

LES POPULATIONS PHYTOPLANKTONIQUES D'UNE ZONE MYTILICOLE: L'ANSE DE CARTEAU (MEDITERRANEE NORD-OCCIDENTALE)

J. Folack B. Berland¹⁾ M. Travers²⁾

Station de Recherches Halieutiques P.M.B. 77 Limbé-Cameroun

1) Centre d'Océanologie de Marseille, Station Marine d'Endoume, France

2) rue de la Batterie des Lions, 13007 Marseille, France

ABSTRACT: A qualitative and quantitative survey of phytoplankton populations was made through out an annual cycle in a NW Mediterranean estuarine zone (Anse de Carteau, Golfe de Fos) devoted to mussel breeding. During blooms there is a predominance of diatoms like *Chaetoceros compressus*, *C. curvisetus*, *Skeletonema costatum* and "*Nitzschia seriata*". It should be noticed also that the dinoflagellate *Prorocentrum minimum* may exhibit occasional blooms. During winter little chlorophyceae can reach up to 80% of the total numbers. The taxonomical composition of Carteau phytoplankton is rather similar to those of neritic marine communities and thus confirms the distinctiveness of this zone compared with other parts of the Gulf of Fos. The same holds true for phytoplankton abundance (maximum : $2.6.10^6$ cells. l^{-1}) which, though higher than in strictly marine coastal zones, does not reach to the luxuriance of diluted zones of the Gulf of Fos. The 0-2 m layer moderately freshened, is still richer than more marine deeper waters. Diversity values show up that this estuarine environment, though an enriched one, is not unbalanced for all that. The range of cell sizes and volumes is very wide, from a little *Chlorella* (less than $2 \mu m^3$) to the gigantic *Rhizosolenia styliformis* ($232.000 \mu m^3$) but the size of bloom species is suitable for the filter-feeder *Mytilus galloprovincialis*. Species diversity remains rather high even during blooms, which prevents from nutritional deficiency. One must observe the scarcity of plankton cyanophytes and the low diversity of dinoflagellates (14 spp.), two classes including toxic species. Thus in spite of notable variations throughout the year, the phytoplankton compartment of the ecosystem seems in all respects favourable to mussel breeding.

RESUME: L'étude qualitative et quantitative, pendant un cycle annuel, des populations phytoplanctoniques a été effectuée dans une zone estuarienne de la Méditerranée Nord-Occidentale (Anse de Carteau, Golfe de Fos) où se développe la mytiliculture. Elle montre une dominance des diatomées telles que *Chaetoceros compressus*, *C. curvisetus*, *Skeletonema costatum* et "*Nitzschia seriata*" lors des poussées phytoplanctoniques. Il faut également noter des poussées occasionnelles du dinoflagellé *Prorocentrum minimum*. En période hivernale de petites chlorophycées peuvent atteindre jusqu'à 80% de l'effectif total. La composition taxinomique du phytoplancton de l'Anse de Carteau présente des caractéristiques proches de celles des communautés néritiques marines et par là confirme le caractère distinctif de cette zone (d'un point de vue hydrologique) par rapport au reste du Golfe de Fos. De même l'abondance du phytoplancton ($2.6.10^6$ cell. l^{-1} au maximum) bien que supérieure à celle des zones côtières franchement marines n'atteint pas l'exubérance des zones de dilution du Golfe. La couche 0-2 m soumise à dessalure modérée est plus riche que les eaux du fond plus marines. Les valeurs de l'indice de diversité permettent d'établir que ce milieu estuarien bien qu'enrichi n'est pas pour autant déséquilibré. L'étude des tailles et des volumes cellulaires montre une très large gamme allant de la petite *Chlorella* sp. (moins de $2 \mu m^3$) à la gigantesque *Rhizosolenia styliformis* ($232.000 \mu m^3$) mais les espèces

participant aux floraisons sont de taille convenable pour l'alimentation du filtreur qu'est *Mytilus galloprovincialis*. La diversité spécifique relativement élevée, même en période de floraison, limite la possibilité d'une carence nutritionnelle. On remarque la rareté des cyanophycées planctoniques et la faible diversité des dinoflagellés (14 espèces), groupes pouvant comporter des espèces toxiques. Ainsi malgré des variations notables au cours de l'année le compartiment phytoplanctonique de l'écosystème paraît à tous égards favorable à la mytiliculture.

Introduction

La partie Sud-Ouest du golfe de Fos, délimitée par le mouillage de Carteau au Nord et le They de la Gracieuse au Sud (Fig. 1) est une zone qui semble propice au développement aquicole comme le montrent les études faites au niveau du benthos par Febvre-Chevalier (1969) et Massé (1972) : on y rencontre des gisements naturels de palourdes (*Ruditapes decussatus*), d'huîtres (*Ostrea edulis*) ainsi que de moules (*Mytilus galloprovincialis*). Au début de l'année 1984, les autorités régionales ont lancé un projet de développement pour l'élevage des moules et des tables de captage gérées par une coopérative locale ont été installées dans cette zone (Fig. 1).

Dans cette région estuarienne un suivi écologique est mené dans le cadre du "Réseau National d'Observation" de la qualité du milieu marin (RNO). Celui-ci a été créé dans le but de surveiller les zones côtières fortement menacées car elles constituent des points d'accès des polluants en mer. A cette fin, des prélèvements ont été effectués mensuellement pour des études d'hydrobiologie et de pollution, plus particulièrement dans les aires de dilution rhodanienne et durancienne (les stations du RNO sont indiquées sur la Fig. 1). Ces études antérieures ont mis en évidence une répartition des communautés phytoplanctoniques en "mosaïque", structure déterminée et fluctuante sous l'action des arrivées d'eaux continentales et de la direction des vents locaux. Mais l'essentiel des données sur le phytoplancton du Golfe de Fos porte sur des périodes très brèves ou a été effectué dans la partie orientale au débouché du canal de Caronte par où transitent les eaux duranciennes via l'étang de Berre (Travers et Kim, 1988). Or le site abrité de Carteau, distinct d'un point de vue hydrologie, d'une part de la partie centrale du golfe qui subit directement les influences du large, et d'autre part des zones de dilution, n'avait pas fait jusqu'alors l'objet de recherches particulières sur le compartiment planctonique.

De par le développement aquicole programmé il était donc devenu essentiel d'évaluer les potentialités nutritives que peut offrir ce site pour les animaux filtreurs, en particulier les moules. Un suivi des paramètres globaux (seston, chlorophylle *a*, glucides, protéines, lipides) a montré dans cette zone l'importance prépondérante du phytoplancton dans la nourriture potentielle de ces filtreurs (Folack *et al.*, in prep.).

Mais les bilans énergétiques basés sur l'évaluation de cette nourriture potentielle ne sont pas suffisants à eux seuls pour se faire une idée de la valeur nutritive des algues. Il est nécessaire également de suivre l'évolution de l'abondance et de la composition spécifique de phytoplancton.

Le présent travail expose donc les résultats d'une étude qualitative et quantitative des communautés phytoplanctoniques de l'Anse de Carteau sans souci d'exhaustivité : détermination, dénombrement, mensuration, calcul des volumes cellulaire et plasmique, évolution des différentes espèces phytoplanctoniques récoltées dans trois stations de ce site. Les valeurs nutritives de ces populations sont discutées en fonction des données recueillies dans la littérature.

Matériel et Méthodes

Stations de Prélèvement et Conditions de Sortie

en Mer: Les prélèvements ont été effectués (bouteille Niskin ; seau en surface) dans trois stations dénommées A, B, et C (Fig. 1), respectivement profondes de 7, 5 et 3 m, avec un rythme mensuel, de janvier à décembre 1984. Trois niveaux de prélèvement ont été choisis : 0, 2 et 4 m. Ces niveaux correspondent à la couche d'eau où se situent les cordes de captage des naissains de moules. Ao, Bo, Co désignent les prélèvements de "surface" aux trois stations considérées ; A2, B2 et C2 ceux de 2 m, et enfin A4 et B4 ceux de 4 m aux stations A et B respectivement.

