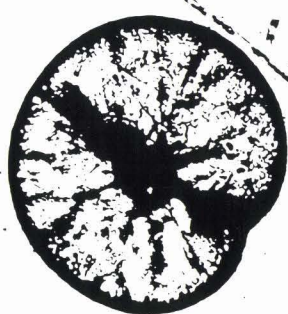


50376  
1980  
186-1

UNIVERSITE des SCIENCES et TECHNIQUES de LILLE  
INSTITUT de BIOLOGIE MARITIME et REGIONALE de WIMEREUX

50376  
1980  
186-1

THESE DE TROISIEME CYCLE  
biologie de la reproduction et du développement



Martine HEDIN-BOUGARD

**HYDROBIOLOGIE LITTORALE : PHYCOPLANCTON**  
**( Région de Dunkerque - Mer du Nord )**



Présentée le 26 Novembre 1980 devant la Commission d'Examen

MM. M. DURCHON président  
A. RICHARD rapporteur  
J.R. GRALL<sup>†</sup>  
G. JACQUES examinateurs  
M. BODARD



D 030 178714 6

## AVANT-PROPOS

Avant de présenter ce travail, je voudrais tout d'abord rendre hommage à Monsieur J.-R. GRALL, Chargé de Recherches au C.N.R.S., qui avait relu une partie de ce mémoire et accepté de participer à ce jury, et qui est malheureusement décédé récemment.

Monsieur le Professeur DURCHON, Directeur de l'Institut de Biologie Maritime et Régionale de Wimereux, m'a accueillie dans son laboratoire et me fait l'honneur de présider ce jury. Je l'en remercie respectueusement.

Monsieur G. JACQUES, Maître de Recherches au C.N.R.S., a bien voulu, malgré ses nombreuses occupations et ma sollicitation tardive, juger ce travail. Je l'en remercie tout particulièrement.

Monsieur le Professeur RICHARD m'a accueillie au sein de l'équipe qu'il dirige à Wimereux et m'a donné l'occasion et les moyens de me former dans le domaine de l'écologie littorale. Je lui exprime ici ma profonde reconnaissance.

Monsieur le Professeur BODARD a accepté de juger ce mémoire. Je l'en remercie vivement.

Je tiens à exprimer ma gratitude aux membres de l'équipe au sein de laquelle j'ai travaillé durant ces six années, en particulier pour leur aide efficace dans le travail de terrain. Je remercie également à ce propos les membres des équipages des divers bateaux pour leur aide cordiale et très utile pendant les missions. J'ai beaucoup apprécié la collaboration de Madame N. DEWARUMEZ qui a effectué une grande partie des analyses.

Je ne saurais oublier les membres du personnel de l'Institut de Biologie Maritime et Régionale de Wimereux. Je remercie plus particulièrement Mesdames M. PANNIER et M.A. JANQUIN et Monsieur D. MENU qui ont mené à bien la dactylographie et l'iconographie de ce mémoire, ainsi que Monsieur LE MAUFF qui a permis l'impression des couvertures dans son atelier de Besné.

Enfin, l'aide et les encouragements de ma famille et de mes amis m'ont été d'un grand secours. Que chacun trouve ici l'expression de ma reconnaissance.

# SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DU SITE ET CARACTERISTIQUES DES MILIEUX LITTORAUX ET DU MILIEU PORTUAIRE	
1 - Situation géographique .....	3
2 - Hydrographie .....	3
a - Marées .....	3
b - Courants : courants de marée .....	3
courant général .....	4
courants dans le port de Dunkerque ....	4
c - Apports d'eaux telluriques .....	4
3 - Topographie sous-marine .....	5
4 - Climatologie .....	5
a - Température .....	5
b - Précipitations .....	8
c - Eclairement .....	8
5 - Distribution spatio-temporelle des prélèvements .....	9
a - Position des stations à Gravelines .....	9
Dunkerque littoral (R.N.O.)	11
Dunkerque port .....	11
b - Calendrier des sorties : Gravelines .....	11
Dunkerque .....	16
6 - Caractéristiques physico-chimiques .....	16
a - Température .....	16
b - Salinité .....	19
c - Densité .....	23
d - Turbidité : matières en suspension .....	24
transparence de l'eau .....	26
e - pH .....	29
f - Oxygène dissous .....	30
g - Sels nutritifs .....	34
h - Conclusion .....	41
CHAPITRE II : ETUDE TAXONOMIQUE - COMPOSITION DES POPULATIONS	
1 - Méthodologie .....	45
a - Prélèvement .....	45

b - Méthode d'étude au microscope .....	45
c - Précision des comptages .....	50
2 - Composition de la flore microplanctonique .....	51
a - Liste des espèces .....	51
b - Description de certaines espèces non déterminées .	64
c - Composition des populations microplanctoniques ...	67
3 - Diatomées .....	71
a - <i>Paralia sulcata</i> .....	71
b - Genre <i>Thalassiosira</i> .....	73
c - <i>Skeletonema costatum</i> .....	76
d - Genre <i>Biddulphia</i> .....	78
e - <i>Cerataulina pelagica</i> .....	79
f - Genre <i>Chaetoceros</i> .....	79
g - <i>Leptocylindrus danicus</i> .....	83
h - Genre <i>Rhizosolenia</i> .....	84
i - " <i>Fragilaria</i> " .....	87
j - Genre <i>Rhaphoneis</i> .....	87
k - <i>Asterionella japonica</i> .....	88
l - <i>Thalassionema nitzschioides</i> .....	89
m - Genre <i>Navicula</i> .....	89
n - Genre <i>Nitzschia</i> .....	90
4 - Dinoflagellés .....	93
a - <i>Noctiluca scintillans</i> .....	93
b - Genre <i>Gymnodinium</i> .....	95
c - Genre <i>Peridinium</i> .....	96
d - Genre <i>Prorocentrum</i> .....	97
e - Autres Dinoflagellés .....	99
5 - Silicoflagellés .....	100
6 - Chlorophycées .....	101
7 - Nanoplancton .....	102
8 - Conclusion .....	103
CHAPITRE III : CYCLES PHYTOPLANCTONIQUES - STRUCTURE	
DES POPULATIONS	
1 - Introduction .....	107
2 - Méthodes .....	108
a - Dosage des pigments (méthodologie utilisée pour	
l'étude du site de Gravelines) .....	108
Chlorophylle a .....	108
Phéopigments .....	110



Précision des mesures (spectrophotométrie) ...	111
Indice pigmentaire .....	113
b - Structure de la population (méthodes utilisées pour l'étude du phytoplancton de Gravelines et du port de Dunkerque) .....	113
Diversité spécifique .....	113
Equitabilité .....	114
Diagrammes rang-fréquence .....	114
Diversité pigmentaire .....	114
3 - Gravelines .....	114
a - Pigments photosynthétiques .....	114
1974-75 .....	116
1976-77 .....	118
1978 .....	120
b - Structure des populations .....	121
1974-75 .....	124
1976-77 .....	126
1978 .....	128
c - Cycle annuel - Discussion .....	130
d - Variations spatiales des pigments photosynthé- tiques .....	136
e - Variations du phytoplancton en un point au cours d'un cycle de marée .....	137
4 - Dunkerque littoral .....	141
5 - Dunkerque, milieu portuaire .....	145
a - Pigments photosynthétiques .....	145
b - Diversité spécifique - Succession des populations	150
6 - Conclusion .....	153
CHAPITRE IV : HYDROBIOLOGIE DES MILIEUX LITTORAUX DE DUNKERQUE ET DE GRAVELINES - AUTO-ÉCOLOGIE DES ESPÈCES PHYTOPLANCTONIQUES PRINCIPALES (ANALYSE MATHÉMATIQUE)	
1 - Hydrobiologie des milieux littoraux de Dunkerque et de Gravelines .....	157
a - Méthodes .....	157
b - Résultats - Interprétation .....	158
2 - Auto-écologie des espèces principales .....	163
a - Méthodes .....	163

b - Résultats - Discussion .....	166
<i>Paralia sulcata</i> .....	167
<i>Thalassiosira decipiens</i> .....	168
<i>Thalassiosira nordenskioldii</i> .....	169
<i>Thalassiosira rotula</i> .....	170
<i>Skeletonema costatum</i> .....	170
<i>Cerataulina pelagica</i> .....	172
<i>Chaetoceros curvisetum</i> + <i>Chaetoceros debile</i> ....	173
<i>Chaetoceros didymum</i> .....	174
<i>Chaetoceros sociale</i> .....	174
<i>Leptocylindrus danicus</i> .....	175
<i>Rhizosolenia delicatula</i> .....	176
<i>Rhizosolenia setigera</i> + <i>Rhizosolenia pungens</i> ..	177
<i>Rhizosolenia shrubsolei</i> .....	177
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i> .....	178
"Fraxillaria" .....	179
<i>Asterionella japonica</i> .....	179
<i>Thalassionema nitzschioides</i> .....	180
<i>Nitzschia closterium</i> .....	181
<i>Nitzschia delicatissima</i> + <i>Nitzschia seriata</i> ...	181
Genre <i>Gymnodinium</i> .....	182
Genre <i>Prorocentrum</i> .....	182
Genre <i>Peridinium</i> .....	182
3 - Conclusion .....	183
CONCLUSION GENERALE .....	189
BIBLIOGRAPHIE .....	193
ANNEXE I-1 : Liste des abréviations, termes et unités employés	
ANNEXE I-2 : Méthodes utilisées pour les mesures hydro- logiques sur le site de Gravelines.	
ANNEXE I-3 : Tableaux 7 à 9 : Paramètres hydrologiques au niveau de la radiale à Gravelines.	
ANNEXE I-4 : Tableaux 19 à 22 : Nombre de cellules par cm <sup>3</sup> et pourcentage de dominance des prin- cipaux groupes, genres et espèces du phyto- plancton à Gravelines et dans le port de Dunkerque.	

ANNEXE I-5 : Tableaux 24 à 28 : Paramètres biologiques  
à Gravelines, en face de Dunkerque et dans  
le port de Dunkerque.

TOME II : "FIGURES"

Liste des figures.

Abréviations utilisées dans les figures 116, 119 et 120.

ANNEXE II : Variations des paramètres physicochimiques dans le  
milieu littoral en face de Dunkerque (R.N.O.).

## INTRODUCTION GENERALE

Peu de travaux concernent le milieu pélagique (hydrologie et domaine phytoplanctonique) du littoral du nord de la France. LÉBLOND (1925) et LANGLET (1962) se sont limités à l'étude taxonomique du phytoplancton dans la région de Boulogne-sur-Mer. DESAUNAY (1973) a acquis quelques données sur l'hydrologie au voisinage de l'estuaire de la Canche, de même que HECQ (1975) et HECQ et coll. (1975) près de Boulogne-sur-Mer. Les travaux de BRYLINSKI (1975) concernent également la zone de Boulogne-sur-Mer (hydrologie et biomasse phytoplanctonique) ; ceux de BENTLEY (1980) et DUPONT (1980) s'étendent au Détroit du Pas-de-Calais (hydrologie et phytoplancton).

L'industrialisation du littoral de la région du Nord - Pas-de-Calais a amené récemment les industriels à demander aux laboratoires scientifiques des études écologiques de zones précises. C'est ainsi qu'Electricité de France a demandé à l'Université de Lille I une "étude écologique préliminaire" à l'implantation d'une centrale nucléaire à Gravelines (Nord) (BRYLINSKI et coll., 1973). Ce travail concerne les domaines pélagique et benthique. Il a été suivi de plusieurs autres études sur le même site. Une partie de ce mémoire reprend les données acquises en hydrologie et sur le phytoplancton (exceptées les expériences de production primaire) du littoral de Gravelines, en 1974-75, 1976-77, et en 1978\*.

Lors de sa réunion du 6 décembre 1972, le Conseil Interministériel d'Action pour la Nature et l'Environnement a décidé la création du Réseau National d'Observation du Milieu Marin (R.N.O.). Le but de ce réseau est de permettre de rassembler les données concernant la situation écologique du milieu, de signaler l'état de pollution, d'inventorier les ressources et de préciser l'état sanitaire du littoral français. Nous reprendrons ici une partie de l'interprétation des paramètres hydrologiques et biologiques mesurés par les services du Port Autonome et par le Laboratoire Lecerf-Callens sur le site R.N.O. de Dunkerque, de 1975 à 1978\*\*.

En 1977 et 1978, J.-M. BRYLINSKI a porté son attention sur l'écosystème portuaire de Dunkerque : hydrologie, biomasse phytoplanctonique

---

\* Ces données ont été obtenues dans le cadre de contrats passés entre l'Université de Lille I et le C.N.E.X.O. (contrats n°<sup>s</sup> 74/1124, 76/1526/B, 77/1764/B).

\*\* Cette interprétation a été confiée par le R.N.O. à l'Institut de Biologie Maritime et Régionale de Wimereux (I.B.M.R.W.) : contrat C.N.E.X.O. - Université de Lille I n° 79/2107.

et zooplancton ; nous avons complété cette approche en faisant l'étude taxonomique du phytoplancton. L'intégration des données acquises sur l'hydrobiologie et le phytoplancton du port de Dunkerque apporte une information supplémentaire sur l'état du littoral français du sud de la Mer du Nord et permet de comparer ces deux milieux voisins mais de caractéristiques différentes.

Après avoir présenté les différentes zones d'étude, nous préciserons leur hydrologie en nous appuyant plus particulièrement sur les résultats que nous avons obtenus à Gravelines ; les variations de certains paramètres hydrologiques dépendant de celles du phytoplancton, nous serons amenés à évoquer, dès cette première partie, certains aspects du système phytoplanctonique. Nous aborderons ensuite le domaine phytoplanctonique en présentant les résultats de l'étude taxonomique, parmi lesquels les variations des espèces principales du milieu littoral de Gravelines et du port de Dunkerque ; nous compléterons nos données sur ces espèces par d'autres données sur leur distribution géographique ou temporelle que nous avons relevées dans la littérature. Dans une troisième partie nous considérerons les variations de la biomasse phytoplanctonique totale de chacun des milieux étudiés en essayant de les relier à celles des autres paramètres du milieu (hydrologie, zooplancton). Les résultats de l'étude taxonomique permettront d'établir la succession des populations et d'estimer l'état de maturité du système microphytoplanctonique. Enfin nous utiliserons l'analyse mathématique pour dégager les principales caractéristiques de l'hydrobiologie des deux sites littoraux d'une part, et pour déterminer les conditions hydrologiques qui favorisent la croissance des espèces principales que nous avons observées d'autre part.

## CHAPITRE I

# PRESENTATION DU SITE ET CARACTERISTIQUES DES MILIEUX LITTORAUX ET DU MILIEU PORTUAIRE

## 1 - SITUATION GEOGRAPHIQUE

La zone d'étude se situe à la partie méridionale de la Mer du Nord, dans la région de Dunkerque (fig. 1 ). Une partie des travaux concerne le milieu littoral de Gravelines, au voisinage de la centrale E.D.F. dont le canal d'aménée des eaux de refroidissement s'ouvre dans l'avant-port ouest de Dunkerque. D'autres analyses ont été faites un peu plus à l'est, près de la sortie du port de Dunkerque (R.N.O.). A ces deux sites littoraux s'ajoute une station placée dans le port de Dunkerque.

## 2 - HYDROGRAPHIE

Les données hydrographiques sont empruntées aux "Annaires des Marées" et à l'ouvrage "Courants de marée dans la Manche et sur les côtes françaises de l'Atlantique" (Service Hydrographique de la Marine).

### a - Marées

Les marées sont de type semi-diurne ; leurs caractéristiques sont les suivantes :

Type de marée	Coefficient	Côte de	
		Pleine mer	Basse mer
Vive-eau moyenne	95	5,80 m	0,50 m
Marée moyenne	70	5,30 m	0,95 m
Morte-eau moyenne	45	4,80 m	1,40 m

Quel que soit le coefficient de la marée, le montant est plus court que le baissant de près de 2 heures.

### b - Courants

Courants de marées : Les courants de marées sont alternatifs, de direction sensiblement parallèle à la côte. Pendant le flot ils sont dirigés vers l'E-NE (65-70°) alors qu'au jusant ils portent vers l'W-SW (255-260°) (fig. 2 ). La durée du flot est toujours plus courte que celle du jusant.

La construction de l'avant-port a apporté des modifications locales dans les champs de courant. On note en marée de vive-eau moyenne la présence de turbulences et de tourbillons à l'entrée de l'avant-port et le long de la jetée ouest (fig. 3 ). Ces phénomènes sont atténués en période de morte-eau.



Courant général : Dans le Pas-de-Calais et dans la partie méridionale de la Mer du Nord on note un courant résiduel faible (courant de dérive), portant au nord-est (fig. 4), et qui atteint la vitesse de 2,7 milles/jour environ. L'étude des courants faite par le Port Automne de Dunkerque pour le R.N.O. montre que "le mouvement général d'une molécule d'eau" en face de Dunkerque "est une oscillation dissymétrique de part et d'autre d'un point se déplaçant progressivement vers l'est à la vitesse de 3,96 km par 12 heures en vives-eaux, et 0,92 km par 12 heures en mortes-eaux".

La direction et la vitesse du courant sont influencées, tout au moins en surface, par celles des vents. Dans l'hémisphère Nord le courant superficiel dû au vent est dévié vers la droite de la direction du vent (EKMAN, in ROUCH, 1948). Dans les eaux très peu profondes la masse d'eau se déplace pratiquement dans le sens du vent. L'angle de déflexion  $\alpha$  entre la direction du vent et celle du courant de surface qu'il induit est de 20° dans la Mer du Nord, mais il peut varier d'un point à un autre suivant la configuration et la topographie des côtes. La vitesse du courant induit par le vent peut atteindre 5 % de celle du vent. Dans le sud de la Mer du Nord, PICHOT (1971) l'estime de 0,8 % à 2,4 % de celle du vent.

On note au large de la côte belge la présence d'un gyre (Gyre d'Ostende, fig. 4) : les eaux de l'Escaut sont entraînées vers le sud-ouest le long des côtes belges, puis sont reprises ensuite par le courant principal (NIHOUL et RONDAY, 1976).

Courants dans le port de Dunkerque : On remarque dans le port de Dunkerque des courants dus aux vents et qui sont plus ou moins localisés en surface. En profondeur les courants correspondant aux entrées d'eau par les écluses sont limités dans le temps. Le passage des navires provoque le mouvement d'une partie de la colonne d'eau. Le seul brassage important, et permanent, du milieu portuaire est réalisé par l'aspiration en profondeur (entre - 10 m et - 14 m) et le rejet en surface des eaux de refroidissement de la centrale thermique E.D.F. Le courant provoqué par cette circulation d'eau diminue rapidement avec la profondeur (BRYLINSKI, 1979).

### c- Apports d'eaux telluriques

Outre les eaux de ruissellement et les résurgences de la nappe phréatique, il existe une importante source d'apport d'eau douce : l'Aa, petit fleuve qui débouche à Grand-Fort Philippe, à l'ouest de la zone d'étude (fig. 10). Il draine une grande partie de l'arrière-pays depuis St-Omer. Son débit, assez irrégulier, varie d'une valeur quasi nulle à 2.200.000 m<sup>3</sup>/jour, avec des moyennes annuelles de 660.000 m<sup>3</sup>/jour (C.I.P.L.I.N.O.R.\*, 1979). Dans la figure 5 nous avons reporté les variations des rejets estimés de l'Aa d'après le cahier des charges d'ouverture des vannes\*\*. Les re-

---

\* Cellule d'Intervention contre la Pollution Marine du Littoral du Département du Nord.

\*\* Ce document nous a été aimablement transmis par l'équipe de l'I.S.T.P.M. que nous remercions.

jets de l'Aa sont plus importants en hiver et au printemps.

Une partie des eaux de l'Aa emprunte le Canal de la Haute Colme après Watten et arrive à la mer par le Canal exutoire des wateringues (fig. 10 ). Ce dernier, qui se déverse au fond de l'avant-port est de Dunkerque collecte les eaux de drainage de tout l'arrière-pays et les eaux usées urbaines, notamment celles qui sortent de la station d'épuration de Coudekerque-Branche. Son débit varie suivant la pluviosité d'une valeur quasi nulle à 2.300.000 m<sup>3</sup>/jour, avec un débit annuel moyen de 385.000 m<sup>3</sup>/jour (C.I.P.L.I.N.O.R., 1979).

Les arrivées d'eau douce sont faibles dans les bassins du port de Dunkerque : elles se limitent aux précipitations, éclusées du Canal à grand gabarit, rejets intermittents des eaux de lavage des cuves de stockage des minerais, effluents industriels (KHALANSKI, 1976).

En outre les eaux provenant du port de Calais constituent un apport tellurique non négligeable pour le milieu littoral.

### 3 - TOPOGRAPHIE SOUS-MARINE

Dans le sud de la Mer du Nord le fond est constitué de grands bancs de sable permanents, parallèles à la côte et séparés par des dépressions plus ou moins profondes. Au voisinage de la zone d'étude la profondeur est faible et dépasse rarement 25 m. A la station 4 en face de Dunkerque elle est légèrement supérieure : 32 m en moyenne. Le profil du fond au niveau de la radiale à Gravelines est reporté dans la figure 6 .

### 4 - CLIMATOLOGIE

Les masses d'eau étudiées, très côtières, présentent une faible inertie aux variations climatiques. Nous nous référerons dans cette étude des données climatiques au "Bulletin climatologique mensuel" du Département du Nord ainsi qu'au "Tableau climatologique mensuel" du Sémaphore de Dunkerque (Météorologie Nationale).

La région dunkerquoise bénéficie d'un climat océanique tempéré.

#### a - Température

La température de l'air varie à Dunkerque de façon sinusoïdale, avec un minimum moyen (sur les 30 dernières années) de 2° C en février et un maximum moyen de 18° C au mois d'août. Dans le tableau 1 sont indiquées les températures minimales ou maximales enregistrées au cours de chaque mois cité, d'août 1974 à décembre 1978.

Tableau 1 : Température minimale ou maximale au cours de chaque mois cité d'août 1974 à décembre 1978 (Tableau climatologique mensuel du Sémaphore de Dunkerque).

T° minimale		T° maximale	
Date	Valeur	Date	Valeur
1974 12.12	1,2	1974 15.08	25,2
1975 28.01	0,8	12.09	20,4
9.02	- 3,8	1975 6.06	24,2
28-30.03	0,4	14.07	25,4
8-9.04	0,2	4.08	31,4
29.10	1,0	27.09	23,0
14.11	- 3,0	1976 7.05	29,0
15-16.12	- 2,4	23.06	31,0
1976 30.01	- 6,8	3-16.07	27,0
1.02	- 4,6	22.08	26,6
6-7.03	- 2,4	8.09	23,8
30.12	- 6,6	9.10	20,6
1977 5.01	- 2,6	1977 13.06	22,4
1.02	- 2,0	23.07	23,2
31.03	- 2,4	4.08	22,4
10.04	- 0,2	2.09	22,2
28.11	- 1,4	21.10	21,2
2-3.12	- 2,0	1978 4.06	28,4
1978 20.01	- 0,0	28.07	23,6
20.02	- 6,0	19.08	24,4
7.03	0,8	16.09	21,6
11-12.04	0,4	11.10	23,8
30.11	- 5,4		
31.12	- 9,6		



Tableau 2 : Précipitations dans la région de Dunkerque pendant les mois les plus humides et pendant les mois les plus secs d'août 1974 à décembre 1978 (Tableau climatologique mensuel du Sémaphore de Dunkerque et Bulletin climatologique mensuel du Département du Nord).

Mois humides		Mois secs	
Date	Hauteur d'eau (mm)	Date	Hauteur d'eau (mm)
1974 septembre	141		
octobre	184		
novembre	133		
1975 janvier	82	1975 février	22
mars	95	mai	31
septembre	91	juin	33
novembre	150	décembre	37
1976 septembre	169	1976 janvier	37
octobre	94	février	31
novembre	128	mars	13
1977 janvier	92	avril	13
février	68	mai	21
mars	72	juin	4
août	94	juillet	20
novembre	131	août	13
1978 janvier	66	1977 avril	30
avril	70	mai	39
décembre	153	juillet	25
		septembre	11
		octobre	28
		1978 février	27
		mars	39
		mai	39
		août	12
		septembre	31
		octobre	22



Durant cette période les températures maximales ont été observées en juillet et en août (fig. 7 ). La période la plus chaude est la première décade d'août 1975 (température moyenne par décade : 24,6° C) ; la température journalière la plus élevée atteint 31,4° C le 4 août. L'été est plus frais en 1977 et 1978 que les autres années (moyennes des températures des mois de juillet, août et septembre : 17,6° C en 1975, 18,0° C en 1976, 15,8° C en 1977, 16,0° C en 1978).

On note les températures les plus faibles de décembre à février. La température minimale moyenne par décade est parfois inférieure à 0° C (début février et fin décembre 1976, mi-février 1978). Pendant l'hiver 1974-1975 elle est toujours supérieure à 1,5° C. Durant la période d'étude les hivers ont été de plus en plus froids (moyennes des températures des mois de janvier et février : 6,4° C en 1975, 5,0° C en 1976, 5,3° C en 1977, 4,3° C en 1978). Chaque année on a noté une baisse de la température en mars-avril, moins marquée en 1976 et 1978.

#### b - Précipitations

La pluviosité moyenne mensuelle excède rarement 100 mm dans la région de Dunkerque. La saison la plus humide est l'automne, à l'exception de 1978 (fig. 8 ). Les quantités d'eau tombées (en mm) pendant les mois les plus humides et les plus secs, d'août 1974 à décembre 1978, sont mentionnées dans le tableau 2.

L'automne 1974 a été particulièrement pluvieux : de septembre à novembre il est tombé 458 mm d'eau. Les années 1976 et 1978 sont les plus sèches : la pluviosité était de

738 mm de janvier à décembre 1975  
587 mm de janvier à décembre 1976  
691 mm de janvier à décembre 1977  
596 mm de janvier à décembre 1978.

#### c - Eclairement

Nous ne disposons pas de données concernant l'intensité et la durée de l'éclairement dans la région dunkerquoise. Les indications suivantes sont des données moyennes pour des régions voisines, empruntées à LOUIS et coll. (1974) :

Période	Energie photique moyenne (cal/cm <sup>2</sup> /jour) à 51° 20' N (Sud de la Mer du Nord, côte belge près de Knokke)	Durée mensuelle des journées (heures) à la latitude 50° N (au sud de l'Angleterre)
janvier	105	7 à 8
février	175	10
mars	300	11 à 12
avril	450	14
mai	550	15 à 16
juin	595	17 à 16
juillet	575	16
août	490	15 à 14
septembre	340	12
octobre	200	11 à 10
novembre	105	8
décembre	50	7

La couche de nuages est souvent importante (fig. 9) et limite la quantité d'énergie lumineuse disponible pour la photosynthèse. Le ciel est généralement plus dégagé au mois d'août, en particulier en 1976. En 1978 la couverture nuageuse est toujours supérieure ou égale à 4/8<sup>e</sup> (moyenne par décade). Pendant l'automne 1974 elle vaut souvent 7/8<sup>e</sup> et est légèrement inférieure à cette valeur pendant l'automne 1975 (en général 6/8<sup>e</sup>). La nébulosité moyenne varie peu d'une année à l'autre :

- 5,4/8<sup>e</sup> de janvier à décembre 1975
- 5,0/8<sup>e</sup> de janvier à décembre 1976
- 5,5/8<sup>e</sup> de janvier à décembre 1977
- 5,6/8<sup>e</sup> de janvier à décembre 1978.

## 5 - DISTRIBUTION SPATIO-TEMPORELLE DES PRELEVEMENTS

### a - Position des stations

#### A Gravelines

En 1974-75 nous avons porté notre attention sur une zone de 3 milles nautiques vers le large sur 10 milles nautiques parallèlement à la côte. Les stations, au nombre de 15, étaient placées d'une part selon trois radiales divergentes à partir du rivage, et d'autre part sur une parallèle à la côte (fig. 10).

L'étude des prélèvements réalisés la première année ayant montré l'homogénéité de la masse d'eau dans un plan parallèle à la côte, une nouvelle maille spatiale d'échantillonnage a été testée le 15 décembre 1975, puis reprise ensuite. Cette méthode vise à échantillonner la masse d'eau qui circule en un point tout au long d'un cycle de marée. Trois stations ont été retenues, Côte (C), Médian (M), et Large (L), situées sur une radiale à l'ouest de l'avant-port ouest de Dunkerque (fig. 10 ). Les prélèvements y sont effectués aux étales de pleine mer et de basse mer. Le point M, qui joue le rôle de "point fixe", est également échantillonné aux mi-marées et à l'étale de pleine-mer suivante (fig. 11 ). Si, pendant le temps mis pour effectuer les trois prélèvements de la radiale, la masse d'eau se déplace peu (déplacement inférieur à 1 mille), lors de la dernière station de la radiale (C1), le courant peut atteindre une vitesse importante (1,25 noeud le 18 novembre 1976, soit 64 cm/s). Le port de Grand-Fort-Philippe étant un port à marées nous avons parfois dû décaler les horaires des sorties par rapport aux heures de pleine mer, afin de pouvoir exécuter pendant le jour la majeure partie des expériences.

Nous avons maintenu les prélèvements à la station la plus à l'ouest de l'étude précédente [st. 2, que nous avons appelé Hors-Zone (HZ)]. Afin de déterminer l'influence des arrivées d'eau douce sur le milieu, nous avons aussi échantillonné une station placée à la sortie de l'Aa.

Dans le but de multiplier les données en dehors des campagnes à la mer, des prélèvements hebdomadaires ont été réalisés au moment de la pleine mer, à l'aide d'une pompe, à partir de la digue de l'avant-port ouest de Dunkerque : digue ouest (D.W.) chaque fois que le temps le permettait, sinon digue est (D.E.) à l'abri du port (fig. 10 ).

En 1978 l'échantillonnage a été limité aux trois stations de la radiale à l'étale de pleine mer, et à la station Hors-Zone. Le point M qui, en 1976-77, était placé dans le chenal d'accès à l'avant-port ouest, a été positionné en bordure de celui-ci, plus près de la côte. L'emplacement du point C correspond à la position que peut prendre le bateau, le plus près possible de la côte, sans risque de s'échouer sur la digue de l'avant-port. Le point situé à la sortie de l'Aa a été reporté dans le fleuve lui-même, près de Gravelines. Des prélèvements ont été réalisés aussi dans l'avant-port ouest, à l'entrée du canal d'amenée des eaux de refroidissement de la centrale (Ca) (fig. 10 ).

Les stations sont repérées à l'aide du "Navigator Decca" (de précision 50 à 100 m). Leur position est mentionnée dans le tableau 3, selon leurs coordonnées DECCA. Nous avons également indiqué leur position géographique. Cette position correspond à celle du bateau lors de la mise à l'eau des engins de prélèvement. Par suite de la présence des courants, celle-ci peut plus ou moins varier entre le début et la fin des prélèvements.

En 1974-75 la colonne d'eau a été échantillonnée sur toute sa hauteur, tous les 5 mètres, de la surface jusqu'au fond. En 1976-77 trois niveaux seulement ont été retenus : surface, - 5 m et fond, aux stations C, M, L et HZ, surface uniquement au point Aa. En 1978, compte tenu de l'homogénéité verticale de la couche d'eau, le programme a été allégé et les prélèvements ont été réalisés en surface au point C et à l'entrée du canal, en surface et à - 5 m aux stations M, L et HZ.

#### Dunkerque littoral (R.N.O.) .....

En face de Dunkerque les quatre stations d'étude sont situées sur une radiale à peu près perpendiculaire au rivage, à l'ouest de l'entrée de l'avant-port est (fig. 10 ). Le point n° 1, décalé vers l'est par rapport à la radiale, est placé en bordure du chenal d'accès à l'avant-port. La position géographique des différentes stations est précisée dans le tableau 3.

Les prélèvements ont été faits en sub-surface et près du fond. En 1978 les stations 2, 3 et 4 n'ont été échantillonnées qu'en sub-surface.

#### Dunkerque port .....

La station d'étude du milieu portuaire (st. E) est située près de l'écluse Ch. de Gaulle, du côté opposé du bassin par rapport à la centrale thermique E.D.F. (fig. 10 ). Les mesures ont été réalisées en sub-surface, à - 5 m et - 10 m.

### b - Calendrier des sorties

#### Gravelines .....

La campagne du 29 septembre 1974 a eu lieu à bord du PLUTEUS, bateau attaché à la Station Biologique de Roscoff, alors en mission en face



Tableau 3 : Position des stations de prélèvement dans le milieu littoral.

Gravelines

Stations	Coordonnées DECCA	Coordonnées géographiques
<u>1974-1975</u>		
1	H 33 - F 6	N 51° 0' 9/10 - E 2° 2' 5/10
2	H 32 - F 6	N 51° 1' 9/10 - E 2° 1' 2/10
3	H 32 - F 7	N 51° 1' 7/10 - E 2° 2' 9/10
4	H 32 - F 8	N 51° 1' 4/10 - E 2° 4' 7/10
5	H 31,7 - F 9	N 51° 1' 5/10 - E 2° 5' 9/10
6	H 31,5 - F 10	N 51° 1' 4/10 - E 2° 7' 4/10
7	H 31 - F 10	N 51° 2' 0/10 - E 2° 6' 8/10
8	H 31 - F 11	N 51° 1' 6/10 - E 2° 8' 6/10
9	H 30,5 - F 11	N 51° 2' 3/10 - E 2° 7' 8/10
10	H 30 - F 11	N 51° 2' 9/10 - E 2° 7' 2/10
11	G 47 - F 11,5	N 51° 3' 9/10 - E 2° 6' 6/10
12	G 47,5 - F 13	N 51° 2' 9/10 - E 2° 10' 0/10
13	G 46,5 - F 15	N 51° 3' 6/10 - E 2° 12' 2/10
14	G 45,5 - F 16	N 51° 4' 5/10 - E 2° 12' 4/10
15	G 46 - F 17	N 51° 3' 7/10 - E 2° 15' 0/10
<u>1976-1977</u>		
C	H 30,7 - F 11	N 51° 2' 1/10 - E 2° 8' 4/10
M	G 47,8 - F 12,1	N 51° 2' 8/10 - E 2° 8' 9/10
L	G 47,2 - F 12,2	N 51° 3' 4/10 - E 2° 9' 1/10
HZ	H 32 - F 6	N 51° 1' 9/10 - E 2° 1' 1/10
Aa	G 32 - F 8,5	N 51° 1' 3/10 - E 2° 5' 4/10
Digue Ouest		N 51° 1' 7/10 - E 2° 8' 8/10
Digue Est		N 51° 2' 4/10 - E 2° 11' 0/10
<u>1978</u>		
C	H 31,1 - F 11	N 51° 1' 5/10 - E 2° 8' 8/10
M	H 30,5 - F 11,2	N 51° 2' 2/10 - E 2° 8' 2/10
L	G 47,2 - F 12,2	N 51° 3' 4/10 - E 2° 9' 1/10
HZ	H 32 - F 6	N 51° 1' 9/10 - E 2° 1' 1/10
Canal		N 51° 1' 3/10 - E 2° 9' 2/10

Dunkerque littoral (R.N.O.)

Station	Distance à la côte (km)	Profondeur moyenne (m)	Coordonnées géographiques
1	1	12,5	N 51° 4' 2/10 - E 2° 20' 2/10
2	2,5	10	N 51° 4' 6/10 - E 2° 18' 0/10
3	6,5	14	N 51° 6' 6/10 - E 2° 17' 2/10
4	1,2	32	N 51° 9' 2/10 - E 2° 15' 0/10



Tableau 4 : Calendrier des sorties à Gravelines.

Date	Stations échantillonnées	Coefficient de la marée
1974 29 septembre	5 - 9 - 10 - 11 - 12	74
17 novembre	2 - 3 - 4 - 5 - 8 - 9 - 10	76
1975 2 février	1 à 8	78
9 février	9 à 15	70
8 mars	1 à 10	46
13 avril	1 à 4	88
19 avril	4 - 6 - 10 - 11	49
9 mai	7 - 8 - 9 - 12 - 13 - 14 - 15	74
10 mai	1 à 6 - 10 - 11	80
20 mai	1 à 6 - 8 à 11	63
1er juin	1 à 15	49
2 juillet	1 à 15	45
30 août	1 à 15	43
6 octobre	2 à 6 - 8 à 15	116
15 décembre	C - M - L	55
1976 20 août	C - M - L - HZ - Aa	37
20 septembre	C - M - L - HZ - Aa	58
18 octobre	C - M - L - HZ - Aa	46
18 novembre	C - M - L - HZ - Aa	66
17 décembre	M1	62
1977 7 janvier	M1 - M2 - L1 - C1 - M3 - HZ - Aa	86
17 janvier	C - M - L - HZ - Aa	71
15 février	C - M - L - HZ - Aa	70
19 mars	M1 - L1 - C1 - HZ - Aa	91
12 avril	C - M - L - HZ - Aa	49
14 mai	C - M - L - HZ - Aa	65
9 juin	C - M - L - HZ - Aa	53
4 juillet	C - M - L - HZ - Aa	92
1978 7 février	C - M - L - HZ - Canal - Aa	97
2 mars	C - M - L - HZ - Canal - Aa	58
29-30 mars	C - M - L - HZ - Canal - Aa	73
19 avril	C - M - L - HZ - Canal - Aa	58
24 avril	M (phytoplancton)	
3 mai	C - M - L - HZ - Canal - Aa	65
20-21 mai	C - M - L - HZ - Canal - Aa	86
9 juin	M (phytoplancton)	
20 juin	C - M - L - HZ - Canal - Aa	91
18 juillet	C - M - L - HZ - Canal - Aa	76
17 août	C - M - L - HZ - Canal - Aa	87
19 septembre	C - M - HZ - Canal - Aa	105
12 octobre	C - M - L - HZ - Canal - Aa	59
14 novembre	C - M - HZ - Canal - Aa	92
18 décembre	C - M - HZ - Canal - Aa	74

Tableau 5 : Calendrier des sorties à la station  
"DIGUE" (Gravelines, 1976-77).

20.08.76	DIGUE OUEST	25.02.77	DIGUE OUEST
27.08.76	OUEST	4.03.77	EST
3.09.76	EST	10.03.77	OUEST
10.09.76	EST	18.03.77	OUEST
20.09.76	OUEST	24.03.77	OUEST
24.09.76	OUEST	1.04.77	EST
30.09.76	OUEST	7.04.77	OUEST
8.10.76	OUEST	12.04.77	OUEST
22.10.76	OUEST	21.04.77	OUEST
29.10.76	OUEST	29.04.77	OUEST
5.11.76	OUEST	6.05.77	OUEST
12.11.76	OUEST	14.05.77	OUEST
18.11.76	OUEST	20.05.77	OUEST
3.12.76	OUEST	27.05.77	OUEST
10.12.76	OUEST	3.06.77	OUEST
17.12.76	OUEST	9.06.77	OUEST
22.12.76	OUEST	15.06.77	OUEST
4.01.77	OUEST	23.06.77	OUEST
7.01.77	OUEST	1.07.77	OUEST
17.01.77	OUEST	4.07.77	OUEST
21.01.77	OUEST	13.07.77	OUEST
27.01.77	OUEST	22.07.77	OUEST
4.02.77	OUEST	29.07.77	OUEST
10.02.77	OUEST	5.08.77	OUEST
18.02.77	EST	12.08.77	OUEST
		19.08.77	OUEST

Tableau 6 : Calendrier des sorties dans le port de Dunkerque (station E).

Date	Hydrobiologie (Hydrologie-Chl.a)	Phytoplancton (Etude taxonomique)
1977 19.01	+	
28.01	+	
04.02	+	
25.02	+	
27.02		+
02.03		+
04.03	+	+
10.03	+	+
18.03	+	+
24.03	+	+
01.04	+	+
07.04	+	+
14.04	+	+
29.04	+	+
06.05	+	+
14.05	+	+
27.05	+	+
3.06	+	+
9.06	+	+
15.06	+	+
23.06	+	
1.07	+	+
13.07	+	+
22.07	+	+
29.07	+	+
05.08	+	+
12.08	+	+
19.08	+	+
26.08	+	
09.09	+	+
20.09	+	+
05.10	+	+
13.10	+	+
25.10	+	+
2.11	+	+
9.11	+	+
29.11	+	+
9.12	+	+
15.12	+	+
22.12	+	+
1978 5.01	+	+
18.01	+	+
25.01	+	+
17.02	+	+
01.03	+	+
13.04	+	
26.04	+	+
5.05	+	+
23.05	+	
6.06	+	+
21.06	+	+
12.07	+	+
27.07	+	+



de Gravelines. Les autres sorties de 1974-75 ont été faites à bord du DRAKKAR, celles de 1976-77-78 à bord du St ELOI, chalutier basé à Grand-Fort-Philippe.

Chaque cycle d'étude comporte 12 ou 13 campagnes en mer, à raison d'une par mois environ, mais à un rythme plus rapide au printemps. Chaque fois que cela est possible les sorties ont lieu en période de faibles coefficients de marée. Les dates des sorties, ainsi que les stations échantillonnées, sont indiquées dans les tableaux 4 et 5.

#### Dunkerque .....

Sur le littoral et dans le port la périodicité des campagnes est hebdomadaire. L'échantillonnage et les mesures sur le littoral de Dunkerque, de 1976 à 1978, ont été assurés par le Port Autonome de Dunkerque pour le R.N.O. Les prélèvements et les mesures d'hydrobiologie dans le port (janvier 1977 à juillet 1978) ont été réalisés par J.-M. BRYLINSKI (1979)\*. Ces derniers sont plus espacés au début de l'année 1978 (tableau 6).

### 6 - CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

Les mesures et prélèvements destinés à l'étude des paramètres physico-chimiques et à celle du phytoplancton ont été réalisés simultanément.

Les tableaux 7, 8 et 9, et les figures 12, 14, 18, 21, 24, 26, 29, 31, 34, 35, reprennent les données concernant les variations temporelles des paramètres physico-chimiques au niveau de la radiale (st. 8, 9, 10, 11 en 1974-75 ; C, M, L en 1976-77-78) sur le site de Gravelines. Nous étudierons les caractères du milieu littoral, en précisant ceux qui sont propres à chacun des deux sites,\*\* et nous reprendrons les données de BRYLINSKI (1979) pour le milieu portuaire.

#### a - Température

La température de l'eau dépend en grande partie de celle de l'air : en effet, par suite du phénomène de conduction thermique, la température de l'eau de surface et celle de l'air tendent à s'équilibrer. La présence des courants dans le milieu littoral contribue à assurer un mélange de la colonne d'eau, accentuant les échanges entre la surface et

---

\* Nous remercions J.-M. BRYLINSKI de nous avoir fourni régulièrement des échantillons d'eau pour l'étude du phytoplancton.

\*\* Les variations des paramètres physico-chimiques du milieu littoral en face de Dunkerque (R.N.O.) sont présentées en annexe dans le volume "figures".

le fond. Il faut y ajouter l'influence des vents : lorsqu'ils sont importants, il y a accélération du processus d'évaporation, encore augmenté par l'accroissement de l'interface eau - atmosphère quand la mer est agitée. D'après TRAVERS et TRAVERS (1972), l'évaporation joue un rôle prépondérant dans le refroidissement de la mer, comparé à ceux du rayonnement vers l'atmosphère et des échanges par convection.

Les courbes de variation de la température de l'eau (fig.12.1et12.2) ont, comme celles de la température de l'air (fig. 7 ), une allure sinusoïdale. Les variations de la température de l'eau sont corrélées à celles de la température de l'air, mais sont moins accentuées, ce qui résulte de l'inertie thermique de la masse d'eau. Le maximum thermique se situe en août (juillet dans le port de Dunkerque), le minimum en janvier. En 1978, la température de l'eau est la plus faible fin février-début mars ; ceci est la conséquence du minimum de température de l'air en février et non en janvier comme les autres années (température de l'air : - 6,0° C le 20 février 1978). On remarque, comme pour la température de l'air, un deuxième minimum de la température de l'eau en avril.

Les températures extrêmes sont indiquées dans le tableau 10.

Tableau 10 : Températures extrêmes.

Année	Date	T° minimale (°C)		T° maximale (°C)			ΔT moyen
		Ponctuelle	Moyenne/campagne	Date	Ponctuelle	Moyenne/campagne	
Gravelines							
1974-75	9.02.75	6,2	6,4	30.08.75	19,2	19,0	12,6
1976-77							
radiale	17.01.77	4,87	5,14	20.08.76	20,58	20,04	14,9
St. Digue	17.01.77	4,45		20.08.76	20,2		15,7
1978							
radiale	2.03	5,50	5,57	17.08	17,30	17,21	11,6
Dunkerque littoral (R.N.O.)							
1976	2.02	3,0	3,9	16.08	20,1	19,7	15,8
1977							
	17.01	5,0 (st. 1)	5,7	16.08	17,7	17,5	11,9
	24.01	5,3 (st. 3)	5,6				
1978	21.02	3,0	3,1	24.08	17,8	17,6	14,5
Dunkerque port (BRYLINSKI, 1979)							
1977	19.01	7,9	8,5	26.08	23,79	21,89	13,4

Pendant la période d'étude la température de l'eau dans le milieu littoral varie de 3,0° C à 20,6° C avec des  $\Delta T$  annuels moyens ( $\Delta T$  moyen = T° moyenne maximale - T° moyenne minimale) de 11,6° C à 15,8° C. D'après ces valeurs nous pouvons classer le milieu littoral parmi les mers tempérées froides (catégories définies par PERES, 1961). L'hiver 1977 semble être le plus froid à Gravelines : la température descend jusqu'à 4,9° C au point côtier (4,45 à la station digue) le 17 janvier. Mais on observe une température de 30° C à Dunkerque (R.N.O.) en 1976 et 1978. En août 1976, période la plus chaude, la température de l'eau atteint 20° C. L'été 1978 est le plus frais à Gravelines : la température de l'eau ne semble pas dépasser 18° C ; ceci résulte de la stabilité de la température de l'air en juin-juillet, qui retarde le réchauffement de l'eau. Dans le port de Dunkerque les températures extrêmes sont 7,9 ° C et 23,8° C en 1977. En 1978 le minimum est 6,9° C à 10 m.

La zone marine côtière subit l'influence des masses d'air continental. L'épaisseur de la couche d'eau limitant les échanges thermiques, cette influence diminue quand on s'éloigne vers le large, d'où l'existence d'un gradient côte-large. L'action du continent est rendue encore plus sensible par les arrivées d'eaux douces au niveau de l'Aa. Au printemps et en été l'eau est plus chaude à la côte qu'au large (fig.12.1, 13.1). En automne et en hiver la température de l'air diminue, ce qui entraîne une inversion du gradient thermique, l'eau se refroidissant plus vite près de la côte (fig.12.1, 13.2). Lors des chutes de température au printemps, on observe un gradient inverse du gradient printanier habituel (fig. 13.3).

Les variations de température sont moins accusées au large qu'à la côte. Les  $\Delta T$  annuels aux points extrêmes de la radiale sont les suivants : Gravelines

1974-75	points 9 et 11	$\Delta T = 12,6$ et $12,5$
1976-77	C et L	15,11 et 14,28
1978	C et L	11,64 et 11,57

Dunkerque (R.N.O.)

1976	points 1 et 4	$\Delta T = 17,1$ et $14,8$
1977	points 1 et 4	12,7 et 11,3
1978	points 1 et 4	14,8 et 12,7

Les phénomènes d'échanges thermiques entre l'atmosphère et le milieu marin sont accrus à la partie supérieure de la colonne d'eau par suite de la proximité de l'interface eau-atmosphère. On note donc un gradient de température de la surface vers le fond, dont la polarité varie selon les saisons. En été la température est plus élevée en surface et diminue vers le fond (fig.13.1). En automne le gradient s'inverse : l'eau se refroidit alors plus vite en surface qu'au fond (fig.13.2). La différence de température entre la surface et le fond est faible dans le milieu littoral: le  $\Delta T_{(0m-15m)}$  atteint rarement  $1,0^\circ C$  et est souvent inférieur à  $0,5^\circ C$ . Dans le milieu fermé du port ce  $\Delta T$  est beaucoup plus important: le  $\Delta T_{(0m-10m)}$  peut atteindre  $3,3^\circ C$ . Les eaux chaudes y restent toujours en surface quelle que soit la saison.

La faible hauteur de la couche d'eau littorale et son brassage continu par les courants ne permettent pas l'installation d'une thermocline. Par contre des "microthermoclines" peuvent s'établir dans le port par temps calme.

#### b.- Salinité

Les fluctuations de la salinité dépendent essentiellement de l'importance de l'évaporation (accrue par temps chaud ou en cas de tempête) et des effets contraires résultant des apports d'eaux douces (précipitations, apports fluviaux, ...). Lors des périodes de vent d'est-nord-est les masses d'eaux dessalées du Gyre d'Ostende (fig. 4 ) semblent pouvoir être poussées par le vent jusque dans la région dunkerquoise.

La salinité du milieu littoral est généralement comprise entre  $33\text{‰}$  et  $34,5\text{‰}$  (fig. 14 ). Elle dépasse parfois  $34,5\text{‰}$  :  $34,56\text{‰}$  en moyenne sur toute la zone à Gravelines [ $34,69\text{‰}$  en moyenne sur la radiale (st. 8 à 11)] le 30 août 1975 [(1) fig. 14 ]. Cette campagne se situe à la fin d'une période peu pluvieuse, à laquelle correspond un faible débit de l'Aa, et à un moment où la température élevée favorise l'évaporation. On observe à nouveau une forte salinité en octobre 1976 [(2) fig. 14 ] :  $34,58\text{‰}$  le 10 à Gravelines,  $34,72\text{‰}$  le 19 à Dunkerque ; bien que la pluviosité soit assez importante en septembre-octobre le débit de l'Aa est faible. La salinité retrouve des valeurs élevées au cours de l'été 1977 (station Digue à Gravelines) ; à Dunkerque elle atteint  $34,92\text{‰}$ , le 19 septembre. On ne remarque pas d'aussi fortes valeurs en 1976, (sauf en janvier à Dunkerque), malgré une pluviosité plus faible que les années



précédentes et un apport d'eau réduit au niveau de l'Aa. La salinité enregistrée pendant la deuxième moitié de 1978 est supérieure à celle du reste de l'année ; ceci est la conséquence de la réduction des apports de l'Aa à partir du mois de juin.

Le petit nombre de mesures en 1974 ne permet pas d'estimer les répercussions de la forte pluviosité de l'automne sur le milieu littoral. Malgré de faibles pluies en avril-mai 1975 et le débit de l'Aa relativement peu important à partir de la mi-avril, la salinité est très basse en mai 1975 à Gravelines (30,45‰ le 9 ; 31,34‰ le 10 ; 31,61 ‰ le 20 ; 30,72‰ le 1er juin : (3), (4), (5) fig. 14). A la suite d'une période de vents d'E-NNE qui peuvent amener sur le site des eaux dessalées provenant du Gyre d'Ostende, la campagne du 9 mai présente une situation originale. Nous avons estimé la vitesse et la direction du courant de dérive dû au vent pendant la période précédant la campagne, selon les deux hypothèses : 2,4 % et 0,8 % de la vitesse du vent (cf. chap. I-2) en considérant que la vitesse et la direction du vent (relevées au Bateau-feu Sandettie ; Bull. météorologique régional, Détroit du Pas-de-Calais) sont constantes au cours de la journée (tableau 11 ). La figure 15 représente le trajet des particules d'eau pendant la période précédant la campagne, compte-tenu de la vitesse et de la direction du courant induit par le vent (qui fait un angle de 20° avec la direction du vent, cf. chp. I-2) et du courant de marée dont la direction de flot est contraire à celle du courant induit par le vent. D'après le trajet reconstitué dans la figure 15 les particules d'eau semblent bien pouvoir provenir du Gyre d'Ostende. La salinité mesurée le 10 mai est supérieure à celle du 9 mai : d'une part les stations échantillonnées le 10 sont plus au large (st. 10 et 11 le 10 mai, 8 et 9 le 9 mai) ; d'autre part il n'y a pas de vent le 10 et le courant de marée dirigé vers le NE ramène sur la zone les eaux dessalées qui y étaient passées la veille et qui depuis se sont diluées dans des eaux plus salées. La situation observée le 9 mai 1975 à Gravelines se reproduit le 20 mai et le 1er juin 1975, ainsi qu'en avril 1976 et en mai 1977 à Dunkerque [S‰ = 31,97 ‰ le 29 avril, 32,53 ‰ au point 1 le 26 mai 1977 à Dunkerque (R.N.O.)].

Tableau 11 : Estimation de la vitesse du courant de dérive dû au vent pendant la période précédant la campagne du 10 mai 1975.

(La vitesse et la direction du vent sont considérées constantes pendant 24 h).

Date	Direction du vent	Vitesse du vent (noeuds)	Dérive due au vent (km/jour)		Coefficient de marée	Courant de marée (km/jour)	Résultante du courant dû au vent et du courant de marée	
			2,4 %	0,8 %			2,4 %	0,8 %
10 mai 1975		calme						
9 mai	NE	15	16,0	5,3	80	6,6	- 6,6	- 6,6
8 mai	E	18	19,2	6,4	74	5,8	10,2	- 0,5
7 mai	NNE	28	30,0	9,9	67	4,8	14,4	1,6
6 mai	NNE	30	32,0	10,7	58	3,6	26,4	6,3
5 mai	NNE	28	30,0	9,9	49	2,4	29,6	8,3
					42	1,4	28,6	8,5



A la fin de 1975 on enregistre le retour de la salinité à 33 ‰ à Gravelines après les fortes pluies de novembre et les arrivées d'eau douce importantes au niveau de l'Aa. On observe à nouveau une dessalure à la station Digue, le 3 décembre 1976. Les variations de la salinité en 1976-77 suivent assez fidèlement celles de la pluviosité. L'augmentation de la pluviosité à la fin de 1978 semble se traduire par une baisse de la salinité (nous ne connaissons pas le débit de l'Aa à cette période).

La salinité moyenne pour chaque cycle d'étude au niveau de la radiale est

à Gravelines :	32,68 ‰	en 1975	(32,65 ‰ en moyenne pour toutes les stations en 1974-75).
	34,10 ‰	en 1976-77	
	33,84 ‰	en 1978	
à Dunkerque :	34,2 ‰	en 1976	
(R.N.O.)	34,3 ‰	en 1977	
	33,9 ‰	en 1978	

Ces valeurs sont proches de la salinité moyenne que donne JO PODAMO (1973) pour la moitié sud de la partie côtière de la Mer du Nord : 33,9 ‰. La faible valeur correspondant à l'année 1975 résulte de la forte dessalure du printemps exceptionnel. Les salinités maximales sont presque toujours inférieures à 35,1 ‰, salinité moyenne de la partie océanique de la Mer du Nord (JO PODAMO, 1973) : ceci traduit l'importance des arrivées d'eau douce sur les sites côtiers du sud de la Mer du Nord.

Les prélèvements réalisés à la station Digue et en face de Dunkerque permettent de mettre en évidence la variation rapide de la salinité, dont les valeurs peuvent différer de 0,5 ‰ ou plus en l'espace de huit jours, particulièrement au printemps 1977.

L'arrivée d'eaux douces continentales entraîne la présence d'un gradient de salinité, résultat de la dilution de ces eaux douces en mer. La salinité augmente donc quand on s'éloigne vers le large (fig. 14, 16.1, 16.2). L'influence de l'Aa est particulièrement nette en période de forte dessalure (fig. 16.1). Le gradient peut être perturbé par la présence d'eau dessalée au point médian à Gravelines (fig. 16.2). Il arrive parfois que la salinité soit plus faible au point du large à Gravelines, ou aux stations 3 ou 4 à Dunkerque ; les courants pourraient y amener des eaux dessalées venant de Calais. Quand le vent souffle du sud-est il peut amener les eaux de l'Aa un peu plus au large (17 juillet 78 et 10 octobre 78 à Dunkerque).

Selon les lois de densité, une eau plus salée doit se situer près du fond. Ceci est généralement le cas dans la zone étudiée. Ce gradient peut être modifié par une arrivée d'eau douce au niveau du point C à Gravelines où l'eau est alors plus salée en surface. Cette arrivée d'eau douce est décelée au point C1 en février, avril et juin 1977 (fig.16.2). On note fréquemment la présence d'eau dessalée en surface au point médian à Gravelines, particulièrement en avril et juin 1977 (fig.16.2) avril, juillet et août 1978, et à la station 1 à Dunkerque.

Dans le port de Dunkerque la salinité moyenne à la station E varie de 31,0 à 32,5‰ de janvier à juillet 1977 (fig. 17 ). D'août à octobre elle est très souvent supérieure à 32‰ et atteint 32,8‰. A partir de novembre elle diminue, ce jusqu'à la fin de l'année, jusqu'à une valeur de 30,5 ‰ le 22 décembre. Comme à Gravelines, la salinité est faible au début de l'année 1978 : de 29,5‰ à 31,0‰.

Le gradient vertical est tel que les eaux les plus salées restent au fond. Il peut cependant être perturbé en surface par les rejets E.D.F..

### c - Densité

La densité de l'eau est fonction de la salinité, de la température et de la pression (pour une pression donnée, une baisse de salinité ou une augmentation de température entraînent une diminution de la densité).

Les courbes de variation de la densité (fig. 18,19 ), comme celles de la température (fig.12.1,12.2), suivent des allures de sinus. Mais leurs décours sont inversés : alors que la température est maximale en été, la densité est à sa valeur minimale, et inversement en hiver. Les variations de la densité à Gravelines et à Dunkerque (milieux littoral et portuaire) paraissent donc essentiellement liées à celles de la température. Les irrégularités de la courbe de variation de la densité par rapport à celle de la température sont dues à l'influence de la salinité : les baisses de densité correspondent aux diminutions de la salinité. En 1975 à Gravelines, la densité est minimale en mai, début juin et non en août ; ceci résulte de la dessalure importante à cette période. Il en est de même dans le port de Dunkerque en juin 1978.

La densité à Gravelines varie de 1,02324 g/cm<sup>3</sup> en moyenne le 1er juin 1975 (1,02283 g/cm<sup>3</sup> à la station 13 en surface) au moment de la dessalure à 1,02703 g/cm<sup>3</sup> en moyenne le 7 janvier 1977 (1,02716 g/cm<sup>3</sup> au point L) pendant la période la plus froide. Elle est en général comprise entre 1,025 g/cm<sup>3</sup> et 1,027 g/cm<sup>3</sup> à Gravelines, 1,024 g/cm<sup>3</sup> et 1,026 g/cm<sup>3</sup>

en face de Dunkerque (R.N.O.), 1,021 g/cm<sup>3</sup> et 1,024 g/cm<sup>3</sup> dans le port.

A l'échelle d'une campagne ce sont plutôt les variations de la salinité qui déterminent la distribution spatiale de la densité, puisque le gradient d'augmentation se maintient de la côte vers le large durant toute l'année (fig. 18,20 ). La distribution de la densité les 12 avril et 9 juin 1977 à Gravelines reflète bien celle de la salinité (fig.16.2 ). La densité est plus élevée au voisinage du fond (fig. 20 ).

#### d - Turbidité

La turbidité a été estimée par deux méthodes : calcul du poids de matières en suspension à chaque niveau échantillonné (fig. 21 ) et mesure de la transparence de l'eau au moyen du disque de Secchi (fig.24).

##### Matières en suspension .....

La turbidité de l'eau de mer résulte de la présence d'organismes vivants d'une part, et de particules minérales ou organiques en suspension d'autre part. L'observation au microscope des échantillons d'eau après sédimentation des particules montre qu'il s'agit d'une turbidité essentiellement détritique à Gravelines. Le matériel vivant y représente rarement plus de 10 % du volume des particules. Dans le port de Dunkerque la quantité de matières minérales est plus importante que celle de matières organiques, les premières pouvant dépasser 4/5 du poids total des particules en suspension.

La turbidité du milieu littoral est maximale en hiver, mais de fortes valeurs ont été remarquées au printemps à Gravelines. Elle est minimale en été. Les teneurs moyennes les plus élevées sont :

- 36 mg/l le 15 décembre 1975 à Gravelines
- 41 mg/l le 17 janvier 1977 à Gravelines
- > 40,3 mg/l le 7 février 1978 à Gravelines
- 34,3 mg/l le 28 mars en 1978 en face de Dunkerque (niveau de sub-surface seulement).

Les mouvements de l'eau qui remettent en suspension le tripton sont la conséquence des courants de marée et des vents. Il existe en 1974-75 et 1976-77 à Gravelines une relation positive entre le taux de matières en suspension et le coefficient de la marée (fig.22.1). Cette relation est significative à 95 % mais possède un faible coefficient de corrélation. En effet on observe parfois des écarts importants entre les valeurs relevées et la courbe calculée. Ces écarts ont sans doute deux origines : l'action du vent, plus ou moins violent, et l'importance des courants de marée pendant les quelques jours précédant la campagne (pour

un même coefficient, la turbidité sera plus grande après une période de vive-eau qu'après une période de morte-eau). On ne remarque pas de relation entre la force du vent et la turbidité. Cette dernière semble donc être essentiellement liée au coefficient de marée. On peut interpréter partiellement les variations de la turbidité (fig. 21) à l'aide de la relation MES-coeff.de marée. Ainsi en 1976-77 la grande quantité de matières en suspension des mois de janvier et février ((1),(2),(3)) correspond à des périodes de coefficients de marée élevés ; au contraire en octobre (4) et en juin (5) les coefficients sont faibles et la turbidité peu importante. Dans la figure 22.2 nous avons représenté la quantité de matières en suspension en fonction du coefficient de marée et de la force et de la direction du vent le jour de la campagne et les deux jours précédents (coeff. marée et force du vent = moyenne des coefficients et de la force du vent le jour de la campagne et les deux jours précédents). La côte est protégée des vents de SSW à SE par la présence du Cap Gris Nez ; leurs effets s'en trouvent donc atténués. Nous en avons tenu compte en divisant arbitrairement par deux la valeur de la force du vent quand il venait de cette direction. L'action des vents peut avoir pour conséquence une augmentation de la turbidité, particulièrement par vent de nord ou d'ouest [20 août 1976 : (6), fig. 22.1 et 22.2]; 17 janvier 1977 (2)]. La quantité de matières en suspension est moins importante après une période de faibles coefficients (octobre (4), novembre (7) 1976) qu'après une période de forts coefficients [7 janvier 1977 (1), 4 juillet 1977 (8)]. L'influence des apports de particules en suspension dans les eaux telluriques n'est pas à négliger. En effet en période de faible salinité ( $S^-$  fig.221,222) la turbidité peut être élevée. Au contraire en période de forte salinité ( $S^+$ ) elle est plus faible.

Nous avons calculé la relation linéaire qui lie la quantité de matières en suspension au coefficient de marée et à la force du vent (ces deux derniers paramètres étant calculés comme indiqué précédemment ; nous n'avons pas retenu les campagnes au cours desquelles la salinité était très faible afin d'éviter de prendre en compte une turbidité d'origine trop différente de celles étudiées dans la relation). L'augmentation du pourcentage de variance produite par l'introduction du paramètre vent dans la détermination de la turbidité n'est pas significative. C'est donc la vitesse des courants de marée (qui est corrélée au coefficient de marée) qui conditionne en grande partie les variations de la quantité de matières en suspension que nous avons observées dans le milieu littoral de Gravelines en 1975 et 1976-77. Nos résultats ne tiennent pas compte de la turbidité qui peut apparaître pendant les périodes de tempête ; si tel était le cas, la relation serait sûrement modifiée.

La relation M.E.S.-coeff.de marée n'est pas observée en face de Dunkerque (R.N.O.), ni à Gravelines en 1978.

En 1977 dans le port de Dunkerque la quantité de matières en suspension est faible en hiver (8 mg/l) et augmente au printemps. A la fin du printemps et en été elle est assez stable (20 à 30 mg/l), puis diminue à partir de septembre. Le passage des bateaux remet en suspension les particules déposées sur le fond. De même l'arrivée d'eau de l'avant-port lors des éclusées provoque l'agitation du milieu et constitue en outre un apport de particules en suspension. En effet l'eau doit être plus turbide dans l'avant-port, soumis à l'influence des marées et à des mouvements de navires plus nombreux que dans les bassins.

Une partie des particules en suspension dans l'eau est d'origine continentale et arrive en mer par l'intermédiaire des fleuves. Par suite de la dilution et du dépôt de ces particules sur le fond par gravité, et parce que les effets de l'agitation de l'eau sont plus sensibles quand la profondeur est faible, la quantité de matières en suspension diminue quand on s'éloigne vers le large (fig. 21,23.1,23.2 ). Il n'y a pas de relation entre la turbidité et la salinité. L'agitation de l'eau provoque la remise en suspension des particules déposées sur le fond, d'où leur plus grande quantité aux niveaux les plus profonds de chaque station (fig.23.2).

A Gravelines la turbidité peut être plus importante au voisinage de la digue (fig.23.1). Les tourbillons dus à la présence de la digue ouest de l'avant-port de Dunkerque (cf. début du chapitre ) sont à l'origine d'une turbidité souvent plus grande au point médian qu'au point côtier, surtout en 1978 (fig.21,23.2).

#### Transparence de l'eau .....

La transparence de l'eau dépend de la qualité et de la quantité des particules qu'elle contient. Ceci se traduit à Gravelines et à l'extérieur du port de Dunkerque par des variations inverses de la profondeur de disparition du disque de Secchi et des taux de matières

en suspension (fig.24,21).La transparence de l'eau est généralement maximale en été et minimale en hiver. Dans le port de Dunkerque elle est minimale au printemps et maximale en automne (fig. 24 ) et n'est pas liée au poids de matières en suspension.

La transparence de l'eau est faible à Gravelines et à Dunkerque. Ses valeurs les plus élevées pour chaque cycle ou année d'étude sont les suivantes :

Date	Station	Profondeur de disparition du disque de Secchi (m)
Gravelines		
8 mars 1975	2	7
30 août 1975	11	7
9 juin 1977	L et HZ	3,5
18 juillet 1978	L	5,25
Dunkerque littoral (R.N.O.)		
12 avril 1976	3 et 4	8
26 mai 1977	{ 4	8
	{ 3	7
1 août 1978	4	7
24 août 1978	{ 4	7
	{ 3	6
Dunkerque port		
20 août 1977		3,8
13 octobre 1977		3,8

La profondeur de disparition du disque de Secchi est très souvent inférieure à 3,0 m, sauf aux stations 3 et 4 en face de Dunkerque. Les valeurs minimales sont plus faibles dans le milieu littoral (0,5 m) que dans le port (1,3 m). La transparence de l'eau dans le port de Dunkerque est en général plus grande que celle des points C et M de Gravelines, mais inférieure à celle du point L (fig. 24 ).

Dans le port de Dunkerque la saison printanière (mars-avril 1977, mai-juin 1978) est marquée par une transparence de l'eau en moyenne plus faible que pendant le reste de l'année, cependant que la quantité de matières en suspension n'est pas élevée. A cette période se développe le phytoplancton : celui-ci est plus léger que les particules minérales en suspension, mais le grand nombre de cellules constitue une barrière plus importante pour la pénétration de la lumière dans l'eau qu'une quantité équivalente de particules minérales.



Contrairement aux taux de matières en suspension, la transparence de l'eau augmente quand on s'éloigne de la côte (fig. 25 ). Elle est en moyenne de :

1,1 m	au point C à Gravelines en 1976-77
1,3 m	M
2,4 m	L
1,7 m	au point C à Gravelines en 1978
1,4 m	M
2,6 m	L
1,7 m	au point 1 à Dunkerque littoral en 1976
1,9 m	2
2,8 m	3
4,2 m	4
2,1 m	au point 1 à Dunkerque littoral en 1977
2,3 m	2
3,3 m	3
4,7 m	4
1,9 m	au point 1 à Dunkerque littoral en 1978
2,2 m	2
3,0 m	3
4,2 m	4
2,3 m	à la station E dans le port de Dunkerque en 1977

On remarque qu'en 1978 la transparence de l'eau est en général plus faible au point M qu'au point C à Gravelines.

Nous avons calculé la profondeur de compensation ( $Z_c$ ), qui correspond à la limite inférieure de la zone euphotique, à partir de la formule établie par STRICKLAND en 1958 :  $Z_c = 2,5 Z_s$ ,  $Z_s$  étant la profondeur de disparition du disque de Secchi. D'après cette formule,  $Z_c$  est toujours inférieure à 20 m (fig. 26 ) ; le plus souvent elle ne dépasse pas 10 m. Selon les travaux de JACQUES (1970) en Méditerranée, les propriétés optiques de l'eau de mer deviennent hétérogènes quand il y a dilution côtière et les indications du disque de Secchi conduisent à une sous-estimation de la profondeur de compensation.

Les quelques mesures de MOMMAERTS et HÖNIG (1971) dans le sud de la Mer du Nord semblent le confirmer : la constante  $F$  qui intervient dans le calcul du coefficient d'atténuation de l'eau (coeff. d'atténuation =  $\frac{F}{Z_s}$ ) est plus grande près des côtes qu'au large (fig. 27 ).

Dans le sud de la Mer du Nord MOMMAERTS (1973) estime que la profondeur de compensation varie de 2 m à la côte à 25 m au large.

Les mesures de production primaire "*in situ*" réalisées par BROUARDEL et JOSEPH (1978) dans le port de Dunkerque en 1976 montrent une rapide décroissance de celle-ci en fonction de la profondeur (fig. 28 ), bien que le phytoplancton soit potentiellement productif à tous les niveaux. A partir de ces résultats BROUARDEL situe le niveau où parvient 1% de l'éclairément de surface, à partir duquel la productivité devient négligeable, entre 3 et 4 m pour la majorité des expériences, vers 7 m le 19 août.

### e. pH

L'eau de mer est une eau basique dont le pH est toujours supérieur à 8,0 à Gravelines (fig. 29 ). On y remarque deux exceptions : le 9 juin 1977 à la station Digue et le 7 février 1978 à la station Canal où il est estimé respectivement à 7,98 et 7,96. En face de Dunkerque (R.N.O.) les valeurs du pH inférieures à 8,0 sont plus fréquentes : février-mars 1976, septembre 1976 à février 1977, octobre 1977, novembre 1978 (les minima sont 7,74 le 2 février 1976, 7,83 le 8 novembre 1976). Dans la zone portuaire, soumise à la fois aux apports d'eau douce et aux arrivées d'eau littorale, le pH est très variable : il peut baisser jusqu'à 7,63 à la station E. Sa valeur se situe plus souvent en dessous de 8,0 qu'au dessus.

Le pH peu élevé à la sortie de l'Aa le 18 novembre 1976 (7,83), et qui correspond à une faible salinité (20,90‰), traduit l'arrivée d'eau douce dans le milieu marin après l'ouverture des écluses.

Bien que l'on puisse parfois remarquer une relation entre le pH et la salinité, celle-ci n'existe pas au niveau des cycles annuels. Outre la dessalure, d'autres facteurs, tels la photosynthèse ou la décomposition des particules détritiques, influent sur la stabilité du pH. Le pH présente ses valeurs maximales au moment des blooms phytoplanctoniques. Il peut atteindre ou même dépasser 8,50 à Gravelines (avril 1975 et 1978, mai 1977) et dans le port de Dunkerque (11 juin 1978). En face de Dunkerque son maximum est 8,46 le 10 mai 1976. Cette augmentation du pH au printemps est généralement suivie d'une chute rapide (plus importante en 1977 qu'en 1978). En 1977 le pH passe de 8,58 le 14 mai à 8,18 le 9 juin à Gravelines, de 8,39 le 14 mai à 7,91 le 27 mai dans le port. La salinité varie respectivement de 34,11‰ à 34,03‰ à Gravelines et de 32,16‰ à 31,86‰ dans le port. De telles différences de salinité n'entraînent généralement pas des baisses du pH aussi importantes. Celles-ci sont plutôt dues à la conjugaison de plusieurs

phénomènes : diminution du stock phytoplanctonique et décomposition des phytoplanctontes morts, ainsi que respiration et excrétion du zooplancton\* alors en plein développement. De même en face de Dunkerque le pH passe de 8,37 à 8,13 entre le 10 et le 18 mai 1976 tandis que la salinité augmente de 32,89‰ à 35,39‰. Bien que nous ne possédons pas de données sur le phytoplancton et le zooplancton à cette période, les causes de la baisse du pH semblent être les mêmes que celles décrites précédemment. On observe en effet une baisse générale des taux de sels nutritifs qui seraient alors consommés par une importante population phytoplanctonique. Les valeurs de pH les plus faibles sont observées en hiver ou après les blooms phytoplanctoniques.

Les mesures à la station Digue permettent de se rendre compte de la rapidité des variations du pH : le pH diffère de 0,2 unités pH entre le 17 et le 22 décembre 1976, entre le 27 janvier et le 4 février 1977, entre le 6 et le 14 mai 1977, variations qui ne sont pas toujours liées à des changements de salinité. Il en est de même en face de Dunkerque (R.N.O.) où, par exemple, le pH s'élève de 0,3 unité pH entre le 3 et le 10 mai 1976. Il diminue de 0,1 unité pH en deux jours entre le 7 et le 9 novembre 1978. Dans le port de Dunkerque il passe de 8,16 à 7,90 à 0 m, de 7,98 à 7,70 à 5 m et de 7,90 à 7,65 à 10 m, du 5 au 6 juillet 1977.

On remarque souvent une augmentation du pH vers le large (fig. 30), conséquence de la dilution des eaux douces en mer, ainsi que de la plus faible quantité de matières détritiques en décomposition vers le large. Le gradient peut s'inverser lors des périodes de forte production phytoplanctonique (30 août 1975, avril et juin 1978, à Gravelines (fig. 30); avril 1978 en face de Dunkerque (R.N.O.)) : l'élévation de pH due à la présence des nombreux organismes phytoplanctoniques à la côte est alors plus importante que la diminution du pH résultant des processus pré-cités.

#### f - Oxygène dissous

La teneur en oxygène dissous du milieu littoral dunkerquois dépasse très souvent 90% de saturation et peut atteindre 120% de saturation

---

\* Les données concernant le zooplancton nous ont été communiquées par nos collègues du C.O.B. (O. ARNAL, G. LEFEVRE, F. TOULARASTEL) pour Gravelines, et sont celles de BRYLINSKI (1979) dans le port de Dunkerque.

(avril 1978) (fig. 31 ). La faible profondeur de la couche d'eau et son brassage continu par les courants en assurent la bonne oxygénation. Des taux voisins de 110% de saturation ont été relevés en hiver (février 1975 et janvier 1977 à Gravelines) ; généralement les prélèvements correspondants ont été réalisés à la suite d'une période d'agitation de l'eau, d'où un accroissement des échanges d'oxygène entre l'eau et l'atmosphère. Des taux élevés sont souvent observés au printemps et en été ; ils correspondent alors à une production importante d'oxygène par photosynthèse lors des blooms phytoplanctoniques (30 août 1975, mars-avril et juillet 1977, avril, juin et août 1978 à Gravelines ; avril, fin mai-début juin 1978 en face de Dunkerque). Ces périodes de sursaturation printanières ou estivales sont généralement suivies d'une désaturation du milieu : par suite de la disparition ou du vieillissement des populations phytoplanctoniques il y a réduction de l'apport d'oxygène par photosynthèse, consommation d'oxygène lors des processus de dégradation des cellules phytoplanctoniques d'une part, et par le zooplancton, dont la croissance suit celle du phytoplancton, d'autre part. La désaturation enregistrée au printemps 1975 à Gravelines (94,0% le 10 mai, 82,7% le 20 mai, 87,9% le 1er juin) et le 26 mai 1977 en face de Dunkerque (93,4% de saturation) correspond en partie à l'arrivée d'eau dessalée sur la zone (cf. paragraphe 6 - b). C'est généralement en automne et en hiver que l'on observe les teneurs en oxygène dissous les plus faibles, au moment où la photosynthèse est réduite :

Teneurs moyennes en oxygène dissous inférieures à 97% de saturation:

Gravelines			Dunkerque littoral (R.N.O.)		
Date	Teneur		Date	Teneur	
1976	20.09	92,4 % sat.	1976	9.02	96,1 % sat.
	18.10	92,0		23.02	87,4
	18.11	91,4		13.09	94,6
1977	15.02	96,4		12.10	94,5
1978	12.10	93,5		3.11	95,5
	14.11	94,1		15.11	96,4
	19.12	93,9		20.12	96,9
			1977	17.01	96,2
				24.01	95,6
				14.02	94,8
				26.05	93,4
				13.06	94,4
				26.09 au 17.10	95,5 à 96,4
				12.12	92,7
			1978	2.10 (st. 1 et 4)	96,9
				9.11 (st. 4)	96,8
				7.12 (st. 1)	94,3
				21.12 (st. 1)	95,1

Près des côtes la dégradation biologique des matières organiques consomme de l'oxygène ; ce phénomène est accentué par la dilution des eaux douces, pauvres en oxygène, dans le milieu marin. Mais la production par photosynthèse est plus importante dans la zone littorale qu'au large (cf. chp. 3). Il semble que les processus de dégradation dominant au voisinage de la côte (étant donné la quantité élevée de particules détritiques que l'on y trouve) puisque le taux d'oxygène dissous a tendance à augmenter vers le large (fig. 32 ). Le gradient peut s'inverser pendant les périodes d'abondance du phytoplancton, le processus productif prenant alors plus d'importance à la côte [30 août 1975, avril 1978 (fig. 32 ) à Gravelines ; fin avril, fin mai 1978 en face de Dunkerque (R.N.O.)].

