

50376

1979

197

UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

INSTITUT DE BIOLOGIE MARITIME ET REGIONALE DE WIMEREUX

50376

1979

197

N° 778 Bis

THESE DE TROISIEME CYCLE

(biologie de la reproduction et du développement)

Jean-Michel BRYLINSKI

**ETUDE DE L'ECOSYSTEME PORTUAIRE DE DUNKERQUE :
POPULATIONS ZOOPLANCTONIQUES**



présentée le 21 septembre 1979 devant la commission d'examen

MM. M. DURCHON Président

A. RICHARD Rapporteur

P. POLK

M. BODARD

} Examineurs

SCD LILLE 1



D 030 305699 8

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I - HYDROLOGIE	
I - MATERIEL ET TECHNIQUES	5
I.1. Le site	5
I.2. La zone d'étude	5
I.3. Choix des stations	7
I.4. Les prélèvements	9
I.5. Paramètres étudiés et méthodes d'analyse	9
I.5.1. La température	9
I.5.2. La salinité	10
I.5.3. L'oxygène dissous	10
I.5.4. Le pH	11
I.5.5. La transparence des eaux	11
I.5.6. Les matières en suspension	11
I.5.7. Les sels nutritifs dissous	12
I.5.8. La chlorophylle a	12
II - RESULTATS ET DISCUSSION	15
II.1. La température	15
II.2. La salinité	21
II.3. Chlorophylle a et indice de diversité pigmentaire	25
II.4. Le pH	29
II.5. L'oxygène dissous	31
II.6. Les matières en suspension	37
II.7. La transparence de l'eau	41
II.8. Les sels nutritifs	45
II.9. Cycle hydrologique global	55
II.9.1. Le cycle 1977	57
II.9.2. Comparaison entre les années 1977 et 1978	58
II.9.3. Les variables "non saisonnières"	59
II.9.4. Hétérogénéité du milieu	59
III - CONCLUSION	63

CHAPITRE II - LE ZOOPLANCTON : VARIATIONS SAISONNIERES
 ET RELATIONS AVEC LE MILIEU

I - METHODES D'ETUDE	65
II - RESULTATS	65
II.1 Liste faunistique des espèces récoltées	65
II.2 Les Cnidaires	69
II.2.1. Les Hydrozoaires	69
II.2.1.1. <i>Obelia</i> sp.	69
II.2.1.2. Hydroméduse indéterminée	71
II.2.1.3. Les autres espèces	71
II.2.2. Les Scyphozoaires	71
II.2.3. Les Anthozoaires	71
II.3 Les Cténares	71
II.4 Les Annelides	73
II.4.1. Les <i>Terebellidae</i>	73
II.4.2. Les <i>Spionidae</i>	73
II.5. Les Mollusques	73
II.5.1. Les Gastéropodes	73
II.5.2. Les Lamellibranches	75
II.6. Les Chaetognathes	75
II.7. Les Bryozoaires	75
II.8. Les Crustacés	75
II.8.1. Les Cladocères	75
II.8.1.1. <i>Podon polyphemoides</i>	75
II.8.1.2. <i>Bosmina maritima</i>	77
II.8.2. Les Copépodes	77
II.8.2.1. Variations annuelles de la population globale des Copépodes.	77
II.8.2.2. Les Harpacticoïdes	83
II.8.2.3. Variations d'abondance des principales espèces.	83
- <i>Temora longicornis</i>	83
- <i>Acartia</i> sp.	85
- <i>Acartia clausi</i>	87
- <i>A. discaudata</i>	87
- <i>A. bifilosa</i>	89
- <i>Acartia tonsa</i>	91
- <i>Euterpina acutifrons</i>	91

- <i>Centropages hamatus</i>	93
- <i>Pseudocalanus elongatus</i> et <i>Paracalanus parvus</i>	93
- <i>Eurytemora hirundoïdes</i>	93
II.8.2.4. Cycles et dominances spécifiques dans la population globale des Copépodes	95
II.8.2.5. Indice de diversité	99
II.8.3. Les Cirripèdes	101
II.8.4. Les Décapodes	101
II.9. Les Echinodermes	103
II.10 Les Tuniciers	103
II.10.1. <i>Oikopleura dioïca</i>	103
II.10.2. Les larves d'Ascidies	103
II.11. Cycle saisonnier du zooplancton total	105
II.12. Aperçu sur la répartition verticale du zooplancton	109
II.13. Anomalies relevées chez certains copépodes ...	111
III - DISCUSSION	115
III.1. Les Lamellibranches	115
III.2. Les Cladocères	116
III.3. Les Copépodes	119
III.3.1. <i>Acartia clausi</i> et <i>Temora longicornis</i> :	
Alternance spécifique et température	121
III.3.2. <i>Temora longicornis</i>	121
III.3.3. <i>Acartia clausi</i>	122
III.3.4. <i>A. clausi</i> et <i>A. tonsa</i> : Alternance spécifique, température et salinité.	123
III.3.5. <i>Acartia tonsa</i>	125
III.3.6. <i>Euterpina acutifrons</i>	126
III.3.7. Diversité des Copépodes	127
III.4. Les Appendiculaires	129
III.5. Les Ascidies	129
III.6. Le zooplancton total - Conclusion	131

CHAPITRE III - *TEMORA LONGICORNIS* : DYNAMIQUE DES POPULATIONS

INTRODUCTION	135
I - METHODOLOGIE	136
1) L'abondance des adultes	136
2) Proportion des différents stades de développement .	136

3) Variations dimensionnelles chez les adultes	136
4) Variations du sex-ratio	137
II - RESULTATS	139
II.1 Mise en évidence des différentes générations ..	139
1e génération : février-début mars 1977	139
2e génération : fin mars-début mai	139
3e génération : mi-mai-début juillet	141
4e génération : mi-juillet-fin août	141
5e génération : fin août-mi-octobre	141
6e génération : mi-octobre-fin décembre	142
1e génération : février-mars 1978	142
2e génération : avril	142
3e génération : mai-juin	143
4e génération : fin juin-juillet	143
5e génération : août	143
II.2. Influence de la température sur le développe- ment	143
II.3. Influence de la température sur la taille des Copépodes	149
II.3.1. Relation température/taille à la station E	149
II.3.2. Hétérogénéité des prélèvements dans le port	151
II.3.3. Comparaison entre Copépodes du port de Dunkerque et Copépodes de la Mer du Nord .	155
III - DISCUSSION	157
III.1. Cycles biologiques et température	157
III.2. Action limitante de la température	159
III.3. Les conditions du milieu et la taille des Copépodes	164
III.3.1. Facteurs influençant l'hétérogénéité des tailles dans le port de Dunkerque	164
III.3.2. Action de la température et du phytoplanc- ton sur la taille des copépodes	165
IV - CONCLUSION	167
RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES	169
BIBLIOGRAPHIE	175

FIGURES

CHAPITRE I - HYDROLOGIE

- 1 - Le site portuaire sur le littoral de la Mer du Nord - Localisation des stations en mer ouverte (C.N.E.X.O.-R.N.O.).
- 2 - Variations du niveau de l'eau dans les bassins à flot du port de Dunkerque.
- 3 - Le port de Dunkerque.
- 4 - Comparaison entre les dosages de chlorophylle a après filtration sur filtre WATHMAN G/FC et GELMAN GA-6.
- 5 - Températures relevées dans le port de Dunkerque et en Mer du Nord.
- 6 - Profil vertical de température, salinité, oxygène dissous et pH à la station P.
- 7 - Profil des températures dans l'axe des rejets de la centrale E.D.F.
- 8 - Influence des entrées d'eau de mer par les écluses et des précipitations sur la salinité.
- 9 - Variation de la chlorophylle a et de l'indice pigmentaire à la station E et en Mer du Nord.
- 10 - Variation du pH.
- 11 - Relation pH-chlorophylle a
- 12 - Variation de l'oxygène dissous (% de saturation).
- 13 - Relation oxygène dissous-chlorophylle a.
- 14 - Teneurs en oxygène dissous entre P_{12} et R_1 , et P_{12} et R_3 .
- 15 - Variations de la quantité de matières en suspension.
- 16 - Variations du coefficient d'extinction K_s .
- 17 - Relation entre le coefficient d'extinction et la chlorophylle a.
- 18 - Variations des silicates.
- 19 - Variations des phosphates.
- 20 - Variations des nitrites.
- 21 - Variations des nitrates.
- 22 - Relation nitrites-chlorophylle a.
- 23 - Relation nitrates-chlorophylle a.

- 24 - Relation silicates-chlorophylle a.
- 25 - Relation phosphates-chlorophylle a.
- 26 - Numérotation des prélèvements hydrologiques utilisés dans l'analyse des correspondances.
- 27 - Cycle hydrologique saisonnier : points prélèvements et points variables.
- 28 - Cycle hydrologique : points prélèvements (évolution) et points variables.
- 29 - Cycle hydrologique : année 1978.
- 30 - Cycle hydrologique : hétérogénéité des points prélèvements.

CHAPITRE II - ZOOPLANCTON

- 31 - Variations saisonnières chez les Cnidaires.
- 32 - Variations saisonnières chez les Annélides.
- 33 - Variations saisonnières chez les Mollusques Gastéropodes.
- 34 - Variations saisonnières chez les Mollusques Lamellibranches.
- 35 - Variations saisonnières chez les Cladocères.
- 36 - Dominance des principaux groupes du zooplancton.
- 37 - Variations saisonnières de la population globale des Copépodes.
- 38 - Variations saisonnières chez les Copépodes Harpacticoïdes benthiques.
- 39 - Variations saisonnières chez 4 espèces de Copépodes.
- 40 - Structure de la 5e paire de pattes thoraciques chez les 4 espèces d'*Acartia*.
- 41 - Variations saisonnières chez les 4 espèces d'*Acartia*.
- 42 - Répartition européenne actuellement connue de *Acartia tonsa*.
- 43 - Classement mensuel des principales espèces de Copépodes.
- 44 - Variations saisonnières chez le Copépode *Euterpina acutifrons*.
- 45 - Variations saisonnières de l'indice de diversité et périodes de dominances spécifiques chez les Copépodes.
- 46 - Variations saisonnières chez les Cirripèdes.
- 47 - Variations saisonnières chez les Tuniciers Appendiculaires.
- 48 - Variations saisonnières chez les larves d'Ascidies.

- 49 - Numérotation des prélèvements de zooplancton utilisés dans l'analyse des correspondances.
- 50 - Cycle annuel du zooplancton : points espèces et points prélèvements. Plan I-II de l'analyse.
- 51 - Cycle annuel du zooplancton : points espèces et points prélèvements. Plan II-III de l'analyse.
- 52 - Extrusions tissulaires et prolapses intestinales chez les Copépodes.
- 53 - Anomalies morphologiques chez les *Acartia*.
- 54 - Abondance des larvès véligères de Lamellibranches en fonction de la température.
- 55 - Abondance des Cladocères en fonction de la température.
- 56 - Abondance des principaux copépodes à la station P₁₂.
- 57 - Abondance de l'Appendiculaire *Oikopleura dioica* en fonction de la température.
- 58 - Variations saisonnières du zooplancton total.

CHAPITRE III - *TEMORA LONGICORNIS*

- 59 - Cycle biologique de *Temora longicornis*.
- 60 - Evolution de la taille de *Temora longicornis* dans le temps : histogrammes et interprétation.
- 61 - Relation température/durée de développement.
- 62 - Relation température/durée de développement (formule de BELEHRADEK).
- 63 - Relation taille/température de développement.
- 64 - Relation taille/température du prélèvement.
- 65 - Histogrammes des fréquences de taille de janvier à juillet 1977 dans le port et au large de Dunkerque.
- 66 - Histogrammes des tailles en P₁₂ et en Mer du Nord.
- 67 - Exemples d'hétérogénéité des tailles de *Temora longicornis* dans le port de Dunkerque.
- 68 - Pourcentage de diminution entre la taille des Copépodes du port et ceux de la Mer du Nord.
- 69 - Forme elliptique de la relation température/durée de développement (d'après la théorie de BERNARD M, 1970).
- 70 - Relation température/longueur du céphalothorax (coordonnées logarithmiques.)

TABLEAUX

CHAPITRE I - HYDROLOGIE

- 1 - Températures ($^{\circ}$ C)
- 2 - Salinités ($^{\circ}$ /oo)
- 3 - Chlorophylle a (mg/m^3) et indice pigmentaire
- 4 - pH
- 5 - Oxygène dissous (ml/l)
- 6 - Oxygène dissous (% de saturation)
- 7 - Matières en suspension (mg/l) et coefficient d'extinction (m^{-1}).
- 8 - Silicates ($\mu\text{atg Si-SiO}_3^-/\text{l}$)
- 9 - Phosphates ($\mu\text{atg P-PO}_4^{3-}/\text{l}$)
- 10 - Nitrites ($\mu\text{atg N-NO}_2^-/\text{l}$)
- 11 - Nitrates ($\mu\text{atg N-NO}_3^-/\text{l}$)
- 12 - Contribution relative (%) des différentes variables à la détermination des axes I et II. (Analyse des correspondances).

CHAPITRE II - ZOOPLANCTON

- 13 - Abondance des principales espèces à la station E (sauf Copépodes)
- 14 - Abondance relative des principaux groupes du zooplancton(%).
- 15 - Abondance des Copépodes à la station E ($\text{N}/10 \text{ m}^3$).
- 16 - Fréquence des Copépodes (%) et indice de diversité (Shannon).
- 17 - Exemple d'hétérogénéité spatiale verticale du zooplancton.
- 18 - Variations de l'optimum thermique de *Podon polyphemoides* en fonction de la latitude.
- 19 - Abondance des principales espèces à la station P₁₂ ($\text{N}/10 \text{ m}^3$).

CHAPITRE III - *TEMORA LONGICORNIS*

- 20 - Données sur le cycle biologique de *Temora longicornis* à Dunkerque.
- 21 - Données sur le cycle biologique de *Temora longicornis* en Europe.
- 22 - Production des oeufs chez *Temora longicornis* à différentes températures [d'après CORKETT et ZILLIOUX, 1975].

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION

Le développement du programme énergétique français prévoit la construction de plusieurs centrales nucléaires de grande puissance en bord de mer (LEBRETON, 1977). De telles installations brassent des quantités d'eau considérables pour le refroidissement de leurs circuits secondaires. Ces eaux subissent un échauffement voisin de 10° C et, en été, une injection de biocide (chloration) destinée à réduire au maximum la fixation des salissures (*fouling*) dans les tuyauteries.

Si l'impact de tels rejets sur le milieu marin pélagique commence à être bien étudié dans d'autres pays, comme par exemple les Etats Unis avec les travaux de CARPENTER et coll. (1972 - 1974a - 1974b) et de HEINLE (1976), les études françaises n'en sont qu'à leurs débuts puisque la première centrale nucléaire en bord de mer doit entrer très prochainement en service sur le littoral de la Mer du Nord, à Gravelines près de Dunkerque.

C'est pourquoi, afin d'anticiper sur les résultats qui restent à acquérir sur de tels sites, et malgré la différence d'échelle, la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France (Département Environnement Aquatique et Atmosphérique) poursuit depuis avril 1975 une étude de l'influence du fonctionnement de la centrale thermique mixte fuel-gaz de Dunkerque sur le plancton du port.

Cette centrale est en effet, avec celle du Havre et celle de Martigues-Ponteau près de Marseille qui fait l'objet d'études similaires (BENON, 1977 - BOURGADE, 1977 - GAUDY, 1977), une des seules centrales thermiques qui utilisent l'eau de mer pour le refroidissement de ses condenseurs.

Les premières données disponibles sur le site de Dunkerque concernent essentiellement des mesures de production primaire et des évaluations quantitatives de phytoplancton par dosage de la chlorophylle a (BROUARDEL et JOSEPH, 1976 et 1978 - KHALANSKI, 1977). La production primaire est faible en hiver et forte en été et, quelque soit la saison, maximale en surface. Elle semble d'autre part plus élevée dans le port

qu'en mer ouverte. Par ailleurs, "les effets du transit dans les circuits de refroidissement de la centrale sur la production primaire indiquent une influence hydrodynamique non détectable, une influence thermique variable mais faible par rapport à celle, nettement défavorable, des injections d'hypochlorite".

Des mesures de biomasse par dosage de l'A.T.P. ont été tentées (BROUARDEL et JOSEPH, 1978 - HERAL, 1977) mais leurs résultats demeurent à ce jour trop fragmentaires et sujets à controverse pour des raisons de méthodologie.

Après les premières données très limitées recueillies en 1976 (WDERHLING et HALGAND, BRYLINSKI *in* KHALANSKI, 1978), l'étude du zooplancton a été confiée à l'Institut de Biologie Maritime de Wimereux (Université de Lille I) dans le cadre de contrats*.

Le programme de nos recherches présente deux aspects :

1) Impact de la centrale sur le zooplancton du milieu récepteur des rejets.

2) Impact direct sur le zooplancton transitant dans les circuits de refroidissement de la centrale.

Avant de poursuivre les études préliminaires réalisées sur ce deuxième point (BRYLINSKI *in* KHALANSKI, 1978), il s'avérait utile de connaître plus en détail le milieu particulier où ces recherches s'effectuent. Sans être véritablement assimilable à un estuaire, le site de Dunkerque présente des conditions portuaires susceptibles de masquer les phénomènes que l'on cherche à prévoir pour les sites en mer ouverte comme Gravelines. En effet, situés à la transition terre-mer et recevant dans le plupart des cas de nombreux apports urbains et industriels, les milieux portuaires présentent un état de "pollution générale" plus ou moins avancé susceptible d'agir sur la faune et la flore en modifiant les réactions vis-à-vis d'un rejet thermique.

Ce travail présente donc les résultats acquis actuellement sur

* Ce travail a été réalisé dans le cadre du contrat n° 16 286 E.31.D.99 passé entre l'Université de Lille I (Inst. Biol. Mar. Wimereux) et Electricité de France (Etudes et Recherches) et complète le rapport présenté en novembre 78.

le premier aspect de nos recherches, au cours d'analyses régulières effectuées de janvier 1977 à juillet 1978.

Nous exposons dans le premier chapitre les caractéristiques hydrobiologiques d'un bassin à flot directement soumis à l'influence de la centrale électrique. De nombreux paramètres ont été étudiés. Soit parce qu'ils sont à la base même du réseau alimentaire indispensable au développement du zooplancton (sels nutritifs - phytoplancton), soit parce qu'ils influent sur ce développement (nourriture - température...), et enfin parce qu'ils peuvent conditionner la répartition spatiale des espèces, ou même leur présence ou absence dans le milieu (température - salinité - densité...).

Le deuxième chapitre fait l'état de la composition du zooplancton et de ses variations saisonnières. Le caractère particulier du développement de certaines espèces est mis en relation avec les conditions hydrologiques du milieu et opposé aux observations faites par d'autres auteurs sur des sites voisins de la Mer du Nord.

Afin de compléter les deux thèmes : hydrologie et zooplancton, nous avons prélevé régulièrement des échantillons de phytoplancton. Leur analyse a été effectuée par M. HEDIN-BOUGARD et les résultats seront présentés ailleurs.

Le troisième chapitre présente l'influence de l'échauffement permanent du milieu (+ 3 à 4° C par rapport à la Mer du Nord) sur la dynamique des populations du copépode le plus abondant dans la région : *Temora longicornis*.

