique dissoute en tant que substrat par les algues unicellulaires marines. Actualités de Biochimie marine. G.A.B.I.M.
- , BERLAND B.R., 1977 - Effects of urea concentration in supporting growth of certain marine microplanktonic algae. Phycologia, 16 (1) : 105-111
- ARFI R., 1978 - Plancton et pollution. Effets d'un rejet urbain (grand émissaire de Marseille). Traitement des données. Thèse doct. 3eme cycle Université Aix-Marseille II : 119pp
- AUBERT M., AUBERT J., DANIEL S., DONNIER B., 1970. 2 - Pollutions chimiques de la mer (méthodes d'étude et résultats). Rev. Intern. Oceanogr. med., 17 : 67-77
- AUCLAIR-DESSEMON D., 1973 - Etude de la pollution des fonds marins dans le secteur de Cortiou (Marseille). Thèse fac. Pharmacie. Marseille : 1-97

- BELLAN G., 1967 - Pollution et peuplements benthiques sur substrats meubles dans la région de Marseille. 1ère partie. Le secteur de Cortiou. Rev. Intern. Oceanogr. Med., 8 : 51-95
- et BELLAN-SANTINI D., 1972 - Influence de la pollution sur les peuplements marins de la région de Marseille. in *Marine Pollution and sea life*. London, F.A.O., Fishing News Books. Ltd.
 - et PERES J.M., 1972 - Aperçu sur l'influence des pollutions sur les peuplements benthiques. in *Marine Pollution and sea life*. London, F.A.O., Fishing News Books. Ltd.
 - , KAIM-MALKA R.A. et PICARD J., 1975 - Evolution récente des différentes auréoles de pollution marine des substrats meubles liés au grand collecteur de Marseille - Cortiou. Bull. Ecol., 6 (2) : 57-66
- BELSHER T. et BOUDOURESQUE P.F., 1976 - L'impact de la pollution sur la fraction algale des peuplements benthiques de Méditerranée. in *Marine Biology for the defense and productivity of the sea*. COGNETTI G. et TONGIORGI ed. MODENE. MUCCHI : 215-260
- BENON P., BLANC F., BOURGADE B., DAVID P., KANTIN R., LEVEAU M., ROMANO J.C., SAUTRIOT D., 1977 - Impact de la pollution sur un écosystème marin côtier. II. Relations entre la composition spécifique des populations phytoplanctoniques et les taux de pigments et de nucléotides adenyliques (A.T.P., A.D.P, A.M.P). Int. Revue ges. Hydrobiol., 62 (5) : 631-648
- , BOURGADE B., KANTIN R., 1977 - Impact de la pollution sur les écosystèmes méditerranéens côtiers. Aspects planctoniques. Thèse doc. 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille II : 1-400
- BERLAND B.R., 1966 - Contribution à l'étude des cultures de Diatomées marines Rec. Trav. Sta. mar. Endoume, 40 (56).
- , BONIN D.J., GUERIN-ANCEY O.J., KAPKOV V.I., ARLHAC D.P., 1977 - Action des métaux lourds à des doses sublétales sur les caractéristiques de la croissance chez la diatomée Skeletonema costatum. Mar. Biol., 42 : 17-30

- BERNHARD M. et ZATTERA A., 1973 - Major pollutants in the marine environment. in Marine pollution and marine waste disposal. Proc. 2ème Int. Congr. San Remo, Pearson et de Fraja. Frangipane ed., Pergamon press : 195-306
- BINDER E., 1968 - Répartition des mollusques dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Hydrobiol., 2 (3-4) : 3-34
- BLANC F., COSTE B., MINAS M.J. et SZEKIELDA K.H., 1967 - Distribution et corrélations des principaux facteurs hydrologiques dans un milieu de forte production organique (étang de Berre). Mar. biol., 1 (1) : 43-55
- et LEVEAU M., 1973 - Plancton et eutrophie : aire d'épandage Rhodanienne et golfe de Fos (traitement mathématique des données) Thèse Doct. Univ. Marseille : 681pp
 - , LEVEAU M. et KERAMERUN P., 1975 - Eutrophie et pollution : structure et fonctionnement du sous-écosystème planctonique. 10th European Symposium on Marine Biology, Ostend, Belgium, Sept., 17-23 (2) : 61-83
- BOURRELLY P., 1961 - Algues d'eau douce de la République de Côte d'Ivoire. Bull. IFAN. Sér. A, 23 (2).
- , ed., 1966 - Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. 1. Les algues vertes. Paris, Boubée : 511pp
 - , ed., 1970 - Ibid. 3. Les algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Peridiniens et Cryptomonadines. Paris, Boubée : 512pp
- BRAARUD T. et FOYN B., 1958 - Phytoplankton observations in a brackish water locality of South-East Norway. Nyt. Mag. Bot., 6 : 47-73
- BROCKMANN U.H., EBERLEIN K., HOSUMBEEK P., TRAGESER H., MAIER-REIMER E., SCHONE H.K. et JUNGE H.D., 1977 - The development of a natural plankton population in an outdoor tank with nutrient-poor sea water. I. Phytoplankton succession. Mar. Biol., 43 : 1-17