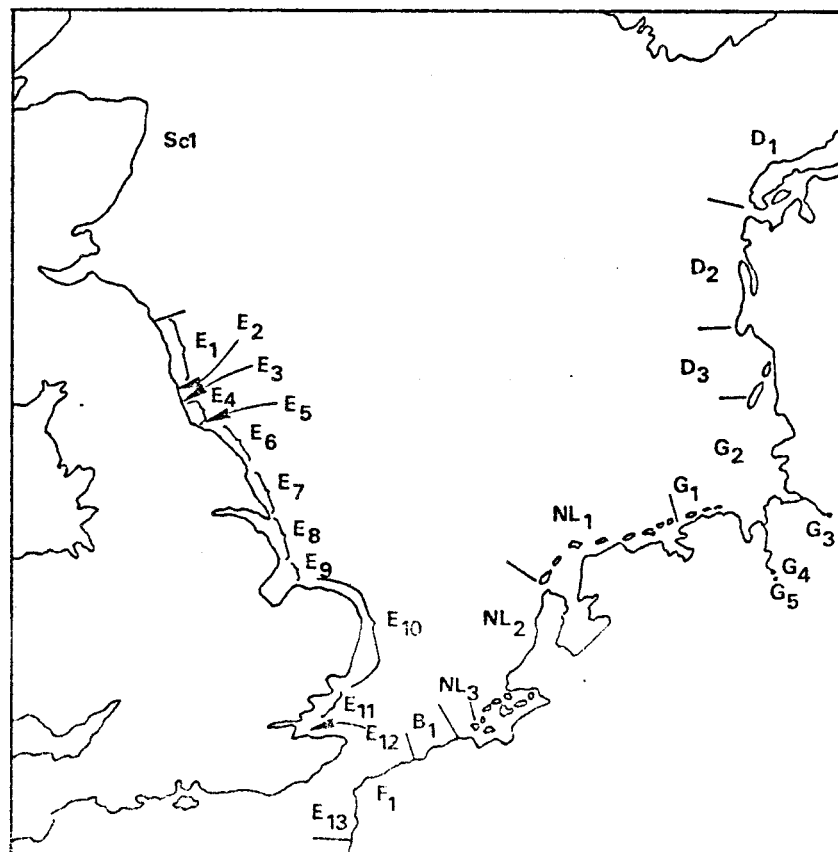
Dans le milieu portuaire de Dunkerque le taux d'oxygène dissous est plus élevé au printemps et en été. Les valeurs maximales sont : 119% sat. les 6-7 juillet 1977 (143% sat. en surface), 128% sat. le 21 juin 1978 (154% sat. en surface). Les sursaturations observées en mars-avril 1977 et en mai-juin 1978 correspondent à une production d'oxygène par photosynthèse ; ce n'est pas le cas de celles relevées en juin-juillet-août 1977. En automne et en hiver le milieu est toujours désaturé et la teneur en oxygène dissous est très souvent inférieure à 90% sat. Des valeurs inférieures à 80% sat. peuvent être observées en été, le minimum étant 67% sat. (20 sept. 1977). Le taux d'oxygène dissous diminue de la surface vers le fond.

D'après les travaux du Groupe International d'Etude de la Pollution de la Mer du Nord (I.C.E.S., 1974, inTOPPING, 1976) le nord de la France est une des régions où la demande biologique en oxygène (D.B.O.) des effluents arrivant en mer est la plus faible (tableau 12 ) ; elle est vingt fois plus élevée en Belgique. L'arrivée des effluents en mer affecte donc très peu le taux d'oxygène dissous dans le nord de la France, par rapport aux autres pays littoraux de la Mer du Nord.

Tableau 12 : Impact des effluents sur le contenu en oxygène dissous des eaux côtières de la Mer du Nord (d'après I.C.E.S., 1974 ; in TOPPING, 1976).

Pays		D.B.O. entrante (tonnes/jour)	Réduction équivalente en taux $3d'O_2$ (mg/dm <sup>3</sup> )	% saturation
Angleterre	E <sub>1</sub>	8,3	0,02	} ≡ 9 %
	E <sub>2</sub>	78,2	0,21	
	E <sub>3</sub>	10,9	0,03	
	E <sub>4</sub>	16,0	0,04	
	E <sub>5</sub>	27,3	0,07	
	E <sub>6</sub>	12,4	0,03	
	E <sub>7</sub>	61,5	0,17	
	E <sub>8</sub>	33,9	0,09	
	E <sub>9</sub>	14,2	0,04	
	E <sub>10</sub>	16,8	0,05	
	E <sub>11</sub>	4,9	0,01	
	E <sub>12</sub>	257	0,71	
	E <sub>13</sub>	42,2	0,11	
France	F <sub>1</sub>	2,1	< 0,01	
Belgique	B <sub>1</sub>	20,5	0,06	
Pays-Bas	NL <sub>1</sub>	10,9	0,03	} ≡ 6 %
	NL <sub>2</sub>	178	0,49	
	NL <sub>3</sub>	17,0	0,05	
Allemagne	G <sub>1</sub> G <sub>2</sub>	2,3	< 0,01	} ≡ 6 %
	G <sub>3</sub> G <sub>4</sub> G <sub>5</sub>	181	0,50	
Danemark	D <sub>3</sub>	5,5	0,01	
	D <sub>2</sub>	13,7	0,04	
	D <sub>1</sub>	15,1	0,04	

Fig. 33 - Localisation des arrivées d'effluents en Mer du Nord (d'après I.C.E.S., 1974; in TOPPING, 1976).



g - Sels nutritifs

Les sels nutritifs présents dans le milieu littoral de la région de Dunkerque ont diverses origines. Il y a remise en solution dans l'eau à partir des éléments en suspension ou déposés sur le fond (déchets d'origine terrestre, organismes morts) ; ceci est difficilement quantifiable à partir des données dont nous disposons. D'autre part une grande quantité de sels nutritifs est amenée en mer avec les eaux douces. Les dosages de ces sels nutritifs dans les eaux de l'Aa prises à Gravelines montrent des taux de sels nutritifs très élevés (tableau 13).

Tableau 13 : Teneurs en sels nutritifs des eaux de l'Aa à Gravelines en 1978:

1978 Dates de prélèvement	$\mu\text{atg/l}$ N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Si-SiO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>
7 février	150	1,37	350	18,9	145
2 mars	190	6,8	330	7	122
30 mars	200	0,48	50	8	22,6
19 avril	145		52		23,7
3 mai	86		50,9*		10,9
20 mai	53	9,6	52,7	1,5	13,9
20 juin	2,0	6,0	51,6	0,3	6,6
18 juillet	1,47		55		5,0
17 août	2,08	8,2	53,5	4,0	9,5
19 septembre	6,82	3,0	50,8	≥12	18,3
12 octobre	289	11,3	4,5	4,18	
14 novembre	150	6,79		11,72	
19 décembre	235	5,70	285	6,72	132

\* NO<sub>2</sub> + NO<sub>3</sub>

Nous ne possédons pas de telles données pour le canal exutoire. Pourtant sa fonction de collecteur des eaux de drainage de l'arrière-pays et des eaux urbaines permet de penser que les taux de sels nutritifs dissous n'y sont pas négligeables. Selon l'AGUR (1973), à la sortie du canal exutoire les taux d'ammoniac, nitrites et nitrates "subissent de fortes pointes, auxquelles succède une épuration active" mais "d'autres éléments sont en proportion phénoménale constante" :

sulfates = 6 fois le seuil critique (700 mg/l)

phosphates = 10 fois le seuil critique (5250 µg/l).

Les principales origines des phosphates sont les eaux urbaines (détergents et eaux domestiques résiduares) et les engrais. Ils ont tendance à diminuer depuis peu, cette diminution devant être liée à l'augmentation de capacité de la station d'épuration. De même les taux de sels azotés ont baissé (C.I.P.L.I.N.O.R., 1979).

Quelques mesures effectuées par le Port Autonome de Dunkerque de 1976 à 1978 (C.I.P.L.I.N.O.R., 1979) montrent des teneurs en nitrites + nitrates plus faibles dans le canal exutoire que dans l'Aa, tandis que les teneurs en phosphates et ammoniac sont plus élevées dans le canal exutoire que dans l'Aa. Cela donne les "concentrations moyennes" pour 1978\* :

	Aa	Canal exutoire
M.E.S. (mg/l)	15	14
$\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{atg/l}$ )	445	85
$\text{NH}_4^+$ ( $\mu\text{atg/l}$ )	135	160
$\text{PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{atg/l}$ )	15	43

Une dernière source d'apports de sels nutritifs est constituée par l'arrivée en mer des eaux des bassins du port de Dunkerque. Les mesures faites à la station E montrent des teneurs élevées, particulièrement en sels azotés durant toute l'année, et en silicates en hiver. Les quelques dosages d'ammoniac effectués au printemps 1977 indiquent des taux de 35 à 80  $\mu\text{atg N-NH}_4^+/\text{l}$ . Les concentrations extrêmes des autres sels nutritifs sont (m = valeur minimale, M = valeur maximale, de la moyenne des trois niveaux) :

$\text{NO}_2^-$	m : 3,3 $\mu\text{atg/l}$ le 27 juillet 1978
	M : 17,4 $\mu\text{atg/l}$ le 21 juin 1978
$\text{NO}_3^-$	m : 14,0 $\mu\text{atg/l}$ le 15 février 1978
	M : 62,2 $\mu\text{atg/l}$ le 19 janvier 1977 (93,8 $\mu\text{atg/l}$ le 23 mai 1978 en surface)
$\text{PO}_4^{3-}$	m : 0,15 $\mu\text{atg/l}$ le 10 mars 1978
	M : 2,53 $\mu\text{atg/l}$ le 20 septembre 1977 (3,1 en surface)
$\text{SiO}_3^-$	m : 0,8 $\mu\text{atg/l}$ le 18 mars 1977
	M : 46,0 $\mu\text{atg/l}$ le 25 janvier 1978 (60 $\mu\text{atg/l}$ en surface le 22 décembre 1977).

\* Ces concentrations, que les auteurs du rapport C.I.P.L.I.N.O.R. (1979) qualifient de "moyennes" semblent être établies à partir de deux prélèvements dans l'année (un seul pour les phosphates). Si elles permettent effectivement de comparer les deux stations entre elles à un moment donné, il paraît difficile de considérer ces valeurs comme représentant une moyenne pour l'année 1978.



Les teneurs maximales rencontrées sur les sites littoraux de Dunkerque (R.N.O.) et de Gravelines sont reportées dans le tableau 14 . Elles sont élevées par rapport à celles relevées en Manche, mais faibles comparées à celles que l'on peut observer à proximité d'autres arrivées d'eau douce (Delta du Rhône, Baie de Seine, Ostende) (tableau 14). Les normes définies par ELKENS (1971) sont souvent dépassées.

Malgré l'importance des apports de sels nutritifs par les eaux douces il n'y a pas de relation entre les variations de la salinité du milieu littoral et celles des taux de sels nutritifs qui le caractérisent. Ceci montre l'importance du rôle que jouent la production et la consommation de ces sels dans le milieu marin lui-même. Des teneurs élevées sont généralement observées en hiver (fig. 34,35) : la consommation par le phytoplancton est faible et il y a enrichissement par suite de la dégradation des cellules et autres organismes morts en automne. De plus le débit des émissaires côtiers, qui sont plus riches en sels nutritifs à cette période (cf. tableau 13 ), est alors plus élevé. De fortes concentrations de sels nutritifs peuvent apparaître à d'autres saisons ; elles correspondent souvent à des périodes de dessalure (1er juin et 2 juillet 1975 à Gravelines ; décembre 1975, mai 1976 et mai 1977 en face de Dunkerque (R.N.O.) ; fin mars 1978 sur les deux sites).

A la fin de l'hiver et au début du printemps la baisse du stock de sels nutritifs correspond au démarrage de la croissance phytoplanctonique. Les teneurs minimales en sels nutritifs sont observées au moment des blooms phytoplanctoniques (fin août 1975, fin août 1976, juillet 1977, avril-juin-août 1978 à Gravelines ; avril-fin mai, fin août 1978 à Dunkerque). Au printemps 1977, le minimum est enregistré à Gravelines en mai, alors que le pic de chlorophylle se situe en avril ; en face de Dunkerque (R.N.O.) les concentrations de sels nutritifs sont les plus faibles au début du mois de mai au printemps 1977. Etant donné la proximité des deux sites il est probable que la campagne d'avril 1977 à Gravelines a eu lieu au début du bloom phytoplanctonique et que l'importance de celui-ci a été telle que la teneur en sels nutritifs, faible au début du mois de mai, s'est stabilisée pendant ce mois à une faible valeur, d'autant plus que le débit de l'Aa était réduit pendant cette période.

Au printemps et en été l'épuisement des sels nutritifs peut être tel qu'ils sont absents du milieu littoral. C'est le cas des sels azotés et des silicates que l'on peut considérer comme des facteurs limitants de la croissance du phytoplancton à certaines périodes. Les valeurs minimales pour chaque cycle ou année d'étude sont reportées dans

Tableau 14 : Teneurs comparées des sels nutritifs sur les côtes franco-belges.

	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> µatg/l	N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> µatg/l	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> µatg/l	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> µatg/l	Si-SiO <sub>4</sub> <sup>-</sup> µatg/l
Manche, valeurs maximales (SYKES et BONEY, 1970)(*)			10,50	0,44 à 0,70	
Partie occidentale de la Manche (ARMSTRONG, BUTLER et BOALCH, 1966)			1 à 6	0,06 à 0,55	0,5 à 9
Mer du Nord(Ostende) (SEGEBARTH-ORBAN, 1975) valeurs maximales(**)	50	31,5	96	1,23	28,6
Proximité du delta du Rhône, valeurs maximales(BLANC, LEVEAU et SZEKIELDA, 1969 ; BERLAND, BONIN et MAESTRINI, 1974)			38,3 43	2,43 4	
Baie de Seine, valeurs maximales ( R.N.O.) :					
juin 74 à { st. 1	38(60)	11 (51,5)	188(204,6)	14 (18,6)	75
déc.77 { st. 5	25(40,9)	3 ( 5 )	62( 85 )	5 (10 )	35,4
1978 { st. 1	18,3	11,41	241	11,37	69,8
{ st. 5	5,4	2,15	33,1	3,39	23,7
Gravelines, valeurs maximales :					
1974-1975		1,41	32,38	3,3	14,5
{ 1976-1977 (sauf st. Aa)	9,92	1,10	19,14	1,91(3,17)	14,1
{ moyenne/ campagne( M,L,C)	8,56	0,90	17,66	1,34	12,1
1978	8,4	0,70	23,3	2,1	11,5
Dunkerque littoral (R.N.O.), valeurs maximales :					
nov. 75 à oct. 76	13,8	1,52(2,44)	32,3	4,3	19,0 (28,0)
nov. 76 à sept. 77	13,1(18,5)	1,88	23,1	3,2	18,7 (10,6)
1978	8,4	0,88(1,44)	17,5(33,9)	2,1(2,6)	19,3 (22,0)
Normes selon ELSKENS (1971) (Etat non pollué, non limitant vis-à-vis de la croissance des populations(***))		0,2	5	0,48	

(\*) Les auteurs ont tenu compte des travaux de COOPER (1958), ARMSTRONG et HARVEY (1950) et ARMSTRONG et BUTLER (1959).

(\*\*) Valeurs relevées à la station Oostendebank Oost à 2 miles de la côte (période mars 1970 à mars 1971). Valeurs données en µatg/l à partir des courbes tracées en mg/l.

(\*\*\*) Valeurs calculées en µatg/l à partir des chiffres cités en µg/l par ELSKENS.



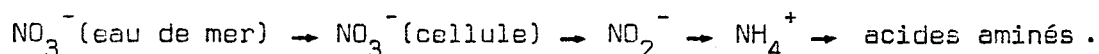
Tableau 15 : Teneurs moyennes minimales en sels nutritifs du milieu littoral dans la région de Dunkerque ( $\mu\text{atg/l}$ ).

	Gravelines		Dunkerque (R.N.O.)	
	Teneur	Date	Teneur	Date
$\text{NH}_4^+$	<0,1	14.05.77	0,19	5.07.76
	0,4	4.07	0,15	28.07
	0,2	20.06.78	0,35	1.08.77
	0,9	18.07	0,27	22.08
			0,19	21.08.78
		0,33	28.08 (st. 1,0 m et st. 4 exceptées)	
$\text{NO}_2^-$	0,11	8.03.75	0,02	5, 12, 28.07.76
	0,02	19.04 (st.10)	0,00	12, 16.08
	0,12	30.08	0,00	16.08.77
	0,04	20.08.76	0,01	19.09
	0,08	14.05.77	0,05	22.05.78
	0,07	20.06.78	0,06	28.08 (st. 4 exceptée)
	0,08	18.07		
$\text{NO}_3^-$	0,4	30.08.75	0,17 à 0,35	5.07 au 30.08.76
	0,9	19.04 (st. 11)	0,19	19.04.77
	0,3	20.08.76	0,22	2.05
	0,4	14.05.77	0,36	9.05
	0,09	18.07.78	0,01 à 0,39	11.07 au 12.09
	0,11	17.08	0,48	24.04.78 (st. 4 exceptée)
	0,15	19.09	0,47	28.06 (st. 1,0 m exceptée)
		0,37	10.07	
$\text{PO}_4^{3-}$	0,27	10.05.75 (st. 10 et 11)	0,23	7.04.76
	0,69	20.05	0,06	12.04
	0,50	30.08	0,12	2.05.77
	0,32	14.05.77	0,24	1.08
	0,43	4.07	0,34	16.08
	0,39	19.04.78	0,27	12.09
	0,06	20.06	0,30	10.07.78
	0,34	19.09	0,25	17.07
	0,37	12.10	0,29	24.08
$\text{SiO}_3^-$	0,5	1.06.75	0,7	25.03.76 (st. 4 exceptée)
	0,3	30.08	0,2	12.04
	0,7	20.08.76	0,0	1.06. au 3.08
	0,8	19.03.77	0,2	9.05.77
	1,0	4.07	0,05	6.06
	0,9	19.04.78	0,1	13.06
	0,0	20.06	0,0	21,27.06 (st. 2 fond, exceptée le 21)
	0,9	18.07	0,0	11.07
	0,0	17.08	0,1	25.07
			0,0	1.08
			0,2	16.08
		0,4	21.08.78	
		0,1	24.08	



le tableau 15. Ainsi le taux de silicates est nul à Gravelines le 20 juin et le 17 août 1978, dates auxquelles celui de chlorophylle est élevé. L'absence totale de silicates est fréquente à Dunkerque au printemps et en été (juin-juillet 1976, juin-juillet-début août 1977). De même la concentration de nitrites peut être nulle en été à Dunkerque (août 1976 et 1977). La présence d'ammoniac n'est pas décelée à Gravelines en mai 1977, ni aux stations 1, 2 et 3 en face de Dunkerque le 28 juillet 1976.

Le retour des taux de sels nutritifs à des valeurs élevées est plus ou moins rapide selon leur catégorie. Parmi les sels azotés c'est l'ammoniac qui réapparaît le plus vite, suivi des nitrites, puis des nitrates (fig. 34). Cet ordre correspond aux différentes formes successives de reminéralisation de l'azote. La concentration d'ammoniac peut passer de moins de 0,1  $\mu\text{atg/l}$  à 8,4  $\mu\text{atg/l}$  en moins d'un mois (entre le 14 mai et le 9 juin 1977 à Gravelines). Au printemps l'ammoniac disparaît le premier, puis ce sont les nitrites et enfin les nitrates. En effet le phytoplancton absorbe de préférence l'ammoniac (HARVEY, 1940 ; CRESSWELL et SYRETT, 1979), puis les nitrites, puis les nitrates. Ceci s'explique aisément à partir de la forme du cycle d'incorporation de l'azote intracellulaire à partir d'ions nitriques :



La teneur élevée en phosphates remarquée le 18 juillet 1978 à Gravelines est difficilement explicable : les autres sels nutritifs présentent de faibles concentrations et la salinité est supérieure à 34‰. Il se peut que leur origine se trouve au niveau du milieu marin lui-même : est-ce le résultat d'une excrétion de phosphore organique dissous par le zooplancton abondant en mai-juin-juillet, qui n'aurait pas été décelée en juin par suite de la consommation par le phytoplancton abondant ? ; ou est-ce que *Noctiluca scintillans*, observé à cette période, rejette des phosphates dans le milieu (cf. chp. II-4) ?

Les sources d'apports de sels nutritifs dans le milieu littoral sont variées, mais toutes contribuent à l'établissement d'un gradient dans la distribution des sels nutritifs dont la concentration diminue vers le large (fig. 36 à 40). Ce gradient peut s'inverser lors des périodes de forte production phytoplanctonique (avril 1978 à Gravelines, fig. 41). Les teneurs en sels nutritifs peuvent être plus élevées en surface, ce qui traduit alors l'importance de leurs apports par les eaux douces (l'eau douce diluée, plus légère que l'eau littorale, reste en surface). D'autre part il y a diffusion

de sels nutritifs dissous à partir du substrat et les teneurs au voisinage du fond sont parfois plus élevées qu'en surface (fig. 36 à 40 ).

Le port de Dunkerque est beaucoup plus riche en sels nutritifs que le milieu littoral (fig.42,43).BRYLINSKI (1979) n'y a pas relevé de valeurs nulles. Les sels azotés (nitrites et nitrates) sont toujours abondants : le taux de nitrites est presque toujours supérieur à  $4 \mu\text{atg N-NO}_2^-/1$  ; les concentrations minimales de nitrates dans le port correspondent aux concentrations maximales du milieu littoral. Les taux de phosphates sont un peu plus grands dans le port, sauf au printemps ; ils peuvent alors descendre jusqu'à moins de  $0,2 \mu\text{atg P-PO}_4^{3-}/1$ . La quantité de silicates, très élevée en hiver, diminue fortement au printemps (moins de  $1 \mu\text{atg Si-SiO}_3^-/1$  en mars 1977).

On n'observe pas dans le port de Dunkerque de relation entre les sels nutritifs azotés ( $\text{NO}_2$  et  $\text{NO}_3$ ) et la biomasse phytoplanctonique. Par contre les faibles taux de phosphates et de silicates correspondent aux périodes de développement du phytoplancton.

Le rapport déterminé par COOPER (1937, 1938) entre les nitrates et les phosphates ( $\text{NO}_3/\text{P} : \mu\text{atg N-NO}_3^-/\mu\text{atg P-PO}_4^{3-}$ ) dans les eaux de la Manche est voisin de 15/1. Dans la Mer des Caraïbes et dans l'Atlantique nord-ouest RICHARDS (1958) l'estime à 16/1. Ce rapport est très variable dans les eaux côtières soumises aux apports continentaux.

Ses valeurs extrêmes sont :

	minimum	maximum	moyenne	
à Gravelines	0,05	29,0 (92,1)	1975	18,5
			1976-77	9,8
			1978	10,8
à Dunkerque littoral (R.N.O.)	0,0	28,8 (54,1)	1976	7,3
			1977	4,2
			1978	6,4
dans le port de Dunkerque	3,6	570 (1275)	1977-78	64,1

Ce rapport, plus élevé dans le port qu'à l'extérieur, traduit l'importance des apports de sels azotés dans le milieu portuaire. Dans le milieu littoral de Dunkerque (R.N.O.) ce rapport augmente quand on s'éloigne de la côte, ce que nous n'avons pas observé à Gravelines, peut-être à cause de la position plus proche du rivage des stations échantillonnées à Gravelines.

Etant donné l'importance de l'ammoniac pour les Diatomées, nous avons, comme l'ont fait récemment SANDER et MOORE (1979), recalculé le rap-

port azote/phosphore en introduisant l'ammoniac et les nitrites  
 $(N \text{ total}/P = (NO_3 + NO_2 + NH_4) / PO_4)$ .

Le rapport devient alors :

	minimum	maximum	moyenne	
à Gravelines	0,2	43,2	1976-77	16,8
			1978	17,5
à Dunkerque littoral (R.N.O.)	0,2	56,1 (175,5)	1976	10,8
			1977	7,3
			1978	9,5

#### h - Conclusion

Les milieux littoraux de Gravelines et de Dunkerque et le milieu portuaire de Dunkerque sont largement soumis aux influences continentales qui déterminent en grande partie leur évolution.

La température de l'eau est caractéristique de cette zone tempérée froide et présente un deuxième minimum en avril.

Les variations de la salinité, qui est toujours inférieure à 35 ‰, sont liées à l'importance des arrivées d'eau douce. Malgré le courant résiduel dirigé vers le nord-est, les eaux dessalées du Gyre d'Ostende semblent pouvoir être poussées par le vent jusqu'à Dunkerque et Gravelines ; la salinité peut alors être inférieure à 31 ‰.

La turbidité de ces milieux très côtiers est essentiellement minérale. La profondeur de disparition du disque de Secchi y est toujours inférieure à 10 m et ne dépasse pas 4 m dans le port de Dunkerque.

Le pH et les taux d'oxygène et de sels nutritifs dissous sont conditionnés en partie par les cycles planctoniques. L'effet des blooms phytoplanctoniques se traduit par une élévation du pH (qui peut atteindre 8,5) et du taux d'oxygène dissous (qui peut avoisiner 120% de saturation dans le milieu littoral et dépasser cette valeur dans le port), ainsi que par une baisse des concentrations de sels nutritifs. Les variations de ces facteurs sont également conditionnées par le débit et la richesse des émissaires côtiers. Ces derniers amènent en mer de grandes quantités de sels nutritifs et contribuent ainsi à l'enrichissement des milieux littoraux et portuaire. L'enrichissement du milieu littoral de la région de Dunkerque est cependant modeste comparé à ceux des zones voisines des estuaires de la Seine ou du Rhône.

Le milieu littoral, peu profond, est soumis à l'influence des courants de marée qui assurent un brassage continu de la colonne d'eau,

d'où son homogénéité verticale, ce qui a été également remarqué par MOMMAERTS (1973) sur la côte belge.

La quantité de matières en suspension à Gravelines en 1975 et 1976-77 est principalement liée à l'importance du courant de marée, mais aussi à la force et à la direction du vent. D'autres facteurs semblent intervenir en face de Dunkerque et en 1978 à Gravelines, où la relation M.E.S.-coeff. de marée n'est pas observée.

L'action des courants et des vents est également sensible au niveau de l'oxygénation de l'eau. Dans le milieu littoral le taux d'oxygène dissous dépasse souvent 90% de saturation. Au contraire il est souvent inférieur à cette valeur dans le port.

Le milieu portuaire est un milieu fermé où les échanges avec l'extérieur sont limités. Ceci est sensible au niveau de la station E, pourtant placée à proximité des écluses. La dilution des eaux douces est plus faible que dans le milieu littoral, ce qui se traduit par une salinité inférieure : 29,5‰ à 33‰ dans le port, 31‰ à 34,7‰ à l'extérieur, et un pH plus bas : 7,6 à 8,5 dans le port (souvent en dessous de 8,0), 7,8 à 8,6 à l'extérieur (plus souvent au dessus de 8,0). Le port de Dunkerque est beaucoup plus riche en sels nutritifs que le milieu littoral. Les sels azotés sont toujours très abondants et ne semblent pas être un facteur limitant de la croissance du phytoplancton comme ce peut être le cas à l'extérieur (nous ne possédons pas de mesure du taux d'ammoniac dissous, mais si celui-ci venait à manquer les cellules phytoplanctoniques utiliseraient les nitrites et les nitrates). Par contre les taux de phosphates et de silicates, bien qu'étant parfois très élevés, peuvent atteindre de faibles valeurs au printemps.

La quantité de matières en suspension est plus faible dans le port, non soumis à l'influence des courants de marée, que dans la zone côtière. Pourtant les mouvements de l'eau dans le bassin sont suffisants pour maintenir les particules minérales en quantité égale à tous les niveaux à la station E.

L'implantation de la centrale thermique E.D.F. est à l'origine d'une différence notable de température entre les eaux du port et celles du milieu littoral : les eaux du port subissent un réchauffement de 3 à 4° C par rapport à celles de l'extérieur. Les mouvements de l'eau dans le bassin ne sont pas suffisants pour éviter l'établissement d'un gradient thermique vertical.

Les milieux littoraux de Gravelines et de Dunkerque présentent des caractères très voisins. (On note cependant un pH un peu plus faible à Dunkerque).

Si la masse d'eau y est pratiquement homogène verticalement, il n'en est pas de même dans le plan horizontal. Cette hétérogénéité est le résultat d'influences continentales (température atmosphérique, émissaires côtiers) qui diminuent quand on s'éloigne du rivage. La présence des courants de marée parallèles à la côte doit limiter l'extension vers le large de la zone de dilution des eaux continentales.

Les variations temporelles des différents facteurs hydrologiques sont difficiles à interpréter dans le détail, surtout dans le cas de la zone côtière. En effet, la masse d'eau étudiée à un moment précis est une masse d'eau en transit, qui est différente de celle échantillonnée lors de la campagne précédente, et qui n'a pas toujours subi les mêmes influences. D'autre part les facteurs qui entrent en jeu sont plus nombreux que ceux que nous avons pris en considération. Pour n'en citer que quelques uns : état de la masse d'eau avant qu'elle ne subisse l'influence de l'Aa, apports benthiques, évaluation de l'excrétion des organismes eux-mêmes, d'ailleurs encore souvent mal connue, ...

Après avoir étudié la composition des populations phytoplanctoniques de Gravelines et du port de Dunkerque, ainsi que les variations temporelles et spatiales de la biomasse phytoplanctonique des milieux littoraux et portuaires, nous tenterons de mettre en relation les différences observées avec celles que nous y avons remarquées au niveau hydrologique.



**CHAPITRE II**

**ETUDE TAXONOMIQUE**

**COMPOSITION DES POPULATIONS**

a - Prélèvement

Nous avons débuté ce travail en utilisant, pour prélever les échantillons d'eau à analyser, une pompe aux faibles profondeurs et une bouteille à clapets à partir du niveau 10 m. Cette dernière a été réalisée à l'Institut de Biologie Maritime de Wimereux d'après le modèle de MONZIKOFF de l'Institut Océanographique de Paris (volume:2 fois 5 litres). A partir d'août 1975 pompe et bouteille ont été remplacées par une série de bouteilles à clapets MECABOLIER du type des bouteilles NANSEN, de volume 2 litres. Le volume d'eau contenu dans ces dernières étant trop faible pour nos besoins, nous avons opté en 1978 pour des bouteilles à clapets NISKIN, de contenance 5 litres. Les bouteilles MECABOLIER et NISKIN sont pourvues d'un thermomètre à renversement (RICHTER et WIESE) qui permet d'enregistrer la température de l'eau au niveau du prélèvement. Les bouteilles sont placées en série sur le câble et leur fermeture est déclenchée par un messenger, d'où la possibilité d'échantillonner la colonne d'eau à différents niveaux pratiquement au même instant.

Les échantillons sont fixés à bord au moyen de formol neutralisé à 10 %.

b - Méthode d'étude au microscope

Pour l'étude systématique du microplancton nous avons utilisé la technique définie par UTERMÖHL en 1931 et adaptée au phytoplancton marin par STEEMAN-NIELSEN en 1933. Les échantillons de phytoplancton fixé, conservés en piluliers, sont agités doucement pendant 5 mn pour remettre en suspension les planctontes. Une petite partie de l'eau est ensuite versée dans une cuve à sédimentation dont le fond est constitué d'une lamelle de verre. Afin d'obtenir une répartition uniforme des organismes sur le fond de cuve nous prélevons l'eau au moyen d'une pipette ; puis nous vidons lentement celle-ci dans la cuve en ayant soin d'en maintenir l'extrémité à la partie supérieure du liquide, selon la méthode préconisée par TRAVERS en 1972. Pour permettre la sédimentation de toutes les particules nous attendons un minimum de 6 heures avant de faire l'analyse. Suivant les recommandations de JACQUES (1968), ce délai dépend de la hauteur de la cuve : 24 h pour 10 cm de hauteur d'eau. Par suite de l'importance de la turbidité des échantillons nous avons généralement dû prendre des cuves de 5 cm<sup>3</sup> pour les points côtiers, de 10 cm<sup>3</sup> pour les stations plus au large.

Comptages et déterminations\* ont été réalisés au moyen de microscopes inversés LEITZ (grossissements 250 x et 500 x) et ZEISS (grossissements 312 x et 500 x). Les observations ont porté en 1974-1975 et 1976-1977 sur une surface de fond de cuve de  $1 \text{ cm}^2$  au centre de la cuve (soit  $1/5$  du fond de cuve) ; cette surface a été réduite à  $1/2 \text{ cm}^2$  ou parfois moins quand la densité des organismes le permettait. Le nombre minimum de cellules (vivantes) prises en compte a été fixé à 100 par échantillon. Malgré les soins pris pour verser l'eau dans les cuves, nous avons remarqué, lors de certaines campagnes, que la répartition des organismes n'était pas uniforme et qu'ils avaient tendance à être plus nombreux au centre de la cuve. Nous avons donc dès la campagne du 14 mai 1977 et en 1978 mené l'observation sur deux diamètres perpendiculaires du fond de cuve. Plusieurs cuves étaient alors souvent nécessaires pour atteindre le nombre minimum de cellules fixé.

Nous avons estimé la différence entre les comptages réalisés sur  $1 \text{ cm}^2$  et sur deux diamètres en faisant les comptages de huit échantillons d'un même prélèvement selon les deux méthodes pour chaque cuve (tableau 16). Nous avons ensuite calculé la surestimation des résultats dans  $1 \text{ cm}^2$  par rapport à ceux des deux diamètres (différence entre les nombres obtenus dans les deux cas en pourcentage du nombre de cellules compté dans deux diamètres). Il en résulte que le nombre total de cellules trouvé dans  $1 \text{ cm}^2$  est supérieur de 9 à 95 % (une fois 148 %) à celui compté dans deux diamètres. Il y a en moyenne 49 % de cellules en plus dans  $1 \text{ cm}^2$  (61 % si l'on tient compte de la valeur élevée) que dans deux diamètres. Les quantités de cellules estimées en 1975-76-77 sont donc supérieures aux valeurs réelles, dans des proportions difficiles à déterminer étant donné la variabilité de la distribution des particules sur le fond de cuve, ceci malgré les soins que nous avons pris pour remplir les cuves. Les cuves dans lesquelles la répartition des organismes était trop inégale ont été éliminées.

Les résultats des comptages sont exprimés en nombre de cellules vivantes/  $\text{cm}^3$ . Nous avons calculé le pourcentage de dominance de chaque espèce par rapport au nombre total de cellules/  $\text{cm}^3$  pour chaque

---

\* Les ouvrages consultés pour la détermination des espèces sont mentionnés dans la bibliographie.

TABEAU 16

COMPARAISON DU NOMBRE DE CELLULES PAR  $cm^3$  ESTIMÉ A PARTIR DE L'ETUDE DE DEUX DIAMETRES PERPENDICULAIRES OU DE  $1 cm^2$  AU CENTRE DE LA CUVE (8 CUVES DE  $5cm^3$ )

GRAVELINES - 7 FEVRIER 1978 - STATION HORS ZONE - O M

	2 Ø	1 cm <sup>2</sup>	2 Ø	1 cm <sup>2</sup>	2 Ø	1 cm <sup>2</sup>	2 Ø	1 cm <sup>2</sup>	2 Ø	1 cm <sup>2</sup>	2 Ø	1 cm <sup>2</sup>	2 Ø	1 cm <sup>2</sup>	2 Ø	1 cm <sup>2</sup>
<i>Melosira roeseana</i> ?			5	1												
<i>Melosira westii</i>								1		1						
<i>Melosira</i> sp.												1				
<i>Favalia sulcata</i>		19	19	11	116	58		81	23	38	33	30	14	50	47	64
<i>Coscinodiscus excentricus</i>			1							1						
<i>Coscinodiscus lineatus</i> ?			1													
<i>Coscinodiscus radiatus</i>				1												
<i>Coscinodiscus</i> sp.	5	2						1								
<i>Thalassiosira decipiens</i>		1(?)			6		4						6			1
<i>Thalassiosira gravis</i> ou <i>fallax</i>		2														
<i>Thalassiosira levanteri</i>	28	16	5	2	9	15		29	19	9	28	22	33	11	9	12
<i>Thalassiosira rotula</i> ?								2								
<i>Thalassiosira</i> sp <sub>1</sub>						1		1		1				1	5	1
<i>Thalassiosira</i> sp.	9	5		12	9	7				6						5
<i>Skeletonema costatum</i>	28	68	28	55	47	60	37	68	112	86	51	55	42	62	28	63
<i>Actinopterychus senarius</i>	19	2					9	2						4	9	2
<i>Aulacodiscus argus</i>					5	1										
<i>Biddulphia aurita</i>		4	19	14			19	6		14	9	2		4		7
<i>Biddulphia granulata</i>												1				
<i>Biddulphia rhombus</i>														1		1
<i>Chaetoceros</i> sp.							5	2								
<i>Lauderia borealis</i>			9	2										2		1
<i>Rhizosolenia delicatula</i>		2								14				3		2(?)
<i>Rhizosolenia pungens</i>		1	5	2		2		5		1		3				2
<i>Fragilaria</i> spp.		2		7				38		5		25				
<i>Rhaphoneis amphiceros</i>				10	23	9		2		2	9	6		4		2
<i>Rhaphoneis surirella</i>										2		12		6		
<i>Asterionella japonica</i>				37		47						25		25		1
<i>Thalassionema nitzschioides</i>												8				
<i>Plagiogramma</i> sp.				4				1	9	2						
<i>Navicula</i> spp.		7		6	9	5	9	6	5	10	5	6	9	14	5	7
<i>Pleurosigma</i> sp.						1										
<i>Nitzschia closterium</i>	14	27	5	20	5	26	23	37	5	32	14	20	5	14	19	22
<i>Nitzschia delicatissima</i>								1								
<i>Nitzschia</i> sp <sub>2</sub>	5	1	5	4		1		2	5	2	9	1		2		2
<i>Nitzschia</i> spp.	5	5						4	5	9	5	9		2		
<i>Scenedesmus armatus</i>						1										1
<i>Scenedesmus protuberans</i>												1				
<i>Scenedesmus</i> sp.								1		1						
<i>Chlorophycée</i> sp <sub>2</sub>	5	1			5								5	1		
<i>Chlorophycée</i> sp.																
<i>Peridiniën indéterminé</i>								1								
<i>Centriques</i> spp.	5	5	5	6		6	23	9	5	4	5	4	5	5	5	9
<i>Cellules</i> sp <sub>2</sub>				5	1			6						1		2
<i>Cellules</i> spp.			2		6					1	5	4		2		5
Nombre total de cellules	123	175	110	201	228	248	125	310	188	227	187	235	113	220	127	212
Surestimation dans $1 cm^3$ (Zdutotal trouvé dans 2 diamètres)		42		83		9		148		21		26		95		67



## ETUDE DE LA VARIABILITE DU PHYTOPLANCTON

A PARTIR DE PLUSIEURS ECHANTILLONS D'UN MEME PRELEVEMENT

GRAVELINES - 18 NOVEMBRE 1976 - STATION M3, 5 M

ESPECES Nombre de cellules/cc % de dominance	N		Z		N		Z		N		Z		moyenne		écart-type	
	N	Z	N	Z	N	Z	N	Z	N	Z	N	Z	N	Z	N	Z
<i>Melosira crenulata</i> ou <i>granulata</i>	I	0,4	6	2,3	19	7,8							4	6,0	8	3,1
<i>Melosira westii</i>					I	0,4							0,2	0,07	0,4	0,2
<i>Melosira</i> spp.	I	0,4	6	2,3			I	0,4	I	0,6	I	0,4	2	0,7	2	0,8
<i>Paralia sulcata</i>	16	7,1	41	15,9	12	4,9	II	5,0	5	2,8	51	20,7	23	9,4	19	7,2
<i>Qyrotella</i> sp.							2	0,9					0,3	0,1	0,8	0,4
<i>Thalassiosira decipiens</i>									I	0,6			0,2	0,1	0,4	0,2
<i>Thalassiosira levanderi</i>	24	10,7	II	4,3	7	2,9	22	10,0	14	7,9	II	4,5	15	6,7	7	3,3
<i>Thalassiosira rotula</i>	I	0,4	I	0,4					5	2,8	2	0,8	I	0,7	2	1,1
<i>Thalassiosira</i> spp.	I	0,4			I	0,4	I	0,4	2	1,1	9	3,7	2	1,0	3	1,4
<i>Sketionema costatum</i>	7	3,1	II	4,3	7	2,9	24	10,9			7	2,8	9	4,0	8	3,7
<i>Aericoptichus senarius</i>	2	0,9	2	0,8									0,7	0,3	I	0,4
<i>Biddulphia aurita</i>	10	4,5	7	2,7	10	4,1	19	8,6	6	3,4	10	4,1	10	4,6	5	2,1
<i>Biddulphia regia</i> ou <i>mobilienis</i>							I	0,4					0,2	0,07	0,4	0,2
<i>Ditylum brightwellii</i>					I	0,4	2	0,9			4	1,6	I	0,5	2	0,6
<i>Geraculina pelagica</i>	I	0,4											0,2	0,07	0,4	0,2
<i>Gaetoceros debile</i>	36	16,1							16	9,0			9	4,2	15	6,9
<i>Gaetoceros curvisetum</i> ?											16	6,5	2	1,1	5	2,6
<i>Gaetoceros sociale</i> ou <i>radians</i>	II	4,9	32	12,4	58	23,9	12	5,4	20	11,3	17	6,9	25	10,8	18	7,1
<i>Gaetoceros</i> sp <sub>1</sub>			I	0,4							I	0,4	0,3	0,1	0,5	0,2
<i>Gaetoceros</i> spp.	10	4,5			6	2,5	2	0,9					3	1,3	4	1,8
<i>Leptocylindrus danicus</i>					6	2,5							I	0,4	2	1,0
<i>Rhizosolenia delicatula</i>	2	0,9			5	2,1	5	2,3	7	3,9	16	6,5	6	2,6	6	2,3
<i>Rhizosolenia setigera</i>	4	1,8	4	1,5	5	2,1			I	0,6	I	0,4	2	1,1	2	0,8
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>	2	0,9					I	0,4			I	0,4	0,5	0,3	0,8	0,4
<i>Fragilaris</i> spp.	18	8,0	77	29,8	30	12,3	25	11,4	30	16,9	12	4,9	32	13,9	23	8,8
<i>Rhaphoneis amphiceros</i>	4	1,8											0,7	0,3	1,6	0,7
<i>Asterionella japonica</i>					7	2,9	6	2,7	4	2,3	32	13,0	8	3,5	12	4,8
<i>Thalassionema</i> <i>nitzschioïdes</i>	2	0,9			17	7,0	II	5,0	6	3,4			6	2,7	7	2,9
<i>Plagiogramma</i> sp.			I	0,4	2	0,8			I	0,6	2	0,8	I	0,4	0,9	0,4
<i>Navicula</i> sp <sub>1</sub>					I	0,4							0,2	0,07	0,4	0,2
<i>Navicula</i> spp.	4	1,8	I	0,4	2	0,8	4	1,8	4	2,3	6	2,4	3	1,6	2	0,8
<i>Nitzschia closterium</i>	I	0,4	5	1,9	10	4,1	14	6,4	10	5,6	6	2,4	8	3,5	5	2,3
<i>Nitzschia seriata</i>							25	11,4	7	3,9	10	4,1	7	3,2	10	4,5
<i>Nitzschia</i> sp <sub>1</sub>											I	0,4	0,2	0,07	0,4	0,2
<i>Scenedesmus armatus</i>	35	15,6	10	3,9	8	3,3	10	4,5	10	5,6			12	5,5	12	5,3
<i>Scenedesmus protuberans</i>	10	4,5											2	0,7	4	1,8
<i>Scenedesmus</i> spp.	10	4,5	25	9,7	5	2,1	10	4,5	10	5,6	10	4,1	12	5,1	7	2,5
Chlorophycée sp <sub>1</sub>	5	2,2	9	3,5	9	3,7	6	2,7	6	3,4	9	3,7	7	3,2	2	0,6
Chlorophycée sp <sub>2</sub>					2	3,7							0,3	0,6	0,8	1,5
Chlorophycées spp.			2	0,8	6	2,5	I	0,4			7	2,8	3	1,1	3	1,2
<i>Dityoccha speculum</i>	I	0,4											0,2	0,07	0,4	0,2
<i>Proocentrum micans</i>					I	0,4			2	1,1			0,5	0,2	0,8	0,4
<i>Minuscula bipes</i>					I	0,4	I	0,4					0,3	0,1	0,5	0,2
<i>Perridinium</i> sp.			I	0,4					I	0,6			0,3	0,2	0,5	0,3
Péridiniens indéterminés									I	0,6			0,2	0,1	0,4	0,2
SpI									I	0,6			0,2	0,1	0,4	0,2
Cellules non déterminées	5	2,2	6	2,3	5	2,1	6	2,7	7	3,9	4	1,6	5	2,5	I	0,8
NOMBRE TOTAL DE CELLULES/cc	224		259		244		222		178		246		229		29(13%)	
INDICE DE DIVERSITE	3,966		3,361		4,008		4,046		4,109		3,980		3,912		0,275(7%)	
EQUITABILITE	0,834		0,765		0,834		0,871		0,874		0,857		0,839		0,040(5%)	

TABLEAU 18

À PARTIR DE PLUSIEURS ÉCHANTILLONS D'UN MÊME PRÉLÈVEMENT

GRAVELINES - 19 MARS 1977 - STATION M<sub>1</sub>, 5 M

ESPECES (Nombre de cellules/cc % de dominance)	N		N		N		N		N		moyenne		écart- type			
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%		
<i>Paralia sulcata</i>			9	0,3								1	0,05	4	0,1	
<i>Oscinodismus</i> spp.									4	0,1		0,7	0,02	2	0,04	
<i>Thalassiosira gravida</i> ?	4	0,1	9	0,3	12	0,3	9	0,2				6	0,1	5	0,1	
<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	391	9,4	113	3,4	257	5,6	218	5,7	429	9,8	371	8,9	296	7	121	2,6
<i>Thalassiosira rotula</i>					1	0,02			6	0,1		1	0,02	2	0,04	
<i>Thalassiosira</i> spp.	15	0,4	2	0,06	10	0,2	11	0,3	9	0,2	1	0,02	8	0,2	5	0,14
<i>Skeletonema costatum</i>	7	0,2	31	0,9	29	0,6	31	0,8	29	0,7		2	0,5	14	0,4	
<i>Biddulphia aurita</i>					4	0,09						0,7	0,02	2	0,04	
<i>Eucampia groenlandica</i>							11	0,3				2	0,05	4	0,1	
<i>Ditylum brightwellii</i>	25	0,6	19	0,6	20	0,4	22	0,6	27	0,6	25	0,6	23	0,6	3	0,08
<i>Gerataulina pelagica</i>			10	0,3	26	0,6	16	0,4	10	0,2		10	0,2	10	0,2	
<i>Gaetoceros crinitum</i> ?	7	0,2										1	0,03	3	0,08	
<i>Gaetoceros curvisetum</i> + <i>debile</i>	1266	30,5	821	25,0	1130	24,7	1307	33,9	1003	23,0	1033	24,8	1093	27	180	4,2
<i>Gaetoceros decipiens</i>	11	0,3							19	0,4		5	0,1	8	0,18	
<i>Gaetoceros diadema</i>	24	0,6										4	0,1	10	0,2	
<i>Gaetoceros ebeinii</i> ?	7	0,2										1	0,03	3	0,08	
<i>Gaetoceros sociale</i> ou <i>radians</i>	1768	42,5	1867	56,8	2604	57,0	1667	43,3	2155	49,5	2133	51,2	2032	50	341	6,3
<i>Gaetoceros</i> spp.	22	0,5	7	0,2	5	0,1	40	1,04	51	1,2	5	0,1	22	0,5	20	0,5
<i>Leptocylindrus danicus</i>					4	0,09						0,7	0,02	2	0,04	
<i>Lauderia borealis</i>	213	5,1	110	3,3	169	3,7	93	2,4	164	3,8	157	3,7	151	3,7	43	0,9
<i>Lauderia glacialis</i>	5	0,1										0,8	0,02	2	0,04	
<i>Rhizosolenia delicatula</i>	19	0,5	15	0,5	20	0,4	33	0,9	63	1,4	26	0,6	29	0,7	18	0,4
<i>Rhizosolenia setigera</i>	1	0,02			1	0,02					1	0,02	0,5	0,01	0,5	0,01
<i>Rhizosolenia shrubsolei</i>	6	0,1	9	0,3	6	0,1	28	0,7	9	0,2	9	0,2	11	0,3	8	0,2
<i>Rhizosolenia stouterfothii</i>	10	0,2	4	0,1	7	0,1	7	0,2				5	0,1	4	0,09	
<i>Asterionella japonica</i>	114	2,7	107	3,3	17	0,4	231	6,0	129	3,0	171	4,1	128	3,2	71	1,8
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	107	2,6	72	2,2	117	2,6	22	0,6	89	2,0	83	1,9	82	2	33	0,7
<i>Navicula</i> sp1	37	0,9	38	1,2	58	1,3	57	1,5	57	1,3	48	1,1	49	1,2	10	0,2
<i>Navicula</i> spp.					4	0,09	5	0,13	4	0,09	1	0,02	2	0,06	2	0,06
<i>Stauroneis membranacea</i>			1	0,03	1	0,02	1	0,02				0,5	0,01	0,5	0,01	
<i>Nitzschia closterium</i>	33	0,8	5	0,1	14	0,3	16	0,4	30	0,7	47	1,1	24	0,6	15	0,4
<i>Nitzschia delicatissima</i>			4	0,1	2	0,04			7	0,2		2	0,06	3	0,08	
<i>Nitzschia seriata</i>	7	0,2	7	0,2	4	0,09						3	0,08	3	0,1	
<i>Nitzschia</i> spp.	2	0,05	1	0,03	1	0,02					2	0,05	1	0,03	1	0,02
<i>Scenedesmus armatus</i>	5	0,1										0,8	0,02	2	0,04	
<i>Scenedesmus javanensis</i>	5	0,1										0,8	0,02	2	0,04	
<i>Scenedesmus protuberans</i>			5	0,1								0,8	0,02	2	0,04	
<i>Tetrastrum</i> sp.	5	0,1										0,8	0,02	2	0,04	
Chlorophycée sp1	10	0,2	2	0,06	2	0,04	4	0,1	9	0,2	6	0,1	5,5	0,1	3	0,07
Chlorophycées spp.	5	0,1	1	0,03	7	0,1	2	0,05	25	0,6	7	0,2	8	0,2	9	0,2
<i>Diploteltopsis minor</i>	5	0,1										0,8	0,02	2	0,04	
<i>Gymnodinium</i> spp.	17	0,4	10	0,3	25	0,5	12	0,3	25	0,6	30	0,7	20	0,5	8	0,2
<i>Minuscula bipes</i>			1	0,03								0,2	0,01	0,4	0,01	
<i>Peridinium depressum</i>	1	0,02										0,2	0	0,4	0,01	
<i>Peridinium minutum</i>								1	0,02			0,2	0	0,4	0,01	
<i>Peridinium</i> spp.					1	0,02	1	0,02			1	0,02	0,5	0,01	0,5	0,01
Péridiniens indéterminés					1	0,02	4	0,1	1	0,02		1	0,02	1,5	0,04	
Chrytidiales parasites ?					2	0,04			4	0,09		1	0,02	2	0,04	
Cellules non déterminées	1	0,02	4	0,1	5	0,1	2	0,05	2	0,05	3	0,07	3	0,07	1	0,03
NOMBRE TOTAL de cellules/cc	4155		3284		4566		3850		4357		4164		4063		449 (11%)	
INDICE DE DIVERSITE	2,440		2,043		2,011		2,298		2,403		2,167		2,227		0,181 (8%)	
EQUITABILITE	0,484		0,425		0,399		0,489		0,511		0,479		0,465		0,043 (9%)	



échantillon. Les données relatives aux mois d'octobre à décembre 1978 à Gravelines (comptages d'H. GROSSEL) tiennent compte des cellules vivantes et mortes. Les résultats sont reportés en annexe.

c - Précision des comptages

Afin d'obtenir une idée de la précision des comptages, nous avons fait l'étude de six cuves différentes provenant d'un même échantillon, ce pour une campagne à faible densité de cellules (tableau 17) et pour une campagne à forte densité d'organismes (tableau 18). Le nombre total de cellules reste à peu près constant dans le premier cas ; il l'est moins dans le second ; mais l'écart-type est légèrement inférieur proportionnellement pour une campagne riche que pour une campagne pauvre (11 % de la moyenne dans le 1er cas contre 13 % dans le second). En ce qui concerne les espèces, l'amplitude de variation est plus grande pour le nombre d'individus que pour le pourcentage de dominance, et pour une période pauvre que pour une période riche. Le rapport écart-type/moyenne pour les espèces dominantes est très inférieur à ce même rapport pour les autres espèces.

## 2 - COMPOSITION DE LA FLORE MICROPLANCTONIQUE

### a - Liste des espèces

La liste des espèces que nous avons relevées à Gravelines et dans le port de Dunkerque tout au long de l'étude est reportée dans les pages suivantes. Nous avons identifié 150 taxons de Diatomées, 38 Dinoflagellés et 20 Chlorophycées à Gravelines, 76 Diatomées, 20 Dinoflagellés et 10 Chlorophycées dans le port de Dunkerque. Dans la liste des espèces chacune d'elles est précédée d'une lettre indiquant la qualité de sa présence dans le milieu :

A : abondante ; fait partie des espèces principales et constitue une espèce dominante à un moment du cycle phytoplanctonique.

C : commune ; elle est rencontrée souvent, mais en petit nombre.

R : rare

RR : très rare ; rencontrée exceptionnellement.

(Quand l'abondance d'une espèce n'a pu être indiquée de manière certaine par suite des difficultés de détermination, nous avons mentionné son abondance présumée suivie d'un point d'interrogation).



LISTE DES ESPECES DE MICROPLANCTON  
RENCONTREES A GRAVELINES EN 1974-1975  
1976-1977 et 1978

---

CHLOROPHYCEAE (Selon P. BOURRELY)

- RR ? *Actinastrum hantzschii* Lagerheim  
R *Actinastrum* sp.  
RR *Closteriopsis* sp. (Lemmermann) ?  
R *Coelastrum microsporum* Nägeli  
R *Coelastrum* sp.  
R *Crucigenia quadrata* Morren  
RR *Crucigenia tetrapedia* Kirch  
R *Crucigenia* sp.  
R *Micractinium pusillum* Fresenius ?  
R *Micractinium* sp.  
R (*Pediastrum boryanum* (Turpin) Ehrenberg)  
RR ? *Pediastrum duplex* Meyer  
R *Pediastrum* spp.  
C *Scenedesmus armatus* Chodat  
R *Scenedesmus falcatus* Chodat  
C *Scenedesmus javanensis* Chodat  
C *Scenedesmus protuberans* Fritsch et Rich  
R *Scenedesmus tenuispina* Chodat  
C *Scenedesmus* spp.  
RR *Schroederia setigera* Lemmermann ?  
RR *Tetraedron caudatum* Lemmermann  
C *Tetrastrum* spp.  
RR *Trochiscia brachiolata* (Möb.) Lemmermann  
R *Trochiscia Clevei* Lemmermann  
RR *Trochiscia multispinosa* (Moeb.) Lemmermann  
R *Trochiscia* spp.  
Chlorophycée (?) sp1  
Chlorophycée sp2  
Chlorophycée sp3

CHRYSOPHYCEAE

*Phaeocystis* sp.

SILICOFLAGELLATA (Selon E. LEMMERMANN)

- RR *Dictyocha fibula* Ehrenberg
- R *Dictyocha speculum* Ehrenberg

BACILLARIOPHYCEAE (DIATOMEES) (Selon HENDEY - 1964-1974, excepté celles qui sont entre parenthèses)

(C) : Centriques (P) : Pennées

- R *Actinocyclus octonarius* Ehrenberg (C)
- RR *Actinocyclus subtilis* (Gregory) Ralfs in Pritchard (C)
- R *Actinocyclus* spp. (C)
- C *Actinoptychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg (C)
- R *Actinoptychus splendens* (Shadbolt) Ralfs in Pritchard (C)
- RR *Achnanthes* spp. (P)
- RR *Amphiprora* spp. (P)
- RR ? (*Amphora commutata* Grun) (P)
- RR ? (*Amphora ocellata* Donkin) (P)
- R *Amphora* spp. (P)
- RR (*Asterionella Bleakeleyi* W. Smith)(P)
- A *Asterionella japonica* Cleve et Möller ex Gran (P)
- R *Asterionella kariana* Grunow in Cleve et Grunow (P)
- R *Aulacodiscus argus* (Ehrenberg) Schmidt (C)
- C *Bacillaria paxillifer* (O.F. Müller) Hendey (P)
- RR *Bacteriastrum delicatulum* Cleve (C)
- RR *Bacteriastrum elongatum* Cleve (C) ?
- RR *Bacteriastrum hyalinum* Lauder (C)
- R *Bacteriastrum* spp. (C)
- RR *Bacterosira fragilis* Gran (C)
- RR *Bellerochea malleus* (Brightwell) Van Heurck (C)
- C *Biddulphia alternans* (Bailey) Van Heurck (C)
- C *Biddulphia aurita* (Lyngbye) de Brébisson (C)
- R *Biddulphia granulata* Roper (C)
- RR *Biddulphia laevis* Ehrenberg (C)
- C *Biddulphia mobiliensis* (Bailey) Grunow ex Van Heurck (C)
- R *Biddulphia regia* (Schultze) Ostenfeld (C)

- C *Biddulphia rhombus* (Ehrenberg) W. Smith (C)
- R *Biddulphia sinensis* Greville (C)
- C *Biddulphia* spp. (C)
- A *Cerataulina pelagica* (Cleve) Hendey (C)
- R *Cerataulus smithii* Ralfs ex Pritch. (C)
- R *Chaetoceros affine* Lauder (C)
- R *Chaetoceros atlanticum* Cleve (C)
- R *Chaetoceros breve* Schütt (C)
- R *Chaetoceros compressum* Lauder (C)
- RR *Chaetoceros constrictum* Gran (C)
- R *Chaetoceros crinitum* Schütt (C)
- A *Chaetoceros curvisetum* Cleve (C)
- R *Chaetoceros danicum* Cleve (C)
- A *Chaetoceros debile* Cleve (C)
- R *Chaetoceros decipiens* Cleve (C)
- C *Chaetoceros densum* Cleve (C)
- R *Chaetoceros diadema* (Ehrenberg) Gran (C)
- C *Chaetoceros didymum* Ehrenberg (C)
- RR *Chaetoceros eibenii* (Grunow) Meunier ex Van Heurck (C)
- RR ? *Chaetoceros gracile* Schütt (C)
- R *Chaetoceros holsaticum* Schütt (C)
- RR *Chaetoceros lorenzianum* Grunow (C)
- C *Chaetoceros perpusillum* Cleve (C)
- R *Chaetoceros pseudocrinitum* Ostenfeld (C)
- A *Chaetoceros radians* Schütt ou *Chaetoceros sociale* Lauder (C)
- RR *Chaetoceros simile* Cleve (C)
- R *Chaetoceros subtile* Cleve (C)
- R *Chaetoceros tortissimum* Gran (C)
- RR *Chaetoceros wighami* Brightwell (C) ?
- R *Chaetoceros* sp1 (C)
- RR *Chaetoceros* (?) sp2 (C)
- Chaetoceros* spp. (C)
- R *Cocconeis* sp. (P)
- RR *Coscinodiscus curvulatus* Grunow in Schmidt (C)
- C *Coscinodiscus excentricus* Ehrenberg (C)
- R *Coscinodiscus grani* Gough (C)
- R *Coscinodiscus lineatus* Ehrenberg (C)
- RR *Coscinodiscus marginatus* Ehrenberg (C)

- R *Coscinodiscus nitidus* Gregory (C)  
 C *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg (C)  
 C *Coscinodiscus* spp. (C)  
 RR *Coscinosira polychorda* (Gran) Gran (C)  
 R (*Cyclotella Meneghiniana* Kütz) (C)  
 C *Cyclotella* spp. (C)  
 RR *Cymbella* sp. (P)  
 RR *Denotula confervacea* (Cleve) Gran (C)  
 C *Diploneis* spp. (P)  
 C *Ditylum brightwellii* (West) Grunow ex Van Heurck (C)  
 R *Eucampia groënlandica* Cleve) (C)  
 C *Eucampia zodiacus* Ehrenberg (C)  
 C *Eucampia* spp. (C)  
 RR *Eunotogramma dubium* Hustedt (C)  
 A "*Fragilaria* spp." (P)  
 RR *Grammatophora* spp. (P)  
 C *Guinardia flaccida* (Castracana) Peragallo (C)  
 RR *Gyrosigma macrum* (W. Smith) Cleve (P)  
 R *Gyrosigma* spp. (P)  
 C *Lauderia borealis* Gran (C)  
 R (*Lauderia glacialis* (Grunow) Gran) (C)  
 A *Leptocylindrus danicus* Cleve (C)  
 R *Leptocylindrus minimus* Gran (C)  
 RR (*Melosira arenaria* Moore) (C)  
 R (*Melosira crenulata* Kütz) ou (*Melosira granulata* (Ehrenberg) Ralfs (C)  
 R ? (*Melosira distans* (Ehrenberg) Kützing) (C)  
 R (*Melosira Roeseana* Rabenhorst) (C)  
 R ? (*Melosira varians* Agardh) (C)  
 C *Melosira westii* W. Smith (C)  
 C *Melosira* spp. (C)  
 RR ? (*Navicula apiculata* Brébisson) (P)  
 RR ? *Navicula cancellata* Donkin (P) ?  
 RR ? *Navicula ergadensis* (Gregory) Ralfs in Pritchard (P)  
 RR ? (*Navicula fusca* (Gregory) Peragallo) (P) ?  
 RR ? *Navicula palpebralis* de Brébisson in W. Smith (P)  
 RR ? *Navicula rhombica* Gregory (P)  
 RR ? *Navicula tuscula* (Ehrenberg) Van Heurck (P)  
 A *Navicula* sp1 (P)  
 C *Navicula* spp. (P)

- RR *(Nitzschia berhei* Hustedt) (P) ?  
RR *Nitzschia bilobata* Wm Smith (P)  
A *Nitzschia closterium* (Ehrenberg) W. Smith (P)  
RR *Nitzschia constricta* Ralfs ex Pritchard (P)  
A *Nitzschia delicatissima* Cleve (P)  
RR *(Nitzschia hantzschiana* Rabenhorst) (P)  
R *Nitzschia longissima* (de Brébisson ex Kützing) Ralfs in Pritchard (P)  
RR *Nitzschia lorenziana* Grunow (P)  
A *Nitzschia seriata* Cleve (P)  
RR *Nitzschia sigma* (Kützing) W. Smith (P)  
RR *Nitzschia spathulata* Wm. Smith (P)  
R *Nitzschia sp1* (P)  
C *Nitzschia sp2* (P)  
RR *Nitzschia sp3* (P)  
*Nitzschia spp.* (P)  
A *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve (C)  
RR *Pinnularia ambigua* Cleve (P) ?  
RR *Pinnularia spp.* (P)  
C *Plagiogramma spp.* (P)  
RR ? *Pleurosigma (affine* Grunow in Cleve et Grunow) (P)  
RR ? *Pleurosigma angulatum* (Quekett) W. Smith (P)  
RR ? *Pleurosigma marinum* Donkin (P)  
C *Pleurosigma spp.* (P)  
C *Podosira stelliger* (Bailey) Mann (C)  
C *Rhaphoneis amphiceros* Ehrenberg (P)  
R *Rhaphoneis surirella* (Ehrenberg) Grunow (P)  
C *Rhaphoneis spp.* (P)  
A *Rhizosolenia delicatula* Cleve (C)  
C *Rhizosolenia fragilissima* Bergon (C)  
RR *Rhizosolenia hebetata* Bailey (C)  
A *(Rhizosolenia pungens* Cleve) (C)  
RR *Rhizosolenia robusta* Norman ex Pritchard (C)  
C *Rhizosolenia setigera* Brightwell (C)  
A *Rhizosolenia shrubsolei* Cleve (C)  
A *Rhizosolenia stolterfothii* Peragallo (C)  
RR *Rhizosolenia styliiformis* Brightwell (C)  
*Rhizosolenia spp.* (C)

- RR *Roperia tessellata* (Roper) Grunow ex Van Heurck (C)  
 RR *Schroderella delicatula* (Bergon Pavillard) (C)  
 A *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve (C)  
 C *Stauroneis membranacea* (Cleve) Hustedt (P)  
 RR *Stephanodiscus* sp. (C) ?  
 C *Streptotheca tamesis* Shrubsole (C)  
*Surirella* sp. (P)  
 RR ? *Synedra acus* (Kützing) Grunow (P) ?  
 R *Synedra* spp. (P)  
 A *Thalassionema nitzschioides* Hustedt (P)  
 RR ? *Thalassiosira baltica* (Grunow) Ostenfeld (C)  
 C *Thalassiosira condensata* Cleve (C)  
 A *Thalassiosira decipiens* (Grunow) Jörgensen (C)  
 C *Thalassiosira fallax* Meunier (C)  
 C ? *Thalassiosira gravida* Cleve (C)  
 R ? *Thalassiosira hyalina* (Grunow) Gran (C) ?  
 A (*Thalassiosira levanderi*)Goor (C)  
 A *Thalassiosira nordenskiöldii* Cleve (C)  
 A *Thalassiosira rotula* Meunier (C)  
 R *Thalassiosira subtilis* (Ostenfeld) Gran (C)  
 R "*Thalassiosira* (?) sp1" (C)  
*Thalassiosira* spp. (C)  
 RR *Thalassiotrix frauenfeldii* Grunow (P)  
 RR *Toxonidea insignis* Donkin (P)  
 RR *Toxonidea gregoriana* Donkin (P)  
 RR *Trachyneis aspera* (Ehrenberg) Cleve (P) (?)  
 R *Triceratium favus* Ehrenberg (C)

DINOPHYCEAE (DINOFLAGELLES) (Selon OVE PAULSEN, 1908, excepté celles qui sont entre parenthèses)

- R *Ceratium furca* (Ehrenberg) Claparède et Lachmann  
 R *Ceratium fusus* (Ehrenberg) Claparède et Lachmann  
 R *Ceratium* sp.  
 RR ? *Dinophysis ovum* Schütt  
 R *Dinophysis* sp.  
 RR *Diplopsalis* sp.  
 RR (*Diploteltopsis minor* (Paulsen) Pavillard)  
 RR (*Diploteltopsis* sp. )

- RR *Glenodinium* sp.  
RR *Gonyaulax polyedra* Stein  
RR *Gonyaulax* sp.  
R *Gymnodinium aeruginosum* Stein  
C *Gymnodinium Lohmanni* Paulsen  
R (*Gymnodinium splendens* Lebour)  
C *Gymnodinium* spp.  
RR (*Gyrodinium* sp.)  
C *Heterocapsa triquetra* (Ehrenberg) Stein  
C (*Minuscula bipes* (Pauls.) Lebour)  
C (*Noctiluca scintillans* Macartney)  
RR (*Ornithocercus* sp.)  
RR *Oxytoxum gladiolus* Stein  
C *Peridinium*\* *brevipes* Paulsen  
RR ? *Peridinium conicoïdes* Paulsen  
RR ? *Peridinium conicum* Gran  
RR ? *Peridinium crassipes* Kofoid  
R ? *Peridinium depressum* Bailey  
RR ? *Peridinium excentricum* Paulsen  
R ? *Peridinium Granii* Ostenfeld  
RR ? *Peridinium longipes* Bailey  
RR ? (*Peridinium minutum* Kofoid)  
RR ? *Peridinium oceanicum* Vanhoffen  
R ? *Peridinium ovatum* (Pouchet) Schütt  
RR ? *Peridinium pallidum* Ostenfeld  
R ? *Peridinium pellucidum* (Bergh) Schütt  
RR ? *Peridinium pentagonum* Gran  
R ? *Peridinium punctulatum* Paulsen  
RR *Peridinium Steinii* Jörgensen  
C (*Peridinium trochoïdeum* (Stein) Lemmermann)  
C *Peridinium* spp.  
RR (*Prorocentrum gracile* Schütt)  
C *Prorocentrum micans* Ehrenberg  
RR (*Prorocentrum rostratum* Stein)  
C *Prorocentrum* spp.  
RR *Protoceratium* sp.  
R *Pyrocystis lunula* Schütt

\* BALECH (1974) considère que la plupart des espèces marines classées dans le genre *Peridinium* appartiennent au genre *Proto-peridinium* Bergh, 1881.

CYANOPHYCEAE

Cellule sp1

Cellule sp2

Chrytidiales parasites



LISTE DES ESPECES DE MICROPLANCTON  
RENCONTREES DANS LE PORT DE DUNKERQUE  
(station E) en 1977-1978

---

CHLOROPHYCEAE (Selon P. BOURRELY)

- R *Crucigenia quadrata* Morren
- RR *Crucigenia tetrapedia* Kirch
- R *Pediastrum* sp.
- C *Scenedesmus armatus* Chodat
- RR *Scenedesmus falcatus* Chodat
- C *Scenedesmus javanensis* Chodat
- C *Scenedesmus protuberans* Fritsch et Rich
- RR *Scenedesmus tenuispina* Chodat
- C *Scenedesmus* spp.
- C *Tetrastrum* sp.
- A Chlorophycée sp2

BACILLARIOPHYCEAE (DIATOMEES) (Selon HENDEY, 1964-1974, excepté celles qui sont  
entre parenthèses)

- RR *Achmanthes* sp.
- R *Actinopterychus senarius* (Ehrenberg) Ehrenberg
- RR *Amphiprora* sp.
- RR *Amphora* sp. ?
- RR (*Asterionella formosa* Hassall)
- A *Asterionella japonica* Cleve et Möller ex Gran
- C *Biddulphia aurita* (Lyngbye) de Brébisson
- R *Biddulphia mobiliensis* (Bailey) Grunow ex Van Heurck
- R *Biddulphia regia* (Schultze) Ostenfeld
- A *Cerataulina pelagica* (Cleve) Hendey
- R *Chaetoceros affine* Lauder ?
- RR *Chaetoceros breve* Schütt ?
- R(A?) *Chaetoceros crinitum* Schütt ?
- A *Chaetoceros curvisetum* Cleve
- A *Chaetoceros debile* Cleve

- R *Chaetoceros decipiens* Cleve
- RR *Chaetoceros diadema* (Ehrenberg) Gran
- A *Chaetoceros didymum* Ehrenberg
- R ? *Chaetoceros perpusillum* Cleve ?
- A *Chaetoceros sociale* Lauder ou *Chaetoceros radians* Schütt
- R *Chaetoceros* sp1
- C *Chaetoceros* spp.
- RR *Coscinodiscus nitidus* Gregory
- R *Coscinodiscus radiatus* Ehrenberg
- R *Coscinodiscus* spp.
- RR *Coscinosira polychorda* (Gran) Gran
- C ? *Cyclotella* spp.
- RR *Diploneis* spp.
- C *Ditylum brightwellii* (West) Grunow ex Van Heurck
- R *Eucampia zodiacus* Ehrenberg
- C "Fragilaria spp."
- R *Grammatophora oceanica*
- RR *Guinardia flaccida* (Castracana) Peragallo
- C *Lauderia borealis* Gran
- R (*Lauderia glacialis* (Grunow) Gran)
- C *Leptocylindrus danicus* Cleve
- RR *Leptocylindrus minimus* Gran
- R *Licmophora* sp.
- RR *Lithodesmium undulatum* Ehrenberg
- R (*Melosira crenulata* Kütz) ou (*Melosira granulata* (Ehrenberg) Ralfs)
- R *Melosira juergensii* Agardh
- R *Melosira moniliformis* (O.F. Müller) Agardh
- R (*Melosira varians* Agardh)
- R *Melosira* spp.
- C *Navicula* sp1
- C *Navicula* spp.
- A *Nitzschia closterium* (Ehrenberg) W. Smith
- C *Nitzschia delicatissima* Cleve
- A *Nitzschia seriata* Cleve
- RR *Nitzschia spathulata* Wm. Smith
- R *Nitzschia* sp2
- RR *Nitzschia* sp3
- C *Nitzschia* spp.

- C *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve
- R *Plagiogramma* sp.
- R *Pleurosigma* spp.
- RR *Podosira stelliger* (Bailey) Mann
- RR *Porosira glacialis* (Grunow) Jörgensen ?
- R *Rhaphoneis amphicerus* Ehrenberg
- RR *Rhizosolenia cylindrus* Cleve
- C *Rhizosolenia delicatula* Cleve
- R *Rhizosolenia fragilissima* Bergon
- C (*Rhizosolenia pungens* Cleve)
- C *Rhizosolenia setigera* Brightwell
- C *Rhizosolenia shrubsolei* Cleve
- C *Rhizosolenia stouterfothii* Peragallo
- A *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve
- R *Stauroneis membranacea* (Cleve) Hustedt
- RR *Streptotheca tamesis* Shrubsole
- RR *Surirella* sp.
- R *Synedra* sp.
- C *Thalassionema nitzschioides* Hustedt
- R *Thalassiosira condensata* Cleve
- A *Thalassiosira decipiens* (Grunow) Jörgensen
- C ? *Thalassiosira fallax* Meunier ?
- C ? *Thalassiosira gravida* Cleve ?
- A (*Thalassiosira levanderi* Goor)
- A *Thalassiosira nordenskioldii* Cleve
- A *Thalassiosira rotula* Meunier
- R "*Thalassiosira* (?) sp1"
- C *Thalassiosira* spp.

DINOPHYCEAE (DINOFAGELLES) (Selon O. PAULSEN, 1908, excepté celles qui sont entre parenthèses)

- R *Dinophysis* sp.
- R *Diplopsalis* sp.
- R (*Diploteltopsis* sp.) ?
- RR *Glenodinium* sp. ?
- C *Gymnodinium Lohmanni* Paulsen
- C *Gymnodinium* spp.
- RR (*Gyrodinium* sp.)
- C *Heterocapsa triquetra* (Ehrenberg) Stein

- C (*Minuscula bipes* (Paulsen) Lebour)
- (*Noctiluca scintillans* Macartney )
- R *Oxytoxum* sp. ?
- R *Peridinium brevipes* Paulsen
- R *Peridinium conicum* Gran
- RR *Peridinium longipes* Bailey
- RR (*Peridinium minutum* Kofoid)
- R *Peridinium pallidum* Ostenfeld
- R *Peridinium pellucidum* (Bergh) Schütt
- C *Peridinium Steinii* Jörgensen ?
- C (*Peridinium trochoideum* (Stein) Lemmermann)
- C *Peridinium* spp.
- A *Prorocentrum micans* Ehrenberg

CYANOPHYCEAE

Parmi les Diatomées plusieurs espèces voisines sont difficilement discernables les unes des autres et ont été regroupées dans une même catégorie. C'est le cas de *Chaetoceros sociale* et *Chaetoceros radians*, *Melosira crenulata* et *Melosira granulata*. De même *Chaetoceros curvisetum* et *Chaetoceros debile* ne peuvent pas toujours être distinguées l'une de l'autre (selon leur position sur le fond de la cuve) et nous les avons regroupées pour les comptages. Les cellules que nous avons déterminées comme étant *Nitzschia seriata* peuvent être des espèces voisines (HASLE, 1972).

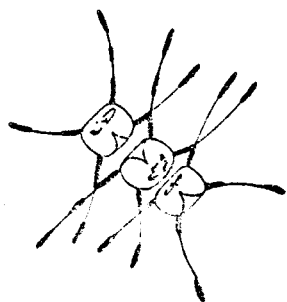
D'autre part il n'est pas toujours possible, à l'intérieur de certains genres, de déterminer les espèces, soit parce qu'elles sont en mauvais état (épines cassées par exemple), soit parce que le nombre de particules dans les échantillons est tel qu'une partie d'entre elles se dépose sur les cellules phytoplanctoniques et masque certains détails, ou par suite d'une mauvaise position des cellules sur le fond de cuve, ou de la séparation de cellules qui sont normalement associées en chaînes. C'est le cas en particulier des genres *Chaetoceros* et *Thalassiosira*. Ainsi le nombre de cellules indiqué pour certaines espèces de *Thalassiosira* est sans doute, lors de quelques campagnes, bien inférieur à leur nombre réel. Pour les genres *Nitzschia* et surtout *Navicula* la finesse des détails (ornementation des frustules le plus souvent) qui font la différence entre les espèces ne nous est pas accessible avec les moyens dont nous disposons dans le cadre de notre étude. Etant donné la rareté de ces espèces il ne nous a pas paru utile de mener plus avant la détermination.