CHAPITRE I

HYDROLOGIE

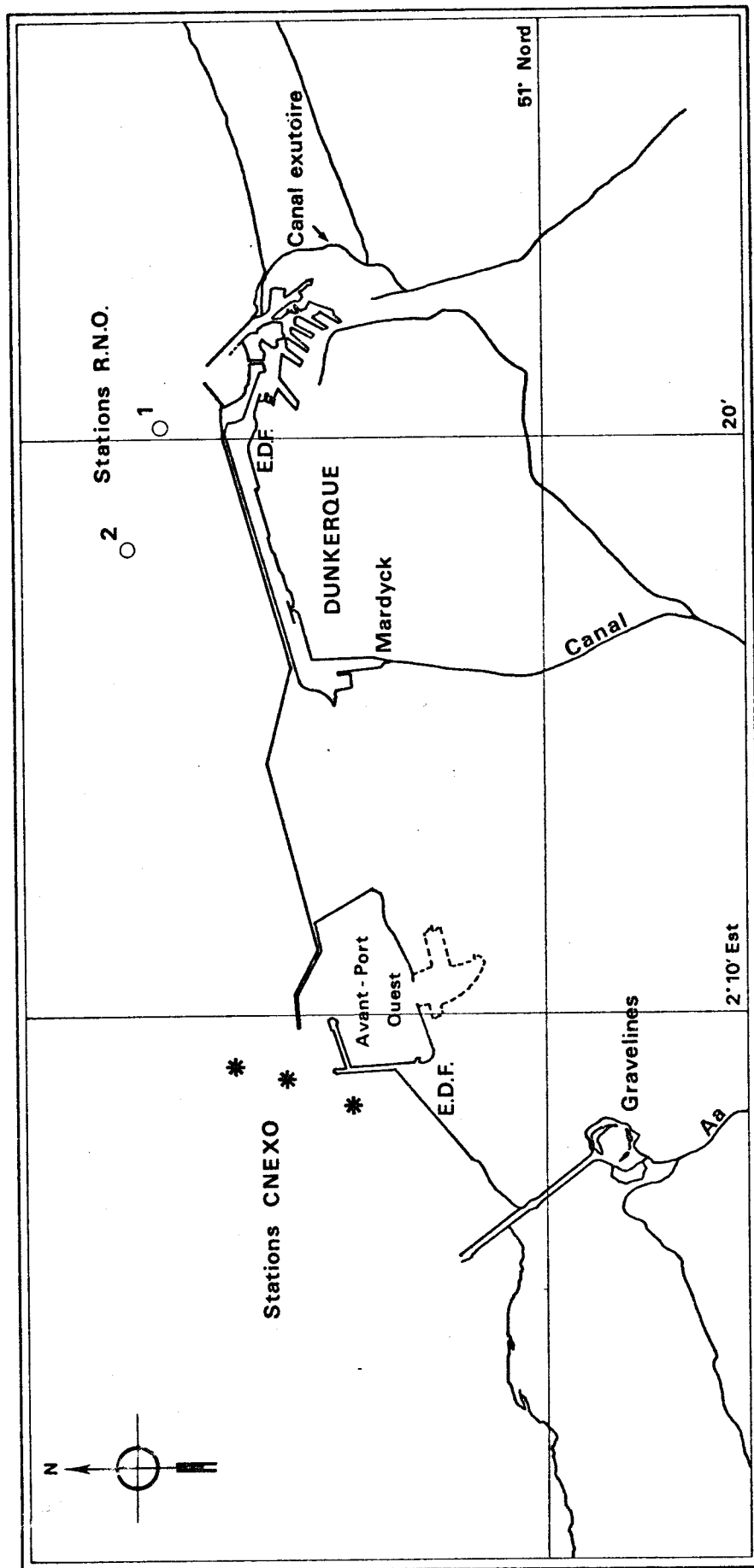


Figure 1 : Le site portuaire sur le littoral de la Mer du Nord
Localisation des stations en mer ouverte (C.N.E.X.O.-R.N.O.).

I - MATERIEL ET TECHNIQUES *

I.1. LE SITE

L'ensemble des bassins à flot du port de Dunkerque couvre environ 380 ha et s'étend sur plus de 10 km d'Est en Ouest (Fig. 1). A l'extrémité Ouest, une écluse contrôle le débit d'un canal à grand gabarit, qui draine une partie des eaux douces de la région. Dans sa partie Est, le port est en contact avec la Mer du Nord par trois écluses qui le relient à l'avant-port.

Le niveau des eaux est maintenu élevé par l'ouverture des vannes immergées des écluses pendant les étales de haute mer. Ainsi pendant les périodes de vives eaux, le niveau peut s'élever de plus de 40 cm en 1 H 30, ce qui correspond à une entrée d'eau d'un volume supérieur à 1,5 millions de m³. En 1977, le niveau a varié entre 4,10 m et 6,50 m par rapport au zéro des cartes **, le niveau moyen de la Mer du Nord étant à 3,15 m (Fig. 2). En été 1977, un circuit de pompage à grand débit a été mis en service au Nord de l'écluse Ch. de Gaulle. Le pompage s'effectue pendant les marées hautes de mortes eaux et permet le maintien du niveau à un minimum voisin de 5 m. Depuis cette époque les entrées d'eau de mer sont beaucoup plus fréquentes et régulières, et par suite moins importantes à chaque fois.

Les pertes s'effectuent par évaporation, par les sassées des navires et surtout par infiltrations à travers les digues.

I.2. LA ZONE D'ETUDE

La zone étudiée est constituée par le bassin d'évitage et par l'entrée du bassin d'évolution (Fig. 3). La centrale thermique d'É.D.F. (centrale mixte fuel-gaz d'une puissance de 500 MW, répartie en quatre tranches de 125 MW) pompe son eau de refroidissement à l'entrée du bassin d'évolution et à une profondeur comprise entre - 10 et - 14 m, suivant le niveau de l'eau du bassin (hauteur de l'ouverture : 2 m). Le débit est relativement important par rapport au volume de la zone concernée, puisqu'il peut atteindre 22 m³/s. Le rejet s'effectue en surface dans le bassin d'évitage après un échauffement moyen compris entre 7 et 8°C. La

* Je tiens à remercier R. GOBERT, technicien engagé sur contrat, qui a participé à toutes mes sorties pendant deux ans et assuré une grande partie du travail technique.

** Les relevés de niveau nous ont aimablement été communiqués par le Service Etudes Techniques du Port Autonome de Dunkerque (P.A.D.).

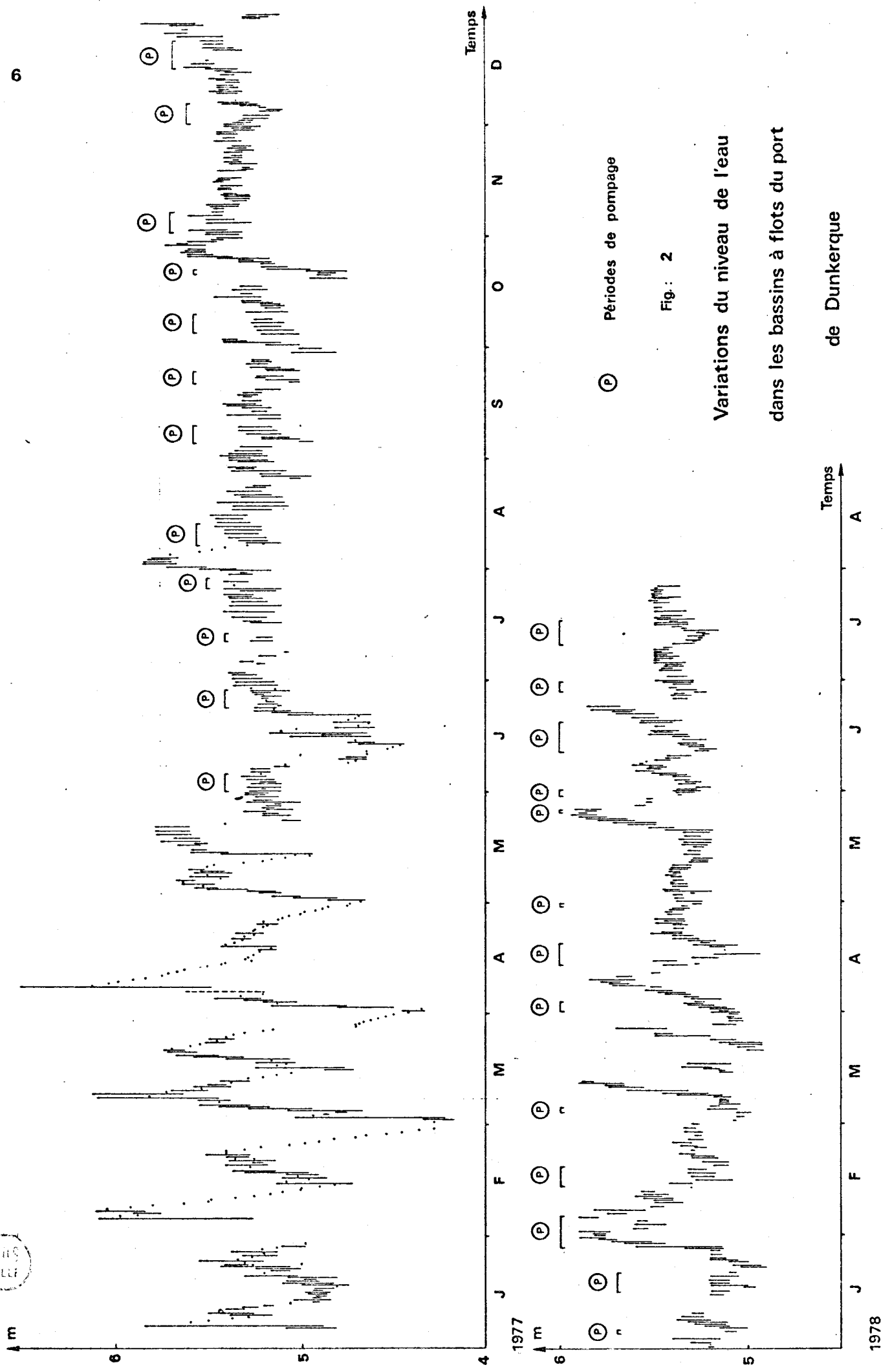


Fig. 2

Variations du niveau de l'eau
 dans les bassins à flots du port
 de Dunkerque

BIBLIOTHÈQUE
 1977

Société Française de la British Petroleum (S.F.B.P.) prélève également 1,2 à 1,8 m³/s à - 6 m et rejette en surface, à proximité de la station de pompage E.D.F., une eau échauffée de 10° C et partiellement dessalée (KHALANSKI, 1976). D'autres rejets industriels s'effectuent également dans les bassins, mais pas directement dans la zone d'étude.

Une bonne partie des bassins est caractérisée par l'absence de courants forts qui seraient capables, comme les courants de marées en Mer du Nord, d'homogénéiser le milieu. Il existe des courants dûs aux vents et, selon la force de ceux-ci, plus ou moins localisés en surface. D'autre part, les courants profonds dûs aux entrées d'eau par les écluses sont très localisés dans le temps. En dehors d'un mélange vertical partiel pouvant être provoqué par la navigation, le seul brassage important et permanent est réalisé par l'aspiration en profondeur et le rejet en surface des eaux de refroidissement de la centrale thermique de E.D.F. Des mesures dans l'axe des rejets (VIVARELLI et BELIAKOFF, 1976) montrent que le courant principal est très localisé en surface et qu'il diminue rapidement en dessous de 1 m de profondeur.

I.3. CHOIX DES STATIONS

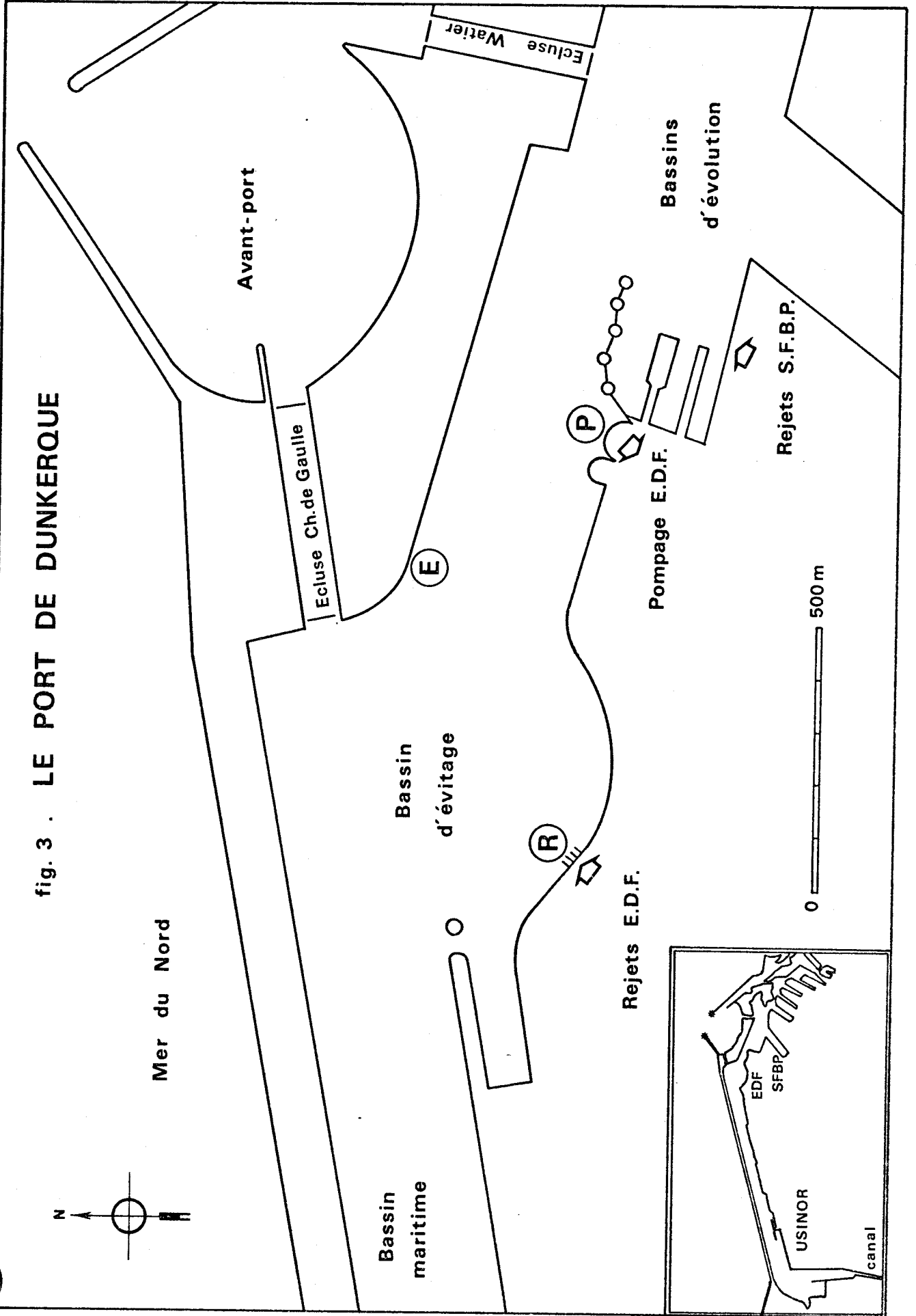
Trois stations principales sont prospectées (Fig 3) :

- la station E, près de l'écluse Ch. de Gaulle.
- la station P, au niveau de la prise d'eau E.D.F.
- la station R, dans les rejets de chaque tranche de la centrale (R₁ à R₄).

Lorsque les prélèvements ont lieu à une profondeur déterminée aux stations P et E, la lettre symbole de la station est suivie d'un exposant indiquant la profondeur du prélèvement (en mètre). Dans les darses de rejet, la profondeur est de 2 m et les prélèvements s'effectuent toujours à - 1 m de profondeur. L'exposant indique pour cette station le numéro de la tranche prospectée.

Nos résultats d'hydrologie seront souvent comparés aux données acquises en Mer du Nord proche (Fig. 1). Ces données proviennent des études réalisées par l'équipe C.N.E.X.O. de Wimereux (Service A. RICHARD) sur le site de la centrale nucléaire de Gravelines, soit au large de Dunkerque

fig. 3 . LE PORT DE DUNKERQUE



BUS LILLE

par le Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin* (R.N.O. - Point d'appui Dunkerque).

I.4. LES PRELEVEMENTS

De nombreuses mesures ont été réalisées aux trois stations P, R et E, mais seule cette dernière a fait l'objet d'une étude suivie de l'ensemble des paramètres étudiés, à trois niveaux de profondeur : $E_{0,5}$, E_5 et E_{10} . La périodicité des prélèvements était initialement prévue de une semaine. Relativement respecté pendant la première année, le maillage temporel s'est relâché en 1978.

Jusqu'en juillet 1977 les prélèvements d'hydrologie ont été effectués à partir du quai à l'aide d'une bouteille MECABOLIER descendue à la profondeur désirée à l'aide d'un câble. Grâce à une potence mobile, les prélèvements avaient lieu à environ 0,50 m du quai.

Par la suite ils ont été effectués à bord du *Dodecaceria* à l'aide d'une pompe électrique immergée, alimentée par batterie (12 V). Pour des raisons pratiques, et en particulier de sécurité vis-à-vis du trafic portuaire, le bateau est accosté pendant les prélèvements. La pompe est alors immergée sur l'autre bord, à environ 1,50 m du quai. L'immersion de la pompe demande certaines précautions pour ne pas emprisonner d'air dans son carter. Avant tout prélèvement, on laisse se stabiliser la circulation d'eau pendant quelques minutes.

I.5. PARAMETRES ETUDIES ET METHODES D'ANALYSE

I.5.1. La température

La température de l'eau est mesurée à l'aide d'un thermomètre à mercure gradué au $1/10^e$ ° C, et dont le réservoir est introduit au débouché du tuyau de la pompe. Bien que la lecture soit estimée au $2/100^e$ ° C, la précision reste inférieure à $5/100^e$ ° C. Cette précision, qui pourrait être insuffisante en milieu océanique, suffit largement pour rendre compte de la situation thermique des eaux dans le port de Dunkerque.

* Ministère de la Culture et de l'Environnement (Direction de la prévention des pollutions et des nuisances) et Centre National pour l'Exploitation des Océans (Département lutte contre la pollution et aménagement du littoral).

I.5.2. La salinité

Des flacons de polyéthylène à capsule hermétique, préalablement rincés avec l'eau du prélèvement, sont remplis d'eau et servent au dosage réalisé au laboratoire selon la méthode de KNUDSEN (précipitation des chlorures par le nitrate d'argent).

I.5.3. L'oxygène dissous

Au cours des prélèvements, l'écoulement du tuyau de la pompe s'effectue au fond d'un seau plein d'eau. Nous avons tenté de cette façon de réduire au maximum les turbulences pouvant modifier la teneur de l'eau en oxygène dissous*. Les flacons de verre à col rodé (≈ 135 ml) sont rincés deux fois puis remplis délicatement avec l'eau du seau. Le dosage est effectué selon la méthode de WINKLER. Les échantillons sont fixés dès leur prélèvement par l'addition des deux premiers réactifs ($MnSO_4$ et IK-KOH) à l'aide d'une pipette automatique GILSON. Après agitation, les flacons sont maintenus à l'obscurité jusqu'au dosage au laboratoire qui a lieu dans les 2 ou 3 jours suivant la sortie. Après acidification, l'iode libérée est dosé par une solution titrée de thiosulfate de sodium. Les résultats sont exprimés en ml O_2/l .

Cependant la solubilité de l'oxygène dans l'eau est fonction à la fois de la température et de la salinité. Pour pouvoir comparer les échantillons où ces deux paramètres sont différents, nous avons exprimé les résultats en pourcentage de saturation, calculé selon la formule :

$$O_2 \% = \frac{O_2 \text{ ml} \times 100}{S}$$

S étant la valeur de saturation théorique pour la température et la salinité de l'échantillon (Tables de GREEN E.J. et CARRIT D.E., 1967).

* Nous sommes conscients des risques que comporte ce moyen de prélèvement vis-à-vis de la fiabilité des mesures d'oxygène dissous (compression et décompression de l'eau dans la pompe, turbulences...), c'est pourquoi il faut considérer nos résultats comme indicatifs. On peut cependant noter une "certaine cohérence" entre les observations, sauf peut être en été où certaines valeurs apparaissent très élevées.

Deux échantillons sont récoltés pour chaque point de prélèvement ; les résultats exprimés correspondent à leur moyenne. La différence est en général inférieure à 1 % de saturation.

Les dosages de salinité et d'oxygène dissous sont réalisés à l'aide d'une burette automatique "Dosimat E 535" de chez METRHOM HERISAU. Cette burette est associée à un "Titrator E 526" qui, à l'aide d'une électrode plongée dans l'échantillon, conduit le dosage de façon automatique jusqu'au point de fin de réaction. Les estimations subjectives du point de virement des indicateurs colorés sont ainsi supprimées.

I.5.4 Le pH

Les mesures de pH sont effectuées dès le retour au laboratoire à l'aide d'un pH-mètre METRHOM (affichage digital stabilisé à $\pm 0,01$ unité pH).

I.5.5. La transparence des eaux

Nous avons utilisé le disque de Secchi. La précision de lecture pour la profondeur de disparition Z_s diminue avec l'augmentation de Z_s . Au cours de notre étude la précision moyenne peut être estimée à 0,20 m. Nous avons calculé le coefficient d'extinction K_s défini par l'équation : $K_s \times Z_s = 1,7$ (POOLE et ATKINS, 1929 *in* TRAVERS et TRAVERS, 1973). D'autant plus faible que l'eau est plus claire, ce coefficient donne une idée de la pénétration de la lumière dans l'eau.