- BUTCHER R.W., 1959 - An introductory account of the smaller algae of British Coastal waters. Part I : Introduction and Chlorophyceae. Fishery Invest. Lond., 4 (1) : 1-74
- CABRIDENC R. et LEPAILLEUR, 1969 - Rôle des algues dans l'épuration biologique des eaux. Terre et eau, 58 : 12-18
- CASTELBON C., 1972 - Etude de la circulation des masses d'eau dans le golfe de Marseille. Tethys, 4 (2) : 269-312
- CHARPY C. et CHARPY L., 1977 - Biomasse phytoplanctonique, production primaire et facteurs limitant la fertilité des eaux du golfe San José (Peninsule Valdes, Argentine). Thèse Doct. 3ème cycle, Univ. Aix-Marseille II : 172pp
- DAGET J., 1974 - L'avenir incertain des grandes lagunes Ouest-Africaines. Revue du Palais de la Découverte, 3 (23) : 16-34
- DANDONNEAU Y., 1971 - Etude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte d'Ivoire. I. : groupes d'espèces associées. Cah. O.R.S.T.O.M., ser. Oceanogr., 9 (2) : 247-265
- , 1973 - Etude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte d'Ivoire. III. : facteurs dynamiques et variations spatio-temporelles. Cah. O.R.S.T.O.M., ser. Oceanogr., 11 (4) : 431-454
- DEBYSER J., 1952 - Observations sur le milieu anaérobie de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). C.R. Acad. Sc. Paris, 2352 : 1238-1240
- , 1955 - Etude sédimentologique du système lagunaire d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Rev. Inst. fr. Pétrole, 10 (5) : 319-334
- , 1961 - Contribution à l'étude géochimique des vases marines. I.F.P. Société des Editions Techniq., 29 rue Chevert, Paris : 249pp
- DEGREMONT F., 1972 - Memento technique de l'eau. Série Techn. et Documentation. 11 rue Lavoisier, Paris : 1097pp
- DUFOUR P., 1974 - Notre lagune en péril : L'écosystème lagunaire Ebrié bouleversé par les interventions humaines. Doc. multigr. Commission Nationale de l'environnement. Ministère du Plan. Rép. de Côte d'Ivoire : 14pp

- DUFOUR P. et SLEPOUKHA M., 1975 - L'oxygène dissous en lagune Abidjan : influence de l'hydroclimat et des pollutions. Doc. Scient. Centre Rech. Oceanogr. Abidjan, 6 (2) : 75-118
- , CREMAUX J.L., SLEPOUKHA M., 1978 - Elements nutritifs limitant la biomasse phytoplanctonique d'une lagune tropicale de Côte d'Ivoire. Comparaison des méthodes d'estimation. Colloque Ecotron. C.N.E.X.O.. Brest, 3.6/7/78.
- DUNSTAN W.M. et TENORE K.R., 1972 - Intensive outdoor culture of marine phytoplankton enriched with treated sewage effluent. J. Aquaculture, (1) : 181-192
- et TENORE K.R., 1974 - Control of species composition in enriched mass cultures of natural phytoplankton populations. J. appl. Ecol., 11 : 529-536
- ELDIN M., 1971 - Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire - Le climat. Mémoires C.R.S.T.O.M. n° 50, Paris - 73-108
- FEDOROV V.D. et SEMIN V.A., 1970 - Primary production in relation to the hydrological regime of a sea basin (exemplified by the White sea). Oceanology, 10 : 242-253
- FRANCOIS R., 1974 - Les industries des corps gras. Série Technique et documentation, 11 rue Lavoisier, Paris : 431pp
- GALOIS R., 1975 - Biologie, écologie et dynamique de la phase lagunaire de Penaeus duorarum en Côte d'Ivoire. Thèse de spécialité Univ. Aix-Marseille : 120pp
- GARCIA S., 1972 - Biologie de Penaeus duorarum (Busk.) en Côte d'Ivoire. II. Ponte et migration. Doc. Scient. Centre Rech. Oceanogr. Abidjan, 3 (1) : 19-45
- GORHAM P.R., 1960 - Toxic waterblooms of blue-green algae. Can. Vet. J., 1 : 235-245
- HASLE G.R., 1976 - Examination of diatom type material : Nitzschia delicatissima Cleve, Thalassiosira minuscula Krasske, and Cyclotella nana Hustedt. Br. phycol. J., 11 : 101-110