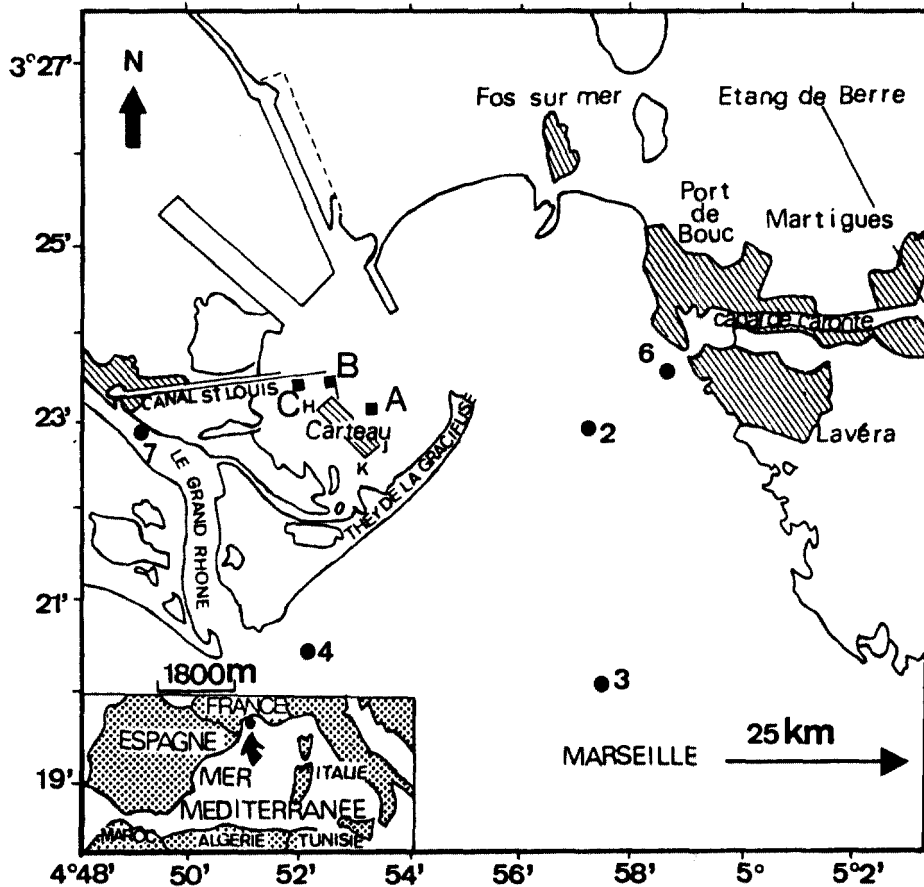


Fig. 1. Golfe de Fos. Situation en Méditerranée ; localisation des stations de prélèvement (A, B, C), des tables de captage des moules (H I J K) et des stations RNO 2, 3, 4, 6, et 7.

Dans le tableau 1 figurent les dates de sortie en mer, suivies d'indications météorologiques. Le travail en mer était effectué entre 9h et 15h environ.

Méthode d'analyse: Le dénombrement et l'identification des organismes phytoplanctoniques sont effectués selon la méthode de sédimentation d'Utermöhl (1958). Les échantillons prélevés sont immédiatement fixés au moyen de quelques gouttes d'une solution de Lugol à l'acétate de sodium (IK : 10g ; I : 5g ; CH₃ - COO Na : 5g ; H₂O : 70 cc). Les échantillons ainsi fixés sont conservés à l'obscurité dans des flacons en verre de 150 ml. La sédimentation est effectuée pendant une durée de 24 à 48 h dans des cuves Zeiss, de volume variable en fonction de la densité des échantillons (50 ou 100 ml). Le comptage est fait sur une demi-surface de la cuve pour les plus

grosses cellules (> 5 µm) et sur une bande diamétrale pour les plus petites.

Le volume plasmiq ue des diatomées a été calculé en utilisant la formule de Smayda (1965) : $VP = S.E + 0,10.V$ où VP et V = volume plasmiq ue et volume cellulaire total, en µm³ ; S = surface cellulaire, en µm² ; E = épaisseur de cytoplasme, évaluée entre 1 et 2 µm en fonction du rapport S/V de la cellule (Smayda, 1965).

Le volume plasmiq ue des dinoflagellés a été estimé par la méthode de Hagmeier (1961), en multipliant le volume cellulaire total par 0,75. Pour les groupes de cyanobactéries, cryptophycées, prasinophycées et chlorophycées, nous avons considéré le volume plasmiq ue comme égal au volume cellulaire total.

L'indice de diversité de Shannon (1948) a été utilisé

comme estimation de la diversité spécifique des peuplements étudiés.

Résultats et Discussion

Evolution de la Composition Spécifique au Cours de L'Année 1984 : Nous avons identifié dans les prélèvements de l'année 1984 64 taxons dont la liste et les biovolumes sont indiqués au tableau 2. Nous sommes

loin des 125 taxons identifiés par Travers et Kim (1988 au débouché de Caronte entre janvier 1977 et novembre 1978, mais dont 40 espèces environ sont d'origine dulçaquicole. En fonction de leurs effectifs, nous avons classé les différents taxons observés en espèces principales ou secondaires. Le tableau 2 montre de façon éloquent la dominance des diatomées centriques avec des espèces telles que *Chaetoceros compressus*, *Ch. curvisetus*, *Skeletonema costatum*. Les diatomées pennées ne se

Tableau 1. Dates et conditions météorologiques des sorties en mer.

T : température moyenne de l'air (°C)

P : pluviosité journalière (mm)

N : nébulosité à 6h, 12h, 18h, évaluée en octa (=1/8 couverture)

I : insolation journalière (h)

Vm: Vitesse maximale du vent (m.s⁻¹)

Dm: Direction dominante du vent (degrés)

E : Etat de la mer (b : belle ; pa : peu agitée ; a : agitée)

Date	T	P	N			I	Vm	Dm	E		
			6h	12h	18h				6h	12h	18h
17.1.84	09.85	00.00				07.10	16	300	b	b	b
14.2.84	04.60	07.00				07.60	08	020	b	b	b
20.3.84	14.00	00.00				07.80	15	120	b	b	b
25.4.84	14.50	00.00				09.70	18	100	b	a	pa
24.5.84	14.50	00.00				11.30	07	140	b	b	b
05.6.84	15.20	00.00				06.10	12	300	b	pa	pa
10.7.84	23.50	00.00				13.20	12	100	b	b	pa
14.8.84	21.90	00.00				09.60	12	260	b	b	b
21.9.84	17.70	00.00				04.90	15	320	b	b	pa
23.10.84	15.00	00.00				08.50	06	220	b	b	b
22.11.84	12.90	00.00				03.70	05	340	b	b	b
11.12.84	07.80	00.00				08.20	06	020	b	b	b

manifestent pendant les périodes de bloom que par un seul représentant : "*Nitzschia seriata*". Les dinoflagellés, quant à eux, sont dominés par *Prorocentrum minimum*, espèce pérennante. Enfin, les petites chlorophycées appartenant au genre *Chlorella* abondent en hiver et en automne, mais leur contribution lors des blooms est moindre. En dehors de ces espèces "principales", on observe des espèces dites "secondaires" dont le rôle n'est cependant pas négligeable dans les floraisons phytoplanctoniques. Il s'agit encore de diatomées centriques avec des espèces comme *Chaetoceros decipiens*, *Ch. didymus*, *Cyclotella* sp., *Leptocylindrus danicus* et *Rhizosolenia fragilissima* ; de diatomées pennées avec le genre *Navicula* (plusieurs espèces), *Nitzschia closterium*, "*N. delicatissima*". Quant aux autres groupes, on peut mentionner les dinoflagellés comme *Scrippsiella trochoidea*, certaines cryptophycées et prasinophycées.

Il faut noter l'absence totale dans nos prélèvements de *Chaetoceros gracilis* et *C. vistulae*, espèces qui ont été observées dans le Golfe de Fos en cas d'importantes arrivées d'eau douce de l'étang de Berre (Beker, 1986), et la présence uniquement en juin et avec un effectif réduit de *Melosira moniliformis*, espèce caractéristique de masses d'eaux douces en provenance du Rhône.