I.5.6. Les matières en suspension

Les particules présentes dans 1 litre d'eau sont recueillies sur des filtres WATHMAN GF/C en fibre de verre de 4,7 cm de diamètre et 0,45 micron de porosité. Avant filtration, ces filtres sont séchés à l'étuve (110° C) puis prépesés (P_1) sur une balance SARTORIUS (précision de la balance 1/100 mg). Après filtration, les particules sont rincées avec une solution isotonique de formiate d'ammonium afin d'éliminer le sel, puis à nouveau passées à l'étuve jusqu'à obtention d'un poids constant (P_2). On calcule alors le poids sec du seston : $P_3 = P_2 - P_1$.

Il peut être intéressant de connaître la proportion entre les matières organiques et minérales. Pour cela, on procède à la carbonisation du filtre à + 500° C, et une nouvelle pesée du filtre donne la quantité de matière minérale $P_4 - P_1$. La quantité de matière organique est obtenue par la formule : $(P_2 - P_4) = P_5$

Pour éviter au maximum la réhydratation après les passages à l'étuve, le refroidissement et le transport des filtres avant pesée s'effectuent en dessiccateur sous vide. De même, du silicagel est déposé dans la chambre de pesée de la balance.

I.5.7 Les sels nutritifs dissous

De retour au laboratoire, les échantillons sont filtrés sur filtres en acétate de cellulose GELMAN GA6 (porosité : 0,45 μ) et conservés au congélateur dans des flacons de polyéthylène de 60 ml à bouchage double (capsule + bouchon vissé). L'addition de 0,5 ml de chloroforme permet de stabiliser l'échantillon.

Le dosage* des éléments (nitrites, nitrates, phosphates, silicates) a lieu, aussitôt après décongélation, sur AUTOANALYSEUR II TECHNICON à l'aide des circuits analytiques et selon la méthodologie indiquée par TREGUER et LE CORRE dans leur manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (1974).

I.5.8 La chlorophylle a

Les variations quantitatives de phytoplancton sont évaluées par dosage de la chlorophylle a contenue dans l'eau de mer. Les mesures sont faites par spectrophotométrie (spectrophotomètres JOBIN et YVON puis O.S.I.) selon la méthode recommandée par l'U.N.E.S.C.O. (1966). A chaque prélèvement, deux échantillons de 1 l sont recueillis. De retour au laboratoire, l'un est filtré sur filtre en fibre de verre WHATMAN GF/C, l'autre sur filtre en triacétate de cellulose GELMAN GA6. L'addition d'une suspension de carbonate de magnésium retarde la dégradation de la chlorophylle a (10 mg/cm² de filtre). Après la filtration, les filtres sont stockés à sec et à l'obscurité au congélateur. L'extraction de la chlorophylle se

* Je tiens à remercier N. DEWARUMEZ, technicienne C.N.E.X.O., qui a bien voulu effectuer ces dosages.

fait dans l'acétone à 90 % pendant 18 H et à l'obscurité, à la température du laboratoire. Les filtres GELMAN se dissolvent dans l'acétone mais les filtres WHATMAN doivent être découpés pour libérer au maximum les cellules phytoplanctoniques emprisonnées dans les fibres. La dilacération est poursuivie avec un agitateur en verre. L'acétone comprenant en solution les extraits pigmentaires et en suspension les dépôts retenus par le filtre et les débris de filtre est centrifugé pour éliminer ces derniers (centrifugeuse JOUAN - 20 mn à 7 000 tours/mn). Le surnageant est alors passé au spectrophotomètre et on relève les différentes densités optiques obtenues pour les longueurs d'onde : 750, 663, 645, 630 et 430 nm. La mesure à 750 nm correspond à la valeur de turbidité résiduelle et doit être soustraite des autres mesures. La quantité de chlorophylle a est ensuite calculée à partir de la formule de PARSONS et STRICKLAND (1963) :

$$\text{Chl a (mg/m}^3) = \frac{(11,64 e_{663} - 2,16 e_{645} + 0,10 e_{630}) v}{V}$$

avec v = volume de l'extrait et V = volume de l'eau de mer filtrée.

La mesure de D.O. à 430 nm permet d'évaluer la teneur de l'extrait en caroténoïdes.

Le double échantillonnage avait pour but initial l'établissement d'un facteur correctif permettant de comparer les deux types de filtration : en effet les filtres plans en acétate de cellulose retiennent théoriquement mieux les particules que les filtres en fibre de verre et permettent une extraction plus complète des pigments en se dissolvant dans l'acétone (U.N.E.S.C.O., 1966). Les filtres en fibre de verre ont cependant l'avantage pratique d'une filtration plus rapide. De tels essais comparatifs ont été tentés sur le site de Gravelines (BOUGARD, 1977), mais n'ont pas actuellement abouti à une conclusion satisfaisante quant à la détermination d'un coefficient.

Quelle qu'en soit les raisons (méthodologie ?), il s'est avéré qu'à Dunkerque la comparaison entre les données acquises en 1977 pour chaque prélèvement avec les deux types de filtration donne souvent les meilleurs résultats pour la filtration sur filtre en fibre de verre (Fig. 4).

$$\text{chl a (WHATMAN GF/C)} = 0,925 + 1,175 \text{ Chl a (GELMAN GA6)}$$

avec r = 0,947

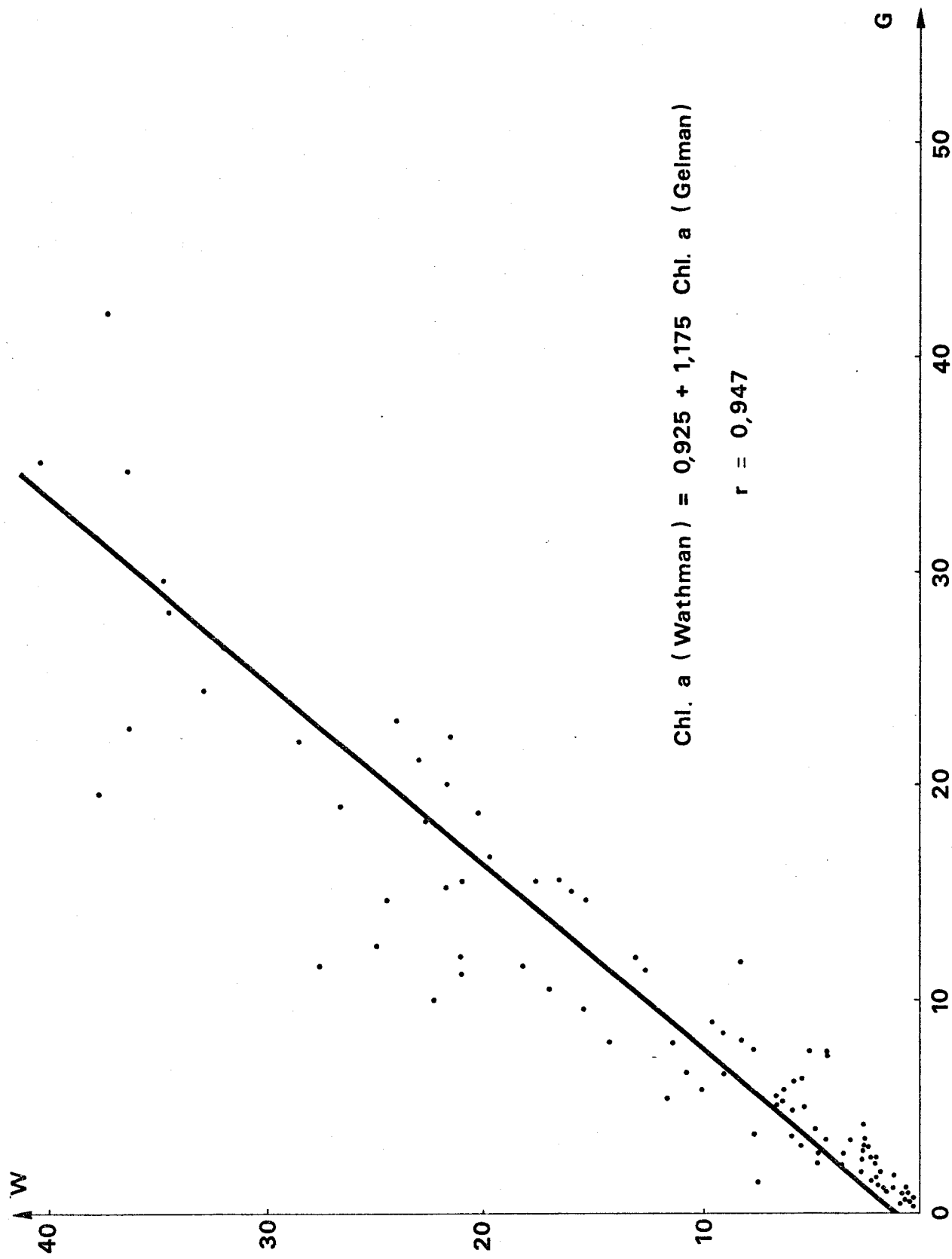


Figure 4 : Comparaison entre les dosages de chlorophylle a après filtration sur filtre WATHMAN G/FC et GELMAN GA-6.

Afin de ne pas surcharger inutilement la discussion, seules les données de filtrations sur filtre en fibre de verre seront rapportées dans la suite de ce travail.

II - RESULTATS ET DISCUSSION

II.1 LA TEMPERATURE (Tableau 1, Fig. 5)

En 1977, la température de l'eau à la station E (moyenne des 3 niveaux) est minimale le 19 janvier avec $8,5^{\circ}\text{C}$, et maximale le 26 août avec $21,9^{\circ}\text{C}$, soit un Δt° annuel de $13,4^{\circ}\text{C}$. En 1978, le minimum est un peu plus tardif avec $8,0^{\circ}\text{C}$ le 17 février, le maximum étant à la fin du mois d'août. (Non mesuré à la station E, il semble, d'après les données E.D.F., comparable à celui de l'année précédente). Les mesures effectuées par la centrale E.D.F. à l'entrée des condenseurs (eau provenant de P_{12-14}) montrent que même en profondeur les variations journalières peuvent être importantes et atteindre 1°C . Le volume relativement faible des bassins du port procure une faible inertie thermique à sa masse d'eau, très sensible aux apports d'eaux chaudes (rejets industriels) ou d'eaux froides (Mer du Nord, Canal).

Ces différents apports, ainsi que l'absence de courants forts, conditionnent dans le bassin d'évitage l'établissement d'un gradient thermique vertical nettement visible (Tableau 1). On peut noter la plus grande instabilité des eaux de surface, par rapport aux niveaux - 5 et - 10 m, en raison de leur contact direct avec les effets contradictoires des effluents chauds de la centrale et du refroidissement atmosphérique, très variable suivant les conditions météorologiques. La différence de température entre les niveaux - 5 et - 10 m (Δt°_{5-10}) varie, pour nos prélèvements, entre - 0,24 et $+2,50^{\circ}\text{C}$ (6 valeurs négatives pour 51 couples) alors que le Δt°_{0-5} varie entre - 19,5 et $+2,87^{\circ}\text{C}$. Le Δt°_{0-10} peut atteindre $3,31^{\circ}\text{C}$. Le Δt° surface-fond peut cependant être supérieur aux valeurs trouvées à la station E; Au milieu du bassin d'évitage, plus près des rejets, il atteignait 6°C entre la surface et - 14 m au début du mois de juillet 1977.

Globalement les variations de la température observées à la prise (station P) sont comparables à celles de la station E (Tableau 1). Lorsque les mesures pour ces deux stations ont pu être faites le même jour, à moins d'une heure d'intervalle, il est possible de les comparer niveau

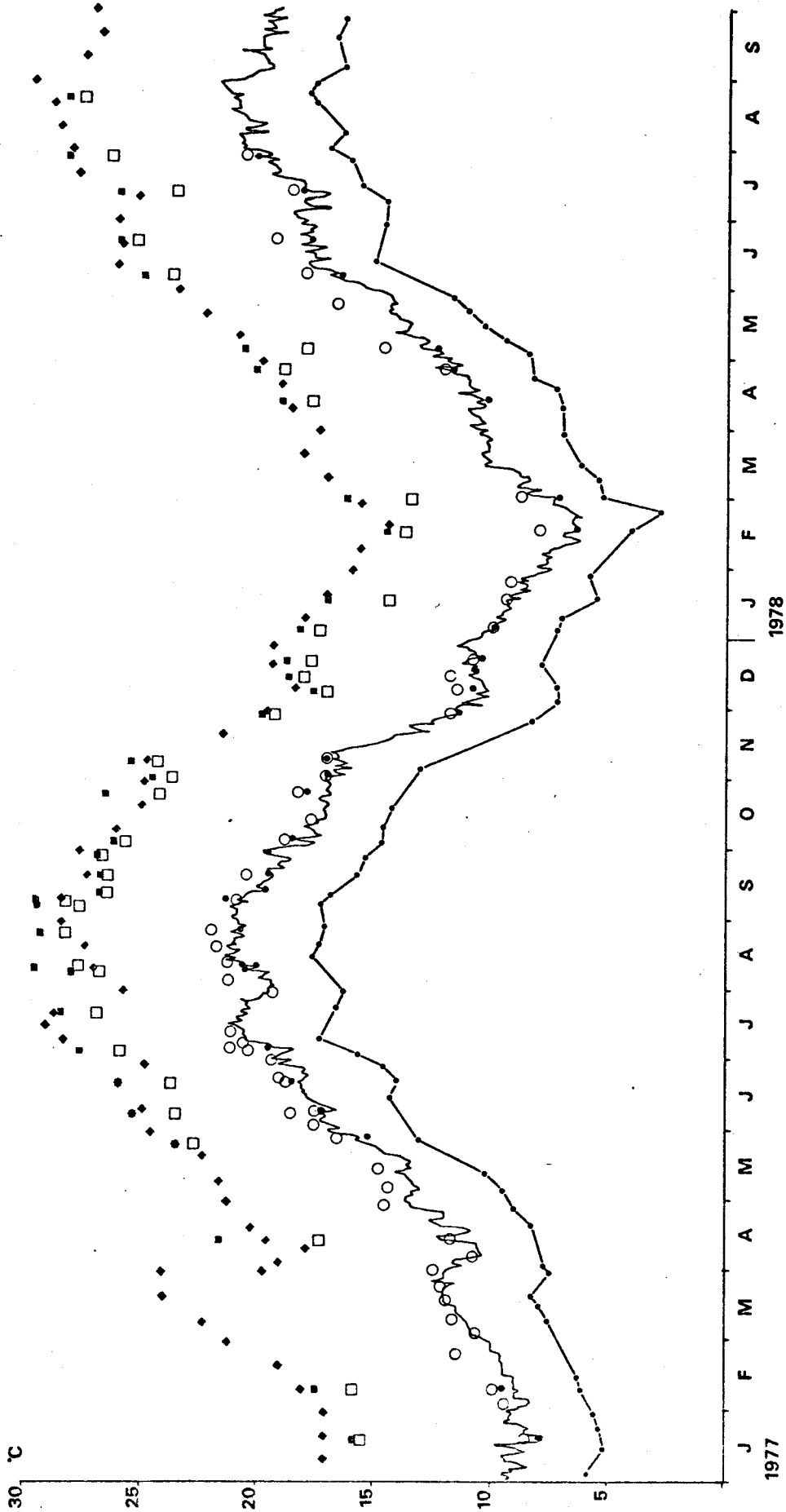


Fig.: 5 Températures relevées dans le port de Dunkerque et en Mer du Nord

- station P₁₂
- station E : moyenne des niveaux 0,5 et 10m.
- moyenne des tranches en circulation } stations R
- valeur de la tranche la plus chaude } à 7h.,heure locale (données EDF.)
- ▲ entrée des condenseurs
- ◆ valeur maximale à la sortie des condenseurs
- ⊗ R.N.O. point d'appui Dunkerque (st. 2)



par niveau. A 5 et 10 m (ou 12 m), environ deux tiers des valeurs sont plus élevées à la prise, alors que ce rapport a tendance à s'inverser pour les mesures de surface. Ces résultats nous rappellent que les eaux froides de la Mer du Nord pénètrent dans le fond des bassins par l'Ecluse Ch. de Gaulle, non loin de la station E, et que les eaux de surface de cette même station subissent encore directement l'influence des rejets E.D.F. Par opposition, la station P est plus éloignée de ces apports d'eaux froides ou chaudes (et d'autre part moins exposée aux tempêtes) et son gradient thermique vertical est plus stable.

La figure 6a montre qu'il peut s'établir en période calme des micro-thermoclines. On peut observer une masse d'eau chaude ($> 15,8^{\circ} \text{C}$) jusqu'à 4,5 m de profondeur (due aux rejets B.P. ?), une masse d'eau de température moyenne ($15,4 - 15,5^{\circ} \text{C}$) jusqu'à 12 m de profondeur, et enfin, les eaux profondes plus froides ($< 15,0^{\circ} \text{C}$), non touchées directement par les rejets qui s'effectuent généralement en surface, mais en contact plus direct avec les entrées d'eaux froides de la Mer du Nord.

Le Δt° entre les eaux de la prise (P_{12}) et les différentes darses de rejet est variable et lié à la puissance de marche de chaque tranche de la centrale. Le Δt° moyen pour l'ensemble des tranches en fonctionnement varie, pour nos relevés, entre $5,2^{\circ}$ et $7,8^{\circ} \text{C}$. C'est ce Δt° qui conditionne l'échauffement global des eaux du bassin d'évitage. Au point de vue biologique, il est cependant tout aussi intéressant de noter les Δt° individuels à chaque tranche, Δt° que subissent réellement les organismes transitant dans les condenseurs. Nos mesures nous donnent des Δt° dépassant couramment $8,0^{\circ} \text{C}$ et pouvant atteindre $9,5^{\circ} \text{C}$. Les données E.D.F. montrent que ce Δt° peut atteindre $10,0^{\circ} \text{C}$ entre l'entrée et la sortie des condenseurs (exceptionnellement $12,0^{\circ} \text{C}$ en mars 1977). Les températures maximales atteintes aux rejets peuvent alors dépasser $28,0^{\circ} \text{C}$ en juillet et août (jusqu'à $30,0^{\circ} \text{C}$) et ne descendent jamais en dessous de $11,0^{\circ} \text{C}$ en hiver.

A la sortie des darses de rejet, les températures élevées s'étendent assez loin en surface avec le courant (§ I.2.) et la dissipation de la chaleur s'effectue de façon assez variable (Fig. 7, a et b). En juillet le Δt° est réduit de moitié dans le proche panache dès le premier mètre de profondeur alors qu'en avril il ne l'est qu'à 4 m de profondeur. Il n'est cependant pas possible de dire avec ces 2 seules campagnes, si cette différence a un caractère saisonnier ou non. (Les deux séries de mesures ont été faites par temps calme).