Nous avons regroupé sous l'appellation "*Fragilaria*" des Diatomées pennées associées en chaînes, que nous n'avons pu déterminer et qui semblent appartenir aux genres *Fragilaria* et *Navicula*.

b - Description de certaines espèces non déterminées

D'autres espèces rencontrées plus souvent, ou plus caractéristiques, ont retenu notre attention :

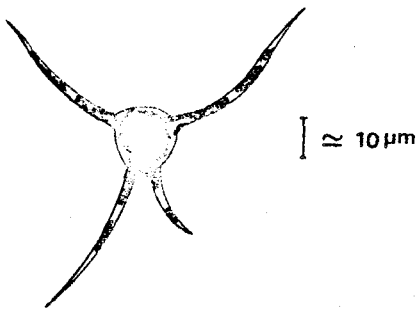
*Chaetoceros sp1* est une cellule de petite taille comparée aux autres *Chaetoceros* ( $\approx 10\mu\text{m}$ ), que nous avons



]|  $\approx 10\mu\text{m}$

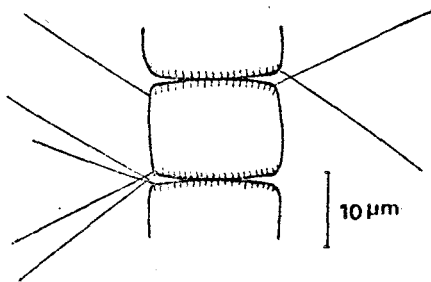
trouvée isolée ou en chaînes de quelques individus. La cellule est de forme aplatie, à angles arrondis. Les soies sont courtes et présentent de légers renflements à la base, à l'extrémité, et parfois au milieu, qui correspondent à la présence d'un plaste. Cette espèce est relativement rare à Gravelines : on la trouve assez souvent, mais en très petit nombre.

*Chaetoceros* (?) sp2 est une cellule isolée. Le corps cellulaire mesure



environ 15µm. Il possède quatre prolongements égaux dans deux plans perpendiculaires. Ceux-ci ont une longueur d'environ 30-40µm et contiennent deux ou trois chloroplastes (ou fragments de cytoplasme ?). Cette espèce est très rare à Gravelines ; nous n'en avons trouvé que 3 individus, pendant la sortie du 7 janvier 1977.

Nous avons appelé "*Thalassiosira* (?) sp1" des cellules de petite taille

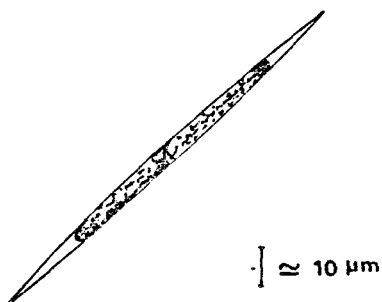


(≈ 10µm), souvent associées en chaînes de quelques individus. Ces Diatomées sont accolées les unes aux autres et possèdent une couronne de quelques épines à chaque extrémité.

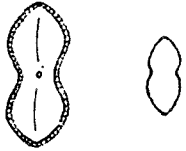
*Navicula* sp1 est une toute petite Diatomée, en forme de bâtonnet (longueur ≈ 10µm, largeur ≈ 2-3µm) qui possède deux plastes. On la rencontre le plus souvent fixée sur les soies des cellules du genre *Chaetoceros*, parfois en grand nombre.

*Nitzschia* sp1 est une cellule isolée, en forme de fuseau pointu très al-

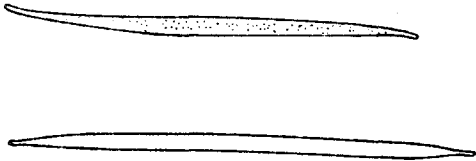
longé (longueur ≈ 100µm). Elle est rare à Gravelines.



*Nitzschia sp2* est une cellule solitaire de taille variable (petite ou moyenne) aux bords striés et munie d'un étranglement dans le milieu. On trouve souvent la cellule morte, dont il ne reste que le frustule. Cette appellation recouvre peut-être plusieurs espèces.

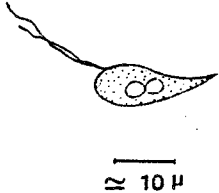


*Nitzschia sp3* est une cellule isolée allongée, assez grande ; ses extrémités sont arrondies et recourbées. Elle est très rare à Gravelines et pourrait être *Nitzschia behrei*.

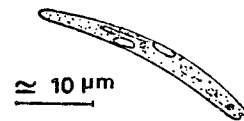
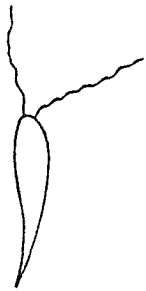


Parmi les Chlorophycées plusieurs espèces restent indéterminées :

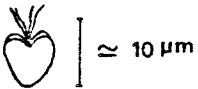
*Chlorophycée (?) sp1* est une cellule solitaire de petite taille ( $\approx 20\mu\text{m}$ ). L'une des extrémités est pointue ; l'autre est arrondie et porte deux flagelles. Ce n'est peut-être pas une chlorophycée mais une spore, ou encore une Cryptophycée.



*Chlorophycée sp2* est une cellule solitaire, un peu plus grande que la précédente ( $\approx 30-40\mu\text{m}$ ), munie de deux flagelles sinueux. L'extrémité qui porte les flagelles est arrondie ; l'autre est pointue. Cette cellule fait peut-être partie des *Euglènes*.

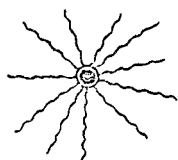


*Chlorophycée sp3* est une cellule solitaire, de forme plus trapue et de petite taille ( $< 10\mu\text{m}$ ). Elle est divisée en quatre lobes et porte à son extrémité la plus large quatre ou cinq flagelles. Ce pourrait être *Carteria*.



Deux autres cellules sont indéterminées :

La cellule sp1 est de petite taille, solitaire. Elle possède de grandes  
.....



épines sinuées disposées sur deux rangs. Elle est rare à Gravelines.

La cellule sp2 est également de petite taille (< 10µm), de forme ovale.  
.....

Elle est généralement fixée sur un support, le plus souvent sur une particule minérale. Elle pourrait appartenir au genre *Cocconeis* ou être *Rhaphoneis surirella*.

### c - Composition des populations microplanctoniques

Le microplancton de Gravelines et du port de Dunkerque est essentiellement constitué de Diatomées.

A Gravelines le nombre de Diatomées est toujours supérieur à 100  $\text{é} / \text{cm}^3$  (fig. 44, tableaux 19 à 21). Il n'est pas rare qu'il atteigne ou dépasse 1000 individus par  $\text{cm}^3$ . Par contre les Dinoflagellés et Chlorophycées y comptent très rarement 100  $\text{é} / \text{cm}^3$  et se situent généralement en dessous de 20  $\text{é} / \text{cm}^3$ . Les Diatomées représentent souvent plus de 95 % du nombre total de cellules du microplancton (fig.45, tableaux 19 à 21); elles constituent au minimum 68 % de la population, au point du large le 14 mai 1977.

Dans le port de Dunkerque les Diatomées comptent souvent plus de 100  $\text{é} / \text{cm}^3$  (fig. 46, tableau 22) tandis que le nombre de Dinoflagellés et de Chlorophycées est généralement inférieur à 100  $\text{é} / \text{cm}^3$ . Le pourcentage de dominance des Diatomées par rapport au nombre total de cellules du microplancton, supérieur à 90 % au printemps, est rarement inférieur à 60 % (30,7 % le 19 août 1977, 30,5 % le 5 mai 1978) (fig.47, tableau 22).

La dominance des Diatomées est couramment observée dans les régions côtières (GRALL et JACQUES, 1964 ; MOMMAERTS, 1972 ; TRAVERS, 1973 ; STOCKNER et CLIFF, 1976). Dans le sud de la Mer du Nord le nombre de Diatomées est égal à plus de 90 % du nombre total de cellules (flagellés exceptés) (STEYAERT-PLANCKE et LANCELOT-VAN BEVEREN, 1973). Sur la côte des Barbades leur quantité varie de 50 à 100 % du total des cellules, avec une moyenne de 94 % (SANDER, 1976). Dans le Golfe de Marseille, TRAVERS (1973) remarque une prédominance moins marquée des Diatomées à la station la plus éloignée du rivage. De même



MARSHALL (1971-1976-1978) a noté sur la côte est des Etats-Unis la tendance du passage d'une flore où dominent les Diatomées à la côte, à une plus grande richesse de Dinoflagellés au large. On remarque déjà cette tendance (plus marquée en 1974-75), sur le site très côtier de Gravelines (fig. 48 et 49 ).

HULBURT (1962) explique la pauvreté des Diatomées au-delà du plateau continental par le fait qu'elles s'enfoncent tandis que les Dinoflagellés peuvent se maintenir dans la zone euphotique. Ces derniers possèdent en effet deux flagelles qui leur permettent de se déplacer. Ils sont donc favorisés dans les zones profondes. Mais dans les régions productives, en général près des côtes, la capacité de reproduction des Diatomées, comparée à celle des Dinoflagellés, peut, quand les conditions sont favorables à la croissance des Diatomées, compenser la perte due à la sédimentation. D'après MARGALEF (1978), les Diatomées dominent dans les eaux turbulentes, riches en sels nutritifs, les Dinoflagellés dans les eaux calmes, pauvres en sels nutritifs. L'apport de sels nutritifs et la turbulence sont, pour cet auteur, les facteurs les plus importants qui agissent sur les cellules : "L'apport de sels nutritifs est généralement associé à la turbulence..., donc les espèces adaptées à une forte concentration de sels nutritifs le sont aussi à une plus grande turbulence. Ceci est le cas pour nombre d'espèces qui ne peuvent se déplacer, telles les Diatomées. Les espèces adaptées aux faibles concentrations de sels nutritifs peuvent l'être également à une faible turbulence, qui permet et même nécessite une certaine mobilité de la part des organismes. Les Dinoflagellés en sont un excellent exemple". Dans les eaux riches en sels nutritifs les petites cellules, qui ont un rapport surface/volume élevé, (Diatomées) se multiplient plus vite que les grandes cellules (Dinoflagellés) et dominent donc les populations.

Dans le sud de la Mer de Beaufort HSIAD et coll. (1977) ont également remarqué la dominance des Diatomées au voisinage de la côte. Outre les taux de sels nutritifs importants et la faible intensité lumineuse, les Diatomées ont besoin d'autres éléments : "En général les Diatomées montrent une tendance à l'auxotrophie nécessitant trois vitamines B (B12, thiamine et biotine (LEWIN, 1959 ; DROOP, 1962 ; PROVASOLI, 1963 ; LEWIN, 1972) et des éléments traces, en particulier le fer (RYTHER et KRAMER, 1961 ; MENZEL et coll., 1963 ; LEWIN et CHEN, 1971), pour leur croissance". Ces vitamines et éléments traces que re-

quièrent les Diatomées se trouvent essentiellement dans les zones côtières soumises aux apports telluriques. La vitamine B<sub>12</sub> est nécessaire à la croissance des Dinoflagellés comme à celle des Diatomées (expériences de PINCEMIN, 1972, sur *Asterionella japonica*, *Prorocentrum micans* et *Glenodinium monotis*). Ce facteur ne semble donc pas faire partie de ceux qui influent directement sur la distribution Diatomées-Dinoflagellés au voisinage des côtes.

Sur la côte du Liban, TALASKIAN et HARDY (1976) notent durant toute une année une diminution des Diatomées et leur remplacement par des algues bleues et des Dinoflagellés, au voisinage de rejets non traités dans lesquels les taux de sels nutritifs sont très élevés ( $\text{NO}_3^-$  : 6 à 37  $\mu\text{atg/l}$ , moyenne : 20  $\mu\text{atg/l}$  ;  $\text{NO}_2^-$  : 0,5 à 1,5  $\mu\text{atg/l}$ , moyenne : 0,8  $\mu\text{atg/l}$  ;  $\text{NH}_4^+$  : 8,8 à 244  $\mu\text{atg/l}$  ; moyenne : 64  $\mu\text{atg/l}$  ;  $\text{PO}_4^{3-}$  : 2,1 à 17  $\mu\text{atg/l}$ , moyenne : 6,4  $\mu\text{atg/l}$ ). Ces taux sont beaucoup plus importants que ceux que nous avons relevés à Gravelines. Les travaux de KEATING (1978) sur un lac eutrophe du Connecticut montrent que les algues bleues excrètent une substance qui inhibe la croissance des Diatomées. Selon cet auteur la dilution des substances produites par les algues bleues dans le milieu marin est telle que leur concentration n'y est pas assez grande pour avoir un effet sur les Diatomées. Cela ne semble pas être vérifié dans le cas cité ci-dessus, à moins que la disparition des Diatomées ne résulte d'un manque de silicates (dont le taux n'est pas précisé).

Après avoir évoqué la composition globale de la population microplanctonique, nous allons en étudier les différentes classes, en nous attachant plus particulièrement aux principaux genres ou espèces de chacune d'elles. Les figures qui retracent l'évolution dans le temps des principaux genres ou espèces phytoplanctoniques à Gravelines sont établies à partir des moyennes des données concernant toutes les stations en 1975, les points C, M et L en 1976-77-78. Les courbes qui concernent le port de Dunkerque sont tracées à partir de la moyenne des trois niveaux. Les valeurs de ces moyennes sont reportées dans les tableaux 19 à 22, ainsi que les moyennes des pourcentages de dominance aux mêmes stations. Le signe 0 dans les figures indique l'absence totale de l'espèce à la date considérée.

Pour établir la répartition et les caractéristiques des espèces, nous avons consulté les travaux des auteurs suivants, classés par ordre chronologique :

- GRAN, 1908 (mers de l'Europe du Nord),
- 1 OSTENFELD, 1931 (régions depuis la Manche jusqu'à la Mer de Barentz, de 1902 à 1908),  
MASSUTI et MARGALEF, 1950 ( côtes européennes ),
- 10 GRØNTVED, 1952 (Sud de la Mer du Nord, mai 1947),
- 27 HULBURT, 1962 (Mer des Sargasses et Courant nord-équatorial, février 1961),
- 15 GRALL et JACQUES, 1964 (Roscoff, février 1962 à septembre 1963),
- 11 HENDEY, 1964 (côtes anglaises),
- 30 SOURNIA, 1968 (Madagascar, 25 août au 5 septembre 1964),
- 20 JACQUES, 1969 (Banyuls, juin 1965 à juin 1968),
- 28 SAUNDERS et GLENN, 1969 (Golfe du Mexique, août 1965 à juillet 1966),
- 26 MARSHALL, 1971 (côte est des Etats-Unis, au sud du Cap Hatteras, décembre 1964 à mai 1968),
- 15 GRALL, 1972 (Roscoff, janvier 1964 à juillet 1965, 1966, 1969),
- 8 LUCAS et GLOVER, 1973 (Atlantique nord et Mer du Nord, mars 1961 à mars 1971),
- 4 SAKSHAUG et MYKLESTAD, 1973 (Fjord de Trondheim, mars à octobre 1970-71),
- 19 TRAVERS, 1973 (Golfe de Marseille, octobre 1960 à janvier 1965),
- 7 DREBES, 1974 (Helgoland),
- 11 HENDEY, 1974 (côtes anglaises, révision de la liste des espèces),
- 9 LOUIS et coll., 1974 (Océan Atlantique nord-est et Mer du Nord, janvier 1970 à décembre 1971),
- 3 MOTODA et MINODA, 1974 (Mer de Bering pendant la 1ère moitié de l'été, de 1954 à 1970),
- 25 DURBIN et coll., 1975 (Baie de Narragansett, novembre 1972 à octobre 1973),
- 19 BOURGADE, 1976 (1977) (Martigues-Ponteau, 1975),
- 24 COHEN, 1976 (Golfe du Maine, revue des travaux depuis 1912),
- 2 FOY et HSIAO, 1976 (Sud de la Mer de Beaufort en été, 1973 à 1975),
- 23 MARSHALL, 1976 (côte est des Etats-Unis, au nord du Cap Hatteras, 1964 à 1973),
- 19 PATRITI, 1976 (Port de Marseille et ses abords, 1970-71-72),
- 29 SANDER, 1976 (côtes des Barbades, septembre 1971 à septembre 1973),
- 17 STOCKNER et CLIFF, 1976 (Howe Sound, British Columbia, janvier 1973 à mai 1975),
- 25 VARGO, 1976 (Baie de Narragansett, fin septembre 1972 à fin septembre 1973),

- 6 EDLER, 1977 (Sound (entre la Baltique et le Kattegat), 1972 et 1973),  
14 HOLLIGAN et HARBOUR, 1977 (Manche, station E1, mai à septembre 1976),  
2 HSIAD et coll., 1977 (sud de la Mer de Beaufort, en été, 1973-74-75),  
5 PAASCHE, 1977 (Fjord d'Oslo, février 1976 à janvier 1977),  
20 DESCOLAS-GROS, 1978 (Banyuls, septembre 1976, mai et septembre 1977),  
23 MARSHALL, 1978 (côte est des U.S.A., au nord du Cap Hatteras, 1964  
à 1973),  
18 SEVIGNY et coll., 1979 (Golfe du S<sup>t</sup>-Laurent, 20-21 juillet 1976),  
17 STOCKNER et CLIFF, 1979 (Port de Vancouver, 1975 et 1976),  
16 STOCKNER et coll., 1979 (Déroit de Géorgie, 1975 à 1977).

La position géographique des lieux de ces études est indiquée par le chiffre correspondant dans la figure 50.

### 3 - DIATOMEES

Parmi les Diatomées que nous avons rencontrées à Gravelines et dans le port de Dunkerque nous porterons surtout notre attention sur celles qui constituent, à un moment ou à un autre, un élément important de la population.

#### a - *Paralia sulcata*

*Paralia sulcata* est une Diatomée centrique benthique dont les individus sont associés en colonies rubannées. On la trouve dans le plancton néritique durant toute l'année, mais surtout pendant les mois froids et plus particulièrement après les coups de vent hivernaux. Espèce lourde, on peut la considérer comme indicatrice du mélange vertical des eaux.

La quantité de matières en suspension dans l'eau à Gravelines est en général fonction de son agitation (cf. chp. I). Les plus grands nombres de cellules de *P. sulcata* correspondent en général aux plus fortes turbidités, donc aux périodes plus agitées ; inversement *P. sulcata* est peu représentée quand le milieu est calme (fig. 52 ). Cette relation apparaît moins en 1975.

C'est en hiver que l'on relève les taux maxima de *P. sulcata* à Gravelines ; on la retrouve souvent au printemps (fig. 51 ).

Comparée à d'autres espèces typiquement planctoniques, *P. sulcata*

est relativement peu abondante à Gravelines où elle ne dépasse pas en moyenne 40 à 70  $\mu$  / cm<sup>3\*</sup>. Elle peut cependant constituer une part relativement importante du phytoplancton en hiver : elle représente 36 % et 29 % du nombre total de cellules les 2 et 9 février 1975, 26 % le 7 février 1978. A Roscoff, la population phytoplanctonique compte jusqu'à 60 % de *P. sulcata*, début novembre 1963, à la côte (prélèvements au filet). *P. sulcata* est le plus souvent absente des eaux du port de Dunkerque. Nous y avons relevé un maximum de 16  $\mu$  / cm<sup>3</sup>.

Cette espèce eurytherme et euryhaline a été trouvée en Manche, Mer du Nord, sur la côte est des U.S.A. D'après les données dont nous disposons, elle ne semble pas être présente dans les eaux plus froides du nord de l'Europe ou de l'Amérique, ni en Méditerranée ou sur les côtes des Barbades ou de Madagascar. Pourtant elle a été observée toute l'année (surtout en février) dans le Golfe du Mexique. Selon BRUNEL (1962 ; in SAUNDERS, 1965) *P. sulcata* est la Diatomée la plus répandue en mer. Elle est connue dans tous les océans, dont l'Arctique et les mers australes, dans la Méditerranée, la Baltique et la Mer du Nord. Elle est généralement plus abondante près des côtes et au voisinage du fond.

A Gravelines, le petit nombre de cellules de *P. sulcata* et sa formation en colonies conduisent à une distribution assez irrégulière de cette espèce. On remarque pourtant le 2 février 1975 une dominance moins grande au large (fig. 53). On ne peut conclure à une plus grande importance de *P. sulcata* au voisinage du fond, bien que cela se produise parfois.

*P. sulcata* supporte des conditions de milieu variées puisqu'elle a été relevée dans des eaux de température allant de 0,39 ° C à 29,0 ° C et de salinité 3,32 à 34 ‰ (d'après les références de SAUNDERS, 1965). GRALL (1972) l'a observée en Mer d'Iroise à des salinités voisines de 35,2 ‰. BRUNEL (1962, in SAUNDERS, 1965) cite les optima de 2,9 ° C et 28 ‰ dans la Baie des Chaleurs (Canada). A Gravelines la température est rarement inférieure à 5 ° C et la salinité se situe généralement entre 33,5 et 34,5 ‰, valeurs supérieures à l'optimum fixé par BRUNEL. Le 20 mai 1975, à la salinité très faible de la station 1 (26,6 ‰) correspond effectivement un grand nombre

---

\* Les fortes valeurs des mois d'octobre à décembre 1978 tiennent compte des cellules mortes, dont le nombre peut être important chez cette espèce. La quantité de *P. sulcata* est donc sans doute surestimée à cette période.

de cellules de *P. sulcata* (295  $\mu$  / ml) : la salinité pourrait être trop forte à Gravelines pour permettre un grand développement de cette espèce.

b - Genre *Thalassiosira*

A Gravelines, on trouve le genre *Thalassiosira* toute l'année, mais c'est au début du printemps que son développement est maximum. Il est encore bien représenté à la fin du printemps et en automne (sauf en 1978) (fig. 54).

Continuellement présent dans le port de Dunkerque, le genre *Thalassiosira* est abondant au début du printemps et en été (fig. 56).

Le genre *Thalassiosira* fait partie, dans les régions tempérées côtières, des Diatomées qui dominent pendant les premiers stades du bloom printanier. On le retrouve souvent en automne. A Roscoff, il est présent toute l'année, mais surtout de février à avril. Il n'a pas été observé à Madagascar, ni en Mer des Sargasses. A Marseille, seule *Th. rotula* est mentionnée. A Martigues-Pontheau, près des Barbades et dans le Golfe du Mexique, les auteurs ne citent que *Th. decipiens*. Le genre *Thalassiosira* est donc surtout représenté dans les eaux froides.

Les espèces les plus abondantes à Gravelines et dans le port de Dunkerque sont : *Th. decipiens*, *Th. levanderi*, et *Th. nordenskioldii*, suivies de *Th. rotula* (ou *gravida*) (fig. 55 et 56).

*Thalassiosira condensata* est rarement mentionnée par les auteurs. Dans nos comptages cette espèce peut parfois être confondue avec *Th. fallax*, Diatomée arctique, présente dans la partie septentrionale de la Mer du Nord. *Th. condensata* a été relevée à Roscoff en 1964. A Gravelines, elle est peu nombreuse et il est difficile de discerner une période pendant laquelle elle est particulièrement présente.

*Thalassiosira decipiens* est une espèce néritique largement distribuée dans les mers tempérées. Mentionnée dans des zones plus froides comme la Mer de Bering, elle est présente dans les eaux chaudes : Martigues-Pontheau, Adriatique (PUCHER-PETKOVIĆ, 1966, fig. 50 n°21), Barbades ; elle est très abondante à Banyuls de novembre à février. Généralement *Th. decipiens* se développe au début du printemps, mais elle a aussi été trouvée en mai à Roscoff en 1966, en novembre-décembre dans la Baie de Narragansett, en juin et septembre dans le Golfe du Mexique.



A Gravelines, elle apparaît surtout au printemps, mais aussi en automne (sauf en 1978). Elle peut encore se multiplier à la fin du printemps (en 1978). Les difficultés de détermination ne permettent pas d'estimer avec précision sa quantité ; elle ne semble pourtant pas dépasser  $100 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  en moyenne, ni constituer une grande part du phytoplancton. Sa dominance par rapport au nombre de cellules de microplancton peut être plus élevée au large qu'à la côte :

18% au point L, 3% au point M et 2% au point C, le 3 mai 1978,

25% au point L, 6% au point M et 4% au point C, le 21 mai 1978,

par suite de la multiplication d'autres espèces ("*Fragilaria*" et *Asterionella japonica* en mai 1978) aux stations C et M.

Dans le port de Dunkerque, *Th. decipiens* se développe au début et à la fin du printemps, puis en été. Elle est très faiblement représentée et même souvent absente en automne et en hiver. Nous avons relevé des concentrations légèrement supérieures à celles de Gravelines : jusqu'à  $300 \text{ à } 400 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$ .

*Thalassiosira levanderi*, la plus petite des *Thalassiosira*, semble, comme *Th. decipiens*, se situer au voisinage du fond (DREBES, 1974). Présente dans les eaux saumâtres de l'Elbe et dans le port d'Helsinki, on la trouve dans le plancton printanier d'Helgoland (DREBES, 1974). Très peu d'auteurs en font mention. Elle ne fait apparemment pas partie des Diatomées de Roscoff.

A Gravelines, nous l'avons vue presque toute l'année, surtout au début du printemps, mais aussi en automne. Elle peut atteindre  $100 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  en moyenne (février 1977 et juin 1978). Elle constitue au maximum 27 % de la population phytoplanctonique, le 15 février 1977.

Dans le port de Dunkerque, le développement maximal de *Th. levanderi* semble avoir été observé pendant l'été 1977 ; mais les difficultés de détermination des cellules du genre *Thalassiosira* à cette époque ne permettent pas de l'affirmer. Une deuxième période de croissance se situe au début du printemps 1978 :  $\approx 200 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$ . *Th. levanderi* est présente en petit nombre durant tout l'automne et l'hiver. Elle représente au maximum 26 % du nombre total de cellules de microplancton, le 9 décembre 1977.

*Thalassiosira nordenskioldii* est une espèce néritique arctique qui se développe en masse le long des côtes de l'Europe du Nord. Espèce d'eaux froides (MARSHALL (1978) la place parmi les espèces caractéristiques des eaux de température inférieure à  $10^\circ \text{ C}$  sur la côte des U.S.A.),

elle a été trouvée sous la glace à Igloolik, à  $-1,7^{\circ}\text{C}$  ; elle y domine lors du bloom printanier, alors que l'eau est à une température de  $0^{\circ}\text{C}$  (DURBIN, 1974). En 1976 elle disparaît après le mois de mars du plancton du Fjord d'Oslo, dont elle est l'un des composants principaux au point de vue biomasse. Elle persiste jusqu'à fin avril dans la Baie de Narragansett en 1973. Si on la remarque généralement au printemps, elle peut réapparaître en automne. *Th. nordenskioldii* est peu abondante à Roscoff et absente à Banyuls.

Sa période d'apparition à Gravelines est très limitée. Elle se situe au printemps, en mars (1975, 1977) ou en avril (1978), et suit celle de *Th. levanderi*. Elle se développe à nouveau en automne. C'est l'espèce de *Thalassiosira* qui atteint les plus fortes concentrations (en moyenne  $260 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  le 19 avril 1978), mais elle ne représente pas plus de 10 % de la population phytoplanctonique. La quantité maximale,  $778 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  à la station Canal (46 % du nombre total de cellules à cette station) est inférieure à celle qu'ont observé DURBIN et coll. (1975) dans la Baie de Narragansett le 9 avril 1973 ( $978 \text{ } \mu\text{g} / \text{ml}$ ) dans une eau à  $6^{\circ}\text{C}$ .

*Th. nordenskioldii* est en général moins abondante au large :

$176 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  au point C,  $307 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  au point M,  $81 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  au point L  
le 19 mars 1977

$501 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  au point C,  $152 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  au point M,  $119 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  au point L  
le 19 avril 1978.

*Th. nordenskioldii* n'est présente dans le port de Dunkerque qu'au début du printemps. Sa concentration la plus élevée ( $2160 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  en surface le 1er avril 1977) est supérieure à celle que nous avons relevé à Gravelines et à celle que nous citons ci-dessus pour la Baie de Narragansett. Elle ne constitue pas plus de 15 % de la population microplanctonique.

*Thalassiosira rotula* (que nous avons pu confondre avec *Th. gravis* lors de nos premières analyses) est une espèce néritique des eaux tempérées qui est peu souvent mentionnée. A Gravelines, elle se multiplie (sans atteindre des densités élevées) au début du printemps et en automne. Dans le port de Dunkerque, elle est présente presque toute l'année, mais en faible quantité, sauf en juin 1978, période à laquelle on compte  $1700 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  (pourcentage de dominance : 23 %). A Roscoff, *Th. rotula* a été observée en février-mars 1964 et 1965 et en mai 1965. Dans les eaux de la Baie de Narragansett, elle constituait 48 % de la population de Diatomées à la fin du mois de septembre 1973 (VARGO, 1976). Dans la même baie, selon DURBIN et coll. (1975), elle se développe surtout en juin-juillet en 1973, le maximum de son abondance se situant le 2 juillet ( $29 \text{ } \mu\text{g} / \text{ml}$ ) à  $19^{\circ}\text{C}$ . *Th. rotula* est la seule espèce de ce genre citée dans le Golfe de Marseille. A Banyuls, elle est abondante en février 68.



Cette espèce semble préférer les eaux chaudes mais on la trouve aussi dans des eaux froides (Gravelines, Roscoff, au printemps).

c - *Skeletonema costatum*

*Skeletonema costatum* est une Diatomée de petite taille formant des colonies allongées. Contrairement aux autres Diatomées planctoniques dont l'association en colonies entraîne, selon SMAYDA (1970), un accroissement de la vitesse de sédimentation, l'augmentation de la taille des colonies de *Sk. costatum* se traduit apparemment par une diminution de leur vitesse de sédimentation : "Les épines microscopiques de silice qui relient les petites cellules peuvent induire des microturbulences à leur voisinage immédiat et ainsi contrarier leur tendance à s'enfoncer".

Cette espèce néritique eurytherme et euryhaline est remarquée partout dans les régions côtières. Comme à Gravelines (fig. 57), elle fait le plus souvent partie des espèces dominantes lors des blooms printaniers (y compris le second bloom printanier éventuel en mai-juin) et automnaux. Elle est généralement présente toute l'année (Fjord de Trondheim, Baie de Narragansett, Roscoff, Martigues-Ponteau, Golfe de Marseille, Golfe du Mexique). On peut aussi la trouver en abondance en été (Baie de Narragansett, côte est des U.S.A., Roscoff en juillet 1964).

Nous avons noté la présence de *Sk. costatum* lors de toutes nos campagnes dans le port de Dunkerque. Sa croissance a lieu dès le début du printemps et se poursuit jusqu'en été. Le nombre de cellules est faible en hiver (fig. 58 ).

A Gravelines, nous avons relevé une moyenne maximale de  $325 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  sur la radiale le 20 juin 1978 ( $476 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  au point M, 5 m). Les nombres les plus élevés que nous avons trouvés sont  $506 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  au point Hors-Zone, 5 m, à la même date, 531 et  $536 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  respectivement aux stations M5, 0 m, et M1, 10 m, le 20 août 1976. Le maximum est  $749 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  au point M1, 0 m, à cette date. Le développement de *Sk. costatum* semble faible à Gravelines, à moins que les campagnes n'aient eu lieu en dehors des blooms. Les prélèvements réalisés à la station Digue en 1976-77 montrent une telle possibilité entre le 14 et le 20 mai 1977 et au début du mois d'août 1977 (période non échantillonnée en pleine mer). Sa croissance paraît être limitée aussi à Roscoff où GRALL (1972) a noté des concentrations toujours inférieures à  $30 \text{ cellules/cm}^3$ . Par contre dans un fjord norvégien SKJOLDAL et LÄNNERGRÉN (1970) ont trouvé une quantité de cellules de *Sk. costatum*

atteignant 13 050  $\mu\text{g} / \text{ml}$  à 5 m le 24 mars 1975. Sa décroissance fut ensuite très rapide puisqu'ils ne relevaient plus que 35  $\mu\text{g} / \text{ml}$  le 2 avril. Dans la Baie de Narragansett, elle avoisine 9 000  $\mu\text{g} / \text{ml}$  le 20 août 1973 dans une eau à 22° C, constituant alors 82 % de la population phytoplanctonique. Dans les milieux fermés le développement de *Sk. costatum* est très important. Dans le port de Dunkerque, elle se multiplie jusqu'à 40 000  $\mu\text{g} / \text{cm}^3$ , représentant 94 % du nombre total de cellules. Les fortes concentrations rencontrées au tout début de notre étude y occasionnent un phénomène d'"eaux rouges". Dans les claires à huîtres de la Baie de Bourgneuf, elle constitue 99 % de l'effectif phytoplanctonique au cours des poussées printanière et automnale, dépassant 16 000  $\mu\text{g} / \text{ml}$  (RINCE, 1979). Dans le port de Marseille, sa densité est souvent supérieure à 1 000  $\mu\text{g} / \text{ml}$  (PATRITI, 1976). A Gravelines *Sk. costatum* représente au maximum 35 % de la population le 15 février 1977 (moyenne sur la radiale), 40 % à la station Digue le 18 février 1977, et 23 et 22 % sur la radiale les 7 février et 20 juin 1978.

Selon RYTHER (1956) les Diatomées, *Sk. costatum* entre autres, ont des intensités de saturation lumineuse comprises entre celles des Chlorophytes et des Dinoflagellés. Les expériences de FALKOWSKI et OWENS (1978) suggèrent que *Sk. costatum* a une activité photosynthétique à de très bas niveaux d'éclairement (tableau 23).

Tableau 23 : Intensités lumineuses de compensation ( $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) mesurées à éclairement croissant ( $C_o^I$ ) et décroissant ( $C_o^D$ ) et intensité lumineuse à laquelle la photosynthèse est maximale (P max) pour six espèces phytoplanctoniques (D'après FALKOWSKI et OWENS, 1978).

Espèces	$C_o^I$	$C_o^D$	P max
<i>Skeletonema costatum</i>	0,13	25	1800
<i>Ditylum brightwellii</i>	1,2	1,5	2800
<i>Cyclotella nana</i>	7,0	20	2800
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	5,6	70	6300
<i>Isochrysis galbana</i>	10	45	4500
<i>Gonyaulax tamarensis</i>	140	2400	2400

On peut donc s'attendre à la trouver en grand nombre à des niveaux assez profonds où nombre d'espèces phytoplanctoniques ne peuvent se multiplier. A Gravelines on ne remarque pas de distribution particulière de *Sk. costatum* en fonction du niveau. Dans le port de Dunkerque le nombre de cellules de *Sk. costatum* est souvent légèrement supérieur en surface par rapport aux autres niveaux au début du printemps 1977, mais ceci ne peut être généralisé à l'ensemble de l'étude.

*Sk. costatum* est souvent très abondante près des côtes. Dans le Golfe du Mexique, elle est fréquente et abondante à la côte, rare au large. A Gravelines on remarque sa tendance à diminuer vers le large (fig. 59 ).

#### d - Genre *Biddulphia*

D'après les travaux que nous avons consulté le genre *Biddulphia* n'est jamais dominant. Il est rarement représenté dans les eaux chaudes : il n'a pas été relevé dans la Mer des Sargasses ni à Madagascar ; sur la côte des Barbades il n'est représenté que par *B. aurita*. A Banyuls seul *B. mobiliensis* est recensé ; il y est d'ailleurs cité comme assez rare.

Les espèces appartenant au genre *Biddulphia* rencontrées à Gravelines sont néritiques, le plus souvent tempérées. Elles se développent pendant les mois froids, essentiellement en hiver (fig.60). A Gravelines ce genre peu abondant est principalement représenté par *B. aurita*, espèce arctique boréale, tychopélagique. MARSHALL (1978) la classe parmi les espèces d'eaux froides (dont la température est inférieure à 10° C) où elle se multiplie au printemps. Elle se développe surtout près des côtes (Mer du Nord, Golfe du Mexique) et au printemps [estuaire de la Tamise (fig. 50 n° 13 ) (BONEY, 1975), Mer du Nord près des côtes belges (LOUIS et coll., 1974)]. Dans les régions arctiques, elle fait partie du phytoplancton estival (OSTENFELD, 1931). Elle est absente à Roscoff où l'on trouve *B. regia* et *B. sinensis*.

A Gravelines, *B. aurita* est souvent moins bien représentée au large qu'à la côte. Il arrive que le nombre de cellules soit plus grand au voisinage du fond qu'à la surface, mais ceci ne peut être généralisé.

Dans le port de Dunkerque, les cellules du genre *Biddulphia* sont rares. Nous n'en avons observé que 3 espèces. La quantité de *B. aurita*, la plus fréquente, ne dépasse pas 5  $\mu$  / cm<sup>3</sup>, sauf le 27 février 1977 en surface (20  $\mu$  / cm<sup>3</sup>).

e - Cerataulina pelagica

*Cerataulina pelagica*, espèce néritique tempérée, possède une distribution étendue. Elle est rare en Mer de Beaufort où FOY et HSIAD (1976) ne l'ont trouvée qu'en août, au moment où la température était la plus élevée (3,7° C). On la trouve de la Mer de Norvège à la Manche. En Atlantique, elle est citée au voisinage de Vancouver, ainsi que sur la côte est des U.S.A. où elle ne fait pas partie des espèces principales. La présence de *C. pelagica* est diversement estimée sur les côtes françaises de la Méditerranée : elle n'a pas été rencontrée à Martigues-Ponteau, se développe de temps en temps dans le Golfe de Marseille, et est assez abondante à Banyuls de février à avril.

*C. pelagica* présente généralement deux maxima dans l'année : l'un au printemps, l'autre en automne, mais apparaît fréquemment en été dans le Loch Creran sur la côte ouest de l'Ecosse (fig. 50, n° 12) (JONES et coll., 1978). Elle peut se développer aussi en août en Mer du Nord et en juillet à Roscoff où c'est une espèce secondaire. Dans le Golfe du Mexique, on la trouve toute l'année, mais surtout de juin à octobre.

Si *C. pelagica* se développe en masse à Helgoland, ce ne semble pas être le cas à Gravelines où elle atteint pourtant un nombre moyen de 280  $\mu$  / cm<sup>3</sup> le 20 juin 1978 (avec un maximum de 366  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point C et 913  $\mu$  / cm<sup>3</sup> à la station Canal). En 1978 il n'y a pas de bloom automnal, mais un deuxième pic au début de l'été (fig. 61). En 1975 la poussée automnale de *C. pelagica* est plus importante que celle du printemps ; ceci a été observé aussi dans le Sound, où cette espèce constitue 72 % de la biomasse phytoplanctonique lors du bloom automnal à la fin du mois d'octobre 1972. A Gravelines *C. pelagica* représente au maximum 18 % en moyenne du nombre total de cellules microplanctoniques, le 20 juin 1978 (37 % à la station Canal). Elle est donc loin de constituer à Gravelines une aussi grande part de la biomasse phytoplanctonique que dans le Sound.

Dans le port de Dunkerque, la croissance de *C. pelagica* a lieu essentiellement pendant la période printanière (fig. 62). Sa densité a atteint 5000  $\mu$  / cm<sup>3</sup> le 6 juin 1978 à 5 m (83 % de dominance).

f - Genre Chaetoceros

Le genre *Chaetoceros* est représenté par un grand nombre d'espèces (25 identifiées à Gravelines, 10 dans le port de Dunkerque) dont la plupart sont rares. La difficulté de détermination des espèces qui appartiennent à

ce genre amène à des réserves : leur nombre peut être plus élevé. La majorité de ces espèces sont néritiques et préfèrent des eaux tempérées ou froides. *Ch. atlanticum* et *Ch. decipiens* sont océaniques, boréales. Dans les eaux tempérées, le genre *Chaetoceros* est principalement présent lors des blooms de printemps et d'automne, mais on le trouve aussi en été et en hiver. Dans les zones plus froides du nord de l'Europe et du Pacifique on le rencontre également en toutes saisons. STOCKNER et CLIFF (1979) situent ce genre parmi les plus abondants à toutes les stations d'étude au voisinage du port de Vancouver, mais il n'y fait pas partie des espèces dominantes des poussées printanière et automnale en 1975 et 1976.

A Gravelines le genre *Chaetoceros* est important au printemps (mars ou avril) et en automne (fin août-septembre) ; son abondance est moins marquée pendant l'automne 1978 (fig. 63). Dans le port de Dunkerque, où il atteint de plus grandes concentrations qu'à Gravelines (jusqu'à 12000  $\epsilon$  / cm<sup>3</sup> dans le port, 5000  $\epsilon$  / cm<sup>3</sup> à Gravelines) il est bien représenté toute l'année sauf en hiver (fig.64). Sa croissance maximale en 1977 se situe en avril. Nous avons surtout observé les espèces *Ch. curvisetum* et *Ch. debile*, qu'on ne peut toujours distinguer l'une de l'autre et *Ch. sociale* (qui pourrait être *Ch. radians*, ces deux espèces voisines ne pouvant être discernées que par leurs spores) sur les deux sites, et *Ch. didymum* dans le port de Dunkerque.

*Chaetoceros curvisetum* est une Diatomée néritique des eaux tempérées. Observée dans le Sound, elle ne semble pas y être un élément très important de la population phytoplanctonique. Elle domine en juin dans le Fjord de Trondheim où on la retrouve en août. En Mer du Nord et dans le Golfe du Mexique, où elle peut être plus nombreuse au large, elle a été observée à la fin du printemps. A Roscoff, elle ne semble apparaître qu'en été. En Méditerranée, elle est présente toute l'année et domine en hiver et au printemps.

*Chaetoceros debile* est une forme néritique tempérée qui fait partie des espèces dominantes en Mer de Bering en été. On la rencontre partout de la Manche à la Mer de Barentz, mais en moins grande quantité dans la partie sud de cette zone selon OSTENFELD (1931). Pourtant, selon les résultats de GRØNTVED (1952), c'est une espèce importante dans le sud de la Mer du Nord en mai 1947. Elle se développe essentiellement au printemps, mais aussi en été et en automne. A Roscoff, où elle peut jouer un rôle non négligeable en toutes saisons sauf en hiver (GRALL,

1972), elle représente 70 % du total des *Chaetoceros* (jusqu'à 98 % lors des maxima) en 1963 (JACQUES, 1963 ; in GRALL, 1972). Elle est rare ou absente dans les régions plus chaudes (Méditerranée, Golfe du Mexique...). MARSHALL l'a placée parmi les espèces d'eaux froides ( $T^{\circ} < 10^{\circ} C$ ).

A Gravelines, on note le développement de ces espèces (*Ch. curvisetum* + *Ch. debile*) au printemps (mars) et en automne, jusqu'à plus de  $1000 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  parfois. Leur croissance est plus limitée en 1978. Leur dominance peut être nettement plus grande à la côte (par exemple le 30 août 1975, fig. 65).

Dans le port de Dunkerque, c'est en mars-avril et septembre 1977 qu'elles sont abondantes. En dehors de ces périodes leur nombre est faible ou nul. Le manque de prélèvements en mars-avril 1978 ne permet pas de préciser leur présence à cette époque. Les concentrations atteintes dans le port de Dunkerque ( $1700 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  en septembre 1977) sont légèrement supérieures à celles que nous avons enregistrées à Gravelines.

*Chaetoceros didymum* est une espèce néritique, tempérée, à optimum thermique plutôt élevé, largement répandue dans les mers tempérées, et qui se développe la plupart du temps en été et en automne. C'est une espèce importante en Mer de Bering en été. Présente dans le Sound et sur la côte est des U.S.A., elle n'y fait pas partie des espèces dominantes. En Méditerranée, son rôle apparaît très variable selon les études : elle est très abondante à Banyuls où on la trouve de décembre à mars ; espèce principale dans le Golfe de Marseille, elle a surtout été observée au printemps ; par contre elle apparaît peu représentée à Martigues-Pontheau en 1975, sauf en juin, période à laquelle sa concentration n'est cependant pas très élevée.

*Ch. didymum* a rarement été remarquée à Gravelines en 1974-75 et en 1978. Elle a été plus fréquente en 1976-77, mais toujours en très petit nombre. Sa croissance la plus forte a été constatée le 30 août 1975 et le 20 août 1976 avec respectivement  $16 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  et  $27 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  en moyenne. Elle tient également une place minime à Roscoff (GRALL, 1972) (moins de  $1 \text{ } \mu / \text{ml}$  en 1963 ; JACQUES, 1963 ; in GRALL, 1972). Par contre TRAVERS et TRAVERS (1962) signalent des maxima de 50 à 250  $\mu / \text{ml}$  au début du printemps dans le Golfe de Marseille.

*Ch. didymum* est présente presque toute l'année dans le port de Dunkerque, principalement au printemps et au début de l'été. Elle est

absente en hiver. Nous avons noté son développement maximal en avril 1977 (3500  $\mu$  / cm<sup>3</sup> en moyenne les 14 et 29 avril), mais c'est le 1er juillet 1977 que son pourcentage de dominance est le plus élevé (55 % contre 27 % le 14 avril). Dans le port de Marseille, où sa densité est proche de celle mesurée dans le port de Dunkerque, PATRITI (1976) a mis en évidence la présence de *Ch. didymum* toute l'année, surtout de mars à mai.

*Chaetoceros sociale* est une Diatomée néritique, tempérée, présente de la Manche à la Mer de Norvège. On peut aussi la trouver dans les mers polaires. En Mer de Beaufort, elle est la seule des quatre espèces de *Chaetoceros* étudiées ici ; elle y a été observée en août dans des eaux dont la température avoisine 4° C. Souvent limitée à la période printanière, elle fait partie de la catégorie des espèces d'eaux froides (T° < 10° C) définie par MARSHALL sur la côte est des U.S.A. A Banyuls et dans le Golfe du Mexique, c'est en hiver qu'elle est la plus abondante.

*Ch. radians*, espèce néritique tempérée, aurait un optimum thermique plus élevé que celui de *Ch. sociale*.

A Gravelines, *Ch. sociale* (ou *radians*) se développe essentiellement au printemps ; elle peut alors atteindre plus de 3000  $\mu$  / cm<sup>3</sup> (mars 1977, avril 1978). On la retrouve en automne et elle a été observée pendant tout l'hiver 1976-77. Elle peut constituer une part importante de la population microphytoplanctonique : 48 % en moyenne le 19 mars 1977, 72 % le 19 avril 1978. Si sa densité tend parfois à diminuer vers le large (le 19 mars 1977 on compte en moyenne 1700  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point C, 2600  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point M et 700  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point L) ce n'est pas toujours le cas. Elle peut avoir une dominance plus faible à la côte (57 % au point C, 79 % aux points M et L le 19 avril 1978). A Roscoff, *Ch. sociale* ne semble contribuer de façon significative à la production phytoplanctonique qu'en automne.

On remarque une distribution inverse de *Ch. curvisetum* + *Ch. debile* et de *Ch. sociale*, le 19 mars 1977, date à laquelle ces espèces sont toutes dominantes (fig. 66).

Dans le port de Dunkerque, *Ch. sociale* (ou *radians*) est l'espèce du genre *Chaetoceros* dont le nombre maximal d'individus est le plus élevé : 12 000  $\mu$  / cm<sup>3</sup> le 27 juillet 1978, 4 fois plus que le maximum que nous avons noté à Gravelines. Elle semble pouvoir se multiplier activement en toutes saisons : printemps et automne 1977, été 1978. Contrairement à ce qui se passe dans le port de Dunkerque, *Ch. sociale* ne semble pas être un élément majeur du phytoplancton dans le port de Marseille (PATRITI, 1976).

g - Leptocylindrus danicus

*Leptocylindrus danicus* est une espèce néritique commune dans les eaux tempérées. Absente de la Mer de Beaufort, elle a été observée de la Manche à la Mer de Norvège, et sur la côte est des Etats-Unis, ainsi qu'en Méditerranée et à Madagascar.

*Leptocylindrus danicus* ne fait pas partie des espèces dominantes dans le Sound où elle est cependant présente toute l'année, avec un minimum à la fin de l'été. Printanière dans les eaux du nord-ouest de l'Europe et de l'est des U.S.A., on la trouve également en été et en automne en Manche et sur la côte est des U.S.A.. A Roscoff, sa présence est temporaire et se situe souvent en été ; elle y est bien développée le 1er juin 1966. Très abondante à Banyuls, on l'y trouve régulièrement de mars à décembre, comme à Martigues-Ponteau, mais elle ne participe pas à la poussée printanière. Espèce principale aussi dans le Golfe de Marseille, elle y caractérise la fin de la poussée printanière et peut se multiplier à nouveau en automne.

A Gravelines, la présence de *L. danicus* est limitée aux périodes estivale et automnale (fig. 67).

En Mer du Nord, LOUIS et coll. (1974) l'ont surtout relevée fin août, début septembre, le maximum ne se situant pas toujours au voisinage immédiat des côtes. Pourtant elle a été observée essentiellement à la station côtière en Mer des Sargasses ; et dans le Golfe du Mexique, où elle est fréquente, elle est plus abondante à la côte.

A Gravelines, *L. danicus* ne dépasse pas  $200 \text{ } \ell / \text{cm}^3$  en moyenne le 30 août 1975. A cette date sa dominance (7 %) est maximale. A la station Digue elle est plus importante les 5 et 12 août 1977 : 13 % ( $144 \text{ } \ell / \text{cm}^3$ ) et 24 % ( $357 \text{ } \ell / \text{cm}^3$ ). Cette dernière valeur indique le développement de cette espèce en août 1977, période à laquelle il n'y a pas eu de campagne à la mer. La croissance de *L. danicus* semble plus faible à Gravelines que dans le Golfe du Mexique où sa densité atteint  $650 \text{ } \ell / \text{cm}^3$ .

Dans le port de Dunkerque, *L. danicus*, absente en hiver, a été observée de temps en temps le reste de l'année (fig. 68), toujours en petit nombre sauf en été ( $56 \text{ } \ell / \text{cm}^3$  le 12 août 1977,  $85 \text{ } \ell / \text{cm}^3$  le 27 juillet 1978). Comme à Gravelines, sa dominance maximale est faible (8,0 % le 12 août 1977). PATRILLI (1976) l'a trouvée tout au long de l'année en 1970 dans le



port de Marseille, plus rarement en 1971 et 1972. Elle y est plus nombreuse que dans le port de Dunkerque : souvent plus de  $100 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  en 1970 et jusqu'à  $1800 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$ .

#### h - Genre *Rhizosolenia*

Dans les régions tempérées les cellules du genre *Rhizosolenia* trouvent des conditions favorables à leur croissance en été et en automne. C'est le cas à Gravelines et dans le port de Dunkerque (fig. 71 et 70) où l'on remarque aussi un développement au printemps, comme dans le Fjord d'Oslo en 1976.

L'espèce *Rhizosolenia alata*, qui fait partie des espèces principales tout au long de l'année dans le Sound et sur la côte est des U.S.A. (où MARSHALL l'a classée dans les espèces d'eaux de température supérieure à  $18^\circ \text{C}$ ), est absente à Gravelines et dans le port de Dunkerque. OSTENFELD (1931) avait remarqué la distribution très étendue de cette espèce et son absence de la partie la plus méridionale de la Mer du Nord.

A Gravelines et dans le port de Dunkerque, le genre *Rhizosolenia* comprend essentiellement *Rh. delicatula*, *Rh. shrubsolei* et *Rh. stolterfothii*. *Rh. fragilissima* est beaucoup plus rare. Les deux espèces *Rh. setigera* et *Rh. pungens* sont aussi présentes, *Rh. pungens* paraissant plus nombreuse que *Rh. setigera*. La difficulté de distinguer ces deux dernières espèces nous a conduit à les regrouper dans une même catégorie.

*Rhizosolenia delicatula* est une espèce néritique tempérée et subtropicale, commune dans les mers tempérées. MARSHALL l'a classée dans la catégorie des espèces caractéristiques des eaux chaudes ( $T^\circ > 18^\circ \text{C}$ ) sur la côte est des U.S.A., où elle ne fait pas partie des espèces principales. C'est une des espèces qui marquent les périodes estivale et automnale dans les mers tempérées (BONEY, 1975 ; MAYZAUD et TAGUCHI, 1979 ; ...). A Roscoff *Rh. delicatula* est le composant majeur de la poussée printanière (mai-juin). Espèce dominante en Méditerranée, elle s'y développe surtout au printemps.

A Gravelines, *Rh. delicatula* est la plus abondante des espèces du genre *Rhizosolenia* (fig. 69). Elle ne semble pas avoir de période de développement privilégiée, mais est absente en hiver. Sa quantité maximale est estimée à  $680 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  (au point M le 9 juin 1978) ; elle est légèrement supérieure à celles relevées par GRALL (1972) à Roscoff :  $490 \text{ } \mu\text{ / ml}$  le 23 mai 1962 et  $470 \text{ } \mu\text{ / ml}$  le 27 juin 1964.

Si la croissance de *Rh. delicatula* est plus importante en juin à Gravelines, sa dominance moyennel'est en automne : 42 % le 18 octobre 1976 ; elle constitue cependant 67 % de la population au point L le 18 juillet 1978. A Roscoff, elle peut représenter jusqu'à plus de 90 % du stock phytoplanctonique.

*Rh. delicatula* est souvent plus nombreuse à la côte qu'au large, mais sa distribution peut s'inverser (fig. 72).

Dans le port de Dunkerque, nous avons trouvé *Rh. delicatula* toute l'année sauf en hiver, en moins grande quantité qu'à Gravelines (toujours moins de 200  $\mu$  / cm<sup>3</sup>). Sa dominance est inférieure à 15 %.

*Rhizosolenia fragillissima*, espèce néritique très répandue de la Manche à la "Belt Sea", n'est importante ni à Gravelines, ni dans le port de Dunkerque. C'est une forme automnale dans les mers tempérées du nord-ouest de l'Europe. Elle peut dominer au printemps ou au début de l'été sur la côte est des Etats-Unis, ainsi que dans le Sound où il arrive qu'elle constitue plus de 70 % de la biomasse phytoplanctonique. Généralement peu abondante à Roscoff, elle y domine au printemps. Elle fait partie des espèces principales en Méditerranée et dans le Golfe du Mexique.

A Gravelines, nous avons rencontré *Rh. fragillissima* à la fin du printemps et en été, toujours en petit nombre (moins de 50  $\mu$  / cm<sup>3</sup>). Dans le port de Dunkerque, elle est encore moins nombreuse (moins de 10  $\mu$  / cm<sup>3</sup>).

D'après BLANC et LEVEAU (1973 ; in PATRITI, 1976), l'apparition de *Rh. delicatula* et de *Rh. fragillissima* dans le Golfe de Fos souligne la présence d'eaux néritiques.

*Rhizosolenia pungens* est isolée dans le plancton automnal d'Helgoland. Elle est plus abondante dans le Sound où elle se multiplie également en automne.

*Rhizosolenia setigera* est une espèce néritique de distribution étendue. Selon HENDEY (1964) et DREBES (1974), elle préfère les eaux froides et on l'observe surtout au printemps. MARSHALL la classe tantôt parmi les espèces d'eaux froides, tantôt dans celles d'eaux chaudes. On la trouve effectivement au printemps dans le Fjord d'Oslo, mais son maximum se situe en fin d'été à Roscoff, en automne dans le Golfe du Maine et en Mer d'Irlande (RAYMONT, 1963), en août et en octobre dans le Golfe du Mexique. Espèce secondaire dans le Golfe de Marseille, elle y domine en été. Cette espèce semble donc très eurytherme.

La difficulté de distinguer ces deux espèces ne permet pas de préciser leurs variations respectives. A Gravelines, *Rh. pungens* + *Rh. setigera* sont plus abondantes en été, particulièrement en juillet 1977 ( $300 \text{ } \mu / \text{cm}^3$ ). Dans le port de Dunkerque, leur concentration ne dépasse pas  $100 \text{ } \mu / \text{cm}^3$ .

*Rhizosolenia shrubsolei* est une espèce néritique tempérée, commune en Manche et en Mer du Nord, et qui a un optimum thermique élevé. Elle est absente du Sound en 1972-73, ainsi que de la côte est des U.S.A. C'est une espèce essentiellement estivale (Fjord de Trondheim, Mer du Nord, Roscoff). En Méditerranée, elle peut être présente toute l'année, mais l'est surtout à la fin du printemps.

Rencontrée du printemps à l'automne à Gravelines, son développement maximum semble se situer en été :  $345 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  en moyenne sur la radiale le 17 août 1978, le nombre le plus élevé étant alors  $618 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  au point M, 5 m. Elle constitue à cette date 76 % de la population phytoplanctonique. *Rh. shrubsolei* dépasse  $100 \text{ } \mu / \text{ml}$  au début de juin à Roscoff en 1966.

Elle est moins abondante dans le port de Dunkerque ( $60 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  au maximum le 22 juillet 1977). Nous l'y avons observée au printemps et en été en 1977, mais pas en 1978 (sauf  $1 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  le 17 février et le 12 juillet).

*Rh. shrubsolei* peut jouer un rôle défavorable dans le milieu : les chaînes de cellules peuvent s'accoler et, quand elles sont très nombreuses, limiter la pénétration de la lumière (GRALL, 1972).

*Rhizosolenia stolterfothii* est, selon OSTENFELD (1931), une Diatomée néritique tempérée et tropicale à optimum thermique plutôt élevé. EDLER (1977) ne l'a pas observée dans le Sound. Très commune en Manche et dans le sud de la Mer du Nord, elle est cependant peu abondante en Mer du Nord. Sur la côte est des U.S.A., elle fait partie des espèces d'eaux froides ( $< 10^\circ \text{C}$ ) et se développe en hiver et au printemps au sud du Cap Hatteras. Elle domine à la fin de l'été à Roscoff. Espèce principale en Méditerranée, elle participe à la poussée printanière.

Dans les eaux de l'Europe du nord-ouest, *Rh. stolterfothii* apparaît en été et en automne. A Gravelines, on la remarque aussi en grand nombre à la fin du printemps. C'est à cette époque que nous avons noté sa plus forte densité :  $276 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  en moyenne le 20 juin 1978 (maximum au point M, 5 m :  $417 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  et à la station Canal :  $466 \text{ } \mu / \text{cm}^3$ ). Elle

ne représente alors que 16 % du nombre total de cellules. Comme à Roscoff (où elle dépasse 100  $\mu$  / ml en juin-juillet-août 1966) et à Martigues-Ponteau, *Rh. stolterfothii* est moins abondante à Gravelines que *Rh. delicatula*. Elle peut être plus nombreuse au large, en particulier le 18 juillet 1978 (fig. 73).

Comme pour les autres espèces de *Rhizosolenia*, la concentration cellulaire de *Rh. stolterfothii* est plus faible dans le port de Dunkerque qu'à Gravelines. Elle est en général inférieure à 30  $\mu$  / cm<sup>3</sup>, sauf le 21 juin 1978 à 10 m ; nous avons dénombré dans cet échantillon 80  $\mu$  / cm<sup>3</sup>. La présence de *Rh. stolterfothii* dans le port de Dunkerque est limitée au printemps et à l'été.

#### i - "Fragilaria"

Comme nous l'avons indiqué au début de ce chapitre, nous avons regroupé sous le nom de "*Fragilaria*" des cellules accolées en chaînes, que nous n'avons pu déterminer et qui appartiennent sans doute aux genres *Fragilaria* et *Navicula*. Les espèces du genre *Fragilaria* sont néritiques, à tendance benthique, le plus souvent d'eaux froides.

A Gravelines, nous avons rencontré ces cellules en chaînes tout au long de l'année, moins nombreuses en été (fig. 74). Leur présence est plus marquée en 1975.

Comme pour *Paralia sulcata*, on remarque que les plus grands nombres de "*Fragilaria*" à Gravelines correspondent aux périodes les plus agitées, les plus faibles aux périodes les plus calmes (fig. 76). Ceci traduit la remise en suspension de ces espèces, qui tendent à se fixer, lorsque l'eau est plus agitée.

La population phytoplanctonique du port de Dunkerque est de ce fait plus pauvre en "*Fragilaria*" que celle de Gravelines. A Gravelines leur nombre est souvent supérieur à 10  $\mu$  / cm<sup>3</sup>. Dans le port de Dunkerque la situation est inverse et nous n'en avons pas noté en été (fig. 75).

#### j - Genre Rhaphoneis

Les cellules du genre *Rhaphoneis* appartiennent au domaine sublittoral. On les trouve sur toutes les côtes européennes et sur la côte est des Etats-Unis, dans le milieu marin et dans les estuaires. *Rh. amphiceros* et *Rh. surirella* sont souvent fixées sur des particules minérales ou sur des Diatomées centriques mortes dont la frustule est épaisse, telles *Aulacodiscus argus* ou *Coscinodiscus*.

Le nombre de cellules du genre *Rhaphoneis* est peu élevé à Gravelines, sauf parfois pour *Rh. amphiceros*. *Rh. surirella* y est même rare (fig.77).

On remarque une augmentation de la quantité de *Rh. amphiceros* pendant les périodes agitées, durant lesquelles sont remises en suspension les particules sur lesquelles elles sont fixées (fig. 78 ). Le nombre de cellules indiqué d'octobre à décembre 1978 est sans doute surestimé puisqu'il tient compte des cellules mortes qui ne sont pas rares chez cette espèce dans nos échantillons.

*Rh. amphiceros* est rare dans le port de Dunkerque et nous n'y avons pas observé de cellule vivante de *Rh. surirella*.

#### k - Asterionella japonica

*Asterionella japonica*, dont les cellules sont associées en colonies hélicoïdales, est une espèce néritique commune dans les eaux tempérées, en particulier en Manche et en Mer du Nord. On la trouve aussi bien dans l'hémisphère nord que dans l'hémisphère sud. Les eaux froides ne semblent pas lui être favorables : elle n'a pas été observée dans le nord de l'Europe, ni en Mer de Beaufort ou en Mer de Bering. Remarquée en faible quantité tout au long de l'année sur la côte est des Etats-Unis, elle y fait partie des espèces principales en été au nord du Cap Hatteras. En Mer du Nord, à Roscoff et dans la Baie de Narragansett, c'est pourtant une espèce essentiellement printanière. Son développement est important dans le Golfe de Marseille au printemps et en automne. A Banyuls, c'est une espèce dominante automno-hivernale ; elle peut y représenter jusqu'à 70 % de la population en hiver (décembre 1966).

A Gravelines, *A. japonica* est présente presque toute l'année, généralement en plus grand nombre au printemps (fig. 79).

On remarque pourtant une croissance très importante le 20 août 1976 : plus de 3000  $\text{cell} / \text{cm}^3$  en moyenne sur la radiale, quantité également relevée à Long Island en hiver (in GRALL, 1972). Le 20 août 1976, elle représente 32 % du nombre total de cellules. Elle constitue une plus grande part de la population phytoplanctonique les 29 mars (39 % de dominance ; 260  $\text{cell} / \text{cm}^3$ ) et 21 mai 1978 (47 % de dominance ; 420  $\text{cell} / \text{cm}^3$ ) ainsi que le 13 avril 1975 (40 % de dominance, 730  $\text{cell} / \text{cm}^3$ , en moyenne aux points 1 à 4). A la station Digue elle atteint 79 % de dominance (1360  $\text{cell} / \text{cm}^3$ ) le 22 juillet 1977. A Roscoff, *A. japonica* est peu fréquente et très peu abondante (5  $\text{cell} / \text{ml}$  au maximum).

*A. japonica* est surtout représentée dans le domaine côtier. A Gravelines sa densité diminue vers le large (fig. 81).

Nous avons trouvé *A. japonica* tout au long de l'année dans le port de Dunkerque (fig. 80 ).

Sa densité peut avoisiner 100 à 200  $\mu$  /  $\text{cm}^3$  au printemps et en automne. Elle atteint 250  $\mu$  /  $\text{cm}^3$  le 1er mars 1978 à 10 m et le 21 juin 1978 à 5 m. Elle peut constituer jusqu'à 30 % de la population phytoplanctonique. *A. japonica* ne semble pas jouer un grand rôle dans la production phytoplanctonique du port de Marseille (PATRITI, 1976).

#### 1 - *Thalassionema nitzschioides*

*Thalassionema nitzschioides* est une espèce coloniale néritique tempérée de distribution très étendue, qui apparaît en grand nombre en Manche et en Mer du Nord. Trouvée toute l'année dans le Sound, elle y montre une préférence pour les saisons froides. Dans le Fjord de Trondheim, elle domine au printemps et en août. En Manche, elle se développe en septembre 1976 à la station E1. A Roscoff, elle ne fait pas partie des espèces dominantes et est présente en été et en hiver. Espèce commune sur la côte est des Etats-Unis, elle s'y développe principalement en été et en automne, mais aussi en hiver. MARSHALL l'y place dans les espèces caractéristiques d'eaux froides ( $T^\circ < 10^\circ \text{C}$ ). En Méditerranée, où elle joue un rôle secondaire, elle est présente toute l'année, mais croît en automne et en hiver.

A Gravelines *Th. nitzschioides* a été observée toute l'année, en plus grande quantité au printemps et en hiver (fig. 83 ). Elle n'atteint pas des densités très élevées, surtout en 1978. Le nombre moyen maximal ne dépasse pas 100  $\mu$  /  $\text{cm}^3$ . Elle peut constituer environ 20 % de la population phytoplanctonique en hiver (en moyenne 24 % le 17 novembre 1974, 26 % le 17 décembre 1976, 18 % le 7 janvier 1977). Dans le Fjord de Trondheim, SAKSHAUG et MYKLESTAD (1973) ont noté 253  $\mu$  /  $\text{cm}^3$  début avril 1970 et 631  $\mu$  /  $\text{cm}^3$  en août 1970. A Roscoff, *Th. nitzschioides* ne dépasse pas 10  $\mu$  /  $\text{cm}^3$ .

Dans le port de Dunkerque, *Th. nitzschioides*, présente tout au long de l'étude, est plus abondante au printemps et en août 1977 (fig. 84 ). Sa concentration est alors supérieure à 100  $\mu$  /  $\text{cm}^3$  (au maximum 410  $\mu$  /  $\text{cm}^3$  en surface le 5 août 1977). Elle peut représenter jusqu'à 20 % de la population phytoplanctonique en hiver.

#### m - Genre *Navicula*

Le genre *Navicula* est peu représenté dans les milieux pélagiques de Gravelines (fig. 82) et du port de Dunkerque. Le plus souvent ces cellules sont mortes ; les données d'octobre à décembre 1978 à Gravelines sont donc sans doute surestimées.

On note deux espèces principalement : *Navicula sp1* et *N. membranacea* en plus petit nombre.

La présence de *Navicula sp1* est liée à Gravelines à celle du genre *Chaetoceros*, sur les épines duquel elle se fixe très souvent. Le 20 août 1976 nous avons observé conjointement à Gravelines les plus grandes quantités de *Navicula sp1* ( $900 \text{ } \mu / \text{cm}^3$ ) et de *Chaetoceros*, ces derniers constituant alors 50 % de la population microplanctonique. Le deuxième pic de *Navicula sp1* a eu lieu en mars 1977, en même temps que celui de *Chaetoceros*. Par contre lors du bloom de *Chaetoceros* en avril 1978, il n'y a pas eu de *Navicula sp1*. Dans le port de Dunkerque *Navicula sp1* compte toujours moins de 20 individus/  $\text{cm}^3$ .

#### n - Genre Nitzschia

Dans les régions tempérées, le genre *Nitzschia* est le plus souvent caractéristique des saisons printanière et automnale. A Gravelines, nous avons trouvé des cellules du genre *Nitzschia* toute l'année, principalement au printemps, mais aussi en été et en automne. Elles sont peu nombreuses en hiver (fig. 85). Le genre *Nitzschia* est représenté toute l'année dans le port de Dunkerque. Ses maxima d'abondance se situent en automne 1977 et au début de l'été 1978 (fig. 86). Sa concentration la plus élevée ( $3000 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  en surface le 12 juillet 1978) est supérieure à celle que cite PATRITI (1976) dans le port de Marseille ( $1200 \text{ } \mu / \text{cm}^3$ ).

*Nitzschia closterium* est commune dans le plancton néritique tout autour des îles britanniques. Elle est présente en Mer de Beaufort et en Mer de Bering pendant l'été. Trouvée dans le Sound et sur la côte est des Etats-Unis, elle n'y fait pas partie des espèces dominantes. MARSHALL a noté que sa concentration augmente, entre le Golfe du Maine et le Cap Hatteras, du nord vers le sud, vers les eaux plus chaudes. En Mer du Nord, elle se développe surtout au printemps, de même qu'à Roscoff où elle est permanente. C'est une espèce importante en Méditerranée où elle est observée toute l'année, en grande quantité au printemps.

A Gravelines, nous avons trouvé *N. closterium* essentiellement au printemps et en automne. En 1976-77 elle est moins abondante au printemps et se développe surtout en été. Elle ne semble pas atteindre de grandes concentrations : les maxima valent  $84 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  le 13 avril 1975 (moyenne des points 1 à 4 ;  $162 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  au point 4),  $86 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  le 20 août 1976 ( $238 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  au point M1 - 5 m) et  $154 \text{ } \mu / \text{cm}^3$  à la station Digue le 1er juillet 1977. Elle ne constitue jamais à notre connaissance une fraction importante de la popu-

lation phytoplanctonique : au plus 10 % le 2 mars 1978, 11 et 13 % les 2 et 7 février 1975, 21 % le 12 octobre 1978.

*N. closterium* est plus abondante à la côte. A Gravelines on remarque généralement la diminution du nombre de cellules vers le large : 25  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point C, 12  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point M, 1  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point L,

le 21 mai 1978

75  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point C, 75  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point M, 22  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point L,

le 12 octobre 1978.

Mais le 2 février 1975 elle est plus nombreuse au large où sa dominance est plus grande (fig. 87). La forte turbidité à la côte y gêne peut être son développement (fig. 88). A Roscoff, où *N. closterium* est peu nombreuse (moins de 10  $\mu$  / ml), elle est plus abondante en période d'agitation de l'eau (GRALL, 1972), ce qui n'est pas le cas à Gravelines.

Présente toute l'année dans le port de Dunkerque, *N. closterium* ne montre d'effectif important que pendant l'automne 1977 (jusqu'à 1500  $\mu$  / cm<sup>3</sup> à 5 m le 20 septembre). Sa dominance est maximale (34 %) le 5 octobre.

En 1974-75 nous n'avons pas distingué les espèces *N. seriata* et *N. delicatissima* et nous les avons regroupées sous l'appellation de *N. seriata*. Nous ne nous baserons donc que sur les données des cycles suivants pour établir leurs caractéristiques.

*Nitzschia delicatissima* est une espèce néritique qui semble peu commune dans le nord-ouest de l'Europe. Elle peut pourtant se développer activement dans le Sound en automne, et dans le Fjord de Trondheim à la fin du printemps (2000  $\mu$  / cm<sup>3</sup> le 30 juin 1971). Bien que rare à Roscoff, c'est la Diatomée la plus nombreuse en Manche (station E1) en septembre 1976, et à Plymouth c'est un des éléments de la poussée estivale (HARVEY et coll., 1935 ; MARE, 1940). Elle fait partie des espèces principales en Méditerranée où on la trouve toute l'année. Elle peut constituer 90 % du stock de cellules phytoplanctoniques à Banyuls en été, période à laquelle elle atteint 1500  $\mu$  / cm<sup>3</sup> sous la thermocline. De même dans l'étang de Berre, elle peut représenter 95 % de la population en automne (BLANC et coll., 1967). Malgré sa croissance parfois importante dans des régions tempérées froides, *N. delicatissima* semble préférer les eaux chaudes.

A Gravelines *N. delicatissima* se développe essentiellement au printemps. Elle n'atteint jamais de fortes densités, sauf le 14 mai 1977 : 640  $\mu$  / cm<sup>3</sup> en moyenne sur la radiale (maximum 1400  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point C1 - Om). C'est d'ailleurs à cette période que sa dominance est la plus forte : 38 %



du nombre total de microplanctontes alors qu'habituellement elle ne dépasse 3 %, sauf le 3 mai 1978, date à laquelle elle en représente 9 %.

*N. delicatissima* est plus abondante à la côte :

957  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point C, 495  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point M, 149  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point L,  
le 14 mai 1977

28  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point C, 18  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point M, 6  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point L,  
le 3 mai 1978.

*N. delicatissima* est faiblement représentée dans le port de Dunkerque. Nous ne l'avons observée qu'au printemps. Sa concentration, généralement inférieure à 50  $\mu$  / cm<sup>3</sup>, atteint cependant 120  $\mu$  / cm<sup>3</sup> à 10 m le 14 mai 1977. Sa dominance ne dépasse pas 2 % (sauf le 5 mai 1978 à 10 m : 7 %).

*Nitzschia seriata* est une espèce néritique largement répandue dans les régions nord. D'après l'étude de HASLE (1972), c'est une espèce d'eaux froides qui n'a été trouvée qu'au nord du 45° parallèle nord. En Atlantique, LOUIS et coll. (1974) ont observé les quantités maximales entre l'Ecosse et l'Islande à la fin du mois de mai en 1970 (165 à 499  $\mu$  / cm<sup>3</sup>). Elle est peu abondante dans le Sound où elle apparaît au printemps et en automne, dans les eaux de plus forte salinité. Dans les fjords norvégiens, *N. seriata* participe aux poussées printanières. A Roscoff, elle est permanente et présente un maximum à la fin du printemps ou en été. C'est une des espèces dominantes en Méditerranée où on la trouve presque toute l'année mais surtout au printemps.

A Gravelines, la croissance de *N. seriata* est maximale pendant l'automne 1976 : 74  $\mu$  / cm<sup>3</sup> en moyenne le 18 octobre. Elle semble se développer aussi en été (1977 et 1978). Elle n'a pas été observée durant le printemps 1978 et ne dépasse pas 4  $\mu$  / cm<sup>3</sup> en moyenne au printemps 1977 (10  $\mu$  / cm<sup>3</sup> à la station digue). Comme *N. delicatissima*, *N. seriata* constitue rarement une grande partie de l'effectif phytoplanctonique. Sa dominance n'avoisine que deux fois 10 % : 10 % le 18 octobre 1976 et 13 % le 18 juillet 1978. A cette date elle est plus abondante à la côte : 41  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point C, 14  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point M et 4  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au point L. A Roscoff, *N. seriata* semble atteindre des densités supérieures : 230  $\mu$  / cm<sup>3</sup> en juillet-août 1963 (JACQUES, 1963, in GRALL, 1972), alors que nous avons noté 180  $\mu$  / cm<sup>3</sup> au maximum à Gravelines au point C2, 5 m, le 18 octobre 1976.

Dans le port de Dunkerque, la présence de *N. seriata* est essentiellement limitée à l'automne 1977 et à juillet 1978. Quelques cellules sont apparues au printemps 1977. C'est la plus abondante des espèces de *Nitzschia* dans le port : 1300  $\mu$  / cm<sup>3</sup> en moyenne le 12 juillet 1978

(3000  $\mu$  / cm<sup>3</sup> en surface), à cette date elle représente la quasi-totalité du stock de *Nitzschia*, et 54 % du nombre total de cellules phytoplanctoniques.

#### 4 - DINOFLAGELLES

Comme nous l'avons vu précédemment, les Dinoflagellés sont faiblement représentés à Gravelines. Les genres *Gymnodinium* et *Prorocentrum* sont photosynthétiques, ce qui n'est pas le cas de *Noctiluca scintillans* et de la majorité des espèces du genre *Peridinium*. Ces dernières sont hétérotrophes et semblent trouver leur nourriture au niveau des matières organiques dissoutes (DODGE et HART-JONES, 1974). Les principaux genres que nous avons rencontré à Gravelines sont les genres *Gymnodinium*, *Peridinium* et *Prorocentrum*, ainsi que l'espèce *Noctiluca scintillans*.

##### a - *Noctiluca scintillans*

*Noctiluca scintillans* est un Dinoflagellé hétérotrophe de grande taille (200 à 2000  $\mu$ m de diamètre). Quand il se manifeste en grand nombre il y a coloration de l'eau en rose [à partir de  $1,5 \cdot 10^6$   $\mu$  / l (LASSUS, 1979)]. Les Diatomées constituent 90 % de sa nourriture (ENOMOTO, 1956). En effet LE FEVRE et GRALL (1970) ont observé un grand nombre de frustules de Diatomées dans son contenu cellulaire (*Chaetoceros debile*, *Ch. didymum*, *Ch. curvisetum*, *Ch. compressum*, *Chaetoceros* spp., *Bacteriastrum* sp., *Rhizosolenia* spp., *Nitzschia* sp. et *Cocconeis* sp.). Aux périodes auxquelles nous l'avons rencontré à Gravelines, *N. scintillans* se nourrissait essentiellement de cellules de *Rhizosolenia* (*Rh. delicatula* et *Rh. stolterfothii*).

Cet organisme a une densité inférieure à celle de l'eau de mer (KESSELER, 1966), d'où sa présence dans les couches superficielles. BROCKMANN et coll. (1977) pensent que *N. scintillans* "est capable, probablement pendant sa digestion, d'échanger ses cations lourds contre des ions ammonium plus légers, de devenir par là plus léger et de monter jusqu'à la surface. Après avoir relâché l'ammoniac et s'être nourri il s'enfonce à nouveau (KESSELER, 1966) " BROCKMAN et coll. (1977) considèrent qu' " il est probable que les cellules restent de manière intermittente au fond ". Selon ces mêmes auteurs *N. scintillans* pourrait aussi rejeter des phosphates dans le milieu.