Travers et Travers (1962) avaient déjà observé qu'au cours du cycle annuel du phytoplancton dans le golfe de Marseille, les diatomées dominantes sont : *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros compressus*, *Ch. curvisetus* et "*Nitzschia seriata*". Nos observations concordent donc avec celles de ces auteurs. Elles soulignent de plus que par sa composition taxinomique, le phytoplancton de l'Anse de Carteau, présente des caractéristiques proches de celles des communautés néritiques marines.

Les figures 3 et 4 montrent respectivement l'évolution

de l'abondance des principales espèces phytoplanctoniques responsables des floraisons et celle de l'importance relative des différents groupes phytoplanctoniques au cours de l'année 1984.

Dans ce qui suit, nous analyserons cette évolution en fonction des saisons.

Période hivernale : janvier à mars. Les échantillons prélevés en cette période ont permis de constater la pauvreté des eaux (Fig. 2) essentiellement en espèces responsables des grandes poussées. On note (Fig. 3 et 4) une nette dominance numérique des chlorophycées par le genre *Chlorella* (plus de 60% de l'effectif total en surface et à 4 m) et des dinoflagellés, représentés par *Prorocentrum minimum* (22 à 43% selon les niveaux en mars).

Période printanière : avril à juin. On remarque une faible poussée qui commence en avril avec des groupes constitués de petites cellules telles que les chlorelles, les cryptophycées, puis suivent des cellules de plus grande taille appartenant au groupe des diatomées centriques (*Chaetoceros curvisetus*) et des dinoflagellés (*Prorocentrum minimum*) (Fig. 3). Ainsi, jusqu'en juin, alors que l'effectif total augmente, on assiste à une diminution du nombre de Chlorophycées, ces dernières représentant en moyenne environ 40% en avril et 3% en juin. En mai, cette diminution est compensée par la multiplication des diatomées centriques qui peuvent atteindre jusqu'à 71% de l'effectif total avec des espèces telles que *Chaetoceros compressus*, *Ch. curvisetus* (Fig. 3). Pendant cette période printanière, on observe également un début de développement de certaines espèces qui vont atteindre un maximum en juillet. Il s'agit de la diatomée centrique *Skeletonema costatum*, de la diatomée pennée "*Nitzschia seriata*" (Fig. 3). Les dinoflagellés, quant à eux, encore dominants en

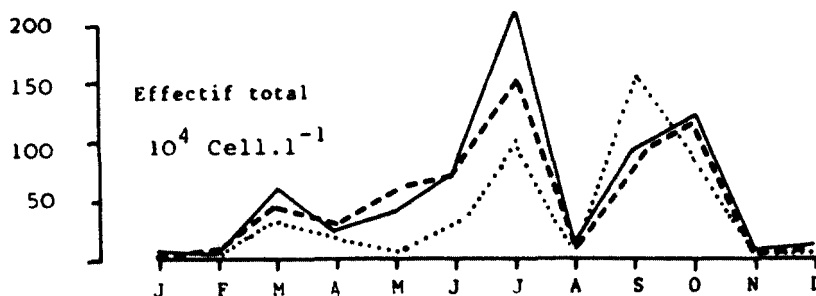


Fig. 2. Variations mensuelles de la densité des populations phytoplanctoniques (moyenne par niveau) : Om (—) ; 2m (---) ; 4m (...).

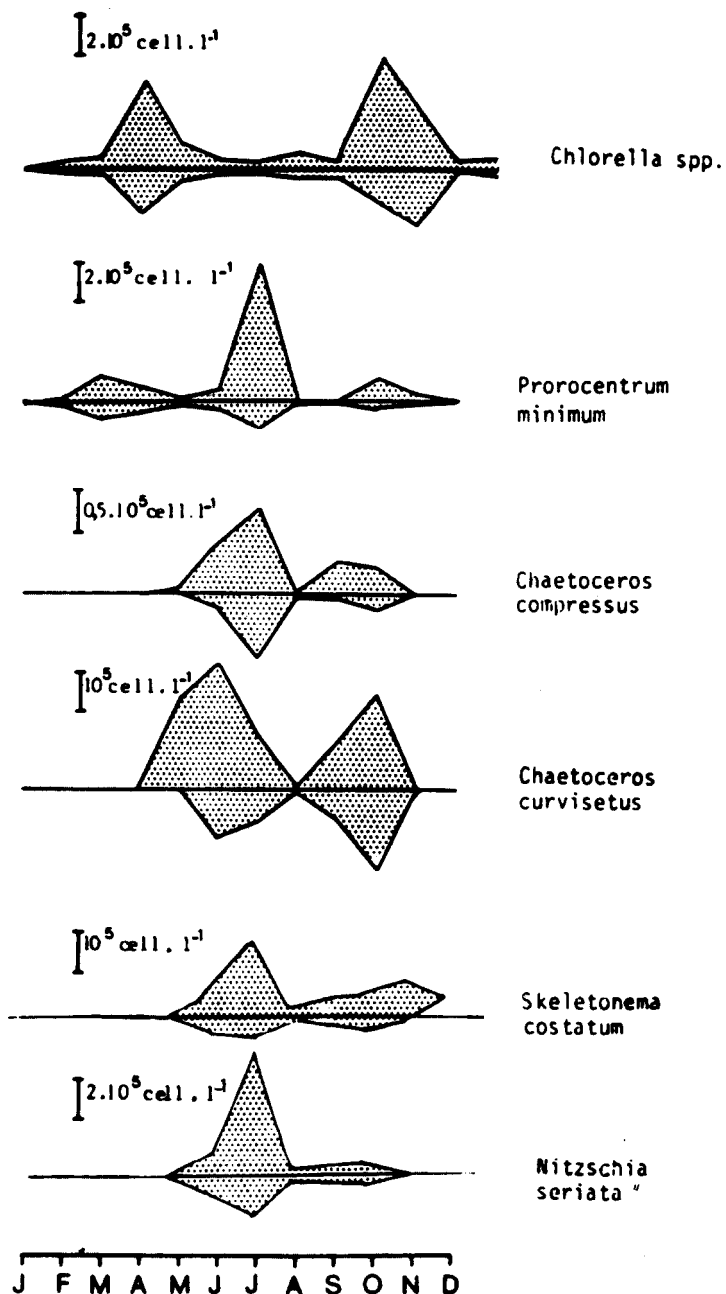


Fig. 3. Evolution au cours de l'année 1984 des principales espèces responsables des "floraisons" phytoplanctoniques : nous avons tracé les graphiques en prenant pour chaque mois la densité cellulaire minimale (partie inférieure) et la densité cellulaire maximale (partie supérieure).

Tableau 2. Valeurs de la surface cellulaire (S en μm^2), du volume cellulaire (V, en μm^3), du volume plasmique (VP en μm^3) et du rapport S/V des espèces principales et secondaires récoltées dans l'anse de Carteau de janvier à décembre 1984 (volumes calculés sans tenir compte des cornes et des soies pour des cellules qui en possèdent)