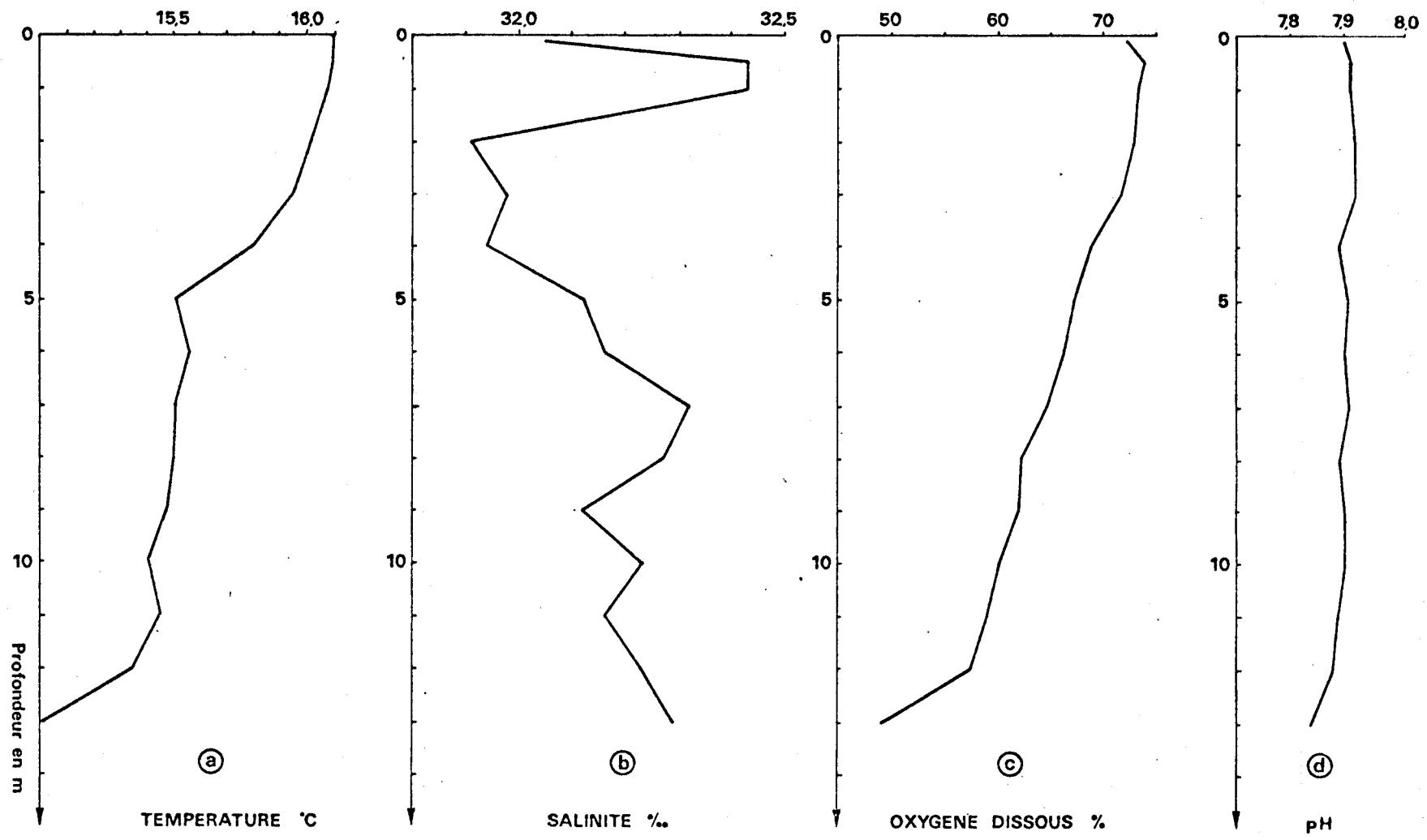


Fig. 6 : Profil vertical de Température (°C), Salinité (‰), Oxygène dissous (% de saturation) et pH à la station P le 25.05.77

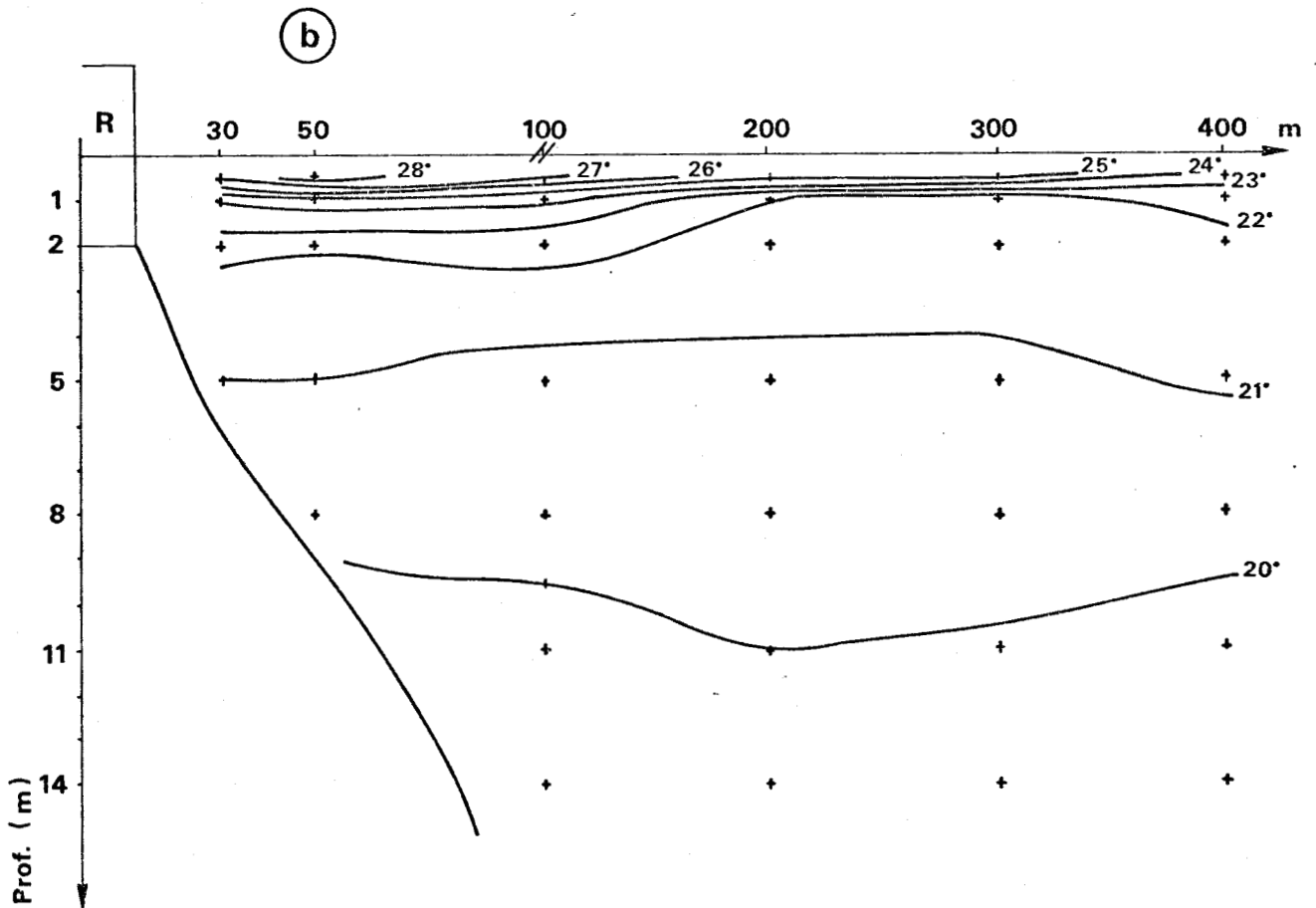
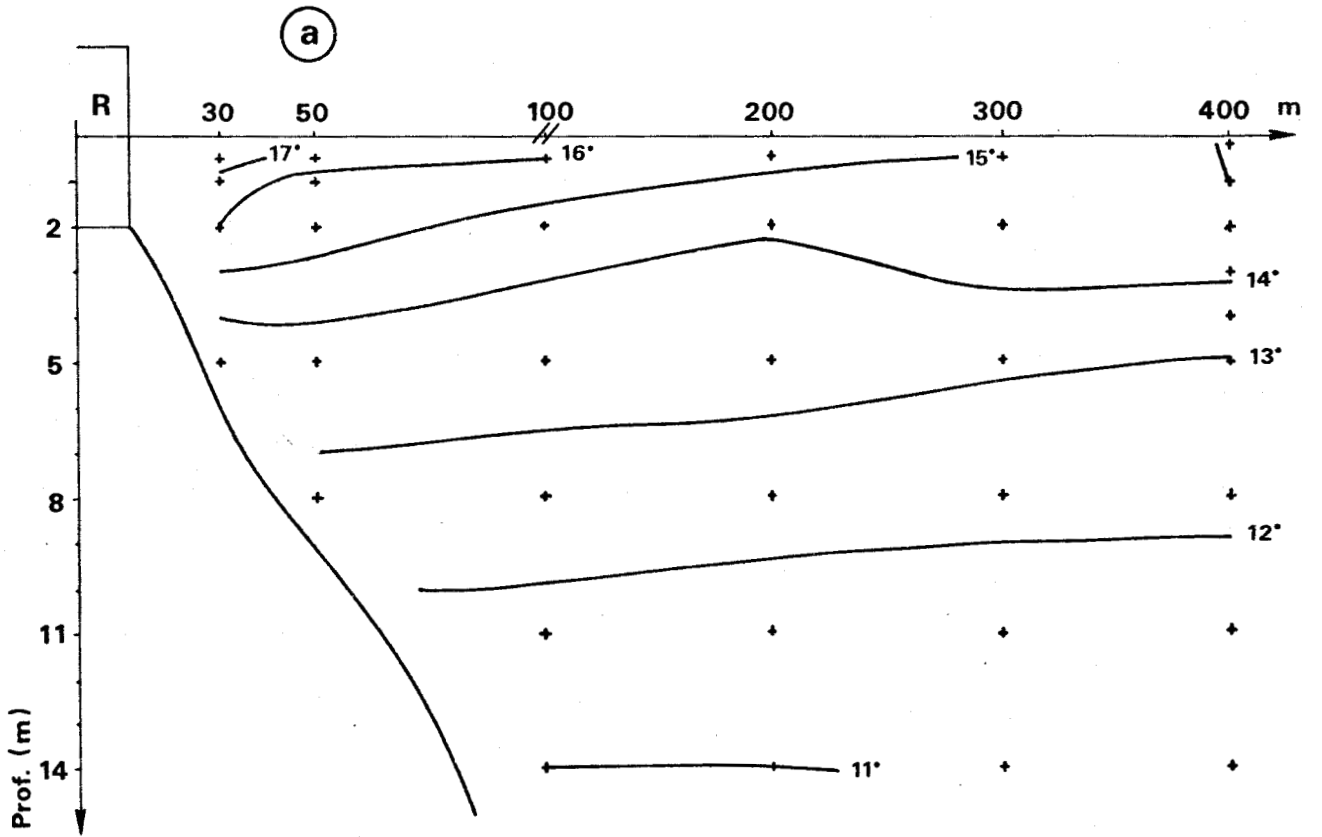
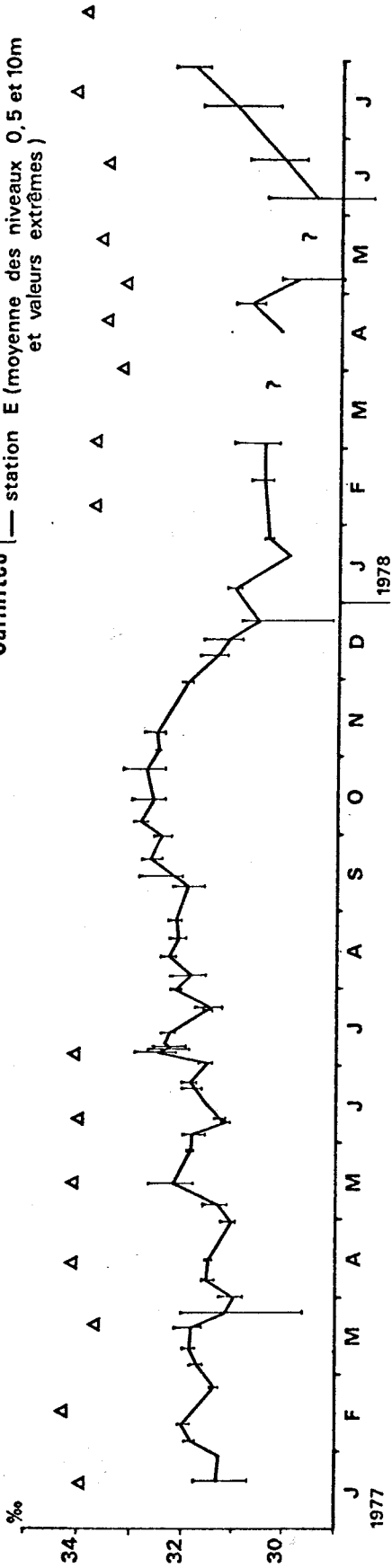


Fig. 7: Températures dans l'axe des rejets le 28 avril 1977 (a)
 et le 07 juillet 1977 (b)

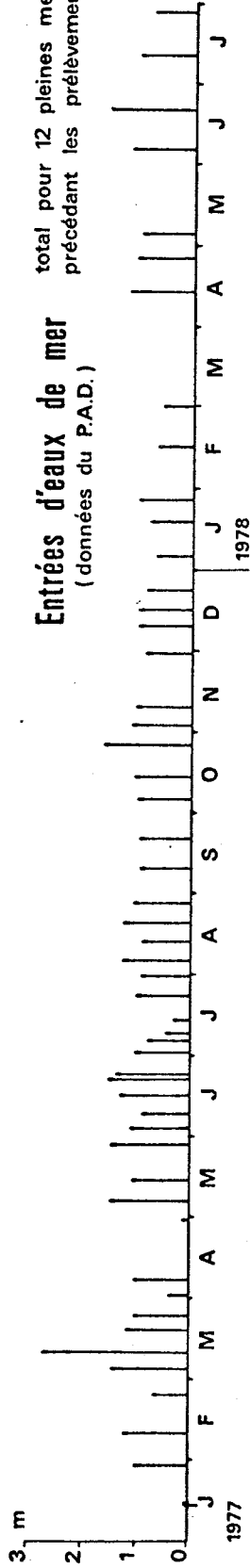


Salinités

△ Mer du nord (site de Gravelines, données C.NEXO.)
 — station E (moyenne des niveaux 0,5 et 10m
 et valeurs extrêmes)



Entrées d'eaux de mer
 (données du P.A.D.)
 total pour 12 pleines mers
 précédant les prélèvements



Précipitations à Dunkerque

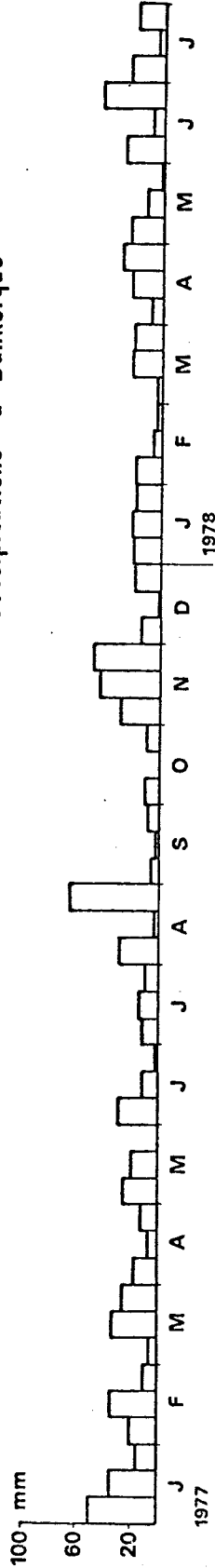


Fig. 8 : Influence des entrées d'eau de mer par les écluses et des précipitations sur la salinité



La comparaison avec les données recueillies au large de Gravelines (BOUGARD, 1977) ou au large de Dunkerque (R.N.O.) montrent que les températures moyennes à la station E subissent un échauffement permanent de 3 à 4° C par rapport à la Mer du Nord proche (Fig. 5). Contrairement aux eaux du bassin, les eaux extérieures sont caractérisées par une bonne homogénéisation verticale puisque le Δt°_{0-15} atteint rarement 1,0° C et est souvent inférieur à 0,5° C. Alors qu'en Mer du Nord ce gradient s'inverse en automne et hiver, surtout à la côte, dans le bassin d'évitage les eaux chaudes restent toujours en surface quelle que soit la saison, traduisant ainsi son caractère artificiel.

II.2 LA SALINITE (Tableau 2 - Figure 8)

En 1977, la salinité moyenne à la station E (3 niveaux) varie entre 31,0 et 32,5 ‰ de janvier à juillet. L'amplitude de ces variations est comprise entre 0,5 et 1 ‰ et leur période est régulière et d'environ 1 mois. De août à novembre, la salinité est supérieure à 32 ‰ sans atteindre 33 ‰ et les oscillations sont atténuées. Le taux de chlorures diminue ensuite fortement pour atteindre des valeurs comprises entre 30 et 31 ‰ de décembre à avril 1978 et descendre jusqu'à 29,5 ‰ au début du mois de juin. Les valeurs s'approchent à nouveau de 32 ‰ à la fin du mois de juillet 1978.

La salinité dans le port de Dunkerque est soumise à l'influence contradictoire des eaux de la Mer du Nord plus salées et des apports d'eaux douces par les précipitations et le canal de Bourbourg (Fig. 8). Les entrées d'eau de la Mer du Nord sont nettement marquées avant juillet 1977, lorsque seule l'ouverture des vannes à marée haute permettait le remplissage des bassins à flot (§ I.1). La périodicité des variations de la salinité correspond alors à la périodicité des marées de vives eaux. (Fig. 2). A l'opposé, on peut noter l'influence des fortes précipitations sur la diminution de la salinité (Fig. 8). Leur influence est cependant imparfaitement représentée par les relevés effectués à Dunkerque, car les apports du canal à grand gabarit sont conditionnés par la pluviosité de toute la région qu'il traverse. De même, la forte dessalure de l'hiver et du printemps 1978 est un phénomène régional qui se retrouve dans les eaux de la Mer du Nord dont la salinité est voisine de 33,5 ‰ contre des valeurs supérieures ou égales à 34 ‰ en 1977. Le port en ressent plus les effets en tant que récepteur direct des eaux continentales.

TABLEAU 1 : TEMPERATURE (°C)

	Station E				Station P				Stations R				
	0 m	5 m	10 m	Moy.	0 m	5 m	12 m	Moy.	R1	R2	R3	R4	Moy.
19.01.77	8,45	9,20	7,95	8,53	10,00	9,10	7,90	9,00	14,80	15,50	15,70	15,80	15,45
28.01	10,30	-	-	10,90									
04.02	10,45	-	8,30	9,38									
10.02	10,30	9,95	9,50	9,92	10,10	10,05	9,50	9,88	11,30	17,20	17,40	17,20	15,78
25.02	11,00	11,85	-	11,43									
04.03	11,02	10,35	10,50	10,62									
10.03	13,45	10,58	10,92	11,62									
18.03	13,51	11,37	10,83	11,90									
24.03	11,23	13,18	12,12	12,18									
01.04	13,11	11,98	12,12	12,40									
07.04	10,75	10,70	10,60	10,68									
14.04	12,20	11,90	11,20	11,77					13,02	15,00	21,50	19,30	17,21
29.04	16,20	13,62	13,82	14,55									
06.05	16,21	13,88	12,90	14,33									
14.05	15,40	14,80	13,92	14,74									
25.05					16,10	15,52	15,00	15,54	23,10	22,10	23,40	22,00	22,65
27.05	17,40	16,32	15,89	16,54									
03.06	17,92	17,50	17,15	17,52									
08.06	20,40	18,00	17,00	18,47	18,70	18,55	17,20	18,15	24,40	24,60	25,15	18,45	23,40
09.06	18,47	17,25	16,50	17,41									
15.06	20,35	-	-	20,35									
21.06	19,30	18,55	18,20	18,68	19,95	18,70	18,45	19,03	23,10	21,87	25,92	23,55	23,61
23.06	20,43	18,74	17,86	19,01									
01.07	19,52	19,48	19,09	19,36									
05.07	21,70	19,90	19,40	20,33	21,80	19,80	19,50	20,13	26,00	24,50	25,00	27,7	25,80
06.07	22,60	20,90	19,90	21,13					-	-	28,10	-	28,10
06.07	22,00	21,20	20,30	21,17					-	-	27,90	-	27,90
07.07	21,50	20,70	20,30	20,83					-	-	28,20	-	28,21
07.07	22,40	21,00	20,50	21,30					-	-	28,60	-	28,61
08.07	21,00	20,60	19,90	20,50					-	-	28,50	-	28,51
13.07	21,81	21,08	20,49	21,13									
21.07					22,00	21,69	20,50	21,40	22,89	27,82	28,40	28,40	26,88
22.07	23,08	-	-	23,08									
29.07	19,55	19,50	18,85	19,30									
05.08	22,45	20,95	20,18	21,19									
09.08					21,80	21,40	20,42	21,21	27,92	26,20	26,58	26,08	26,70
10.08					21,81	20,90	19,99	20,90	27,70	25,10	29,53	27,10	27,36
11.08					23,15	21,21	20,59	21,65	28,65	28,10	29,60	24,00	27,59
12.08	22,09	21,21	20,40	21,23									
19.08	22,32	22,00	20,90	21,74									
26.08	23,79	21,09	20,80	21,89	21,48	20,89	20,60	20,99	28,80	28,40	26,15	29,30	28,16
07.09	23,50	-	-	23,50	22,50	-	-	22,50	27,70	26,70	26,40	29,40	27,55
09.09	21,75	20,19	20,42	20,79	21,62	21,55	21,30	21,49	27,70	27,10	29,41	28,42	28,16
13.09					20,12	19,90	19,60	19,87	26,20	26,20	26,69	26,40	26,37
20.09	22,20	19,70	19,20	20,37	20,80	19,80	19,50	20,03	26,50	26,00	26,30	26,60	26,35
29.09					20,60	20,10	19,50	20,07	26,50	26,80	27,90	27,90	27,27
05.10	20,40	18,50	17,70	18,87	18,90	18,85	18,50	18,75	26,00	25,10	25,20	26,15	25,61
13.10	18,30	17,40	17,15	17,62									
25.10	19,92	17,92	16,80	18,21	19,55	18,69	17,80	18,68	20,60	24,65	24,80	26,50	24,14
02.11	17,20	-	16,70	16,95	17,46	17,19	16,90	17,18	23,85	21,65	24,50	24,35	23,59
09.11	17,90	17,20	15,95	17,02	17,40	17,30	16,98	17,23	24,20	23,15	24,10	25,40	24,21
29.11	13,20	11,07	11,13	11,80	12,08	11,30	11,40	11,59	19,50	18,40	19,10	19,70	19,18
09.12	12,70	11,45	10,40	11,55	13,00	11,88	10,88	11,92	17,50	16,40	16,40	17,35	16,91
15.12	13,07	11,95	10,40	11,81	12,65	11,90	10,72	11,76	17,88	17,00	18,50	18,35	17,93
22.12	9,90	11,50	11,10	10,83	9,70	12,20	11,40	11,10	17,90	17,65	16,45	18,65	17,66
05.01.78	10,63	10,10	9,20	9,98	10,40	10,10	9,91	10,14	16,70	16,10	17,90	18,12	17,21
18.01	9,40	-	-	9,40					16,95	15,50	15,75	8,80	14,25
25.01	9,60	9,30	8,80	9,23									
17.02	9,30	7,80	6,88	7,99	8,10	8,10	6,40	7,53	14,40	11,50	14,35	14,30	13,64
01.03	9,15	9,20	8,00	8,78	9,20	9,00	7,25	8,48	9,70	12,70	14,85	16,15	13,35
13.04	14,45	-	-	14,45	10,88	-	10,20	10,54	16,95	16,00	18,30	18,95	17,55
26.04	13,09	12,10	10,75	11,98	13,50	13,35	11,70	12,85	18,80	16,50	20,00	19,90	18,80
05.05	15,55	15,40	12,90	14,61	15,75	14,85	12,30	14,30	19,95	17,45	20,55	13,05	17,75
23.05	14,80	-	-	14,80									
06.06	19,00	18,21	16,53	17,91	18,98	18,18	16,45	17,87	21,08	22,18	24,80	H.S.	22,69
21.06	19,80	19,55	18,40	19,25	19,75	19,70	17,75	19,07	25,80	24,45	25,30	H.S.	25,18
12.07	18,60	18,88	18,15	18,54	19,63	18,58	18,13	18,78	24,80	21,70	25,80	21,70	23,50
27.07	21,90	20,05	19,59	20,55	21,33	20,38	19,98	20,56	28,10	24,90	24,60	27,40	26,25