Observée dans le Sound en 1972-73 et sur la côte est des U.S.A., *N. scintillans* est présente presque toute l'année dans le plancton d'Helgoland où elle se développe en masse entre mai et août. Elle pullule en avril-mai-juin dans le port d'Ostende (DE PAUW, 1969). Elle apparaît à Roscoff en été.

Bien que cette espèce montre une croissance maximale au début de la saison chaude dans nos régions et plus au nord, elle ne semble pas faire partie de la flore méditerranéenne. PATRITI (1976) ne la mentionne pas dans le port de Marseille. Elle n'a pas été trouvée non plus dans le Golfe du Mexique (STEIDINGER et WILLIAMS, 1970).

A Gravelines, nous avons noté la présence de *N. scintillans* le 1er juin 1975 en grande quantité, puis en juin-juillet 1977 et en juillet-août 1978. Dans le port de Dunkerque, nous l'avons observée (BRYLINSKI, comm. pers. et observations pers.) à la fin du mois de mai, en juin, juillet et au début du mois d'août en 1977, en juillet en 1978. Nos méthodes de prélèvement du phytoplancton ne permettent pas d'estimer le nombre de ces organismes qui s'accumulent à la surface de l'eau.

*N. scintillans* est souvent responsable de phénomènes d'eaux rouges, notamment en Manche orientale et sur les côtes françaises de l'Atlantique, d'avril à août en 1978, plus particulièrement en mai-juin (LE FEVRE, 1979). En 1967 plusieurs missions océanographiques ont observé une eau rouge due à *Noctiluca* sur la côte ouest de la Bretagne au mois de juillet (LE FEVRE et GRALL, 1970). LE FEVRE relie la présence des blooms de *Noctiluca* à celle de fronts thermiques, caractéristiques en été au large de l'ouest de la Bretagne et à l'entrée de la Manche. PINGREE et coll. (1977) ont également remarqué une poussée de *Noctiluca* au voisinage du front de séparation de deux masses d'eaux en Manche orientale pendant l'été 1976. L'abondance de cet organisme a été estimée en Mer d'Iroise de 30 à 1360  $\mu$  / l en 1967 ; sa concentration atteint  $2,4 \cdot 10^6$   $\mu$  / l dans la zone de convergence des eaux. A partir de données recueillies de mai à septembre 1976 devant l'embouchure de la rivière d'Étel, LE FEVRE (1978) a montré que la température, le degré de stratification des eaux et l'abondance antérieure de l'espèce sont les principaux facteurs qui régissent la croissance de *Noctiluca*. Le maximum d'abondance coïncide avec le plus grand développement d'un front thermique ; il n'y a pas de relation avec la concentration en sels nutritifs, toujours très faible.

L'apparition d'un phénomène d'eaux rouges à *Noctiluca* nous est signalée par A. RICHARD (comm. pers.) dans le port de Calais au mois de juin.

Il attribue la pullulation de ces organismes à leur concentration par le vent dans la zone portuaire.

A Gravelines on ne peut mettre en relation la présence de *N. scintillans* avec celle d'un front thermique dans notre zone d'étude très côtière.

La température de l'eau quand nous avons remarqué cet organisme était la suivante :

A Gravelines :

	T° à la station 1	T° à la station 11
1er juin 1975	12,6	11,8
	T° au point C	T° au point L
9 juin 1977	13,2	13,1
4 juillet	15,9	15,2
18 juillet 1978	15,9	15,3
17 août	17,2	17,1

Dans le port de Dunkerque :

(station E) (\* : station P = prise d'eau de la centrale)

(BRYLINSKI, 1979)

	T° à 0 m	T° à 10 m (* à 12 m)
25 mai 1977*	16,10	15,00*
27 mai	17,40	15,89
8 juin	20,40	17,00
15 juin	20,35	?
21 juin	19,30	18,20
1er juillet	19,52	19,09
21 juillet*	22,00	20,50*
9 août*	21,80	20,42*
12 juillet 1978	18,60	18,15
27 juillet	21,90	19,69

*Noctiluca* peut donc se multiplier à partir d'une température de 12° C et jusqu'à plus de 20° C. Les teneurs en sels nutritifs sont très variables.

La toxicité de *Noctiluca*, directe ou indirecte, lors de ses pullulations n'est pas établie (LE FEVRE et GRALL, 1970 ; LASSUS, 1979).

b - Genre *Gymnodinium*

Les cellules du genre *Gymnodinium* sont les Dinoflagellés les plus abondants à Gravelines (à l'exception de *Noctiluca scintillans*). Nous les avons rencontrés essentiellement au printemps et en automne. Ils sont absents en hiver (fig. 89). Ce sont eux qui sont responsables de la poussée de Périidiens en mai 1975 avec 82  $\mu$  / cm<sup>3</sup> en moyenne. Ils représentent alors 13 % du nombre total de cellules de microplancton. Leur nombre est plus faible au printemps 1977 : ils n'atteignent plus que 24 individus/ cm<sup>3</sup> en moyenne le 14 mai. Leur augmentation à la station Digue à la fin du mois de mars et

fin avril-début mai amène à penser qu'ils se sont peut-être développé entre les campagnes du 19 mars et du 12 avril, puis à nouveau entre celles du 12 avril et du 14 mai. Les concentrations notées à Gravelines n'ont rien à voir avec celles qu'à observé REYSSAC (1974) au Banc d'Arguin : 9000  $\mu$  / ml.

Dans le port de Dunkerque, les cellules du genre *Gymnodinium* préfèrent les conditions printanières et estivales (fig. 90 ). En 1977 leur quantité est inférieure à 30  $\mu$  / cm<sup>3</sup>. Le 6 juin 1978 elle est de 220  $\mu$  / cm<sup>3</sup> en surface (5 % de dominance).

Le genre *Gymnodinium* n'est pas cité par OSTENFELD (1931) dans le nord-ouest de l'Europe. Il a été trouvé dans les eaux profondes du Sound en juillet 1972, et en Manche de juin à août 1976. Principal Dinoflagellé à Roscoff, c'est le seul d'entre eux qui y soit permanent. Il n'y montre pas de variation saisonnière marquée, mais est absent en novembre-décembre. Il y atteint exceptionnellement la quantité de 6  $\mu$  / cm<sup>3</sup> en octobre 1969. Le genre *Gymnodinium* a été observé presque toute l'année à Martigues-Ponteau, en plus grand nombre en mai. Sur la côte est des Etats-Unis, il apparaît au printemps au nord du Cap Hatteras, et surtout en automne au sud de ce cap. Il fait partie des Dinoflagellés les plus abondants à 650 km au sud de San Diego en mars 1972 (SMITH, 1978).

Parmi les espèces que nous avons rencontrées citons *G. splendens*, espèce littorale, isolée dans le plancton d'Helgoland de juillet à décembre. Elle peut être responsable de phénomènes d'eaux rouges, comme cela s'est produit sur les côtes du Pérou en mars-avril 1976 ; le bloom s'étendait alors sur au moins 800 miles nautiques (SMITH, 1978). De nombreuses espèces de *Gymnodinium* sont considérées comme très toxiques pour l'homme et provoquent la mort des poissons (LASSUS, 1979).

Le genre *Gymnodinium* a une dominance plus élevée au large : 0,4 % au point C, 0,4 % au point M, 1,1 % au point L, le 19 mars 1977, 1,7 % au point C, 3,0 % au point M, 3,7 % au point L, le 12 avril 1977, 1,4 % au point C, 3,3 % au point M, 3,1 % au point L, le 14 mai 1977, et en mai 1975 (fig. 91 ).

### c - Genre *Peridinium*

Le genre *Peridinium* est très peu représenté à Gravelines (moins de 10  $\mu$  / cm<sup>3</sup>) (fig. 92 ).

Nous avons observé le genre *Peridinium* dans le port de Dunkerque presque toute l'année sauf en hiver (fig. 93 ). Sa densité, souvent

supérieure à  $10 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$ , y dépasse  $100 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  en avril 1977 (maximum  $280 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  en surface le 1er avril). C'est en automne que sa dominance est la plus forte (5 % en octobre 1977) alors qu'il est relativement peu abondant ( $30 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$ ). Dans le port de Marseille, les nombres maximaux sont inférieurs à  $10 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  en 1970 et 1971. Mais en 1972 PATRITI (1976) a noté  $4500 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  en novembre.

Une grande partie des cellules du genre *Peridinium* que nous avons observées étaient mortes. La détermination des espèces de ce genre est souvent difficile ; leur nombre est sans doute supérieur à celui que nous avons estimé. Les espèces les plus fréquemment rencontrées sont *P. brevipes* (à Gravelines seulement) et *P. trochoideum*.

*P. brevipes* est une espèce néritique, non citée par OSTENFELD (1931) dans le nord-ouest de l'Europe, mais trouvée dans le Sound. Elle semble rare en Mer du Nord, mais se développe pourtant en grand nombre de mai à septembre à Helgoland. Sur la côte est des Etats-Unis, MARSHALL l'a classée parmi les espèces d'eaux froides ( $T^\circ < 10^\circ \text{ C}$ ). A Gravelines nous avons observé *P. brevipes* surtout en 1976-77, durant toute l'année sauf en été.

*P. trochoideum* est une espèce néritique que l'on trouve également dans les estuaires. Cette espèce, présente dans le Sound, n'a pas été citée par OSTENFELD (1931) en Mer du Nord. Pourtant c'est l'une des plus fréquentes dans le sud de la Mer du Nord en mai 1947 et elle apparaît au printemps et surtout en automne dans le Fjord de Trondheim où elle a atteint  $19 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  le 19 août 1971. DREBES (1974) l'a trouvée à Helgoland en été et en automne. A Roscoff, c'est une espèce secondaire estivale en 1962-63, qui apparaît aussi en hiver. En Méditerranée, elle est rare, sauf à Martigues-Pontheau où, présente toute l'année, elle peut arriver à une quantité de  $57 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  à la fin du printemps.

A Gravelines, nous avons surtout remarqué *P. trochoideum* au printemps, mais aussi en été. Dans le port de Dunkerque, où elle apparaît surtout au printemps mais aussi en automne (fig. 93), sa concentration peut être supérieure à  $10 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  et même dépasser  $100 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  ( $150 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  en moyenne au début du mois d'avril). Elle représente souvent une très grande part du nombre de cellules du genre *Peridinium*. PATRITI (1976) la cite dans le port de Marseille mais elle ne semble pas y jouer un rôle important.

#### d - Genre Prorocentrum

Comme le genre *Peridinium*, le genre *Prorocentrum* est très peu

abondant à Gravelines (fig. 94 ). Les cellules qui appartiennent à ce genre semblent être plus nombreuses à la fin de l'été et au début de l'automne (1975-1978).

Dans le port de Dunkerque, le genre *Prorocentrum* se développe toute l'année sauf en hiver, mais principalement en été (fig. 95 ). A cette époque, sa concentration peut être supérieure à  $100 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  et atteint  $900 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  en surface le 19 août 1977 (53 % de dominance).

A Gravelines et dans le port de Dunkerque, le genre *Prorocentrum* est principalement représenté par *P. micans*. Cette espèce néritique et tempérée est largement distribuée. Elle est assez rare en Mer du Nord. Pourtant elle fait partie de la communauté de Dinoflagellés qui domine en juillet 1976 dans le Fjord d'Oslo ; on l'y retrouve en septembre. Elle se multiplie fin août- début septembre dans le port d'Ostende (DE PAUW, 1969). En Europe du nord-ouest, on la trouve le plus souvent dans la Manche, où, comme à Helgoland, elle est présente toute l'année, mais surtout pendant la saison chaude. Elle apparaît à Roscoff en toutes saisons, sauf en été. En Méditerranée, *P. micans* a également été observée durant toute l'année et c'est l'un des Péridiniens les plus fréquents et les plus abondants. Il fait partie des Dinoflagellés les plus nombreux en mars 1976 au sud de Punta San Hipolito (650 km au sud de San Diego) (BLASCO, 1978).

Dans le port de Marseille, *P. micans* se développe essentiellement en été et en automne. Sa densité extrême est plus élevée qu'à Dunkerque : plus de  $1000 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  en 1971.

*P. micans* est souvent responsable de phénomènes d'eaux rouges, comme ce fut le cas dans l'estuaire de la Vilaine le 8 juin 1978, et dans celui de la Seine pendant la première quinzaine de septembre 1978 (LASSUS, in LE FEVRE, 1979). Il peut atteindre des concentrations très élevées :  $400\ 000 \text{ } \mu\text{ / ml}$  à New-Jersey en 1968. Des concentrations de  $200\ 000$  à  $400\ 000 \text{ } \mu\text{ / ml}$  pendant 1 à 2 semaines ne sont pas rares dans la Baie de New-York (MAHONEY et Mc LAUGHLIN, 1979). D'après LASSUS (1979), sa toxicité est très controversée.

Les observations de WANDSCHNEIDER (1979) montrent que *P. micans* s'accumule activement à la surface. Le petit nombre d'individus rencontré à Gravelines ne permet pas de le vérifier. Par contre dans le port de Dunkerque les échantillons de sub-surface sont souvent plus riches en *P. micans* que ceux des autres niveaux (fig. 96 ) ; c'est à 10 m que leur concentration est la plus faible.

e - Autres Dinoflagellés

Parmi les Dinoflagellés que nous avons le plus souvent rencontrés à Gravelines et dans le port de Dunkerque il faut citer *Heterocapsa triquetra* et *Minuscula bipes*.

*Heterocapsa triquetra* est une espèce néritique de petite taille (longueur 16-30µm) que l'on trouve aussi en estuaire. Elle a été observée dans le Sound, mais pas sur la côte est des Etats-Unis. Elle apparaît dans le Fjord de Trondheim au printemps et en automne (4  $\mu$  / cm<sup>3</sup> en octobre 1970) et DREBES (1974) la cite de juin à septembre à Helgoland. Elle se développait en grande quantité en Manche (st. E1) en mai, juin, juillet 1976, surtout vers 10 m de profondeur (jusqu'à 22  $\mu$  / cm<sup>3</sup> le 14 juillet), et en plus petit nombre en septembre 1976. Elle semble absente en Méditerranée.

A Gravelines nous avons trouvé *H. triquetra* en très petit nombre, de mai à septembre 1978, un peu plus abondante (1 individu par échantillon) en juillet. *H. triquetra* est peu souvent présente dans le port de Dunkerque. Nous l'avons surtout remarquée au printemps (fig. 97). Sa densité peut être supérieure à 100  $\mu$  / cm<sup>3</sup> : 600  $\mu$  / cm<sup>3</sup> en surface le 5 mai 1978 (30 % de dominance). Ce Dinoflagellé ne fait pas partie de la flore planctonique du port de Marseille (PATRITI, 1976).

Selon LASSUS (1979), cette espèce qui serait toxique a été responsable d'eaux rouges en Ecosse et en Norvège.

*Minuscula bipes* est également un Dinoflagellé de petite taille (longueur 23-35µm), néritique, observé dans le Sound et sur la côte est des U.S.A. Comme *H. triquetra* il ne paraît pas dominer les populations phytoplanctoniques puisque les auteurs n'y font généralement pas allusion. Il est présent d'avril à octobre à Helgoland et toute l'année à Roscoff. On le rencontre couramment dans le Golfe de Marseille mais PATRITI (1976) ne le cite pas dans le port de Marseille.

A Gravelines nous avons remarqué *M. bipes* tout au long de l'année (en général 1  $\mu$  / cm<sup>3</sup>) sauf en hiver. Il se développe surtout le 20 juin 1978 (8  $\mu$  / cm<sup>3</sup> en moyenne). Dans le port de Dunkerque sa densité, maximale en mai 1977, ne dépasse pas 10  $\mu$  / cm<sup>3</sup>.

BUS  
LILLE



Nous avons noté à Gravelines la présence d'individus du genre *Ceratium*, en août et septembre 1976 uniquement : *C. furca* et *C. fusus*. Ces deux espèces océaniques tempérées sont largement distribuées. D'après OSTENFELD (1931), *C. furca* ne pénètre pas en Mer du Nord par la Manche où elle est plutôt restreinte à la partie ouest, d'où sa rareté à Gravelines. LOUIS et coll. (1974) l'ont trouvée en Mer du Nord pendant la 2<sup>e</sup> moitié de l'année, mais une seule fois sur la côte belge. *C. fusus* est mieux représentée dans l'Atlantique que dans la Mer du Nord ; elle est rare sur la côte belge où LOUIS et coll. (1974) l'ont surtout observée en août (1200  $\mu$  / l). Les deux espèces sont présentes toute l'année en Méditerranée, *C. furca* surtout pendant les mois chauds et *C. fusus* essentiellement en hiver.

*C. furca* montre une préférence pour les eaux dont la température est de 20° C, tandis que *C. fusus* a une température optimale de 15° C (BRAARUD, 1961 ; in WANDSCHNEIDER, 1979). Les conclusions de NORDLI (1957) sont identiques quant aux *preferendums* thermiques. Les deux espèces ont un optimum halin de 20-25 ‰, salinité très inférieure à celles du milieu littoral de Gravelines et du milieu portuaire de Dunkerque. D'après les résultats de la période 1958-1974, REID (1977) a mis en évidence un accroissement du nombre de *Ceratium* dans le Sud de la Mer du Nord après 1970. Celui-ci n'est pas sensible à Gravelines où la présence du genre *Ceratium* en 1976 nous paraît être exceptionnelle.

## 5 - SILICOFLAGELLES

Les Silicoflagellés sont très rares à Gravelines à l'état vivant. Nous avons trouvé essentiellement *Dictyocha speculum*. D'après MARSHALL (1976), les Silicoflagellés sont bien représentés dans les eaux néritiques et océaniques de la côte est des Etats-Unis où ils préfèrent les eaux froides ( $T^{\circ} < 10^{\circ} C$ ). Leur nombre y augmente légèrement quand on s'éloigne de la côte. Dans le Sound *D. speculum* est une espèce automnale, le plus souvent rencontrée dans des eaux de faible salinité (10-15 ‰). En Mer du Nord, il est plus abondant en saison froide.

A Gravelines, nous l'avons surtout remarqué en octobre et novembre 1977 (1  $\mu$  par échantillon), et en moins grand nombre pendant le printemps et l'automne 1975. Nous avons trouvé un exemplaire de *D. fibula* ; cette espèce prend le relais de *D. speculum* dans les mers plus chaudes comme la Méditerranée.

Le genre *Dictyocha* semble absent dans le port de Dunkerque. Dans le port de Marseille, où il est représenté uniquement par *D. fibula*, son abondance est très réduite (PATRITI, 1976).

6 - CHLOROPHYCEES

Les Chlorophycées que nous avons rencontrées à Gravelines et dans le port de Dunkerque sont des espèces d'eau douce. Cependant leurs variations (fig.44,46) ne correspondent pas à celles de la salinité (cf. chap I). Les Chlorophycées sont peu abondantes à Gravelines sauf à l'automne 1975 et au printemps 1977. Un peu plus nombreuses à Dunkerque, elles apparaissent surtout au printemps et en été .

Le genre principal est le genre *Scenedesmus*, très rare en Mer du Nord dans les relevés de LOUIS et coll. (1974). D'après ces auteurs, "la présence de ces espèces en milieu néritique"... ne peut "s'expliquer que par une résistance insoupçonnée au milieu marin". Sa période d'apparition n'est pas régulière, et ses maxima ne sont pas toujours liés aux faibles salinités (fig. 98 et 99 ).

Nous l'avons trouvé à Gravelines le 30 août 1975 aux stations les plus côtières (1, 4, 5, 6, 8), entre 7 et 11  $\mu / \text{cm}^3$  aux stations 1, 5, 6, 8, et 124  $\mu / \text{cm}^3$  à la station 4 située près du débouché de l'Aa, où la salinité était plus faible (33,91 ‰ à la station 4 ; 34,50 ‰ en moyenne aux autres stations). De même le 8 mars 1975, elle n'est présente qu'à la station 5 en surface (50  $\mu / \text{cm}^3$ ), où la salinité est beaucoup plus faible qu'aux autres stations. Le 14 mai et le 9 juin 1977, le point Hors-Zone a été échantillonné 35 mn et 55 mn après la pleine mer; les courants portaient alors vers l'est, ce qui se traduit par une salinité plus élevée au point Hors-Zone que sur la radiale et une quantité de Chlorophycées moins importante.

La concentration de *Scenedesmus* paraît diminuer vers le large: 12  $\mu / \text{cm}^3$  au point C, 7  $\mu / \text{cm}^3$  au point M, 2  $\mu / \text{cm}^3$  au point L, le 9 juin 1977. Sa distribution spatiale est inverse de celle de la salinité (fig.100 ).

Dans le port de Dunkerque, nous avons observé un maximum de 65  $\mu / \text{cm}^3$  en surface le 21 juin 1978.

Un autre composant du groupe des Chlorophycées est la cellule Chlorophycée sp1. Absente à Gravelines en 1978, elle s'y développe surtout pendant l'été et l'automne 1975 et 1976 (fig.101 ). La cellule chlorophycée sp2, rare en 1976-77, est plus nombreuse à la fin du printemps 1978 (fig.101 ).

Nous n'avons pas trouvé de Chlorophycée (?) sp1 dans le port de Dunkerque. Par contre la Chlorophycée sp2 y est plus abondante qu'à Gravelines (fig.102 ). Les plus fortes densités sont souvent relevées en surface [jusqu'à 1000  $\mu / \text{cm}^3$  le 5 mai 1978 (50 % de dominance), 600  $\mu / \text{cm}^3$  le 19 août 1977 (30 % de dominance)].

## 7 - NANOPLANCTON

La turbidité des échantillons rend difficile, voire même impossible, l'estimation du nombre de nanoplanctontes. C'est pourquoi, malgré le rôle important du nanoplancton dans la production primaire, nous n'avons pas reporté ici nos observations, trop incertaines. McCARTHY et coll. (1974) estiment que, dans la Baie de Chesapeake, les planctontes de taille inférieure à 10  $\mu$  sont responsables d'en moyenne 81,3 % de la production de chlorophylle a (de 45,4 % à 96,5 % selon les stations et les niveaux) et de 94 % de la productivité. MOMMAERTS (1972) pense que le nanoplancton est deux fois plus productif que le microplancton. Cependant d'après l'étude de GRALL (1972) à Roscoff et selon les conclusions de JO PODAMO (1973) en Mer du Nord, sa présence ne peut expliquer plus de 50 % de la production totale.

La majorité des composants du nanoplancton de Gravelines sont des flagellés autotrophes. Une place particulière est tenue par *Phaeocystis* sp.. Ce flagellé se présente généralement sous sa forme coloniale : petites sphères gélatineuses renfermant une couche de cellules isolées. *Phaeocystis* est un genre arctique-boréal et tempéré, que l'on trouve parfois dans les eaux chaudes. Essentiellement néritique, il semble qu'un facteur important de sa croissance se situe au niveau de la pollution d'origine terrestre, sans doute organique. Organisme surtout printanier, le moment d'apparition de *Phaeocystis* pourrait être déterminé par la température de l'eau pendant la période qui précède sa multiplication. Aux basses températures la croissance de *Phaeocystis* ne peut avoir lieu qu'à de faibles intensités lumineuses. Lorsqu'il pullule *Phaeocystis* est à l'origine d'une diminution rapide de la pénétration de la lumière dans l'eau, il peut atteindre des concentrations telles qu'il colmate les filets et forme une barrière à la migration des harengs (Etude bibliographique sur le flagellé *Phaeocystis* sp. , BOUGARD, 1978).

A Gravelines la présence de *Phaeocystis* est limitée à quelques mois par an : avril, mai et juillet 1975, mars et avril 1977, fin mars-avril 1978 (fig.103 ). Nous en avons observé quelques cellules en octobre 1977 ainsi qu'à la fin du mois de mai (au large) et en août et septembre en 1978, ce qui constitue peut-être l'indice de développements non relevés, entre deux campagnes. *Phaeocystis* peut atteindre des concentrations importantes : 80 000  $\text{cell} / \text{cm}^3$  en juillet 1975 à la station 5. Le nombre de cellules (que l'on peut estimer facilement puisque les colonies sont brisées lors de l'examen au microscope) n'a pas été compté lors des premières apparitions de *Phaeocystis* ; néanmoins leur croissance est indiquée par un nombre de + proportionnel à leur quantité.

Nous n'avons pas noté la présence de *Phaeocystis* dans le port de Dunkerque.

8 - CONCLUSION

Les populations phytoplanctoniques de Gravelines et du port de Dunkerque présentent un caractère essentiellement néritique.

Comme dans la plupart des zones côtières les Diatomées sont très abondantes et leur nombre diminue quand on s'éloigne vers le large. Elles représentent en moyenne 95 % du nombre total de cellules de microplancton à Gravelines et leur dominance est légèrement plus faible aux stations situées le plus au large. Dans le port de Dunkerque, où les Diatomées dominent à plus de 90 % au printemps, le développement des Dinoflagellés peut être plus important qu'à Gravelines. Cependant la quantité de Diatomées y est rarement inférieure à 60 % du nombre total de cellules.

La majorité des espèces que nous avons observées sont néritiques et se retrouvent dans le milieu littoral et dans le milieu portuaire. Les apports d'eau littorale sont en effet fréquents dans les bassins du port [ouverture des vannes immergées des écluses pendant les étales de haute mer ; et pompage des eaux de l'avant-port pendant les marées hautes de morte-eau à partir de l'été 1977 (BRYLINSKI, 1979)].

Les cellules des genres *Thalassiosira*, *Chaetoceros*, *Rhizosolenia*, et *Nitzschia*, ainsi que les espèces *Skeletonema costatum*, *Cerataulina pelagica*, *Leptocylindrus danicus*, *Asterionella japonica*, et *Thalassionema nitzschioides*, constituent la majeure partie des populations de Diatomées.

Les espèces les plus abondantes sont

à Gravelines : *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile*, *Chaetoceros sociale*, et *Asterionella japonica*, suivies de *Skeletonema costatum*, "*Fragilaria*", et *Rhizosolenia delicatula*,

dans le port de Dunkerque : *Skeletonema costatum*, puis *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile*, *Chaetoceros didymum*, *Chaetoceros sociale*.

D'autres espèces peuvent atteindre des concentrations importantes mais sont plus limitées dans le temps. Citons par ordre alphabétique :

à Gravelines : *Cerataulina pelagica*, *Leptocylindrus danicus*, *Nitzschia delicatissima*, *Rhizosolenia setigera* + *Rh. pungens*, *Rhizosolenia shrubsolei*, *Rhizosolenia stolterfothii*, *Thalassiosira nordenskioldii*,

dans le port de Dunkerque : *Cerataulina pelagica*, *Nitzschia closterium*, *Nitzschia seriata*, *Thalassiosira nordenskioldii*, *Thalassiosira rotula*.

Les espèces de rôle "secondaire" sont (par ordre alphabétique) :

à Gravelines : *Biddulphia aurita*, *Nitzschia closterium*, *Nitzschia seriata*, *Faralia sulcata*, *Thalassiosira accipiens*, *Thalassiosira levanieri*, *Thalassiosira rotula* et *Thalassionema nitzschioides*,

dans le port de Dunkerque : *Asterionella japonica*, *Leptocylindrus danicus*, *Nitzschia delicatissima*, *Rhizosolenia delicatula*, *Rhizosolenia pungens* + *Rh. setigera*, *Rhizosolenia shrubsolei*, *Rhizosolenia stolterfothii*, *Thalassiosira decipiens*, *Thalassiosira levanderi*, *Thalassionema nitzschioides*.

Parmi les espèces que l'on trouve plutôt au printemps et en automne citons *Cerataulina pelagica*, *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile*, *Chaetoceros sociale*, *Nitzschia closterium*, *Nitzschia delicatissima* et les cellules du genre *Thalassiosira*. *Chaetoceros didymum*, *Leptocylindrus danicus*, *Nitzschia seriata*, *Rhizosolenia pungens* + *Rh. setigera*, *Rhizosolenia shrubsolei* et *Rhizosolenia stolterfothii* préfèrent les conditions estivales. *Skeletonema costatum*, *Rhizosolenia delicatula* et *Asterionella japonica* sont observées toute l'année.

On remarque la présence, en plus grand nombre à Gravelines, de plusieurs espèces qui ont tendance à se fixer et sont remises en suspension pendant les périodes d'agitation de l'eau : "*Fragilaria*", *Paralia sulcata*, *Rhaphoneis amphiceros*. Le genre *Navicula* est très peu représenté, sauf par l'espèce *Navicula sp1* au moment de certains blooms de *Chaetoceros* à Gravelines.

*Asterionella japonica* et les cellules du genre *Rhizosolenia* sont plus abondantes à Gravelines alors que *Cerataulina pelagica*, *Skeletonema costatum* et les genres *Chaetoceros* et *Thalassiosira* sont mieux représentés dans le port de Dunkerque.

Les Dinoflagellés comprennent essentiellement le genre *Gymnodinium*, le plus abondant, *Heterocapsa triquetra*, *Minuscula bipes*, le genre *Peridinium* (dont *P. brevipes* et *P. trochoideum*) et *Prorocentrum micans*. La croissance des Dinoflagellés est plus importante dans le port de Dunkerque qu'à l'extérieur. *Noctiluca scintillans* peut se développer en grand nombre à la fin du printemps et en été et donner une teinte rose aux eaux côtières.

Parmi les Chlorophycées, amenées par les eaux douces, le genre *Scenedesmus* et la Chlorophycée (?) sp1 tiennent la plus grande place à Gravelines. Dans le port de Dunkerque on relève aussi la présence de *Scenedesmus* mais la Chlorophycée sp2 est beaucoup plus abondante.

Le flagellé *Phaeocystis sp.* peut se développer en masse au printemps à Gravelines.

Après avoir mis en évidence les composants de la population du milieu littoral de Gravelines et de celle du milieu portuaire de Dunkerque nous étudierons plus en détail dans la suite de ce travail, la succession et l'importance relative des principales espèces et nous tenterons de déterminer les facteurs qui favorisent leur développement.

## CHAPITRE III

CYCLES PHYTOPLANCTONIQUES

STRUCTURE DES POPULATIONS

## 1 - INTRODUCTION

L'étude taxonomique du phytoplancton permet de connaître la composition des populations ainsi que leur richesse exprimée en nombre de cellules pour un volume d'eau donné. Mais la taille des cellules est très variable. C'est pourquoi plusieurs auteurs (TRAVERS, 1974, DEVAUX, 1975, entre autres) ont estimé la biomasse phytoplanctonique en calculant le volume et la surface des cellules : volume total, volume plasmique (selon la formule de SMAYDA, 1965), surface cellulaire. Cette méthode nécessite un long travail : la taille des cellules étant très variable, pour une même espèce, d'un lieu à un autre et selon les périodes, il faut mesurer les dimensions d'un grand nombre d'individus à chaque campagne.

Une autre estimation de la biomasse phytoplanctonique consiste à mesurer la quantité de pigments photosynthétiques. La teneur des cellules en chlorophylle diffère selon les organismes, leur état physiologique et leur environnement ; de plus tous les phytoplanctons ne sont pas phototrophes (TRAVERS, 1972). Mais, selon HARVEY (1950), si l'on considère l'ensemble du phytoplancton, les différences du rapport chlorophylle - matière organique tendent à s'estomper. Un autre inconvénient de cette méthode est que le dosage prend en compte, outre les pigments phytoplanctoniques, ceux qui sont contenus dans le seston et qui peuvent être abondants dans les zones littorales. Cette technique présente l'intérêt d'être rapidement réalisée et a l'avantage d'englober le nanoplancton, dont la numération est difficile, et dont la biomasse peut, à certaines périodes, être aussi importante que celle du microplancton (MALONE, 1971 ; SKJOLDAL et LÄNNERGRÉN, 1978). D'autre part, le volume d'eau échantillonné étant plus grand que celui retenu pour l'étude taxonomique, l'erreur due à la distribution hétérogène du phytoplancton se trouve atténuée.

C'est pourquoi nous avons opté pour la méthode de dosage des pigments chlorophylliens (nous nous sommes limités à la mesure de la chlorophylle a et des phéopigments) pour l'estimation de la biomasse phytoplanctonique. Cette mesure constitue également une approche de la capacité de production du phytoplancton, bien qu'il n'y ait pas de proportionnalité fixe entre la production photosynthétique et la quantité de chlorophylle (CURL et SMALL, 1965 ; MARGALEF, 1967). Nous avons également utilisé les résultats de l'étude taxonomique pour étudier la structure des populations.



## 2 - METHODES

a - Dosage des pigments (méthodologie utilisée pour l'étude du site de Gravelines).

### Chlorophylle a .....

Nous avons estimé la quantité de chlorophylle a par spectrophotométrie au moyen de la méthode trichromatique de RICHARDS et THOMPSON (1952), normalisée par l'U.N.E.S.C.O. en 1966.

L'abondance de phytoplancton à Gravelines permet de limiter les échantillons à 1 litre (mais nous avons dû restreindre la quantité filtrée à 1/2 litre lors de quelques campagnes pendant lesquelles la filtration était trop lente). Aussitôt le prélèvement fait, l'eau est passée sur filtre GELMAN GA-6 en triacétate de cellulose en 1974-75, WHATMAN GF/C en fibre de verre en 1976-77-78, de porosité 0,45  $\mu\text{m}$  (les filtres en fibre de verre semblent mieux convenir pour le dosage des phéopigments que les filtres en acétate de cellulose et la filtration est plus rapide avec les premiers). Le système de filtration placé à bord a été conçu par A. RICHARD et réalisé à l'Institut de Biologie Maritime de Wimereux à partir d'unités GELMAN. La filtration se fait sous pression d'air comprimé, contrôlée par un mano-détendeur. Cet appareillage présente l'avantage de pouvoir être utilisé facilement par mauvais temps et de ne pas nécessiter d'aménagement spécial du bateau. En outre, l'échantillon y est placé à l'obscurité pendant la durée de l'opération. L'addition d'une suspension de  $\text{MgCO}_3$  sur le filtre (10  $\text{mg}/\text{cm}^2$  de filtre) permet d'éviter l'acidification de l'extrait et de retarder la formation de phéophytine. Les filtres sont ensuite placés à l'obscurité dans un congélateur à bord et sont conservés congelés jusqu'au dosage des pigments.

L'extraction des pigments est effectuée par l'acétone : on ajoute 5 ml d'acétone à 90 % dans le tube où se trouve le filtre ; le tube est ensuite placé pendant 18 heures à l'obscurité. Afin de libérer le plus possible de cellules emprisonnées entre les fibres, les filtres sont découpés en petits morceaux et broyés à la main à l'aide d'une baguette de verre. Après centrifugation (7.000 tours/mn pendant 10 mn), le surnageant est placé dans une cuve en quartz de trajet optique 1 cm (spectrophotomètre JOBIN et YVON jusqu'en novembre 1976) ou dans une cuve en verre de trajet optique 1,15 cm (spectrophotomètre TURNER 350 à partir de décembre 1976) en vue de l'étude au spectrophotomètre. L'absorption est mesurée à 663, 645 et 630 nm ainsi qu'à 750 nm ; cette dernière valeur représente la turbidité et doit être retranchée des autres

valeurs. Dans la cuve témoin le "blanc" était, lors des premiers dosages, constitué de 5 ml d'acétone à 90 % + un filtre vierge + MgCO<sub>3</sub> ; dans certains cas la turbidité du "blanc" était telle que nous avons ensuite utilisé l'acétone seul, selon la recommandation du groupe de travail du SCOR-UNESCO (1966).

L'équation suivante permet de calculer la teneur en chlorophylle a :

$$\text{Chl. a } (\mu\text{g/l}) = \frac{(11,64 e_{663} - 2,16 e_{645} + 0,10 e_{630})v}{V}$$

v = volume de l'extrait

V = volume de l'eau de mer filtrée

En 1978 nous avons également utilisé la méthode fluorimétrique (YENTSCH et MENZEL, 1963). La préparation des échantillons est la même que pour la spectrophotométrie, mais, étant donné la plus grande précision de la méthode fluorimétrique, le volume filtré a souvent été limité à 1/2 litre. La fluorescence de l'extrait est mesurée avant et après acidification par 2 gouttes d'HCl 1N et la concentration en chlorophylle a est donnée par la formule de LORENZEN (1966) :

$$\text{Chl. a } (\mu\text{g/l}) = Kx \times \frac{F_o}{F_a} \text{ max} \times F_a \left[ \frac{\frac{F_o}{F_a} - 1}{\frac{F_o}{F_a} \text{ max} - 1} \right] \times \frac{v}{1000 V}$$

$\frac{F_o}{F_a} \text{ max}$  = rapport d'acidification de la chlorophylle a pour l'appareillage donné

F<sub>o</sub> = fluorescence avant acidification

F<sub>a</sub> = fluorescence après acidification

v = volume de l'extrait acétonique (ml)

V = volume d'eau de mer filtrée (litres)

Kx = constante de calibration pour une fente donnée du fluorimètre.

Les résultats donnés par le fluorimètre nous paraissant erronés à la fin de l'année 1978 (il aurait fallu refaire l'étalonnage de l'appareil pour le vérifier) et les conclusions de NEVEUX (1976) montrant l'imprécision de la fluorimétrie pour des teneurs en chlorophylle supérieures à 2 µg/l, nous avons abandonné cette technique.

Dans la figure 112 on note cependant que l'allure des variations est la même selon les deux méthodes, mais que les taux de chlorophylle a sont effectivement plus faibles, lors des poussées phytoplanctoniques, quand ils sont

estimés par fluorimétrie (nous avons bien sûr tenu compte du fait que la mesure de chlorophylle a par spectrophotométrie comprend chlorophylle a "active" + phéopigments) (les dosages selon les deux méthodes ont été réalisés sur un même extrait).

### Phéopigments

La dégradation de la chlorophylle donne lieu à la formation de phéopigments que nous avons dosés par la méthode de LORENZEN (1967) à partir du même extrait que celui utilisé pour la détermination du taux de chlorophylle a.

Après avoir dosé la chlorophylle a nous acidifions l'extrait par addition de deux gouttes d'HCl 1N. La lecture au spectrophotomètre à 665 et 750 nm permet d'estimer la quantité de phéophytine a + phéophorbide a (en µg/l) en utilisant la formule :

$$\frac{A \times K \times R (665_a - 665_o) \times v}{V \times l}$$

- A = coefficient d'extinction de la chlorophylle a = 11,0
- K permet de ramener la réduction d'absorption à la concentration initiale en chlorophylle : K = 2,43
- 665<sub>o</sub> = extinction avant acidification
- 665<sub>a</sub> = extinction après acidification
- v = volume d'acétone
- V = volume d'eau de mer filtrée
- l = trajet optique de la cuve
- R = rapport maximum  $\frac{665_a}{665_o} = 1,7$

(les calculs ont été faits à partir de 663<sub>o</sub> et 663<sub>a</sub> au lieu de 665<sub>o</sub> et 665<sub>a</sub>).

En 1978 nous avons utilisé la méthode fluorimétrique. La formule qui donne la quantité de phéophytine a (µg/l) (LORENZEN, 1966) est la suivante :

$$Kx \times \frac{F_o}{F_a} \text{ max} \times F_a \left[ 1 - \frac{\frac{F_o}{F_a} - 1}{\frac{F_o}{F_a} \text{ max} - 1} \right] \times \frac{v}{1000 \times V}$$

A la fin de 1978 nous avons repris la mesure des phéopigments par spectrophotométrie.

Précision des mesures (spectrophotométrie)  
.....

Afin de déterminer un coefficient permettant de ramener la teneur en chlorophylle a estimée à partir d'un filtre WHATMAN à celle que l'on aurait trouvée à partir d'un filtre GELMAN, nous avons, en octobre et novembre 1976, divisé des échantillons d'eau en deux parties : 1/2 litre filtré sur membrane WHATMAN en fibre de verre, l'autre demi-litre sur membrane GELMAN en acétate de cellulose. Nous avons repris cette expérience en décembre 1976 et janvier 1977 et lors de quelques sorties "Digue" en filtrant cette fois 1 litre d'eau sur chaque membrane. Ces essais ne nous ont pas amené à une conclusion satisfaisante quant à la détermination d'un coefficient, sans doute à cause de la distribution hétérogène du phytoplancton dans le milieu marin.

La même expérience réalisée par BRYLINSKI (1979) sur les eaux du port de Dunkerque (1 litre filtré sur membrane en fibre de verre WHATMAN, 1 litre filtré sur membrane en triacétate de cellulose GELMAN) montre que la quantité de chlorophylle mesurée avec les filtres en fibre de verre est supérieure à celle mesurée avec les filtres en acétate de cellulose :

$$\text{Chl. a (WHATMAN GF/C)} = 0,925 + 1,175 \text{ Chl. a (GELMAN GA 6)} \quad r = 0,95$$

Des essais réalisés en filtrant de l'eau de mer sur membrane MILLIPORE HA (ester de cellulose) et WHATMAN GF/C, (in Anonyme, 1966) montrent que la filtration est beaucoup plus rapide avec cette dernière et donnent, entre autres, les résultats suivants :

Whatman GF/C → 1,79 µg/l chl. a  
Millipore HA → 2,24 µg/l chl. a

Il résulte de ces travaux que les teneurs en chlorophylle a sont nettement plus faibles avec les filtres en fibre de verre qu'avec les filtres en cellulose (d'autant plus que, contrairement aux membranes de cellulose, celles en fibre de verre ne sont pas solubles dans l'acétone). D'après HUMPHREY et WOOTTON (in Anonyme, 1966), les résultats obtenus à partir des filtres WHATMAN GF/C seraient de 25 % inférieurs à ceux obtenus à partir des autres filtres.

Etant donné la variabilité des résultats nous n'avons pas apporté de correction aux valeurs calculées à partir des filtres en fibre de verre. Afin de conserver une certaine homogénéité dans les résultats nous n'avons pas retenu les taux de chlorophylle estimés à partir des filtrations sur membrane

GELMAN en 1976-77.

RICHARDS et THOMPSON ( 1952) estiment que l'erreur dans la détermination du taux de chlorophylle a est de 14 % ; HUMPHREY et WOOTTON (in Anonyme, 1966) ont déterminé un coefficient de variation de 15 %. D'après eux, il n'est pas possible de donner une précision pour cette méthode ; les erreurs faites dans cette analyse sont probablement faibles, comparées à celles de l'échantillonnage du phytoplancton en mer.

Pour étudier les variations de chlorophylle possibles dans un volume d'eau limité, nous avons filtré 10 échantillons d'un litre prélevés au même instant, à l'aide de deux bouteilles de 5 litres, à la sortie de la rade de Boulogne ; les teneurs en chlorophylle a sont les suivantes :

1,98 µg/l	2,74
2,48	2,49
1,99	2,22
2,27	2,21
5,88	2,27

la moyenne étant 2,65 et l'écart-type 1,16 ; si l'on exclue la 5<sup>e</sup> valeur, très élevée par rapport aux autres, la moyenne devient 2,29 et l'écart-type 0,24 (soit 10 % de la moyenne). Nous avons fait la même expérience en filtrant cette fois 3 fois 1 litre et 3 fois 2 litres d'une même eau :

échantillons	{ 2,74 µg/l	échantillons	{ 2,56 µg/l
d'1 litre	{ 2,18	de 2 litres	{ 2,40
	{ 2,36		{ 2,56

La dispersion des valeurs paraît être réduite quand on utilise des échantillons de 2 litres.

Dans le but de mieux évaluer la quantité de chlorophylle d'un prélèvement (compte tenu des variations possibles à l'intérieur de celui-ci) nous avons, chaque fois que cela était possible, filtré deux échantillons d'1 litre (ou 1/2 litre), ce à partir de 1976. Nous avons calculé le pourcentage de la différence des deux valeurs obtenues par rapport à leur moyenne (pour 4 campagnes :

août et septembre 1976, février et juillet 1977). Pour la chlorophylle a ce pourcentage varie de 0 à 35 % (si l'on excepte les valeurs élevées, 49 % et 93 %, obtenues en juillet 1977) ; dans le cas des phéopigments les variations sont plus étendues : de 0 à 174.%. Les moyennes de ce pourcentage pour chacune des campagnes considérées sont :

	août 1976	sept. 1976	février 1977	juillet 1977
Chlorophylle a	13 %	10 %	12 %	16 %
Phéopigments	68 %	74 %	55 %	75 %

**Indice pigmentaire**  
.....

Lors des mesures par spectrophotométrie nous avons également noté la densité optique de l'extrait à 430 nm, qui est un bon indicateur des caroténoïdes. Selon MARGALEFF (1960, 1967) le rapport  $\frac{e_{430}}{e_{663}}$  permet d'apprécier l'état physiologique des populations phytoplanctoniques. L'indice pigmentaire n'a pas été calculé en 1978.

**b - Structure de la population** (Méthodes utilisées pour l'étude du phyto-plancton de Gravelines et du port de Dunkerque)

**Diversité spécifique**  
.....

La diversité spécifique est "une mesure de la composition en espèces..., en termes du nombre d'espèces et de leurs abondances relatives" (LEGENBRE et LEGENBRE, 1979).

Nous avons calculé pour chaque échantillon l'indice de diversité spécifique en utilisant la formule de SHANNON-WEAVER qui semble constituer, selon DAGET (1976) et LEGENBRE et LEGENBRE (1979), la meilleure mesure de la diversité spécifique d'échantillons dans lesquels le nombre d'espèces est assez important :

$$H \text{ (bits/gé ou bits/individu)} = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

$p_i = \frac{n_i}{N}$  est la fréquence relative de chaque espèce dans l'échantillon  
 $(n_i = \text{nombre d'individus dans chaque espèce})$   
 $N = \text{nombre total d'individus dans l'échantillon})$

Equitabilité  
.....

L'indice de diversité spécifique dépend des fréquences relatives de chaque espèce, mais aussi du nombre d'espèces présentes dans l'échantillon. C'est pourquoi, afin de pouvoir comparer les différentes populations, nous avons calculé l'"équitabilité" (ou encore "régularité") qui est le rapport de la diversité réelle à la diversité maximale (DAGET, 1976 ; LEGENDRE et LEGENDRE, 1979) :

$$E = \frac{H}{\log_2 N}$$

D'après les résultats reportés dans les tableaux 17 et 18, les variations de H et de E entre différents échantillons d'un même prélèvement sont relativement faibles (écart-type <10 % de la moyenne).

Diagrammes rang-fréquence.  
.....

Le calcul de l'indice de diversité spécifique permet d'acquiesrir une donnée globale sur la structure des populations. Pour connaître plus précisément cette structure nous avons utilisé des diagrammes rang-fréquence : sur un graphique sont reportés en abscisse le rang des espèces, par ordre décroissant, et en ordonnée les fréquences (représentées par le pourcentage de dominance de chaque espèce considérée par rapport au nombre total de cellules de l'échantillon). L'utilisation des diagrammes rang-fréquence a été limitée au site de Gravelines.

Diversité pigmentaire  
.....

L'étude des variations de l'indice de diversité pigmentaire ( $a_{430}/a_{663}$ ) permet, selon MARGALEF (1960, 1967), de préciser les stades des successions phytoplanctoniques.

Les tableaux 24 à 28 présentent les résultats des différentes mesures et des calculs effectués à Gravelines (1974 à 1978), dans le milieu littoral de Dunkerque (1977-78) et dans le port de Dunkerque (1977-78), afin d'y déterminer l'évolution des populations phytoplanctoniques.

3 - GRAVELINES

a - Pigments photosynthétiques

La mesure du taux de chlorophylle a d'un échantillon d'eau de mer permet d'évaluer la richesse du milieu en phytoplancton. Lors de la digestion zooplanctonique, des sucs acides transforment la chlorophylle a

en phéophytine a + phéophorbide a : CURRIE (1962), LORENZEN (1967b) et JEFFREY (1974) ont effectivement retrouvé ces pigments dans les pelotes fécales de Copépodes. Les travaux de JEFFREY (1974) confirment ce que pensait LORENZEN (1976b), à savoir que la phéophytine a est moins abondante que la phéophorbide a dans les pelotes fécales des Copépodes et qu'il faut considérer comme indicateur biologique la phéophorbide a plutôt que la phéophytine a. D'autre part l'acidification dans le tractus digestif des zooplanctontes provoque la transformation de la chlorophyllide a en phéophorbide a. La présence de chlorophyllide a dans les cellules résulte de l'action de la chlorophyllase, enzyme contenue dans les membranes chloroplastiques, qui transforme la chlorophylle a en chlorophyllide a lors du vieillissement des cellules (JEFFREY, 1974). Le dosage des phéopigments met donc en évidence le broutage du phytoplancton par le zooplancton herbivore. La méthode de dosage des pigments photosynthétiques ne permet pas de préciser l'importance relative de la chlorophylle a et de la chlorophyllide a. Il faut donc préciser que le vocable "chlorophylle a" recouvre en fait chlorophylle a + ses divers produits de dégradation ; le terme chlorophylle "active" correspond à chlorophylle a + chlorophyllide a.

Dans les zones littorales comme celles que nous étudions il ne faut pas négliger les apports de pigments dégradés dans les eaux continentales. Les dosages que nous avons réalisés dans les eaux de l'Aa en 1978 montrent que les teneurs en phéopigments y sont élevées (jusqu'à 20 µg/l) (fig. 104).

MORETH et YENTSCH (1970) ont mis en évidence une dégradation rapide de la chlorophylle et des phéopigments par photo-oxydation.

La concentration des pigments contenus dans les cellules phytoplanctoniques varie selon les conditions de leur environnement. On sait que lorsque les sels nutritifs nécessaires à la croissance du phytoplancton manquent dans le milieu, il y a accumulation de caroténoïdes (MARGALEF, 1960, 1967). L'indice pigmentaire  $e_{430}/e_{663}$ , proportionnel au rapport caroténoïdes /chlorophylle a, augmente quand la population vieillit ou se trouve dans de mauvaises conditions. Néanmoins, comme dans le cas des phéopigments, le rapport peut se trouver modifié dans notre zone d'étude par la présence de caroténoïdes exogènes contenus dans les détritiques organiques et non dans le phytoplancton.



1974-75  
.....

L'emploi de filtres en acétate de cellulose pendant la première année d'étude a conduit à l'obtention de valeurs aberrantes lors du dosage des phéopigments : les taux de phéopigments, très élevés, sont supérieurs à ceux de chlorophylle. Nous ne retiendrons donc pas les valeurs, mais seulement l'allure de leurs variations.

Le petit nombre de données dont nous disposons pour la fin de l'année 1974 ne permet pas de préciser l'état des populations phytoplanctoniques. On remarque de faibles quantités de chlorophylle a à la fin du mois de septembre (fig. 106) [1,6 µg/l au large (st. 11) à plus de 3 µg/l à la côte (st. 9 et 12)] alors que le zooplancton est abondant ( $10^5$  ind./ $10\text{ m}^3$ ) (fig. 105). Au mois de novembre les concentrations de chlorophylle a sont plus importantes (entre 3 et 12 µg/l selon les stations).

Le début du mois de février 1975 est caractérisé par des taux de chlorophylle a très bas le 2 (en général de 0 à 1,5 µg/l), un peu plus élevés le 9 (de 0,5 à 2,0 µg/l). Inversement les phéopigments sont plus abondants le 2, mais leur concentration est minimale le 9 (fig. 106). L'origine de cette grande quantité de phéopigments le 2 février est difficile à préciser. Elle ne se situe pas au niveau de la digestion zooplanctonique ni à celui du phytoplancton puisque le plancton est peu développé. L'indice pigmentaire, souvent supérieur à 4 (fig. 108), pourrait indiquer une population en mauvais état. La faible salinité en surface aux stations 1 et 4 le 2 février (27,4 ‰ st.1, 23,7 ‰ st.4) suggère que les fortes concentrations de phéopigments et la valeur élevée de l'indice pigmentaire résultent d'un apport de particules détritiques d'origine continentale.

Au début du mois de mars la biomasse phytoplanctonique (chl. a) a augmenté (de 3 à 8 µg/l le 8 mars), de même que le nombre de cellules de microplancton ( $10^3$  µ/cm<sup>3</sup>) (fig. 107) et les phéopigments. L'indice pigmentaire, le plus souvent entre 3 et 4, montre que la population est dans un bon état physiologique. Les grandes quantités de phéopigments peuvent provenir de la digestion, par un nombre accru de zooplanctontes, de cellules riches en chlorophylle. La salinité est proche de 33,0 ‰ à la côte ; les phéopigments pourraient donc être en partie amenés dans les eaux de l'Aa. La distribution des phéopigments est en fait assez irrégulière et on ne peut la relier à celle du zooplancton (ARNAL et coll., 1976), ni à celle de la salinité.

Les figures 106 et 107, qui ne prennent en compte que les stations de la radiale, ne mettent pas en évidence la poussée phytoplanctonique qui s'est produite le 13 avril : la moyenne des taux de chlorophylle a à cette date, aux stations 1 à 4 est de 11,5  $\mu\text{g}/\text{l}$ .

Au début du mois de mai, on remarque à nouveau un développement important du phytoplancton, particulièrement aux stations 9 et 12 où l'on note plus de 30  $\mu\text{g}/\text{l}$ . Le nombre de cellules de microplancton est effectivement plus grand à ces stations (plus de 3.000  $\text{é}/\text{cm}^3$ ) qu'aux autres stations (moins de 1000  $\text{é}/\text{cm}^3$ ) ; mais il est probable que cette concentration très forte de chlorophylle a est due en grande partie à une répartition irrégulière des colonies de *Phaeocystis* présentes en grand nombre à cette période.

On observe à la fin du mois de mai 1975 une chute des taux de chlorophylle a, qui se poursuit jusqu'au début de juin ; elle est accompagnée d'une augmentation des phéopigments, et correspond à un développement important du zooplancton ( $10^6$  ind./ $10\text{ m}^3$  le 1er juin). La salinité enregistrée à cette époque est très faible (moins de 31 ‰ le 1er juin, fig. 12). L'origine des phéopigments peut donc se situer également au niveau des arrivées d'eaux telluriques. L'élévation de l'indice pigmentaire, plus sensible à la côte, peut résulter de trois phénomènes : vieillissement des cellules phytoplanctoniques [le milieu est pauvre en silicates (fig. 35)], abondance du Dinoflagellé *Noctiluca scintillans* d'une part, et du zooplancton d'autre part.

Un mois plus tard la situation s'est inversée : au début du mois de juillet 1975, l'indice pigmentaire est le plus faible de l'année (2,3 à 3,2). Il s'en produit alors une nouvelle poussée phytoplanctonique, essentiellement due à la multiplication de *Phaeocystis* (de  $5 \cdot 10^3$  à  $80 \cdot 10^3$   $\text{é}/\text{cm}^3$ ) ; en effet le nombre de cellules de microplancton est modéré (en moyenne 600  $\text{é}/\text{cm}^3$ ) et les cellules sont de petite taille (essentiellement *Asterionella japonica* et cellules du genre *Chaetoceros*). Comme la densité zooplanctonique, les taux de phéopigments ont diminué (d'autant plus que les herbivores sont rares, ARNAL et coll., 1977), tandis que la salinité se rapproche des valeurs habituelles (S ‰ moyenne = 32,2 ‰).

A la fin de l'été, malgré le grand nombre de cellules microplanctoniques (3000  $\text{é}/\text{cm}^3$  en moyenne), la concentration de chlorophylle a dépasse rarement 8  $\mu\text{g}/\text{l}$  le 30 août. Il semble y avoir deux causes à cela : 60 % des cellules appartiennent au genre *Chaetoceros* et sont de petite taille ; d'autre part l'indice pigmentaire élevé (de 4 à 5) pourrait indiquer le mauvais état physiologique des cellules, résultat du manque de sels nutritifs qui entraîne une limitation de la production de chlorophylle par le phytoplancton. Les zooplanctontes ne sont pas très nombreux (moins de  $10^4$  ind./ $10\text{ m}^3$ ) et les arrivées d'eaux telluriques sont réduites (S ‰ = 34,56 ‰).

en moyenne) : la quantité de phéopigments est plus faible à certaines stations, mais atteint cependant des fortes valeurs en plusieurs points.

Au début du mois d'octobre 1975 les taux de chlorophylle a sont voisins de ceux relevés le 30 août (de 4 à 7 µg/l). On retrouve en décembre la situation observée au mois de février : biomasse phytoplanctonique faible, indice pigmentaire élevé (entre 5 et 8).

1976-77  
.....

Comme nous l'avons déjà remarqué lors de l'étude des échantillons d'août 1975, la quantité de chlorophylle a à la fin du mois d'août 1976 (4 à 13 µg/l) (fig. 109) est faible si on la compare au nombre de cellules du microplancton ( $10^4$  ind./cm<sup>3</sup> en moyenne) (fig. 110). A nouveau la population est essentiellement composée de cellules de petite taille : *Asterionella japonica* et cellules du genre *Chaetoceros*. L'indice pigmentaire, supérieur à 6 (fig. 111), pourrait traduire l'effet de la pauvreté en sels nutritifs du milieu sur le contenu en chlorophylle des cellules. La teneur en phéopigments est très variable (de moins de 1 µg/l à plus de 4 µg/l).

Le taux de chlorophylle diminue ensuite en septembre, remonte légèrement en octobre, puis est minimum en novembre et décembre (1 à 3 µg/l le 18 novembre 1976, 2,3 µg/l au point M - 0 m le 17 décembre). L'indice pigmentaire se situe entre 4 et 5 en général le 20 septembre : le milieu s'est enrichi en sels nutritifs en septembre, ce qui permettrait une meilleure croissance des cellules à cette époque. La diminution des sels nutritifs en octobre semble résulter d'un accroissement non décelé du phytoplancton. La différence entre les teneurs en chlorophylle le 20 septembre et le 18 octobre est faible bien que le nombre de cellules de microplancton soit plus important en octobre. L'augmentation de l'indice pigmentaire en octobre (sauf au point C) pourrait indiquer que la teneur en chlorophylle des cellules, dont la croissance est terminée, a diminué. Le nombre de zooplanctontes est identique en septembre et en octobre (un peu plus de  $10^4$  ind./10 m<sup>3</sup>) ; on remarque pourtant une hausse des taux de phéopigments en octobre. La richesse supposée du phytoplancton durant la période qui précède la campagne d'octobre a pu permettre le développement d'une plus grande proportion de zooplanctontes herbivores (les Copépodes *Paracalanus parvus* et *Acartia clausi* représentent 23 % du zooplancton en septembre et 37 % en octobre ; ARNAL et coll., 1977).

En décembre 1976 les résultats des dosages de chlorophylle a et de phéopigments reflètent la pauvreté du milieu pélagique et sa faible activité biologique.

Malgré un même nombre de cellules en décembre 1976 et en janvier 1977, chlorophylle a et surtout phéopigments sont plus abondants en janvier. La quantité de chlorophylle "active" est faible. La turbidité est importante au mois de janvier et la distribution des pigments photosynthétiques est proche de celle des matières en suspension (fig. 23); les phéopigments seraient donc essentiellement d'origine détritique. Il semble en être de même le 15 février, bien que le nombre de cellules microplanctoniques et le taux de chlorophylle "active" soient un peu plus grands.

C'est en mars-avril que nous avons observé les teneurs en chlorophylle a les plus élevées du cycle 1976-77 (9 à 17  $\mu\text{g}/\text{l}$  le 19 mars, 6 à 20  $\mu\text{g}/\text{l}$  le 12 avril). Celles-ci correspondent à un nombre assez important de cellules ( $2 \cdot 10^3 \text{ } \mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) et au début du développement de *Phaeocystis* en mars. En avril le nombre de cellules est proche des valeurs hivernales, mais la quantité de *Phaeocystis* dépasse en moyenne  $10^4 \text{ } \mu\text{g}/\text{cm}^3$ . Bien que la densité zooplanctonique soit supérieure à  $10^4 \text{ ind.}/10 \text{ m}^3$  en mars, le taux de phéopigments est inférieur à 1  $\mu\text{g}/\text{l}$  (sauf au point C). L'indice pigmentaire, en général moins de 3 en mars-avril, indique le bon état physiologique des populations.

Bien que les taux de sels nutritifs soient très faibles en mai 1977, ce qui semble être à l'origine de l'élévation de l'indice pigmentaire, supérieur à 3, le nombre de cellules de microplancton est voisin de  $10^3 \text{ } \mu\text{g}/\text{cm}^3$  et la teneur en chlorophylle a dépasse 5  $\mu\text{g}/\text{l}$  à certaines stations (C1, M1 et M4) (elle est cependant inférieure à 2  $\mu\text{g}/\text{l}$  en C2 et L1). Le zooplancton comprend l'espèce *Pleurobrachia pileus* (ARNAL et coll., 1977), carnivore, ce qui a pour effet de limiter le nombre de zooplanctontes de taille plus petite (nombre total d'individus du zooplancton le 14 mai :  $< 10^4 \text{ ind.}/10 \text{ m}^3$ ). La croissance du phytoplancton est donc moins limitée par la prédation zooplanctonique d'une part, et la quantité de phéopigments produite lors de la digestion du zooplancton est moindre d'autre part.

En juin 1977 le milieu est pauvre en chlorophylle a. Le zooplancton, qui comprend toujours *Pleurobrachia pileus*, a retrouvé une densité élevée :  $\approx 5 \cdot 10^4 \text{ ind.}/10 \text{ m}^3$ , mais les concentrations de phéopigments sont encore faibles. L'augmentation de l'indice pigmentaire (en général supérieur à 4,5) résulte de la présence en grand nombre du Dinoflagellé *Noctiluca scintillans*.

Le début du mois de juillet 1977 est marqué par la présence d'une population de moyenne importance (moins de  $10^3 \text{ } \mu\text{g}$  de microplancton/ $\text{cm}^3$ , 4 à 5  $\mu\text{g}/\text{l}$  de chlorophylle a), dans un bon état physiologique (indice pigmentaire voi-

sin de 3). La consommation du phytoplancton par le zooplancton, pourtant abondant (plus de  $10^5$  ind./ $10\text{ m}^3$ ), est réduite : les taux de phéopigments, dépassent rarement  $1\text{ }\mu\text{g/l}$  le 4 juillet. A cette époque de l'année le zooplancton herbivore est pauvre. L'éclairement important peut entraîner une photo-oxydation plus rapide des phéopigments.

1978

.....

Jusqu'au mois de mars la teneur en chlorophylle a semble rester faible en 1978 (moins de  $2,5\text{ }\mu\text{g/l}$  début février et début mars). Par contre les phéopigments sont abondants à la station M le 7 février (fig. 113), la turbidité y est alors supérieure à  $60\text{ mg/l}$ . La présence des phéopigments à cette date semble donc être liée à celle de particules détritiques remises en suspension.

La biomasse phytoplanctonique augmente légèrement à la fin du mois de mars ( $2\text{ à }5\text{ }\mu\text{g/l}$  de chl. a), résultat de l'accroissement du nombre de cellules ( $700\text{ }\mu\text{/cm}^3$  en moyenne, fig. 114) et de l'apparition de *Phaeocystis* ( $150\text{ }\mu\text{/cm}^3$  en moyenne). Malgré la pauvreté du zooplancton et la faible concentration de phéopigments dans les eaux de l'Aa à cette époque, on remarque une élévation du taux de ces derniers dans le milieu littoral aux stations C et M. Leur origine semble être la même que celle supposée lors des campagnes précédentes : ils feraient partie du matériel détritique remis en suspension.

Le 19 avril 1978 le nombre de cellules de microplancton s'est accru ( $2.700\text{ }\mu\text{/cm}^3$  en moyenne) et *Phaeocystis* atteint des concentrations de  $20.000\text{ }\mu\text{/cm}^3$ . Le taux de chlorophylle ne dépasse pourtant pas  $10\text{ }\mu\text{g/l}$  (il varie entre 6 et  $10\text{ }\mu\text{g/l}$ ) : la population microplanctonique comprend 72 % de cellules appartenant à l'espèce *Chaetoceros sociale*, de petite taille. De plus la baisse des taux de sels nutritifs à cette période laisse à penser que la campagne a eu lieu à la fin du développement de cette espèce et que les cellules sont donc pauvres en chlorophylle. D'autre part, le refroidissement de l'eau pendant la 2<sup>e</sup> décade d'avril a pu avoir une influence néfaste sur le phytoplancton. Les taux de phéopigments ne sont pas très importants malgré le développement du zooplancton.

Au mois de mai 1978 la concentration de chlorophylle a n'est pas élevée (au maximum  $6\text{ }\mu\text{g/l}$ , à la station M, le 20 mai). Le nombre de cellules de microplancton passe de 200 à  $800\text{ }\mu\text{/cm}^3$  en moyenne entre le 3 et le 20 mai. *Asterionella japonica* constitue la moitié de la population le 20 mai, ce qui peut être une des causes de la faible variation de la teneur en chlorophylle, malgré l'augmentation du nombre de cellules,

entre les deux campagnes. On remarque des quantités croissantes de phéopigments au mois de mai (sauf à la station L) qui peuvent correspondre à une forte densité zooplanctonique le 20 ( $10^5$  ind./ $10\text{ m}^3$ ). Nous avons observé les taux de chlorophylle maxima au mois de juin, à la station M (jusqu'à  $20\ \mu\text{g/l}$ ). Le nombre de cellules de microplancton est plus faible qu'en avril, mais leur taille est plus grande : 30 % de cellules du genre *Rhizosolenia*, 20 % de *Cerataulina pelagica*. De plus l'importante quantité de phéopigments aux stations C et M ( $3\ \mu\text{g/l}$ ) fausse les estimations de chlorophylle : le taux de chlorophylle "active" est bien inférieur au taux de chlorophylle calculé selon la méthode spectrophotométrique. La concentration élevée de phéopigments (sauf au point L) semble résulter de la digestion zooplanctonique et de la richesse en phéopigments des eaux de l'Aa (fig. 104).

A partir de juillet et jusqu'à la fin de l'année 1978, nos comptages montrent un nombre de cellules inférieur à  $500\ \mu\text{g/cm}^3$ . On remarque pourtant en août des teneurs en chlorophylle a comparables à celles du mois de juin (sauf au point M). La population comprend 80 % de cellules du genre *Rhizosolenia*, en majorité *Rhizosolenia shrubsolei*. Malgré le grand nombre de zooplanctontes au mois de juillet et la forte concentration de phéopigments dans les eaux de l'Aa, ces derniers sont peu abondants dans le milieu littoral. On peut évoquer à nouveau à ce propos la pauvreté probable du milieu en zooplanctontes herbivores et la possibilité d'une photo-oxydation plus rapide des composés chlorophylliens. Les taux de chlorophylle a, entre 3 et  $5\ \mu\text{g/l}$  le 19 septembre, diminuent en octobre ( $1,2$  à  $2,5\ \mu\text{g/l}$ ) et retrouvent des valeurs un peu plus élevées à la fin de l'année ( $1,9$  à  $3,5\ \mu\text{g/l}$  en novembre et décembre). Ils correspondent en grande partie à de la chlorophylle dégradée.

#### b - Structure des populations

Selon la théorie de MARGALEF (1967) la succession des espèces en milieu marin peut être divisée en trois stades :

- stade 1 : il intervient après un événement important, voire catastrophique, qui bouleverse l'équilibre du milieu. Il est caractérisé par la présence de cellules de petite taille, de rapport surface/volume élevé, qui se multiplient activement et sont à l'origine d'une production élevée.
- stade 2 : il se manifeste par une diversification des espèces. Les cellules, appartenant à un plus grand nombre de taxons, sont de taille plus grande et ont une croissance plus lente.

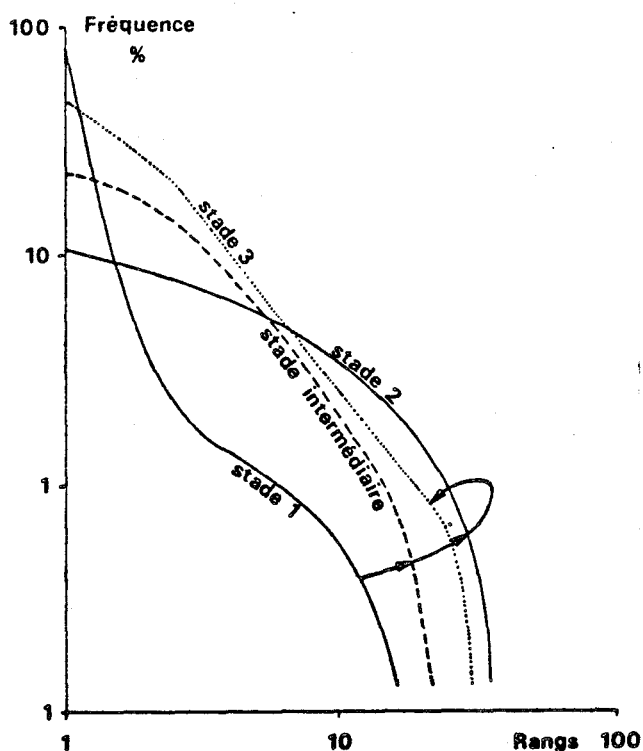
- stade 3 : il est marqué par une pauvreté accrue du plancton, alliée à une forte diversification.

Parallèlement à l'augmentation de la diversité spécifique, l'évolution des populations est marquée par une "restructuration du système photosynthétiseur", correspondant à des changements intraspécifiques et à des variations dans la composition taxonomique des populations. Les espèces qui viennent en fin de succession contiennent moins de chlorophylle que celles des premiers stades, d'où une augmentation de l'indice de diversité pigmentaire  $e_{430}/e_{663}$  (MARGALEF, 1960, 1967): "Les premiers stades de la succession, avec une proportion plus élevée de chlorophylle a, représentent la puissance maximum, mais l'efficacité est médiocre, tant dans l'utilisation de la lumière absorbée que dans celle des éléments nutritifs. Dans les stades plus avancés, un mélange de pigments de façon à donner un spectre d'absorption se rapprochant davantage du spectre de l'énergie qui arrive dans l'eau représente une utilisation meilleure de la lumière ; dans cette phase la puissance déployée est moindre. Le phytoplancton peut être considéré comme un système photosynthétiseur dans lequel la concentration et la composition des pigments s'ajustent à une productivité totale décroissante et à une efficacité croissante au cours de la succession normale. La perte de puissance et l'augmentation de l'efficacité peuvent s'accomplir par changement des espèces ou de leurs caractéristiques" (MARGALEF, 1960).

La déformation de la courbe obtenue dans les diagrammes rang-fréquence est interprétée comme suit par FRONTIER (1977) :

"La succession écologique se traduit par une succession d'allures caractéristiques de la courbe rang-fréquence, parallèlement à l'évolution de la diversité spécifique. On reconnaît trois stades principaux" (fig. 115) :

- "stade 1 : début de la succession. La courbe a une allure en S en échelle log-log, concave vers le haut à gauche, convexe à droite. Elle traduit l'abondance d'un très petit nombre d'espèces principales, la rareté des suivantes dont les points représentatifs s'alignent sur un segment de droite au voisinage du point d'inflexion ; enfin un contingent d'espèces très rares sans doute mal échantillonnées, donnant une chute rapide des effectifs en fin de courbe. La diversité spécifique est faible. Ce stade s'observe dans des conditions d'enrichissement, d'exploitation ou de pollution : il caractérise un peuplement juvénile.



stade 1: peuplement juvénile  
 stade intermédiaire  
 stade 2: peuplement mature  
 stade 3: peuplement vieilli,  
 ou changement d'échelle  
 de la diversité ?

Fig. 115 - Allures des diagrammes rang-fréquence au cours d'une succession écologique dans le plancton. (D'après FRONTIER, 1977).

Au cours de la succession, la convexité de la courbe gagne sur la gauche, de ce fait la diversité augmente.

- stade 2 : début de maturité. La courbe prend une allure se rapprochant du modèle de Mac Arthur sans toutefois l'atteindre car les espèces dominantes continuent d'être plus fréquentes, et moins équiréparties, que d'après la théorie du "bâton brisé" ; la chute pour les espèces les plus rares est plus brutale. La diversité est alors maximale.

- stade 3 : il arrive qu'après le stade précédent le diagramme tende à devenir rectiligne (du moins dans sa partie gauche, la chute à droite étant toujours brutale)... En même temps la diversité diminue. Cette évolution évoque un "vieillissement" de l'écosystème, certains éléments pouvant devenir mal contrôlés et tendre à monopoliser l'espace, comme en début de succession. En fait rien n'est moins sûr, puisque c'est le stade 3 qui semble le mieux ajusté à une loi de Mandelbrojt. On peut donc penser que c'est lui qui correspond au climax. La diversité optimale ne serait alors pas la diversité maximale réalisée dans la succession".



D'après TRAVERS (1971) le stade 3 est lié à un changement d'échelle de la diversité.

Pour tracer les diagrammes rang-fréquence nous nous sommes limité aux 15 espèces les plus abondantes. Nous avons indiqué sur les graphiques les noms des espèces dominantes, ce qui nous a conduit à établir un diagramme différent pour chaque campagne.

1974-75  
.....

Les prélèvements de la fin de l'année 1974 ont été réalisés au filet (vide de maille 40  $\mu$ m) et nous ne connaissons pas le volume d'eau correspondant. La diversité n'a été estimée qu'au moyen des diagrammes rang-fréquence (fig. 116). En septembre et novembre 1974, l'allure de la courbe des diagrammes rang-fréquence est proche de celle qui correspond au stade 2 défini par FRONTIER (1977), bien que l'on note une légère concavité vers le haut dans la partie gauche. *Paralia sulcata* domine faiblement le 29 septembre (29 %), suivie d'*Asterionella japonica* (15 %) et de *Rhizosolenia shrubsolei* (11 %). Le 17 novembre la population est plus diversifiée ; elle comprend essentiellement *Thalassionema nitzschioides* (24 %), *Leptocylindrus danicus* (15 %), *Paralia sulcata* (8 %) et *Melosira* sp. (7 %).

Au début de février la concavité de la courbe est déplacée vers la droite ; l'indice de diversité H et l'équitabilité E (fig. 117) augmentent entre le 2 et le 9 février (H = 3,0 bits/é en moyenne le 2, 3,3 bits/é le 9), sauf à la station 11. *Paralia sulcata*, "*Fragilaria*" et *Nitzschia closterium* dominant (respectivement 36 %, 17 % et 11 % le 2 février, 29 %, 16 % et 13 % le 9 février). Au début du mois de mars H et E ont des valeurs plus faibles (H = 3,0 bits/é en moyenne). L'allure de la courbe se rapproche de celle observée le 2 février et fait penser à la possibilité d'une évolution vers un stade 3. Mais l'indice pigmentaire (fig. 108) est plus faible qu'au mois de février. Et d'autre part les cellules dominantes, *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile* (33 %) et *Asterionella japonica* (17 %), ne sont pas caractéristiques d'une fin de succession. La structure de la population ne paraît pas avoir beaucoup évolué depuis le début de l'hiver.

Au mois d'avril la diversité spécifique est minimale (H = 2,4 bits/é en moyenne le 13, 2,5 le 19) et les diagrammes rang-fréquence présentent une allure proche de celle d'un stade 1. Deux espèces seulement représentent plus de 10 % de la population : *Asterionella japonica* (40 % le 13, 31 % le 19) et "*Fragilaria*" (32 % le 13) ou *Nitzschia delicatissima* + *N. seriata* (29 % le 19). L'augmentation de la diversité [diversité spéci-

fique et diversité pigmentaire ( $e_{430}/e_{663}$  vaut 3,9 le 13 avril, 4,3 le 19 avril)] ainsi que le changement dans le tracé des diagrammes rang-fréquence entre le 13 et le 19 avril traduisent une évolution vers une population de structure plus complexe, évolution qui se poursuit jusqu'en mai. Le 9-10 mai la population a pratiquement atteint le stade 2. La diversité spécifique est élevée ( $H = 3,3$  bits/  $\epsilon$  en moyenne).

"*Fragilaria*" représente 29 % du nombre total de cellules de microplancton et 4 espèces avoisinent 10 % de dominance : *Nitzschia delicatissima* + *N. seriata* (11 %), *Gymnodinium* sp. (10 %), *Asterionella japonica* (10 %) et *Skeletonema costatum* (9 %). On retrouve entre le 9-10 mai et le 20 mai la même évolution qu'entre le 9 février et le 8 mars. Le 20 mai "*Fragilaria*" est toujours l'espèce la plus abondante (39 % de dominance) ; viennent ensuite *Asterionella japonica* (16 %) et *Skeletonema costatum* (9 %).

Le 1er juin la diversité spécifique que nous avons calculée ne correspond pas à la valeur réelle puisque nous n'avons pas tenu compte de la présence de *Noctiluca scintillans*, qui est sensible au niveau de l'indice pigmentaire. Selon MARGALEF (1958), ce stade d'"eaux rouges" constitue le stade final de la succession. Les espèces du microplancton les plus importantes à cette date sont : "*Fragilaria*", puis *Rhizosolenia stolterfothii*, *Asterionella japonica* et *Chaetoceros tortissimum*.