	S μm^2	V μm^3	VP μm^3	S/V
1. Espèces "principales" à forte densité pouvant dépasser 10^5 cell.l^{-1} en période de bloom.				
Diatomées centriques				
<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder	670	1 330	1 138	0,50
<i>Ch. curvisetus</i> Cleve	810	1 850	1 380	0,44
<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve	230	235	235	0,98
Diatomées pennées				
" <i>Nitzschia seriata</i> " Cleve	2 000	2 100	2 100	0,95
Dinoflagellés				
<i>Prorocentrum minimum</i> Schiller	950	1 800	1 350	0,53
Chlorophycées				
<i>Chlorella</i> sp. $\phi < 1,5 \mu\text{m}$	6	2	2	3,00
$\phi > 1,5 \mu\text{m}$	40	13	13	3,07
2. Espèces "secondaires" à densité importante (10^4 à 10^5 cell.l^{-1} en période de bloom).				
Diatomées centriques				
<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve	1 100	2 150	1 315	0,51
<i>Ch. didymus</i> Ehrenberg var. <i>protuberans</i> (Lauder) Gran & Yendo	1 070	2 500	1 855	0,43
<i>Cyclotella</i> sp. $\phi < 15 \mu\text{m}$	400	700	470	0,57
$\phi > 15 \mu\text{m}$	2 000	3 770	2 377	0,53
<i>Leptocylindrus danicus</i> Cleve	1 020	1 700	1 190	0,60
<i>Rhizosolenia fragilissima</i> Bergon	1 900	5 500	4 350	0,34
Diatomées pennées				
<i>Navicula</i> sp. $< 15 \mu\text{m}$	550	700	620	0,78
$> 15 \mu\text{m}$	10 000	25 100	17 510	0,40
<i>Nitzschia closterium</i> (Ehrenberg) Smith	200	160	160	1,25
" <i>Nitzschia delicatissima</i> " Cleve	400	300	300	1,33
Dinoflagellés				
<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Steidinger et Balech	1 200	2 000	1 50	0,60
Cryptophycées				
	140	95	95	1,47
3. Espèces "secondaires" à densité réduite (10^4 cell.l^{-1} en période de bloom).				
Diatomées centriques				
<i>Biddulphia mobiliensis</i> (Bailey) Grunow	20 700	226 000	64 000	0,09
<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey	3 900	15 300	9 330	0,25
<i>Chaetoceros danicus</i> Cleve	400	600	460	0,66
<i>Ch. peruvianus</i> Brightwell	1 300	3 800	2 980	0,34
<i>Ch. teres</i> Cleve	5 180	28 270	13 187	0,18

Tableau 2 (suite)

	S μm^2	V μm^3	VP μm^3	S/V
<i>Ch. wighami</i> Brightwell	450	700	520	0,64
<i>Coscinodiscus</i> sp.	17 800	78 900	43 400	0,22
<i>Ditylum brightwelli</i> (West) Grunow	16 500	130 290	46 029	0,12
<i>Eucampia zodiacus</i> Ehrenberg	4 500	22 000	11 200	0,20
<i>Guinardia flaccida</i> H. Peragallo	21 400	120 100	54 180	0,18
<i>Lauderia</i> sp.	8 500	50 600	22 068	0,16
<i>Melosira moniliformis</i> (Müller) Agardh	2 600	9 300	6 190	0,28
<i>Rhizosolenia alata</i> Brightwell (f. <i>alata</i>)	10 200	28 000	18 000	0,36
<i>R. alata</i> (f. <i>gracillima</i> (Cleve) Gran)	6 200	9 600	7 160	0,64
<i>R. delicatula</i> Cleve	2 100	5 100	3 660	0,41
<i>R. hebetata</i> Bailey	12 000	29 600	20 960	0,40
<i>R. imbricata</i> Brightwell var. <i>shrubssolei</i> (Cleve) Schröder	10 500	40 200	25 020	0,26
<i>R. stolterfothi</i> Peragallo	4 200	16 500	10 050	0,25
<i>R. styliformis</i> Brightwell	38 200	232 200	99 620	0,16
<i>Thalassiosira rotula</i> Meunier	5 600	31 100	14 310	0,18
Diatomées pennées				
<i>Asterionella japonica</i> Cleve	900	1 200	1 020	0,75
<i>Diatoma vulgare</i> Bory var. <i>breve</i> Grunow	1 200	2 100	1 410	0,57
<i>Fragilaria</i> sp.	900	800	800	1,12
<i>Licmophora</i> sp.	2 400	6 100	4 210	0,39
<i>Pleurosigma</i> sp.	7 300	17 400	12 690	0,42
<i>Synedra acus</i> Kützing	600	800	680	0,75
<i>S. ulna</i> (Nitzsch) Ehrenberg	3 200	6 900	5 490	0,46
<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunow	800	770	770	1,04
<i>Thalassiothrix frauenfeldi</i> (Grunow) Cleve et Möller	2 200	2 000	2 000	1,10
<i>T. mediterranea</i> Pavillard	10 900	10 800	10 800	1,01
Dinoflagellés				
<i>Ceratium furca</i> (Ehrenberg) Claparède et Lachmann	7 100	37 800	28 350	0,18
<i>C. fusus</i> (Ehrenberg) Dujardin	5 600	15 000	11 280	0,37
<i>Glenodinium</i> sp.	550	800	600	0,68
<i>Gymnodinium</i> sp.	450	700	525	0,64
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg	3 100	12 400	9 300	0,25
<i>P. triestinum</i> Schiller	500	950	710	0,52
<i>Protoperidinium bipes</i> (Paulsen) Balech	775	1 200	900	0,64
<i>P. depressum</i> (Bailey) Balech	9 900	54 900	41 175	0,18
<i>P. diabolus</i> (Cleve) Balech	6 300	38 000	28 500	0,16
<i>P. oceanicum</i> (Vanhöffen) Balech	17 800	237 000	177 750	0,07
<i>P. sp.</i>	4 500	30 000	22 500	0,15
<i>Pyrocystis</i> sp.	74 600	850 000	635 500	0,08
Chlorophycées				
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	70	40	40	1,75
<i>Scenedesmus</i> sp.	250	240	240	1,04
Euglénophycées				
	1 300	3 300	3 300	0,39
Cyanobactéries				
<i>Oscillatoria</i> sp.	1 200	900	900	1,33

avril, sont nettement moins représentés ; dans les eaux de surface (0-2 m) leur effectif ne dépasse pas 9% du total.

Période estivale : juillet à septembre. Au début de cette période, et contrairement à la poussée précédente, on observe une dominance nette de trois groupes : diatomées centriques, diatomées pennées et dinoflagellés.

Les espèces dominantes sont *Chaetoceros compressus* et *Skeletonema costatum* et à un moindre degré *Lep-
tocyclus danicus* et *Cyclotella* sp., pour les diatomées centriques. Les diatomées pennées sont représentées surtout par "*Nitzschia seriata*" mais d'autres espèces jouent également un rôle non négligeable dans le bloom estival. Ce sont *Nitzschia closterium*, "*N. delicatissima*" et *Navicula* sp. Pour les dinoflagellés une seule espèce domine : *Prorocentrum minimum*.

Au mois d'août à nouveau on observe une nette dominance numérique des chlorophycées (40 à 60% de l'effectif total) et des cryptophycées dans les eaux de surface. En septembre, les chlorelles dominent toujours mais les diatomées centriques avec *Chaetoceros compressus* et *Skeletonema costatum* sont présentes également.

Période automnale : octobre à décembre. En octobre, le bloom automnal est moins important que celui observé

en juillet. Les diatomées centriques *Chaetoceros curvisetus*, *Ch. compressus* et *Skeletonema costatum* dominent mais également les chlorophycées. On observe de plus un nouveau développement du dinoflagellé *Prorocentrum minimum*. Par la suite, en novembre et décembre, la communauté est composée principalement de chlorophycées mais aussi de cryptophycées (dans les eaux de surface) et de la diatomée centrique *Cyclotella* sp.

Le tableau 3 présente des valeurs extrêmes de l'indice de diversité spécifique de Shannon (bit. cell.⁻¹) trouvées pour les eaux de Carteau durant l'année 1984. On voit que la diversité varie dans d'assez larges limites allant de 1,5 à 4,4 bit. cell.⁻¹. On observe les plus faibles valeurs dans tous les prélèvements de février-mars et également pour les eaux de surface de juillet-août et de novembre. D'après Beker (1986) qui a décrit les variations de cet indice pendant 3 années consécutives dans le Golfe, les valeurs maximales se situent vers 3,7 et les valeurs minimales vers 0,4 mais les stations étudiées par cet auteur se trouvent dans les aires de dilution.