TABLEAU 2 : SALINITE (‰)

Dates	Station E				Station P				Stations R				
	0 m	5 m	10 m	Moy.	0 m	5 m	12 m	Moy.	R1	R2	R3	R4	Moy.
19.01.77	30,66	31,62	31,74	31,34	31,20	31,53	31,56	31,43	31,76	31,60	31,60	31,64	31,65
28.01	31,27	-	-	31,27									
04.02	31,82	-	31,78	31,80									
10.02	31,89	32,00	32,01	31,97	30,53	31,73	32,05	31,41	32,27	31,71	32,10	31,64	31,93
25.02	31,39	31,33	-	31,36									
04.03	31,67	31,64	31,82	31,71									
10.03	31,87	31,76	31,94	31,86									
18.03	31,63	31,71	32,11	31,82									
24.03	29,62	31,74	32,00	31,12									
01.04	30,75	30,90	31,26	30,97									
07.04	31,38	31,56	31,60	31,51									
14.04	31,46	31,47	31,49	31,47	-	-	31,65	31,65	31,56	31,06	31,53	31,64	31,45
29.04	30,93	31,07	31,19	31,06									
06.05	31,18	31,09	31,58	31,28									
14.05	31,78	32,09	32,09	32,16									
25.05					32,43	32,12	32,29	32,27	32,16	32,16	32,16	32,74	32,31
27.05	31,87	31,87	31,85	31,86									
03.06	31,64	31,76	31,96	31,79									
08.06	31,09	31,13	31,04	31,09	31,38	31,13	31,35	31,29	31,09	31,38	31,20	31,00	31,17
09.06	31,11	31,17	31,35	31,21									
15.06	31,04	-	31,96	31,50									
21.06	31,60	31,64	32,01	31,75	31,71	31,71	31,91	31,78	31,94	31,94	31,85	31,87	31,90
23.06	31,72	31,85	31,98	31,85									
01.07	31,42	31,42	31,63	31,49									
05.07	32,29	32,94	32,15	32,46	31,66	31,87	31,97	31,84	-	-	32,08	-	32,08
06.07	32,15	32,94	31,87	32,32					-	-	32,01	-	32,01
06.07	31,91	31,87	32,35	32,04					-	-	31,66	-	31,66
07.07	31,91	32,08	32,70	32,23					-	-	31,94	-	31,94
07.07	32,22	32,56	32,84	32,54					-	-	32,39	-	32,39
08.07	32,22	32,25	32,49	32,32					-	-	32,22	-	32,22
13.07	32,16	32,20	32,39	32,25									
21.07					31,43	31,46	31,53	31,47	31,74	31,70	31,60	31,67	31,68
22.07	31,48	31,24	31,70	31,47									
29.07	32,08	32,15	32,22	32,14									
05.08	31,56	31,52	32,40	31,82									
09.08					31,68	31,35	32,54	31,99	32,37	32,47	32,40	32,40	32,41
10.08					31,88	31,88	32,43	32,07	32,30	32,54	32,43	32,12	32,35
11.08					32,16	32,16	32,47	32,26	32,47	32,61	32,57	32,54	32,55
12.08	32,12	32,33	32,40	32,29									
19.08	32,08	31,95	32,26	32,10									
26.08	32,02	32,14	32,23	32,13	31,95	32,02	32,43	32,14					
07.09	31,95	-	-	31,95									
09.09	31,58	31,93	32,15	31,89	31,69	31,84	31,89	31,81	32,43	32,33	32,26	32,24	32,31
13.09					32,09	32,40	32,88	32,46	32,71	32,54	32,64	32,50	32,60
20.09	32,70	32,43	32,77	32,64	32,43	32,60	32,53	32,52	32,72	32,65	32,77	32,60	32,69
29.09					32,22	32,45	32,58	32,42	32,43	32,39	32,41	32,24	32,37
05.10	32,72	32,95	32,81	32,82	32,72	32,95	32,81	32,82	32,79	32,81	32,96	-	32,85
13.10	32,38	32,43	32,98	32,60									
25.10	32,38	32,67	33,19	32,74	32,29	33,34	33,34	32,99	32,52	32,93	32,93	33,00	32,84
02.11	32,50	-	32,46	32,48	32,43	32,91	32,98	32,77	32,98	32,64	32,43	32,64	32,67
09.11	32,38	32,55	32,76	32,56	32,31	32,48	32,68	32,49	32,82	33,46	32,65	32,89	32,95
29.11	31,84	32,00	32,07	31,97	31,60	31,63	31,84	31,69	32,04	31,70	31,87	31,94	31,69
09.12	31,13	31,27	31,67	31,36	31,40	31,27	31,47	31,38	31,88	31,81	31,88	31,67	31,81
15.12	30,85	30,92	31,60	31,12	30,85	30,85	31,70	32,13	31,43	31,60	31,50	31,39	31,48
22.12	29,10	30,56	31,88	30,51	29,17	31,06	31,47	30,57	31,44	31,61	31,30	31,27	31,40
05.01.78	30,93	30,93	31,17	31,01	30,89	31,03	31,13	31,02	31,31	31,10	31,20	31,20	31,20
18.01	29,92	-	-	29,92					31,09	30,82	31,09	31,06	31,01
25.01	30,31	30,36	30,38	30,35									
17.02	30,43	30,29	30,70	30,47	30,36	30,35	30,33	30,35					
01.03	30,12	30,19	31,00	30,44	30,23	30,37	31,49	30,69	30,30	31,35	31,14	30,96	30,94
13.04	30,14	-	-	30,14	29,14	-	30,96	30,05	30,27	30,45	30,55	30,62	30,47
26.04	30,49	30,66	31,00	30,71	30,24	30,52	30,55	30,44	30,66	30,62	30,59	30,55	30,61
05.05	28,95	29,74	30,71	29,80	29,43	29,61	30,71	29,93	30,26	30,40	30,36	30,40	30,35
23.05	26,73	-	-	26,73									
06.06	28,35	29,63	30,39	29,46	28,32	29,60	31,20	29,77	30,53	30,77	30,60	H.S.	30,63
21.06	29,67	29,74	30,77	30,06	29,42	29,87	30,95	30,68	30,95	30,88	31,05	H.S.	30,96
12.07	30,18	31,15	31,70	31,01	31,29	31,15	31,26	31,23	31,43	31,26	31,36	31,33	31,34
27.07	31,79	31,59	32,24	31,87	31,52	31,52	32,28	31,77	32,00	32,00	31,86	32,21	32,02

RUS
115

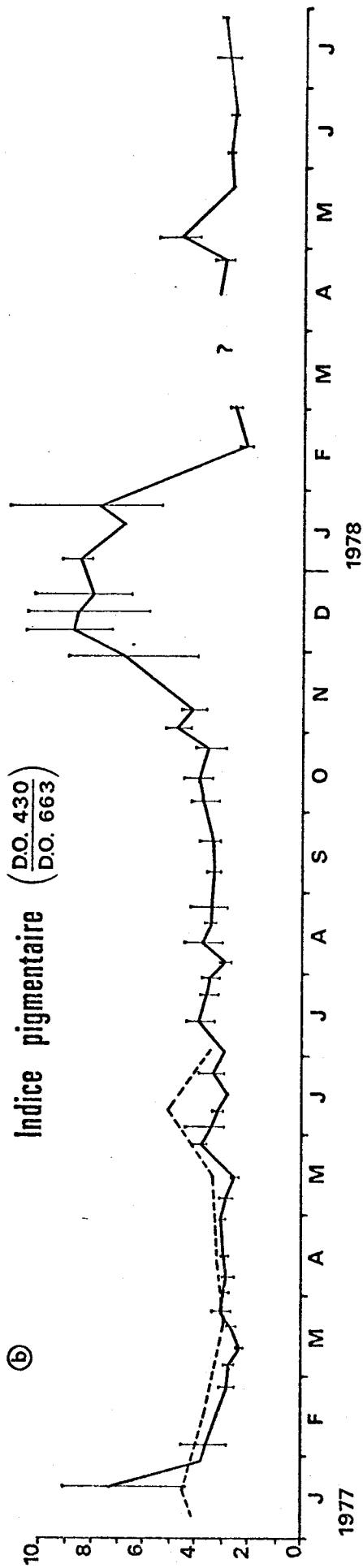
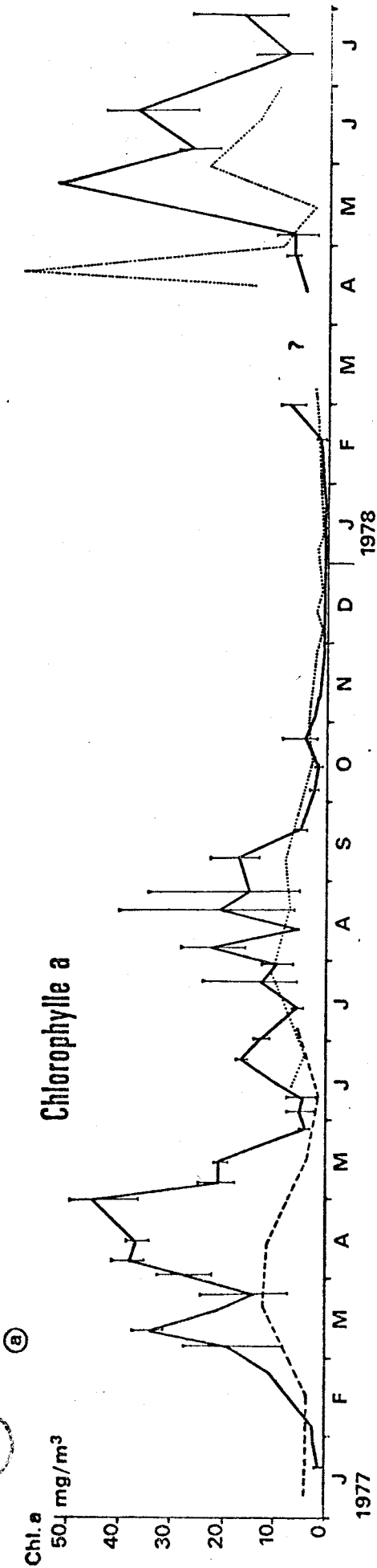


Fig. 9 : Variations de la Chlorophylle a ② et de l'indice pigmentaire ② à la station E (—)
et en Mer du Nord (Gravelines ----, R.N.O.)

Le gradient vertical est en général bien établi, les eaux les plus froides et les plus salées restant en profondeur (Tableau 2). Il peut être perturbé en surface à la station E par les rejets E.D.F. L'hétérogénéité des eaux est encore mieux marquée par la salinité que par la température, comme l'indique la figure 6b. La salinité élevée relevée dans le premier mètre (32,43 ‰) correspond aux eaux de rinçage des grilles rotatives de la station de pompage E.D.F., dont le rejet s'effectue à 30 m de la station P. Entre 1,5 et 4,5 m de profondeur nous retrouvons une masse d'eau dessalée (31,9 à 32 ‰) correspondant à une masse d'eau chaude (rejets B.P. ?). A partir de 5 m de profondeur la salinité est très irrégulière mais plus forte (32,1 à 32,3 ‰). En dessous de 13 m, la salinité va s'élever encore pour atteindre au moins les 34,3 ‰ relevés en surface, traduisant, tout comme la température, l'individualisation d'une masse d'eau profonde.

II.3 CHLOROPHYLLE a ET INDICE DE DIVERSITE PIGMENTAIRE (Tableau 3

Figure 9, a et b)

Les dosages de chlorophylle a à la station E montrent, après une période relativement pauvre en hiver, une succession de pics importants correspondant à des "bloom" phytoplanctoniques (mars-avril) au cours desquels les quantités de pigments atteignent et dépassent 30 mg/m^3 . Après les faibles valeurs au début du mois de juin ($< 5 \text{ mg/m}^3$), le taux de chlorophylle a se maintient à un niveau assez élevé jusqu'en septembre ($10 \text{ à } 20 \text{ mg/m}^3$). D'octobre 1977 à février 1978, c'est la période pauvre avec des valeurs souvent inférieures à 1 mg/m^3 . Il est probable que le manque de mesures en mars ne nous a pas permis d'observer le premier pic du printemps 1978. Après un minimum en avril, de fortes valeurs sont de nouveau relevées en mai et juin ($> 30 \text{ mg/m}^3$).

La répartition verticale du phytoplancton est assez homogène à la station E (BOUGARD - comm. pers.), mais on peut observer que le niveau de surface se démarque parfois des deux autres par des valeurs de chlorophylle a nettement plus fortes.

Les valeurs relevées dans le port sont nettement plus importantes au printemps et en été qu'en Mer du Nord où, même pendant les périodes d'abondance du phytoplancton, elles n'atteignent que rarement 15 mg/m^3 (Fig. 9a). Par contre les valeurs sont plus fortes au large de Dunkerque que dans les bassins pendant l'automne et l'hiver, et ce malgré des quantités de sels nutritifs et des températures plus faibles.

TABLEAU 3 : CHLOROPHYLLE a (mg/m³) ET INDICE PIGMENTAIRE

Date	CHLOROPHYLLE				INDICE PIGMENTAIRE			
	0 m	5 m	10 m	Moy.	$\frac{D.O. 430}{D.O. 663}$			
					0 m	5 m	10 m	Moy.
19.01.77	1,68	0,63	1,17	1,16	4,03	8,84	9,04	7,30
28.01	2,24	-	-	(2,24)	3,84	-	-	(3,84)
04.02	2,59	-	1,92	2,25	4,54	-	2,80	(3,67)
25.02	10,76	11,64	-	11,20	3,08	2,52	-	(2,80)
04.03	21,16	27,65	8,35	19,05	2,62	2,87	2,56	2,69
10.03	31,97	37,70	33,85	34,54	2,42	2,44	2,43	2,43
18.03	21,08	21,70	20,93	21,23	2,60	2,72	2,57	2,63
24.03	24,49	9,08	7,68	13,75	2,66	3,35	3,23	3,08
01.04	26,67	32,88	22,28	27,28	2,91	2,84	2,93	2,89
07.04	36,49	41,38	35,55	37,80	2,82	2,90	2,52	2,75
14.04	34,58	37,40	38,58	36,85	2,94	3,00	2,87	2,93
29.04	36,37	48,74	49,25	44,79	3,08	2,98	3,05	3,03
06.05	24,93	20,29	18,20	21,14	2,60	2,74	3,08	2,80
14.05	21,51	21,77	19,76	21,01	2,54	2,53	2,60	2,55
27.05	4,28	4,52	3,70	4,17	3,72	3,72	4,16	3,86
03.06	7,58	5,89	2,59	5,37	2,95	3,19	4,21	3,45
09.06	3,45	7,42	2,01	4,29	3,24	3,00	3,39	3,21
15.06	10,03	-	-	(10,03)	2,79	-	-	(2,79)
23.06	17,66	17,05	15,38	16,69	3,18	2,92	3,84	3,31
01.07	11,35	12,04	14,17	12,52	2,91	2,91	2,87	2,89
13.07	6,53	4,62	4,75	5,30	3,35	4,05	4,29	3,89
22.07	24,11	8,19	5,80	12,70	3,16	3,80	3,87	3,59
29.07	12,69	9,61	6,42	9,58	3,78	3,18	3,45	3,47
05.08	28,56	22,93	15,93	22,47	3,09	2,68	2,87	2,88
12.08	5,84	5,41	4,87	5,37	3,74	3,09	4,54	3,79
19.08	40,54	16,57	6,46	21,19	3,36	3,27	3,70	3,44
26.08	34,78	5,29	5,40	15,15	3,04	2,86	4,22	3,37
09.09	22,71	15,28	13,09	17,03	3,10	3,57	3,15	3,27
20.09	4,91	6,17	4,25	5,11	3,20	3,13	3,92	3,42
05.10	3,17	2,63	2,52	2,77	3,16	3,96	4,26	3,79
13.10	2,35	1,20	1,48	1,67	3,44	3,95	4,55	3,98
25.10	8,91	2,09	2,05	4,35	2,92	3,81	4,05	3,60
02.11	2,49	-	2,15	(2,32)	4,29	-	5,25	(4,77)
09.11	2,06	2,02	1,80	1,96	3,70	4,55	4,15	4,14
29.11	0,44	0,51	0,53	0,49	8,89	4,00	7,40	6,76
09.12	0,70	0,66	0,62	0,66	7,38	8,42	10,58	8,79
15.12	0,80	0,48	0,72	0,67	5,93	9,55	10,50	8,66
22.12	0,50	0,38	0,60	0,49	7,22	10,28	6,54	8,02
05.01.78	0,47	0,52	0,48	0,49	8,11	9,20	8,11	8,47
18.01	0,40	-	-	(0,40)	6,86	-	-	(6,86)
25.01	0,51	0,75	0,30	0,53	5,44	6,93	11,20	7,86
17.02	1,58	1,69	0,90	1,39	2,31	2,03	2,23	2,19
01.03	9,09	8,98	4,96	7,64	2,64	2,43	2,71	2,59
13.04	4,62	-	-	4,62	3,23	-	-	3,23
26.04	6,90	7,64	6,29	6,94	2,69	2,98	3,42	3,03
05.05	10,05	7,04	2,54	6,54	4,05	4,63	5,55	4,75
23.05	52,41	-	-	(52,41)	2,75	-	-	(2,75)
06.06	28,77	29,31	21,41	26,50	2,87	2,74	2,90	2,84
21.06	43,23	42,07	25,96	37,09	2,62	2,69	2,57	2,62
12.07	14,14	5,92	3,83	7,96	2,58	2,94	3,31	2,95
27.07	26,45	14,67	8,26	16,46	3,17	3,03	3,18	3,13