La diversité spécifique est à nouveau élevée au début du mois de juillet (sauf à la station 11) :  $H = 3,25$  bits/  $\epsilon$  (moyenne sur la zone), et l'allure du diagramme rang-fréquence évoque un stade 2. *Asterionella japonica* fait toujours partie des espèces dominantes (21 %) ainsi que *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile* (18 % ? \*), *Rhizosolenia delicatula* (9 %), *Rhizosolenia pungens* + *Rh. setigera* (8 %) et *Nitzschia delicatissima* + *N. seriata* (8 %).

La difficulté de détermination des cellules des genres *Chaetoceros* et *Thalassiosira* lors des trois dernières campagnes de 1975 (les cellules du genre *Chaetoceros* indéterminées représentent 25 % du nombre de cellules du microplancton le 30 août, les cellules du genre *Thalassiosira* indéterminées 11 % le 6 octobre et 16 % le 15 décembre), rend imprécis les résultats que nous avons obtenus. Les diagrammes rang-fréquence montrent peu d'évolution dans la structure des populations qui semblent se situer entre le stade 1 et le stade 2. Diversité spécifique et équité ont des valeurs moyennes, tandis que celles de l'indice de diversité pigmentaire sont élevées. Les espèces les plus abondantes sont *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile* (33 % ? \*) et *Rhizosolenia stolterfothii* (10 %)

---

\* Etant donné l'incertitude dans la détermination des cellules du genre *Chaetoceros* à cette date le chiffre cité n'est qu'approximatif.

le 30 août, *Chaetoceros sociale* (33 % ? \*), *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile* (19 %) et "*Fragilaria*" (12 %) le 6 octobre, "*Fragilaria*" (33 %) et *Paralia sulcata* (18 %) le 15 décembre.

1976-77  
.....

Le phytoplancton du 20 août 1976 est sûrement plus diversifié que le suggèrent nos résultats (fig. 118 et 119). En effet le genre *Chaetoceros* (47 % du nombre de cellules) comprend au moins 4 ou 5 espèces non identifiées qui ont été regroupées sous l'appellation *Chaetoceros spp.* L'indice de diversité pigmentaire (fig. 111) est élevé (en général entre 5 et 8), bien que la chute rapide de la courbe du diagramme rang-fréquence pour les espèces de moindre importance et le grand nombre de cellules du genre *Chaetoceros* indiquent une population peu évoluée. Celle-ci est composée également en grande partie de l'espèce *Asterionella japonica* (36 %) et de *Navicula sp1* (8 %).

La diversité spécifique augmente au début de l'automne ( $H = 3,6$  bits/  $\mu$  en moyenne sur la radiale le 20 septembre) et conserve des valeurs le plus souvent supérieures à 3 bits/ $\mu$  durant tout l'automne et une grande partie de l'hiver. Le tracé du diagramme rang-fréquence correspondant à la campagne du 20 septembre est légèrement modifié par rapport au tracé réel puisque 9% de la population sont constitués de cellules du genre *Chaetoceros* non identifiées. A cette date *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile* représentent 25 % du nombre de microplanctontes, et *Asterionella japonica* et *Thalassiosira levanderi* 9 % chacune. La population est proche d'un stade 2. Sa structure varie peu jusqu'en janvier et les fluctuations de l'indice de diversité spécifique et de l'équitabilité reflètent celles des diagrammes rang-fréquence. L'allure de la courbe se rapproche de celle d'un stade 1 le 18 octobre. *Rhizosolenia delicatula* domine avec un pourcentage de 39 % ; viennent ensuite quatre espèces dont les dominances sont voisines : *Nitzschia seriata* (9 %), *Chaetoceros sociale* (9 %), *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile* (7 %) et *Thalassiosira levanderi* (6 %). Diversité spécifique et diversité pigmentaire s'élèvent à nouveau en novembre ; le stade 2 est atteint. Quatre espèces constituent la moitié de la population (en densité cellulaire) : *Chaetoceros sociale* (19 %), "*Fragilaria*" (13 %), *Paralia sulcata* (10 %) et *Thalassiosira levanderi* (9 %).  $H$ ,  $E$  et l'indice pigmentaire ont légèrement baissé en décembre, tandis que deux espèces représentent à elles seules la moitié du nombre total de cellules (*Thalassionema nitzschioides* : 26 %, et *Chaetoceros sociale* : 24 %).

---

\* Etant donné l'incertitude dans la détermination des cellules du genre *Chaetoceros* à cette date le chiffre cité n'est qu'approximatif.

La courbe du diagramme rang-fréquence montre à nouveau une concavité vers le haut dans sa partie gauche. Il en est de même le 7 janvier 1977 ; mais les deux espèces principales, *Thalassionema nitzschioides* et "*Fragilaria*", ont une dominance moins grande (18 % et 17 %), et la diminution des effectifs des espèces de rang suivant est moins rapide. Il s'ensuit une augmentation de la diversité spécifique et de l'équitabilité qui atteignent leur valeur maximale [H vaut de 3,6 à 4,2, E de 0,77 à 0,85 (H et E sont un peu plus faibles au point L - 5 m)]. Bien que la concavité de la courbe soit atténuée le 17 janvier, H et E ont légèrement diminué (sauf au point du large). La moitié du nombre de cellules est totalisée par quatre espèces : *Chaetoceros sociale* (17 %), "*Fragilaria*" (15 %), *Skeletonema costatum* (11 %) et *Thalassionema nitzschioides* (10 %).

La fin de l'hiver et le début du printemps sont marqués par une régression vers le stade 1. Diversité spécifique, équitabilité et diversité pigmentaire diminuent jusqu'en mars, période à laquelle H et E sont minimums (H varie de 2,0 à 2,8, E de 0,40 à 0,57, le 19 mars ; l'indice pigmentaire est voisin de 3). Deux espèces de petite taille dominent le 15 février : *Skeletonema costatum* (35 %) et *Thalassiosira levanderi* (27 %). Le 19 mars ce sont des espèces appartenant au genre *Chaetoceros* : *Chaetoceros sociale* (48 %) et *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. débile* (27 %).

En avril diversité spécifique et équitabilité ont retrouvé des valeurs élevées (H = 3,5 bits/é, E = 0,75, en moyenne sur la radiale). L'allure du diagramme rang-fréquence que nous avons tracé ne reflète pas tout à fait la réalité puisque la majorité des Chlorophycées, qui constituent 16 % du microplancton, n'ont pas été déterminées. Il en est de même pour les deux campagnes suivantes (les Chlorophycées dominent à 22 % le 14 mai et 19 % le 9 juin). Au début du mois d'avril la population a évolué vers un stade 2 et ce sont à présent les cellules du genre *Rhizosolenia* qui sont les plus nombreuses (le genre *Rhizosolenia* totalise 36 % du nombre total de microplanctontes) ; les différences entre les pourcentages de dominance de chaque espèce sont peu importantes : 16 % de dominance pour *Rhizosolenia delicatula*, 10 % pour *Rhizosolenia shrubsolei* et 9 % pour *Rhizosolenia stolterfothii*. *Asterionella japonica* fait également partie des espèces principales (13 % de dominance).

Jusqu'au début de l'été H et E montrent une succession de baisses et de hausses, la structure de la population se situant entre le stade 1 et le stade 2. La diversité diminue en mai. Deux espèces seulement ont un pourcentage de dominance supérieur à 10 ou voisin : *Nitzschia*

*delicatissima* (39 %) et *Rhizosolenia stolterfothii* (10 %). Nous n'avons pas tenu compte dans nos calculs et tracés correspondant à la situation du 9 juin, de la présence de *Noctiluca scintillans*. Diversité spécifique et équitabilité semblent cependant élevées et l'on note une augmentation de l'indice pigmentaire. *Thalassiosira levanderi* et *Asterionella japonica* sont les espèces les plus importantes. Le 2 juillet la population a une structure peu évoluée, se rapprochant de celle d'un stade 1 ; l'indice de diversité pigmentaire est proche de 3. *Rhizosolenia setigera* + *Rh. pungens* et *Asterionella japonica* constituent une grande part du nombre de phytoplanctontes : respectivement 34 % et 28 %.

1978  
.....

A la fin de l'hiver et au début du printemps la diversité est élevée ( $H = 3,25$  bits/  $\text{é}$ ,  $E = 0,75$ , le 7 février ;  $H = 3,5$ ,  $E = 0,77$  aux stations M et L et  $0,71$  au point C, le 2 mars). La structure de la population évolue vers un stade 2 qui est presque atteint le 2 mars. Les espèces principales sont *Paralia sulcata* (26 % de dominance le 7.02, 19 % le 2.03), *Skeletonema costatum* (23 % le 7.02, 14 % le 2.03) et *Nitzschia closterium* (9 % le 7.02, 10 % le 2.03), auxquelles vient s'ajouter *Thalassiosira levanderi* (17 %) le 2 mars.

L'allure de la courbe se rapproche de celle d'un stade 1 à la fin du mois de mars, période à laquelle la diversité est grande, bien que légèrement inférieure à celle du début du mois (sauf au point C). *Asterionella japonica* est l'espèce la plus importante (39 % de dominance) ; les six espèces de rangs suivants représentent chacune de 7 à 5 % du nombre de cellules, ce qui donne à la courbe une pente très faible pour les espèces de rang 2 à 7.

La situation est tout à fait différente le 19 avril : les valeurs de H et de E sont basses, sauf à la côte (H est proche de 1,3 aux stations M et L et vaut 2,1 au point C ; E vaut de 0,30 à 0,35 aux stations M et L, 0,52 au point C). *Chaetoceros sociale* constitue à elle seule 72 % de la population ; l'abondance des espèces de rangs suivants diminue rapidement, de telle sorte que la dominance des espèces de rangs 14 et 15 n'est que de 0,1 %.

La structure de la population évolue ensuite vers un stade 2 jusqu'au début du mois de mai. H et E ont retrouvé de fortes valeurs le 24 avril et augmentent légèrement le 3 mai. A cette date la concavité de la

courbe a presque disparu. Le pourcentage de dominance des espèces de rangs 1 et 2 diminue entre les deux campagnes (*Asterionella japonica* : 29 % et *Chaetoceros sociale* : 19 %, le 24 avril ; "*Fragilaria*" : 20 % et *Asterionella japonica* : 12 %, le 3 mai) tandis que celui des espèces de rangs suivants augmente. Le 21 mai est caractérisé par un retour vers un stade 1, qui se poursuit jusqu'au 9 juin, on observe donc une baisse de la diversité spécifique et de l'équitabilité. *Asterionella japonica* et "*Fragilaria*" font partie des espèces principales lors des deux campagnes mais leur rôle est fortement amoindri le 9 juin par suite du développement de *Rhizosolenia delicatula* (pourcentages de dominance d' *Asterionella japonica* : 47 % le 21.05 et 9 % le 9.06, de "*Fragilaria*" : 17 % le 21.05 et 4 % le 9.06, de *Rhizosolenia delicatula* : 69 % le 9.06).

Puis la diversité croît à nouveau jusqu'en juillet (sauf au point L). Les espèces de rang 1 à 4 totalisent près de 70 % du nombre de microplanctontes le 20 juin et le 18 juillet (*Skeletonema costatum* : 22 % de dominance, *Cerataulina pelagica* : 18 %, *Rhizosolenia delicatula* : 16,5 % et *Rhizosolenia stolterfothii* : 16,2 % , le 20 juin ; *Rhizosolenia delicatula* prend plus d'importance le 18 juillet : 28 % ; viennent ensuite à cette date *Rh. stolterfothii* : 14 %, *Leptocylindrus danicus* : 14 % et *Nitzschia seriata* : 13 %). L'espèce de rang 5 le 20 juin, *Asterionella japonica*, a un pourcentage de dominance supérieur à 10 % (12 %), ce qui n'est pas le cas de l'espèce de même rang le 12 juillet (*Rhizosolenia shrubsolei* : 7 %).

On remarque des valeurs de H et de E allant de 1,0 à 2,0 pour H et de 0,25 à 0,45 pour E, le 17 août. La structure de la population correspond à celle d'un stade 1, dans lequel une seule espèce, *Rhizosolenia shrubsolei*, compte 76 % du nombre de cellules.

La population retrouve au début de l'automne, et conserve jusqu'à la fin de l'année, un stade intermédiaire entre les stades 1 et 2, plus ou moins proche du stade 2. Diversité et équitabilité sont élevées et varient peu. Les espèces les plus abondantes sont *Rhizosolenia stolterfothii* (21 % de dominance), *Leptocylindrus danicus* (11 %) et *Chaetoceros sociale* (9 %) le 19 septembre, *Nitzschia closterium* (21 %), *Asterionella japonica* (11 %), "*Fragilaria*" (10 %) et *Thalassionema nitzschioides* (10 %) le 12 octobre, *Paralia sulcata* (16 %) et *Asterionella japonica* (13 %) le 14 novembre, *Paralia sulcata* (28 %) et "*Fragilaria*" (11 %) le 18 décembre (le pourcentage

de dominance indiqué pour *Paralia sulcata* le 14 novembre et le 18 décembre est supérieur au pourcentage réel puisque les comptages ne différenciaient pas cellules vivantes et cellules mortes).

### c - Cycle annuel - Discussion

Le cycle annuel de la biomasse phytoplanctonique à Gravelines semble être caractérisé par de faibles valeurs en hiver et à la fin du printemps ou en été. On remarque trois poussées phytoplanctoniques importantes : la première au printemps (fin mars-avril), la seconde à la fin du printemps (mai en 1975, juin en 1978) ou au début de l'été (début juillet en 1977), la troisième à la fin de l'été (fin août en 1976 et 1978).

Les variations du taux de chlorophylle a correspondent en général à celles du nombre de cellules de microplancton. Elles sont plus ou moins accentuées selon la taille des cellules et leur état physiologique. Les taux de chlorophylle les plus élevés correspondent souvent aux pullulations de *Phaeocystis* (mai et juillet 1975, avril 1977, avril 1978). Ces organismes se sont multipliés de façon importante au début du mois de juillet 1975, provoquant une augmentation des teneurs en chlorophylle, ce qui porte à trois le nombre de poussées phytoplanctoniques observées au printemps et au début de l'été en 1975.

Les travaux de MALONE (1971) dans la Baie de Monterey, Californie, (d'oct.1969 à février 1971) et de SKJOLDAL et LÄNNERGRÉN (1978) dans un fjord norvégien (du 18 mars au 24 avril 1975) montrent que la biomasse du nanoplancton est souvent supérieure à celle du microplancton quand la teneur globale en chlorophylle a est faible ( $< 1$  ou  $2 \mu\text{g/l}$ ). Pendant les périodes de multiplication du microplancton la biomasse nanoplanctonique reste proche de celle observée le reste de l'année, mais dans certains cas elle peut être égale à celle du microplancton. SKJOLDAL et LÄNNERGRÉN (1978) ont relevé le 24 mars 1975, à 5 m de profondeur, des taux de chlorophylle voisins de  $5 \mu\text{g/l}$  pour le nanoplancton et de  $6 \mu\text{g/l}$  pour le microplancton. Lors d'une campagne d'une semaine en juin 1972 dans la Baie de Chesapeake (U.S.A.), Mc CARTHY et coll. (1974) ont mesuré le taux de chlorophylle d'échantillons filtrés une première fois sur soie de  $163 \mu\text{m}$  de vide de maille, puis sur des soies de plus en plus fines. Comme en témoignent leurs résultats, cités ci-après, le nanoplancton peut constituer plus de la moitié de la biomasse phytoplanctonique, même quand les taux de chlorophylle sont élevés :

	Chl. a ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )				% Chl. a passant à travers les différentes mailles (/chl. a passant à travers $163 \mu\text{m}$ )		
	< $163 \mu\text{m}$	< $35 \mu\text{m}$	< $20 \mu\text{m}$	< $10 \mu\text{m}$	< $35 \mu\text{m}$	< $20 \mu\text{m}$	< $10 \mu\text{m}$
Moyenne	13,2	11,4	10,5	10,0	93,4	83,7	81,3
Valeurs extrêmes	7,0-18,7	6,1-15,5	6,1-14,1	5,9-15,8	61,5-100,7	49,7-102,8	45,4-96,5

DURBIN et coll. (1975) ont observé que dans la Baie de Narragansett le nanoplancton (<  $20 \mu\text{m}$ ) représentait plus de 75 % de la biomasse phytoplantonique le 16 juillet 1973 (phytoplanton total :  $11,85 \text{ mg}/\text{m}^3$  ; <  $20 \mu\text{m}$  :  $10,96 \text{ mg}/\text{m}^3$ ).

La bonne relation qui apparaît à Gravelines entre les variations du nombre de cellules de microplancton et celles du taux de chlorophylle a conduit à penser que les variations de la quantité de chlorophylle du nanoplancton sont négligeables par rapport à celles de la chlorophylle du microplancton, à moins que les cycles du nano- et du microplancton ne soient identiques. Pourtant la présence d'une grande quantité de nanoplancton, ou au contraire une faible biomasse nanoplanctonique, pourraient constituer un facteur explicatif supplémentaire lorsque les taux de chlorophylle différent pour deux campagnes où les nombres de cellules de microplancton sont égaux, ou inversement.

Les principaux facteurs qui conditionnent le développement du phytoplanton sont : la lumière, les sels nutritifs, la température, la salinité et le broutage zooplanctonique.

Pendant l'hiver les taux de sels nutritifs sont élevés mais ceux de chlorophylle sont très bas ; l'énergie lumineuse est trop faible pour permettre la croissance du phytoplanton. Nos prélèvements sont trop espacés et nous manquons de données précises sur l'éclairement dans la région dunkerquoise pour pouvoir déterminer la valeur de l'énergie lumineuse à partir de laquelle la croissance du phytoplanton est possible à Gravelines. Le départ de la première poussée printanière semble se situer fin février-début mars, période à laquelle l'énergie photique moyenne doit être proche de  $200 \text{ à } 250 \text{ cal}/\text{cm}^2/\text{jour}$  (cf. chp. I).

La température de l'eau se situe alors entre  $6,5$  et  $8^\circ \text{C}$  en 1975 et 1977. La température est plus faible au début du printemps 1978 :  $5,9^\circ \text{C}$  le 9 février,  $5,6^\circ \text{C}$  le 2 mars ; ceci semble retarder le départ de la poussée phytoplantonique, ou limiter la vitesse de croissance du phytoplanton : le taux de chlorophylle est encore bas au début du mois de mars et les variations des taux de sels nutritifs ne reflètent pas de consomma-



tion importante du phytoplancton. Il nous est également difficile d'évaluer l'effet de la baisse de température du mois d'avril sur les populations phytoplanctoniques. En 1975 le taux de chlorophylle a est plus élevé le 13 avril que le 8 mars, mais nous ne connaissons pas l'évolution du plancton entre ces deux campagnes. En 1977 le nombre de cellules de microplancton est plus faible en avril qu'en mars, mais ceci résulte, au moins partiellement, du remplacement de la population de Diatomées par *Phaeocystis* ; cet organisme pourrait excréter des substances qui inhibent la croissance des Diatomées (BOUGARD, 1978). Nous avons vu qu'en avril 1978 la faible quantité de chlorophylle, comparée au nombre de cellules du microplancton, pouvait avoir diverses origines.

A certaines périodes la croissance du phytoplancton est limitée par la pauvreté en sels nutritifs du milieu, pauvreté qui est en général la conséquence de la consommation des sels nutritifs par une poussée phytoplanctonique récente. Ainsi le 1er juin 1975 la concentration en silicates est faible ; les Diatomées sont donc peu représentées, et le Dinoflagellé *Noctiluca scintillans*, hétérotrophe, s'installe. A la fin du mois d'août en 1975 et 1976, la faiblesse des taux de sels nutritifs entraîne le vieillissement des cellules. En mai 1977 les teneurs en chlorophylle a sont peu élevées : les taux de phosphates et surtout ceux de sels azotés sont en effet très bas. Le broutage zooplanctonique semble pouvoir limiter aussi la croissance phytoplanctonique : fin mai et juin 1975, fin mai 1978. L'influence de la digestion zooplanctonique est estimée au moyen des dosages de phéopigments, mais ces derniers peuvent être amenés dans le milieu littoral par les eaux telluriques (en particulier en juin 1978) ou faire partie du matériel détritique remis en suspension, surtout pendant l'hiver (février-mars 1978).

Lorsque nous avons observé les pullulations de *Phaeocystis* (19 avril 1975, 2 juillet 1975, 12 avril 1977) et de *Noctiluca scintillans* (1er juin 1975 et 9 juin 1977) le nombre de cellules microplanctoniques était relativement faible. *Noctiluca* n'est pas reconnu comme étant toxique (TAYLOR et SELIGER, 1979). L'appauvrissement du milieu en oxygène dissous quand il est très nombreux pourrait être la cause de la mortalité de poissons (LASSUS, 1979) ; ce ne semble pas être le cas à Gravelines. Par contre nous avons signalé que *Phaeocystis* pourrait excréter des substances qui inhibent la croissance des Diatomées (BOUGARD, 1978). Outre les facteurs que nous avons évoqué précédemment (manque de sels nutritifs, broutage zooplanctonique), l'extinction de la lumière provoquée par la présence en grand nombre de ces organismes pourrait constituer un facteur limitant pour la

croissance du phytoplancton.

Les variations de la diversité du microplancton sont inverses de celles du nombre de cellules de microplancton ; H et E ont souvent des valeurs minimales quand le nombre de cellules est important : 20 août 1976, 19 mars 1977, 19 avril 1978. En août 1978, la diversité est faible et la biomasse phytoplanctonique est élevée ; pourtant le nombre de cellules de microplancton est modéré. Si le microplancton est souvent le moins diversifié quand la biomasse phytoplanctonique est la plus grande, ce n'est pas toujours le cas. En effet de fortes concentrations de chlorophylle a peuvent être dues à la pullulation de *Phaeocystis* (juillet 1975, avril 1977, avril 1978) ; le microplancton est alors plus diversifié. Durant la période hivernale H et E ont le plus souvent de fortes valeurs. Les variations de l'indice de diversité spécifique et celles de l'équitabilité sont la plupart du temps semblables, les nombres d'espèces étant voisins dans tous les échantillons.

D'après l'étude des prélèvements que nous avons réalisés, la structure de la population microplanctonique varie souvent au cours du temps, mais dans des limites peu étendues. Nous avons rarement observé le stade 1 défini par FRONTIER (1977) : le 19 avril et le 17 août 1978 uniquement. En général la structure de la population est intermédiaire aux stades 1 et 2, plus ou moins proche de l'un ou de l'autre. D'après les diagrammes rang-fréquence que nous avons tracé, le stade 3 ne semble pas avoir été atteint. Pourtant, selon MARGALEF (1958), les grandes concentrations de *Noctiluca scintillans* que nous avons relevées en juin en 1975 et 1977 correspondent au stade ultime d'une succession phytoplanctonique.

Le microplancton de Gravelines n'est pas uniquement composé d'espèces strictement pélagiques ; *Paralia sulcata* et "*Fragilaria*", espèces benthiques dont l'abondance est fonction de la quantité de matières en suspension, font souvent partie des espèces dominantes et modifient la structure des populations strictement pélagiques. Le pourcentage de dominance de *Paralia sulcata* peut dépasser 20 % en hiver ; celui de "*Fragilaria*" peut être important (jusqu'à 40 %) en toutes saisons.

Nous avons fait en 1978 le calcul du rapport : nombre de cellules de microplancton vivantes/nombre de cellules de microplancton mortes. Les variations de ce rapport (fig. 122) concordent avec celles de la chlorophylle a. En juillet ce rapport est nettement plus élevé au large qu'aux points M et C, ce qui reflète l'importance de *Rhizosolenia de-*

*licatula* au point L ( $2 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  au point C,  $27 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  au point M et  $310 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  au point L). En août et au début de l'année la différence dans les valeurs du rapport entre les stations L et les autres stations résulte d'un plus petit nombre de cellules mortes au point L. Le même rapport calculé par HOUVENHAGHEL et coll. (1971) pour des prélèvements réalisés en janvier-février 1971 sur la côte belge varie de 0,55 à la côte à 4,96 au large. POLK (1972) a remarqué la même évolution vers le large en juin-juillet 1971 (il ne précise pas la valeur du rapport). La proportion de cellules mortes est donc souvent plus importante près des côtes. Ceci n'est pas toujours le cas dans la zone peu étendue vers le large que nous étudions à Gravelines.

La richesse en sels nutritifs du milieu littoral de Gravelines permet un grand développement du phytoplancton. Les concentrations de chlorophylle a que nous avons relevées sont élevées par rapport à celles que citent GRALL et JACQUES (1964 ; la teneur moyenne annuelle de chlorophylle a à Roscoff est de  $0,76 \text{ } \mu\text{g/l}$  au point côtier (profondeur 20 m), de février 1962 à septembre 1963, avec des maxima de  $1,9 \text{ } \mu\text{g/l}$  et  $2,4 \text{ } \mu\text{g/l}$  au printemps ou en été, correspondant à des quantités de cellules de  $490 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  et  $260 \text{ } \mu\text{ / cm}^3$  ; ces maxima sont nettement inférieurs à ceux que l'on relève au point du large à Gravelines), LEFEVRE-LEHOERFF (1972 ; dans la Rivière de Morlaix la teneur en chlorophylle ne dépasse généralement pas  $6 \text{ } \mu\text{g/l}$  en 1967, 1968 et début 1969, mais a atteint cependant 20 et  $33 \text{ } \mu\text{g/l}$  en août 1967), GRALL (1974 ; la moyenne annuelle à la station la plus côtière, dans le chenal de la Rivière de Penzé près de Roscoff, est  $0,81 \text{ } \mu\text{g/l}$  en 1964 et 1965 ; les valeurs maximales sont inférieures à  $2 \text{ } \mu\text{g/l}$ ). En amont de l'estuaire de la Penzé les concentrations de chlorophylle a sont proches de  $10 \text{ } \mu\text{g/l}$  en juin-juillet 1975 et de  $30 \text{ } \mu\text{g/l}$  en juin-juillet 1976 (RIAUX, 1977). Sur la côte belge (au large d'Ostende et de Nieuwport), de mars 1969 à avril 1977, les taux minimums de chlorophylle aux stations les plus côtières avoisinent  $2 \text{ } \mu\text{g/l}$  ; les maxima se situent entre 12 et  $16 \text{ } \mu\text{g/l}$  (SEGEBARTH-ORBAN, 1975), valeurs comparables à celles que nous avons observées à Gravelines. Cet auteur cite cependant des taux de chlorophylle a de 30 ou  $42 \text{ } \mu\text{g/l}$  selon les stations au mois d'août 1969. Nous avons également trouvé des teneurs en chlorophylle supérieures à  $30 \text{ } \mu\text{g/l}$  (jusqu'à  $49 \text{ } \mu\text{g/l}$ ) dans plusieurs échantillons prélevés le 9 mai 1975. HOUVENHAGHEL et coll. (1971) et STEYAERT-PLANCKE et LANCELOT-VAN BEVEREN (1973) ont mis en évidence la possibilité de taux de chlorophylle plus élevés au voisinage de l'Escaut que sur la côte sud de la Belgique.

L'indice pigmentaire varie à Gravelines de 2,3 à plus de 7 durant les deux premiers cycles d'étude. Selon MARGALEFF (1960) le rapport  $e_{430}/e_{663}$  est de l'ordre de 3 - 3,5 dans un plancton à Diatomées, et de 4,5-6 dans un plancton qui comprend surtout des Dinoflagellés. L'indice pigmentaire est effectivement compris entre 4,5 et 6 le 9 juin 1977, époque à laquelle *Noctiluca scintillans* est abondant ; mais des valeurs aussi élevées et même plus élevées sont observées à d'autres périodes de l'année alors que le plancton est pauvre en Dinoflagellés. Les pigments responsables de l'absorption à 430 nm doivent alors appartenir en partie au tripton. Ceci limiterait donc l'utilisation de l'indice pigmentaire dans l'étude des populations phytoplanctoniques à Gravelines et atténuerait l'intérêt de ce paramètre ; pourtant les variations de l'indice pigmentaire semblent rarement en contradiction avec celles des autres paramètres utilisés.

L'indice de diversité spécifique (H) calculé à Gravelines vaut en général entre 1,3 et 4,2 bits /  $\phi$ . Il est élevé par rapport aux valeurs que donne MARGALEF (1974) : 1 à 2,5 bits à la côte (3,5 à 4,5 bits pour les eaux océaniques). Dans le sud de la Mer du Nord, où il est généralement plus grand au large qu'à la côte sauf au voisinage des estuaires (MOMMAERTS, 1972), H varie de 0,3 à 4,4 bits selon la position des stations et la saison (STEYAERT-PLANCKE et LANCELOT-VAN BEVEREN, 1973). L'indice de diversité le plus faible que nous avons rencontré était 0,92 au point Hors-Zone - 0 m le 19 avril 1978 (1,02 à la même station, niveau 5 m). La forte valeur de H à Gravelines par rapport à celle que cite MARGALEF (1974) provient sans doute de ce que la population phytoplanctonique comprend quelques espèces benthiques ou qui ne sont pas strictement pélagiques.

Les figures 123, 124, 125, résument la succession des espèces principales de Diatomées au cours de chaque année d'étude à Gravelines. *Paralia sulcata* et "*Fragilaria*" dominant en hiver, ainsi que *Thalassionema nitzschioides* en 1976-77. Au début du printemps ce sont *Skeletonema costatum* et *Thalassiosira levanderi*, accompagnées de *Thalassiosira nordenskiöldii* en 1978, puis *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile* et *Chaetoceros sociale* auxquelles s'ajoute *Rhizosolenia shrubsolei* en 1977. Les espèces qui dominent le plus régulièrement à la fin du printemps sont *Nitzschia delicatissima*, *Rhizosolenia delicatula* et *Rhizosolenia stolterfothii*. On remarque aussi *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile* en 1975, *Thalassiosira levanderi* en 1977, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira decipiens* et *Cerataulina pelagica* en 1978. Au début de l'été nous avons surtout observé *Rhizosolenia setigera* + *Rh. pungens*, et en 1978 *Rhizosolenia delicatula* et *Rhizosolenia*

*stolterfothii* à nouveau, *Nitzschia seriata* et *Leptocylindrus danicus*. En août 1978 *Rhizosolenia shrubsolei* domine fortement. A la fin de l'été, le phytoplancton comprend essentiellement des cellules du genre *Chaetoceros*, mais aussi *Rhizosolenia stolterfothii* et *Leptocylindrus danicus* en 1978. En automne on retrouve *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile*, *Chaetoceros sociale*, et un peu plus tard *Rhizosolenia delicatula* et *Nitzschia seriata* en 1976, *Nitzschia closterium* en 1978. *Asterionella japonica* et "*Fragilaria*" ne montrent pas de dominance saisonnière marquée, bien que l'importance de "*Fragilaria*" diminue fortement en été.

#### d - Variations spatiales des pigments photosynthétiques

Bien que la turbidité soit plus importante à la côte, ce qui limite la quantité de lumière qui parvient jusqu'aux cellules, le phytoplancton (nombre de cellules, chlorophylle a) y est plus abondant (fig. 126, 127, 128). Les taux de sels nutritifs sont plus faibles au large ; ils semblent généralement suffisants pour permettre sur toute la zone une croissance du phytoplancton égale à celle observée aux points côtiers. D'autres facteurs semblent donc intervenir dans la répartition du phytoplancton.

Le 21 mai 1978 la différence entre le nombre de cellules à la côte et au large est importante (plus de 1.000  $\mu$  aux points C et M, environ 100  $\mu$  au point L). Les quelques cellules de *Phaeocystis* trouvées dans les échantillons du point L pourraient signaler la présence d'un grand nombre d'individus de cette espèce pendant la période précédente, d'où l'exclusion des Diatomées de cette masse d'eau. La concentration en silicates est plus grande au point L qu'aux stations C et M, alors que les autres sels nutritifs sont plus abondants aux points C et M qu'au point L. Ceci tend à confirmer l'hypothèse de la présence, dans la masse d'eau qui se situe au point L le 21 mai, de *Phaeocystis* durant la période précédant cette campagne. En effet *Phaeocystis* qui ne possède pas de frustule siliceuse a des besoins en silicates beaucoup plus faibles que ceux des Diatomées.

La diminution de la richesse phytoplanctonique dans les eaux situées plus au large est un phénomène général qui a été remarqué en particulier par HOUVENHAGHEL et coll. (1971), MOMMAERTS (1972), STEYAERT-PLANCKE et LANCELOT-VAN BEVEREN (1973) sur les côtes belges de la Mer du Nord. Durant l'hiver 1971, HOUVENHAGHEL et coll. (1971) divisent le sud de la Mer du Nord en deux zones : une partie côtière où la teneur en chlorophylle dépasse 3 mg/m<sup>3</sup>, et une partie du large où elle est inférieure à cette valeur ; la limite entre les deux zones est une parallèle à la côte, à environ 20 milles

de celle-ci. Les teneurs en chlorophylle à Gravelines en hiver sont souvent inférieures à  $3 \text{ mg/m}^3$  durant notre période d'étude.

L'agitation continuelle de l'eau empêche la sédimentation des Diatomées : la distribution verticale du nombre de cellules et de la chlorophylle ne présente pas de caractère général bien particulier.

La concentration de phéopigments tend également à diminuer quand on s'éloigne de la côte (fig. 129, 130) (dilution des eaux douces riches en phéopigments, consommation du phytoplancton plus faible au large où le zooplancton est plus pauvre (ARNAL et coll., 1976, 1977), phéopigments d'origine détritique moins abondants au large). Surtout en 1978, le point M est souvent plus riche en phéopigments que les points C et L, plus particulièrement près du fond. La forte teneur en phéopigments au point M3 à 10 m le 15 février 1977 ( $5,7 \text{ } \mu\text{g/l}$ ) (fig. 129) correspond à la remise en suspension d'un grand nombre de particules (MES =  $84 \text{ mg/l}$ ). Il en est de même le 18 novembre 1976 (fig. 129 et 25). La distribution des phéopigments le long de la première radiale le 20 septembre 1976 (fig. 129) est proche de celle des matières en suspension (fig. 25). En 1978 la quantité de particules en suspension au point M est généralement supérieure à celle des points C et L, ce qui semble être à l'origine d'un enrichissement en phéopigments au point M. Le 18 juillet 1978 se présente une situation particulière : les teneurs en phéopigments les plus élevées se situent en surface, aux stations M et L ; elles paraissent avoir deux causes différentes : turbidité au point M, dessalure (à un moment où l'Aa est riche en phéopigments) au point L (fig. 131).

#### e - Variations du phytoplancton en un point au cours d'un cycle de marée

Les prélèvements réalisés toutes les 3 heures au point M en 1976-77 ont permis d'étudier la variabilité du phytoplancton en un point au cours d'un cycle de marée.

GRALL (1972) a relevé, à proximité de Roscoff, les maxima de chlorophylle, au cours d'un cycle de marée, au moment de la basse mer (en juillet 1966 et 1967). LEFEVRE-LEHOERFF (1972) a remarqué que dans la Rivière de Morlaix les quantités de chlorophylle étaient maximales de la basse mer à 3 heures après la basse mer (juillet 1968, février 1969). Les résultats recueillis par RIAUX (1977) dans l'estuaire de la Penzé (janvier et avril 1976) indiquent des variations semblables. RIAUX et DOUVILLE (1980) ont mis en évidence une relation inverse entre la concentration de chloro-



TABLEAU 29 : MICROPLANCTON ET CHLOROPHYLLE a AU POINT M (GRAVELINES) AU COURS DU CYCLE DE MAREE EN 1976-77

Date (Coeff.)	Niveau*	Microplancton (nbre $\ell$ / $\text{cm}^3$ )					Chlorophylle a ( $\mu\text{g}/\ell$ )				
		P.M.-2	P.M.+1	B.M.-3	B.M.	P.M.-2	P.M.-2	P.M.+1	B.M.-3	B.M.	P.M.-2
20.08.76 (37)	0 m	15400	14950	6450	9900	9350	4,15?	9,13	8,24	8,28	9,43
	5	14400	10600	8000	7400	18750	8,07	9,77	10,53	11,63	10,56
	10	12050	11500	12050		12050	10,01	9,66	12,98		9,68
20.09.76 (58)	0 m	211	456	513	381	320	3,68	2,94	3,35	3,65	3,76
	5	214	318	372	-	445	3,53	3,74	3,94	4,29	3,50
	10			317	186	245			4,20	5,94	3,76
	15	366	251				3,68	5,26			
18.10.76 (46)	0 m	550	730	560	920	730	3,56	4,59	3,76	4,73	4,47
	5	1130	790	450	1060	1110	4,76	4,23	4,88	5,41	5,18
	10			780	980	1020			4,88	7,05	3,71
	15	710	1240				4,03	5,22			
18.11.76 (66)	0 m	211	171	257	324	214	2,11	2,92	1,94	2,89	2,58
	5	236	306	182	134	213	2,55	3,23	2,28	1,64	2,08
	10	250		264			2,33		2,69		
	15		258			313		4,03			-
7.01.77 (86)	0 m		403+	220	478			-	5,13	4,04	
	5		393+	260	512+			4,61	4,59	3,59	
	15		298+					3,89			
17.01.77 (71)	0 m	473+	603+	426+	409+	229	2,89	3,44	-	3,42	2,98
	5	361+	392	367	364	417	3,20	4,91	2,96	8,84	4,10
	10	467+			525	390	3,51			9,90	4,57
	15		360					3,89			
15.02.77 (70)	0 m	690	750	420	740	770	3,96	-	3,88	3,71	3,12
	5	670+	810	650	760	450	4,84	4,61	4,56	4,74	2,50
	10			670					7,65		
	15	600	720			500	3,98	4,39			3,68
12.04.77 (49)	0 m	-	720	930	1040	640	10,18	10,27	8,70	18,25	15,70
	5	720	470	630	570	440	-	-	11,39	16,34	12,43
	15			870	970	670			18,84	22,43	13,96
	20	360	580				13,62	7,75			
14.05.77 (65)	0 m	1680	1420	760	2030	620	7,67	4,29	3,07	-	2,56
	5	1000	910	1320	2180	1880	8,39	5,39	2,63	9,04	3,57
	10	1560	1790	1950	1600	900	-	4,02	7,11	10,40	3,08
9.06.77 (53)	0 m	96	186	225	283	185	1,90	2,11	2,07	1,73	1,28
	5	105	149	299	201	117	2,42	1,99	2,38	3,11	2,31
	20	159	233	213		77	2,52	2,29	2,22		2,18
4.07.77 (92)		B.M.-1h30	B.M.+1	P.M.-2	P.M.+1h30	B.M.-3	B.M.-1h30	B.M.+1	P.M.-2	P.M.-1h30	B.M.-3
	0 m	1080	490	710	760	1190	6,20	6,38	4,73	8,38	4,72
	5	1000	1010	860	550	900	5,10	6,85	4,51	4,61	4,74
	10	920					6,44				
	15		890			1270		8,67			8,41
	25			720	760				6,03	7,32	

\* Moment approximatif des prélèvements

\* Nombre de cellules jugé supérieur au nombre réel.





phylle a et la hauteur de la colonne d'eau dans l'estuaire de la Penzé (juin 1975 à juin 1976).

Aux stations échantillonnées par LEFEVRE-LEHOËRFF (1972) dans la Rivière de Morlaix et par RIAUX (1977) dans l'estuaire de la Penzé, la salinité est beaucoup plus faible à marée basse, surtout en surface. La plus forte quantité de chlorophylle à marée basse correspond à l'arrivée d'une masse d'eau saumâtre plus riche en chlorophylle. Les stations que nous avons étudiées à Gravelines ne sont pas soumises à des variations de salinité aussi importantes que celles des estuaires bretons. Les concentrations de chlorophylle les plus élevées au cours d'un cycle de marée peuvent être observées au voisinage de la basse mer (20.09.76 (fig. 132), 18.10.76 (fig. 134), 17.01.77, 12.04.77, 14.05.77, 4.07.77, tableau 29), mais ceci ne peut être généralisé à toutes les campagnes. Le 7 janvier 1977 les concentrations de chlorophylle sont minimales à basse mer.

On remarque souvent de plus fortes quantités de phéopigments au voisinage du fond lorsque la vitesse du courant est maximale (à P.M. + 1 et B.M.) ; ils correspondent en général à la remise en suspension de particules déposées sur le fond (fig. 132 et 133 : le 20 septembre 1976). Malgré cela la chlorophylle "active" reste plus abondante à marée basse le 20 septembre 1976 (fig. 132).

La distribution du nombre de cellules de microplancton et celle de la chlorophylle a ne coïncident pas toujours. Le nombre de cellules est maximum à marée basse lors des campagnes effectuées les 7.01.77, 12.04.77 et 14.05.77 (tableau 29). Le 20 août 1976 la quantité de cellules est plus faible à marée basse. La distribution du nombre total de cellules de microplancton peut être déterminée principalement par celle d'une espèce (*Rhizosolenia delicatula* le 18 octobre 1976, fig. 134) ou de plusieurs espèces (*Thalassiosira levanderi*, *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile*, *Asterionella japonica*, le 20 septembre 1977, fig. 132).

Le nombre de cellules peut varier dans des proportions de 1 à 4 au cours d'une marée (tableau 29). La quantité de chlorophylle est plus stable mais peut passer du simple au double.

Le courant étant parallèle à la côte à Gravelines, les prélèvements réalisés au point M au long d'un cycle de marée reviennent à échantillonner la masse d'eau qui se déplace parallèlement à la côte. De P.M. - 2 à B.M. - 3 le flot amène des eaux venant de l'ouest, tandis que de B.M. - 3 à P.M. - 2 le courant de jusant est dirigé vers l'ouest, ce qui tend à ramener la masse d'eau à sa position initiale ; en fait le jusant est un peu plus long

que le flot, mais moins fort en intensité, d'où un certain décalage vers l'est de la masse d'eau qui ne revient pas tout à fait à la place qu'elle avait lors de l'étale de pleine mer précédente (cf. chp. I). Le défilement des masses d'eau, vers l'ouest puis vers l'est, est visible au niveau des paramètres hydrologiques, en particulier le 20 septembre (fig. 133). Les valeurs de chlorophylle et l'abondance du microplancton ne semblent pas suivre cette évolution (fig. 132). La salinité la plus faible est généralement notée à B.M. - 3, mais il n'y correspond pas de variation définie du nombre de cellules ou du taux de chlorophylle.

Plusieurs phénomènes peuvent intervenir pour expliquer la différence d'évolution du phytoplancton par rapport à celle des caractères physicochimiques de la masse d'eau. Nombre de cellules et chlorophylle du phytoplancton varient au cours d'une journée, selon un rythme qui diffère selon les auteurs (YENTSCH et SCAGEL, 1958 ; GLOOSCHENKO et coll., 1972 ; SOURNIA, 1974 ; PREZELIN et LAY, 1980) et qui est en partie fonction de l'éclairement. Selon PLATT (1972), la concentration de phytoplancton est largement contrôlée par la turbulence. D'autre part la distribution spatiale du plancton dans le milieu marin n'est pas homogène ; il peut y avoir "formation en taches" du phytoplancton (FORTIER et coll., 1978).

#### 4 - DUNKERQUE LITTORAL

Les mesures concernant le phytoplancton du milieu littoral en face de Dunkerque, faites par le R.N.O., sont limitées à l'estimation des pigments photosynthétiques (chlorophylle a et phéopigments, par spectrophotométrie), à partir de juin 1977. En 1978 les mesures n'ont été faites qu'aux stations 1 et 4 (station 3 au lieu de station 4 les 26 sept., 7 et 21 déc.). Seul le niveau de surface a été échantillonné.

Après une diminution des taux de chlorophylle en juin (fig. 135), le mois de juillet 1977 est caractérisé par de fortes teneurs : 9,8 µg/l chl. a aux stations 1 et 3 le 4, 11,1 µg/l à la station 2 le 25. La station 4 est plus pauvre en phytoplancton que la station 2 le 25 juillet. La différence de salinité entre les deux stations ( $S\text{‰} = 34,25\text{‰}$  st. 2,  $34,52\text{‰}$  st. 4) peut faire penser que la station 4 est marquée par la présence d'une eau beaucoup moins riche en sels nutritifs ; en fait les teneurs en sels nutritifs sont voisines aux deux stations et la station 2 est même plus pauvre en silicates que la station 4 [on relève aux stations 2 et 4 (en surface) respectivement :  $\text{NO}_3$  : 0,0 et 0,0 ;  $\text{NO}_2$  : 0,32 et 0,00 ;

$\text{NH}_4$  : 1,75 et 0,92 ;  $\text{PO}_4$  : 0,52 et 0,48 ;  $\text{SiOH}$  : 0,0 et 0,4 ( $\mu\text{atg/l}$ ]. Le pH (8,07 st. 2, 8,06 st. 4) et le taux d'oxygène dissous (102,82 % sat. st. 2, 99,67 % sat. st. 4) laissent penser que la production est légèrement supérieure à la station 2. D'autres facteurs que la distribution des sels nutritifs pourraient conditionner la répartition du phytoplancton le 25 juillet. Mais il est également possible que le développement plus important du phytoplancton près de la côte ait ramené à des valeurs proches de celles du large les teneurs en sels nutritifs des eaux côtières. Les taux de phéopigments sont voisins aux deux stations le 25 juillet (1,0  $\mu\text{g/l}$  st. 2 ; 0,9  $\mu\text{g/l}$  st. 4 ; fig. 135). Etant donné la forte salinité et la faible turbidité (MES = 2,2 mg/l st. 2 et 1,4 mg/l st. 4), ils semblent résulter essentiellement de la digestion du phytoplancton par le zooplancton ; leur concentration étant assez basse, les zooplanctontes herbivores seraient peu nombreux. Ce ne semble pas être le cas au début du mois de juillet où les teneurs en phéopigments avoisinent 3  $\mu\text{g/l}$ , à moins qu'elles ne correspondent à une remise en suspension de matériel détritique contenant des phéopigments (MES = 15,5 mg/l st. 1 ; 9,8 mg/l st. 3). Le taux d'ammoniac dissous, un peu plus élevé que lors de la campagne précédente (annexe III) (3,10  $\mu\text{atg/l}$  st. 1 , 1,16  $\mu\text{atg/l}$  st. 3, le 4 juillet), n'indique pas une excrétion azotée importante ; mais peut-être que les ions ammonium sont assimilés par le phytoplancton dès leur libération. Le zooplancton est en effet bien développé à Gravelines le 4 juillet (ARNAL et coll., 1977 ; fig. 105) ; mais les teneurs en phéopigments y dépassent rarement 1  $\mu\text{g/l}$ .

Au mois d'août 1977 les taux de chlorophylle sont moyens, bien que ceux de phéopigments, assez bas, traduisent une prédation zooplanctonique réduite. Les taux de sels nutritifs, parmi les plus faibles de l'année, ne permettent sans doute pas une croissance importante du phytoplancton. Début septembre, le zooplancton semble absent et les sels nutritifs, bien que toujours peu abondants, ont des concentrations un peu plus élevées ; ceci entraîne une croissance légèrement accrue du phytoplancton (sauf à la station 4). Au début du mois d'octobre, l'influence du zooplancton semble toujours minime et le milieu s'est enrichi en sels nutritifs tandis que le taux de chlorophylle a baissé. L'augmentation de phéopigments le 20 octobre ne correspond pas à une dessalure, ni à une forte turbidité (annexe III). Elle pourrait indiquer le broutage d'une population phytoplanctonique qui se serait développée après le 5 octobre et serait responsable de la diminution des taux de sels nutritifs enregistrée

vers le milieu du mois d'octobre. On note une légère reprise de la croissance phytoplanctonique au début du mois de novembre. A la fin de l'année le taux de chlorophylle reste le plus souvent voisin de 2 µg/l. Malgré les teneurs en sels nutritifs suffisantes pour assurer un certain développement du phytoplancton à la fin du mois de novembre et en décembre, celui-ci est limité par la faible intensité lumineuse. L'élévation des taux de phéopigments aux stations 1, 2, 3 le 20 décembre est liée à une forte turbidité (MES = 38,7 mg/l st. 1, 26,7 mg/l st. 2, 21,8 mg/l st. 3, 9,5 mg/l st. 4 où la concentration de phéopigments est plus basse).

La croissance du phytoplancton n'a pas repris début mars 1978. Le départ de la première poussée printanière ne peut être précisé : nous ne possédons pas de mesures de chlorophylle a entre le 6 mars et le 18 avril, période pendant laquelle il se situe. On note cependant une baisse importante des teneurs en sels nutritifs au début du mois d'avril, qui pourrait résulter du développement du phytoplancton. La température de l'eau passe de 5,8 ° C à 7,7 ° C à la station 1, de 6,0 ° C à 7,2 ° C à la station 4.

Les taux de chlorophylle a sont élevés le 18 avril (14,7 µg/l st. 1, 12,5 µg/l st. 4). Le stock phytoplanctonique n'est pas limité par le broutage du zooplancton qui ne s'est pas encore développé : les taux de phéopigments sont bas. Par contre le 24 avril les taux de phéopigments sont parmi les plus fortes valeurs obtenues dans le milieu littoral en face de Dunkerque (5,7 µg/l st.1, 2,6 µg/l st. 4). Si ceci peut être expliqué en partie par la remise en suspension d'un grand nombre de particules à la station 1 (M.E.S. = 18,2 mg/l), ce n'est pas le cas à la station 4 (M.E.S. = 3 mg/l) ; la salinité, quoiqu'inférieure à 34 ‰ n'est pas très faible (33,51 ‰ st. 1 ; 33,89 ‰ st. 4). Le taux de chlorophylle a est égal à 10,8 µg/l à la station 4 et 59 µg/l à la station 1. La présence de *Phaeocystis* à Gravelines les 19 et 24 avril conduit à penser que cet organisme est responsable de la richesse phytoplanctonique en face de Dunkerque à la fin du mois d'avril. Les fortes quantités de phéopigments semblent résulter de la digestion zooplanctonique [le zooplancton est assez abondant à Gravelines le 24 avril, et à cette période de l'année il est surtout herbivore (fig. 105 ; ARNAL et coll., 1977)].

Bien que les taux de sels nutritifs soient voisins aux deux stations le 3 mai la concentration en chlorophylle a est à nouveau plus élevée à la station 1 ; la pauvreté phytoplanctonique à la station 4 pourrait y limiter le nombre de zooplanctontes (les phéopigments y sont en effet beaucoup moins abondants qu'à la station 1). Les teneurs en sels nutritifs ne sont pas très basses au milieu du mois de mai ; pourtant le phytoplancton est pauvre

(chl. a = 3,0 µg/l st. 1, 2,2 µg/l st. 4, le 16 mai), ce qui ne permet pas une consommation importante par le zooplancton (phéopigments = 0,3 µg/l au maximum). A la fin du mois de mai le broutage zooplanctonique semble réduit, ce qui permet un second développement du phytoplancton à la station 1 (chl a = 23,6 µg/l), qui se poursuit en juin (13,2 µg/l le 14 juin, 9,7 µg/l le 28 juin) ; les taux de phéopigments ne reflètent pas une augmentation très importante du nombre de zooplanctones herbivores. La deuxième poussée phytoplanctonique observée durant l'année 1978 semble plus tardive à la station 4 ; peut être est-elle due le 29 mai à la multiplication de *Phaeocystis* (nous en avons vu quelques cellules dans les échantillons de Gravelines le 21 mai) qui, comme le 24 avril, aurait lieu essentiellement aux stations les plus côtières. Elle pourrait être favorisée par l'arrivée d'eau dessalée, riche en sels nutritifs, en surface du point 1.

Le 10 juillet 1978, la disparition du zooplancton herbivore (les taux de phéopigments sont nuls) semble permettre le maintien de la biomasse phytoplanctonique à 7,9 µg/l à la station 1, bien que les taux de sels nutritifs soient assez faibles. Le 17 juillet les teneurs en sels nutritifs ont peu varié et le zooplancton semble toujours absent ; pourtant la biomasse phytoplanctonique est inférieure à 3 µg/l chl. a. Les prélèvements faits à Gravelines le 18 juillet montrent un milieu pauvre en phéopigments mais où le zooplancton est abondant. Nous avons évoqué la pauvreté probable du milieu en zooplanctones herbivores et la possibilité d'une photo-oxydation des phéopigments.

Fin juillet et début août les taux de chlorophylle a et de phéopigments restent bas. Le léger enrichissement du milieu en sels nutritifs au début du mois d'août permet un nouveau développement phytoplanctonique vers le milieu du mois ; mais celui-ci est stoppé à la fin du mois par l'appauvrissement en sels nutritifs. Outre l'absence de consommation des sels nutritifs à la fin du mois d'août, on remarque une légère dessalure accompagnée d'un apport de sels nutritifs sur toute la zone au début du mois de septembre ; ceci est à l'origine d'une nouvelle phase de croissance du phytoplancton (chl. a = 12,5 µg/l st. 1, 4 µg/l st. 4, le 4 septembre), qui semble rapidement stoppée. On ne remarque plus de taux élevés de chlorophylle a à partir de la mi-septembre et les teneurs en phéopigments restent basses, surtout en octobre.

Les taux de chlorophylle a sont plus importants à la côte qu'au large. Mais les différences entre la station 1 et la station 4 peuvent être

grandes. Il semble que, lorsque l'échantillonnage est pratiqué en période de jusant, la population phytoplanctonique de la station 1 puisse être une population provenant du port et amenée par les courants. Ainsi les fortes valeurs de chlorophylle des 24 avril, 29 mai, 14 juin, 28 juin, 10 juillet, 21 août, 4 septembre 1978 à la station 1 correspondent à des périodes de jusant. Le phytoplancton portuaire (au voisinage des écluses) est pauvre à la fin du mois d'avril, mais s'enrichit fortement ensuite (fig. 136). L'hypothèse n'est donc pas valable le 24 avril, mais n'est pas à rejeter pour les campagnes suivantes. Nous manquons de données sur le port à partir de la fin du mois de juillet.

##### 5 - DUNKERQUE, MILIEU PORTUAIRE

Les mesures de chlorophylle a dans le port de Dunkerque ont été réalisées au moyen de la méthode spectrophotométrique par J.-M. BRYLINSKI (1979), qui a également calculé l'indice pigmentaire. Le dosage des phéopigments n'a pas été fait. A partir des résultats de l'étude taxonomique du microplancton nous avons calculé l'indice de diversité spécifique (H) et l'équitabilité (E).

##### a - Pigments photosynthétiques

Au début de l'année 1977 le phytoplancton du port de Dunkerque est pauvre (moins de 3  $\mu\text{g}/\text{l}$  chl. a en janvier et début février). Il commence à se multiplier entre le 4 et le 25 février [11,2  $\mu\text{g}/\text{l}$  chl. a en moyenne à 0 m et 5 m le 25 février (fig. 136)] ; la température de l'eau est alors comprise entre 8 et 12° C (fig. 13). La biomasse phytoplanctonique atteint un premier maximum le 10 mars [34,5  $\mu\text{g}/\text{l}$  chl. a, 29.600  $\text{g} / \text{cm}^3$ , en moyenne (fig. 137)]. Sa croissance est ensuite ralentie par manque de silicates (0,8  $\mu\text{atg}/\text{l}$  en moyenne le 18 mars, fig. 42) (nous ne possédons pas de données sur les taux d'ammoniac dissous, mais les autres sels azotés, bien qu'en diminution (fig. 43), sont largement présents dans le milieu). La teneur en silicates a augmenté le 24 mars ; pourtant la biomasse phytoplanctonique continue à chuter, sauf en surface (3 300  $\text{g} / \text{cm}^3$  à 0 m, 2 500  $\text{g} / \text{cm}^3$  à 5 m, 1 880  $\text{g} / \text{cm}^3$  à 10 m ; 24,5  $\mu\text{g}/\text{l}$  chl. a à 0 m, 9,1  $\mu\text{g}/\text{l}$  à 5 m, 7,7  $\mu\text{g}/\text{l}$  à 10 m) tandis que se développent les Copépodes (fig. 139). L'indice pigmentaire, faible au moment du pic phytoplanctonique (2,4 le 10 mars, fig. 138), atteint de plus fortes valeurs à 5 et 10 m le 24 mars (3,3 en moyenne à 5 et 10 m) ; à cette date il ne vaut que 2,7 à 0 m. La croissance du phytoplancton semble reprendre plus rapidement en surface qu'aux autres niveaux.

La deuxième poussée phytoplanctonique printanière a lieu à partir du 1er avril. On observe une légère diminution de la biomasse phytoplanctonique le 14 avril, qui correspond à un ralentissement de la croissance (le nombre de cellules augmente moins vite entre le 7 et le 14 avril qu'entre le 1er et le 7 avril) et qui semble résulter de la baisse de température enregistrée le 7 avril (la température de l'air étant minimale le 10 avril, cf. chp. I). La biomasse est ensuite maximale le 29 avril (49  $\mu\text{g}/\text{l}$  à 5 et 10 m, 36  $\mu\text{g}/\text{l}$  à 0 m ; 28.400  $\text{c} / \text{cm}^3$  à 5 m, 22.500  $\text{c} / \text{cm}^3$  à 10 m, 17.700  $\text{c} / \text{cm}^3$  à 0 m), bien que les Copépodes soient assez nombreux. L'indice pigmentaire augmente au cours du mois d'avril tout en restant voisin de 3.

La présence des Copépodes à la fin du mois d'avril semble être responsable de la chute de biomasse du début du mois de mai ; mais la pauvreté du milieu en phosphates, dont les concentrations sont parmi les plus faibles de l'année (0,15 à 0,22  $\mu\text{atg}/\text{l}$  le 29 avril), pourrait également constituer un facteur limitant pour la croissance du phytoplancton. Le taux de chlorophylle a se situe entre 18 et 25  $\mu\text{g}/\text{l}$  les 6 et 14 mai ; le nombre de cellules, qui a diminué le 6 mai (11.300 à 15.300  $\text{c} / \text{cm}^3$ ), retrouve des valeurs proches de celles du 29 avril le 14 mai (19.200 à 23.800  $\text{c} / \text{cm}^3$ ). L'indice pigmentaire, entre 2,5 et 2,6, le 14 mai semble pourtant indiquer un meilleur état physiologique du phytoplancton le 14 mai que le 29 avril. La différence des teneurs en chlorophylle les 29 avril et 14 mai, bien que les nombres de cellules soient voisins, vient de ce que la population comprend plus de cellules de *Skeletonema costatum*, de petite taille, et moins de cellules de *Chaetoceros didymum*, plus grandes, le 14 mai que le 29 avril (*Sk. costatum* : 16.200  $\text{c} / \text{cm}^3$  le 29 avril, 22.900  $\text{c} / \text{cm}^3$  le 14 mai ; *Ch. didymum* : 3.500  $\text{c} / \text{cm}^3$  le 29 avril, 460  $\text{c} / \text{cm}^3$  le 14 mai).

La présence des Copépodes à la fin du printemps et jusqu'en automne pourrait être un facteur limitant du développement du phytoplancton. Fin mai-début juin la biomasse phytoplanctonique reste inférieure à 8  $\mu\text{g}/\text{l}$  chl. a et 8 000  $\text{c} / \text{cm}^3$ . Elle s'élève entre le 9 et le 23 juin (16,7  $\mu\text{g}/\text{l}$  chl. a en moyenne le 23 juin) pour retrouver de faibles valeurs le 13 juillet (moins de 7  $\mu\text{g}/\text{l}$  chl. a et de 1 000  $\text{c} / \text{cm}^3$ ). On remarque que l'indice pigmentaire est supérieur à 3,5 le 27 mai et les 13 et 22 juillet (sauf en surface en juillet). Ces périodes pourraient donc correspondre au vieillissement des populations phytoplanctoniques, mais aussi à la présence de *Noctiluca scintillans*. En effet, ce Dinoflagellé a été observé en grande quantité par J.-M. BRYLINSKI (comm pers.) le 25 mai et le 22 juillet. Le phytoplancton est bien représenté en surface le 22 juillet (24  $\mu\text{g}/\text{l}$  chl. a ; 5 400  $\text{c} / \text{cm}^3$  à 0 m contre 2 700  $\text{c} / \text{cm}^3$  à 5 m et 2 000  $\text{c} / \text{cm}^3$  à 10 m). Les taux de sels nu-

tritifs diffèrent peu d'un niveau à l'autre de la colonne d'eau. La plus forte concentration de phytoplancton en surface pourrait résulter d'une pénétration moindre de la lumière aux niveaux inférieurs (la profondeur de disparition du disque de Secchi n'a pas été mesurée à cette date, mais la turbidité est relativement élevée en surface : M.E.S. = 30,5 mg/l) ; à moins que, comme BRYLINSKI (1979) en signale la possibilité, le zooplancton ne soit pratiquement absent des couches superficielles à cette période à la suite de rejets pollués (eaux échauffées et chlorées).

En août et septembre 1977 on observe une succession de pics phytoplanctoniques. Le maximum d'abondance se situe le 5 août à 5 et 10 m, à un moment où les Copépodes sont moins nombreux. Le nombre de cellules est alors le plus élevé de ceux que nous avons rencontrés dans le port de Dunkerque : 31 500  $\mu$  / cm<sup>3</sup> à 0 m, 42 600  $\mu$  / cm<sup>3</sup> à 5 m, 39 700  $\mu$  / cm<sup>3</sup> à 10 m. La population étant composée à plus de 90 % de cellules de *Skeletonema costatum*, la quantité de chlorophylle a est faible comparée au nombre de cellules (28,6  $\mu$ g/l à 0 m, 22,9  $\mu$ g/l à 5 m, 15,9  $\mu$ g/l à 10 m). La teneur en chlorophylle a est beaucoup plus importante en surface qu'aux autres niveaux les 19 et 26 août (40,5  $\mu$ g/l et 34,8  $\mu$ g/l à 0 m, entre 5 et 17  $\mu$ g/l à 5 et 10 m.) Le nombre de cellules est pourtant relativement faible à tous les niveaux le 19 août (1 700  $\mu$  / cm<sup>3</sup> à 0 m, 1 800  $\mu$  / cm<sup>3</sup> à 5 m, 650  $\mu$  / cm<sup>3</sup> à 10 m). Le dénombrement cellulaire ne reflète pas la grande différence de richesse en chlorophylle entre le niveau de surface et les autres niveaux. Mais le poids de matière organique particulaire est plus grand à 0 m ( 15,0 mg/l à 0 m, 11,5 mg/l à 5 m, 9,5 mg/l à 10 m), ce qui pourrait signifier qu'une partie de la chlorophylle a n'est pas d'origine microplanctonique. L'étude taxonomique n'a pas été faite le 26 août, mais on remarque à nouveau une quantité de matière organique plus élevée en surface (10,7 mg/l à 0 m, 5,3 mg/l à 5 m, 4,9 mg/l à 10 m). La plus forte concentration de chlorophylle à 5 m qu'à 10 m le 19 août résulte du plus grand nombre de cellules à 5 m d'une part, et de la composition de la population d'autre part : environ 30 % de Chlorophycée sp2 (37 % à 5 m, 25 % à 10 m), et 42 % de *Prorocentrum micans* à 5 m contre seulement 7 % de cellules de cette espèce à 10 m. Les cellules de *P. micans* sont deux fois plus nombreuses en surface le 9 septembre (560  $\mu$  / cm<sup>3</sup> à 0 m, 290  $\mu$  / cm<sup>3</sup> à 5 m, 310  $\mu$  / cm<sup>3</sup> à 10 m ; soit 20 % du microplancton à 0 m et 10 % à 5 et 10 m) : le taux de chlorophylle y atteint 22,7  $\mu$ g/l, tandis qu'il n'est que de 15,3  $\mu$ g/l et 13,1  $\mu$ g/l aux autres niveaux. L'indice pigmentaire est plus élevé à 5 m qu'à 0 m et 10 m ; ceci semble correspondre à un apport de caroténoïdes dans les matières organiques particulières



dont la quantité est plus importante à 5 m (7,4 mg/l à 0m, 10,5 mg/l à 5 m, 6,4 mg/l à 10 m).

A partir du mois d'octobre la biomasse phytoplanctonique est faible. On observe cependant une très légère augmentation du taux de chlorophylle fin octobre-début novembre, plus importante en surface le 25 octobre. Nous avons noté la présence à cette date de 170 cellules/cm<sup>3</sup> de *P. micans* et de 86 µg/cm<sup>3</sup> de la Chlorophycée sp2 en surface ; l'indice pigmentaire vaut 2,9 à 0 m tandis qu'il est proche de 4 aux autres niveaux, ce qui pourrait indiquer le meilleur état physiologique de la population de surface dominée par *P. micans* (32 %) et par la Chlorophycée sp2 (16 %). Le 13 octobre, l'échantillon de surface contenait 131 µg/cm<sup>3</sup> de *P. micans*, mais la concentration de chlorophylle n'était que très légèrement supérieure à celle des autres niveaux. L'indice pigmentaire (3,4), plus grand le 13 que le 25 octobre, traduit le moins bon état physiologique de la population de surface le 13 octobre, d'autant plus que le nombre de Copépodes et la quantité de matière organique particulaire sont plus faibles le 13 que le 25, ce qui tend à faire diminuer la valeur de l'indice pigmentaire.

Les teneurs en chlorophylle a les plus basses sont observées en décembre 1977 et janvier 1978 (0,8 µg/l au maximum), période à laquelle l'intensité lumineuse est la plus faible.

La croissance phytoplanctonique reprend à la fin du mois de février 1978. L'indice pigmentaire est compris entre 2,0 et 2,3 le 17 février, 2,4 et 2,7 le 1er mars : les cellules phytoplanctoniques sont riches en chlorophylle, de plus le zooplancton est pauvre et le matériel particulaire peu abondant (matières organiques : entre 2 et 3 mg/l). La température de l'eau est de 6,9 à 9,3°C le 17 février, 8,0 à 9,2°C le 1er mars.

Nous ne connaissons pas l'évolution du phytoplancton en mars et au début du mois d'avril. La baisse des stocks de sels nutritifs conduit à penser qu'une poussée a eu lieu à cette période. La biomasse phytoplanctonique augmente modérément à la fin du mois d'avril et au début du mois de mai, alors que les Copépodes ont repris de l'importance, puis atteint 52 µg/l chl. a en surface le 23 mai. Le manque de données sur la composition taxonomique du phytoplancton à cette date ne permet pas d'expliquer à quoi correspond cette richesse en chlorophylle.

Bien que les Copépodes soient nombreux début juin la biomasse phytoplanctonique est relativement importante (29 µg/l chl. a à 0 m et 5 m, 21 µg/l à 10 m ; de 4 200 à 6 100 µg/cm<sup>3</sup> ; le 6 juin). Les cellu-

les de *Cerataulina pelagica*, qui constituent près de 70 % du phytoplancton à 10 m et près de 80 % à 0 m et 5 m, sont peut être de trop grande taille pour être ingérées en fortes quantités par le zooplancton présent à cette date. L'influence du zooplancton est peu sensible au niveau de l'indice pigmentaire qui reste inférieur à 3. Peut être est-elle contrebalancée par celle d'un phytoplancton riche en chlorophylle. La baisse du nombre de Copépodes courant juin permet un accroissement du nombre de cellules à 0 m et 5 m entre le 6 et le 21 juin, auquel correspond une augmentation du taux de chlorophylle a ( $8\ 200 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  à 0 m,  $11\ 100 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  à 5 m ;  $43,2 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$  chl. a à 0 m,  $42,1 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$  à 5 m ; le 21 juin) ; le nombre de cellules varie peu à 10 m ( $3\ 900 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$ ), mais la teneur en chlorophylle passe à  $26,0 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$ .

Le phytoplancton s'appauvrit en juillet, surtout aux niveaux inférieurs :  $4\ 600 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  à 0 m,  $1\ 300 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  à 5 m,  $500 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  à 10 m ;  $14,1 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$  chl. a à 0 m,  $5,9$  à 5 m,  $3,8$  à 10 m, le 12. A la fin du mois ces paramètres ont des valeurs plus élevées, le niveau 10 m étant toujours le plus pauvre. Les nombres de cellules sont voisins à 0 m et 5 m ( $18\ 000 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  à 0 m,  $17\ 300 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  à 5 m,  $3\ 400 \text{ } \mu\text{g} / \text{cm}^3$  à 10 m), mais la chlorophylle est plus abondante en surface ( $26,4 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$  à 0 m,  $14,7 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$  à 5 m,  $8,3 \text{ } \mu\text{g}/\text{l}$  à 10 m).

Le nombre de cellules microplanctoniques est plus grand le 27 juillet que le 21 juin (surtout en surface) ; pourtant les taux de chlorophylle sont bien inférieurs le 27 juillet. Les cellules dominantes appartiennent aux genres *Thalassiosira* (24 %, beaucoup de *Th. rotula*) et *Chaetoceros* (40 %, dont *Ch. didymum*) le 21 juin, tandis que *Chaetoceros sociale*, de petite taille, constitue 95 % du microplancton le 27 juillet. De plus l'indice pigmentaire plus faible le 21 juin (2,6 à 2,7) que le 27 juillet (3,0 à 3,2) indique un meilleur état physiologique du phytoplancton le 21 juin, donc des cellules proportionnellement plus riches en chlorophylle.

Le niveau de surface est souvent caractérisé par une plus grande abondance de chlorophylle a qu'aux niveaux inférieurs. La présence de *Prorocentrum micans* semble parfois pouvoir expliquer cette différence. Il peut également y avoir diminution de la production en profondeur par atténuation de l'intensité lumineuse, et broutage à 5 et 10 m par un zooplancton qui semble y être plus riche qu'en surface. D'autre part l'indice pigmentaire est souvent plus élevé à 10 m, ce qui ne correspond généralement pas à un plus grand poids de matière organique à ce niveau et semble donc exclure l'hypothèse d'une origine détritique

des caroténoïdes en surplus. Celà pourrait indiquer un moins bon état physiologique des cellules placées dans des conditions d'éclairement moins favorables qu'aux autres niveaux. A moins que celà ne reflète une plus grande abondance du zooplancton près du fond. La température souvent plus élevée en surface favorise la croissance du phytoplancton à ce niveau. Malgré les oscillations de la courbe représentant les variations de l'indice pigmentaire dans le temps, on remarque une augmentation de cet indice du printemps à l'automne, suivie de très fortes valeurs (supérieures à 6) en hiver.

En comparant d'autres sites portuaires en état de dystrophie, on constate par exemple que dans le port de Marseille, plus pauvre en nitrates mais où les phosphates sont un peu plus abondants qu'à Dunkerque, le nombre de cellules de microplancton ne semble pas dépasser  $10^7$   $\ell$  / l (PATRITI, 1976). Dans le port de Dunkerque le développement du microplancton est plus important : au printemps et en été la quantité de cellules est supérieure à cette valeur. Dans le port d'Ostende, DE PAUW (1969) a relevé au maximum 11.000 Diatomées/l, les Diatomées y constituant, comme à Dunkerque, l'essentiel de la population phytoplanctonique, ce qui n'est pas toujours le cas dans le port de Marseille.

#### b - Diversité spécifique - Succession des populations

Pendant la première partie de l'année 1977 la diversité spécifique du microplancton (fig. 141) est inversement liée à la dominance de *Skeletonema costatum* (fig. 140). H et E sont minimums ( $H < 0,8$ ,  $E < 0,2$ ) quand *Sk. costatum* constitue 90 % ou plus de la population (les 10 mars, 14 mai, 3 et 15 juin, 29 juillet, 5 août). La diversité spécifique augmente brusquement le 24 mars, date à laquelle la biomasse phytoplanctonique est faible. La disparition de *Sk. costatum* (fig. 58), dont le pourcentage de dominance est d'ailleurs réduit à 18 %, permet à plusieurs autres espèces de prendre une plus grande part dans la composition du phytoplancton : *Thalassiosira nordenskioldii* (12 % de dominance), *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile* (21 %) et *Chaetoceros sociale* (28 %). La dominance de *Sk. costatum* augmente en avril tandis que son nombre de cellules s'accroît. Le 1er avril *Th. nordenskioldii* et *Ch. sociale* conservent une dominance proche de celle du 24 mars ; *Chaetoceros didymum* prend plus d'importance (23 %). *Th. nordenskioldii* disparaît le 7 avril, tandis que *Ch. didymum* et *Ch. sociale* se maintiennent aux alentours de 25 % jusqu'au

14 avril. Après le 14 avril *Sk. costatum* est si nombreuse que la quantité de cellules des espèces précitées et leur pourcentage de dominance diminuent. Le développement de *Thalassiosira decipiens* (ou *nordenskiöldii*) entre le 3 juin et le 27 mai (65  $\mu$  /  $\text{cm}^3$  le 27 mai, 435  $\mu$  /  $\text{cm}^3$  le 3 juin) est masqué par celui de *Sk. costatum* (1 900  $\mu$  /  $\text{cm}^3$  le 27 mai, 6 000  $\mu$  /  $\text{cm}^3$  le 3 juin) et la diversité spécifique est plus faible le 3 juin que le 27 mai. La baisse du nombre de *Sk. costatum* le 9 juin n'est que peu sensible au niveau de la diversité spécifique puisque le microplancton dans son ensemble s'est appauvri. Le 1er juillet 1977 *Sk. costatum* retrouve une plus faible densité et est remplacée par *Chaetoceros didymum* qui représente à elle seule 55 % du microplancton : la diversité, qui a retrouvé de plus fortes valeurs, reste donc cependant modérée ( $H < 2,5$ ,  $E < 0,6$ ). Le nombre de cellules de *Sk. costatum* varie peu entre le 1<sup>er</sup> et le 13 juillet, mais le phytoplancton étant moins abondant le 13, le pourcentage de dominance de cette espèce est proche de 50 % à cette date. La croissance de *Sk. costatum* a repris le 22 juillet, mais *Thalassiosira decipiens* et *Thalassiosira levanderi* se sont aussi développées : le pourcentage de dominance de *Sk. costatum* a peu varié (57 %) ; les cellules du genre *Thalassiosira* représentent alors 34 % de la population ; la diversité spécifique a légèrement diminué.

A partir du 12 août et jusqu'à la fin de l'année *Sk. costatum* est beaucoup moins nombreuse. Le 12 août, bien que ne comptant plus que 250  $\mu$  /  $\text{cm}^3$ , elle représente 36 % du microplancton dont l'effectif total est faible. La présence de *Prorocentrum micans* (24 % de dominance) et de la Chlorophycée sp2 (10 %) accentue la diversité :  $H$  vaut entre 2,9 et 3,0,  $E$  vaut 0,68 à 5 m et 0,70 à 10 m ; leur valeur est un peu plus faible à 0 m où la dominance de *Sk. costatum* est supérieure (43 % à 0 m, 31 % et 33 % à 5 m et 10 m). Ces trois espèces dominent toujours la population le 19 août (*Sk. costatum* : 15 % ; *P. micans* : 34 % ; chl. sp2 : 33 %). *P. micans* est encore présent le 9 septembre, en moins forte proportion (14 % de dominance), tandis que *Chaetoceros sociale* commence à se développer (12 %) et que *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile* constituent 60 % de la population. Le 20 septembre deux espèces seulement ont une dominance supérieure à 10 % : *Nitzschia closterium* (19 %) et *Ch. sociale* (52 % à 0 m, 75 % à 5 et 10 m), d'où une diminution de la diversité, sauf à 0 m (*Chaet. sociale* y est moins nombreuse et plusieurs espèces peu abondantes y sont mieux représentées).

A partir d'octobre 1977 la diversité spécifique est élevée ( $H > 2,5$  ;  $E > 0,7$ ). Le nombre de cellules est faible. Les pourcentages de do-

minance des espèces principales ne dépassent plus 40 %. *Nitzschia closterium* est la plus abondante le 5 octobre (34 %) ; elle est suivie par *Nitzschia seriata* (19 %) et *Chaetoceros didymum* (10 %). On retrouve *P. micans* le 13 octobre (19 %), accompagné de *N. closterium* (18 %) et *Asterionella japonica* (12 %). *P. micans* et *Ast. japonica* font toujours partie des espèces principales le 25 octobre (respectivement 12 % et 19 %), mais c'est *Chaetoceros sociale* qui a la dominance la plus forte (31 %). Début novembre *Ast. japonica* (30 % le 2, 14 % le 9), *P. micans* (19 % le 9) et *Rhizosolenia delicatula* (13 % le 9) sont les seules espèces ayant un pourcentage de dominance supérieur à 10. H est alors le plus élevé que nous avons noté dans le port de Dunkerque (3,4 à 3,9). La valeur de E est maximale le 29 novembre (0,94 et 0,93 à 5 m et 10 m) : la place que tient l'espèce la plus abondante, "*Fragilaria*", est encore plus faible qu'au début du mois : 12 % du microplancton. En décembre se succèdent *Sk. costatum* (25 % et 16 %), *Thalassiosira levanderi* (26 % et 12 %) le 9 et le 15, *Nitzschia closterium* (12 %) le 9, et *Asterionella japonica* (15 %) le 15, puis le genre *Scenedesmus* (11 % le 15, 26 % le 22), et à nouveau *N. closterium* (11 %) le 22.