En fait, comme le dit Beker (1986), dans une zone aussi perturbée que l'est le Golfe de Fos recevant des masses d'eaux d'origine continentale et où s'établit dans les périodes de stabilité un système à deux "couches" (une

Tableau 3. Valeurs extrêmes de l'indice de Shannon (bit.cell⁻¹) mesurées à Carteau durant l'année 1984

Stations	Profondeur	Indice de SHANNON	
		Minimale	Maximale
A	A0	2,20	3,60
	A2	2,26	3,80
	A4	1,94	4,41
B	B0	1,52	3,80
	B2	2,15	3,96
	B4	1,50	4,17
C	C0	1,46	3,49
	C2	1,46	3,42

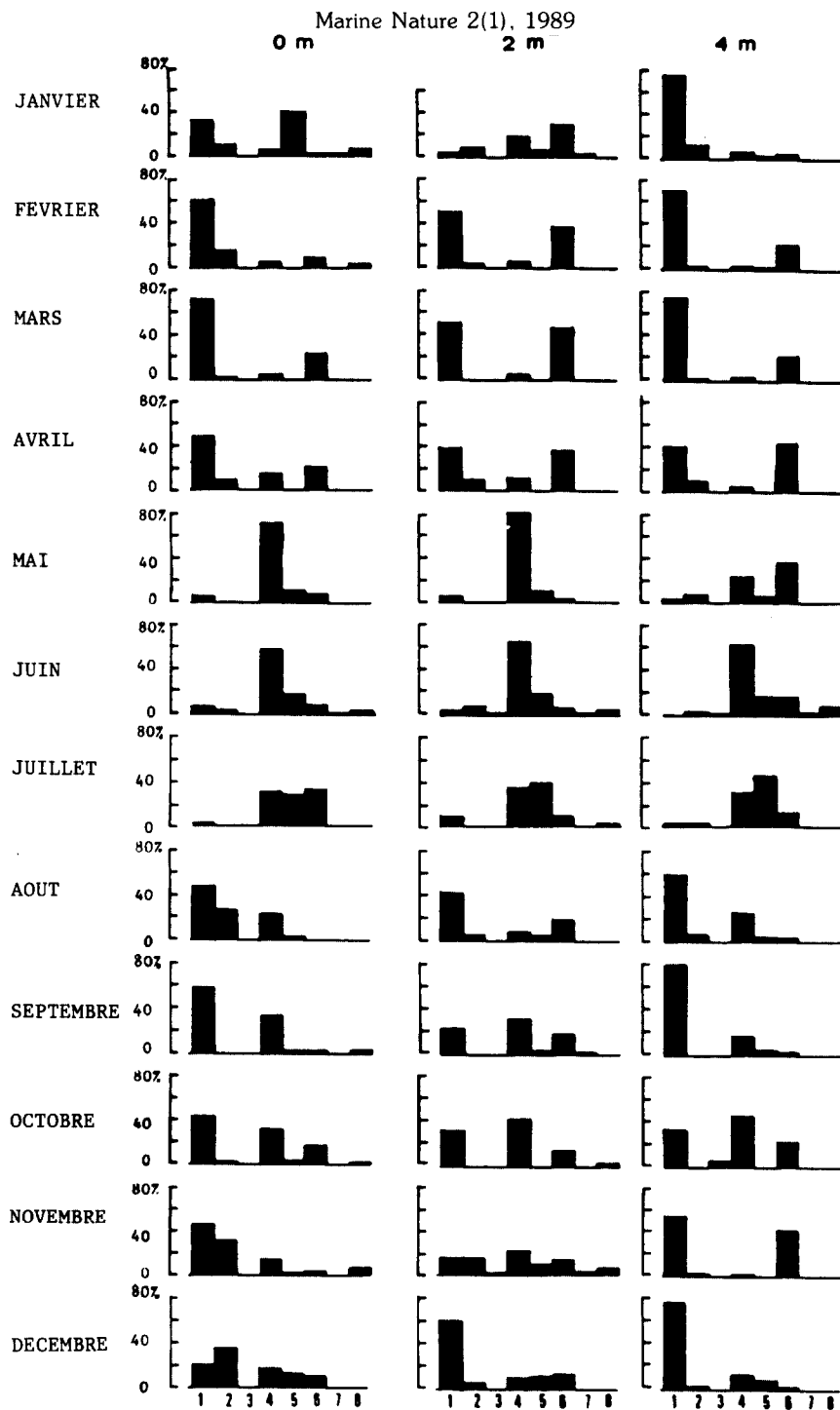


Fig. 4. Evolution au cours de l'année de l'importance relative de différents groupes phytoplanctoniques, exprimée en pourcentage du nombre total d'individus. 1 : Chlorophycées ; 2 : Cryptophycées ; 3 : Cyanobactéries ; 4 : Diatomées centriques ; 5 : Diatomées pennées ; 6 : Dinoflagellés ; 7 : Euglénophycées ; 8 : Prasinophycées.

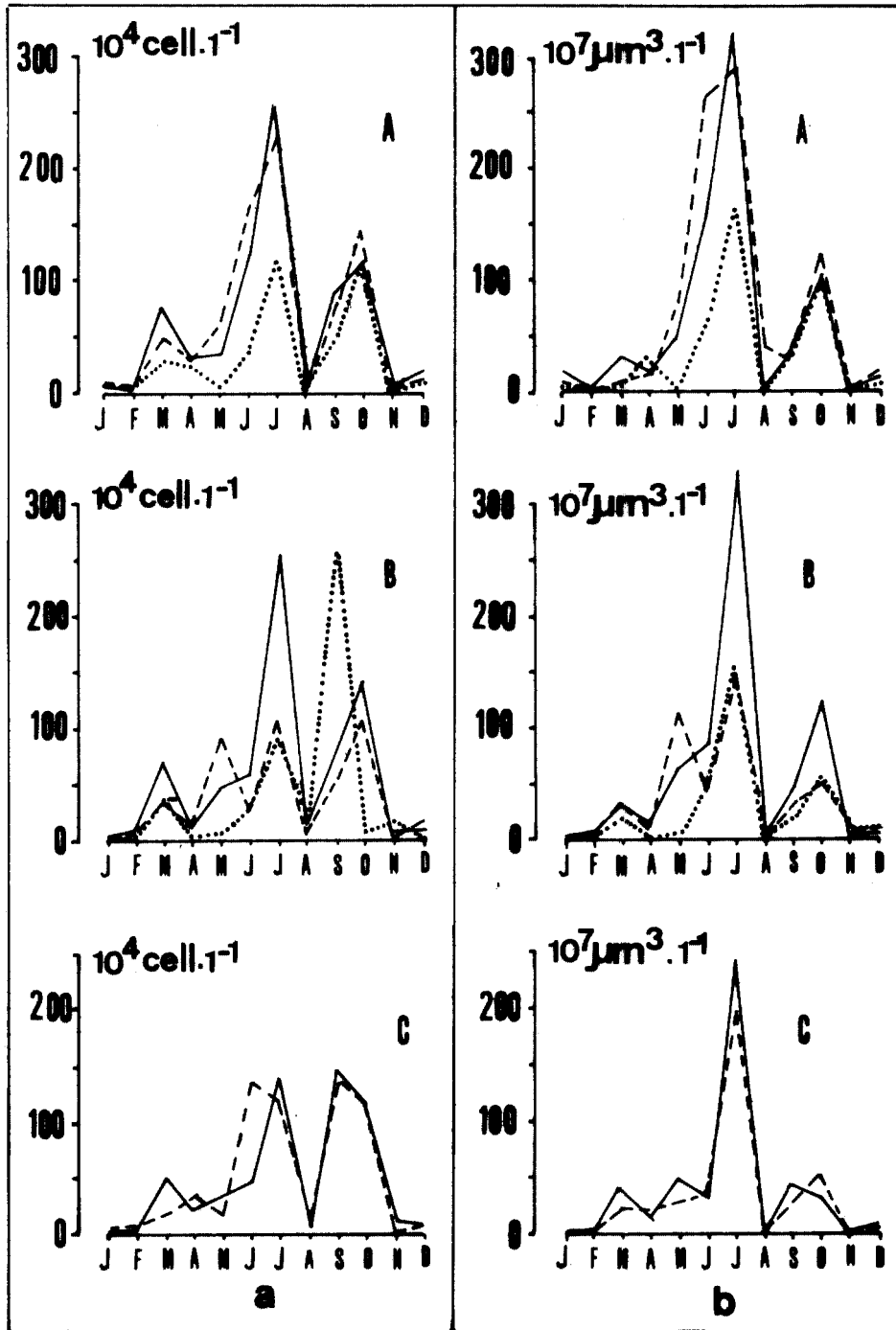


Fig. 5. Evolution de la densité des populations (a) et du volume plasmique (b) à 0m (—) ; 2m (---) ; 4m (...) aux stations de prélèvements A, B, C.

couche de surface relativement dessalée, et des eaux de fond plus marines) les valeurs de l'indice de diversité rendent difficilement compte de l'état de structuration des populations. Toutefois, elles permettent d'établir que ce milieu estuarien bien qu'enrichi n'est pas pour autant déséquilibré.