- HERRLAND A., 1976 - In situ utilization of urea in the euphotic zone of the tropical atlantic. J. exp. mar. Biol. Ecol., 21 : 269-277
- HULBERT E., 1963 - The diversity of the phytoplankton populations in oceanic, coastal and estuarine regions. J. Mar. Res., 21 : 81-93
- IGNATIADES L. et SMAYDA T., 1970 - Autecological studies on the marine diatom Rhizosolenia fragilissima. Bergon. I. The influence of light, temperature and salinity. J. Phycol., 6 : 332-339
- JACQUES J., 1968 - Aspects quantitatifs du phytoplancton de Banyuls-sur-Mer (golfe du Lyon). 2. Cycle des flagellés nanoplanctoniques (Juin 65 - Juin 67). Vie et Milieu, 19 (10) : 17-35
- JACQUES G., CAHET G., FIALA M., PANOUSE M., 1973 - Enrichissement de communautés phytoplanctoniques néritiques de Méditerranée Nord occidentale. J. exp. mar. Biol. Ecol., 11 : 287-295
- KULPER J., 1977 - Development of North sea coastal plankton communities in separate plastic bags under identical conditions. Mar. Biol., 44 : 97-107
- LEGER G., 1972 - Les populations phytoplanctoniques au point $\varphi = 42^{\circ}47'N$, $G = 7^{\circ}29' E$ Greenwich (bouée laboratoire du C.O.M.E.C.O./C.N.E.X.O.). Le nanoplancton dans les échantillonnages hydrologiques. Importance pour le calcul des indices de diversité. Bull. Inst. Océanogr., 70 (1419).
- LOEBLICH III A.R., WIGHT W.W. et DARLEY W.M., 1968 - A unique colonial marine centric diatom, Coenobiodiscus muriformis, genre et espèce nouvelle. J. Phycol., 4 : 23-29
- LUND J.W.G., KIPLING C., LECRENE D., 1958 - The inverted microscope method of estimating algal numbers and the statistical basis of estimations by counting. Hydrobiol., 11 (2) : 143-170
- MARGALEF R., 1969 - Comunidades planctónicas en lagunas litorales. Mem. Simp. Inter. Lagunas costeras. U.N.A.M.-U.N.E.S.C.O., Nov. 28-30, Mexico, D. F. : 545-562

- MARGALEF R., 1974 - Ecologia. Ed. Omega, Barcelona
- MENZEL D.W., HULLDURT E.M. et RYTHEN J.H., 1963 - The effects of enriching Sargasso sea water on the production and species composition of the phytoplankton. Deep-sea Research, 10 : 209-219
- NEVEUX J., 1976 - Dosage de la chlorophylle a et de la phéophytine a par fluorimétrie. Ann. Inst. Oceanogr., Paris, 52 (2) : 165-174
- NOVO B., 1974 - La pollution des eaux par l'industrie à Abidjan. Rapport dactylographié, 15pp, Secrétariat d'Etat chargé des Mines, Abidjan.
- PAGES J., 1975 - Etude de la pollution bactérienne en lagune Ebrié. Documents Scientifiques C.R.O. Abidjan, 6 (1) : 97-101
- PATRITI G., 1976 - Structure et fonctionnement de la partie planctonique de l'écosystème des zones fermées et semi-fermées des ports de Marseille (Distrophie et pollution). Thèse Doct. Etat, Univ. Aix-Marseille II : 200pp
- PERAGALLO H. et PERAGALLO M., 1965 - Diatomées marines de France et des districts maritimes voisins. Ed. M.J. TEMPERE. Ed. Reimp. A. ASHER & CO. Amsterdam.
- PICARD J., 1976 - Accélération récente de l'extension au niveau des fonds marins et du benthos de la zone d'épandage du collecteur de Marseille-Cortiou. Congr. Ass. Plén. C.I.E.S.M. Preprint.
- PINCEMIN J.M., 1969 - Le problème de l'eau rouge - Rev. Intern. Oceanogr. Med., 13-14.
- PLANTE-CUNY M.R., 1977 - Pigments photosynthétiques et production primaire du microphytobenthos d'une lagune tropicale. La lagune Ebrié (Abidjan, Côte d'Ivoire). Cah. O.R.S.T.O.M., ser. Oceanogr., 15 (1) : 3-25
- RAHM U., 1964 - Zur Oekologie des Zooplanktons der Lagune Ebrié (Elfenbeinküste) Acta tropica, 21 (1) : 1-47