La diversité spécifique décroît au début de l'année 1978, en même temps que reprend la croissance de *Sk. costatum*. On retrouve en janvier des espèces déjà observées le mois précédent : *Thalassiosira levanderi* (13 %) et *Nitzschia closterium* (17 %) le 5, puis le genre *Scenedesmus* (37 %) le 18. La dominance de *Sk. costatum* augmente tout le mois et atteint 38 % le 25 janvier. Le 17 février et le 1<sup>er</sup> mars *Sk. costatum* et le genre *Thalassiosira* dominent (*Sk. costatum* : 31 % et 50 % ; *Th. decipiens* : 37 % le 17 février ; *Th. condensata* ou *Th. fallax* (17 %) et *Th. levanderi* (13 %) le 1<sup>er</sup> mars). La forte proportion de *Sk. costatum* occasionne une baisse de la diversité spécifique (H = 2,1 à 2,4, E = 0,55 à 0,67, le 1<sup>er</sup> mars). La plus forte abondance de *Sk. costatum* à 5 m (44 %) par rapport aux autres niveaux (28 % et 23 %) fait que la valeur de la diversité spécifique est plus faible à 5 m.

La diversité spécifique est moyenne fin avril-début mai (H vaut de 1,8 à 2,4 sauf à 10 m le 5 mai : à cette date le nombre d'espèces est plus grand à 10 m : 8 et 9 à 0 m et 5 m, 23 à 10 m). L'utilisation de l'équité permet de mettre en évidence une augmentation de la diversité entre ces deux campagnes et ramène la valeur observée à 10 m le 5 mai à un niveau proche de celles des autres niveaux (E = 0,47 à 0,61 le 26 avril, 0,60 à 0,74 le 5 mai). Deux espèces dominent le 26 avril : *Sk. costatum* (30 %) et *Cerataulina pelagica* (49 %). On retrouve *Sk. costatum* le 5 mai (21 %),

accompagnée d'*Heterocapsa triquetra* (20 %) et de la Chlorophycée sp2 (32 %).

Début juin 1978 la diversité est plus faible par suite du développement de *Cerataulina pelagica* qui constitue 78 % de la population. Cette espèce et *sk. costatum* (14 %) représentent alors la presque totalité du microplancton. A la fin du mois de juin on n'observe pas d'espèce de dominance très importante : H retrouve des valeurs de 2,5 et 2,9, E vaut entre 0,5 et 0,7 ; *Sk. costatum* (30 %), *Thalassiosira rotula* (23 %) et *Chaetoceros didymum* (16 %) sont les espèces principales. Le 12 juillet la diversité varie peu, bien que deux espèces seulement dominant : *Chaetoceros sociale* (15 %) et surtout *Nitzschia seriata* (54 %). Le 27 juillet *Chaetoceros sociale* a un développement tel qu'elle inhibe la croissance des autres cellules ; à elle seule cette espèce représente 95 % du nombre total de cellules. La diversité est évidemment très faible : H = 0,3 à 0,6, E = 0,08 à 0,14.

## 6 - CONCLUSION

Le cycle phytoplanctonique dans la région de Dunkerque est caractérisé, tant dans le milieu littoral que dans le milieu portuaire, par une ou deux poussées durant le printemps, auxquelles succède un nouveau développement du phytoplancton à la fin du printemps ou au début de l'été alors que le zooplancton herbivore est pauvre. La croissance phytoplanctonique semble reprendre vers la fin de l'été dans le milieu littoral. Dans le milieu portuaire on observe plusieurs pics de chlorophylle dans le courant de l'été. Une dernière poussée dont nous n'avons pu estimer l'importance, mais qui semble être moins grande que les précédentes, se produit en automne.

Durant l'hiver le taux de chlorophylle est souvent inférieur à 2 µg/l dans les deux milieux. Le démarrage de la croissance du phytoplancton a généralement lieu fin février - début mars. La température de l'eau est alors comprise entre 6,5 et 8° C à Gravelines en 1975 et 1977, entre 8 et 12° C et 7 et 9° C dans le port de Dunkerque en 1977 et 1978. La température de l'eau, plus élevée dans le port que dans le milieu littoral en 1977, ne semble pas induire un développement plus précoce du phytoplancton dans le port. Par contre en 1978 la biomasse phytoplanctonique est encore faible dans le milieu littoral au début du mois de mars, ce qui n'est pas le cas dans le port. Le réchauffement de l'eau est plus tardif en 1978 que les autres années ; début mars la température de l'eau

n'est que de 6° C dans le milieu littoral ; elle est de 8,0 à 9,2° C dans le port. On peut considérer que l'éclairement est le même dans ces trois zones voisines. EPPLEY (1972) et GOLDMAN (1977) considèrent que la température ne joue pas un grand rôle dans la production du phytoplancton marin ; pourtant une température de 6° C ne semble pas suffisante pour permettre la croissance du phytoplancton dans notre région. Un éclairement correspondant à celui de fin février - début mars est nécessaire puisque le phytoplancton du port de Dunkerque était encore pauvre le 17 février 1978 alors que la température de l'eau se situait entre 6,9° C (à 10 m) et 9,3° C (à 0 m) (elle était supérieure à 8° C durant tout l'hiver).

Les teneurs en chlorophylle les plus élevées sont observées au printemps et correspondent à la prolifération de *Phaeocystis* dans le milieu littoral (jusqu'à 49 µg/l à Gravelines, 59 µg/l en face de Dunkerque), de *Skeletonema costatum* dans le port (jusqu'à 49 µg/l). *Phaeocystis* peut réapparaître en grand nombre au début de l'été (début juillet 1975 à Gravelines).

Les fortes concentrations de sels nutritifs dans le port de Dunkerque y permettent une croissance phytoplanctonique plus importante que dans le milieu littoral. Le taux de chlorophylle semble rarement dépasser 15 µg/l dans le milieu littoral, ce qui n'est pas le cas dans le port. Le développement du phytoplancton portuaire est favorisé par un milieu plus calme, souvent moins turbide, et un nombre d'holoplanctontes plus faible que dans le milieu littoral (BRYLINSKI, 1979). En outre l'eau est plus chaude dans les bassins du port qu'à l'extérieur (du moins dans la zone où nous avons fait notre étude). La limitation de la croissance phytoplanctonique par suite du manque de sels nutritifs est plus fréquente dans le milieu littoral que dans le port ; elle semble même rare dans le port.

La richesse en chlorophylle du milieu littoral diminue quand on s'éloigne de la côte vers le large. L'agitation continue de la masse d'eau assure son homogénéité verticale : les organismes non mobiles peuvent sédimenter. Bien que le milieu portuaire soit plus calme, nous avons vu (chp. I) que les mouvements de l'eau sont suffisants pour maintenir les particules en suspension ; la sédimentation des cellules phytoplanctoniques doit donc être faible sinon inexistante. La biomasse phytoplanctonique est souvent plus grande en surface : l'éclairement et la température y sont plus importants et le zooplancton semble plus abondant aux niveaux inférieurs.

La diversité spécifique du microplancton a des limites de variations plus étendues dans le milieu portuaire que dans le milieu littoral (E varie de 0,08 à 0,94 dans le port, de 0,24 à 0,85 à Gravelines) : *Skeletonema costatum* représente à plusieurs reprises plus de 90 % du nombre de cellules microplanctoniques dans le port, dominance qui est rarement approchée à Gravelines et jamais dépassée. La valeur minimale de E relevée à Gravelines correspond à la présence de 87 % de cellules de *Rhizosolenia shrubsolei*. *Chaetoceros sociale* peut atteindre une dominance de 86 %, *Rhizosolenia delicatula* de 69 %. D'autres espèces que *Skeletonema costatum* peuvent avoir une très forte dominance dans le port de Dunkerque : *Chaetoceros sociale* : plus de 90 %, *Cerataulina pelagica* : 83 %. Le microplancton de Gravelines comprend un plus grand nombre de cellules liées au domaine benthique, ce qui a pour effet d'augmenter la diversité spécifique.

A Gravelines la suite de successions semble se reproduire assez régulièrement chaque année : la diversité est faible au début du printemps, au moment où a lieu la première poussée due à la multiplication des cellules du genre *Chaetoceros* (*Chaetoceros sociale*, *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile*). La diversité est à nouveau faible après le développement de *Phaeocystis* : la présence en grand nombre de ces organismes entraîne la disparition des Diatomées. Quand *Phaeocystis* a disparu, les Diatomées occupent à nouveau le milieu ; *Nitzschia delicatissima* prolifère en 1977, *Rhizosolenia delicatula* en 1978.

Cette deuxième succession printanière se termine par l'apparition d'un grand nombre d'individus du Dinoflagellé *Noctiluca scintillans*, tandis que la diversité spécifique est élevée et que la biomasse phytoplanctonique est faible. Ce dernier stade est plus tardif en 1978 que les autres années (juillet-août en 1978, juin en 1975 et 1977). Une nouvelle succession démarre ensuite ; la poussée phytoplanctonique de juillet 1977 correspond à la multiplication de *Rhizosolenia setigera* + *Rh. pungens* et d'*Asterionella japonica*. En 1978 *Noctiluca scintillans* est encore présent tandis que commence la succession suivante ; l'espèce responsable de l'augmentation de la biomasse est alors *Rhizosolenia delicatula*. En 1975 la troisième succession est troublée par le développement de *Phaeocystis* début juillet. Les successions semblent être moins tranchées durant l'automne. La diversité est maximale pendant l'hiver.



Dans le port de Dunkerque la diversité spécifique présente des variations inverses de celles de *Skeletonema costatum*. La première succession de l'année 1977 est rapidement stoppée ; le départ de la seconde est lent ; elle semble s'arrêter à la fin du mois de juillet lorsque *Noctiluca scintillans* se développe ; la diversité n'est alors pas très élevée. La succession suivante, comme les deux premières, commence par la prolifération de *Skeletonema costatum*. Après le mois d'août les successions sont difficiles à mettre en évidence. Comme à Gravelines la diversité est maximale en hiver.

Dans le chapitre suivant nous tenterons de mettre en évidence les facteurs du milieu qui favorisent le grand développement de *Skeletonema costatum* dans le port de Dunkerque et ceux qui conditionnent la présence des principales espèces que nous avons rencontrées dans les milieux littoral et portuaire.

CHAPITRE IV

HYDROBIOLOGIE DES MILIEUX LITTORAUX DE  
DUNKERQUE ET DE GRAVELINES

AUTO-ÉCOLOGIE DES ESPÈCES PHYTO-  
PLANCTONIQUES PRINCIPALES

(ANALYSE MATHÉMATIQUE)

Le nombre de données recueillies sur un site au cours d'une ou plusieurs années d'étude est important. Il est difficile de parvenir à une vue d'ensemble qui tienne compte des rapports existant entre tous les paramètres. L'emploi de l'analyse multidimensionnelle permet une approche de ce problème. Cette analyse aboutit à la représentation, dans un espace à plusieurs dimensions, de la dispersion des objets par rapport à leurs descripteurs ; il y a autant d'axes que de descripteurs. La position des points-objets est projetée dans un plan bidimensionnel selon deux axes qui permettent de représenter la variabilité de la matrice multidimensionnelle des données tout en conservant le maximum d'information.

Nous avons utilisé l'analyse multidimensionnelle afin de dégager les grandes lignes de l'hydrobiologie des milieux littoraux voisins de Dunkerque et de Gravelines et de déterminer les caractères propres à chacun d'eux. Une autre analyse a été faite dans le but d'améliorer la connaissance des facteurs hydrologiques qui favorisent le développement des espèces phytoplanctoniques principales que nous avons observées dans les milieux littoral et portuaire. Les calculs par ordinateur des analyses multidimensionnelles ont été réalisés au Centre Interuniversitaire de Traitement de l'Information (Université des Sciences et Techniques de Lille).

## 1 - HYDROBIOLOGIE DES MILIEUX LITTORAUX DE DUNKERQUE ET DE GRAVELINES

### a - Méthodes

Pour dégager les principales caractéristiques de l'hydrobiologie des milieux littoraux voisins de Dunkerque et de Gravelines nous avons effectué une analyse en composantes principales.

L'analyse en composantes principales a été décrite par WILLIAMSON (1961), puis CASSIE (1963). Les résultats des mesures des p paramètres aux n stations sont regroupés dans une matrice à p colonnes et n lignes. Cette matrice est transformée en matrice de corrélation, dont on extrait les valeurs propres  $\lambda$  qui sont les racines de l'équation caractéristique

$$|C - \lambda I| = 0$$

C est la matrice de corrélation à analyser, I une matrice unité d'ordre n. A chaque propre  $\lambda_i$  est associé un vecteur propre  $u_i$  qui vérifie la relation

$$(C - \lambda_i)u_i = 0$$

Ces vecteurs propres sont les axes principaux de la matrice de corrélation.

Quand on normalise les vecteurs propres de façon à ce que leur longueur soit égale à l'unité, ils permettent de retrouver les composantes principales, formées des coordonnées des objets par rapport aux différents axes principaux. Les vecteurs propres sont orthogonaux entre eux, ils correspondent à des directions indépendantes les unes des autres dans l'ellipsoïde de probabilité de la distribution des objets. Les valeurs propres mesurent la quantité de variance expliquée par chaque axe principal (LEGENBRE et LEGENBRE, 1979).

L'utilisation de l'analyse en composantes principales suppose que la distribution des variables est multinormale. Selon IBANEZ (1971, in DEVAUX, 1975), la stabilisation des variances des variables introduites suffit pour permettre l'utilisation de cette méthode.

Notre étude ayant en partie pour but de comparer les sites de Gravelines et de Dunkerque du point de vue hydrobiologique nous avons dû nous limiter à la période durant laquelle la mesure des pigments photosynthétiques a été faite à Dunkerque, c'est à dire à partir de juin 1977. Le site de Gravelines n'a pas été échantillonné à la fin de 1977 ; l'analyse en composantes principales ne porte donc que sur l'année 1978. La signification des symboles représentant les paramètres hydrobiologiques dans les figures 143 et 145 est indiquée dans le tableau 30. Le paramètre "matières en suspension" n'a pu être retenu par suite du manque d'un trop grand nombre de mesures. Les symboles des points-stations (fig. 142 et 144) sont composés d'une lettre précisant le site (D = Dunkerque, G = Gravelines), de la date du prélèvement, et de la station échantillonnée. Seuls les résultats concernant le niveau de surface ont été retenus.

#### b - Résultats - Interprétation

Les valeurs propres et pourcentages de variance associés aux quatre premiers vecteurs propres sont :

Vecteur propre	Valeur propre	% variance	% variance cumulée	% bâton brisé (FRONTIER, 1976) pour 15 variables
V1	5,609	37,39	37,39	22,12
V2	2,614	17,43	54,82	15,45
V3	1,951	13,01	67,83	12,12
V4	1,327	8,85	76,68	9,90

TABLEAU 30 : SYMBOLES UTILISES DANS LES ANALYSES  
MULTIVARIABLES .

Paramètres hydrobiologiques

CHL	Chlorophylle ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )
DE	Densité ( $\sigma_t$ )
MS	Matières en suspension ( $\text{mg}/\text{l}$ )
NA	Nitrates ( $\mu\text{atg N-NO}_3^-/\text{l}$ )
NH	Ammoniac dissous ( $\mu\text{atg N - NH}_4^+/\text{l}$ )
NI	Nitrites ( $\mu\text{atg N-NO}_2^-/\text{l}$ )
NP	Rapport $\text{NO}_3/\text{PO}_4$
NTP	Rapport $[\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4]/\text{PO}_4$
OX	Oxygène dissous (% saturation)
PH	PH (unités pH)
PHE	Phéopigments ( $\mu\text{g}/\text{l}$ )
PO	Phosphates ( $\mu\text{atg P-PO}_4^{3-}/\text{l}$ )
SA	Salinité ( $‰$ )
SE	Profondeur de disparition du disque de Secchi (m)
SI	Silicates ( $\mu\text{atg Si-SiO}_3^-/\text{l}$ )
TE	Température ( $^\circ\text{C}$ )

Phytoplancton

ASJ	<i>Asterionella japonica</i>
CEP	<i>Cerataulina pelagica</i>
CHC	<i>Chaetoceros curvisetum</i> + <i>Ch. debile</i>
CHD	<i>Chaetoceros didymum</i>
CHS	<i>Chaetoceros sociale</i>
FRA	" <i>Fragilaria</i> "
GYM	Genre <i>Gymnodinium</i>
LEP	<i>Leptocylindrus danicus</i>
NIC	<i>Nitzschia closterium</i>
NID	<i>Nitzschia delicatissima</i> + <i>N. seriata</i>
PAR	<i>Paralia sulcata</i>
PER	Genre <i>Peridinium</i>
PRO	Genre <i>Prorocentrum</i>
RDE	<i>Rhizosolenia delicatula</i>
RSE	<i>Rhizosolenia pungens</i> + <i>Rh. setigera</i>
RSH	<i>Rhizosolenia shrubsolei</i>
RST	<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>
SKC	<i>Skeletonema costatum</i>
TAN	<i>Thalassionema nitzschioides</i>
THD	<i>Thalassiosira decipiens</i>
THN	<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>
THR	<i>Thalassiosira rotula</i>



Le test du "bâton brisé" (FRONTIER, 1976) montre que seuls les trois premiers vecteurs propres sont statistiquement significatifs.

La contribution relative (‰) des trois premiers facteurs à l'inertie des variables est indiquée dans le tableau suivant :

Variable	1er facteur	2e facteur	3e facteur
TE	516	187	115
SA	6	339	241
DE	488	51	268
PH	343	349	29
OX	196	341	1
SE	191	175	108
NH	419	0	323
NI	493	3	282
NA	739	14	18
PO	279	26	226
SI	856	14	1
NP	501	37	204
NTP	440	35	78
CHL	142	518	58
PHE	1	524	0

L'inertie des variables SI et NA est expliquée en majeure partie par le facteur I (85,6 % et 73,9 % respectivement). Il en est de même pour les variables suivantes, bien que les pourcentages d'inertie soient plus faibles : TE (51,6 %), NP (50,1 %), NI (49,3 %), DE (48,8 %), NTP (44,0 %) et NH (41,9 %). L'axe I oppose des eaux riches en sels nutritifs (essentiellement silicates et nitrates) et froides, à forte densité et rapport N/P élevé, à des eaux pauvres en sels nutritifs, chaudes, à faibles densité et rapport N/P (fig. 142).

L'inertie des autres variables prises en compte dans l'analyse (exceptés les phosphates) est expliquée pour la plus grande part par le facteur II : PHE (52,4 %) et CHL (51,8 %), puis dans une moindre mesure PH (34,9 %), OX (34,1 %) et SA (33,9 %). La variable salinité est opposée sur l'axe II aux autres variables précitées (fig. 142). La principale caractéristique des eaux moins salées est donc leur richesse en chlorophylle et en phéopigments. La position des points-variables pH et oxygène au voisinage des points-variables chlorophylle et phéopigments traduit une plus grande influence du phytoplancton que des arrivées d'eaux des-salées sur les variations du pH et du taux d'oxygène dissous.

La projection des points-stations dans le plan des axes I et II (fig. 143) permet de mettre en évidence le cycle saisonnier des paramètres hydrobiologiques dans la zone littorale du sud de la Mer du Nord en 1978. Pendant la période printanière (avril-mai-juin), caractérisée par de fortes teneurs en chlorophylle et en phéopigments, les taux de sels nutritifs semblent plutôt faibles et les températures élevées. La température de l'eau et les taux de sels nutritifs sont les deux facteurs qui déterminent principalement la position des points-stations selon l'axe I. Ces points sont assez dispersés, ce qui signifie que ces deux paramètres sont assez variables durant la saison printanière. Ainsi le mois de mai serait plutôt caractérisé par de plus faibles températures et des taux de sels nutritifs plus élevés, tandis que la situation est inverse en juin. Etant donné que l'inertie des variables TE, NA et SI expliquée par les facteurs II et III est faible, il n'est pas possible de déterminer quel est celui de ces paramètres qui influe le plus sur la position des points-stations. Les variables NH, NI, et PO font partie de celles qui contribuent le plus à la construction de l'axe III (fig. 144). La position des points-stations dans le plan des axes I et III (fig. 145) amène à penser que les teneurs en sels nutritifs (au moins celles d'ammoniac, de nitrites et de phosphates) sont effectivement variables au printemps.

Les autres périodes du cycle annuel sont caractérisées par de plus fortes salinités qu'au printemps, en même temps que par des teneurs en chlorophylle et en phéopigments plus faibles. En été (juillet-août-septembre) la température est élevée et les taux de sels nutritifs sont plutôt faibles. En automne le milieu s'enrichit en sels nutritifs tandis que la température diminue ; ce processus se poursuit en hiver. Il n'y a pas de séparation nette entre ces deux périodes.

On remarque dans la position des points-stations dans le plan des axes I-II (fig. 143) un décalage vers la partie négative de l'axe II de la plupart des points côtiers par rapport aux points du large ; la masse d'eau côtière est moins salée et plus riche en phéopigments et en chlorophylle que l'eau du large. Les points côtiers ont aussi souvent une saturation inférieure à celle des points du large sur l'axe I, ce qui traduit leurs plus fortes teneurs en sels nutritifs.

D'autre part les points représentatifs de Dunkerque ont des saturations sur l'axe II supérieures à celles des points représentatifs de Gravelines, ce qui semble résulter d'une plus grande concentration de

phéopigments à Gravelines qu'à Dunkerque (fig. 113 et 135).

Les différences entre deux stations échantillonnées à la même date peuvent être importantes : les points représentatifs de ces stations ne sont pas toujours proches. Ainsi par exemple le 24 avril à Dunkerque, la station 1\* est beaucoup plus riche en chlorophylle et en phéopigments que la station 4\* ; et les taux de silicates et de nitrates y sont plus faibles qu'à la station du large. Les points 1 et 4 à Dunkerque sont plus éloignés l'un de l'autre que les stations C et L ne le sont à Gravelines ; ceci peut entraîner de plus grandes différences dans la structure hydrobiologique des masses d'eau considérées à Dunkerque qu'à Gravelines (par exemple les 5.01\*, 3.05\* et 7.12\* à Dunkerque), mais ce n'est pas toujours le cas. Les points-stations correspondant au 14 juin\* à Dunkerque en particulier sont proches l'un de l'autre dans le plan des axes I et II comme dans le plan des axes I et III.

L'axe III oppose les paramètres densité, salinité et rapport N/P aux paramètres ammoniac, nitrites et phosphates (fig. 144). Dans le plan des axes I et III (fig. 145) les points-stations côtiers ont souvent des saturations sur l'axe III plus faibles que les points-stations du large échantillonnés le même jour : l'eau est moins salée et moins dense à la côte tandis que les sels nutritifs (NH, NI, PO) y sont plus abondants qu'au large.

Les paramètres transparence de l'eau et phosphates interviennent peu dans la détermination du cycle hydrobiologique saisonnier du littoral du sud de la Mer du Nord. La variable PO est celle qui contribue le plus à la construction de l'axe IV mais le vecteur propre correspondant n'est pas significatif. La variable SE est celle qui est la moins bien représentée dans l'espace des 5 premiers facteurs de l'analyse en composantes principales.

Malgré les différences que l'on peut observer au niveau de la structure hydrobiologique de deux stations au cours d'une campagne sur un même site, les variations saisonnières sont assez marquées pour que l'on puisse mettre en évidence un cycle saisonnier dans la zone littorale du sud de la Mer du Nord.

---

\* La position de ces points est repérée dans la figure 143 par le signe suivant : ← .



## 2 - AUTO-ÉCOLOGIE DES ESPÈCES PRINCIPALES

### a - Méthodes

Afin de déterminer quels sont les facteurs du milieu qui favorisent le développement des espèces principales que nous avons rencontrées à Gravelines et dans le port de Dunkerque, nous avons effectué une analyse des correspondances (ESCOFIER-CORDIER, 1965 ; BENZECRI et coll., 1973) à partir des effectifs de ces espèces et des paramètres hydrologiques de leur environnement.

L'analyse des correspondances est une analyse en composantes principales qui préserve la distance du  $\chi^2$  entre les lignes ou entre les colonnes du tableau de contingence. Cette analyse permet la représentation simultanée, dans les mêmes sous-espaces, des points-paramètres et des points-espèces.

Le tableau de contingence est constitué de (22 x 4) lignes (espèces) et (10 x 4) colonnes (paramètres hydrologiques). Les abondances des espèces sont réparties en quatre classes (selon une progression logarithmique) déterminées pour chaque espèce d'après son effectif maximal. Pour les paramètres hydrologiques, chaque classe comprend un nombre égal de données. Les limites des classes sont précisées dans le tableau 31.

Pour faire cette étude nous avons repris les résultats recueillis à Gravelines et dans le port de Dunkerque. Nous avons complété ces données par celles que nous avons acquises sur le site côtier de Paluel (Seine-Maritime, fig. 1), conjointement avec M. RYCKAERT en 1975<sup>\*</sup>, puis nous-mêmes en 1978<sup>\*\*</sup>. Les variations d'une station à une autre étant généralement faibles comparées aux variations inter-campagnes, nous avons fait l'analyse à partir des moyennes des valeurs de chacun des paramètres et des moyennes des effectifs de chaque espèce, pour chaque campagne [moyenne sur la radiale à Gravelines, moyenne sur une radiale équivalente à Paluel (la stratégie d'échantillonnage était la même à Paluel qu'à Gravelines en 1975 ; en 1978 les prélèvements étaient limités à une station, correspondant au point M de Gravelines), moyenne des trois niveaux dans le port de Dunkerque]. Le nombre de campagnes prises en compte est de

---

\* Contrat C.N.E.X.O. n° 74/1135

\*\* Contrat C.N.E.X.O. n° 77/1764 B.

TABLEAU 31 : CLASSES DEFINIES POUR L'ANALYSE DES  
CORRESPONDANCES DES ABONDANCES DES  
ESPECES PRINCIPALES EN FONCTION DES  
PARAMETRES HYDROLOGIQUES .

Paramètre	1	2	3	4
TE	5 à 9	9 à 12	12 à 17	17 à 23
SA	29,4 à 31,6	31,6 à 32,5	32,5 à 33,75	33,75 à 34,7
DE	21,0 à 23,3	23,3 à 24,25	24,3 à 25,4	25,4 à 27,0
SE	0,5 à 1,5	1,5 à 2,1	2,2 à 2,7	2,8 à 6,5
MS	4,0 à 11,0	11,0 à 18,0	18,1 à 26,0	26,0 à 107
NI	0 à 0,30	0,31 à 0,75	0,75 à 8,0	8,1 à 18
NA	0 à 5	5 à 17	17 à 24	24 à 53
PD	0 à 0,5	0,5 à 0,9	0,9 à 1,6	1,6 à 3,5
SI	0 à 2	2 à 7	7 à 14	14 à 51
NP	0 à 8	8 à 13	13 à 24	24 à 330

Espèce (nbre /cm <sup>3</sup> )	1	2	3	4	Densité maximale observée
PAR	0 - 1	2 à 10	11 à 50	> 50	79
THD	0 - 1	2 à 10	11 à 100	> 100	357
THN	0 - 1	2 à 100	101 à 1000	> 1000	1320
THR	0 - 1	2 à 100	101 à 1000	> 1000	1700
SKC	0 - 1	2 à 500	501 à 5000	> 5000	35800
CEP	0 - 1	2 à 100	101 à 1000	> 1000	3940
CHC	0 - 1	2 à 100	101 à 1000	> 1000	1750
CHD	0 - 1	2 à 100	101 à 1000	> 1000	3600
CHS	0 - 1	2 à 500	501 à 5000	> 5000	12200
LEP	0 - 1	2 à 10	11 à 50	> 50	107
RDE	0 - 1	2 à 10	11 à 100	> 100	525
RSE	0 - 1	2 à 10	11 à 100	> 100	296
RSH	0 - 1	2 à 10	11 à 100	> 100	345
RST	0 - 1	2 à 10	11 à 100	> 100	276
FRA	0 - 1	2 à 10	11 à 100	> 100	700
ASJ	0 - 1	2 à 100	101 à 1000	> 1000	3530
TAN	0 - 1	2 à 10	11 à 100	> 100	258
NIC	0 - 1	2 à 50	51 à 500	> 500	900
NID	0 - 1	2 à 100	101 à 1000	> 1000	1300
GYM	0 - 1	2 à 10	11 à 50	> 50	127
PRO	0 - 1	2 à 10	11 à 100	> 100	580
PER	0 - 1	2 à 10	11 à 50	> 50	175



TABLEAU 32 : CONTRIBUTIONS RELATIVES (°/°°) DES QUATRE PREMIERS  
FACTEURS DE L'ANALYSE DES CORRESPONDANCES A L'INERTIE  
DES VARIABLES "PARAMETRE HYDROLOGIQUE".

Variable	Facteur I	Facteur II	Facteur III	Facteur IV
TE 1	33	84	3	4
TE 2	1	12	5	112
TE 3	2	7	26	2
TE 4	51	69	27	91
SA 1	35	7	17	32
SA 2	32	7	7	50
SA 3	12	0	3	64
SA 4	57	19	0	39
DE 1	125	1	12	50
DE 2	0	5	10	43
DE 3	19	8	1	0
DE 4	48	38	1	0
SE 1	15	61	0	29
SE 2	9	3	76	7
SE 3	5	0	7	1
SE 4	1	80	32	75
MS 1	2	43	5	98
MS 2	0	0	26	10
MS 3	25	4	1	46
MS 4	23	82	5	35
NI 1	41	57	11	10
NI 2	45	27	1	3
NI 3	25	21	23	38
NI 4	70	7	60	3
NA 1	44	103	15	23
NA 2	16	13	5	7
NA 3	6	9	73	5
NA 4	67	13	47	18
PD 1	5	0	114	4
PD 2	5	9	1	14
PD 3	7	0	16	3
PD 4	9	8	57	16
SI 1	36	8	25	23
SI 2	13	0	62	5
SI 3	3	24	31	3
SI 4	23	2	61	31
NP 1	22	115	1	2
NP 2	1	2	14	4
NP 3	4	42	36	1
NP 4	63	10	83	0

88 (35 à Gravelines, 38 dans le port de Dunkerque, 15 à Paluel). Les paramètres hydrologiques retenus sont : température, salinité, densité, profondeur de disparition du disque de Secchi, matières en suspension, nitrites, nitrates, phosphates, silicates, rapport  $\text{NO}_3/\text{PO}_4$  (les mesures de pH, d'oxygène dissous et d'ammoniac étaient trop peu nombreuses pour que nous puissions tenir compte de ces paramètres).

Les abréviations utilisées pour la représentation des points-paramètres et des points-espèces sont indiquées dans le tableau 30.

#### b - Résultats - Discussion

Les valeurs propres et pourcentages de variance associés aux quatre premiers vecteurs propres sont :

Vecteur propre	Valeur propre	% variance	% variance cumulée
V1	0,0640	34,44	34,44
V2	0,0306	16,44	50,88
V3	0,0290	15,58	66,46
V4	0,0102	5,50	71,96

Plus de la moitié de la variance (66 %) est expliquée par les trois premiers vecteurs propres. Nous nous limiterons à l'étude de la projection des points-espèces et des points-paramètres dans les plans formés par les quatre premiers axes pris deux à deux (fig. 146 à 148).

Le tableau 32 présente les contributions relatives des quatre premiers facteurs à l'inertie des variables-paramètres hydrologiques.

Les variables hydrologiques à l'inertie desquelles la contribution du facteur I est plus grande sont : la densité (19,2 %), les nitrites (18,1 %), la salinité (13,6 %) et les nitrates (13,3 %). L'axe I oppose les eaux à fortes densité et salinité, et à faibles teneurs en sels azotés, aux eaux de moindre densité dont les taux de sels azotés sont importants et dont le rapport N/P est élevé.

Les variables hydrologiques à l'inertie desquelles la contribution du facteur II est plus importante sont la température (17,2 %), le rapport N/P (16,9 %), la transparence de l'eau (14,4 %), les nitrates (13,8 %), les matières en suspension (12,9 %) et les nitrites (11,2 %).

L'axe II oppose les eaux froides, à forte turbidité, aux eaux riches en sels azotés, à rapport N/P bas, peu turbides et chaudes.

La contribution à l'inertie des variables hydrologiques du facteur III est maximale pour les variables phosphates (18,8 %), silicates (17,9 %), nitrates (14,0 %), rapport N/P (13,4 %) et transparence de l'eau (11,5 %). L'axe III oppose les échantillons riches en sels nutritifs à ceux qui sont pauvres en phosphates et dont le rapport N/P est élevé.

On retrouve dans le plan des axes I et II de l'analyse des correspondances l'opposition entre la quantité de matières en suspension et la transparence de l'eau que nous avons observée à Gravelines : les points-paramètres hydrologiques MS 1 et SE 4 sont voisins, ainsi que les points MS 4 et SE 1.

Lors de la représentation des points-paramètres hydrologiques et des points-espèces dans les plans des axes pris deux à deux, nous n'avons pas reporté les points les moins significatifs (contribution relative de chacun des facteurs considérés à l'inertie de la variable  $\leq 5\%$ ) afin de ne pas alourdir les figures.

#### *Paralia sulcata* .....

*Paralia sulcata* est l'espèce la mieux représentée dans l'espace des sept premiers facteurs de l'analyse des correspondances. L'inertie de cette espèce est expliquée en majeure partie par les facteurs I (11,7 %) et II (13,1 %) :

	Contribution relative (‰)	
	Facteur I	Facteur II
PAR 1	60	2
PAR 2	15	35
PAR 3	32	49
PAR 4	10	45

*P. sulcata* est plus abondante dans les eaux froides où le taux de matières en suspension est important (plan des axes I et II, fig. 146). Ceci confirme la relation que nous avons évoquée au chapitre II, selon laquelle la quantité de *P. sulcata* augmente en période de forte agitation de l'eau, donc de forte turbidité. Le plus grand nombre de *P. sulcata*

en période froide peut résulter de son optimum thermique bas (cf. chp. II), mais aussi de l'élévation de turbidité pendant l'hiver (les points TE 1 et MS 4 sont toujours proches l'un de l'autre).

*P. sulcata* est absente dans les eaux de faible densité. De fortes quantités de sels azotés ne suffisent pas à assurer à elles seules son développement.

*Thalassiosira decipiens*  
.....

*Thalassiosira decipiens* tolère de faibles salinités : elle fait partie des espèces les plus abondantes en Mer d'Aral où la salinité est voisine de 10 ‰ (ZENKEVITCH, 1963, in GUILLARD et KILHAM, 1977). Sur les côtes du Golfe du Mexique, les blooms (plus de 23  $\mu$ /ml) ont lieu à des salinités de 32,4 et 34,3 ‰ (SAUNDERS et GLENN, 1969).

La contribution des premiers facteurs de l'analyse des correspondances à l'inertie de *Th. decipiens* est faible ; elle est maximale pour les facteurs II (4,4 %) et IV (4,7 %) :

	Contribution relative (‰)		
	Facteur I	Facteur II	Facteur IV
THD 1	7	24	1
THD 2	0	3	9
THD 3	0	17	1
THD 4	27	0	36

Cette espèce est abondante quand la densité de l'eau est faible (fig. 146, axe I, et fig. 148, axe IV), ce qui correspond à une température de l'eau élevée. Un rapport N/P très important ne semble pas lui être défavorable, bien que sa croissance dans les zones que nous avons étudiées soit limitée (360  $\mu$ /cm<sup>3</sup> au maximum) comparée à celle d'autres espèces.

*Th. decipiens* semble préférer les eaux moins salées : le point THD 4 est plus proche sur l'axe I des points SA 1 et SA 2 (S = 29,4 à 32,5 ‰) que des points SA 3 et SA 4.

On ne peut définir le *preferendum* thermique de *Th. decipiens* puisque cette espèce, qui est abondante dans une eau de température élevée (axe I), est également absente dans des eaux appartenant à la même classe de température (axe II). Son développement dans les eaux chaudes pourrait

être dans ce dernier cas limité par l'absence de sels azotés (qui entraîne un rapport N/P bas).

*Thalassiosira nordenskioldii*  
.....

Selon JITTS et coll. (1964), *Thalassiosira nordenskioldii* se multiplie d'une température inférieure à 0° C jusqu'à 19° C, la température optimale se situant de 11,5 à 14° C. Elle ne supporte pas les forts éclaircements, même à basse température, et a des exigences lumineuses inférieures à celles des autres espèces testées par ces auteurs. Les conclusions de DURBIN (1974) sont proches de celles de JITTS et coll. (1964): par rapport aux autres espèces cultivées par DURBIN, *Th. nordenskioldii* se développe bien à 0° C et à de faibles intensités lumineuses ; sa croissance est possible jusqu'à 15° C; à 18° C elle meurt quel que soit l'éclaircissement. VARGO (1976) ne remarque pas de corrélation entre le taux de croissance de *Th. nordenskioldii* et la température pendant le bloom hivernal et printanier dans la Baie de Narragansett en 1973. Selon cet auteur le manque de corrélation entre la croissance de *Th. nordenskioldii* et la température, ainsi que son développement en réponse aux taux d'azote et de silicates, indiqueraient que les sels nutritifs peuvent être plus importants que la température dans le contrôle de son taux de croissance. VARGO (1976) indique d'autre part que cette espèce s'adapte à des taux de sels nutritifs assez bas ( $\text{NO}_3 + \text{NO}_2 + \text{NH}_4$  ;  $\text{SiO}_3$ ). Les expériences de PAASCHE (1975) montrent effectivement que *Th. nordenskioldii* a une croissance quasi-maximale à partir de 0,3  $\mu\text{atg Si/l}$ . La disparition de *Thalassiosira nordenskioldii* au printemps ne serait donc pas due à l'augmentation de température, ce qui est confirmé par son développement à Gravelines à la fin du mois d'août 1975, dans une eau de température élevée (19° C, température limite trouvée par JITTS et coll., 1964) ni par la diminution des concentrations de sels nutritifs.

Celui des quatre premiers facteurs calculés par l'analyse des correspondances qui a la contribution la plus grande à l'inertie de *Th. nordenskioldii* est le facteur III (5,7 %) :

	Contribution relative (‰)
THN 1	9
THN 2	7
THN 3	29
THN 4	12

L'analyse des correspondances ne met pas en évidence d'influence prépondérante de la température sur *Th. nordenskioldii*. Un certain développement de cette espèce (100 à 1000  $\mu\text{/cm}^3$  : THN 3) semble pourtant se produire à des températures de 12 à 17° C (TE 3) (fig. 147), températures qui coïncident avec l'optimum trouvé par JITTS et coll. (1964). La croissance de *Th. nordenskioldii* a lieu alors que la transparence de l'eau est plutôt faible (SE 2 : 1,5 à 2,1 m). Cette espèce semble exiger peu de phosphates puisqu'elle croît quand le milieu contient de faibles quantités de ces sels nutritifs (0 à 0,5  $\mu\text{atg/l}$ ). L'absence de *Th. nordenskioldii* ne résulte pas d'une limitation de son développement par les teneurs en silicates puisque sa densité cellulaire est maximale (THN 3 et THN 4 : 100 à 1300  $\mu\text{/cm}^3$ ) quand les taux de silicates sont faibles (SI 1 et SI 2 : 0 à 7  $\mu\text{atg/l}$ ). D'ailleurs les concentrations en silicates relevées au cours de notre étude sont presque toujours supérieures à la limite trouvée par PAASCHE (1975).

*Thalassiosira rotula*  
.....

Lors des expériences de BROCKMANN et coll. (1977 ; qui consistent à isoler de l'eau de mer, prélevée près d'Helgoland, dans des enceintes placées dans le port d'Helgoland) *Thalassiosira rotula* se développait à 16-19° C. Près du port de Vigo (Espagne) MARGALEF (1974) a relevé les plus grandes quantités de *Th. rotula* de 12 à 16° C, le maximum étant à 16° C.

Il ne nous est pas possible de comparer nos résultats à ceux de BROCKMANN et coll. et de MARGALEFF : l'analyse des correspondances ne met pas en évidence de relation privilégiée entre l'abondance de *Th. rotula* et les paramètres hydrologiques.

*Skeletonema costatum*  
.....

Dans l'aire de dilution du Rhône, BLANC et LEVEAU (1970) ont observé de 7.000 à 75.000  $\mu\text{/ml}$  de *Skeletonema costatum* le 16 mai 1979 (plus de 95 % du nombre de cellules). Ces auteurs attribuent ce phénomène à la grande richesse en sels nutritifs de cette zone (jusqu'à 6,2  $\mu\text{atg/l}$  de phosphates et 29,3  $\mu\text{atg/l}$  de nitrates), mais aussi à la faible salinité : 15 à 30 ‰. En effet la salinité optimale pour *Sk. costatum* en culture se situe entre 14 et 20 ‰ (CURL et Mc LEOLD, 1961 ; BRAARUD, in BLANC et LEVEAU, 1970). De même GRØNTVED (1952) avait relié la plus forte abon-



dance de *Sk. costatum* à la présence d'eaux côtières de faible salinité. Cette espèce est présente toute l'année dans le Golfe du Mexique où la salinité varie de 24 à 35 ‰ (SAUNDERS et GLENN, 1969).

VARGO (1976) a remarqué une croissance rapide de *Sk. costatum*, dans la Baie de Narragansett, dans des eaux de faible température et pauvres en sels nutritifs ; il pense que c'est la combinaison de ces deux facteurs qui détermine le taux de croissance de cette espèce. CURL et Mc LEOLD (1961), JITTS et coll. (1964) et JØRGENSEN (1968) ont trouvé les températures limites suivantes pour le développement de *Sk. costatum* : 6 à > 28° C, 5 à > 30° C, < 7 à > 20° C ; les températures optimales se situent entre 16 et 26 ° C, 20 et 30° C, au dessus de 20° C. *Sk. costatum* a été rencontrée dans des eaux de températures variées : 4 à 5° C en Mer du Nord, 6,5° C à Gravelines le 15 février 1977, 9,5° C en avril à Roscoff (GRALL, 1972), 12° C dans le Golfe du Maine (SVERDRUP, 1946, in RAYMONT, 1963), 13 et 15° C près du port de Vigo (MARGALEF, 1974), 20° C le 20 août 1976 à Gravelines, 21,5° C dans le Golfe du Mexique en avril (SAUNDERS et GLENN, 1969). VARGO (1976) a noté que le taux de croissance des populations naturelles de *Sk. costatum* de la Baie de Narragansett augmentait avec la température de 4 à 16° C. Cultivée à 20° C, *Sk. costatum* montre un arrêt de croissance quand on l'expose à une température supérieure à 35° C ; il y a inhibition de son pouvoir photosynthétique à partir de 34° C (HIRAYAMA et HIRANO, 1970). Nous l'avons trouvé en grand nombre (40.000  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) dans le port de Dunkerque le 5 août 1977, dans une eau à 21° C ; mais en surface, où la température était de 22,4° C, nous n'avons compté que 30.000  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ .

Comparée aux autres espèces citées par EPPLEY (1977), *Sk. costatum* montre des besoins en nitrates et en silicates faibles. Lors des expériences de HARRISON et DAVIS (1979), elle dominait quand il y avait limitation du flux d'azote (rapport N/Si dans le milieu nutritif faible).

La contribution des quatre premiers facteurs de l'analyse des correspondances à l'inertie de *Sk. costatum* est maximale pour les facteurs I (11,8 %) et II (8,1 %).

	Contribution relative (‰)	
	Facteur I	Facteur II
SKC 1	16	69
SKC 2	14	5
SKC 3	43	1
SKC 4	45	6

Les plus fortes quantités de *Sk. costatum* correspondent aux prélèvements à faible densité et à rapport N/P élevé, résultant de grandes concentrations de sels azotés (fig. 146). Cette espèce est absente dans les eaux pauvres en sels azotés, à rapport N/P bas, de grande transparence et chaudes. Les températures supérieures à 17° C ne semblent donc pas lui être favorables ; pourtant les expériences des auteurs cités précédemment montrent une croissance importante à des températures élevées. A 20° C la croissance de *Sk. costatum* est optimale aux faibles intensités lumineuses (CURL et Mc LEOLD, 1961). Aux périodes où l'eau est chaude, l'éclairement est plus intense, d'autant plus que la transparence de l'eau est alors grande : c'est peut-être une intensité lumineuse trop forte qui limite le développement de *Sk. costatum*, puisque nous avons vu que cette espèce a des besoins en sels azotés faibles. Pourtant nous avons signalé son développement début août 1977 dans le port de Dunkerque, période à laquelle on peut supposer que l'intensité lumineuse est importante (on constate cependant une diminution du nombre de cellules en surface, que l'on peut attribuer à un trop fort éclairement à ce niveau).

La croissance de *Sk. costatum* a plutôt lieu lors des périodes de plus faible salinité (SA1 et SA2 : 29,4 à 32,5 ‰).

*Cerataulina pelagica*  
.....

Dans le Golfe du Mexique *Cerataulina pelagica* est plus fréquente dans les eaux de salinité 32 à 35 ‰ et de température 27 à 31° C. En Mer du Nord ses maxima surviennent à 8 et 17° C. A Gravelines son plus fort développement a été observé à 15° C.

La contribution des quatre premiers facteurs de l'analyse des correspondances à l'inertie de *C. pelagica* est maximale pour le facteur III (8,6 %).

	Contribution relative (‰)
CEP 1	16
CEP 2	2
CEP 3	65
CEP 4	3

L'abondance de *C. pelagica* dans notre étude paraît être peu liée à la température (bien que cette espèce semble être plus nombreuse (CEP 3 : 100 à 1000  $\mu\text{cm}^3$ ) quand la température se situe entre 12 et 17° C), mais plutôt à un rapport N/P élevé, résultant essentiellement d'un faible taux de phosphates, et dans une moindre mesure d'une forte concentration de nitrates (fig. 147).

La salinité ne paraît pas avoir une grande influence sur le développement de *C. pelagica*.

*Chaetoceros curvisetum + Ch. debile*  
 .....

MARSHALL (1978) classe *Chaetoceros curvisetum* et *Ch. debile* parmi les espèces d'eaux froides ( $T^\circ < 10^\circ \text{C}$ ) ; pourtant *Ch. curvisetum* fait partie des Diatomées qui constituent en majeure partie le bloom de fin septembre 1976 à Banyuls, alors que la température de l'eau est supérieure à 14° C (DESCOLAS-GROS, 1978), et elle est abondante dans le Golfe du Mexique dans des eaux de 21 à 30° C (SAUNDERS et GLENN, 1979).

La représentation de *Ch. curvisetum + Ch. debile* dans les plans déterminés par les premiers axes de l'analyse des correspondances est médiocre. Celui des quatre premiers facteurs qui contribue le plus à l'inertie de *Ch. curvisetum + Ch. debile* est le facteur III (7,6 %) :

	Contribution relative (‰)
CHC 1	1
CHC 2	16
CHC 3	53
CHC 4	6

*Ch. curvisetum + Ch. debile* présentent la même abondance que *C. pelagica* (CHC 3 : 100 à 100  $\mu\text{cm}^3$ ), dans des conditions de milieu identiques (fig. 147) : ces espèces semblent avoir des besoins en phosphates faibles et peuvent se développer dans un milieu où le rapport N/P est élevé ( $> 24$ ). Elles semblent atteindre des densités moyennes quand la température de l'eau se situe entre 12 et 17° C. Etant donné la variabilité des données exposées ci-dessus et le fait que nos comptages considèrent non pas une espèce, mais un groupe de deux espèces, il est difficile de préciser le *preferendum* thermique de *Ch. curvisetum*.

*Chaetoceros didymum*  
.....

*Chaetoceros didymum* est bien représentée dans les plans définis par l'analyse des correspondances. Les facteurs qui contribuent le plus à son inertie sont les facteurs I (15,6 %) et III (14,8 %)

	Contribution relative (‰)	
	Facteur I	Facteur III
CHD 1	50	0
CHD 2	51	43
CHD 3	13	20
CHD 4	42	85

L'abondance de *Ch. didymum* est maximale ( $> 1000 \text{ } \mu\text{/cm}^3$ ) quand le rapport N/P est grand (fig. 147) (ce qui résulte à la fois de la pauvreté en phosphates du milieu et de sa richesse en nitrates) et quand la densité est faible. Sa croissance est favorisée dans les eaux moins salées (29,4 à 32,5 ‰) et chaudes (17 à 23° C).

*Ch. didymum* est absente des eaux les plus froides et les plus salées, pauvres en sels azotés et en silicates.

*Chaetoceros sociale*  
.....

D'après les résultats de KAYSER (1971) *Chaetoceros sociale* peut croître d'une température inférieure à 6° C à une température supérieure à 26° C, l'optimum étant 18° C.

La représentation de *Ch. sociale* dans l'espace des premiers facteurs de l'analyse des correspondances n'est pas très bonne. Le facteur qui contribue le plus à l'inertie de cette espèce est le facteur III (5,8 %) :

	Contribution relative (‰)
CHS 1	0
CHS 2	8
CHS 3	49
CHS 4	1

Comme *Ch. curvisetum* + *Ch. debile*, *Ch. sociale* peut être abondante (CHS 3 : 500 à 5000  $\mu\text{cm}^3$ ) dans un milieu pauvre en phosphates où le rapport N/P est grand. (fig. 147). La température semble être alors souvent comprise entre 12 et 17° C, ce qui est un peu plus faible que l'optimum thermique trouvé par KAYSER (1971). *Ch. sociale* semble être peu sensible aux variations de salinité que nous avons observées.

*Leptocylindrus danicus*  
.....

*Leptocylindrus danicus* est fréquente et abondante en Méditerranée (cf. différents auteurs mentionnés au chp. II) ; dans le Golfe du Mexique elle atteint une densité de 650  $\mu\text{cm}^3$  dans une eau de température proche de 29° C (SAUNDERS et GLENN, 1969). Au voisinage du port de Vigo, MARGALEF (1974) a relevé les plus grandes concentrations de *L. danicus* dans des eaux de température 15,6 à 18,2° C.

Par rapport aux autres Diatomées cultivées par EPPLEY et coll. (1969) *L. danicus* a des besoins en nitrates moyens.

Le facteur qui contribue le plus à l'inertie de *L. danicus* est le facteur II (8,6 %) :

	Contribution relative (°/°°)
LEP 1	22
LEP 2	5
LEP 3	49
LEP 4	10

Cette espèce est un peu plus abondante (LEP 3 : 11 à 50  $\mu\text{cm}^3$ ) quand la température et la transparence de l'eau sont élevées (fig. 148). Elle ne semble pas avoir de besoins importants en nitrites et en nitrates puisque les concentrations de sels nutritifs sont alors faibles.

La contribution du facteur IV est la plus grande (17°/°°) pour l'inertie de la variable LEP 4 (> 50  $\mu\text{cm}^3$ ). La position du point-espèce LEP 4 sur l'axe IV est plus proche de celle du point-paramètre TE 4 que de celle des autres points-paramètres TE ; ceci confirme la préférence de cette espèce pour les eaux chaudes, que nous avons évoquée au début de ce paragraphe et qui est suggérée par la position du point-espèce LEP 3 sur l'axe II.

*Rhizosolenia delicatula*  
.....

A Roscoff les concentrations de *Rhizosolenia delicatula* sont maximales à 12-13° C et quand la salinité est de 35,0 ‰ (GRALL, 1972). A Gravelines la poussée de *Rh. delicatula* a lieu à 14° C. Près du port de Vigo cette espèce apparaît à des températures proches de 15° C, mais elle y est peu nombreuse (MARGALEF, 1974). Les développements de *Rh. delicatula* se produisent dans des eaux de salinité 26 à 37 ‰ (données recueillies par GRALL, 1972).

*Rh. delicatula* est l'une des seules espèces, parmi les Diatomées présentes en Manche en juin 1976, qui peuvent croître dans des conditions qui favorisent les Dinoflagellés (HOLLIGAN et HARBOUR, 1977).

La contribution à l'inertie de *Rh. delicatula* est meilleure pour les facteurs II (9 %) et IV (6 %) :

	Contribution relative (‰)	
	Facteur II	Facteur IV
RDE 1	24	31
RDE 2	0	3
RDE 3	8	22
RDE 4	58	4

Comme le suggèrent HOLLIGAN et HARBOUR (1977), *Rh. delicatula* a effectivement de faibles exigences en sels nutritifs puisqu'elle est abondante quand le milieu est pauvre en sels azotés (le rapport N/P est alors faible) (fig. 148). Comme *L. danicus*, cette espèce se développe mieux quand la température est élevée (TE 4 : 17 à 23° C) et que la transparence de l'eau est grande. Le *preferendum* thermique qui apparaît à partir de l'analyse des correspondances a une valeur plus grande que celle que GRALL (1972) a déterminée à Roscoff.

*Rh. delicatula* est absente dans les eaux de faibles températures et de salinités moyennes (32,5 à 33,75 ‰).

*Rhizosolenia setigera + Rh. pungens*  
.....

D'après BRUNEL (1962 ; in WAHLQUIST, 1966) l'optimum thermique de *Rh. setigera* se situe à 3,5° C et son optimum halin à 17,2 ‰, tandis que WOODMANSEE (1963) précise que, sur la côte du Mississippi (U.S.A.), elle préfère des salinités de 21 à 25 ‰. Selon l'étude de WAHLQUIST (1966) *Rh. setigera* a été observée dans des eaux de température allant de 2 à 32° C et de salinité comprise entre 1,5 et 37,5 ‰. La rareté de *Rh. setigera* à Gravelines pourrait résulter des trop fortes valeurs de la salinité.

La contribution des premiers facteurs mis en évidence par l'analyse des correspondances à l'inertie de *Rh. setigera + Rh. pungens* est faible. Elle est maximale pour l'axe IV (4,9 %) :

	Contribution relative (‰)
RSE 1	14
RSE 2	10
RSE 3	1
RSE 4	24

*Rh. setigera + Rh. pungens* sont plus abondantes dans les eaux chaudes (fig. 148). En fait cette caractéristique s'applique surtout à *Rh. pungens* puisque c'est elle que nous avons observée le plus fréquemment durant notre étude. Ceci explique que l'optimum thermique qui semble se dégager de l'analyse des correspondances pour *Rh. setigera + Rh. pungens* est très différent de celui trouvé par BRUNEL (1962) pour *Rh. setigera*.

*Rhizosolenia shrubsolei*  
.....

Les facteurs qui contribuent le plus à l'inertie de *Rhizosolenia shrubsolei* sont les facteurs II (8,2 %) et IV (8,8 %) :

	Contribution relative (‰)	
	Facteur II	Facteur IV
RSH 1	4	37
RSH 2	9	32
RSH 3	43	16
RSH 4	26	3

Comme *L. danicus* et *Rh. delicatula*, *Rh. shrubsolei* est plus abondante quand la température de l'eau est élevée et que sa transparence est maximale (fig. 148). De faibles taux de nitrites et de nitrates (entraînant un rapport N/P bas) ne semblent pas gêner sa croissance, qui est cependant limitée dans les zones que nous avons étudiées (au maximum 345  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ). La forte transparence de l'eau n'est pas le seul facteur qui favorise la croissance de *Rh. shrubsolei* puisque cette espèce peut également être absente quand la profondeur de disparition du disque de Secchi est grande. D'autre part cette espèce peut aussi être peu nombreuse quand l'eau est chaude. C'est peut-être la combinaison de ces deux facteurs (chaleur et transparence de l'eau) qui détermine la croissance de *Rh. shrubsolei*, celle-ci n'étant possible que quand ils ont tous deux des valeurs élevées.

*Rhizosolenia stolterfothii*  
.....

*Rhizosolenia stolterfothii* fait partie des quelques Diatomées présentes en Manche en juin 1976 qui peuvent croître dans des conditions qui favorisent les Dinoflagellés (HOLLIGAN et HARBOUR, 1977). D'après les expériences d'EPPLEY et coll. (1969), *Rh. stolterfothii* a des besoins en nitrates moyens quand on la compare aux autres espèces de Diatomées testées. SHERER (1965) l'a observée dans des eaux dont la température variait de 10,5 à 33,5° C et dont la salinité se situait entre 35,5 ‰ et 38,4 ‰. Son développement maximal près du port de Vigo (MARGALEF, 1974) a lieu dans des eaux de température 15,6 et 16,4 ° C.

La contribution des facteurs déterminés par l'analyse des correspondances à l'inertie de *Rh. stolterfothii* est faible : 4,7 % pour le facteur II, 5,0 % pour le facteur III, 5,9 % pour le facteur IV :

	Contribution relative (‰)		
	Facteur II	Facteur III	Facteur IV
RST 1	3	15	16
RST 2	6	10	0
RST 3	14	17	28
RST 4	24	8	15

*Rh. stolterfothii* se développe principalement aux températures supérieures à 17° C (fig. 148). Le point-espèce RST 3 (11 à 100  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ ) est très proche du point paramètre TE 4 sur les axes II et IV. Comme pour les autres espèces de *Rhizosolenia*, la pauvreté du milieu en sels azotés ne semble pas nuire à la croissance de *Rh. stolterfothii*.



*"Fragilaria"*  
.....

Les facteurs I et II sont ceux qui contribuent le plus à l'inertie de "*Fragilaria*" (respectivement : 10,5 % et 11,4 %) :

	Contribution relative (‰)	
	Facteur I	Facteur II
FRA 1	59	6
FRA 2	9	39
FRA 3	22	27
FRA 4	15	42

Les points représentatifs des grands effectifs de cette espèce dans le plan des axes I et II (fig. 146) sont proches de ceux de *P. sulcata*. La présence de "*Fragilaria*" est liée à celle des matières en suspension et d'une eau froide à forte densité.

*Asterionella japonica*  
.....

Les expériences de KAIN et FOGG (1958) montrent que la croissance d'*Asterionella japonica* est possible à des températures de moins de 10° C à 30° C et à des salinités de 15 ‰ à plus de 40 ‰ ; l'optimum thermique se situe entre 20 et 25° C, l'optimum halin à 30 ‰. La croissance maximale d'*A. japonica* a lieu à Gravelines à 20° C et 34,2 ‰. Dans le Golfe du Mexique, SAUNDERS et GLENN (1969) l'ont observée à des températures de 29 à 30° C, et à des salinités de 31 à 35 ‰. Sur les côtes ouest de Floride les concentrations les plus fortes d'*A. japonica* ont été relevées dans des eaux de température 13 à 16° C et de salinité 15,6 à 24,6 ‰ (SAUNDERS, 1964).

Selon EPPLEY et coll. (1969), les besoins en nitrates d'*A. japonica* sont faibles par rapport à ceux des autres Diatomées qu'ils ont testées (mais cependant supérieurs à ceux de *Sk. costatum*).

*A. japonica* n'est pas très bien représentée dans l'espace défini par les premiers facteurs mis en évidence par l'analyse des correspondances. Le facteur IV est celui qui contribue le plus à son inertie (9,9 %) :

	Contribution relative (‰)
ASJ 1	57
ASJ 2	7
ASJ 3	14
ASJ 4	21

Le point-espèce ASJ 1 et le point-paramètre MS 1 sont très proches l'un de l'autre sur l'axe IV (fig. 148) : ceci nous amène à penser que l'absence de cette espèce est liée à celle des matières en suspension, ce qui semble être confirmé par la proximité des points ASJ 3 et MS 4. Le développement d'*A. japonica* aurait plutôt lieu en période chaude, ce qui correspond à l'optimum thermique défini par KAIN et FOGG (1958). Cette espèce semble peu sensible aux variations de salinité rencontrées au cours de notre étude.

*Thalassionema nitzschioides*  
.....

*Thalassionema nitzschioides* ne semble pas être affectée par de faibles salinités puisqu'elle est présente toute l'année dans le Sound où la salinité est le plus souvent comprise entre 10 et 30 ‰ (EDLER, 1977).

La contribution des premiers facteurs déterminés par l'analyse des correspondances à l'inertie de *Th. nitzschioides* est plus importante pour les facteurs II (8,1 %) et IV (7,0 %) :

	Contribution relative (‰)	
	Facteur II	Facteur IV
TAN 1	22	24
TAN 2	10	1
TAN 3	29	45
TAN 4	20	0

Les points-espèces ASJ 3 et TAN 3 sont voisins dans le plan des axes II et IV (fig. 148) ainsi que les points ASJ 1 et TAN 1 : comme celle d'*A. japonica*, la présence de *Th. nitzschioides* serait liée aux matières en sus-

pension, mais *Th. nitzschioides* serait plus abondante dans les eaux froides. L'analyse des correspondances ne met pas en évidence d'influence de la salinité sur la croissance de *Th. nitzschioides*.

*Nitzschia closterium*  
.....

La représentation de *Nitzschia closterium* dans l'espace des premiers facteurs définis par l'analyse des correspondances n'est pas très bonne. La contribution des quatre premiers facteurs à l'inertie de *N. closterium* est faible, la meilleure étant celle de l'axe III (4,5 %) :

	Contribution relative (‰)
NIC 1	17
NIC 2	0
NIC 3	10
NIC 4	18

*N. closterium* semble plus abondante dans les eaux riches en sels nutritifs (fig. 147) ; elle serait plus sensible à la pauvreté du milieu en phosphates qu'aux faibles concentrations de sels azotés et de silicates.

*Nitzschia delicatissima + Nitzschia seriata*  
.....

MARSHALL (1978) classe *Nitzschia delicatissima* parmi les espèces d'eaux de température supérieure à 18°C sur la côte est des U.S.A.. D'après l'étude de HASLE (1972) *N. seriata* a été trouvée dans des eaux de température - 1°C à 10°C. Près du port de Vigo, MARGALEF (1974) a observé la quantité maximale de *N. delicatissima + N. seriata* dans une eau de température 15°C.

Parmi les premiers facteurs mis en évidence par l'analyse des correspondances, c'est le troisième qui contribue le plus à l'inertie de *N. delicatissima + N. seriata* (4,9 %) :

	Contribution relative (‰)
NID 1	21
NID 2	27
NID 3	0
NID 4	1

D'après les résultats de l'analyse des correspondances une eau chaude ne semble pas constituer un facteur favorable pour le développement de *N. delicatissima* + *N. seriata* : les points-espèces NID 1 et NID 2 sont proches des points-paramètres TE 4 et TE 3 sur l'axe III (fig. 147).

Nous avons également introduit dans notre étude les données concernant les principaux Péridiniens, en nous limitant au niveau générique.

Genre *Gymnodinium*  
.....

La représentation du genre *Gymnodinium* dans l'espace des premiers facteurs définis par l'analyse des correspondances est médiocre. Les quatre premiers facteurs contribuent pour moins de 3 % chacun à l'inertie du genre *Gymnodinium*. Il est donc difficile de déterminer ses *preferendums*. Ce genre comprend plusieurs espèces dont les exigences sont sans doute différentes.

Genre *Prorocentrum*  
.....

Dans les échantillons que nous avons pris en compte pour faire l'analyse des correspondances, le genre *Prorocentrum* comprend essentiellement l'espèce *P. micans*.

La température optimale pour *P. micans* en culture est de 20° C (BRAARUD, 1961 ; in WANDSCHNEIDER, 1979). Cette température a été notée à Gravelines le 20 août 1976 (moyenne de 20,04° C  $\pm$  0,20 sur la radiale) mais nous n'avons pas observé de développement de *P. micans* à cette date. D'après les résultats des cultures de BRAARUD (1951), la salinité optimale pour la croissance de *P. micans* est de 15 à 25‰ ; pour KAIN et FOGG (1960) elle est de 24 à 36‰ ; celle qu'ont trouvée MAHONEY et MC LAUGHLIN (1979) est du même ordre : 27 à 36‰.

Dans le Golfe du Mexique *P. micans* a été observée dans des eaux de température 14 à 32° C et de salinité 24,4 à 37,2‰ (STEIDINGER et WILLIAMS, 1970). La quantité de *P. micans* relevée par MARGALEF (1974) près du port de Vigo était maximale dans une eau de température 15,1° C.

La contribution des facteurs I, III et IV de l'analyse des correspondances à l'inertie du genre *Prorocentrum* est de 10,5%, 10,3% et 8,6% :

	Contribution relative (‰)		
	Facteur I	Facteur III	Facteur IV
PRO 1	30	6	13
PRO 2	5	16	5
PRO 3	29	47	2
PRO 4	41	34	66

La principale caractéristique du genre *Prorocentrum* est qu'il est abondant dans les eaux chaudes à faible densité, (fig. 147-148), ce qui correspond à l'optimum thermique observé par BRAARUD (1961). Ce genre est absent des eaux les plus salées. Sa croissance ne semble pas particulièrement liée à la valeur du rapport N/P.

#### Genre *Peridinium*

.....

Le facteur I est celui des premiers facteurs déterminés par l'analyse des correspondances qui contribue le plus à l'inertie du genre *Peridinium* (8,4 %) :

	Contribution relative (‰)
PER 1	21
PER 2	15
PER 3	39
PER 4	9

Le genre *Peridinium* est présent dans des eaux de faible densité à fortes teneurs en sels azotés, dans lesquelles le rapport N/P est grand.

### 3 - CONCLUSION

L'analyse en composantes principales des données hydrobiologiques du milieu littoral de la région de Dunkerque montre une opposition entre les eaux riches en sels nutritifs (silicates et nitrates essentiellement) et les eaux chaudes d'une part, et entre les eaux à fortes concentrations de chlorophylle et de phéopigments et les eaux les plus salées d'autre part. Le cycle saisonnier est marqué par une période printanière riche en chlorophylle et en phéopigments, tandis que la salinité

est faible ; les taux de sels nutritifs et la température sont variables. L'été est une saison chaude et pauvre en sels nutritifs. En automne, puis en hiver, tandis que la température de l'eau diminue le milieu s'enrichit en sels nutritifs.

Une autre caractéristique de cette zone littorale mise en évidence par l'analyse mathématique est la plus grande richesse en phéopigments, chlorophylle, et sels nutritifs des points côtiers par rapport aux stations situées plus au large.

Le site de Gravelines se distingue de celui de Dunkerque par de plus grandes concentrations de phéopigments. Malgré cela les deux sites ont des caractères très voisins. Il sont très proches l'un de l'autre géographiquement et le courant amène rapidement en face de Dunkerque les masses d'eau qui transitent par Gravelines. Ces masses d'eau ne sont pas soumises à des perturbations importantes entre Gravelines et Dunkerque (il n'y a pas d'arrivées d'eaux telluriques entre les deux zones d'études). Les eaux du port de Dunkerque peuvent cependant, en période de jusant, parvenir jusqu'aux points côtiers échantillonnés par le R.N.O..

L'analyse des correspondances effectuée à partir des données hydrologiques et des abondances des espèces principales, sur les sites côtiers de Gravelines et de Paluel et dans le port de Dunkerque, met surtout en évidence la présence d'espèces liée à la remise en suspension des particules : "*Fragilaria*", *Paralia sulcata*, et *Thalassionema nitzschioides* dans les eaux froides, et *Asterionella japonica* qui semble préférer les eaux chaudes. *Chaetoceros didymum*, *Leptocylindrus danicus*, *Prorocentrum micans* et les espèces du genre *Rhizosolenia* (sauf *Rh. setigera*) ont un *preferendum* thermique élevé (> 17° C). Celui de *Chaetoceros sociale* et de *Thalassiosira nordenskioldii* est plus bas (entre 12 et 17° C). *Leptocylindrus danicus* et *Rhizosolenia delicatula* semblent préférer les eaux les plus claires, ce qui correspond en période chaude aux plus forts éclaircissements. Au contraire *Thalassiosira nordenskioldii* est plus abondante quand la transparence de l'eau est faible. La salinité, dont les limites de variations sont peu étendues dans notre étude (29,4 à 34,7 ‰), paraît avoir généralement peu d'influence sur la croissance du phytoplancton ; on remarque pourtant un développement plus important de *Chaetoceros didymum*, *Prorocentrum micans*, *Skeletonema costatum*, et de *Thalassiosira decipiens* dans les eaux moins salées. *Leptocylindrus danicus*, *Rhizosolenia delicatula*, *Rhizosolenia shrubsolei* et *Rhizosolenia stolterfothii* montrent des besoins en azote faibles ; *Thalassiosira nordenskioldii* peut croître dans un milieu pauvre en phosphates,

en sels azotés ou en silicates. Plusieurs espèces ne sont pas gênées dans leur croissance quand elles se trouvent dans un milieu dont le rapport N/P ( $\text{NO}_3/\text{PO}_4$ ) est élevé ( $> 24$ ) : *Cerataulina pelagica*, *Chaetoceros curvisetum* + *Ch. debile*, *Chaetoceros didymum*, *Chaetoceros sociale*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira decipiens*. Par contre cela semble être défavorable au genre *Peridinium*.

La tolérance des espèces pré-citées à un rapport N/P élevé peut être à l'origine de leur plus grand développement dans le port de Dunkerque où les sels azotés sont très abondants, ce qui entraîne un déséquilibre dans le rapport des sels nutritifs entre eux. BENON et coll. (1977) signalent que *Skeletonema costatum* peut utiliser les matières organiques dissoutes ; leur concentration est sans doute plus importante dans les bassins portuaires que dans le milieu littoral ; ce pourrait alors être une cause supplémentaire de la multiplication de *Skeletonema costatum* dans le port. Le développement de *Chaetoceros didymum* dans le port pourrait être favorisé par une température maximale plus élevée que dans le milieu littoral ; il en est de même pour *Prorocentrum micans*.

L'analyse des correspondances ne tient pas compte des valeurs du pH. Signalons que, dans les zones que nous avons étudiées, le pH varie dans des limites qui, selon les expériences de KAIN et FOGG (1958a, 1958b, 1960), ne nuisent pas à la croissance du phytoplancton.

Les Diatomées testées par EPPLEY et coll. (1969) ont des constantes de demi-saturation (concentration d'un élément du milieu de culture pour laquelle la croissance des cellules est égale à la moitié de la croissance maximale) comprises entre 0,5 et 5,5  $\mu\text{atg/l}$  d'azote. PAASCHE (1973) relève, également pour des Diatomées, des constantes de demi-saturation allant de 0,8 à 3,4  $\mu\text{atg/l}$  Si. Les valeurs de ces constantes correspondent aux premières classes de taux de sels nutritifs définies pour l'analyse des correspondances : NA 1 (0 à 5  $\mu\text{atg N-NO}_3^-/\text{l}$ ), et SI 1 et SI 2 (0 à 7  $\mu\text{atg Si-SiO}_3^-/\text{l}$ ). La concentration d'azote dans le milieu devrait donc peu intervenir dans la limitation de la croissance des Diatomées dans le cadre de notre analyse ; par contre les silicates pourraient jouer un rôle limitant pour certaines espèces, mais ceci n'est pas mis en évidence par l'analyse mathématique. Les valeurs des taux de sels nutritifs qui ont été utilisées pour l'analyse des correspondances sont des valeurs ponctuelles qui reflètent l'état de la masse d'eau à une date précise. PAASCHE (1975) souligne que le taux de renouvellement des sels nutritifs

est plus important que leur concentration ponctuelle. Etant donné la proximité des arrivées d'eaux telluriques riches en sels nutritifs, du moins à Gravelines et dans le port de Dunkerque, et les apports de sels nutritifs probablement continus à partir du niveau benthique par suite de l'agitation de l'eau dans le milieu littoral, on peut penser que le taux de renouvellement des sels nutritifs dans les zones que nous avons étudiées n'est pas négligeable. Ceci expliquerait le faible rôle que, d'après les résultats de l'analyse des correspondances, les sels nutritifs semblent jouer dans la croissance des principales espèces rencontrées dans les milieux sur lesquels porte cette analyse.

Les données traitées par l'analyse des correspondances concernent les zones peu étendues de Gravelines et de Paluel et une station dans le port de Dunkerque. Les conclusions qui se dégagent de cette analyse ne concordent pas toujours avec celles que nous avons relevées dans la littérature. GUILLARD et KILHAM (1977) signalent l'existence, à l'intérieur d'une même espèce, de races géographiques dont la croissance maximale a lieu dans des conditions différentes : plusieurs espèces de Diatomées prélevées dans des eaux côtières tropicales ont des températures limites de croissance et un optimum thermique plus élevés que les mêmes espèces isolées d'eaux côtières tempérées. JENSEN et coll. (1974) ont montré que *Skeletonema costatum* isolée du Fjord de Sørø, pollué par suite de la présence d'industrie métallurgique, a une tolérance au zinc plus grande que *Skeletonema costatum* isolée du Fjord de Trondheim, modérément contaminé. Il y aurait donc possibilité d'adaptation physiologique des cellules aux conditions de milieu auxquelles elles sont soumises. L'existence de races géographiques pourrait expliquer les différences entre nos résultats et ceux d'autres auteurs. Ainsi *Asterionella japonica*, *Cerataulina pelagica* et *Leptocylindrus danicus* apparaissent dans le Golfe du Mexique (où la température est plus élevée que dans notre région : 14 à 31° C d'août 1965 à juillet 1966) dans des eaux plus chaudes (SAUNDERS et GLENN, 1969) que celles dans lesquelles nous les avons observées. *Asterionella japonica* isolée par KAIN et FOGG (1958) sur la côte sud de l'Angleterre montre un *preferendum* thermique proche de celui que nous avons mis en évidence. D'autre part les espèces ne sont pas seulement sensibles à chaque facteur du milieu pris isolément, mais à l'ensemble des facteurs. Les travaux de CURL et McLEOLD (1961), JITTS et coll. (1964) et DURBIN (1974) montrent par exemple que, pour une valeur donnée de la température, les cellules réagissent différemment selon l'intensité de l'éclairement. Des combinaisons de facteurs diffé-



rentes pourraient également expliquer que nos résultats ne concordent pas avec ceux d'autres auteurs. De plus les expériences *in vitro* et les observations *in vivo* ne tiennent généralement pas compte de l'abondance et de la composition spécifique du zooplancton qui peuvent jouer un rôle non négligeable dans la détermination de la composition spécifique du phytoplancton, selon la taille respective des organismes de chaque niveau trophique (STEELE et FROST, 1977) et selon le régime alimentaire strictement herbivore ou non des zooplanctontes.

## CONCLUSION GENERALE

L'étude que nous avons réalisée constitue une approche de l'hydrologie <sup>bio</sup>phytoplanctonique de la partie méridionale du littoral de la Mer du Nord. L'échantillonnage a porté sur deux milieux proches géographiquement, mais de caractéristiques différentes : le milieu littoral proprement dit, en deux endroits (en face de Gravelines et en face de Dunkerque), et le milieu portuaire de Dunkerque.

Le cycle saisonnier en face de Gravelines et de Dunkerque est marqué principalement (au moins en 1978 d'après les résultats de l'analyse mathématique, mais ceci semble être valable pour les autres cycles considérés) par les variations des sels nutritifs (nitrates et silicates surtout) et de la température d'une part, de la chlorophylle a et des phéopigments, et de la salinité, d'autre part. Les variations de beaucoup de facteurs hydrologiques que nous avons mesurés sont sous la dépendance des arrivées d'eaux telluriques et des fluctuations de la biomasse phytoplanctonique. Ainsi les taux de sels nutritifs diminuent au printemps, alors que les valeurs du pH et du taux d'oxygène dissous sont maximales : c'est effectivement au printemps que nous avons observé la croissance phytoplanctonique optimale. D'autres poussées phytoplanctoniques peuvent néanmoins se produire au début ou à la fin de l'été, et dans une moindre mesure en automne.

Dans le port de Dunkerque, le cycle saisonnier reflète surtout les variations des silicates et de la chlorophylle, des nitrates et des matières en suspension, et de la température, (analyse mathématique réalisée par BRYLINSKI, 1979). Nous avons vu que, comme dans le milieu littoral, la croissance phytoplanctonique est optimale au printemps. Les variations des teneurs en silicates sont inverses de celles de la chlorophylle, ce qui n'est pas le cas pour celles des nitrates. L'excès d'azote dans le port de Dunkerque aboutit à un rapport  $\text{NO}_3/\text{PO}_4$  souvent élevé.

Les taux de sels nutritifs sont suffisants pour que la concentration de chlorophylle a, inférieure à 2  $\mu\text{g}/\text{l}$  en hiver, puisse atteindre 50  $\mu\text{g}/\text{l}$  dans le milieu littoral et dans le milieu portuaire. La croissance du phytoplancton dans le port pourrait être limitée par de faibles taux de phosphates ou de silicates. Dans le milieu littoral, les limites de développement seraient à rechercher dans la faiblesse des teneurs en sels azotés. Mais les sels minéraux ne constituent pas les seules sources de

nourriture assimilable par le phytoplancton. Les cellules peuvent en particulier utiliser l'azote de composés organiques dissous (BERLAND et coll., 1974). La proximité des arrivées d'eaux telluriques devrait être à l'origine d'un enrichissement en matière organique qui pourrait permettre la croissance du phytoplancton. Ces auteurs signalent aussi la possibilité d'excrétion organique azotée par les cellules phytoplanctoniques elles-mêmes. L'absence de sels nutritifs azotés dans le milieu ne signifie donc pas que les cellules manquent totalement d'azote. Les matières organiques peuvent être assimilées par les cellules phytoplanctoniques et par la flore bactérienne. Il existe donc à ce niveau une compétition trophique entre le phytoplancton et les bactéries, qui peut être importante dans les zones côtières, et qui est d'autant plus complexe que chacun de ces groupes excrète dans le milieu des substances qui peuvent être bénéfiques à l'un ou l'autre de ces organismes.