Variations Saisonnières de la Densité Cellulaire et du Volume Plasmique :

Les figures 5a et 5b montrent respectivement l'évolution au cours de l'année 1984 des densités cellulaires et des volumes plasmiqes aux stations A, B et C. On note une forte variabilité temporelle au niveau de la couche de surface (0-2 m), et une stratification verticale assez nette entre les prélèvements de 0 et 2 m et ceux de 4 m de profondeur. Ces derniers présentent de très faibles densités cellulaires à l'exception des prélèvements de juillet et octobre à la station A et de juillet et septembre à la station B (Fig. 5a). On note dans l'ensemble trois pics de densité cellulaire assez nets aux stations A et C et qui se situent successivement en mars, en juillet et en octobre (Fig. 5a). A la station B, on observe des pics supplémentaires en mai (à 2 m) et en septembre (à 4 m). L'évolution des volumes plasmiqes suit celle des densités cellulaires (Fig. 5b), le pic de mars est toutefois moins net, car à cette période dominant des petites cellules, celui de juin-juillet par contre est plus accentué.

La figure 6 montre une corrélation négative hautement

significative ($P < 0,001$) entre la salinité et le logarithme de la densité cellulaire (la transformation logarithmique des données biologiques permet de normaliser la distribution des valeurs et de faire passer la valeur de r de $-0,390$ à $-0,623$). On constate que les eaux de salinités maximales ($38,75\text{‰}$) sont caractérisées par une certaine pauvreté du phytoplancton. Les fortes densités cellulaires sont liées aux salinités inférieures à $34,7\text{‰}$, exception faite d'un petit groupe de prélèvements dont les effectifs cellulaires sont élevés alors que la salinité est de l'ordre de 38‰ ; une telle relation a déjà été observée par Blanc *et al.* (1975) dans les zones de dilution du Golfe de Fos et semble caractéristique des eaux eutrophes.

Bien entendu on observe aussi (Fig. 7) une corrélation hautement significative, mais positive, entre les logarithmes de la densité cellulaire et du volume plasmique (la corrélation est hautement significative aussi avant transformation logarithmique, mais à un niveau moins élevé, r ne valant que $0,804$ au lieu de $0,864$). On constate toutefois que le nuage de points est légèrement courbe, avec une convexité inférieure. Ceci est assez surprenant et inhabituel : on attendrait plutôt une convexité supérieure signifiant que plus les cellules sont nombreuses, plus le volume unitaire moyen est faible.

Dans la zone de Carteau en 1984, le cycle saisonnier habituellement observé dans les zones néritiques de la

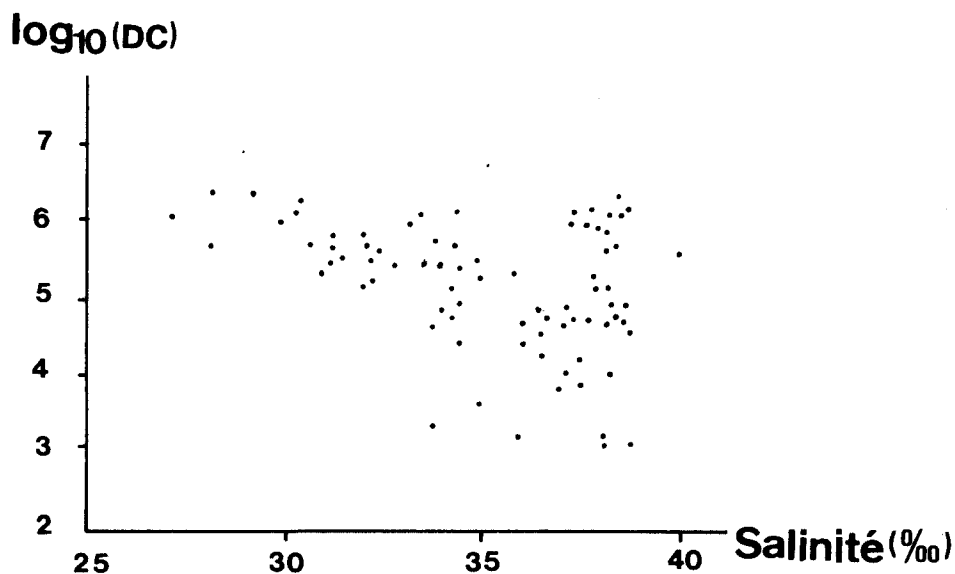


Fig. 6. Relation entre la salinité et le logarithme de la densité cellulaire (DC) ; $r = -0,623$ ($P < 0,001$), $n = 96$.

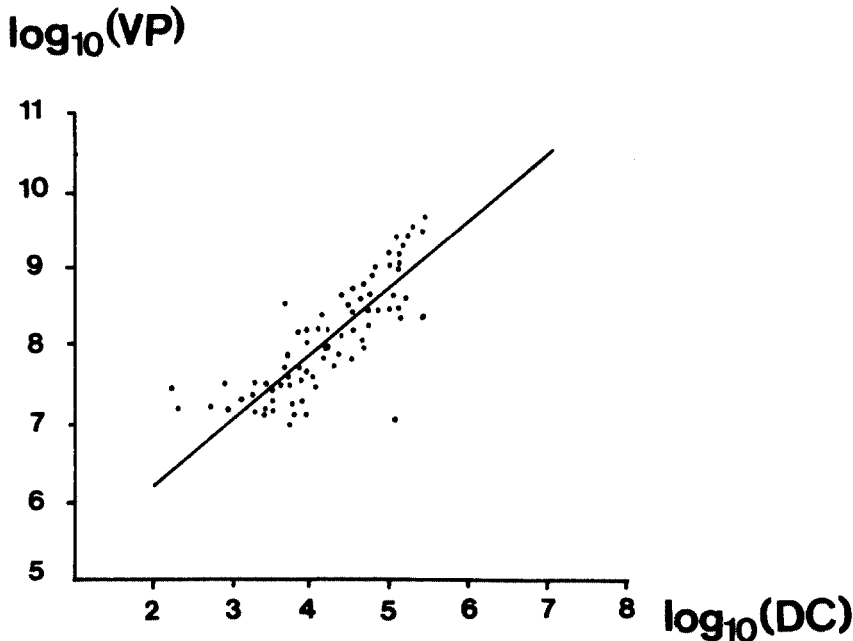


Fig. 7. Relation entre les logarithmes du volume plasmique (VP) et de la densité cellulaire (DC) ; $r = 0,864$ ($P < 0,001$) $n = 96$.

Méditerranée occidentale est assez fortement perturbée. En effet, c'est au mois d'avril que commence généralement la poussée printanière qui dure jusqu'en fin juin et les eaux estivales sont par ailleurs remarquablement pauvres. Dans le Golfe de Fos, à proximité du chenal de Caronte, Travers et Kim (1988) ont observé deux phases de poussée printanière (en mai et en juin). Cependant Beker (1986) constate aux stations du RNO que le cycle saisonnier habituel observé en 1981 ne se reproduit ni en 1982, année où l'auteur note des poussées répétées de *Prorocentrum minimum* en différents mois, ce qui rend difficile la compréhension du cycle au sein des communautés accompagnatrices, ni en 1983 où le cycle est identique à celui précédemment décrit. Cet auteur attribue ce bouleversement à l'importance du volume d'eau douce déversée dans le Golfe au printemps, empêchant toute installation de population structurée.

Au cours de notre étude, la température est restée inférieure à 15°C jusqu'à fin juin (Folack, 1986), ce qui pourrait être également une cause de la non observation de poussée printanière franche.