Date	Station E				Station P				Stations R				
	0 m	5 m	10 m	Moy.	0 m	5 m	12 m	Moy.	R1	R2	R3	R4	Moy.
19.01.77	8,18	8,18	8,22	8,19	8,13	8,20	8,20	8,19	8,15	8,09	8,10	8,15	8,12
28.01	7,90	-	-	(7,90)									
04.02	7,82	-	7,88	(7,85)									
10.02	7,89	7,90	7,90	7,89	7,88	7,87	7,82	7,86	7,83	7,80	7,83	7,79	7,81
25.02	8,04	7,99	-	(8,01)									
04.03	8,06	8,07	8,04	8,05									
10.03	8,21	8,12	8,10	8,14									
18.03	8,31	8,28	8,23	8,27									
24.03	8,28	8,08	8,08	8,14									
01.04	8,09	8,12	8,04	8,08									
07.04	8,25	8,23	8,21	8,23									
14.04	8,36	8,38	8,40	8,38	-	-	8,32	(8,32)	8,31	8,30	8,30	8,29	8,30
29.04	8,24	8,21	8,22	8,22									
06.05	8,09	8,04	8,10	8,07									
14.05	8,38	8,39	8,40	8,39									
25.05					7,90	7,91	7,84	7,88	7,88	7,85	7,82	7,89	7,86
27.05	7,96	7,89	7,90	7,91									
03.06	7,80	7,87	7,89	7,85									
08.06	7,63	7,61	7,67	7,63	7,63	7,65	7,64	7,64	7,63	7,62	7,60	7,57	7,60
09.06	7,66	7,73	7,71	7,70									
15.06	7,80	-	7,82	(7,81)									
21.06	7,92	7,90	7,84	7,88	7,93	7,89	-	(7,90)	7,62	7,17	7,38	7,64	7,45
24.06	8,04	7,85	7,84	7,91									
01.07	8,10	8,10	8,09	8,09									
05.07	8,16	7,98	7,90	8,01	7,99	8,00	8,00	8,00	-	-	7,82	-	7,82
06.07	7,90	7,70	7,65	7,75					-	-	7,70	-	(7,70)
07.07	7,90	7,85	7,85	7,86					-	-	7,75	-	(7,55)
08.07	7,85	7,70	7,80	7,78					-	-	7,80	-	(7,80)
13.07	7,73	7,76	7,84	7,77									
21.07					8,09	8,13	7,99	8,07	8,13	7,93	7,87	7,87	7,95
22.07	7,99	7,96	7,99	7,98									
29.07	7,95	7,96	7,90	7,93									
05.08	8,21	8,25	8,00	8,15									
09.08					8,07	8,02	8,05	8,04	8,00	8,01	8,01	7,98	8,00
10.08					8,00	7,99	7,95	7,98	7,92	7,93	7,90	7,88	7,90
11.08					7,95	7,94	7,96	7,95	7,97	7,96	7,95	7,94	7,95
12.08	7,93	7,98	8,01	7,97									
19.08	8,06	8,08	8,08	8,07									
26.08	8,05	7,88	7,86	7,93	8,15	7,94	7,88	7,99					
09.09	7,91	7,88	7,88	7,89	7,90	7,91	7,90	7,90	7,85	7,30	7,78	7,81	7,68
13.09					7,78	7,81	7,82	7,80	7,77	7,31	7,59	7,75	7,60
20.09	7,79	7,80	7,77	7,78	7,81	7,82	7,81	7,81	7,76	7,78	7,77	7,76	7,77
29.09					8,07	8,02	8,03	8,04	7,95	7,73	7,96	7,96	7,90
05.10	7,81	7,80	7,82	7,81	7,76	7,77	7,79	7,77	7,75	7,77	7,78	7,67	7,74
13.10	7,77	7,76	7,79	7,77									
25.10	7,73	7,74	7,79	7,75	7,73	7,73	7,76	7,74	7,63	7,48	7,51	7,71	7,58
02.11	7,68	-	7,70	(7,69)	7,63	7,65	7,67	7,65	7,68	7,30	7,58	7,63	7,54
09.11	7,68	7,71	7,73	7,70	7,65	7,66	7,66	7,66	7,50	7,81	7,62	7,62	7,58
29.11	7,91	7,91	7,92	7,91	7,85	7,88	7,87	7,86	7,84	7,16	7,81	7,82	7,66
09.12	7,76	7,76	7,77	7,76	7,77	7,77	7,75	7,76	7,76	7,30	7,74	7,73	7,63
15.12	7,79	7,78	3,84	7,80	7,77	7,77	7,82	7,78	7,78	7,78	7,78	7,76	7,77
22.12	7,78	7,76	7,80	7,78	7,76	7,73	7,74	7,74	7,73	7,73	7,71	7,70	7,71
05.01.78	7,76	7,79	7,87	7,80	7,76	7,77	7,82	7,78	7,64	7,81	7,81	7,82	7,77
18.01	7,79	-	-	(7,79)									
25.01	7,77	7,76	7,76	7,76									
17.02	7,73	7,72	7,75	7,73	7,73	7,74	7,73	7,73					
01.03	7,82	7,83	7,86	7,83	7,84	7,85	7,89	7,86	7,85	7,85	7,86	7,84	7,85
13.04	7,99	-	-	(7,99)	8,02	-	8,05	(8,03)	7,99	8,00	8,00	8,00	8,00
26.04	8,03	8,06	8,11	8,06	8,05	8,06	8,05	8,05	8,05	7,11	7,87	8,02	7,76
05.05	8,14	8,06	8,06	8,09	8,09	8,05	8,07	8,07	8,05	8,05	8,04	8,03	8,04
23.05	8,30	-	-	(8,30)									
06.06	8,45	8,25	8,16	8,29	8,48	8,27	8,27	8,34	8,20	8,20	8,10	-	8,20
11.06	8,52	8,46	8,22	8,40	8,47	8,42	8,16	8,35	8,17	7,77	8,15	-	8,03
12.07	8,08	7,83	7,88	7,93	7,80	7,80	7,83	7,81	7,81	7,83	7,81	7,83	7,82
27.07	8,24	8,09	8,02	8,11	8,24	8,19	8,00	8,14	8,01	7,99	8,04	7,89	8,01

SUS
LILLE

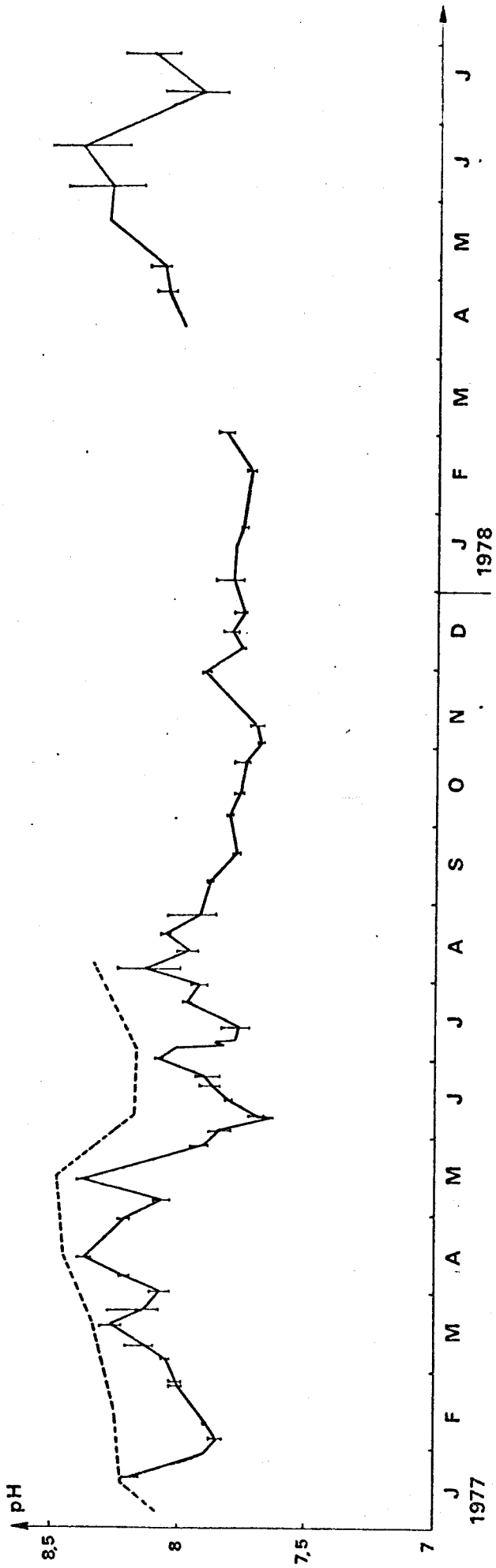


Fig. 10 : Variations du pH à la station E (—) et à Gravelines (----)

On peut se demander si à cette époque l'obscurcissement du ciel par les fumées et poussières industrielles n'est pas suffisant pour que la lumière devienne un des facteurs limitants dans le développement du phytoplancton portuaire (?) .

L'indice de diversité pigmentaire (Fig. 9b) traduit l'état physiologique des populations phytoplanctoniques. Défini par le rapport de la densité optique de l'extrait lue à 430 nm sur la densité optique à 663 nm , il est faible lorsque la population se développe et est productrice de chlorophylle a. Lorsque le phytoplancton régresse, cet indice augmente. Il existe donc une opposition entre les variations de la quantité de chlorophylle a et de l'indice de diversité pigmentaire. Ainsi, les plus fortes valeurs de ce rapport (> 8) sont observées lorsque la chlorophylle a est à son minimum (décembre-janvier). La relation entre ces deux paramètres n'est cependant pas directe et l'augmentation de l'indice pigmentaire est surtout marquée lorsque les valeurs de chlorophylle a sont très faibles . C'est pourquoi, malgré les valeurs élevées de chlorophylle au printemps, l'indice ne reste que légèrement plus faible que celui calculé à cette époque en Mer du Nord.

II.4 LE pH (Tableau 4 , Figure 10)

Plus faible qu'en Mer du Nord, le pH subit d'importantes fluctuations pendant l'année. Au début de 1977, ces variations sont parallèles à celle de la salinité et ont les mêmes causes : les entrées d'eau de la Mer du Nord augmentent le pH qui tend alors à rattraper les valeurs plus élevées trouvées à l'extérieur des bassins. On relève une forte baisse en juin (7,7) puis les valeurs oscillent autour de 8 unités pH en juillet et août. Une descente régulière depuis le mois d'août amène le pH à des valeurs inférieures à 7,8 en octobre. Ces faibles valeurs se maintiennent jusqu'en mars 1978 puis remontent lentement jusqu'à un maximum de 8,4 à la fin du mois de juin. Voisin pour les deux stations P et E, le pH est toujours plus bas dans les rejets.

Il existe peu de différences entre les différents niveaux de profondeur sauf d'avril à juillet 1978 où un gradient vertical s'établit, parallèlement à l'accentuation du gradient de salinité. Les valeurs les plus élevées sont alors en surface et correspondent aux eaux les plus desalées, contrairement à Gravelines où un pH faible signale une arrivée

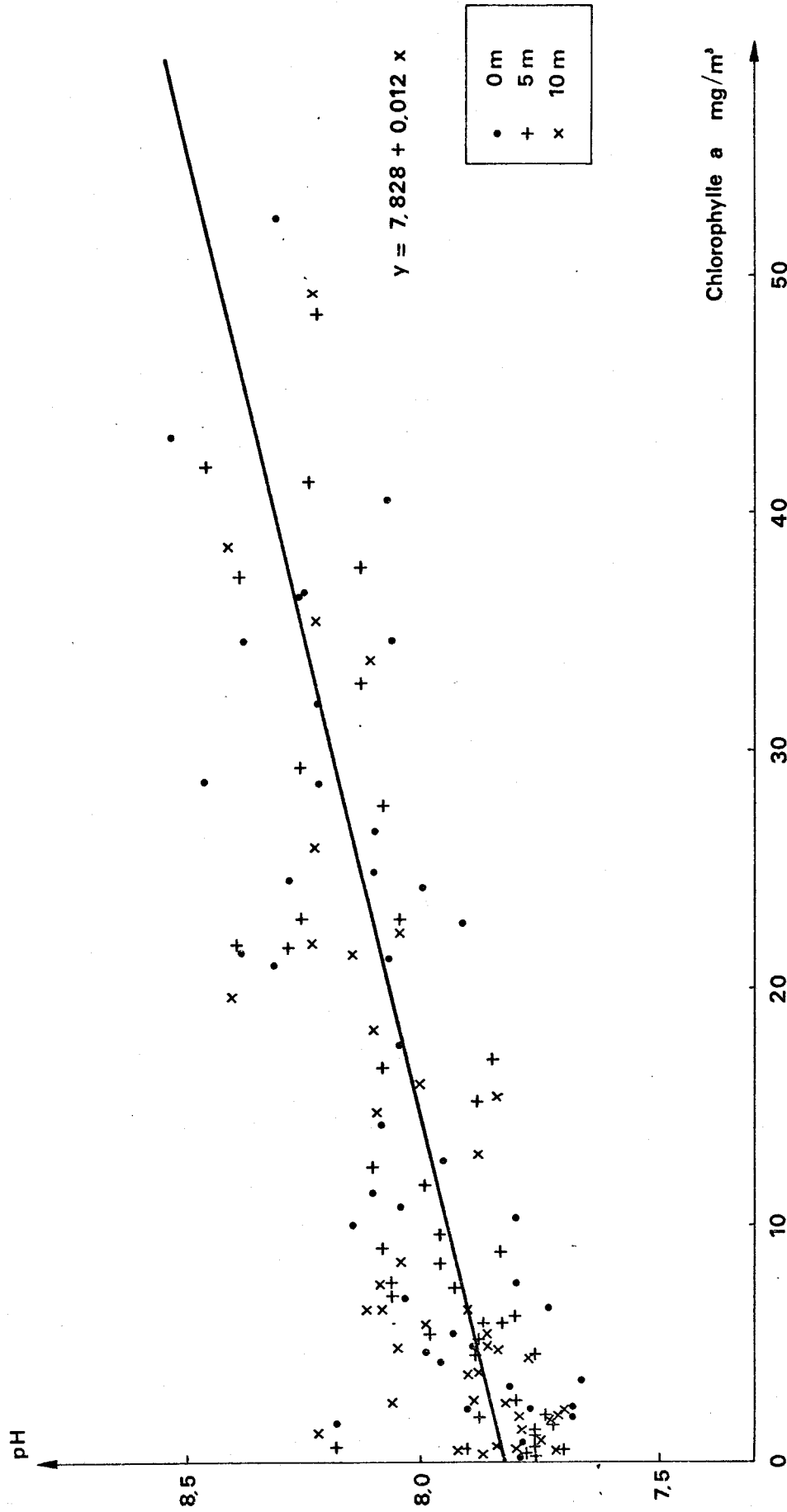


Fig. 11 : Relation pH - Chlorophylle a

d'eaux douces. La figure 6d marque bien le pouvoir tampon de l'eau de mer : les masses d'eau supérieure, moyenne et profonde (§ II.1 et II.2) sont en effet peu différenciées par les mesures de pH, bien que reconnaissables.

En dehors de l'activité industrielle du port, d'autres facteurs peuvent agir sur la valeur du pH. Il existe une relation linéaire significative (Fig. 11) liant la quantité de chlorophylle a et le pH, qui peut être représentée par l'équation :

$$\text{pH} = 7,828 + 0,0119 \text{ chl a (mg/m}^3\text{)}$$

(137 couples de valeurs, $r = 0,76$)

L'augmentation du pH sous l'effet de la photosynthèse (consommation du CO_2) avait déjà été signalée en Mer du Nord proche par BOUGARD (1977). A Dunkerque, où le phytoplancton est abondant, la photosynthèse semble donc avoir un rôle important dans la régulation du pH, pH qui a par ailleurs tendance à s'acidifier de par les activités portuaires. La dégradation de la matière organique et les produits du métabolisme du zooplancton peuvent concourir pour une part à la diminution du pH. Ainsi, la brusque chute observée au début du mois de juin, qui correspond aussi au minimum de chlorophylle a, coïncide avec le développement massif du flagellé *Noctiluca miliaris* (BOUGARD, 1977)

II.5 L'OXYGENE DISSOUS (Tableau 5 et 6 Figure 12)

Après les mois de janvier et février où la sous-saturation est régulière, les périodes de sur-saturation et de sous-saturation alternent plus ou moins régulièrement jusqu'en août. La sursaturation n'est plus atteinte ensuite jusqu'à la fin de notre étude sauf en juin 1978. Les valeurs très élevées en juillet et août 1977 de la concentration en oxygène sont dues essentiellement aux valeurs de surface qui ont pu atteindre 140 % ! Les valeurs des deux autres niveaux restent aux environs de 110 %.

On observe assez régulièrement une nette diminution du taux d'oxygène dissous de la surface vers le fond, traduisant le caractère fermé des bassins. (Figure 6c). En profondeur les taux de saturation de l'oxygène peuvent être assez bas et atteindre 50 %.

TABLEAU 5 : OXYGENE DISSOUS (ml/l)

Date	Station E				Station P				Stations R				
	0 m	5 m	10 m	Moy.	0 m	5 m	12 m	Moy.	R1	R2	R3	R4	Moy.
19.01.77	5,38	5,13	5,26	5,25	5,27	5,10	5,06	5,14	4,66	4,69	4,84	4,98	4,79
28.01	5,48	-	-	(5,48)									
04.02	5,50	-	-	(5,50)									
10.02	5,65	5,50	5,50	5,55	-	5,70	5,42	(5,56)	4,96	4,80	5,13	4,53	4,85
25.02	5,97	7,21		6,59									
04.03	6,43	6,33	6,34	6,36									
10.03	7,08	6,79	6,53	6,8									
18.03	7,08	6,78	6,46	6,75									
24.03	7,29	6,17	5,18	6,21									
01.04	5,64	5,87	5,35	5,62									
07.04	6,62	6,37	6,31	6,43									
14.04	6,46	6,38	6,55	6,46					6,28	6,32	6,12	5,96	6,16
29.04	6,56	6,41	6,39	6,45									
06.05	5,25	5,22	4,70	5,05									
14.05	7,15	6,31	5,24	6,23									
25.05					4,19	-	-	(4,19)	3,35	3,48	3,53	3,89	3,56
27.05	5,02	4,38	4,05	4,48									
03.06	3,79	4,20	3,88	3,95									
08.06					4,02	4,05	4,28	4,11	3,86	4,44	7,19	10,42	6,47
09.06	3,79	4,12	3,67	3,86									
15.06	4,51			(4,51)									
21.06	6,01	4,56	6,88	5,81	10,08	5,52	5,04	6,88	4,02	4,29	4,15	4,64	4,27
23.06	8,34	6,07	6,13	6,34									
01.07	6,11	6,02	5,74	5,95									
13.07	3,12	4,83	7,56	5,17									
21.07					4,29	4,24	4,04	4,19	4,75	3,89	3,96	3,91	4,12
22.07	4,81	4,14	4,79	4,56									
29.07	4,19	4,38	3,89	4,15									
05.08	6,92	5,79	5,33	6,01									
09.08					4,28	5,21	4,41	4,63	4,15	4,23	4,15	4,19	4,18
10.08					4,20	3,97	4,08	4,08	3,79	4,89	4,17	3,81	4,16
11.08					4,20	3,93	4,08	4,07	4,02	4,10	3,86	3,90	3,97
12.08	3,94	4,45	4,47	4,28									
19.08	4,04	4,24	4,01	4,09									
26.08	4,72	3,15	2,86	3,57									
09.09	4,20	4,00	3,60	3,93	4,18	4,16	4,02	4,12	3,25	3,44	3,18	3,44	3,32
13.09					3,37	3,29	3,21	3,29	3,18	3,56	3,10	3,40	3,31
20.09	3,50	3,46	3,44	3,46	3,81	3,45	3,60	3,55	3,33	3,59	3,26	3,30	3,37
29.09					4,78	4,55	4,20	4,51	4,14	4,02	2,84	5,51	4,12
05.10	4,54	4,28	4,73	4,51	4,25	4,40	4,43	4,36	2,83	4,29	4,49	4,35	3,99
25.10	4,56	3,92	4,11	4,19	4,29	3,99	4,25	4,17	4,36	3,94	3,69	4,08	4,01
02.11	4,58		4,50	4,54	4,65	4,60	4,79	4,68	4,23	4,79	4,32	4,14	4,37
09.11	4,64	4,62	4,57	4,61	4,60	4,48	4,29	4,45	4,00	4,18	4,09	4,02	4,07
28.11					5,52	5,56	5,46	5,51	5,45	5,43	5,33	5,47	5,42
29.11	5,78	5,42	5,38	5,52									
09.12	5,29	5,14	5,23	5,22	5,26	5,37	5,00	5,21	5,07	4,96	4,81	4,93	4,94
15.12	5,00	4,91	5,25	5,05	5,03	4,86	5,11	5,00	5,45	5,05	4,86	4,90	5,06
22.12	5,26	4,89	4,83	4,99	5,27	4,53	4,71	4,83	4,65	4,38	4,18	4,30	4,37
05.01.78	5,26	5,46	5,98	5,56	5,26	5,40	5,64	5,43	5,19	5,73	5,74	5,88	5,63
18.01	5,87	-	-	(5,87)									
25.01	5,89	5,92	5,83	5,88									
17.02	6,28	6,13	6,40	6,27	6,34	6,36	6,25	6,31	6,14	6,27	6,18	5,95	
01.03	5,79	5,82	5,97	5,86	6,17	5,93	5,96	6,02	5,83	5,77	5,62	5,73	5,73
13.04	5,29	-	-	(5,29)	5,28		5,29	5,28	5,06	5,19	5,07	4,94	5,06
26.04	5,14	5,19	5,13	5,15	5,23	5,13	5,24	5,2	5,00	5,04	4,89	4,92	4,96
05.05	5,15	4,43	4,66	4,74	4,93	4,53	4,57	4,67	4,44	4,54	4,23	4,40	4,40
23.05	7,05	-	-	(7,05)									
06.06	6,62	4,41	3,98	5,00	6,59	4,45	4,49	5,17	4,00	4,20	3,99	H.S.	4,06
21.06	8,24	7,55	4,94	6,91	8,32	7,89	4,71	6,97	5,12	4,56	4,12	H.S.	4,60
12.07	5,70	3,81	3,53	4,34	3,78	3,52	3,66	3,65	3,42	3,55	3,55	3,76	3,57