Dans le milieu portuaire, plus calme, où la transparence de l'eau est donc plus grande que dans le milieu littoral, et où les taux de sels nutritifs (azotés surtout) sont plus élevés, la croissance du phytoplancton est plus importante qu'à l'extérieur. Cette croissance pourrait également être favorisée par une température de l'eau supérieure à celle du milieu littoral par suite du fonctionnement de la centrale thermique E.d.F., et par une prédation zooplanctonique plus faible qu'à l'extérieur.

Comme le Golfe de Fos (BLANC et coll., 1975), les milieux littoraux et portuaire que nous avons étudiés sont soumis à l'arrivée d'eaux telluriques riches en sels nutritifs, ce qui favoriserait le développement de petites espèces à multiplication rapide ; ceci expliquerait la dominance des Diatomées que nous avons remarquée tout au long de cette étude. (Les Diatomées représentent en moyenne 95 % du nombre total de cellules de microplancton à Gravelines). Dans le port de Dunkerque, le développement de *Skeletonema costatum* est très important au printemps ; cette espèce semble y trouver des conditions de croissance très favorables, de telle façon que, son taux de multiplication étant très rapide, elle supprime vite en nombre les autres espèces et peut représenter plus de 90 % des cellules microplanctoniques. Les échanges sont fréquents entre le milieu portuaire et le milieu littoral : la composition des populations phytoplanctoniques est proche dans ces deux zones. Mais les Dinoflagellés peuvent se développer plus intensément dans le port que dans le milieu littoral. Ce phénomène semble général dans les ports puisque AUBERT et

coll. (1972) l'ont également remarqué dans plusieurs ports méditerranéens sur la côte des Alpes Maritimes. Le stade d'évolution vers les Dinoflagellés dans ces ports est surtout lié à la stagnation des eaux entraînée par le cloisonnement. Des prélèvements réalisés dans une zone plus calme, moins directement soumise aux apports d'eau de l'avant-port, permettraient de vérifier s'il en est réellement ainsi dans le port de Dunkerque.

Les diagrammes rang-fréquence tracés à partir des données concernant le milieu littoral de Gravelines montrent une structure souvent peu évoluée, qui ne semble pas atteindre le stade 3 défini par FRONTIER (1977), bien que l'on observe des pullulations d'un Dinoflagellé (*Noctiluca scintillans*), qui correspondent, selon MARGALEF (1958), au stade ultime d'une succession. La périodicité réduite des prélèvements ne permet pas de préciser exactement l'évolution des populations, d'autant plus que la masse d'eau échantillonnée diffère à chaque campagne.

Le milieu littoral est marqué par des pullulations du flagellé *Phaeocystis*, qui ne semble pas trouver des conditions favorables dans les bassins portuaires où nous ne l'avons pas remarqué. Selon les travaux du Conseil Interministériel pour l'Exploration de la Mer (1976), la prépondérance, que l'on suppose récente, de *Phaeocystis* dans la partie sud de la Mer du Nord pourrait résulter de l'eutrophisation de cette zone.

D'après les résultats de l'analyse des correspondances (faite à partir des abondances des espèces principales que nous avons rencontrées, à Gravelines, dans le port de Dunkerque, et sur le site de Paluel, et des paramètres hydrologiques de leur environnement), plusieurs espèces semblent se développer préférentiellement quand l'eau est chaude : *Chaetoceros didymum*, *Leptocylindrus danicus*, *Prorocentrum micans* et plusieurs espèces du genre *Rhizosolenia* ; ceci explique leur présence essentiellement durant la saison estivale. *P. micans* caractérise aussi la saison chaude dans le Golfe de Fos (BLANC et coll., 1975), mais son développement est limité dans le port de Dunkerque, bien qu'il y soit plus important qu'à Gravelines. Ceci pourrait résulter du caractère thermophile de cette espèce.

Les concentrations de sels nutritifs, dont les taux de renouvellement doivent être importants dans les milieux littoral et portuaire, ne semblent pas constituer un facteur principal de sélection des espèces. Les valeurs du rapport  $\text{NO}_3/\text{PO}_4$  supérieures à 24 ne semblent pas gêner

le développement de plusieurs espèces appartenant au genre *Chaetoceros*, de *Cerataulina pelagica*, de *Thalassiosira decipiens*, et surtout de *Skeletonema costatum*, qui peuvent alors être abondantes.

Le milieu littoral est marqué par la présence de courants qui assurent une homogénéisation verticale de la masse d'eau ; ils limitent la sédimentation des particules et l'on observe plusieurs espèces dont la présence est liée à celle des matières en suspension : *Asterionella japonica*, "*Fragilaria*", *Paralia sulcata*, *Thalassionema nitzschioides*.

La succession des espèces dans le temps, qui paraît se reproduire de manière identique chaque année, dans le milieu littoral du moins, dépend en grande partie de leurs exigences thermiques et lumineuses. Mais les cellules phytoplanctoniques, entre autres, excrètent dans le milieu des substances de croissance (telles les vitamines) ou autres (AUBERT et PESANDO, 1974) qui, dans certaines conditions, peuvent favoriser ou non la croissance d'autres cellules et déterminer en partie la succession des espèces. Nous avons, par exemple, remarqué la disparition des Diatomées au moment des pullulations de *Phaeocystis*.

L'étude du milieu telle que nous l'avons réalisée, à l'aide des paramètres "classiques", aboutit donc à une description qui nous semble réelle, mais sans doute simplifiée. Une étude plus complète du phytoplancton devrait prendre en compte un nombre accru d'interactions possibles entre les diverses espèces et les autres constituants de l'écosystème. En outre, comme le soulignent TURPIN et HARRISON (1979), le phytoplancton est souvent considéré comme étant dans un milieu relativement stable, alors que ces organismes sont en réalité, surtout en zone côtière, soumis à des conditions d'environnement très fluctuantes à petite échelle.

L'absence d'étude antérieure dans cette région ne nous permet malheureusement pas d'estimer l'impact des enrichissements côtiers récents sur l'écosystème phytoplanctonique littoral.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1966. - *Determination of photosynthetic pigments in sea-water*. U.N.E.S.C.O., Monogr. oceanogr. Methodol., 1, 69 p.
- ANONYME, 1968. - *Courants de marée dans la Manche et sur les côtes françaises de l'Atlantique*. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, Paris, 287 p., 39 c.
- ANONYME, 1972 à 1976. - *Annuaire des marées pour les années 1974 à 1978. Tome I - Ports de France*. Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, Paris.
- ANONYME, 1973. - *Pollution des milieux aquatiques. Région de Dunkerque, 1ère partie. Agence d'Urbanisme de la Région dunkerquoise*, 160 p.
- ANONYME, 1973. - *Tables océanographiques internationales, vol. 2*. National Institute of Oceanography of Great Britain and U.N.E.S.C.O., 141 p.
- ANONYME, 1974 à 1978. - *Bulletin climatologique, Département du Nord*. Météorologie Nationale.
- ANONYME, 1974 à 1978. - *Bulletin météorologique pour les régions côtières et le Détroit du Pas-de-Calais*. Station météorologique de Boulogne-sur-Mer.
- ANONYME, 1974 à 1978. - *Recueil des observations. R.N.O., Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, C.N.E.X.O.*
- ANONYME, 1974 à 1978. - *Tableau climatologique mensuel - Sémaphore de Dunkerque*. Météorologie Nationale.
- ANONYME, 1976. - *Report of the working group on red tides and eutrophication - Lowestoft - 25-27 mai 1976*. International Council for the Exploration of the Sea.
- ANONYME, 1979. - *Bilan des apports telluriques sur trois années de mesures sur le littoral du Nord. 1976, 1977, 1978. Cellule d'Intervention contre la Pollution marine du Littoral du département du Nord - Port Autonome de Dunkerque*, 27 p.
- ARMSTRONG F.A.J., BUTLER E.I. et BOALCH G.T., 1974. - *Hydrographic and nutrient chemistry surveys in the western English Channel during 1965 and 1966*. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 54, 895-914.
- ARNAL O., LEFEVRE G., NICOLAUD F., TOULARASTEL F. et VALDELIEVRE B., 1976. - *Le zooplancton. In Etude écologique du site de Gravelines - Rapport final, E.d.F. - C.N.E.X.O. - I.B.M.R.W.*, 105-194 + 48 fig.
- ARNAL O., LEFEVRE G. et TOULARASTEL F., 1977. - *Le zooplancton. In Etude écologique de projet - Site de Gravelines - 2° cycle, E.d.F. - C.N.E.X.O. - I.B.M.R.W.*, 78-145.
- ATKINS W.R.G., JENKINS P.G. et WARREN F.J., 1954. - *The suspended matter in sea-water and its seasonal changes as affecting the visual range of the Secchi disc*. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 33, 497-509.
- AUBERT M., AUBERT J., PINCEMIN J.M., DESIROTTE N. et BRETTMEYER J.-P., 1972. - *Restructuration des rivages et pollutions secondaires. Etude de l'eutrophisation de zones portuaires*. *Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, XXVI, 53-64.
- AUBERT M. et PESANNO D., 1974. - *Médiateurs biochimiques et équilibre biologique de la mer*. *Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, XXXV-XXXVI, 195-212.
- BALECH E., 1974. - *El género "Proto-peridinium" Bergh, 1881 ("Peridinium" Ehrenberg, 1831, partim.)*. *Revista Museo Argentino Ciencias Naturales (Bernardino Rivadavia) - Hycrobiol.*, 4 (1), 79 p.
- BANSE K., FALLS C.P. et HOBSON L.A.T., 1963. - *A gravimetric method for determining suspended matter in sea water using Millipore filters*. *Deep-Sea Res.*, 10, 639-642.



- BENTLEY D., 1980. - Suivi hydrobiologique du Détroit du Pas-de-Calais. I. Paramètres physico-chimiques. D.E.A. (*Biologie de la reproduction et du développement*). Univ. Sci. Techn. Lille, 36 p., 45 fig., 48 tableaux.
- BENZECRI J.P. et coll., 1973. - *L'analyse des données. 2. L'analyse des correspondances*. Ed. DUNOD, Paris, Réédition 1976, 616 p.
- BERLAND B., BONIN D. et MAESTRINI S., 1974. - Etude expérimentale de l'influence des facteurs nutritionnels sur la production du phytoplancton de la Méditerranée. *Thèse Univ. Aix-Marseille II*, 239 p.
- BLANC F., COSTE B., MINAS H.J. et SZEKIELDA K.H., 1967. - Distribution et corrélation des principaux facteurs hydrobiologiques dans un milieu de forte production organique (Etang de Berre). *Mar. Biol.*, 1, 43-55.
- BLANC F., LEVEAU M., 1970. - Effet de l'eutrophie et de la dessalure sur les populations phytoplanctoniques. *Mar. Biol.*, 5, 283-293.
- BLANC F., LEVEAU M. et BONIN M.C., 1975. - Ecosystème planctonique. Structure et fonctionnement en relation avec des phénomènes de dystrophie (Golfe de Fos). *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 60 (3), 359-378.
- BLANC F., LEVEAU M. et SZEKIELDA K.H., 1969. - Effets eutrophiques au débouché d'un grand fleuve (Grand Rhône). *Mar. Biol.*, 3 (3), 233-242.
- BLASCO D., 1978. - Observations on the diel migration of marine Dinoflagellates off the Baja California coast. *Mar. Biol.*, 46, 41-47.
- BONEY A.D., 1975. - Phytoplankton. *Studies in Biology*, n° 52, Edward Arnold (Publishers) Ltd., 116 p.
- BONNEFILLE R., LEPETIT J.P. et LEROY J., 1969. - Nouvel avant-port de Dunkerque. Etude des courants de marée. Etude des différents projets d'avant-port sur le modèle d'ensemble. Rapport n° 6, Annexe, E.d.F., *Direction des études et recherches*.
- BOUGARD M., 1976. - Etude du phytoplancton marin de la région de Gravelines (Nord). D.E.A. *Sc. Nat.*, Univ. Sci. Tech. Lille, 128 p., 332 fig.
- BOUGARD M., 1977. - Hydrologie, phytoplancton - production primaire. In Etude écologique du site de Gravelines - 2° cycle, E.d.F. - C.N.E.X.O. - I.B.M.R.W., 1-77.
- BOUGARD M., 1978. - Etude bibliographique sur le phytoflagellé *Phaeocystis* sp. C.N.E.X.O. - I.B.M.R.W., 34 p.
- BOUGARD M., DEWARUMEZ N., MENU D., RICHARD A. et SOUPLET A., 1978. - Etude hydrobiologique du site de Dunkerque - Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin. C.N.E.X.O. - I.B.M.R.W., 106 p.
- BOURGADE B., 1976 (1977). - Impact des rejets thermiques sur les populations phytoplanctoniques aux abords de la centrale thermique E.d.F. Martigues-Ponteau. *Téthys*, 8 (1), 47-62.
- BOURRELLY P., 1966. - *Les algues d'eau douce - Algues vertes*. Ed. N. BOUBÉE et Cie, 511 p., 117 pl.
- BRAARUD T., 1951. - Salinity as an ecological factor in marine phytoplankton. *Physiol. Plant.*, 4, 28-34.
- BROCKMANN U.H., EBERLEIN K., HOSUMBEC P., TRAGESER H., MAIER-REIMER E., SCHÖNE 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.
- BROUARDEL J. et JOSEPH M., 1978. - Etude de la production primaire dans le bassin de Dunkerque. *Rapport E.d.F. E. 31-78/N° 16*, 12 p., 16 fig., 6 tableaux.

- BRYLINSKI J.-M., 1975. - Etude du zooplancton marin de la région de Boulogne-sur-Mer. *D.E.A. (Sciences Nat) Univ. Sci. Techn. Lille*, 90 p.
- BRYLINSKI J.-M., 1979. - Etude de l'écosystème portuaire de Dunkerque : populations zooplanctoniques. *Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Sci. Tech. Lille*, 187 p.
- BRYLINSKI J.-M., DELESALLE B., DEWARUMEZ J.-M., DEY J. et GREGOIRE A., 1973. - Etude écologique du site de Gravelines (centrale E.d.F.) - Rapport préliminaire. *E.d.F. - I.B.M.R.W.*, 116 p.
- CASSIE R.M., 1963. - Multivariate analysis in the interpretation of numerical plankton data. *N. Z. J. Sci.*, 6, 36-59.
- COHEN E.B., 1976. - An overview of the plankton communities of the Gulf of Maine. *Int. Comm. Northwest Atl. Fish., Selected papers*, 1, 89-105.
- COOPER L.H.N., 1937. - On the ratio of nitrogen to phosphorus in the sea. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 12, 177-182.
- COOPER L.H.N., 1938. - Redefinition of the anomaly of the nitrate - phosphate ratio. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 13, 179.
- COX R.A., Mc CARTNEY M.J. et CULKIN F., 1970. - *Deep-Sea Res.*, 17, 679-689.
- CRESSWELL R.C. et SYRETT P.J., 1979. - Ammonium inhibition of nitrate uptake by the diatom *Phaeodactylum tricoratum*. *Plant Science Letters*, 14, 321-325.
- CUPP E.E., 1950. - Marine plankton diatoms of the west coast of North America. *Bull. Scripps Institution of Oceanography, Technical Series*, 5, 238 p.
- CURL H. et Mc LEOLD G.C., 1961. - The physiological ecology of a marine diatom, *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve. *J. mar. Res.*, 19 (2) 70-88.
- CURL H. et SMALL L., 1965. - Variations in photosynthetic assimilation ratios in natural, marine phytoplankton communities. *Limn. Oceanogr.*, 10 (Suppl.), 62-67.
- CURRIE R.I., 1962. - Pigments in zooplankton faeces. *Nature*, 193, 956-957.
- DAGET J., 1976. - *Les modèles mathématiques en écologie*. Collection d'écologie, 8, Ed. MASSON, Paris, 172 p.
- DE PAUW N., 1969. - Contribution à l'étude du plancton dans le port d'Ostende. *Biologisch Jaarboek, Dodonaea*, I (XXV), 186-261.
- DESAUNAY Y., 1973. - Rapport de l'étude sur l'écologie et la productivité de l'estuaire de la Canche. *I.S.T.P.M.*
- DESCOLAS-GROS C., 1978. - Rôle de certaines espèces de Diatomées dans la structure des communautés phytoplanktoniques. *Thèse 3<sup>e</sup> cycle, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI*.
- DEVAUX J., 1975-1976. - Dynamique des populations phytoplanktoniques dans deux lacs du Massif Central français. *Extrait des Annales de la Station Biologique de Besse-en-Chandesse*, 1975-1976, n° 10, 193 p.
- DODGE J.D. et HART-JONES B., 1974. - The vertical and seasonal distribution of Dinoflagellates in the North Sea. *Bot. Marina*, 17 (2), 113-117.
- DREBES G., 1974. - *Marines Phytoplankton - Eine Auswahl der Helgoländer Planktonalgen (Diatomeen, Peridineen)*. Ed. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 186 p.
- DUPONT J., 1980. - Suivi hydrobiologique du Détroit du Pas-de-Calais. II. Pigments végétaux - Phytoplankton. *D.E.A. (Biologie de la reproduction et du développement)*, Univ. Sci. Techn. Lille, 35 p., 37 fig., 2 pl., 13 tblx.

- DURBIN E.G., 1974. - Studies on the autoecology of the marine diatom *Thalassiosira nordenskioldii* Cleve. I. The influence of daylength, light intensity, and temperature on growth. *J. Phycol.*, 10, 220-225.
- DURBIN E.G., KRAWIEC R.W. et SMAYDA T.J., 1975. - Seasonal studies on the relative importance of different size fractions of phytoplankton in Narragansett Bay (U.S.A.). *Mar Biol.*, 32, 271-287.
- EDLER L., 1977. - Phytoplankton and primary production in the Sound. *Thèse doctorat, Botaniska Institutionen, Göteborg*, 82 p.
- ELSKENS I., 1971. - Nutrients et paramètres biologiques associés. In *Modèle mathématique, Rapport de Synthèse, I, chp. III-1*, 96 p. *Belgian National R.D. Program on the Environment, Water, Sea Project, I.C.S.P., é. t. a. b. é. t. y. p. Liège*.
- ENOMOTO Y., 1956. - On the occurrence and food of *Noctiluca scintillans* (Macartney) in the adjacent waters to the west coast of Kyushu, with special reference to the possibility of the damage to the fish eggs by that plankton. *Bull. Jap. Soc. Scient. Fish.*, 22, 82-88.
- EPPLEY R.W., 1972. - Temperature and phytoplankton growth in the sea. *Fish. Bull.*, 70 (4), 1063-1085.
- EPPLEY R.W., 1977. - The growth and culture of diatoms. In *The biology of diatoms*, Botanical Monographs, vol. 13, 24-64, Ed. D. WERNER, University of California Press.
- EPPLEY R.W., ROGERS J.N. et Mc CARTHY J.J., 1969. - Half-saturation "constants" for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 14, 912-920.
- ESCOFIER-CORDIER B., 1965. - L'analyse des correspondances. *Thèse 3<sup>e</sup> cycle - Université de Rennes*, 66 p.
- FALKOWSKI P.G., OWENS T.G., 1978. - Effects of light intensity on photosynthesis and dark respiration in six species of marine phytoplankton. *Mar. Biol.*, 45, 289-295.
- FORTIER L., LEGENDRE L., CARDINAL A. et TRUMP C.L., 1978. - Variabilité à court terme du phytoplancton de l'estuaire du Saint-Laurent. *Mar. Biol.*, 46, 349-354.
- FOY M.G. et HSIAD S.I.C., 1976. - Phytoplankton data from the Beaufort Sea, 1973 to 1975. *Service des Pêches et des Sciences de la Mer, Environnement, Canada, Rapport technique n° 617*, 44 p.
- FRONTIER S., 1976. - Etude de la décroissance des valeurs propres dans une analyse en composantes principales : comparaison avec le modèle du bâton brisé. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 25, 67-75.
- FRONTIER S., 1977. - Réflexions pour une théorie des écosystèmes. *Bull. Ecol.*, 8 (4), 445-464.
- GLOOSCHENKO W.A., CURL H.J., et SMALL L.F., 1972. - Diel periodicity of chlorophyll a concentration in Oregon coastal waters. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 29 (9), 1253-1259.
- GOLDMAN J.C., 1977. - Biomass production in mass cultures of marine phytoplankton at varying temperatures. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 27, 161-169.
- GRALL J.-R., 1972. - Recherches quantitatives sur la production primaire du phytoplancton dans les parages de Roscoff. *Thèse Doct. Etat Sci. Nat., Paris VI*, 261 p.
- GRALL J.-R., 1972. - Développement "printanier" de la Diatomée *Rhizosolenia delicatula* près de Roscoff. *Mar. Biol.*, 16, 41-48.
- GRALL J.-R. et JACQUES G., 1964. - Etude dynamique et variations saisonnières du plancton de la région de Roscoff. *Can. Biol. Mar.*, 5, 423-455.

- GRAN H.H., 1908. - Diatomées. In *Nordisches Plankton, Botanischer Teil*, XIX, 146 p.
- GRAN H.H. et ANGST E.C., 1931. - *Plankton diatoms of Puget Sound*. Publ. Puget Sound Biol. Station, vol. 7, 417-516.
- GRØNTVED J., 1952. - Investigations on the phytoplankton in the southern North Sea in May 1947. *Medd. Komm. Danmarks Fisk. Havunders.*, Ser. *Plankton*, 5 (5), 1-49.
- GUILLARD R.R.L. et KILHAM P., 1977. - The ecology of marine planktonic diatoms. In *The biology of diatoms - Botanical Monographs*, vol. 13, Ed. D. WERNER, University of California Press, 372-469.
- HARRISON P.J. et DAVIS C.O., 1979. - The use of outdoor phytoplankton continuous cultures to analyse factors influencing species selection. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 41, 9-23.
- HART T.J., 1966. - Some observations on the relative abundance of marine phytoplankton populations in nature. In *Some contemporary studies in Marine Science*, Ed. Harold BARNES, 375-393.
- HARVEY H.W., 1940. - Nitrogen and phosphorus required for the growth of phytoplankton - *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 24 (1), 115-123.
- HARVEY H.W., 1950. - On the production of living matter in the sea off Plymouth. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 29 (1), 97-137.
- HARVEY H.W., COOPER L.H.N., LEBOUR M.V. et RUSSELL F.S., 1935. - Plankton production and its control. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 20 (2), 407-441.
- HASLE G.R., 1972. - The distribution of *Nitzschia seriata* Cleve and allied species. *Nova Hedwigia*, 39, 171-190.
- HECQ J.H., 1975. - Cycle annuel du zooplancton à Boulogne-sur-Mer (Pas-de-Calais) 1970-1971. I. Le méroplancton, ses variations saisonnières. *Bull. Soc. Roy. Sci. Liège*, 44, 477-485.
- HECQ J.M., HEYDEN D. et MOERMANS R., 1975. - Biologie de *Sagitta setosa* dans le Pas-de-Calais et le sud de la Mer du Nord. *Bull. Soc. Roy. Sci. Liège*, 44, 653-661.
- HEDIN-BOUGARD M. et MENU D., 1979. - Etude hydrobiologique du site de Dunkerque - 1978 - Réseau National d'Observation du milieu marin. *C.N.E.X.O. - I.B.M.R.W.*, 94 p.
- HENDEY N.I., 1964. - An introductory account of the smaller algae of British coastal waters - Part V : *Bacillariophyceae* (Diatoms). *Fish. Invest.*, London, Ser. 4, 317 p., 45 pl.
- HENDEY N.I., 1974. - A revised check-list of British marine Diatoms. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 54, 277-300.
- HIRAYAMA K. et HIRANO R., 1970. - Influences of high temperature and residual chlorine on marine phytoplankton. *Mar. Biol.*, 7 (3), 205-213.
- HOLLIGAN P.M. et HARBOUR D.S., 1977. - The vertical distribution and succession of phytoplankton in the western English Channel in 1975 et 1976. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 57, 1075-1093.
- HOUVENHAGHEL G., STEYAERT J. et VAN BEVEREN C., 1971. - First trophic level, Analysis of photosynthetic pigments and phytoplankton. In *Modèle mathématique, Rapport de synthèse I*, chp. III (6), 151-161, *Belgian National R.D. Program on the Environment, Water, Sea Project*, I.C.S.P., é. t. a. b. é. t. y. p. Liège.
- HSIAO S.I., FOY M.G. et KITTLE D.W., 1977. - Standing stock, community structure, species composition, distribution, and primary production of natural populations of phytoplankton in the southern Beaufort Sea. *Can. J. Bot.*, 55, 685-694.
- HULBURT E.M., 1962. - Phytoplankton in the southwestern Sargasso Sea and North Equatorial Current, February 1961. *Limnol. Oceanogr.*, 7, 307-315.
- JACQUES G., 1968. - Etude du plancton de la région de Banyuls. Influence du volume de sédimentation sur la précision de la méthode d'Utermöhl. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 19 (3), 391-392.

- JACQUES J., 1969. - Aspects quantitatifs du phytoplancton de Banyuls-sur-Mer (Golfe du Lion). III. Diatomées et Dinoflagellés de juin 1965 à juin 1968. *Vie Milieu*, XX, 1-B, 91-126.
- JEFFREY S.W., 1974. - Profiles of photosynthetic pigments in the ocean using thin-layer chromatography. *Mar. Biol.*, 26 (2), 101-110.
- JENSEN A., RYSTAD B. et MELSOM S., 1974. - Heavy metal tolerance of marine phytoplankton. I. The tolerance of three algal species to zinc in coastal sea water. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 15 (2), 145-157.
- JITTS H.R., McALLISTER C.D., STEPHENS K. et STRICKLAND J.D.H., 1964. - The cell division rates of some marine phytoplankters as a function of light and temperature. *J. Fish. Res. Board Can.*, 21 (1), 139-157.
- JONES K.J., TETT P., WALLIS A.C. et WOOD B.J.B., 1978. - Investigation of a nutrient - growth model using a continuous culture of natural phytoplankton. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 58, 923-941.
- JO PODAMO, 1973. - Aspects of dynamic biology in the Southern Bight of the North Sea and the Sluice Dock at Ostend. In Mathematical Model, Annual Report III, chp. VI-I, 170-257, *Belgian National R.D. Program on the Environment, Water, Sea Project, I.C.P.S., é. t. a. b. é. t. y. p. Liège*.
- JØRGENSEN E.G., 1968. - The adaptation of plankton algae. II. Aspects of the temperature adaptation of *Skeletonema costatum*. *Physiol. Plant.*, 21, 423-427.
- KAIN J.M. et FOGG G.E., 1958a. - Studies on the growth of marine phytoplankton. I. *Asterionella japonica* Gran. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 37, 397-413.
- KAIN J.M. et FOGG G.E., 1958b. - Studies on the growth of marine phytoplankton. II. *Isochrysis galbana*. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 37, 781-788.
- KAIN J.M. et FOGG G.E., 1960. - Studies on the growth of marine phytoplankton. III. *Prorocentrum micans*. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 39, 33-50.
- KAYSER H., 1971. - Produktivitätsmessungen an Phytoplanktonorganismen aus Küstengewässern als standardmethode für einen Abwassertest. *Thalassia Jugoslavica*, 7 (1), 139-150.
- KEATING K.I., 1978. - Blue-green algal inhibition of Diatom growth : transition from mesotrophic to eutrophic community structure. *Science*, 199, 971-973.
- KESSELER H., 1966. - Beitrag zur Kenntnis des chemischen und physikalischen Eigenschaften des Zellsaftes von *Noctiluca miliaris*. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh.*, 2, 357-368.
- KHALANSKI P., 1976. - Influence du fonctionnement d'une centrale thermique sur la production primaire planctonique du port de Dunkerque. *Journées de la thermo-écologie, E.d.F. - C.O.B., 15-16 nov. 1976*, 101-144, 26 fig.
- KOFOID C. A. et SWEZY O., 1974. - *The free-living unarmored Dinoflagellata*. University of California Press, Berkeley, California, 1921, Réimprimé par Otto Koeltz Science Publishers, Koenigstein, 538 p., 12 pl.
- LANGLET J., 1962. - Contribution à l'étude du microplancton (Protistes, Diatomées) dans la région de Boulogne-sur-Mer. *D.E.S. (Sciences Nat.)*, *Faculté des Sciences de Lille*, 41 p., 69 fig., 8 pl.
- LASSUS P., 1979. - Catalogue descriptif des principaux organismes responsables d'eaux rouges. *Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, Nantes*, 59 p.

- LEBLOND E., 1925. - Contribution à la flore algologique du Boulonnais. *Travaux de la Station Biologique de Wimereux*, 9, 116-125.
- LEBOUR M.V., 1930. - *The planktonic diatoms of northern seas*. Imprimé pour la Ray Society, London, 244 p., 4 pl.
- LE FEVRE J., 1978. - A propos des phénomènes d'eaux rouges : mise en évidence de quelques facteurs contributifs. *Colloque de l'Union des Océanographes de France, Brest, 26-27 Janvier 1978*.
- LE FEVRE J., 1979. - On the hypothesis of a relationship between Dinoflagellate blooms and the "Amoco-Cadiz" oil spill. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 59, 525-528.
- LE FEVRE J. et GRALL J.R., 1970. - On the relationships of *Noctiluca* swarming off the western coast of Brittany with hydrological features and plankton characteristics of the environment. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 4, 287-306.
- LE FEVRE - LEHOËRFF G., 1972. - Populations planctoniques d'un estuaire à marée : la rivière de Morlaix, leurs relations avec les conditions hydrologiques. *Thèse de spécialité, Oceanogr. Biologique, Univ. Paris VI*, 212 p.
- LEGENDRE L. et LEGENDRE P., 1979. - *Ecologie numérique. 1. Le traitement multiple des données écologiques*. Collection d'Ecologie, 12, Ed. MASSON, Paris, 197 p.
- LEGENDRE L. et LEGENDRE P., 1979. - *Ecologie numérique. 2. La structure des données écologiques*. Collection d'Ecologie, 13, Ed. MASSON, Paris, 247 p.
- LORENZEN C.J., 1966. - A method for the continuous measurement of *in vivo* chlorophyll concentration. *Deep-Sea Res.*, 13, 223-227.
- LORENZEN C.J., 1967a. - Determination of chlorophyll and pheopigments : spectrophotometric equation. *Limnol. Oceanogr.*, 12, 343-346.
- LORENZEN C.J., 1967b. - Vertical distribution of chlorophyll and phaeopigments : Baja California. *Deep-Sea Res.*, 14, 735-745.
- LOUIS A., PETES J., RAMBOER T. et VANDERVEKEN L., 1974. - La végétation phytoplanctonique de l'Océan Atlantique N.E. et de la Mer du Nord. *Studia Algologica Lovaniensia*, 370 p.
- LUCAS C.E. et GLOVER R.S., 1973. - Continuous Plankton Records : a plankton atlas of the North Atlantic and the North Sea. *Bull. Mar. Ecol., Plymouth*, 7, 174 p.
- Mc CARTHY J.J., TAYLOR W.R. et LOFTUS M.E., 1974. - Significance of nanoplankton in the Chesapeake Bay Estuary and problems associated with the measurement of nanoplankton productivity. *Mar. Biol.*, 24, 7-16.
- MAHONEY J.B. et Mc LAUGHLIN J.J.A., 1979. - Salinity influence on the ecology of phytoflagellate blooms in Lower New York Bay and adjacent waters. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 37, 213-223.
- MALONE T. C., 1971. - The relative importance of nanoplankton and netplankton as primary producers in the California Current system. *Fish. Bull.*, 69 (4), 799-820.
- MARE M.F., 1940. - Plankton production off Plymouth and the mouth of the English Channel in 1939. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 24 (3), 461-482.
- MARGALEF R., 1958. - Temporal succession and spatial heterogeneity in phytoplankton. In *Perspectives in marine biology*, Ed. BUZZATI - TRAVERSO, Univ. Calif. Press, Berkeley et Los Angeles, 323-349.
- MARGALEF R., 1960. - Valeur indicatrice de la composition des pigments du phytoplancton sur la productivité, composition taxinomique et propriétés dynamiques des populations. *Rapp. Comm. int. Mer. Médit.*, 15 (2), 277-281.



- MARGALEF R., 1967. - Some concepts relative to the organization of plankton. *Oceanogr. Mar. Biol.*, 5, 257-289.
- MARGALEF R., 1974. - *Ecologia*. Ed. OMEGA, Barcelone, 951 p.
- MARGALEF R., 1978. - Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanol. Acta*, 1 (4), 493-509.
- MARSHALL H.G., 1971. - Composition of phytoplankton off the southeastern coast of the United States. *Bulletin of Marine Science*, 21 (4), 806-825.
- MARSHALL H.G., 1976. - Phytoplankton distribution along the eastern coast of the U.S.A.. I. Phytoplankton composition. *Mar. Biol.*, 38, 81-89.
- MARSHALL H.G., 1978. - Phytoplankton distribution along the eastern coast of the U.S.A.. Part II. Seasonal assemblages north of Cape Hatteras, North Carolina. *Mar. Biol.*, 45, 203-208.
- MASSUTI M. et MARGALEF R., 1950. - *Introduction al estudio del plancton marino*. Inst. Biol. Apl., Barcelone, 181 p.
- MAYZAUD P. et TAGUCHI S., 1979. - Spectral and biochemical characteristics of the particulate matter in Bedford Basin. *J. Fish Res. Board Can.*, 36, 211-218.
- MOMMAERTS J.P., 1972. - Le phytoplancton. In Modèle mathématique. Rapport de Synthèse II, chp. VII : le plancton, 342-352, *Belgian National R.D. Program on the Environment, Water, Sea Project, I.C.S.P.*, é. t. a. b. é. t. y. p. Liège.
- MOMMAERTS J.P., 1973. - The relative importance of nanoplankton in the North Sea primary production. *Br. Phycol. J.*, 8, 13-20.
- MOMMAERTS J.P., 1973. - On primary production in the South Bight of the North Sea. *Br. Phycol. J.*, 8, 217-231.
- MOMMAERTS J.P. et HÖNIG M., 1971. - La transparence de l'eau en Mer du Nord et sa relation avec la matière en suspension. In Modèle mathématique, Rapport de synthèse I, 214-216, *Belgian National R.D. Program on the Environment, Water, Sea Project, I.C.S.P.*, é. t. a. b. é. t. y. p. Liège.
- MORETH C.M. et YENTSCH C.S., 1970. - The role of chlorophyllase and light in the decomposition of chlorophyll from marine phytoplankton. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 4 (3), 238-249.
- MOTODA S. et MINODA T., 1974. - Plankton of the Bering Sea. In *Oceanography of the Bering Sea*, Ed. D.W. HOOD et E.J. KELLEY, chp. 10, 207-241.
- NEVEUX J., 1976. - Dosage de la chlorophylle a et de la phéophytine a par fluorimétrie. *Ann. Inst. Océanogr., Paris*, 52 (2), 165-174.
- NIHOUL J.C.J. et RONDAY F.C., 1976. - Modèles hydrodynamiques. *Programme national belge de recherche et de développement, Environnement, Eau, Projet Mer*, é. t. a. b. é. t. y. p., Liège. Rapport final, vol. 3, 270 p.
- NORDLI E., 1957. - Experimental studies on the ecology of *Ceratia.Oikos*, 8, 200-265.
- OSTENFELD C.H., 1931. - *Conseil International pour l'Exploration de la Mer*. Bulletin trimestriel des résultats acquis pendant les croisières périodiques et dans les périodes intermédiaires, Résumé des observations sur le plancton des mers explorées par le Conseil pendant les années 1902-1908, quatrième partie, 613-629.
- PAASCHE E., 1973. - Silicon and the ecology of marine plankton diatoms. II. Silicate uptake kinetics in five diatom species. *Mar. Biol.*, 19 (3), 262-269.
- PAASCHE E., 1975. - Growth of the plankton diatom *Thalassiosira nordenskiöldii* Cleve at low silicate concentrations. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 18 (2), 173-183.

- PAASCHE E., 1975. - Growth of the plankton diatom *Thalassiosira nordenskioldii* Cleve at low silicate concentrations. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 18 (2), 173-183.
- PAASCHE E., 1977. - Growth of three plankton diatom species in Oslofjord water in the absence of artificial chelators. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 29, 91-106.
- PARSONS T.R., HARRISON P. J. et WATERS R., 1978. - An experimental simulation of changes in Diatom and Flagellate blooms. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 32, 285-294.
- PATRITI G., 1976. - Structure et fonctionnement de la partie planctonique dans l'écosystème des zones fermées et semi-fermées des ports de Marseille (dystrophie et pollution). *Thèse Doct. Es-Sciences, Univ. Aix-Marseille 2*, 202 p.
- PAULSEN O., 1908. - Peridiniens. In *Nordisches Plankton, Botanischer Teil*, XVIII, 124 p.
- PERAGALLO H. et PERAGALLO M., 1908. - *Diatomées marines de France et des districts maritimes voisins*. Ed. M.J. TEMPERE, Grez-sur-Loing, France, 137 pl.
- PERES J.-M., 1961. - *Océanographie biologique et biologie marine. I. La vie benthique*, P.U.F., Paris, 541 p.
- PERKINS E.J., 1974. - *The biology of estuaries and coastal waters*. Academic Press, London, 678 p.
- PICHOT G., 1971. - Courants. In *Modèle mathématique, Rapport de synthèse I*, chp. I, 28-34, *Belgian National R.D. Program on the Environment, Water, Sea Project, I.C.S.P., é. t. a. b. é. t. y. p. Liège*.
- PINGREE R.D., HOLLIGAN P.M. et HEAD R.N., 1977. - Survival of dinoflagellates blooms in the western English Channel. *Nature*, 265 (5591), 266-269.
- PLATT T., 1972. - Local phytoplankton abundance and turbulence. *Deep-Sea Res.*, 19, 183-187.
- POLK P., 1972. - Le plancton. In *Modèle mathématique, Rapport de synthèse II*, chp. VII, 325-383, *Belgian National R.D. Program on the Environment, Water, Sea Project, I.C.S.P., é. t. a. b. é. t. y. p. Liège*.
- PREZELIN B.B. et LEY A.C., 1980. - Photosynthesis and chlorophyll a fluorescence rhythms of marine phytoplankton. *Mar. Biol.*, 55, 295-307.
- PUCHER-PETKOVIĆ T., 1966. - Végétation des Diatomées pélagiques de l'Adriatique moyenne. *Acta Adriat.*, 13, 1-97.
- RAYMONT J.E.G., 1963. - *Plankton and productivity in the oceans*. Pergamon Press, Oxford, 660 p.
- REID P.C., 1977. - Continuous Plankton records : changes in the composition and abundance of the phytoplankton of the North-eastern Atlantic Ocean and North Sea, 1958-1974. *Mar. Biol.*, 40, 337-339.
- REYSSAC J., 1973. - Aspect quantitatif du phytoplankton dans la Baie du Lévrier (Mauritanie). *Bull. Mus. Nat. d'Hist. Nat.*, 3<sup>e</sup> série, n° 149 (Ecologie Générale, 5), 101-112.
- RIAUX C., 1977. - Contribution à l'étude de facteurs déterminant l'évolution de la biomasse phytoplanktonique dans l'estuaire de la Penzé (Nord Finistère). Evolution comparée des phénomènes dans l'eau et les sédiments sous-jacents. *Thèse Océanogr. Biologique, Univ. Paris VI*, 163 p.
- RIAUX C. et DOUVILLE J.-L., 1980. - Short-term variations in phytoplankton biomass in a tidal estuary in Northern Brittany. *Est. coast. mar. Sci.*, 10, 85-92.
- RICHARDS F.A., 1958. - Dissolved silicate and related properties of some Western North Atlantic and Caribbean waters. *J. Mar. Res.*, 17, 449-466.



- RICHARDS F.A. et THOMPSON T.G., 1952. - The estimation and characterization of plankton populations by pigment analyses. II. A spectrophotometric method for the estimation of plankton pigments. *J. mar. Res.*, 11, 156-172.
- RINCE Y., 1979. - Les Diatomées des claires ostréicoles de la Baie de Bourgneuf. *Colloque de l'Union des Océanographes de France, Nantes, 28 Février - 1er Mars 1979*.
- ROUCH J., 1948. - *Traité d'océanographie physique. III. Les mouvements de la mer*. Bibliothèque Scientifique, Ed. PAYOT, Paris, 413 p.
- RYTHER J.H., 1956. - Photosynthesis in the ocean as a function of light intensity. *Limn. Oceanogr.*, 1, 61-70.
- SAKSHAUG E. et MYKLESTAD S., 1973. - Studies on the phytoplankton ecology of the Trondheimsfjord. III. Dynamics of phytoplankton blooms in relation to environmental factors, bioassay experiments and parameters for the physiological state of the populations. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 11, 157-188.
- SANDER F., 1976. - Quantitative and qualitative aspects of inshore phytoplankton off Barbados. *Can. J. Bot.*, 54, 2306-2314.
- SAUNDERS R.P., 1964. - *Asterionella japonica* Cleve et Moller ex Gran. In *Leaflet Series, Plankton*, Florida Board of Conservation, vol. 1, n° 4, 2 p.
- SAUNDERS R.P., 1965. - *Melosira sulcata*. In *Leaflet Series, Plankton*, Florida Board of Conservation, vol. 1, n° 4, 4 p.
- SAUNDERS R.P. et GLENN D.A., 1969. - Diatoms. In *Memoirs of the Hourglass Cruises*, vol. I, part III, Mar. Res. Laboratory, St Petersburg, Florida, contr. n° 127, 86 p., 16 pl.
- SCHÖNE H.K., 1974. - Experimental investigations on the ecology of the marine Diatom *Thalassiosira rotula*. II. The influence of salinity. *Mar. Biol.*, 27, 287-298.
- SEGEBARTH-ORBAN R., 1975. - Quelques données sur les variations saisonnières du plancton et sur les caractéristiques hydrologiques en Mer du Nord, au large d'Ostende et de Nieuport. Période 1969-1971. *Ann. Soc. Roy. Zool. Belgique*, 105, (1-2), 193-227.
- SEVIGNY J.M., SINCLAIR M., EL-SABH M.I., POULET S. et COOTE A., 1979. - Summer plankton distributions associated with the physical and nutrient properties of the Northwestern Gulf of St Lawrence. *J. Fish. Res. Board Can.*, 36, 187-203.
- SHERER C.L., 1965. - *Rhizosolenia stolterfothii* Peragallo. In *Leaflet Series, Plankton*, Florida Board of Conservation, vol. 1, n° 7, 3 p.
- SKJOLDAL H.R. et LÄNNERGRÉN C., 1978. - The spring phytoplankton bloom in Lindåspollene, a land-locked Norwegian fjord. II. Biomass and activity of net- and nanoplankton. *Mar. Biol.*, 47, 313-323.
- SMAYDA T.J., 1958. - Biogeographical studies of marine phytoplankton. *Oikos*, 9 (2), 158-191.
- SMAYDA T.J., 1970. - The suspension and sinking of phytoplankton in the sea. *Oceanogr. mar. Biol. A. Rev.*, 8, 353-414.
- SMITH S.L., 1978. - Nutrient regeneration by zooplankton during a red tide off Peru, with notes on biomass and species composition of zooplankton. *Mar. Biol.*, 49, 125-132.
- SOURNIA A., 1968. - Quelques données nouvelles sur le phytoplankton marin et la production primaire à Tuléar (Madagascar). *Hydrobiol.*, 31 (3-4), 545-560.
- SOURNIA A., 1974. - Circadian periodicities in natural populations of marine phytoplankton. *Adv. mar. Biol.*, 12, 325-389.
- STEELE J.H. et FROST B.W., 1977. - The structure of plankton communities. *Philosophical transactions of the Royal Society of London, B, Biological Sciences*, 280, (1976), 485-534.

- STEIDINGER K.A., WILLIAMS J., 1970. - Dinoflagellates. *Memoirs of the Hourglass Cruises*, vol. II. Marine Research Laboratory, St Petersburg, Florida, Contr. n° 148, 251 p., 45 pl.
- STEYAERT-PLANCKE J. et LANCELOT-VAN BEVEREN, 1973. - First trophic level. In Mathematical model, Annual Report III, chp. VII, 273-319, *Belgian National R.D. Program on the Environment, Water, Sea Project, I.C.S.P., é. t. a. b. é. t. y. p. Liège.*
- STOCKNER J.G. et CLIFF D.D., 1976. - Phytoplankton succession and abundance in Howe Sound, British Columbia : a coastal marine embayment-fjord under stress. *Service des Pêches et des Sciences de la Mer, Environnement Canada*, Rapport technique n° 658, 24 p.
- STOCKNER J.G. et CLIFF D.D., 1979. - Phytoplankton ecology of Vancouver Harbor. *J. Fish. Res. Board Can.*, 36, 1-10.
- STOCKNER J.G., CLIFF D.D. et SHORTREED K.R.S., 1979. - Phytoplankton ecology of the Strait of Georgia, British Columbia. *J. Fish. Res. Board Can.*, 36, 657-666.
- STRICKLAND J.D.H., 1958. - Solar radiation penetrating the ocean. A review of requirements, data and methods of measurement, with particular reference to photosynthetic productivity. *J. Fish. Res. Board Can.*, 15 (3), 453-493.
- SYKES I.B. et BONEY A.D., 1970. - Seasonal variations in inorganic phytoplankton nutrients in the inshore waters of Cardigan Bay. *J. mar. biol. Ass. U.K.*, 50 (3), 819-828.
- 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.
- TAYLOR D.L. et SELIGER H.H., 1979. - *Toxic Dinoflagellates blooms*. Developments in Marine Biology, vol. 1, 505 p., Ed. TAYLOR-SELIGER Elsevier, North-Holland.
- TOPPING G., 1976. - Sewage and the sea. In *Marine Pollution*. Ed. JOHNSTON, Academic Press, Londres, New York, San Francisco, 303-351.
- TRAVERS A. et TRAVERS M., 1962. - Recherches sur le phytoplancton du Golfe de Marseille. *Rec. Trav. Stat. mar. Endoume*, 41 (26), 7-139.
- TRAVERS A. et TRAVERS M., 1972. - Données sur quelques facteurs de l'écologie du plancton dans la région de Marseille. 2. La température, les précipitations, la stabilité et la circulation des eaux. *Tethys*, 4, (3), 515-534.
- TRAVERS M., 1971. - Diversité du microplancton du Golfe de Marseille en 1964. *Mar. Biol.*, 8 (4), 308-343.
- TRAVERS M., 1972. - Le microplancton du Golfe de Marseille : matériel et méthodes générales d'étude. *Tethys*, 4 (2), 313-338.
- TRAVERS M., 1972. - Le microplancton du Golfe de Marseille : méthodes d'étude microscopique des organismes. *Tethys*, 4 (3), 535-558.
- TRAVERS M., 1973. - Le microplancton du Golfe de Marseille : variations de la composition systématique et de la densité des populations. *Tethys*, 5 (1), 31-53.
- TRAVERS M., 1974 (1975). - Le microplancton du Golfe de Marseille : volume, surface et volume plasmiqque des organismes. *Tethys*, 6 (4), 689-712.
- TREGUER P. et LE CORRE P., 1974. - Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer. Utilisation de l'Autoanalyser II Technicon R. *Lab. Oceanogr. chimique, Univ. Bretagne Occidentale, Brest*, 59 p.
- TURPIN D.H. et HARRISON P.J., 1979. - Limiting nutrient patchiness and its role in phytoplankton ecology. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 39, 151-166.
- UTERMÖHL H., 1958. - Zur Vervollkommnung der quantitativen phytoplanktonmethodik. *Mitt. int. Verein. theor. angew. Limnol.*, 9, 1-36.

- VAN DER WERFF A. et HULS H., 1976. - *Diatomeënflora van Nederland*. Ed. Otto Koeltz Science, Koenigstein.
- VAN HEURCK H., 1896. - *A treatise on the Diatomaceae*. Ed. W. WESLEY and Son, London, Réimprimé en 1962 par WHELDON et WESLEY, et V.J. Cramer, 558 p., 35 pl.
- VARGO G.A., 1976. - The influence of grazing and nutrient excretion by zooplankton on the growth and production of the marine diatom *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve, in Narragansett Bay. Ph. D. Thesis, Univ. Rhode Island.
- WAHLQUIST C.L., 1968. - *Rhizosolenia setigera* Brightwell. In *Leaflet Series, Plankton*, Florida Board of Conservation, vol. 1, 4 p.
- WANDSCHNEIDER K., 1979. - Vertical distribution of phytoplankton during investigations of a natural surface film. *Mar. Biol.*, 52, 105-111.
- WILLIAMSON M.H., 1961. - An ecological survey of a scottish herring fishery, Part IV : Changes in the plankton during the period 1949-1959, Appendix : A method for studying the relation of plankton variations to hydrography. *Bull. Mar. Ecol.*, 5, 224-229.
- WOODMANSEE R.A., 1963. - Cell-diameter frequency distributions of the planktonic diatom *Rhizosolenia alata*. *Publ. Inst. Mar. Sci.*, 9, 117-131.
- YENTSCH C. S. et MENZEL D.W., 1963. - A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and phaeophytin by fluorescence. *Deep-Sea Res.*, 10, 221-231.

## ANNEXE I-1

## LISTE DES ABBREVIATIONS, TERMES ET UNITES EMPLOYES

Hydrologie

D.B.O. : demande biologique en oxygène

M.E.S. : matières en suspension (mg/l)

NH<sub>4</sub> : ammoniac dissous ( $\mu\text{atg N} - \text{NH}_4^+/1$ )NO<sub>2</sub> : nitrites dissous ( $\mu\text{atg N} - \text{NO}_2^-/1$ )NO<sub>3</sub> : nitrates dissous ( $\mu\text{atg N} - \text{NO}_3^-/1$ )NO<sub>3</sub>/P : rapport nitrates/phosphatesN ttal/P : rapport azote total (NH<sub>4</sub> + NO<sub>2</sub> + NO<sub>3</sub>)/phosphatesO<sub>2</sub> : oxygène dissous (pourcentage de saturation)

%sat.: pour cent de saturation

pH : unités pH

PO<sub>4</sub> : phosphates dissous ( $\mu\text{atg P} - \text{PO}_4^{3-}/1$ ) (essentiellement orthophosphates)

S°/‰ : salinité (g/kg)

Secchi : profondeur de disparition du disque de Secchi (m)

SiO<sub>3</sub> : silicates dissous ( $\mu\text{atg Si-SiO}_3^-/1$ ) $\sigma_t = (\rho - 1) 10^3$  , à pression hydrostatique nulle  $\rho = \text{densité}(\text{g/cm}^3)$ 

T° : température (°C : degré Celsius)

 $\Delta T$  : température maximale - température minimale $\Delta T_{0m - 10m}$  : température de sub-surface - température au niveau 10 m $\Delta T_{0m - 15m}$  : température de sub-surface - température au niveau 15 mZ<sub>c</sub> : profondeur de compensation (m)Z<sub>s</sub> : profondeur de disparition du disque de Secchi (m)PhytoplanctonChl.a : chlorophylle a ( $\mu\text{g/l}$ ) = chlorophylle a + produits de dégradation de la chlorophylle a

chlorophylle "active" = chlorophylle a + chlorophyllide a

e<sub>430</sub>/e<sub>663</sub> : indice pigmentaire (MARGALEF)

E : équitabilité

H : indice de diversité spécifique (bits/cellule) (SHANNON-WEAVER)

phéopigments ( $\mu\text{g/l}$ ) = phéophytine a + phéophorbide a

ANNEXE I - 2

METHODES UTILISEES POUR LES MESURES HYDROLOGIQUES SUR LE SITE DE GRAVELINES

Température

Thermomètre au  $1/10^e$  °C, plongé dans l'eau prélevée au niveau échantillonné, pendant les premières campagnes ; puis thermomètre à renversement (RICHTER et WIESE) au  $1/100^e$  °C, adapté sur la bouteille à prélèvements. La lecture de la température est faite avec une loupe NANSEN, puis la valeur relevée est corrigée à l'aide du certificat d'étalonnage du thermomètre.

Thermomètre au  $1/10^e$  °C à la station "Digue".

Salinité

Méthode de KNUDSEN : dosage des chlorures par précipitation au nitrate d'argent ; puis détermination de la salinité à l'aide des tables océanographiques internationales (1973) ; précision : 0,05 ‰. Cette méthode a été employée jusqu'au 1er juin 1975 (et en juin-juillet 1977). Ensuite la mesure, basée sur la conductivité de l'eau de mer, a été faite avec un salinomètre GUIDLINE, puis BECKMAN (mesure faite au Centre Océanologique de Bretagne, Unité Littoral du C.N.E.X.O.). Précision : 0,005 ‰.

Densité

La densité est calculée à partir des valeurs de température et de salinité, selon la formule de COX et coll. (1970).

Matières en suspension

Filtration d'un litre d'eau (ou moins selon la vitesse de filtration) sur filtre GELMAN-GA 6 en acétate de cellulose, de porosité 0,45  $\mu$ m, prépesé. Le rinçage est réalisé avec une solution de formiate d'ammonium (BANSE et coll., 1963). Le filtre est ensuite pesé à nouveau après passage à l'étuve. Précision de la balance :  $1/100^e$  mg.

Transparence de l'eau

Moyenne des estimations de la profondeur de disparition et de la profondeur de réapparition du disque de Secchi, mesurées à l'ombre du bateau (ATKINS et coll., 1954). Précision : entre 0,1 et 0,5 m selon l'état de la mer.

P<sup>H</sup>

P<sup>H</sup>-mètre RADIOMETER de précision 0,05 unité pH, puis pH-mètre E 603 METROHM HERISAU de précision 0,01 unité pH.

Oxygène dissous

Méthode de WINCKLER : précipitation dans l'eau d'hydroxyde de manganèse qui absorbe l'oxygène présent pour former de l'hydroxyde manganique ; celui-ci, sous l'action de l'acide chlorhydrique, donne du chlorure manganique qui libère l'iode de l'iodure de potassium préalablement introduit ; l'iode libéré est ensuite dosé par le thiosulfate. Les résultats sont exprimés en ml O<sub>2</sub>/l. Précision :  $5 \cdot 10^{-2}$  ml/l.

Pour obtenir le résultat en pourcentage de saturation (qui est fonction de la température et de la salinité) on utilise les tables océanographiques internationales (1973). Précision : 0,1 % saturation.

Les méthodes de dosage des sels nutritifs sont celles indiquées par TREGUER et LE CORRE (1974):

Ammoniac dissous

Technique adaptée à l'eau de mer par KOROLEFF (1969) : en milieu alcalin l'ammoniac dissous réagit sur l'hypochlorite pour former une monochloramine qui, en présence de phénol et d'un excès d'hypochlorite, donne lieu à la formation d'un bleu d'indonophénol. La densité optique des solutions est mesurée par colorimétrie. Précision : 0,05 ou 0,1  $\mu$ atg/l.

Autres sels nutritifs

Dosages colorimétriques. Echantillons et réactifs sont introduits dans les circuits d'un AUTOANALYZER II TECHNICON.

Nitrites : diazotation avec la sulfanilamide en milieu acide et copulation du diazoïque obtenu avec le chlorhydrate N-naphtyl éthylène diamine pour fournir un colorant azoïque (BENDSCHNEIDER et ROBINSON). Précision : 0,02  $\mu$ atg/l.

Nitrates : les nitrates sont réduits en nitrites par passage de l'échantillon sur une colonne cadmium-cuivre. Précision : 0,1  $\mu$ atg/l.

Phosphates : les orthophosphates réagissent, en milieu acide, en présence de molybdate d'ammonium, pour former un complexe phosphomolybdique ;

celui-ci, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue (MURPHY et RILEY, 1962). Précision : 0,02  $\mu\text{atg/l}$ . (L'acidification peut entraîner une hydrolyse partielle de formes chimiques plus complexes, en quantité mal connue).

Silicates : les silicates réagissent en milieu acide avec les ions molybdate pour former de l'acide silicomolybdique ; ce complexe est réduit par un mélange de métol et de sulfite de sodium en anhydride silicomolybdique de coloration bleue (MULLIN et RILEY, 1955).

Précision : 0,1  $\mu\text{atg/l}$ .

## ANNEXE I-3

Tableaux 7 à 9 : Paramètres hydrologiques au niveau  
de la radiale à Gravelines



TABLEAU 7 : PARAMETRES HYDROLOGIQUES AU NIVEAU DE LA RADIALE A GRAVELINES EN 1974-75 -I-3-1-

st.	29.09 74	17.11 74	2.02 75	9.02 75	8.03 75	19.04 75	9/10. 05 75	20.05 75	1.06 75	2.07 75	30.08 75	6.10 75	15.12 75 C M L	
T° (°C)	8 9 10 11	14,0 14,5 15,0	9,10 9,25 9,40	7,55	6,50 6,80 6,30	8,0 8,0 8,0		8,90 <u>8,60</u> 9,50 9,70	10,8 10,7 10,5 10,4	12,4 12,2 11,85	15,85 15,75 15,75 15,4	19,15 19,07 18,60 18,80	15,5 15,9	8,5 8,6 8,9
S (‰)	8 9 10 11		33,5 33,5 34,05	33,30	33,37 33,95 33,77	33,17 33,53		30,48 <u>30,43</u> 31,25 31,44	31,44 31,65 31,91 32,24	30,25 30,72 30,84 31,09	32,084 32,468 32,472 32,728	34,548 34,779 34,668 34,767	34,177 34,190 34,347 34,399	32,980 32,914 32,951
σ <sup>t</sup>	8 9 10 11		25,97 25,95 26,35	26,05	26,56 26,66 26,58	25,85 25,88 26,16		23,64 <u>23,65</u> 24,15 24,27	24,08 24,26 24,50 24,77	23,24 23,89 23,37 23,63	23,58 23,89 23,89 24,17	24,66 24,86 24,93 24,92	25,27 25,30 25,32	25,94 25,87 25,86
O <sub>2</sub> (% sat.)	8 9 10 11			113	108 108 107	103 102 103			83,9 78,8? 83,6 84,3	85,5 88,0 89,4 88,8	91,5 98,1 98,9 100,0	119,0 110,2 115,2 111,0	66,4 49,6 101,9	57,7 58,6 57,4
Secchi (m)	8 9 10 11	1,0 0,8	0,5 1,1 2,5	0,8	1,0 1,5 0,8	1,0 1,0		1,0 <u>1,25</u> 2,25	1,0 1,75 3,0 4,0	0,75 2,0 1,5 4,0	1,5 2,25 2,25 4,25	3,5 4,25 2,25 7,0	0,5 1,25 2,25 2,75	0,9 0,9 1,5
Zc (m)	8 9 10 11	2,5 2,0	1,25 2,75 6,25	2,0	2,5 3,75 2,0	2,5 2,5		2,5 <u>3,1</u> 5,6	2,5 4,4 7,5 10,0	1,9 5,0 3,75 10,0	3,75 5,6 5,6 10,6	8,75 10,6 17,5	1,25 3,1 5,6 6,9	2,25 2,25 3,75
M.E.S. (mg/l)	8 9 10 11			15	30 26 36	25 18		17 <u>100</u> 11 16	56 33 13 7	25 26 18 6	16 25 7 4	5 5 5 6	26 64 15 14	32,5 42,6 32,6
pH	8 9 10 11			8,13	8,23 8,29 8,18	8,17 8,25				8,32 8,32 8,28 8,36		8,20 8,19 8,10 8,14	8,18 8,19 8,22 8,23	8,34 8,35 8,36
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µatg/l)	8 9 10 11				0,15 0,07 0,12			0,43 <u>0,40</u> 0,29 0,22	0,32 0,53 0,24 0,24	0,75 0,48 0,62 0,39	0,93 0,66 0,62 0,53	0,04 0,12 0,14 0,17	0,41 0,45 0,24 0,21	1,19 1,09 0,94
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µatg/l)	8 9 10 11				8,7 11,2 9,7			9,8 <u>10,5</u> 14,9 12,4	13,4 11,3 8,4 6,3	25,4 23,1 19,8 17,4	6,5 5,3 5,3 5,3	0,1 0,4 0,8 0,5	2,8 2,7 2,2 2,0	25,9 28,6 27,3
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µatg/l)	8 9 10 11				0,88 1,97? 0,79			0,79 <u>0,61</u> 0,31 0,23	1,22 0,69 0,45 0,39	0,98 1,16 0,87 0,60	1,27 1,87 5,26 2,24	0,57 0,53 0,80 0,30	1,53 0,94 1,03 1,17	1,31 1,26 1,35
SiO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µatg/l)	8 9 10 11				0,99 0,80			4,7 <u>1,9</u> 1,2 0,9	3,7 1,9 1,9	1,3 0,5 0,4 0,0	4,3 3,2 3,1 2,3	0,2 0,3 0,3 0,3	6,7 5,8 2,5 3,8	11,7 13,3 11,8
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	8 9 10 11				9,9 6,7 12,4			12,3 <u>17,4</u> 35,7 92,1	13,6 16,2 18,4 16,1	26,0 20,2 22,9 23,0	5,1 3,0 1,1 3,4	0,3 0,6 0,8 2,0	1,8 3,1 2,9 1,8	15,8 20,9 20,4

\* pollution ?



TABLEAU 8 : PARAMETRES HYDROLOGIQUES AU NIVEAU DE LA RADIALE A  
GRAVELINES EN 1976-77 (C1, M1 et L1 ; C2, M3 et L2)

		20.06 76	20.09 76	18.10 76	18.11 76	17.12 76 M1	7.01 77	17.01 77	15.02 77	19.03 77	12.04 77	14.05 77	9.06 77	4.07 77
T° (°C)	C	20,08	(16,40)	14,15	10,74		5,33	4,97	6,41	8,17	7,75	10,76	13,25	15,91
	M	20,07	16,60	14,42	10,93	7,3	5,31	5,04	6,43	8,14	7,66	10,77	13,30	15,63
	L	19,80	16,95	(14,83)	11,43		5,91	5,52	6,59	8,12	7,78	10,73	13,11	15,13
S (‰)	C	34,227	33,725	34,518	33,791		34,116	33,700	34,135	33,673	33,946	34,029	34,08	34,05
	M	34,217	33,750	34,534	33,947	34,406	34,073	33,735	34,172	33,649	34,005	34,063	34,02	34,05
	L	34,357	33,947	34,692	34,098		34,437	34,333	34,322	33,841	34,252	34,070	34,16	34,25
σ <sub>t</sub>	C	24,17	(24,72)	25,80	25,91		26,97	26,68	26,88	26,25	26,52	26,10	25,67	25,02
	M	24,17	24,68	25,77	26,00	27,00	26,94	26,70	26,88	26,24	26,58	26,12	25,62	25,12
	L	24,35	24,74	(25,77)	26,03		27,16	27,12	26,96	26,39	26,76	26,14	25,76	25,40
O <sub>2</sub> (% sat.)	C		91,2	90,4	90,3		112,7	111,0	95,0	112,9	108,3	98,9	96,8	112,2
	M		92,2	91,3	90,5	98,4	110,9	112,0	96,0	112,1	109,5	103,4	98,6	108,3
	L		93,8	94,2	93,3		115,2	113,4	98,1	115,3	109,6	110,8	98,7	110,7
Secchi (m)	C	0,8	1,4	1,25	1,0			0,4	1,25	1,0	1,0	1,0	1,75	0,9
	M		(1,5)	1,25	0,75			0,8	0,9	1,5	1,5	1,25	2,0	1,5
	L	2,0	2,25	2,75	1,50			2,0	3,0		2,5	(2,0)	3,0	2,75
Zc (m)		2,0	3,5	3,1	2,5			1,0	3,1	2,5	2,5	2,5	4,4	2,25
			(3,75)	3,1	1,9			2,0	2,25	3,75	3,75	3,1	5,0	3,75
		5,0	5,6	6,9	3,75			5,0	7,5		6,25	(5,0)	7,5	6,9
M.E.S. (mg/l)	C	25,8	23,5	20,1	24,1		34,3	85,5	52,6	21,1	23,9		14,7	44,0
	M	31,8	22,7	16,7	20,6		46,7	26,7	54,1	13,4	25,1		11,7	30,9
	L	17,0	15,5	11,2	10,7		25,0	9,8	10,5	7,5	10,0	(22,3)	7,2	8,7
pH	C	8,22	8,15	8,11	8,10		8,09	8,21	8,21	8,32	8,41	8,57	8,18	8,15
	M	8,24	8,16	8,14	8,15		8,07	8,18	8,22	8,34	8,43	8,57	8,19	8,15
	L	8,25	8,16	8,20	8,16		8,12	8,27	8,27	8,33	8,41	8,58	8,18	8,16
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (µatg/l)	C				(8,2)		4,5	4,4	1,9	1,7	1,4	<0,1	9,4	0,5
	M				(8,2)	3,4	5,1	4,4	1,6	1,5	1,3	<0,1	8,6	0,4
	L				(4,8)		2,4	1,3	0,6	1,1	0,9	<0,1	7,1	0,2
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (µatg/l)	C	0,06	0,74	0,35	0,82		0,87	0,70	0,68	0,52	0,36	0,05	0,66	0,60
	M	0,05	0,55	0,31	0,86		0,93	0,77	0,70	0,48	0,33	0,09	0,61	0,57
	L	0,02	0,43	0,20	0,60		0,79	0,62	0,53	0,39	0,34	0,08	0,48	0,30
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µatg/l)	C	0,3	3,4	2,9	15,8		15,3	18,4	18,2	10,2	4,4	0,6	5,5	2,9
	M	0,4	3,8	3,0	14,1		15,1	17,3	18,2	8,6	3,1	0,3	5,5	3,3
	L	(1,3)	3,8	2,6	13,0		12,5	13,6	16,6	9,0	4,9	0,4	4,2	2,9
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µatg/l)	C	1,12	1,41	0,74	1,43		0,82	0,92	0,93	0,50	0,78	0,14	0,84	0,51
	M	1,11	1,51	0,66	1,11		0,81	0,87	0,94	0,99	0,61	0,18	0,71	0,46
	L	0,59	1,18	0,52	1,09		0,79	0,87	1,01	0,71	0,37	0,64	0,66	0,31
SiO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µatg/l)	C	1,0	4,4	6,2	13,6		8,7	9,6	8,9	1,0	2,0	1,8	4,7	0,9
	M	1,1	4,1	5,9	12,3		9,0	9,2	6,6	1,1	1,5	2,0	3,5	1,0
	L	ε	3,3	4,0	9,8		6,8	6,4	7,6	0,2	0,7	1,6	2,9	1,1
N total (µatg/l)	C				26,00		20,71	23,54	20,78	12,43	6,16	0,64	15,56	3,95
	M				24,67		21,09	22,38	20,55	10,66	4,76	0,42	14,85	4,13
	L				19,06		15,75	15,48	17,72	10,46	6,50	0,42	11,79	3,45
NO <sub>3</sub> /PO <sub>4</sub>	C	0,3	2,4	4,0	11,9		18,5	19,8	19,6	20,6	9,7	3,2	6,6	5,9
	M	1,2	2,5	4,5	12,8		18,5	19,8	19,4	10,6	6,6	2,0	6,8	7,1
	L	0,4	3,2	5,1	12,2		15,9	15,7	16,5	16,0	17,3	1,8	6,1	9,8
N total/ PO <sub>4</sub>	C				23,0		23,1	25,1	22,4	20,8	13,4	3,5	13,0	8,2
	M				21,3		25,9	25,7	21,9	13,2	10,5	2,5	13,4	9,2
	L				17,7		19,9	17,8	17,7	18,6	22,4	1,9	17,5	11,4

\*  
(pollution en M1)

TABLEAU 9 : PARAMETRES HYDROLOGIQUES AU NIVEAU DE LA RADIALE A  
GRAVELINES EN 1970

(Les données d'oct., nov. et déc., sont établies à partir des résultats recueillis par H. GROSSEL)

Quand le point L n'a pas été échantillonné nous avons pris en compte les données du point HZ (19.09, 14.11 et 18.12)

		7.02	2.03	30.03	19.04	3.05	21.05	20.06	18.07	17.08	19.09	12.10	14.11	19.12
											HZ		HZ	HZ
T° (°C)	C	5,83	5,61	7,36	7,14	8,75	10,54	15,28	15,9	17,25	16,56	14,60	11,19	
	M	5,67	5,57	7,23	7,16	8,72	10,96	15,11	15,66	17,28	16,59	14,59	11,44	7,94
	L	6,25	5,52	7,04	7,14	8,58	10,58	14,59	15,31	17,09	16,64	14,90		8,02
S (‰)	C	33,735	33,720	33,132	33,584	33,190	33,626	33,504	34,249	34,093	34,233	34,149	34,168	33,717
	M	33,751	33,744	33,181	33,584	33,346	33,617	33,542	34,266	34,113	34,349	34,009	34,186	33,895
	L	34,163	33,911	33,443	33,623	33,449	33,939	33,665	34,306	34,175	34,265	33,971	34,035	33,815
σ <sub>t</sub>	C	26,60	26,61	25,92	26,31	25,76	25,81	24,78	25,21	24,78	25,05	25,42	26,11	
	M	26,63	26,66	25,98	26,30	25,89	25,73	24,85	25,28	24,79	25,14	25,32	25,09	25,43
	L	26,88	26,46	26,21	26,34	25,99	26,04	25,22	25,39	24,88	25,06	25,22		26,37
O <sub>2</sub> (% sat.)	C	100,92	107,77	100,96	122,07	96,96	100,84	110,93	101,59	111,52	106,17	93,72	93,09	
	M	98,62	98,20	101,35	121,97	98,81	51,29	110,12	99,95	110,07		93,19	95,15	93,67
	L	98,03	97,69	102,18	117,31	97,94	106,07	109,74	104,48	105,51	105,72	93,57		94,17
Secchi (m)	C	1,0	1,2	1,0	2,0	1,3	≈1,0	0,75	2,75	3,8	2,0	1,1	1,0	0,8
	M		1,7	0,7	1,5	1,5		1,0	2,25	2,5	1,25	1,2	≈0,7	0,7
	L		2,0	2,2	3,0	2,2		2,75	5,25	5,0	2,0		1,0	0,6
Zc (m)	C	2,5	3,0	2,5	5,0	3,25	≈2,5	1,9	6,9	9,5	5,0	2,75	2,5	2,0
	M		4,25	1,75	3,75	3,75		2,5	5,6	6,25	3,1	3,0	≈1,75	1,75
	L		5,0	5,5	7,5	5,5		6,9	13,1	12,5	5,0		2,5	1,5
M.E.S. (mg/l)	C	42,0	>14,68	49,5	6,7	12,96	53,4	14,0	7,3	8,9	13,33	18,38	38,81	30,7
	M	>61,3	20,53	30,2	12,9	30,0	20,6	29,5	16,4	14,2	26,49	20,42	40,59	53,3
	L	17,5	8,22	7,5	10,1	7,0	7,3	11,1	6,4	4,1	12,22	10,57	18,31	>19,6
pH	C	8,01	8,09	8,13	8,53	8,29	8,27	8,35	8,25	8,28	8,25	8,17	8,10	8,16
	M	8,04	8,08	8,15	8,51	8,31	8,23	8,35	8,27	8,26	8,27	8,16	8,10	8,19
	L	8,07	8,12	8,18	8,44	8,25	8,27	8,32	8,27	8,27	8,27	8,16		8,17
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μatg/l)	C	2,77	6,1	5,7	1,6	4,29	2,4	0,28	2,1	2,2	2,50	7,96	8,44	5,83
	M	2,64	4,15	3,22	0,8	2,95	2,5	0,16	0,6	1,5	2,04	7,83	7,90	3,84
	L	0,74	2,9	1,45	1,2	2,37	0,8	0,14	0,11	0,91	2,24	5,60	7,65	4,10
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (μatg/l)	C	0,47	0,48	0,17	0,05		0,43	0,09	0,08	0,43	0,40	0,67	0,45	0,54
	M	0,53	0,60	0,17	0,17		0,37	0,09	0,08	0,23	0,27	0,64	0,53	0,41
	L	0,45	0,44	0,19	0,16		0,21	0,04	0,07	0,06	0,24	0,59	0,57	0,46
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μatg/l)	C	19,5	20,6	22,6	3,06	4,94	7,78	0,70	0,13	0,15	0,16	4,68	7,45	10,3
	M	20,1	20,8	23,0	1,91	7,11	9,04	0,40	0,07	0,12	0,14	5,53	6,97	11,2
	L	16,7	20,9	20,4	5,45	10,08	5,84	0,23	0,06	0,05	0,15	4,36	8,91	11,3
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μatg/l)	C	1,04	0,95	2,00	0,20		0,68	0,11	1,34	0,51	0,25	0,41	0,50	0,94
	M	1,10	0,86	2,00	0,44		0,69	0,07	1,50	0,25	0,49	0,32	0,57	0,67
	L	1,04	0,91	1,76	0,53		0,38	0,01	1,06	0,40	0,29	0,37	0,50	0,79
SiO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (μatg/l)	C	11,5	10,1	7,3	0,6	1,4	1,4	0,0	1,7	0,0	2,2	6,2	7,7	8,0
	M	11,2	10,4	7,2	1,1	2,4	1,3	0,0	0,9	0,0	2,6	6,5	6,7	8,3
	L	8,9	9,4	6,7	1,1	2,1	1,8	0,0	0,2	0,0	2,1	5,6	7,5	8,3
N total	C	22,74	27,18	28,47	4,75	9,23	10,63	1,07	2,28	2,83	3,10	13,33	16,39	16,67
	M	23,22	25,57	26,34	2,82	10,06	11,92	0,65	0,80	1,78	2,46	14,03	15,37	15,40
	L	17,59	24,19	22,04	6,81	12,44	6,86	0,35	0,23	1,02	2,93	10,56	17,12	15,87
NO <sub>3</sub> /PO <sub>4</sub>	C	18,7	21,7	11,3	15,3		11,4	6,4	0,1	0,3	0,8	11,4	14,9	11,0
	M	18,3	24,2	11,5	4,3		13,4	9,8	0,05	0,4	0,5	17,0	12,4	16,7
	L	16,1	23,2	11,6	10,4		15,6	>12,2	0,06	0,1	0,5	12,4	17,8	16,1
N total/ PO <sub>4</sub>	C	21,8	28,6	14,2	23,7		15,6	9,7	1,7	5,5	12,4	60,5	68,8	17,7
	M	21,2	29,7	13,2	6,4		17,7	15,1	0,5	6,9	5,5	46,2	27,2	25,8
	L	17,2	26,8	12,5	13,0		16,5	15,3	0,2	2,6	0,5	28,9	34,2	22,6

ANIS  
LILLE

## ANNEXE I-4

Tableaux 19 à 22 : Nombre de cellules par cm<sup>3</sup>  
et pourcentage de dominance des principaux  
groupes, genres et espèces du phytoplancton à  
Gravelines et dans le port de Dunkerque

TABLEAU 19 : NOMBRE DE CELLULES PAR CM<sup>3</sup> ET POURCENTAGE DE DOMINANCE DES PRINCIPAUX GROUPES, GENRES ET ESPECES DU PHYTOPLANKTON A GRAVELINES EN 1974-75 (MOYENNE DE TOUTES LES STATIONS)