Dans les zones de dilution du Golfe de Fos, Blanc et Leveau (1970) signalent des densités de *Skeletonema*

costatum de l'ordre de $60 \cdot 10^6$ cell.l⁻¹ au mois de mai ; Kim (1981) observe également des densités cellulaires élevées (46 à $70 \cdot 10^6$ cell.l⁻¹) lors des grandes poussées printanières. A la même époque de l'année nous avons obtenu pour l'ensemble de la communauté des densités inférieures à $5 \cdot 10^5$ cell.l⁻¹ et la valeur maximale au cours de notre étude, observée en juillet, atteint seulement $2,6 \cdot 10^6$ cell.l⁻¹.

Dans le milieu marin voisin, Kim (1980) note, toutes espèces confondues, des densités maximales de l'ordre de $4 \cdot 10^5$ cell.l⁻¹, nombre inférieur au nôtre, alors que pour l'étang de Berre, dont les eaux se déversent dans le Golfe de Fos par le canal de Caronte, Kim et Travers (1984) dénombrent jusqu'à $250 \cdot 10^6$ et même $500 \cdot 10^6$ cell.l⁻¹. En comparaison donc avec ces zones adjacentes, le phytoplancton de l'anse de Carteau, de par sa composition, sa diversification, mais également son effectif, présente des caractéristiques plus proches des communautés néritiques marines que de celles des eaux saumâtres.

Conclusion

L'évolution de la composition spécifique du phytoplanc-

ton montre que l'anse de Carteau est une zone très diversifiée et fluctuante. Folack (1986) a montré que c'est également une zone riche en éléments nutritifs, comme le reste du Golfe de Fos (Arfi, 1984). Cette forte charge nutritive associée à des conditions climatiques favorables, à une dessalure modérée et à un éclaircissement solaire suffisant favorise des floraisons phytoplanctoniques. Ces dernières se manifestent surtout par la prolifération de cellules de petite taille parmi lesquelles les chlorelles atteignent une prédominance de l'ordre de 80% de l'effectif total des cellules en hiver et en automne, saisons caractérisées par une relative pauvreté en individus de grande taille. Les résultats obtenus montrent une dominance des diatomées centriques lors des poussées phytoplanctoniques. Les diatomées pennées et les dinoflagellés sont également abondants à Carteau.

Toutefois il ne faut pas considérer les effets des enrichissements uniquement en termes quantitatifs mais également en termes qualitatifs. D'un point de vue anthropocentrique, Ryther et Officer (1981) ont classé les différents types d'algues en "bons" ou "mauvais". Pour ces auteurs, une "bonne" algue est celle qui pousse vite, qui va donc entrer en compétition efficacement avec les espèces indésirables (cyanobactéries). Elle se décompose rapidement par autolyse ou par action des bactéries, entraînant une reminéralisation rapide de la matière organique. La taille des algues intervient également car même si elle croît vite il faut qu'elle puisse être ingérée par des herbivores planctoniques ou benthiques.

Mais, au vu de travaux récents réalisés sur l'alimentation des bivalves, et dont les résultats sont souvent en contradiction avec des données plus anciennes, cette classification nous apparaît beaucoup trop simple.

Certes, en fonction de la taille des particules, les bivalves semblent opérer une sélection prononcée du seston ingéré. Ainsi, la plupart de ces organismes filtreurs retiennent les particules supérieures à 4 μm avec une efficacité de 100% (Vahl, 1972 ; Jorgensen, 1960 ; Mohlenberg et Risgard, 1978). Mais d'après Jørgensen (1975) les particules supérieures à 30-40 μm sont rejetées chez *Mytilus edulis*, alors que Desgouille (1968) met en évidence dans le contenu stomacal de *Mytilus galloprovincialis* un éventail plus large allant de 20 à 80 μm .

Parmi les algues identifiées à Carteau et dont les dimensions sont voisines de celles mentionnées par ces auteurs, il y a essentiellement les diatomées centriques telles que *Chaetoceros compressus*, *Ch. curvisetus*, *Ch. didymus*,

C. danicus, *Skeletonema costatum*, *Cyclotella* sp., *Leptocylindrus danicus*, c'est-à-dire les espèces participant aux floraisons ; les diatomées pennées avec *Asterionella japonica* ; les dinoflagellés avec *Prorocentrum minimum* ; les chlorophycées avec *Chlorella* sp., *Ankistrodesmus* sp. ; les cryptophycées et les prasinophycées.

Quant aux particules vivantes inférieures à 2 μm qui correspondent généralement au bactérioplancton, mais également à certaines petites chlorelles, elles sont retenues avec une moins bonne efficacité, encore que pour certains bivalves se développant dans des milieux riches en détritiques organiques, il ait été montré que les bactéries sont retenues avec une assez grande efficacité grâce à certains processus faisant intervenir par exemple des charges électriques. Il apparaît ainsi une adaptation des organismes filtreurs qui leur permet d'exploiter au mieux les ressources nutritives de la colonne d'eau. Pendant la période hivernale, où les eaux, dans l'anse de Carteau, sont relativement pauvres en phytoplancton, la part prise dans l'alimentation des mollusques par le picoplancton hétérotrophe ou autotrophe (chlorelles) n'est sans doute pas négligeable. Il devrait en être de même des particules détritiques.

Cependant, la taille seule des organismes permet difficilement d'estimer la valeur calorique du contenu cellulaire. Ainsi chez les diatomées, du fait de leur structure cellulaire, les cellules de petite taille sont en général plus riches en glucides, protéines et lipides que les cellules de grande taille. Par ailleurs, à volume équivalent des dinoflagellés ont un contenu calorique cellulaire double de celui des diatomées (Hitchcock, 1982).

De plus, ces constituants cellulaires sont éminemment variable, dépendent de l'état physiologique de la cellule, et par conséquent des conditions environnantes.

En fait, la taille des particules n'est pas le seul facteur de sélection ; de même, la valeur nutritionnelle d'une espèce algale ne peut être basée uniquement sur son contenu cellulaire calorique. D'autres facteurs plus subjectifs doivent être pris en compte. Au niveau des palpes labiaux des mollusques, il a été montré récemment qu'une sélection qualitative des particules est effectuée. Cette sélection est basée cette fois sur la qualité de la nourriture ; par exemple, ingestion de préférence de la matière organique et rejet dans les pseudofèces de la partie minérale du seston (Kiorboe et Mohlenberg, 1981) ou encore ingestion préférentielle de l'azote de la matière organique, mais rejet des particules constituées essentiellement de carbone,

le carbone étant alors refractaire et non utilisable (Newell et Jordan, 1983) ; ingestion différentielle de différentes espèces algales (Peirson, 1983 ; Shumway et al., 1985). Toutefois, dans ce dernier cas, chez *Mytilus edulis*, cette présélection n'a pas été observée par Cucci et al. (1985). Il semble donc que le "goût" soit également un facteur important pour déterminer si une espèce phytoplanctonique est une source de nourriture convenable pour un herbivore donné.

Par ailleurs, une fois ingérée, encore faut-il que l'algue soit digérée, car là également intervient un processus sélectif. Ainsi d'après Shumway et al. (1986), *Prorocentrum minimum*, une espèce formant des floraisons importantes dans le Golfe de Fos est retrouvée dans les fèces de nombreux mollusques apparemment sans digestion visible ; par contre la cryptophycée *Chroomonas salina* semble préférentiellement digérée. Ces auteurs suggèrent même que les cryptophycées peuvent avoir un rôle quantitativement plus important dans la nourriture des bivalves que ne le laisse supposer leur abondance relative *in situ*. Rappelons que dans la région étudiée si ce groupe est fréquemment observé dans les prélèvements, il n'est jamais dominant (excepté en août, novembre et décembre dans les eaux de surface, il ne dépasse jamais 20% de l'effectif total).

Cependant, les groupes taxinomiques sont vastes et sont composés d'espèces qui varient dans la nocivité de leurs effets sur d'éventuels prédateurs : tel est le cas notamment du groupe des dinoflagellés. Ainsi, une mauvaise croissance du prédateur peut être reliée soit à l'absence d'un facteur nutritionnel important, par exemple acides gras essentiels, soit à la présence d'un métabolite secondaire algal délétère.