BUS
LILLE

TABLEAU 6 : OXYGENE DISSOUS (% de saturation)

Date	Station E				Station P				Stations R				
	0 m	5 m	10 m	Moy.	0 m	5 m	12 m	Moy.	R1	R2	R3	R4	Moy.
19.01.77	80,1	78,2	78,0	78,7	81,5	77,5	74,3	77,3	80,1	81,7	84,7	87,3	83,4
28.01	86,2	-	-	(86,2)									
04.02	86,2	-	-	86,2									
10.02	87,5	84,6	83,8	85,3	-	87,6	82,6	(84,9)	78,7	86,0	92,2	80,8	84,4
25.02	93,5	-	-	(93,5)									
04.03	100,9	98,2	98,6	99,2									
10.03	117,4	105,8	102,5	108,6									
18.03	116,5	107,4	101,5	108,4									
24.03	113,7	101,7	83,6	99,6									
01.04	92,1	93,7	86,0	90,6									
07.04	103,4	99,4	98,3	100,3									
14.04	103,9	101,9	103,3	103,0					103,2	107,6	118,9	111,3	110,3
29.04	115,4	106,9	107,1	109,8									
06.05	91,9	86,8	76,7	85,2									
14.05	120,2	98,4	88,5	102,4									
25.05					72,2	67,2	49,3	62,2	71,3	67,4	71,5	76,9	71,8
27.05	90,8	97,1	70,7	79,5									
03.06	68,7	75,5	69,5	71,2									
08.06					74,0	74,3	-	(74,9)	80,4	91,3	149,5	190,1	127,8
09.06	69,6	73,4	46,7	69,2									
15.06	85,4	-	-	(85,4)									
21.06	112,1	84,0	125,8	107,3	-	95,2	92,5	93,8	80,7	84,3	86,3	86,6	84,5
23.06	158,9	112,2	111,5	127,5									
01.07	115,1	113,2	107,3	111,9									
06.07	143,5	108,8	104,7	118,9							123,1		123,1
07.07	142,0	115,1	102,5	119,9							103,8		103,8
13.07	61,5	93,9	145,8 ²	100,4									
21.07					84,4	83,1	77,4	81,6	95,1	84,8	87,0	86,1	88,2
22.07	96,5	-	-	(96,5)									
29.07	79,1	82,6	72,5	78,1									
05.08	137,4	111,8	102,0	117,1									
09.08					84,0	101,5	84,8	90,1	90,8	90,0	88,8	92,1	90,5
10.08					82,7	76,7	77,8	79,0	82,6	102,2	93,8	82,2	90,2
11.08					84,8	76,5	78,7	80,0	89,2	90,2	85,9	80,1	86,6
12.08	78,0	86,7	85,6	83,4									
19.08	80,3	83,6	77,6	80,5									
26.08	96,3	61,3	55,3	71,0									
09.09	82,3	76,4	69,1	76,0	81,7	81,4	78,4	80,5	70,9	74,3	71,3	75,9	73,1
13.09					64,3	62,6	60,9	62,6	67,9	75,9	66,7	72,7	70,8
20.09	69,6	65,8	64,9	66,8	70,0	65,7	68,2	68,0	71,4	76,3	69,7	70,9	72,1
29.09					92,1	87,0	79,5	86,2	88,7	86,4	62,3	120,6	89,5
03.10	87,4	79,5	86,6	84,5	79,7	82,4	82,4	81,5	60,2	89,9	94,3	-	(81,5)
13.10	75,3	65,6	69,0	70,0									
25.10	86,9	72,0	74,1	77,7	81,1	74,6	78,1	78,0	84,1	82,0	77,1	87,5	82,7
02.11	82,9	-	80,6	(81,8)	84,5	83,5	86,4	84,8	86,9	94,3	89,5	85,5	89,0
09.11	85,0	83,7	80,8	83,2	83,5	81,2	77,4	80,7	82,4	84,9	84,1	84,6	84,0
28.11					89,4	88,7	87,4	88,5	102,8	100,0	99,6	103,5	101,5
29.11	96,2	86,1	85,6	89,3									
09.12	86,7	82,0	81,7	83,5	86,8	86,5	78,9	84,1	92,0	88,0	85,4	89,1	88,6
15.12	82,4	79,1	82,0	81,2	82,1	78,2	80,4	80,2	99,3	90,7	89,5	89,9	92,4
22.12	80,2	77,8	76,9	78,3	79,9	73,5	75,2	76,2	84,8	79,6	74,0	79,5	79,5
05.01.78	82,3	84,4	90,7	85,8	81,9	83,6	86,8	84,2	92,3	100,5	104,5	107,4	101,2
18.01	88,8	-	-	(88,8)					93,4	98,7	96,9	86,7	94,0
25.01	89,8	89,5	87,3	88,9									
17.02	95,2	89,6	91,8	92,2	93,4	93,7	89,6	92,2					
01.03	87,2	87,7	88,1	87,7	93,0	89,2	86,7	89,7	88,9	94,7	96,3	100,7	95,1
13.04	89,2	-	-	(89,2)	82,0	-	81,9	(82,0)	90,0	90,5	92,5	91,3	91,1
26.04	84,5	83,7	80,4	82,9	86,6	84,9	83,6	85,1	92,3	88,9	92,2	92,5	91,5
05.05	88,2	76,0	76,5	80,2	85,0	76,8	74,0	78,6	83,4	81,4	80,6	72,3	79,4
23.05	117,3	-	-	117,3									
06.06	120,9	80,0	72,5	91,1	120,3	80,7	79,5	93,5	77,0	82,6	82,1	H.S.	80,6
21.06	154,0	140,6	90,4	128,3	155,1	147,4	85,4	129,3	107,4	93,5	85,8	H.S.	95,6
12.07	104,6	70,7	64,7	80,0	71,3	65,0	67,0	67,7	70,6	69,4	74,7	73,6	72,1

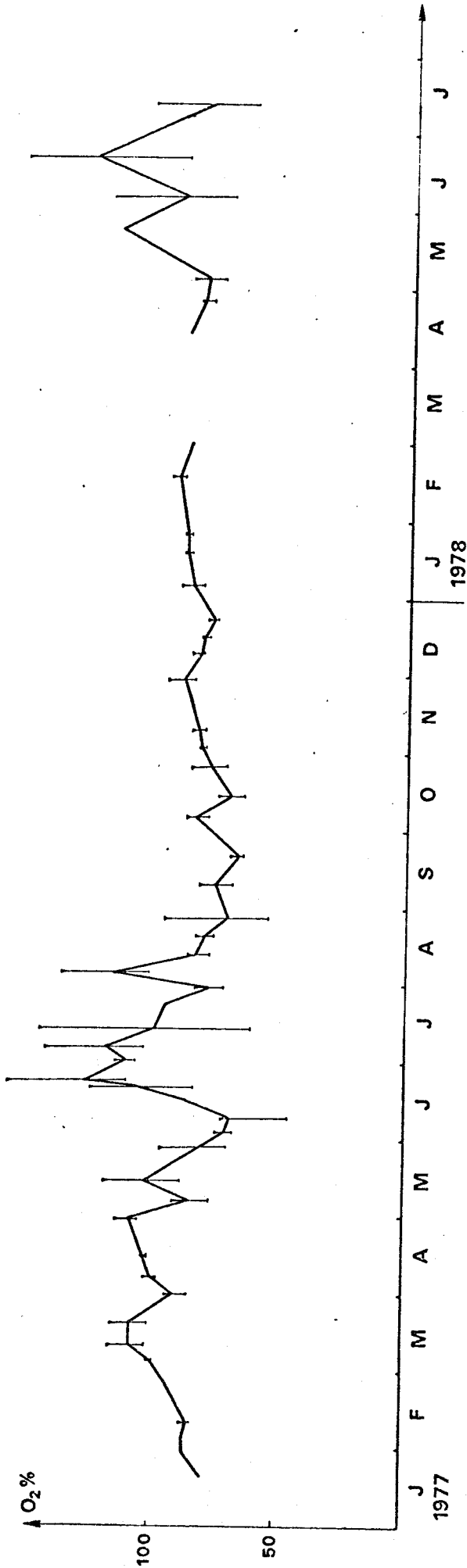


Fig. 12 ; Variations de l'oxygène dissous (% de saturation) à la station E
moyenne et valeurs extrêmes

Ces valeurs sont pourtant encore supérieures à celles qui ont pu être relevées en P₁₃ en juillet 1976 : 20% (KHALANSKI, 1977) .

Plusieurs facteurs peuvent intervenir dans l'établissement du taux d'oxygène dissous. Le diagramme de dispersion chlorophylle a/oxygène dissous (Fig. 13) montre la part importante que prend le phytoplancton par la photosynthèse dans la formation d'oxygène. On voit que dans un milieu protégé comme le port, la saturation ne peut être atteinte en pratique qu'à partir d'une certaine concentration de phytoplancton (8 à 10 mg/m³ de chlorophylle a). Sur des sites plus agités comme Gravelines ou au large de Dunkerque, une telle relation n'a pu être mise en évidence* en raison de l'intervention de nombreux autres facteurs dans la mise en solution de l'oxygène. La saturation peut être alors atteinte ou dépassée pour des taux de chlorophylle voisins de zéro. Ces autres facteurs existent aussi à Dunkerque comme en témoigne la dispersion des valeurs.

Les échanges avec l'atmosphère peuvent aussi accentuer la dissolution de l'oxygène dans l'eau. Dans les bassins, ces échanges concernent surtout les couches très superficielles, sauf pendant les fortes tempêtes d'ouest. On constate (Fig. 13) une légère remontée des valeurs d'oxygène lorsque les taux de chlorophylle sont inférieurs à 3-4 mg/m³. La grande majorité des points (38 sur 43) correspondent en fait à des prélèvements de la mauvaise saison (fin septembre à fin février).

Des mesures de production primaire effectuées sur des échantillons prélevés tous les mètres dans la colonne d'eau au niveau de la station P montrent que la production phytoplanctonique potentielle (incubations *in vitro*) est en général uniforme (BROUARDEL et JOSEPH, 1978). Ceci confirme l'homogénéité de répartition du phytoplancton déjà signalée par les dosages de pigments et les comptages de cellules (§ II.3.). Par contre les mesures de production réelle (incubations *in situ*) montrent que les plus fortes productivités se situent régulièrement dans les 3 ou 4 premiers mètres, puis décroissent d'autant plus rapidement que les maximums ont été plus élevés. Après cette brusque baisse, la productivité reste faible et relativement constante jusqu'au fond. Dans le port de Dunkerque, la

* Il faut cependant signaler qu'à deux stations au large de Boulogne-sur-mer un parallélisme a pu être observé entre les variations de chlorophylle a et d'oxygène dissous, bien que ce site soit lui aussi parcouru par de violents courants de marée (BRYLINSKI, 1975).

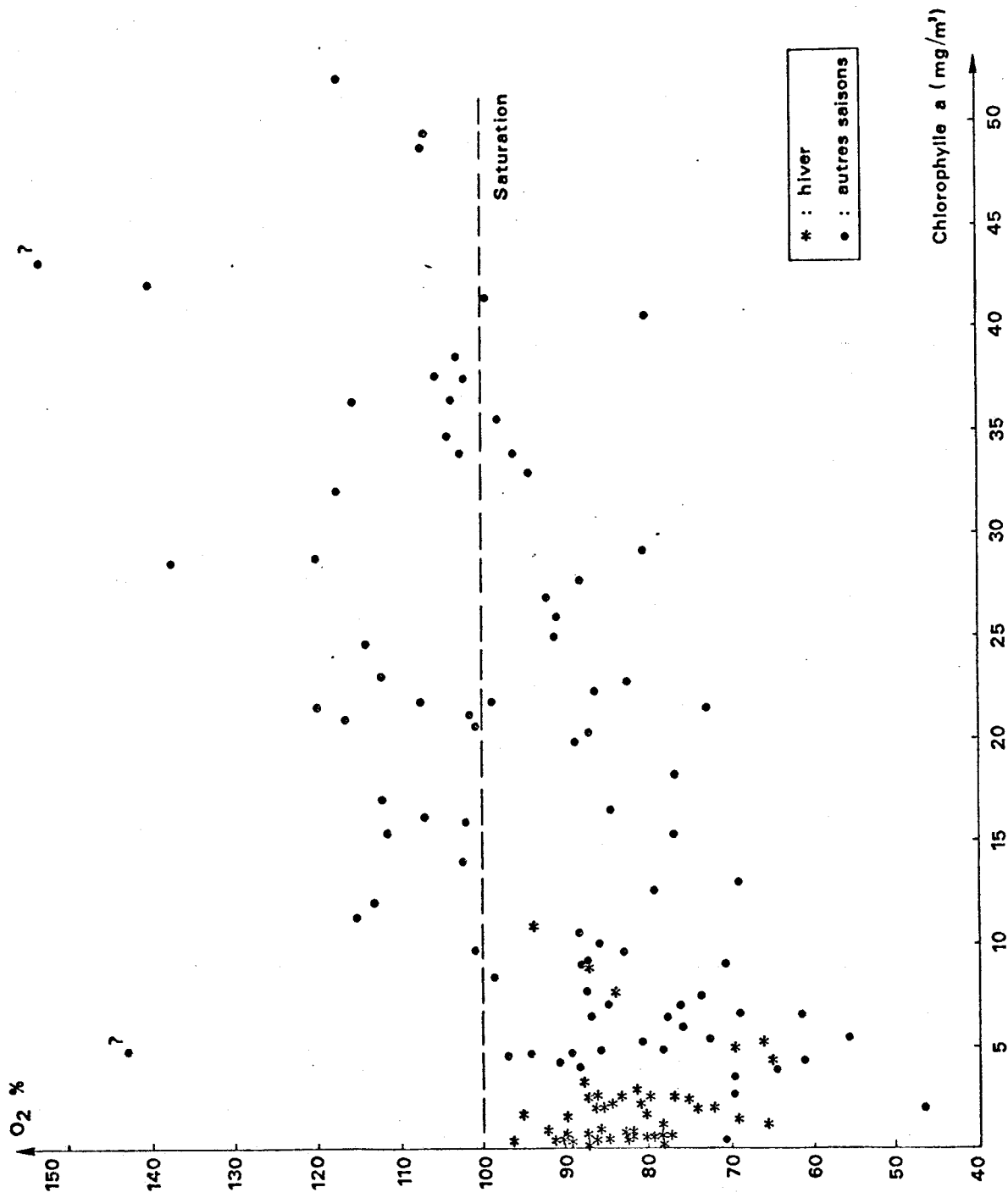


Fig. 13 : Relation oxygène -chlorophylle a à la station E



production d'oxygène, par photosynthèse ou non, a essentiellement lieu dans les eaux superficielles.

A l'opposé, l'oxydation des matières organiques dissoutes et en suspension (naturelles ou domestiques et industrielles), surtout au niveau du fond vaseux, la respiration du zooplancton localisé en profondeur (chapitre II), consomment l'oxygène dans les couches d'eaux inférieures.

Aux rejets, la quantité d'oxygène (ml/l) est plus faible qu'à la prise (Fig. 14a) en raison du dégazage provoqué par l'échauffement. Les relations liant les valeurs des deux stations sont linéaires (pentes très voisines de 1) et ont pour équations :

$$O_2(R_1) = - 0,217 + 0,997 O_2(P_{12}) \text{ avec } r = 0,85$$

$$O_2(R_3) = - 0,568 + 1,050 O_2(P_{12}) \text{ avec } r = 0,92$$

Par contre, la saturation est entretenue dans les darses de rejets par les remous et y est plus forte qu'à la prise. Un rééquilibrage s'effectue un peu plus au large des rejets. Relativement bien groupées sur la figure 14a, les valeurs sont très dispersées sur la figure 14b et, bien qu'il existe une relation linéaire significative (99 %) liant les valeurs de saturation aux deux stations, les coefficients de corrélation sont assez faibles ($r = 0,53$ pour P_{12}/R_1 et $r = 0,66$ pour P_{12}/R_3). Comme nous l'avons déjà signalé, les eaux prélevées en P_{12} ne correspondent pas exactement aux eaux effectivement pompées par la centrale (P_{12-14}) et l'introduction des paramètres température et salinité (très hétérogènes) dans le calcul du pourcentage de saturation accentue encore cette différence.

II.6 LES MATIERES EN SUSPENSION (Tableau 7 , Figure 15)

Très variables, les quantités totales de matières en suspension augmentent de janvier ($\approx 8 \text{ g/m}^3$) jusqu'à un palier maximum qui s'étend de mai à août, avec des valeurs moyennes comprises entre 20 et 30 g/m^3 . Puis à partir de septembre, celles-ci diminuent et se stabilisent plus ou moins autour de $9-10 \text{ g/m}^3$ jusqu'en avril 1978. En mai s'amorce le nouveau palier estival avec des valeurs de $19-20 \text{ g/m}^3$.