	29.09 74	17.11 74	2.02.75	9.02.75	8.03.75	13.04.75	19.04.75	9/10.05 75	20.05.75	1.06.75	2.07.75	30.08.75	6.10.75	15.12.75
DIATOMÉES	99,7	99,9	142 98,8	205 99,2	1028 97,2	1753 100,0	464 98,9	1045 88,5	503 98,0	202 96,0	494 94,6	3731 98,2	1465 97,4	319 97,5
<i>Paralia sulcata</i>	29,2	8,1	55 35,9	63 28,6	4 0,6	25 0,7	20 3,3	18 1,0	37 5,6	16 5,2	4 0,7	-	7 0,5	61 18,1
<i>Thalassiosira condensata</i>	-	0,05	-	-	1 0,01	1 0,07	-	-	-	1 0,02	-	3 0,08	-	-
<i>Thalassiosira decipiens</i>	-	1,2	1 0,4	1 0,3	8 0,6	34 1,5	4 0,9	4 0,3	15 2,8	7 2,8	2 0,4	12 0,3	4 0,2	7 2,2
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	-	0,03	1 0,3	1 0,06	102 9,3	2 0,3	-	4 0,5	-	1 0,03	-	53 1,0	-	1 0,01
<i>Thalassiosira rotula</i>	-	0,2	4 2,7	9 5,2	17 1,5	5 0,2	2 0,2	1 0,05	1 0,05	1 0,1	8 1,4	31 0,7	16 1,2	1 0,2
<i>Thalassiosira indéterminées</i>	0,07	2,1	1 1,0	8 3,5	88 6,2	14 0,8	8 1,6	7 0,6	18 1,9	2 0,7	5 0,9	130 3,0	156 11,3	52 15,6
Total <i>Thalassiosira</i>	0,1	4,2	6 4,4	18 9,0	216 17,7	55 2,8	14 2,6	15 1,3	34 4,8	11 3,8	16 2,7	230 5,1	178 12,7	60 18,0
<i>Skeletonema costatum</i>	-	0,1	4 3,1	9 3,8	17 0,5	46 3,6	20 3,1	142 9,2	56 9,1	13 4,4	17 3,1	68 1,4	23 1,7	3 0,9
<i>Biddulphia aurita</i>	0,05	0,09	3 2,1	2 0,7	2 0,2	26 0,9	9 1,2	11 0,6	7 1,7	2 0,8	1 0,1	-	7 0,5	26 7,7
Total <i>Biddulphia</i>	2,4	1,1	6 3,8	2 1,2	14 1,4	40 2,6	9 1,4	14 0,7	10 2,2	3 1,0	2 0,3	-	14 0,9	27 7,9
<i>Cerataulina pelagica</i>	0,3	0,3	1 0,1	-	3 0,3	-	1 0,5	1 0,2	1 0,2	1 0,04	-	23 0,7	1 0,05	1 0,03
<i>Chaetoceros curvisetum</i>	1,6	-	1 0,1	-	358 32,8	6 0,2	-	4 0,3	-	1 0,3	?	1545 32,9	291 19,4	1 0,07
+ <i>Ch. debile</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chaetoceros sociale</i>	-	0,3	-	-	?	-	-	-	-	-	5 1,0	105 1,8	?	1 0,3
<i>Chaetoceros indéterminées</i>	0,1	5,1	1 0,5	1 0,4	116 9,2	-	1 0,3	2 0,3	1 0,1	1 0,2	96 18,2	1060 25,1	521 33,7	6 1,9
Total <i>Chaetoceros</i>	1,7	5,7	2 1,1	1 0,7	508 43,7	12 1,2	1 0,4	6 0,7	1 0,1	18 9,9	109 20,6	2752 60,9	821 53,8	8 2,4
<i>Leptocylindrus danicus</i>	0,03	15,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	219 7,2	11 0,7	1 0,01
<i>Rhizosolenia delicatula</i>	0,1	3,2	-	-	1 0,06	-	-	1 0,2	-	1 0,1	50 9,0	124 3,4	3 0,2	1 0,3
<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	-	-	-	-	-	-	-	1 0,03	-	-	-	1 0,01	-	-
<i>Rhizosolenia pungens</i>	1,0	0,5	1 1,0	4 2,0	10 1,0	3 0,2	1 0,4	10 1,3	5 1,6	4 1,8	45 8,2	-	-	1 0,3
+ <i>Rh. setigera</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia shrubsolei</i>	10,7	3,6	3 1,9	1 0,3	1 0,03	4 0,7	4 1,7	6 1,0	12 1,6	13 7,3	14 2,6	65 3,9	3 0,2	-
<i>Rhizosolenia stouterfothii</i>	1,0	0,6	-	-	1 0,01	3 0,3	1 0,8	18 2,4	5 1,5	17 10,9	-	184 10,2	2 0,09	-
Total <i>Rhizosolenia</i>	24,1	8,9	4 2,9	5 2,3	11 1,1	10 1,2	5 3,0	36 4,9	23 4,7	35 20,2	109 19,8	378 17,5	8 0,6	2 0,6
" <i>Fragilaria</i> "	-	3,4	25 17,3	30 16,3	11 0,9	595 32,2	56 4,9	410 28,8	190 38,9	74 29,6	26 4,2	-	180 11,8	110 33,0
<i>Rhaphoneis amphiceros</i>	5,0	0,9	3 1,8	3 1,4	1 0,06	39 1,7	5 0,7	19 1,7	14 2,1	2 0,8	3 0,4	-	11 0,7	11 3,3
<i>Rhaphoneis surirella</i>	2,4	0,4	1 0,4	1 0,5	-	-	-	-	-	-	1 0,02	-	-	-
<i>Asterionella japonica</i>	14,9	5,0	3 2,1	15 6,9	192 17,3	576 40,3	204 31,3	123 9,8	83 16,4	28 10,2	120 20,6	2 0,8	74 4,7	3 1,0
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	-	23,8	2 1,2	10 4,6	77 6,7	49 3,7	22 5,8	91 6,6	5 1,6	5 1,7	5 1,1	-	41 2,9	5 1,4
Total <i>Navicula</i>	4,2	6,0	2 1,5	2 1,0	3 0,3	5 0,2	-	1 0,05	4 1,2	2 1,2	11 2,0	3 0,06	44 2,9	3 0,8
<i>Stannoneis membranacea</i>	-	0,2	-	-	-	-	1 0,5	1 0,04	-	1 0,01	-	1 0,04	1 0,01	1 0,01
<i>Nitzschia closterium</i>	5,7	1,4	16 11,5	26 12,8	7 0,7	84 5,4	13 3,0	38 3,7	7 2,1	8 3,7	33 6,2	44 1,3	10 0,6	1 0,2
<i>Nitzschia delicatissima</i>	-	2,3	9 7,3	4 2,2	2 0,2	8 0,9	64 29,2	85 11,5	7 3,4	2 1,3	43 8,1	4 0,2	15 1,0	2 0,5
+ <i>N. seriata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia indéterminées</i>	-	-	-	-	1 0,09	-	-	-	-	-	-	1 0,1	1 0,02	-
Total <i>Nitzschia</i>	5,8	3,7	25 18,8	29 15,0	11 0,9	92 6,3	77 32,2	123 15,2	14 5,5	10 5,0	76 14,3	49 1,6	25 1,6	3 1,9
DINOFLAGELLÉS	0,2	0,1	1 0,2	1 0,2	4 0,4	-	1 0,3	86 10,8	3 1,1	1 0,9	1 0,2	12 0,6	6 0,4	2 0,5
Total <i>Gyrodinium</i>	-	0,02	-	1 0,1	2 0,3	-	1 0,3	82 10,5	2 0,9	1 0,02	1 0,07	3 0,2	1 0,07	1 0,3
Total <i>Uvidinium</i>	0,03	0,07	1 0,2	1 0,1	1 0,1	-	-	1 0,07	-	1 0,1	1 0,03	2 0,07	1 0,05	1 0,06
<i>Prorocentrum micans</i>	0,4	0,01	-	-	-	-	-	1 0,08	-	-	-	1 0,01	-	-
Total <i>Prorocentrum</i>	0,4	0,01	-	-	1 0,02	-	-	1 0,08	-	1 0,1	-	5 0,3	1 0,06	-
CHLOROPHYCEES	-	-	1 0,7	-	18 2,4	-	1 0,3	4 0,7	2 0,2	6 1,9	14 3,0	25 0,6	38 2,2	6 1,8
Total <i>Scenedesmus</i>	-	-	1 0,7	-	3 0,1	-	-	-	1 0,1	1 0,3	1 0,1	11 0,2	1 0,02	1 0,1
Chlorophycée (?) sp <sub>1</sub>	-	-	-	-	4 0,4	-	-	4 0,7	1 0,04	-	13 2,9	14 0,7	7 0,6	5 1,6
<i>Phaeocystis</i>	-	-	-	-	-	+	++	+++	-	-	22000	-	-	-

INS  
LITE

1-1-1

TABLEAU 20 : NOMBRE DE CELLULES PAR CM<sup>3</sup> ET POURCENTAGE DE DOMINANCE DES PRINCIPAUX GROUPES, GENRES ET ESPECES DU PHYTOPLANCTON A GRAVELINES EN 1976-77  
(MOYENNE DES STATIONS DE LA RADIALE : C1, M1, L1 et C2, M3, L2 ; M1 SEULEMENT LE 17.12.76)

	20.08.76	20.09.76	18.10.76	18.11.76	17.12.76 (M1)	7.01.77	17.01.77	15.02.77	19.03.77	12.04.77	14.05.77	9.06.77	4.07.77
<b>DIATOMÉES</b>	10233 99,7	287 89,1	783 97,5	219 93,6	354 96,5	333 95,5	354 96,1	593 98,7	3202 98,1	463 80,9	1054 76,2	141 78,0	787 98,0
<i>Navalis sulcata</i>	20,02	3 1,0	4 0,5	21 10,2	15 4,4	22 6,4	28 8,0	15 2,0	1 0,03	10 2,3	9 0,5	1 1,0	7 1,0
<i>Thalassiosira condensata</i>	70,07	2 0,4	6 0,6	1 0,3	2 0,5	1 0,07	1 0,02	1 0,2	1 0,03	-	-	-	-
<i>Thalassiosira decipiens</i>	-	1 0,2	6 0,9	1 0,2	1 0,1	9 3,0	11 3,0	45 7,0	1 <0,01	1 0,08	1 0,01	-	1 <0,01
<i>Thalassiosira lewandi</i>	-	27 9,4	48 6,3	17 8,8	6 1,7	18 5,9	22 5,6	150 26,6	1 0,02	2 0,3	1 0,02	29 15,1	51 7,0
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	188 5,8	-	-	1 0,02	-
<i>Thalassiosira rotula</i>	18 0,2	1 0,05	4 0,6	4 1,6	7 1,9	9 2,5	12 3,5	33 5,7	1 0,02	2 0,3	6 0,6	1 0,5	2 0,2
<i>Thalassiosira indéterminées</i>	137 1,2	3 1,0	5 0,8	2 0,6	13 3,5	21 5,7	9 2,0	10 1,8	7 0,2	2 0,2	1 0,09	4 2,9	2 0,2
Total <i>Thalassiosira</i>	163 1,5	32 11,0	71 9,2	25 11,5	28 7,7	56 17,2	55 14,1	249 41,3	205 6,5	16 2,6	14 1,5	35 18,7	54 7,5
<i>Chaetoceros costatum</i>	222 2,1	3 1,1	6 0,7	5 2,8	26 7,2	17 4,1	38 10,6	188 34,6	11 0,3	11 1,7	9 0,7	14 6,8	18 1,9
<i>Biddulphia aurita</i>	1 <0,01	1 0,03	17 2,2	14 5,9	8 2,2	20 5,2	13 3,6	14 2,1	1 <0,01	3 0,6	1 0,05	1 0,07	1 0,07
Total <i>Biddulphia</i>	2 0,04	1 0,3	17 2,2	14 5,9	8 2,2	20 5,5	14 3,7	14 2,2	1 0,01	3 0,6	1 0,06	1 0,2	1 0,1
<i>Crataulina pelagica</i>	2 0,02	-	1 0,03	1 0,03	2 0,4	-	1 0,06	-	4 0,1	32 6,4	71 5,8	1 0,6	1 0,07
<i>Chaetoceros curvisetum</i>	25 0,3	90 24,6	66 7,3	2 1,5	-	1 0,1	2 1,2	3 0,6	812 26,8	1 <0,01	-	1 0,6	1 0,1
+ <i>Ch. debile</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chaetoceros sociale</i>	-	2 1,4	72 9,1	50 19,3	88 23,6	11 1,9	59 16,8	19 3,0	1678 48,5	4 0,7	17 1,7	2 1,6	2 0,1
<i>Chaetoceros indéterminées</i>	4762 43,8	15 9,0	34 4,7	5 2,4	8 2,2	8 2,1	1 0,4	1 0,2	12 0,6	2 0,5	1 0,02	2 0,8	5 0,5
Total <i>Chaetoceros</i>	5052 46,6	144 46,4	190 23,8	58 23,3	144 30,9	26 6,1	64 18,5	28 4,7	2514 76,7	7 1,3	19 1,8	4 3,0	13 1,4
<i>Leptocylindrus danicus</i>	44 0,4	1 0,3	14 2,0	1 0,4	7 2,0	-	-	-	1 0,04	1 0,06	1 0,1	-	4 0,7
<i>Rhizosolenia delicatula</i>	27 0,3	8 3,6	297 38,8	10 4,9	1 0,2	1 0,03	5 1,3	1 0,2	19 0,6	88 16,2	60 4,5	11 7,0	38 7,2
<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	-	-	1 0,1	-	-	-	-	-	1 0,01	4 0,5	15 1,4	4 2,6	7 1,3
<i>Rhizosolenia pungens</i>	101 1,0	1 0,1	3 0,5	2 1,1	2 0,5	3 0,8	2 0,5	1 0,07	1 0,04	1 0,04	-	3 2,1	296 34,5
+ <i>Rh. setigera</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia shrubsolei</i>	12 0,1	-	1 0,03	-	11 2,7	2 0,9	1 0,1	1 0,2	9 0,3	52 10,4	33 2,8	1 0,3	15 2,1
<i>Rhizosolenia stouterfothii</i>	56 0,6	1 0,1	10 1,4	1 0,09	-	-	1 0,1	1 0,01	4 0,1	43 9,1	128 9,8	4 2,1	7 0,9
Total <i>Rhizosolenia</i>	197 2,0	9 3,8	336 40,8	13 6,1	14 3,4	5 1,7	7 2,0	3 0,5	35 1,0	188 36,3	217 18,5	23 14,2	365 46,0
" <i>Fragilaria</i> "	13 0,1	3 1,1	5 0,6	31 12,6	26 7,4	57 17,5	58 15,5	25 3,9	3 0,06	45 7,5	3 0,3	10 4,6	14 1,7
<i>Raphoneis amphiceros</i>	20,02	1 0,04	1 0,03	2 0,6	-	3 1,0	2 0,7	1 0,1	1 0,04	1 0,2	2 0,08	1 0,2	1 0,06
<i>Raphoneis surirella</i>	-	1 0,2	-	1 0,02	-	-	1 0,07	1 0,01	1 <0,01	-	1 0,02	1 0,3	-
<i>Asterionella japonica</i>	3531 35,9	33 9,4	10 1,3	17 6,7	5 1,2	35 6,9	13 2,9	12 1,9	97 2,9	91 12,9	32 2,4	30 14,0	229 28,3
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	18 0,2	2 0,5	6 0,7	11 4,2	94 25,6	58 18,0	34 9,6	36 6,4	88 2,8	21 3,5	4 0,3	1 0,4	1 0,4
<i>Navicula sp1</i>	877 8,0	8 2,7	9 1,6	1 0,07	-	-	2 0,4	1 0,02	66 2,2	1 0,2	1 0,04	1 0,02	-
Autres <i>Navicula</i>	11 0,1	2 0,8	5 0,7	4 1,7	3 0,7	2 0,5	2 0,6	2 0,3	2 0,05	3 0,9	1 0,04	3 1,9	5 0,6
<i>Stauroneis membranacea</i>	-	1 0,06	1 0,1	1 0,3	-	1 0,3	1 0,1	-	-	1 0,06	1 0,06	-	-
<i>Nitzschia closterium</i>	86 0,8	1 0,2	8 1,2	8 3,0	5 1,4	2 0,6	8 2,1	4 0,7	24 0,8	5 1,1	4 0,3	3 2,4	24 2,8
<i>Nitzschia delicatissima</i>	-	1 0,09	10 1,0	1 0,1	-	1 0,2	2 0,3	1 0,3	-	8 1,5	641 39,3	5 2,9	1 0,09
<i>Nitzschia seriata</i>	36 0,3	6 2,9	74 9,4	1 0,3	-	1 0,1	1 0,05	1 0,1	4 0,09	1 0,01	-	-	-
<i>Nitzschia indéterminées+N.sp1+N.sp2</i>	-	1 0,02	-	1 0,2	-	1 0,08	1 0,3	1 0,03	1 0,02	7 1,3	1 0,06	2 2,2	27 3,1
Total <i>Nitzschia</i>	122 1,2	16 3,2	93 11,6	10 3,6	5 1,4	4 1,0	10 2,7	6 1,1	28 0,9	20 3,9	346 40,0	12 7,6	60 6,9
<b>DINOFLAGELLES</b>	8 0,08	7 2,2	5 0,6	2 0,7	2 0,5	1 0,2	1 0,3	1 0,2	22 0,9	13 2,8	25 2,6	2 1,2	2 0,3
Total <i>Gyrodinium</i>	1 0,01	3 0,6	2 0,3	1 0,04	-	-	1 0,02	1 0,02	17 0,7	12 2,7	24 2,4	1 0,6	1 0,2
<i>Miniscula bipes</i>	1 <0,01	1 0,09	1 0,06	1 0,1	1 0,2	-	-	-	-	1 <0,01	1 0,02	1 0,4	-
<i>Peridinium brevipes</i>	-	1 0,2	1 0,03	1 0,09	1	1 0,05	1 0,04	1 0,02	1 <0,01	1 <0,01	-	-	-
<i>Peridinium trochoideum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	17 0,01	17 <0,01	-	-	-
Total <i>Peridinium</i>	2 0,02	1 0,4	1 0,07	1 0,2	-	1 0,05	1 0,08	1 0,06	3 0,1	1 0,1	1 0,08	-	1 0,01
<i>Prorocentrum micans</i>	2 0,03	1 0,07	1 0,1	1 0,2	-	-	1 0,02	-	1 <0,01	1 <0,01	-	-	1 0,02
Total <i>Prorocentrum</i>	2 0,03	1 0,07	1 0,1	1 0,2	-	-	1 0,02	-	1 <0,01	1 <0,01	-	1 0,04	1 0,02
<b>CHLOROPHYTES</b>	25 0,2	26 8,1	13 1,6	9 3,7	6 1,6	11 3,2	9 2,4	4 0,6	23 0,9	80 16,1	63 21,7	33 19,2	11 1,5
Total <i>Scenedesmus</i>	-	1 0,09	2 0,2	3 1,8	3 0,9	3 1,5	7 2,2	2 0,2	1 0,03	4 0,5	4 0,3	8 3,3	1 0,2
<i>Chlorophyce (1) sp1</i>	13 0,1	19 6,1	6 1,0	5 1,8	2 0,6	3 0,8	2 0,5	1 0,1	6 0,2	3 0,6	3 0,3	10 7,3	3 0,4
<i>Chlorophyce sp2</i>	2 0,01	2 0,7	1 0,03	-	-	-	-	-	1 0,02	1 0,03	1 0,02	1 0,3	1 0,01

TABLEAU C'INDIQUE DE CELLULES PAR CM<sup>2</sup> ET POURCENTAGE DE DOMINANCE DES PRINCIPAUX GROUPES, GENRES ET ESPECES DU PHYTOPLANKTON A GRAVELINES EN 1978 (MOYENNE SUR LA RADIALE ; LES DONNEES D'OCTOBRE, NOVEMBRE ET DECEMBRE SONT ETABLIES A PARTIR DES RESULTATS RECUEILLIS PAR H. GROSSEL) QUAND LE POINT L N'A PAS ATE ECHANTILLONNE NOUS AVONS PRIS LES DONNEES DU POINT HZ

	7.02	2.03	29.03	19.04	24.04	3.05	21.05	9.06	20.06	18.07	17.08	19.09	12.10	14.11	16.12	
	C,M,L	C,M,L	C,M,L	C,M,L	M	C,M,L	C,M,L	M	C,M,L	C,M,L	C,M,L	C,M,HZ	C,M,L	C,M,HZ	C,M,HZ	
<b>DIATOMÉES</b>																
<i>Euzoa sulcata</i>	124 95,7	194 96,9	664 98,8	2699 99,8	579 96,2	176 92,9	778 97,4	1699 98,4	238 89,6	435 98,2	254 93,6	248 91,4	355 97,9	254 93,3		
<i>Thalassiosira condensata</i>	33 26,7	39 19,6	35 4,9	3 0,08	3 0,5	10 5,1	18 2,3	25 2,5	7 0,6	6 1,4	11 4,9	19 7,7	60 16,1	79 28,8		
<i>Thalassiosira danielseni</i>	2 1,1	5 2,1	18 3,0	-	1 0,2	10 8,0	47 11,9	25 2,5	2 0,2	-	1 0,6	-	-	-	-	
<i>Thalassiosira lewarentii</i>	5 4,2	37 17,1	51 7,5	2 0,05	49 8,2	12 6,7	25 2,8	7 0,7	99 4,8	1 0,3	-	1 0,07	-	-	-	
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	-	-	29 4,6	257 9,7	-	-	-	-	-	-	-	-	2 0,7	1 0,05	-	
<i>Thalassiosira rotula</i>	-	1 0,4	39 5,7	-	-	1 0,2	-	-	-	-	-	-	2 0,6	-	-	
<i>Thalassiosira indéterminées</i>	1 1,1	1 0,1	7 0,8	3 0,07	9 1,5	1 0,3	3 0,4	-	5 0,3	1 0,1	3 0,6	1 0,2	2 0,6	8 2,0	1 0,2	
Total <i>Thalassiosira</i>	8 6,4	44 20,7	151 22,5	264 9,9	69 11,6	28 17,1	75 15,1	32 3,2	113 5,7	1 0,6	5 1,1	10 3,3	4 1,4	8 2,3	7 2,3	
<i>Skellernium castratum</i>	29 23,4	29 13,8	27 3,9	-	-	8 4,0	13 1,2	14 1,4	325 22,0	-	1 0,07	-	2 0,8	3 0,9	6 2,4	
<i>Skieluphia ovata</i>	2 1,9	8 4,3	14 2,0	1 0,02	3 0,5	5 2,1	4 0,3	-	-	1 0,4	-	2 0,5	1 0,05	1 0,2	2 0,7	
Total <i>Biddulphia</i>	2 2,0	9 4,7	15 2,1	1 0,02	3 0,5	5 2,1	4 0,3	-	-	1 0,8	1 0,05	4 1,5	2 0,9	4 1,2	5 1,7	
<i>Ceratium Dux polysticta</i>	-	-	1 0,1	59 2,3	28 4,7	-	-	4 0,4	278 18,4	1 0,8	1 0,1	-	-	-	2 0,7	
<i>Chaetoceros carolinense</i> + <i>Ch. debile</i>	-	1 0,1	23 3,2	6 0,2	117 19,5	-	-	-	1 0,06	1 0,5	2 0,4	29 9,4	3 0,7	16 5,0	1 0,2	
<i>Chaetoceros affinis</i>	-	-	6 0,7	1947 71,6	-	-	-	-	-	-	-	1 0,1	6 2,3	-	2 0,6	
Total <i>Chaetoceros</i>	-	1 0,3	1 0,07	1 0,02	-	-	-	-	13 0,6	1 0,5	3 0,8	33 11,1	9 2,9	23 7,3	3 0,9	
<i>Leptocylindrus dimicus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25 13,9	16 3,7	33 11,5	1 0,1	2 0,4	-	
<i>Mikrocystus distans</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	113 27,9	10 2,3	15 5,9	3 0,9	4 1,2	15 5,7	
<i>Mikrocystus strobilifer</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 0,05	9 2,5	-	-	-	-	
<i>Mikrocystus strobilifer</i>	1 0,9	1 0,3	1 0,05	-	-	1 0,5	-	-	3 0,2	2 0,2	2 0,5	-	2 0,7	1 0,3	2 1,0	
<i>Mikrocystus strobilifer</i>	-	-	-	2 0,07	-	-	-	-	1 0,02	15 7,4	345 76,0	3 1,2	-	-	4 1,3	
Total <i>Rhizosolenia</i>	1 0,9	1 0,3	1 0,05	2 0,02	36 6,0	-	-	-	14 1,4	43 14,5	15 4,5	50 20,9	4 1,6	7 1,9	22 8,8	
<i>Thalassiosira antarctica</i>	12 9,1	12 6,0	51 6,8	4 0,1	19 3,2	43 20,3	150 16,7	43 4,4	35 1,7	4 2,3	5 1,2	20 7,8	28 9,8	20 6,3	30 11,1	
<i>Thalassiosira antarctica</i>	2 1,3	6 2,4	2 0,3	1 0,02	6 1,0	1 0,4	2 0,3	-	-	1 0,1	1 0,1	2 0,5	5 1,9	15 4,1	16 5,8	
<i>Thalassiosira antarctica</i>	5 3,7	12 5,5	256 39,2	203 7,6	177 29,5	24 12,2	420 47,3	91 9,2	246 11,8	1 0,7	-	3 0,7	1 0,5	2 0,9	3 1,1	
<i>Thalassiosira antarctica</i>	2 1,5	-	17 2,5	11 0,4	18 3,0	7 5,3	13 1,1	14 1,4	41 2,1	-	-	2 0,9	26 9,8	15 4,2	20 7,1	
<i>Nitzschia sp1</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Nitzschia antarctica</i>	4 3,2	4 2,1	15 2,2	13 0,5	12 2,0	7 3,3	23 2,1	16 1,6	1 0,04	1 0,5	1 0,4	3 0,6	27 9,7	52 13,7	20 7,5	
<i>Nitzschia antarctica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 0,4	-	24 8,8	-	1 0,4	8 3,4	
<i>Nitzschia antarctica</i>	12 9,4	19 10,3	32 4,7	19 0,7	31 5,2	11 6,2	12 1,4	4 0,4	7 0,4	1 0,6	1 0,2	6 2,2	57 20,8	25 6,8	11 4,7	
<i>Nitzschia antarctica</i>	1 0,2	-	1 0,2	50 2,0	31 5,2	17 9,1	5 0,9	-	12 0,7	1 0,3	1 0,05	-	2 0,9	-	1 0,3	
<i>Nitzschia antarctica</i>	2 1,5	3 1,3	9 1,1	1 0,04	19 3,2	6 2,8	17 2,8	6 0,6	16 0,9	1 0,5	1 0,2	5 1,3	5 2,1	-	1 0,07	
Total <i>Nitzschia</i>	14 11,1	21 11,6	41 6,0	70 2,7	81 13,6	35 18,1	34 5,1	10 1,0	37 2,0	27 14,9	3 0,6	13 4,4	65 23,9	25 6,9	13 5,1	
<b>DIPLOFLAGELLES</b>																
Total <i>Gymnodinium</i>	1 0,4	1 0,3	2 0,3	4 0,1	6 1,0	4 2,3	1 0,9	-	13 0,7	12 7,2	2 0,5	8 3,1	4 1,3	1 0,1	2 0,6	
<i>Gymnodinium triquetra</i>	-	1 0,08	1 0,1	4 0,1	5 0,8	3 1,6	1 0,9	-	3 0,2	6 3,3	-	1 0,4	1 0,1	-	1 0,2	
<i>Gymnodinium triquetra</i>	-	-	-	-	-	1 0,2	-	-	-	1 0,4	1 0,05	-	-	-	-	
<i>Gymnodinium triquetra</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	8 0,4	1 0,1	1 0,03	-	-	-	-	
Total <i>Eutima</i>	1 0,4	1 0,1	1 0,05	-	-	-	-	-	-	1 0,7	1 0,08	1 0,4	2 0,7	-	1 0,2	
<i>Eutima antarctica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 0,4	1 0,2	3 1,1	1 0,5	-	1 0,3	
Total <i>Eutima</i>	2 0,9	1 0,5	2 0,5	1 0,02	3 0,5	7 4,0	8 1,3	14 1,4	9 0,6	4 2,2	5 1,1	7 2,6	5 1,9	6 1,8	2 0,8	
<i>Eutima antarctica</i>	1 0,4	1 0,3	1 0,03	-	-	1 0,4	1 0,1	9 0,9	2 0,1	1 0,7	1 0,2	1 0,1	1 0,2	2 0,5	2 0,8	
<i>Eutima antarctica</i>	1 0,3	1 0,2	2 0,3	1 0,02	-	4 2,4	6 1,2	5 0,5	7 0,5	1 0,4	1 0,2	3 1,1	1 0,5	-	-	
Total <i>Eutima</i>	-	-	160	21600	15900	-	?	-	-	?	?	?	-	-	-	
<b>PICOPLANKTON</b>																
Total <i>Coelastrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total <i>Coelastrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total <i>Coelastrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total <i>Coelastrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total <i>Coelastrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total <i>Coelastrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total <i>Coelastrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total <i>Coelastrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total <i>Coelastrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total <i>Coelastrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total <i>Coelastrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total <i>Coelastrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Coelastrum</i> sp2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total <i>Coelastrum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

\* Cellules vivantes + cellules mortes

TABLEAU 22-1: NOMBRE DE CELLULES PAR CM<sup>3</sup> ET POURCENTAGE DE DOMINANCE DES PRINCIPAUX GROUPES, GENRES ET ESPECES DU PHYTOPLANCTON DANS LE PORT DE DUNKERQUE (STATION E) EN 1977-78 (MOYENNE DES TROIS NIVEAUX)

	27.02.77	2.03.77	4.03.77	10.03.77	18.03.77	24.03.77	1.04.77	7.04.77	14.04.77	29.04.77	6.05.77	14.05.77	27.05.77
<b>DIATOMÉES</b>													
<i>Pinnalia sulcata</i>	5425 99,8	11630 99,9	14499 99,9	29531 99,9	11179 99,8	2543 98,4	10168 97,1	10109 98,5	13271 98,6	22794 99,7	13347 99,7	4479 99,7	117 98,7
<i>Thalassiosira decipiens</i>	2 <0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassiosira fallax</i> ou <i>Th. gravida</i>	199 3,9	357 3,0	290 2,1	89 0,3	49 0,4	1 <0,1	11 0,2	2 <0,1	-	-	-	6 <0,1	65 <sup>n</sup> 2,9
<i>Thalassiosira levanderi</i>	14 0,3	26 0,2	44 0,3	31 0,1	15 0,2	3 0,2	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	26 0,4	59 0,5	32 0,2	29 0,1	11 0,1	-	-	-	-	-	-	3 <0,1	-
<i>Thalassiosira rotula</i>	2 <0,1	22 0,2	23 0,2	158 0,5	126 1,1	333 12,2	1324 15,1	210 2,0	23 0,2	-	11 <0,1	3 <0,1	-
<i>Thalassiosira indéterminées</i>	22 0,4	37 0,3	27 0,1	11 <0,1	9 0,1	10 0,3	-	-	-	3 <0,1	-	3 <0,1	-
Total <i>Thalassiosira</i>	82 1,3	59 0,4	25 0,2	70 0,2	52 0,8	19 0,9	75 0,9	14 0,1	13 0,1	3 <0,1	14 0,1	56 0,2	9 0,4
Total <i>Thalassiosira</i>	350 6,6	942 4,6	443 3,2	388 1,3	286 2,5	368 13,8	1410 16,2	225 2,3	36 0,2	6 <0,1	25 0,2	71 0,3	72 3,3
<i>Skeletonema costatum</i>	4311 82,6	10288 88,0	13033 89,7	27650 93,5	9287 82,9	454 18,4	1964 23,4	3175 30,8	4853 36,4	16166 71,0	10134 75,6	22932 92,9	1896 88,7
<i>Ditylum brightwellii</i>	4 0,1	7 0,1	11 0,1	6 <0,1	9 0,1	26 1,1	126 1,5	121 1,2	23 0,2	-	-	-	-
<i>Cerataulina pelagica</i>	48 0,8	41 0,4	68 0,5	80 0,3	51 0,4	23 0,9	86 1,0	236 2,3	368 2,8	901 3,9	424 3,1	12 <0,1	11 0,4
<i>Chaetoceros curvisetum</i> + <i>Ch. debile</i>	331 6,1	440 4,0	541 3,8	701 2,4	820 7,3	566 20,8	669 7,7	687 6,7	615 4,6	72 0,3	-	-	-
<i>Chaetoceros didymum</i>	40 0,7	54 0,5	48 0,3	206 0,7	119 1,0	286 11,1	1942 23,1	2721 26,5	3594 26,6	3476 15,1	1429 10,7	463 1,9	47 2,0
<i>Chaetoceros sociale</i>	28 0,5	108 1,0	98 0,7	264 0,8	414 3,7	674 27,6	1730 21,5	2629 25,7	3361 24,8	1875 8,0	1121 8,3	685 2,8	19 0,7
<i>Chaetoceros indéterminées</i>	51 1,0	-	26 0,2	28 0,1	-	43 1,7	82 1,0	62 0,1	90 0,4	34 0,1	71 0,5	28 0,1	9 0,5
Total <i>Chaetoceros</i>	458 8,3	638 5,8	730 5,1	1199 4,0	1379 12,3	1568 61,3	4431 53,4	6062 56,5	7660 55,2	5459 23,6	2641 19,5	1176 4,8	76 3,2
<i>Leptocylindrus danicus</i>	-	-	1? <0,1	-	11 0,1	-	-	-	3 <0,1	16 <0,1	-	-	-
<i>Lauderia borealis</i>	3 <0,1	26 0,2	24 0,1	25 <0,1	72 0,6	6 0,2	8 0,1	14 0,1	6 <0,1	-	-	3 <0,1	5 0,2
<i>Rhinosolenia delicatula</i>	-	2 <0,1	1 <0,1	2 <0,1	-	1 <0,1	-	17 0,2	17 0,1	6 <0,1	2 <0,1	14 <0,1	-
<i>Rhinosolenia fragilissima</i>	-	4? <0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	2 <0,1	-	-
<i>Rhinosolenia pungens</i> + <i>Rh. setigera</i>	-	1 <0,1	-	2 <0,1	2 <0,1	-	-	9 <0,1	9 <0,1	6 <0,1	3 <0,1	5 <0,1	-
<i>Rhinosolenia shrubsolei</i>	-	1 <0,1	-	-	-	-	-	7 <0,1	-	9 <0,1	12 <0,1	3 <0,1	-
<i>Rhinosolenia stolterfothii</i>	1 <0,1	-	-	-	-	-	-	8 <0,1	2 <0,1	3 <0,1	8 <0,1	23 <0,1	1 <0,1
Total <i>Rhinosolenia</i>	1 <0,1	7 <0,1	1 <0,1	5 <0,1	2 <0,1	1 <0,1	-	42 0,4	28 0,2	25 0,1	27 0,2	45 0,2	1 <0,1
" <i>Fragilaria</i> "	2 <0,1	-	14 0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	12 <0,1	-
<i>Asterionella japonica</i>	-	12 0,1	43 0,3	18 <0,1	-	-	-	37 0,4	98 0,8	3 <0,1	30 0,2	30 0,1	13 0,8
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	19 0,3	32 0,3	113 0,8	122 0,1	54 0,3	54 2,1	45 0,4	171 1,6	169 1,3	165 0,7	37 0,3	78 0,3	5 0,3
<i>Navicula</i> sp1	-	2 <0,1	3 <0,1	6 <0,1	14 0,1	3 0,2	6 0,1	6 <0,1	8 <0,1	8 <0,1	-	-	-
Autres <i>Navicula</i>	-	1 <0,1	-	7 <0,1	-	3 0,1	26 0,2	3 <0,1	-	6 <0,1	3 <0,1	-	1 <0,1
<i>Nitzschia closterium</i>	3 <0,1	2 <0,1	1 <0,1	-	5 <0,1	1 <0,1	-	6 <0,1	5 <0,1	3 <0,1	-	5 <0,1	18 0,8
<i>Nitzschia delicatissima</i>	1 <0,1	-	1 <0,1	12 <0,1	3? <0,1	-	-	-	-	9 <0,1	11 <0,1	78 0,3	15 0,7
<i>Nitzschia serjata</i>	-	1 <0,1	-	-	-	-	-	-	5 <0,1	6 <0,1	-	-	-
Total <i>Nitzschia</i>	5 0,1	3 <0,1	1 <0,1	13 <0,1	8 <0,1	3 0,1	2 <0,1	8 <0,1	14 0,1	25 <0,1	16 0,1	86 0,4	33 1,5
<b>DINOFLAGELLES</b>													
Total <i>Gymnodinium</i>	2 <0,1	7 <0,1	12 <0,1	29 <0,1	17 0,1	40 1,4	241 2,7	157 1,5	113 0,9	44 0,2	50 0,4	154 0,6	25 1,0
<i>Heterocapsa triquetra</i>	-	4 <0,1	2 <0,1	5 <0,1	3 <0,1	4 0,2	8 0,1	5 <0,1	12 <0,1	-	-	-	12 0,5
<i>Hymenocapsa bipes</i>	-	-	-	-	-	-	17 0,1	-	-	-	6 <0,1	121 0,5	-
<i>Peridinium steinii</i> (?)	-	-	-	1 <0,1	2 <0,1	-	-	-	-	3? <0,1	8 <0,1	5 <0,1	2? 0,1
<i>Peridinium trochoideum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3? <0,1	-	-
Total <i>Peridinium</i>	1 <0,1	2 <0,1	6 <0,1	8 <0,1	2 <0,1	15 0,5	162 1,9	138 1,3	87 0,7	36 0,2	16 0,1	12 <0,1	-
<i>Prorocentrum micans</i>	1 <0,1	2 <0,1	9 <0,1	10 <0,1	10 <0,1	21 0,7	175 2,0	141 1,4	92 0,7	41 0,2	28 0,2	20 <0,1	-
Total <i>Prorocentrum</i>	1 <0,1	1 <0,1	1 <0,1	1 <0,1	-	2 <0,1	8 <0,1	5 <0,1	3 <0,1	-	-	3 <0,1	12 0,5
<b>CHLOROPHYCEES</b>													
Total <i>Scenedesmus</i>	1 <0,1	3 <0,1	2 <0,1	6 <0,1	-	3 0,1	18 0,2	-	7 <0,1	15 <0,1	25 0,2	41 0,2	4 0,2
Total <i>Scenedesmus</i>	-	2 <0,1	1 <0,1	1 <0,1	-	2 <0,1	-	-	7 <0,1	15 <0,1	18 0,1	13 <0,1	4 0,2
<i>Chlorophycée</i> sp2	-	-	-	1 <0,1	-	1 <0,1	2 <0,1	-	-	-	5 <0,1	25 0,1	-

a : *Thalassiosira decipiens* ou *Th. nordenskiöldii*



TABLEAU 22-2 : NOMBRE DE CELLULES PAR CM<sup>3</sup> ET POURCENTAGE DE DOMINANCE DES PRINCIPAUX GROUPES, GENRES ET ESPECES DU PHYTOPLANCTON DANS LE PORT DE DUNKERQUE (STATION E) EN 1977-78 (MOYENNE DES TROIS NIVEAUX)

	3.06.77	9.06.77	15.06.77	1.07.77	13.07.77	22.07.77	29.07.77	5.08.77	12.08.77	19.08.77	9.09.77
<b>DIAIOMEES</b>	6547 99,2	813 93,9	8385 99,1	1935 96,9	628 77,4	3225 96,9	11602 98,8	37680 98,3	419 60,3	305 30,7	2418 83,6
<i>Paralia sulcata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassiosira decipiens</i>	435 <sup>a</sup> 6,8	45 <sup>a</sup> 8,2	17 0,4	1 <0,1	4 0,5	283 <sup>b</sup> 10,5	315 2,6	245 0,6	2 0,3	-	-
<i>Thalassiosira fallax</i> ou <i>Th. gravida</i>	-	-	-	16 0,9	-	20 0,5	225 1,9	220 0,6	-	-	3 0,1
<i>Thalassiosira levanderi</i>	-	-	2 <0,1	2 0,1	48 6,1	793 <sup>c</sup> 22,1	177 1,6	823 <sup>d</sup> 2,1	12 1,7	8 1,2	19 0,7
<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassiosira rotula</i>	-	-	1 <0,1	2 0,1	26 3,4	3 0,1	-	-	-	-	-
<i>Thalassiosira indéterminées</i>	8 0,1	28 2,2	35 0,2	5 0,3	21 2,5	17 0,5	28 0,3	77 0,2	7 1,0	2 0,3	51 1,7
Total <i>Thalassiosira</i>	442 6,9	73 10,4	56 0,7	31 1,7	99 12,6	1116 33,7	745 6,3	1366 3,5	21 3,0	9 1,4	73 2,5
<i>Skeletonema costatum</i>	5954 90,3	687 76,8	7925 93,1	522 22,7	427 52,5	1953 57,3	10666 91,0	35826 94,5	252 36,1	145 14,7	25 0,9
<i>Ditylum brightwellii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3 0,1
<i>Cerataulina pelagica</i>	8 0,1	3 0,4	11 0,1	43 2,2	5 0,6	-	3 <0,1	3 <0,1	1 0,1	-	-
<i>Chaetoceros curvisetum</i> + <i>Ch. debile</i>	-	-	-	-	2 0,2	-	8 <0,1	-	-	14 0,8	1751 60,5
<i>Chaetoceros didymum</i>	66 1,2	24 2,7	199 2,9	1080 54,7	16 2,1	8 0,2	34 0,3	47 0,1	-	22 1,2	26 0,9
<i>Chaetoceros sociale</i>	6 0,1	2 0,1	-	59 3,3	-	37 1,5	59 0,5	127 0,3	37 5,3	17 1,7	350 12,0
<i>Chaetoceros indéterminées</i>	6 0,1	2 0,2	49 0,4	150 9,4	2 0,2	17 0,4	-	22 <0,1	6 0,9	-	8 0,3
Total <i>Chaetoceros</i>	79 1,3	29 3,1	248 3,2	1290 67,5	24 3,0	62 2,1	110 0,9	196 0,5	44 6,2	53 3,7	2135 73,7
<i>Leptocylindrus danicus</i>	-	-	-	-	4 0,5	5 0,2	-	-	56 8,0	-	6 0,2
<i>Lauderia borealis</i>	6 0,1	4 0,6	21 0,2	15 0,9	3 0,3	9 0,4	28 0,2	-	1 0,1	-	2 <0,1
<i>Rhizosolenia delicatula</i>	-	-	-	-	5 0,6	3 0,1	-	-	15 2,1	61 6,3	2 <0,1
<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia pungens</i> + <i>Rh. setigera</i>	3 <0,1	2 0,4	17 0,3	7 0,5	3 0,4	1 <0,1	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia shrubsolei</i>	-	-	-	-	7 0,9	36 1,4	9 <0,1	-	2 0,2	6 1,0	-
<i>Rhizosolenia stouterfothii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	18 2,9	10 1,2	-
Total <i>Rhizosolenia</i>	3 <0,1	2 0,4	17 0,3	10 0,5	16 1,9	40 1,5	9 <0,1	-	34 4,8	77 8,5	2 <0,1
" <i>Fragilaria</i> "	20 0,3	1 0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Asterionella japonica</i>	14 0,2	2 0,4	4 0,1	-	27 3,2	9 0,4	2 <0,1	6 <0,1	5 0,8	-	-
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	6 0,1	1 0,3	11 0,2	19 1,0	9 1,1	28 0,9	17 0,1	258 0,7	3 0,4	1 0,1	22 0,8
<i>Navicula</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Autres <i>Navicula</i>	3 <0,1	1 0,2	-	1 <0,1	1 0,1	-	2 <0,1	3 <0,1	1 0,1	-	2 <0,1
<i>Nitzschia closterium</i>	2 <0,1	2 0,2	3 <0,1	-	10 1,2	3 <0,1	2 <0,1	6 <0,1	1 0,2	17 1,8	146 5,0
<i>Nitzschia delicatissima</i>	5 <0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia seriata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total <i>Nitzschia</i>	6 <0,1	3 0,5	8 0,2	-	10 1,2	3 0,1	5 <0,1	6 <0,1	2 0,3	17 1,8	146 5,0
<b>DINOFLAGELLES</b>	33 0,5	8 1,0	7 <0,1	47 2,7	71 9,0	132 2,9	118 1,0	195 0,5	203 29,4	622 37,3	448 15,6
Total <i>Gymnodinium</i>	23 0,4	7 0,8	-	14 0,6	2 0,2	-	-	3 <0,1	6 0,9	12 1,0	3 0,1
<i>Heterocapsa triquetra</i>	-	-	-	3 0,1	-	-	-	-	-	-	-
<i>Minuscula bipes</i>	2 <0,1	1 <0,1	-	2 0,1	-	-	-	-	2? 0,2	-	-
<i>Peridinium steinii</i> (?)	-	-	-	-	-	-	3? <0,1	6 <0,1	19 2,8	17 0,9	39 1,3
<i>Peridinium trochoideum</i>	-	-	-	-	1 <0,1	2 <0,1	-	-	-	-	-
Total <i>Peridinium</i>	-	-	2 <0,1	-	1 0,1	2 <0,1	6 <0,1	9 <0,1	21 3,1	21 1,3	45 1,6
<i>Prorocentrum micans</i>	8 0,1	-	2 <0,1	20 1,3	65 8,4	113 2,4	99 0,8	180 0,5	171 24,5	578 34,1	390 13,6
<b>CHLOROPHYTTES</b>	13 0,2	59 5,1	79 0,8	5 0,2	20 13,6	6 0,2	20 0,2	56 0,1	70 10,0	469 31,8	23 0,8
Total <i>Scenedesmus</i>	2 <0,1	1 0,1	-	-	2 0,2	1 <0,1	5 <0,1	6 <0,1	2 0,3	6 0,4	5 0,2
<i>Chlorophycée</i> sp2	9 0,1	57 6,5	74 0,9	4 0,2	106 13,1	3 <0,1	12 0,1	40 0,1	67 9,6	463 33,1	13 0,4

- a : *Thalassiosira decipiens* ou *Th. nordenskioldii*  
 b : *Thalassiosira decipiens* ou *Th. levanderi*  
 c : *Thalassiosira levanderi* ou *Th. decipiens*  
 d : *Thalassiosira levanderi* ou *Th. fallax* à 5 m

TABLEAU 22-3 : NOMBRE DE CELLULES PAR CM<sup>3</sup> ET POURCENTAGE DE DOMINANCE DES PRINCIPAUX GROUPES, GENRES ET ESPECES DU PHYTOPLANKTON DANS LE PORT DE DUNKERQUE (STATION E) EN 1977-78 (MOYENNE DES NIVEAUX)

	20.09.77	5.10.77	13.10.77	25.10.77	2.11.77	9.11.77	29.11.77	9.12.77	15.12.77	22.12.77	5.01.78
<b>DIATOMÉES</b>											
<i>Fragilaria sulcata</i>	4612 97,5	518 89,4	111 61,9	403 73,2	136 83,2	91 71,5	33 87,3	49 96,6	38 80,8	32 71,4	36 95,3
<i>Thalassiosira decipiens</i>	-	6 1,0	-	3 0,4	1 1,0	1 0,8	4 7,7	2 6,9	-	2 0,5	2 6,8
<i>Thalassiosira fallax</i> ou <i>Th. gravida</i>	-	2 0,4	2 2,1	9 2,2	1 0,9	1 0,8	1 7,3	-	3 7,8	2 4,0	1 8,8
<i>Thalassiosira lewanderi</i>	3 0,1	12 2,1	4 4,4	2 0,2	-	1 0,2	-	-	-	-	-
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	9 0,3	7 1,1	3 0,6	28 3,8	4 2,7	2 1,3	3 7,1	13 25,6	5 12,4	4 10,6	5 12,7
<i>Thalassiosira rotula</i>	-	4 0,6	7 1,2	2 0,9	6 4,8	4 2,9	-	1 3,2	-	2 5,1	1 1,0
<i>Thalassiosira</i> indéterminées	26 0,6	5 0,9	3 1,7	4 1,2	1 0,6	1 1,0	1 4,1	1 1,6	1 2,6	1 1,0	1 1,0
Total <i>Thalassiosira</i>	39 0,9	30 5,1	18 10,0	45 8,4	15 9,0	7 5,6	5 18,4	15 30,5	9 22,9	9 20,7	7 17,6
<i>Skletonema costatum</i>	76 2,3	14 2,3	8 5,8	8 0,9	3 1,6	1 1,0	4 8,4	14 24,8	8 15,8	3 8,3	7 19,2
<i>Ditylum brightwellii</i>	-	1 0,2	-	-	3 2,0	2 1,3	-	-	-	-	-
<i>Ceratium pelagicum</i>	2 <0,1	1 0,1	-	1 <0,1	1 0,6	1 0,5	-	-	-	-	-
<i>Chaetoceros curvisetum</i> + <i>Ch. debile</i>	40 0,6	6 1,2	2 1,8	6 1,6	17 10,9	8 6,6	-	-	4 5,6	-	-
<i>Chaetoceros sociale</i>	79 2,4	59 10,0	10 2,4	13 7,7	11 9,1	11 9,1	-	-	-	-	-
<i>Chaetoceros</i> indéterminées	3262 66,7	25 4,3	9 5,3	187 30,8	2 1,2	5 3,9	2 5,7	2 3,9	-	2 4,1	-
Total <i>Chaetoceros</i>	8 0,1	24 4,0	2 1,9	2 0,3	1 0,7	-	-	-	1 0,9	1 1,7	-
<i>Leptocylindrus danicus</i>	3390 69,8	115 19,6	17 9,9	206 35,0	33 20,7	25 19,4	2 3,4	2 3,3	5 6,6	3 5,2	-
<i>Lauderia borealis</i>	22 0,7	-	-	21 2,2	-	2 1,5	-	1 0,5	-	-	-
<i>Rhizosolenia delicatula</i>	17 0,2	1 0,2	10 1,9	5 0,7	18 10,4	2 1,5	-	1 0,5	-	-	-
<i>Rhizosolenia fragilisima</i>	8 0,2	-	-	-	1 0,9	17 13,2	1 2,8	1 3,6	-	-	-
<i>Rhizosolenia pungens</i> + <i>Rh. setigera</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 2,0
<i>Rhizosolenia shrobolevi</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia stouterfothii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total <i>Rhizosolenia</i>	8 0,2	-	-	1 0,2	1 0,9	17 13,4	1 2,8	1 3,6	-	-	1 2,0
" <i>Fragilaria</i> "	-	6 1,2	-	2 0,2	2 0,2	4 3,3	6 12,2	2 4,5	2 5,4	-	3 7,1
<i>Asterionella japonica</i>	84 2,7	24 4,3	16 11,9	92 18,7	48 29,7	17 13,7	1 2,0	-	9 14,8	1 0,5	1 2,0
<i>Thalassionema nitasschiotides</i>	12 0,3	-	-	-	1 0,5	6 4,7	4 7,8	-	-	3 8,5	6 14,9
<i>Navicula</i> sp1	-	-	1 0,6	5 0,6	-	-	-	-	-	-	1 2,0
Autres <i>Navicula</i>	-	3 0,5	1 0,6	2 0,5	1 0,6	1 0,3	1 2,1	1 2,5	1 3,1	1 2,7	1 1,7
<i>Nitzschia closterium</i>	904 19,1	199 34,3	31 17,6	15 4,5	4 2,6	1 1,0	1 2,1	6 11,7	2 3,4	5 10,8	6 17,2
<i>Nitzschia delicatissima</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nitzschia seriata</i>	56 1,3	112 19,4	5 0,9	1 0,2	-	-	-	-	-	-	-
Total <i>Nitzschia</i>	960 20,4	311 53,6	36 18,8	16 4,6	5 3,2	2 1,6	1 2,8	6 12,4	2 3,9	6 12,6	6 17,2
<b>DINOFLAGELLÉS</b>											
Total <i>Gymnodinium</i>	42 1,2	30 5,2	82 24,9	97 19,6	16 10,8	29 22,4	1 7,3	1 1,3	1 1,4	1 2,2	1 1,7
<i>Heterocapsa triquetra</i>	-	-	-	2 0,4	1 0,3	1 0,2	1 3,3	-	-	-	1 0,7
<i>Miniscuala bipes</i>	-	-	1 0,4	3 0,6	-	1 0,3	-	-	-	-	-
<i>Peridinium steinii</i> (?)	8 0,2	1 0,2	3 0,6	4 0,8	1 0,6	1 1,0	-	-	-	-	-
<i>Peridinium trochoideum</i>	-	-	22 4,1	22 4,7	1 0,3	1 0,8	-	-	-	-	-
Total <i>Peridinium</i>	8 0,2	4 0,6	27 5,1	26 5,5	1 0,9	3 2,1	-	1 0,6	1 1,4	1 0,9	-
<i>Iroprocentrum micans</i>	30 0,9	22 3,7	51 19,0	61 11,9	13 8,5	25 19,4	1 3,3	1 0,6	-	1 0,8	-
<b>CHLORELLINÉES</b>											
Total <i>Scenedesmus</i>	30 1,2	31 5,2	45 13,2	30 7,2	9 5,7	0 5,0	1 4,7	1 3,1	6 17,7	10 27,3	1 3,0
<i>Chlorophyceae</i> sp2	-	6 1,0	15 6,3	2 0,3	2 1,2	3 2,4	1 2,9	1 3,0	5 11,1	13 36,5	1 3,0
Total	31 0,7	22 3,7	18 7,6	29 5,4	2 1,2	1 0,5	-	1 0,6	1 0,7	-	-

TABLEAU 22-4 : NOMBRE DE CELLULES PAR CM<sup>3</sup> ET POURCENTAGE DE DOMINANCE DES PRINCIPAUX GROUPES, GENRES ET ESPECES DU PHYTOPLANCTON  
DANS LE PORT DE DUNKERQUE (STATION E) EN 1977-78 (MOYENNE DES NIVEAUX)

	18.01.78	25.01.78	17.02.78	1.03.78	26.04.78	5.05.78	6.06.78	21.06.78	12.07.78	27.07.78
DIATOMÉES	16 59,3	60 90,5	24 90,5	1355 98,7	1292 92,5	145 35,0	4778 94,1	7683 99,5	1955 93,6	12416 96,7
<i>Paralia sulcata</i>	-	4 6,9	1 0,3	-	16 0,8	-	-	-	9 2,0	-
<i>Thalassiosira decipiens</i>	2 7,4	9 13,3	97 35,7	62 4,5	2 0,2	2 1,4	28 0,5	47 1,0	12 0,3	16 0,2
<i>Thalassiosira fallax</i> ou <i>Th. gravida</i>	-	-	2 0,9	-	-	-	-	-	-	-
<i>Thalassiosira levanderi</i>	2 7,4	3 4,6	17 6,3	177 12,9	-	-	-	12 0,2	-	-
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	-	-	-	3 0,2	40 2,0	-	-	-	-	-
<i>Thalassiosira rotula</i>	-	-	-	17 1,2	-	-	28 0,6	1702 22,9	-	-
<i>Thalassiosira</i> indéterminées	-	2 2,5	1 0,4	22 1,6	3 0,3	1 0,1	-	24 0,3	12 0,8	-
Total <i>Thalassiosira</i>	4 14,8	13 20,3	118 43,3	514 37,3	48 2,7	3 1,5	56 1,0	1785 24,4	49 1,6	16 0,2
<i>Skeletonema costatum</i>	9 33,3	26 38,3	90 31,5	693 50,5	419 29,2	70 21,3	635 13,6	2466 29,5	26 1,3	5 <0,1
<i>Ditylum brightwellii</i>	-	-	-	-	-	-	-	1 <0,1	-	-
<i>Cerataulina pelagica</i>	-	-	-	-	635 48,8	6 0,3	3943 76,7	9 0,1	1 0,1	-
<i>Chaetoceros curvisetum</i> + <i>Ch. debile</i>	-	-	2 0,7	-	-	-	-	22 0,3	-	-
<i>Chaetoceros didymum</i>	-	-	5 1,9	8 0,6	-	49 4,0	37 0,7	1196 15,7	71 3,8	-
<i>Chaetoceros sociale</i>	-	1 1,5	-	-	53 3,0	-	-	24 0,4	297 14,9	12206 94,8
<i>Chaetoceros</i> indéterminées	-	-	-	2 0,1	5 0,5	1 0,5	-	991 11,3	-	-
Total <i>Chaetoceros</i>	-	1 1,3	7 2,5	9 0,7	69 4,5	50 4,5	37 0,7	3081 40,0	441 21,0	12206 94,8
<i>Leptocylindrus danicus</i>	-	-	-	-	-	1 0,7	-	3 <0,1	9 0,7	85 0,5
<i>Lauderia borealis</i>	-	-	-	-	45 2,2	-	-	-	-	-
<i>Rhizosolenia delicatula</i>	-	-	-	-	11 0,2	1 0,2	78 1,6	64 1,5	87 10,8	63 0,6
<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	-	-	-	-	-	-	6 0,1	-	-	-
<i>Rhizosolenia pungens</i> + <i>Rh. setigera</i>	-	-	1 0,1	3 0,2	-	-	-	69 0,9	1 0,1	19 0,1
<i>Rhizosolenia shrubsolei</i>	-	-	1 0,1	-	-	-	-	-	1 0,1	-
<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>	-	-	-	-	-	-	-	27 0,1	-	-
Total <i>Rhizosolenia</i>	-	-	1 0,2	3 0,2	11 0,8	1 0,2	84 1,8	159 3,1	90 11,0	82 0,7
" <i>Fragilaria</i> "	-	-	-	25 1,9	-	1 0,9	-	11 0,3	-	-
<i>Asterionella japonica</i>	-	1 0,6	18 6,3	82 6,1	-	-	-	139 1,7	-	5 0,2
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	-	5 6,1	-	11 0,8	-	-	-	15 0,1	-	-
<i>Navicula</i> sp1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Autres <i>Navicula</i>	-	1 1,2	1 0,3	-	-	1 0,2	-	-	9 0,5	-
<i>Nitzschia closterium</i>	2 7,4	6 10,3	7 2,7	11 0,8	13 1,1	2 1,2	-	3 <0,1	-	5 <0,1
<i>Nitzschia delicatissima</i>	-	-	-	-	10 0,8	3 2,4	-	-	-	-
<i>Nitzschia seriata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1303 54,2	-
Total <i>Nitzschia</i>	2 7,4	6 10,3	8 3,0	12 0,9	25 2,2	5 3,7	-	3 <0,1	1304 54,3	5 0,1
DINOFLAGELLES	-	-	-	-	81 7,2	337 32,5	200 3,8	20 0,2	59 2,5	466 3,1
Total <i>Gymnodinium</i>	-	-	-	-	8 0,6	26 4,4	127 2,4	3 <0,1	12 0,9	24 0,2
<i>Heterocapsa triquetra</i>	-	-	-	-	49 4,5	239 20,3	9 0,2	-	3 0,2	12 <0,1
<i>Mimocula bipes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peridinium steinii</i> (?)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Peridinium trochoideum</i>	-	-	-	-	4 0,4	34 2,6	3 <0,1	-	-	5 <0,1
Total <i>Peridinium</i>	-	-	-	-	4 0,4	34 3,1	8 0,2	-	-	8 <0,1
<i>Prorocentrum micans</i>	-	-	-	-	-	-	3 <0,1	6 <0,1	12 0,4	259 1,7
CHLOROPHYCEES	11 40,7	5 7,8	24 9,5	8 0,6	2 0,2	399 32,1	62 1,3	19 0,2	118 4,4	19 0,2
Total <i>Scenedesmus</i>	10 37,0	3 4,5	3 1,1	7 0,5	-	-	8 0,2	6 <0,1	26 1,2	13 0,1
<i>Chlorophyceae</i> sp2	-	1 -	14 5,2	2 0,1	2 0,1	399 31,9	48 0,9	5 <0,1	45 2,1	3 <0,1



## ANNEXE I-5

Tableaux 24 à 28 : Paramètres biologiques à  
Gravelines, en face de Dunkerque et dans le  
port de Dunkerque

TABLEAU 24 : PARAMETRES BIOLOGIQUES AU NIVEAU DE LA RADIALE  
A GRAVELINES EN 1974-75.

	St.	29.09 74	17.11 74	2.02 75	9.02 75	8.03 75	19.04 75	9/10.05 75	20.05 75	1.06 75	2.07 75	30.08 75	6.10 75	15.12.75 C, M, L
Nbre $\phi$ microplanc- ton/cm <sup>3</sup>	8			170		770		810	450	210	560	6350	1350	450
	9				220	1370		3100	480	220	570	3400	1400	310
	10				110	550	260	280	230	200	320	900	2100	300
	11				130		90	270	50	110	220	250	1400	
Chl. a ( $\mu$ g/l)	8		8,83	0,82		5,02		12,58	3,76	2,76	8,71	6,53	4,83	2,21
	9	3,09	5,85		1,17	6,85		27,71	3,97	5,24	16,71	4,59	6,60	2,84
	10	3,13	3,99		0,76	4,41	7,22	7,82	2,63	4,21	12,86	3,61	4,79	2,11
	11	1,64			1,52		4,78	8,97	1,44	3,05	8,46	2,22	4,03	
Phéopigments* ( $\mu$ g/l)	8			37,76		7,72		0,00	3,04	14,90	7,26	4,41	2,74	5,68
	9				2,03	15,15		10,78	8,72	12,67	13,49	5,11	11,38	10,23
	10				1,58	10,60	3,03	6,35	8,84	11,34	9,89	5,10	13,58	8,71
	11				2,12		4,96	3,22	13,36	10,82	6,00	14,28	10,99	
Indice pigmentaire (430/663)	8			9,5		3,5		3,9	3,4	4,8	3,0	4,3	3,9	6,8
	9				6,6	3,9		4,5	3,4	5,5	2,6	4,8	4,3	6,2
	10				3,7	2,9	4,4	3,8	3,2	4,2	2,8	4,9	3,8	6,2
	11				5,7		4,5	3,8	3,3	3,7	3,4	5,7	4,4	
Indice de diversité (bits/ $\phi$ )	8			3,13		3,26		3,10	3,35	2,73	3,76	2,85	2,96	2,91
	9				3,41	3,13		3,38	3,07	3,49	3,60	2,98	2,80	2,85
	10				3,44	2,93	1,86	3,53	2,53	3,35	3,48	3,40	2,80	2,92
	11				2,95		2,27	3,79	3,23	3,02	2,89	2,54	2,75	
Equitabilité	8			0,69		0,70		0,64	0,72	0,64	0,82	0,59	0,67	0,70
	9				0,75	0,70		0,68	0,65	0,79	0,83	0,64	0,61	0,71
	10				0,78	0,69	0,54	0,79	0,62	0,74	0,77	0,76	0,62	0,73
	11				0,68		0,61	0,82	0,81	0,74	0,71	0,67	0,67	

\* Valeurs très supérieures aux valeurs réelles par suite de l'emploi de filtres en acétate de cellulose.



TABLEAU 25 : PARAMETRES BIOLOGIQUES AU NIVEAU DE LA RADIALE  
A GRAVELINES EN 1976-77 (C1, M1 et L1 ; C2, M3 et L2).

		20.08	20.09	18.10	18.11	17.12	7.01	17.01	15.02	19.03	12.04	14.05	9.06	4.07
	St.	76	76	76	76	76 M1	77	77	77	77	77	77	77	77
Nbre $\varnothing$ microplanc- ton/cm <sup>3</sup>	C	9700	420	860	270		360	370	650	3900	720	1950	210	1100
	M	11400	330	700	230	370	240	410	620	5500	670	1400	190	890
	L	10300	220	700	200		320	320	490	1800	260	660	130	420
Chl. a ( $\mu\text{g/l}$ )	C	9,81	3,86	4,64	2,84		4,22	5,57	4,62	15,13	11,34	3,68	2,50	8,62
	M	9,00	3,73	4,31	2,32	2,32	4,86	3,08	4,81	12,76	12,44	6,15	2,25	5,50
	L	3,94	2,89	3,79	1,55		3,10	1,61	2,12	9,80	7,74	2,52	1,34	4,06
Phéopigments ( $\mu\text{g/l}$ )	C	4,81	1,41	2,69	1,35		2,75	4,78	2,49	2,92?		0,52?	0,54	0,89
	M	3,42?	1,79	2,11	1,53	0,91	3,69	2,70	2,55	0,52		0,23?	0,33	0,98
	L	1,75	0,90	2,88	1,49		0,96	0,67?	1,14?	0,54		0,04?	0,60	
Indice pigmentaire (430/663)	C	5,97	4,78	4,63	5,16		5,13	4,29	4,04	2,88	2,92	3,56	5,03	3,14
	M	7,17	4,70	5,42	5,87	4,63	4,04	4,36	3,74	2,96	2,78	3,39	5,50	2,72
	L	6,94	4,66	6,46?	5,82		3,96	4,84	3,57	3,07	4,17	3,54	4,90	2,86
Indice de diversité (bits/ $\varnothing$ )	C	2,23	3,56	3,24	3,73		3,98	3,78	2,99	2,37	3,65	2,49	3,77	2,56
	M	2,21	3,59	3,05	3,59	3,21	3,84	3,79	2,94	2,13	3,57	2,86	3,68	2,77
	L	1,81	3,62	3,47	3,57		3,54	3,55	2,95	2,55	3,35	2,70	3,86	3,04
Equitabilité	C	0,47	0,76	0,64	0,80		0,81	0,79	0,68	0,48	0,74	0,55	0,79	0,57
	M	0,46	0,76	0,62	0,77	0,70	0,82	0,79	0,66	0,45	0,76	0,64	0,80	0,60
	L	0,39	0,75	0,67	0,75		0,73	0,74	0,62	0,51	0,76	0,63	0,82	0,67

TABLEAU 26 : PARAMETRES BIOLOGIQUES AU NIVEAU DE LA RADIALE  
A GRAVELINES EN 1978

(les données de nov. et déc. sont établies à  
partir des résultats recueillis par H. GROSSEL)  
Quand le point L n'a pas été échantillonné nous  
avons pris en compte les données du point HZ  
(19.09, 14.11 et 18.12).

		7.02	2.03	30.03	19.04	24.04	3.05	21.05	9.06	20.06	18.07	17.08	19.09 HZ	12.10	14.11 HZ	19.12 HZ
Nbres $\phi$ microplanc- ton/cm <sup>3</sup>	C	110	270	700	2450		200	1150		2400	130	430	380	240*	460*	350*
	M	150	180	910	3700	600	260	1150	900	1900	170	580	240	360	350	240
	L	120	150	410	1950		100	100		830	460	320	190	210	280	220
Spectropho- tomètre	Chl. a ( $\mu$ g/l)	C		2,42	4,57	9,81		4,37		11,70	1,16	11,42	3,21	2,43	3,48	2,56
		M		1,62	4,82	9,00		5,35		17,79	1,17	13,32	4,43	1,79	2,74	3,45
		L		1,21	2,36	6,79		1,22		6,82	1,52	6,99	3,91	1,35	2,66	1,89
	Phéopigments ( $\mu$ g/l)	C												1,15	2,28	1,77
		M												1,36	1,57	2,66
		L												0,39	1,42	0,90
Fluorimètre	Chl. a ( $\mu$ g/l)	C	0,87	1,44	2,83	10,27		4,43	5,31		7,75	1,08	8,56			
		M	1,21	1,16	2,69	10,19		3,85	4,71		9,46	1,29	10,07			
		L	0,62	0,79	1,64	9,05		2,18	2,00		6,66	2,11	5,45			
	Phéopigments ( $\mu$ g/l)	C	1,42	0,70	1,42	1,02		1,83	2,62		3,41	0,95	0,54			
		M	2,98	0,80	2,01	0,91		2,79	3,06		3,47	1,02	0,82			
		L	0,89	0,90	0,75	1,11		1,71	0,84		1,26	0,82	0,82			
Indice de diversité (bits/ $\phi$ )	C	3,36	3,43	3,69	2,07		3,75	2,29		3,20	3,41	1,49	3,95	3,68	3,65	3,82
	M	3,26	3,58	3,27	1,36	3,45	3,69	2,46	1,98	3,09	3,76	1,34	4,00	3,73	3,67	3,85
	L	3,14	3,45	3,06	1,31		3,96	2,97		2,51	1,63	1,88	3,98	3,92	3,97	3,80
Equitabilité	C	0,73	0,71	0,73	0,52		0,80	0,53		0,67	0,72	0,33	0,78	0,74	0,70	0,69
	M	0,76	0,78	0,66	0,30	0,74	0,80	0,58	0,45	0,66	0,75	0,31	0,75	0,73	0,75	0,76
	L	0,75	0,77	0,62	0,34		0,84	0,72		0,58	0,41	0,45	0,78	0,78	0,79	0,80
Nbres $\phi$ vivantes Nbres $\phi$ mortes	C	0,62	2,27	3,80	18,01		1,93	3,22		19,90	1,74	25,12	5,56			
	M	0,50	2,21	2,71	19,75	1,97	1,38	2,42	3,40	8,53	2,24	22,31	2,96			
	L	1,61	2,66	6,81	18,44		2,43	2,44		18,64	8,93	47,77	2,10			

\*  $\phi$  vivantes +  $\phi$  mortes.



TABLEAU 27 : PARAMETRES BIOLOGIQUES DANS LE MILIEU LITTORAL EN  
FACE DE DUNKERQUE (niveau de surface).  
(Données R.N.O.).

Date	Chlorophylle a (µg/l)				Phéopigments (µg/l)			
	st.1	st.2	st.3	st.4	st.1	st.2	st.3	st.4
13.06.1977		6,98		4,75		1,50		1,30
27.06		4,15		2,10		1,40		0,65
4.07	9,80		9,80		3,20		2,90	
25.07		11,10		5,10		1,00		0,90
16.08	7,60		4,80		0,20		0,60	
22.08		7,20		4,90		0,80		0,60
8.09	9,90	8,20	6,50	3,00	0,00	0,10	0,60	0,20
5.10	3,00	3,00	1,90	2,50	0,12	0,80	0,20	0,00
20.10	4,20	3,80	6,20	2,20	1,50	1,40	1,50	0,90
7.11	4,40	3,60	3,60		1,00	0,80	0,20	
29.11	2,30	2,40	1,50	1,50	0,82	0,90	0,64	0,60
5.12	2,10	1,70	2,40	2,10	0,50	0,40	0,60	0,50
12.12	2,10	2,34	1,90	1,10	2,10	2,04	1,60	0,70
20.12	1,40	1,40	1,50	0,85	0,50	0,50	0,40	0,04
5.01.1978	2,20			1,60	0,70			0,40
9.01	1,70			1,30	0,40			0,30
27.02	2,70			1,30	1,20			0,24
6.03	2,90			1,80	1,00			0,30
18.04	14,70			12,50	0,50			0,20
24.04	59,00			10,80	5,70			2,60
3.05	9,20			2,70	1,90			0,60
10.05	6,00			2,30	1,70			
16.05	3,00			2,20	0,30			0,10
29.05	23,60			3,10	0,00			0,20
14.06	13,20			8,60	0,90			0,40
28.06	9,70			3,90	1,50			1,20
10.07	7,90			2,70	0,00			0,00
17.07	2,40			2,50	0,00			0,00
26.07	3,70			2,50	0,04			0,00
1.08	1,90			1,50	0,36			0,00
8.08	1,90			2,40	0,50			0,00
21.08	7,80			3,00	0,30			1,50
24.08	1,40			0,80	0,00			0,00
4.09	12,50			4,00	0,00			0,00
18.09	3,60			2,90	0,00			0,60
26.09	4,10		2,10		0,00		0,00	
9.10	2,60			1,85	0,08			0,00
19.10	3,40			1,60	0,00			0,00
30.10	3,10			1,60	0,15			0,00
7.11	2,50			1,30	0,00			0,30
9.11	1,90			0,84	0,00			0,00
20.11	2,50			0,94	0,76			0,43
7.12	2,10		2,10		0,00		0,30	
11.12	1,70			1,10	0,50			0,00
21.12	2,50		1,60		0,00		0,00	



TABLEAU 28 : PARAMETRES BIOLOGIQUES DANS LE PORT DE DUNKERQUE (Station E).

Chlorophylle a }  
 Indice pigmentaire } d'après BRYLINSKI, 1979.

DATE	Nbre $\phi$ de micro-plancton/cm <sup>3</sup>			Chlorophylle a ( $\mu$ g/l)			Indice pigmentaire ( $\frac{a_{430}}{a_{663}}$ )			Indice de diversité (bits/ $\phi$ )			Equitabilité		
	0 m	5 m	10 m	0 m	5 m	10 m	0 m	5 m	10 m	0 m	5 m	10 m	0 m	5 m	10 m
19.01.77				1,68	0,63	1,17	4,03	8,84	9,04						
28.01				2,24			3,84								
4.02				2,59		1,92	4,54		2,80						
25.02				10,76	11,64		3,08	2,52							
27.02	6540		4330							1,26		1,16	0,25		0,25
2.03	14200	11900	8900							0,80	0,89	0,95	0,16	0,21	0,23
4.03	18200	12400	12900	21,16	27,65	8,35	2,62	2,87	2,56	0,62	0,89	0,94	0,12	0,21	0,21
10.03	28000	30900	29800	31,97	37,70	33,85	2,42	2,44	2,43	0,48	0,52	0,62	0,09	0,12	0,15
18.03		10900	11500	21,08	21,70	20,93	2,60	2,72	2,57		1,05	1,18		0,25	0,26
24.03	3260	2540	1880	24,49	9,08	7,68	2,66	3,35	3,23	2,80	2,85	2,70	0,58	0,61	0,61
1.04	11900	6540	6870	26,67	32,88	22,28	2,91	2,84	2,93	2,92	2,72	2,65	0,62	0,62	0,60
7.04	10800	9850	10200	36,49	41,38	35,55	2,82	2,90	2,52	2,49	2,45	2,34	0,54	0,58	0,53
14.04	12000	13500	14600	34,58	37,40	38,58	2,94	3,00	2,87	2,33	2,21	2,10	0,52	0,49	0,49
29.04	17700	28400	22500	36,37	48,74	49,25	3,08	2,98	3,05	1,32	1,46	1,41	0,34	0,34	0,35
6.05	11400	15300	13600	24,93	20,29	18,20	2,60	2,74	3,08	1,35	1,34	1,31	0,31	0,29	0,31
14.05	23800	31000	19200	21,51	21,77	19,76	2,54	2,53	2,60	0,46	0,56	0,65	0,10	0,12	0,16
27.05	1690	2870	1880	4,28	4,52	3,70	3,72	3,72	4,16	0,88	1,00	0,73	0,22	0,27	0,17
3.06	7530	5580	6680	7,58	5,89	2,59	2,95	3,19	4,21	0,49	0,73	0,69	0,14	0,24	0,17
9.06	1520	780	350	3,45	7,42	2,01	3,24	3,00	3,39	1,15	1,47	1,49	0,29	0,39	0,33
15.06	12800		4170	10,03			2,79			0,51		0,59	0,13		0,14
23.06				17,66	17,05	15,38	3,18	2,92	3,84						
1.07	1450		2530	11,35	12,04	14,17	2,91	2,91	2,87	2,22		1,80	0,52		0,37
13.07	800	740	880	6,53	4,62	4,75	3,35	4,05	4,29	2,25	2,41	2,35	0,54	0,65	0,53
22.07	5380	2680	2030	24,11	8,19	5,80	3,16	3,80	3,67	1,69	1,83	1,97	0,40	0,53	0,49
29.07	11100	13700	10400	12,69	9,61	6,42	3,78	3,18	3,45	0,75	0,78	0,57	0,17	0,18	0,15
5.08	31500	42600	39700	28,56	22,93	15,93	3,09	2,68	2,87	0,50	0,47	0,40	0,13	0,12	0,10
12.08	670	700	710	5,84	5,41	4,87	3,74	3,09	4,54	2,28	2,96	2,92	0,54	0,68	0,70
19.08	1730	1810	650	40,54	16,57	6,46	3,36	3,27	3,70	1,79	2,15	2,97	0,48	0,55	0,67
26.08				34,78	5,29	5,40	3,04	2,86	4,22						
9.09	2820	3020	2830	22,71	15,28	13,09	3,10	3,57	3,15	2,21	1,91	1,89	0,52	0,53	0,42
20.09	3020	7570	3490	4,91	6,17	4,25	3,20	3,13	3,92	2,31	1,19	1,39	0,57	0,30	0,35
5.10	600	510	630	3,17	2,63	2,52	3,16	3,96	4,26	3,12	2,97	3,22	0,70	0,70	0,68
13.10	540	60	110	2,35	1,20	1,48	3,44	3,95	4,55	3,79	2,94	3,21	0,80	0,77	0,77
25.10	530	250	840	8,91	2,09	2,05	2,92	3,81	4,05	3,08	2,97	2,56	0,74	0,74	0,57
2.11	142		181	2,49		2,15	4,29		5,25	3,86		3,38	0,77		0,71
9.11	134	121	126	2,06	2,02	1,80	3,70	4,55	4,15	3,90	3,48	3,50	0,79	0,78	0,76
29.11	46	10	49	0,44	0,51	0,53	8,89	4,00	7,40	2,83	2,65	3,97	0,85	0,94	0,93
9.12	67	52	34	0,70	0,66	0,62	7,38	8,42	10,58	2,67	2,96	2,86	0,77	0,80	0,90
15.12	31	34	71	0,80	0,48	0,72	5,93	9,55	10,50	3,24	3,08	2,90	0,90	0,86	0,76
22.12	67	39	40	0,50	0,38	0,60	7,22	10,28	6,54	3,58	3,34	3,03	0,86	0,90	0,88
5.01.78	33	34	47	0,47	0,52	0,48	8,11	9,20	8,11	3,14	2,18	3,09	0,88	0,77	0,83
18.01	27			0,40			6,86			2,90			0,87		
25.01	88	52	58	0,51	0,75	0,30	5,44	6,93	11,20	2,35	2,62	3,11	0,68	0,73	0,82
17.02	250	340	210	1,58	1,69	0,90	2,31	2,03	2,23	2,72	2,03	2,76	0,66	0,53	0,67
1.03	1470	1310	1340	9,09	8,98	4,96	2,64	2,43	2,71	2,06	2,11	2,40	0,57	0,55	0,67
13.04				4,62			3,23								
26.04	1020	1080	2030	6,90	7,64	6,29	2,69	2,98	3,42	1,81	2,28	2,37	0,47	0,55	0,61
5.05	1980	540	140	10,05	7,04	2,54	4,05	4,63	5,55	1,90	2,30	3,37	0,60	0,77	0,74
23.05				52,41			2,75								
6.05	4910	6090	4240	28,77	29,31	21,41	2,87	2,74	2,90	1,39	1,12	1,17	0,34	0,28	0,39
21.06	8150	11100	3900	43,23	42,07	25,96	2,62	2,69	2,57	2,53	2,54	2,91	0,57	0,59	0,68
12.07	4650	1270	480	14,14	5,92	3,83	2,58	2,94	3,31	2,12	2,39	2,24	0,48	0,53	0,67
27.07	18100	17300	3400	26,45	14,67	8,26	3,17	3,03	3,18	0,61	0,29	0,39	0,14	0,08	0,12