- RANCUREL P., 1967 - Contributions à l'étude des Teredinidae (Mollusques lamellibranches) dans les lagunes de Côte d'Ivoire. Thèse Doct. es Sciences Naturelles, Univ. Aix-Marseille, 2 tomes, multigr.
- SCHILLER J., 1931 - Dinoflagellatae (Peridineae). Akademische. Verlagsgesellschaft m. b. H. Leipzig.
- SCOR-UNESCO, 1974 - A review of methods used for quantitative phytoplankton studies. Unesco Technical papers in marine science n° 18.
Final report of SCOR working group 33.
- SHANNON C.E., 1948 - A mathematical theory of communication. Bull. Syst. tech. J., 27 : 379-428
- SMAYDA T.J., 1965 - A quantitative analysis of the phytoplankton of the Gulf of Panama. II. On the relationship between C^{14} assimilation and the diatom standing crop. Bull. inter-amer. trop. Tuna Comm., 7 (3) : 193-253
- SOLAZZI A., TOLOMIO C., ANDREOLI C., CANIGLIA G., COLLIVA V., 1972 - 1973 - La laguna di Lesina (Foggia). Carico microfitico in un ciclo annuale. Mem. Biogeogr. Adriatica, Venezia, 9 : 1-42
- SOURNIA A., 1970 - Les Cyanophycées dans le plancton marin. Ann. Biol., 9 (1-2) : 63-76
- STEELE J.M. et BAIRD I.F., 1968 - Production ecology of a sandy beach. Limnol. Ocean., 13 : 14-25
- STOCKNER J.G. et ANTIA N.J., 1976 - Phytoplankton adaptation to environmental stresses from toxicants, nutrients and pollutants. a warning. J. Fish. Res. Board. Can., 33 : 2089-2096
- STRICKLAND J.D.H. et PARSONS T.R., 1972 - A practical hand-book of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Can., 167
- TALASKIAN M.J. et HARDY J.T., 1976 - Sewage nutrient enrichment and phytoplankton ecology along the central coast of Lebanon. Mar. Biol., 38 : 315-325

- TASTET J.F., 1974 - L'environnement physique du système lagunaire Ebrié.
Univ. d'Abidjan Fac. Sc. Département Sc. Terre, Sér. Documentation
I. Texte 28p. multigr. II. 58 fig.
- TRAVERS M., 1971 - Le microplancton du golfe de Marseille. Etude quantitative,
structurale et synécologique. Variations spatio-temporelles.
Thèse doct. d'Etat. Univ. Aix-Marseille II : 596pp
- UNEP, 1977 - Les polluants d'origine tellurique en Méditerranée. Rapport
UNEP/IG. II/INFS.
- UTERMÖHL H., 1958 - Zur Vervollkommung der quantitativen phytoplankton
Methodik. Mitt. int. Verein. Theor. angew. limnol., 9 : 1-38
- VARLET F., 1958 - Le régime de l'Atlantique près d'Abidjan (Côte d'Ivoire).
Essai d'océanographie littorale. Etudes Eburn., 7 : 97-222
- VOLTOLINA D., 1973 - A phytoplankton bloom in the lagoon of Venice.
Archo. Oceanogr. Limnol., 18 (1) : 19-37
- , 1975 - The phytoplankton of the lagoon of Venice : November 1971-
November 1972. Pubbl. Staz. Zool. Napoli., 39 : 206-340
- YENTSH C.S. et MENZEL D.W., 1963 - A method for the determination of
phytoplankton chlorophyll and pheophytin by fluorescence.
Deep-Sea Research, 10 : 221-231