Nous avons vu que dans l'anse de Carteau, les enrichissements nutritifs apportés par les eaux douces, n'entraînaient cependant pas un déséquilibre de la structure de l'écosystème. La diversité spécifique est même relativement élevée en période de floraison, ce qui limite la possibilité d'une déficience nutritionnelle. Ceci semble confirmé par les résultats de Siron et Giusti (1985) qui, sur des échantillons prélevés dans la zone de Carteau conjointement aux nôtres ont montré que le matériel particulaire (20-200 μm) est d'une grande valeur nutritive notamment par la teneur en acides gras "essentiels" C_{16} : 2 ; C_{18} : 3, ainsi qu'en acides gras polyinsaturés à longues chaînes C_{20} : 4 ; C_{22} : 5 et C_{24} : 6 provenant de la présence simultanée de groupes taxinomiques dif-

férents, en particulier diatomées et dinoflagellés.

Beaucoup de dinoflagellés produisent des métabolites spécifiques bioactifs. *Prorocentrum minimum*, le seul dinoflagellé à fournir des blooms dans l'anse de Carteau, et qui excrète une substance antibiotique (Anderson et al., 1980) n'a jamais été associé *in situ* avec des mortalités d'animaux. Cependant la culture intensive de moules va inévitablement apporter des modifications aux conditions environnantes, en particulier une accumulation importante de matière organique et peut-être changer la composition taxinomique du phytoplancton par l'apparition de floraisons d'organismes d'eaux colorées plus ou moins toxiques, ce qui fut le cas au cours de l'été 1987 dans l'anse de Carteau avec le développement d'un dinoflagellé toxique jamais signalé jusqu'alors dans cette région.

En définitive, nous dirons que pour évaluer les potentialités mytilicoles d'un site, une étude taxinomique de la population phytoplanctonique est incontournable, mais qu'il nous manque encore pour prédire l'impact du phytoplancton sur la population des prédateurs, des données sur la "qualité nutritionnelle" des principales espèces algales que l'on rencontre dans les milieux côtiers.

Bibliographie

- Anderson, R.J., Leblanc, M.J., Sum, F.W., 1980. 1-(2,6,6-triméthyl-4-hydroxy-cyclohexenyl)-1,3-butadiène un extracellulaire métabolite from the dinoflagellate *Prorocentrum minimum*, J. org. Chem., 45 : 1169-1190.
- Arfi, R. 1984. Gulf of Fos (France). Main hydrological features (1976-1978). Hydrobiologia, 118 : 187-197.
- Beker, B., 1986. Communautés phytoplanctoniques en milieu côtier à salinité variable (Etang de Berre, Golfe de Fos). Thèse Dipl. Rech. Univ., Univ. Aix-Marseille 2, 1-114.
- Blanc, F., Leveau, M., 1970a. Effets de l'eutrophie et de la dessalure sur les populations phytoplanctoniques. Mar. Biol., 5 (4) : 283-293.
- Blanc, F., Leveau, M., 1970b. Ecophysiologie des populations phytoplanctoniques dans les milieux eutrophiques. Téthys, 2 (2) : 321-328.
- Blanc, F., Leveau, M., Bonin, M.C., 1975. Ecosystème planctonique. Structure et fonctionnement en relation avec des phénomènes de dystrophie (Golfe de Fos). Int. Rev. ges. Hydrobiol., 60 (3) : 359-378.
- Cucci, T.L., Shumway, S.E., Newell, R.C., Selvin, R.,

- Guillard, R.R.L., Yentsch, C.M., 1985. Flow cytometry : a new method for characterisation of differential ingestion, digestion and egestion by suspension feeders. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 24 (1-2) : 201-204.
- Desgouille, A., 1968. Plancton et cycle biologique des moules dans le parc du Lazaret (Tamaris). Thèse Doct. Spécialité Océanogr., Univ. Aix-Marseille 2, 1-113.
- Febvre-Chevallier, C., 1969. Etude bionomique des substrats meubles dragables du Golfe de Fos. *Téthys*, 1 (2) : 421-476.
- Folack J., 1986. Variations mensuelles de la biomasse et de la production du phytoplancton d'une zone côtière d'intérêt aquicole : "Anse de Carteau-Golfe de Fos". Thèse Doct. 3è cycle, Univ. Aix-Marseille 2, 2 vol., 278 pp.
- Hagmeier, E., 1961. Plankton-Äquivalente. *Kieler Meeresforsch.*, 17 (1) 32-47.
- Hitchcock, G.L., 1982. A comparative study of the size-dependent organic composition of marine diatoms and dinoflagellates. *J. Plankton Res.*, 4 (2) : 363-377.
- Jørgensen, C.B., 1960. Efficiency of particle retention and rate of water transport in undisturbed lamellibranchs. *J. Cons. perm. intern. Explor. Mer*, 26 : 94-116.
- Jørgensen, C.B., 1975. Comparative physiology of suspension feeding. *Annu. Rev. Physiol.*, 37 : 57-79.
- Kim, K.T., 1980. Contribution à l'étude de l'écosystème pélagique dans les parages de Carry-de-Rouet. 3. Composition spécifique, biomasse et production du microplancton. *Téthys*, 9 (4) : 317-344.
- Kim, K.T., 1981. Le phytoplancton de l'étang de Berre : composition spécifique, biomasse et production : relations avec les facteurs hydrologiques, les cours d'eau afférents et le milieu marin voisin (Méditerranée nord-occidentale). Thèse Doct. ès Sci. Univ. Aix-Marseille 2, 2 vol., 474 pp.
- Kim, K.T., Travers, M., 1984. Le phytoplancton des Etangs de Berre et Vaine (Méditerranée Nord-Occidentale). *Intern. Rev. Ges. Hydrobiol.*, 69 (3) : 361-388.
- Kjørboe, T., Møhlenberg, F., 1981. Particle selection in suspension feeding bivalves. *Mar Ecol. Progr. Ser.*, 5 : 291-296.
- Massé, H., 1972. Contribution à l'étude de la macrofaune du peuplement des sables infralittoraux des côtes de Provence. Discussion, comparaison et interprétation des données quantitatives. *Téthys*, 4 (2) : 397-422.
- Mohlenberg, F., Risgrd, H.V., 1978. Efficiency of particle retention in 13 species of suspension-feeding bivalves. *Ophelia*, 17 : 239-246.
- Newell, R.I.E., Jordan, S.J., 1983. Preferential ingestion of organic material by the american oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 13 : 47-53.
- Peirson, W.M., 1983. Utilization of eight algal species by the bay scallop, *Argopecten irradians concentricus* (Say). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 68 : 1-11.
- Ryther, J.H., Officer, C.B., 1981. Impact of nutrient enrichment on water uses. *Estuaries and Nutrients ed. Bruce J. Neilson and L. Eugene Cronin* : 247-261.
- Shannon, C.E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bell Syst. Techn. J.*, 27 : 379-423.
- Shumway, S.E., Cucci, T.L., Newell, R.C., Yentsch, C.M., 1985. Particle selection, ingestion and absorption in filter-feeding bivalves. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 91 : 77-92.
- Siron, R., Giusti, G., 1985. Composition en acides gras du plancton du Golfe de Fos-sur-Mer. *C.R. Acad. Sci. Paris, sér. III*, 5 : 191-194.
- Smayda, T.J., 1965. A quantitative analysis of phytoplankton of Gulf of Panama. 2. On the relationship between ^{14}C accumulation and the diatom standing crop. *Bull. Int. Amer. Trop. Tuna Comm.*, 9 (7) : 465-531.
- Travers, A., Travers, M., 1962. Recherches sur le phytoplancton du golfe de Marseille. *Rec. Trav. Stat. Mar. Endoume*, 41 (26) : 7-139.
- Travers, M., Kim, K.T., 1988. Le phytoplancton du Golfe de Fos (Méditerranée Nord-Occidentale). *Marine Nature*, 1 (1) : 21-35.
- Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommen der quantitativen Phytoplankton Methodik. *Mitt. Int. Verein. Limnol.*, 9 : 1-38.
- Vahl, O., 1972. Efficiency of particle retention in *Mytilus edulis* L.. *Ophelia*, 10 (1) : 17-25.