Ces quantités de matières sont en général plus faibles qu'à Gravelines (C.N.E.X.O. - 1976) et traduisent l'absence de courants forts re-

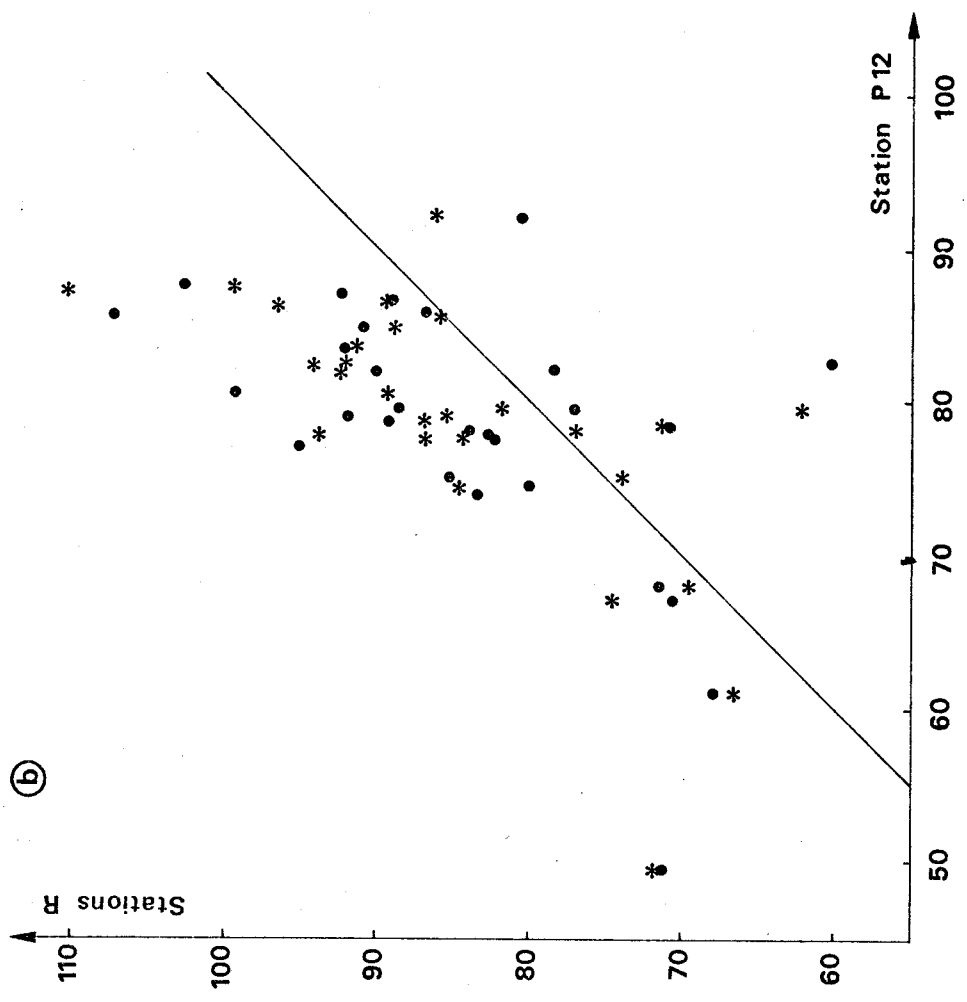
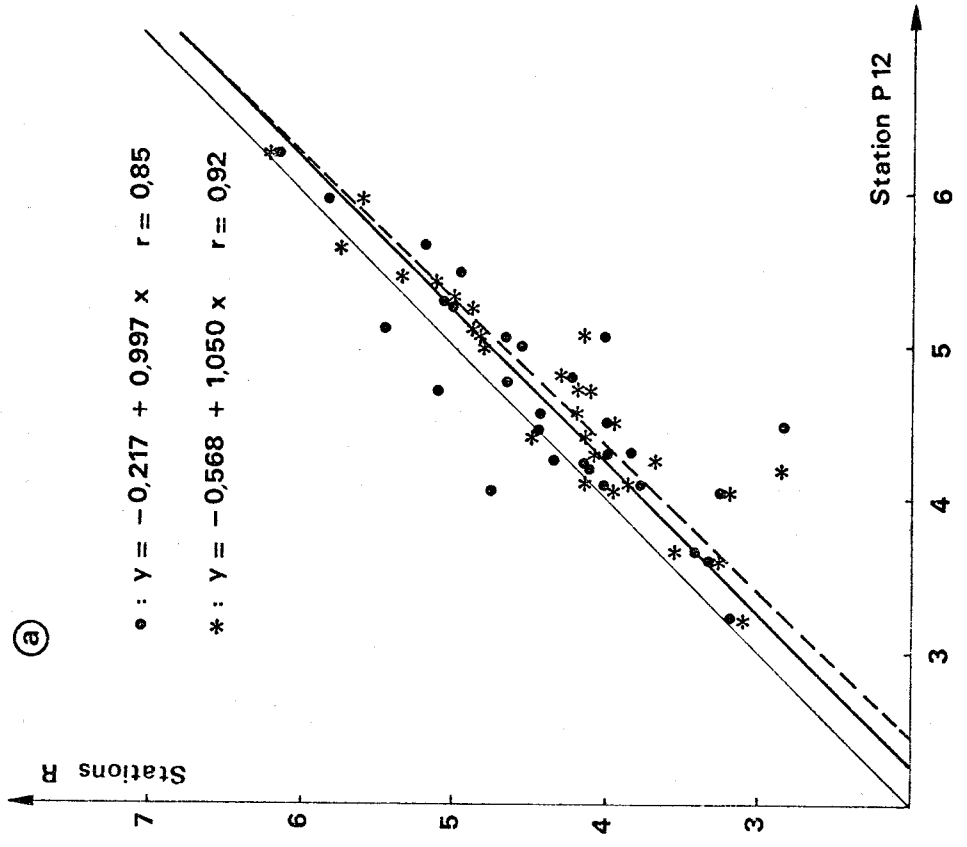
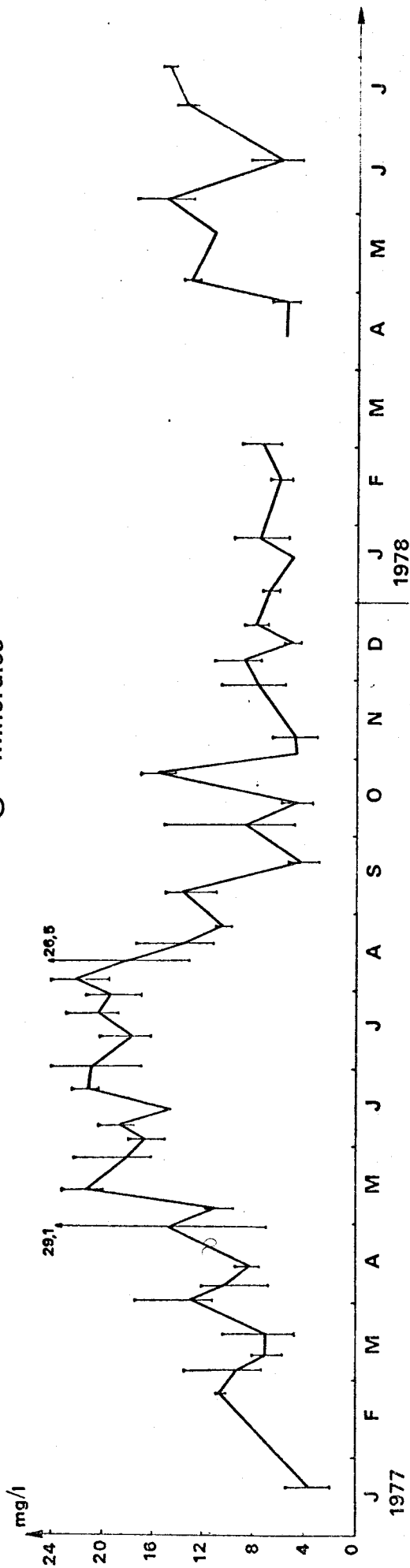


Fig. 14 : Teneurs en O₂ dissous entre P12 et R1 (•), et P12 et R3 (*) et (a) en ml/l et (b) en % de saturation

① Minérales



② Organiques

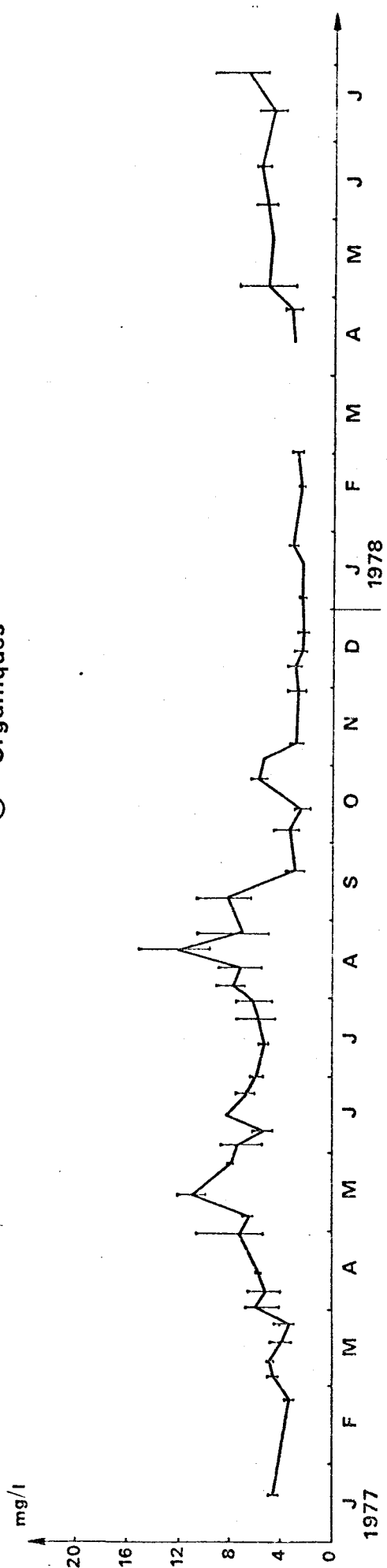


Fig. 15 : Variations de la quantité de matières en suspension
moyenne pour les trois niveaux et valeurs extrêmes



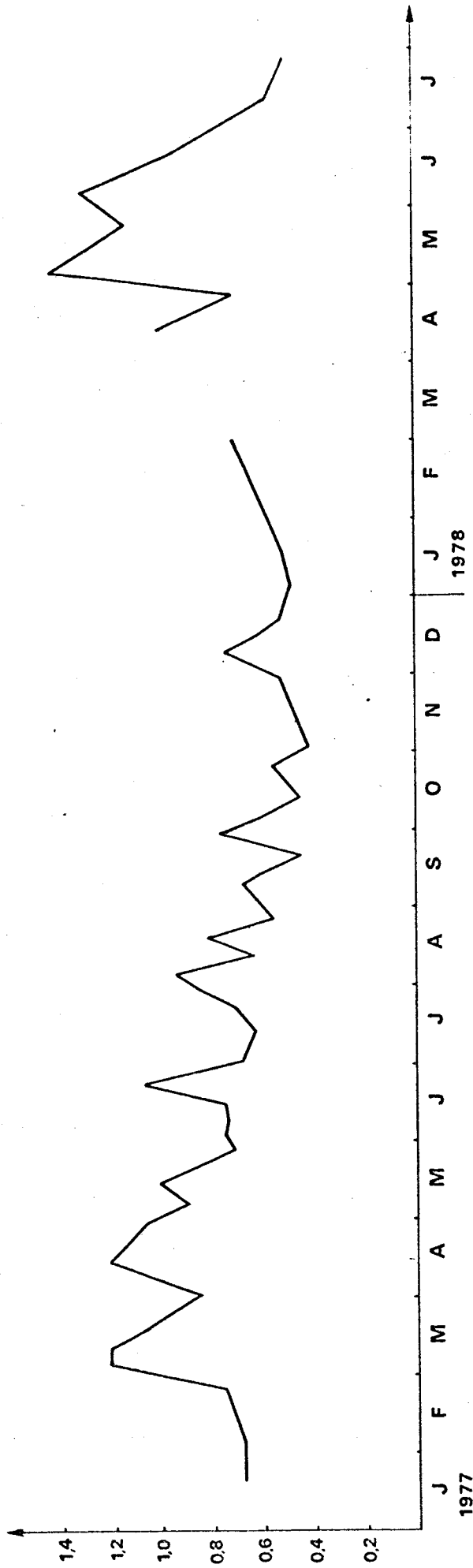


Fig. 16 : Variations du coefficient d'extinction $K_s = \frac{1.7}{Z_0}$

mettant en suspension les particules du fond. Le port peut donc être assimilé à un bassin de décantation. Ce calme est cependant précaire comme l'indiquent les pesées du prélèvement à - 10 m le 29.04.77, effectué après le passage d'un remorqueur : la masse des particules y est plus de trois fois supérieure à celle relevée au niveau - 5 m.*

La distinction entre particules minérales et particules organiques montre que les premières sont les plus importantes et peuvent dépasser 4/5 du poids total. Ce sont elles aussi qui subissent les variations les plus grandes. Une certaine opposition avec les fluctuations de la salinité indique que ces particules ne proviennent pas de la Mer du Nord (pourtant plus turbide que le port) mais des bassins eux-mêmes, probablement en partie des eaux de rinçage des aires de stockage de minerai (USINOR).

II.7 LA TRANSPARENCE DE L'EAU (Tableau 7, Figure 16)

Les valeurs du coefficient d'extinction K_s sont très irrégulières dans le temps. Maximales au printemps pour les deux années étudiées, elles sont minimales à la fin de l'automne.

Le principal obstacle à la pénétration de la lumière dans les eaux est la présence de particules en suspension. Il existe à Boulogne-sur-mer (BRYLINSKI, 1975) et à Gravelines (C.N.E.X.O., 1976-77) une relation positive entre le coefficient d'extinction et le poids des particules en suspension. Ces deux sites sont tous les deux côtiers et soumis à de forts courants de marée. A Dunkerque, il n'existe pas de relation significative entre ces deux paramètres. Par contre le coefficient d'extinction est significativement corrélé (99 %) avec la quantité de chlorophylle a (Fig. 17). La droite de régression a pour équation :

$$K_s = 0,586 + 0,014 (\text{Chl a}) \text{ avec } r = 0,777$$

Une telle corrélation entre le phytoplancton et la turbidité se retrouve en général dans les eaux peu turbides du large (ATKINS et coll., 1954).

* De tels prélèvements peuvent comporter une part importante de *feces* de taille relativement grande, dénotant une activité non négligeable d'organismes benthiques.

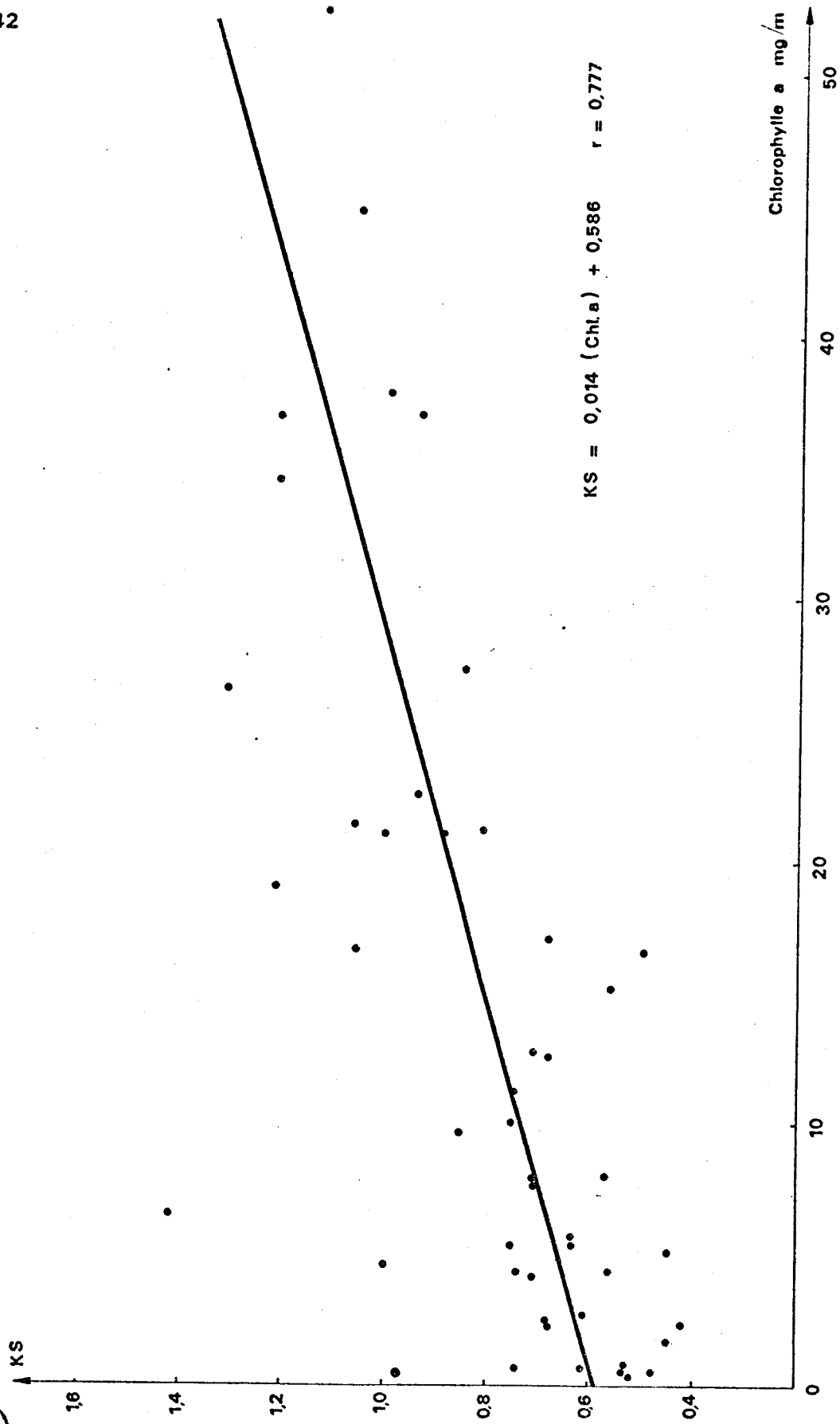


Fig. 17 : Relation entre le coefficient d'extinction et la chlorophylle a

TABLEAU 7 : MATIERES EN SUSPENSION ET COEFFICIENT D'EXTINCTION

Date	MATIERES MINERALES mg/l				MATIERES ORGANIQUES mg/l				KS m - 1
	0	5	10	Moy.	0	5	10	Moy.	
19.01.77	2,05	3,19	5,50	3,58	4,42	4,82	4,66	4,63	-
28.01	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68
04.02	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68
25.02	10,89	10,53	-	(10,71)	3,70	3,21	-	(3,45)	0,75
04.03	8,20	13,32	7,30	9,27	4,10	4,94	4,22	4,42	1,21
10.03	5,74	6,98	8,08	6,93	4,91	4,80	4,76	4,82	1,21
18.03	4,69	6,02	10,23	6,98	3,90	3,21	4,72	3,94	1,06
24.03	11,73	11,26	10,21	11,06	4,35	2,97	2,70	3,34	-
01.04	12,91	11,18	17,73	12,81	4,08	6,46	6,39	5,64	0,85
07.04	11,87	6,85	12,09	10,27	6,35	4,13	5,20	5,22	1,00
14.04	7,71	9,25	7,57	8,16	5,79	5,90	5,83	5,86	1,21
29.04	7,10	7,93	29,18	14,73	5,46	5,29	10,62	7,16	1,06
06.05	9,57	11,39	11,66	10,86	6,76	6,21	6,24	6,41	0,89
14.05	20,60	19,89	24,34	21,27	11,00	10,00	12,00	11,00	1,00
27.05	16,07	16,10	22,26	18,17	8,07	7,81	7,95	7,94	0,70
03.06	16,61	15,19	17,93	16,57	8,34	8,58	5,31	7,41	0,75
09.06	20,27	17,66	18,25	18,72	6,07	5,10	4,68	5,29	0,74
15.06	14,55	-	-	(14,55)	8,26	-	-	(8,26)	0,75
23.06	20,59	20,68	22,33	21,20	7,57	6,71	6,05	6,78	1,06
01.07	24,02	22,56	16,99	21,05	5,84	6,44	5,40	5,93	-
13.07	16,24	16,50	20,18	17,64	5,65	5,19	5,06	5,30	-
22.07	22,93	18,76	19,48	20,38	7,54	4,50	5,15	5,74	-
29.07	21,31	17,04	20,02	19,45	7,73	5,83	4,74	6,11	0,85
05.08	26,57	19,70	19,94	22,27	9,14	6,91	7,39	7,81	0,94
12.08	24,17	17,79	13,15	18,37	8,87	7,11	5,67	7,21	0,63
19.08	17,40	11,21	12,81	13,80	14,99	11,53	9,50	12,01	0,81
26.08	10,52	10,72	9,80	10,34	10,69	5,27	4,93	6,97	0,56
09.09	14,68	11,10	14,93	13,57	7,44	10,52	6,42	8,12	0,68
20.09	2,90	4,84	4,80	4,18	2,59	3,64	2,35	2,86	0,45
05.10	15,29	4,82	5,98	8,62	4,49	2,88	2,94	3,44	0,61
13.10	4,16	3,58	5,87	4,52	2,70	1,84	2,85	2,47	0,45
25.10	14,51	15,55	17,02	15,69	6,36	5,19	5,69	5,75	0,56
02.11	4,58	-	-	(4,58)	5,97	-	-	(5,97)	-
09.11	2,91	4,91	6,67	4,83	2,42	2,74	3,47	2,88	-
29.11	5,48	7,25	10,68	7,80	2,26	2,67	3,55	2,83	0,53
09.12	7,42	8,03	11,16	8,87	2,64	2,98	3,59	3,07	0,74
15.12	4,99	4,41	5,57	4,98	2,10	2,27	2,94	2,45	0,61
22.12	7,06	7,48	8,71	7,75	2,05	2,58	2,44	2,36	0,53
05.01.78	5,98	7,44	7,24	6,88	2,29	2,41	2,62	2,45	0,48
18.01	4,93	-	-	(4,93)	2,41	-	-	(2,41)	0,52
25.01	5,27	7,87	9,49	7,54	2,93	3,15	3,57	3,22	-
17.02	5,11	6,16	6,75	6,00	2,29	2,56	2,62	2,49	-
01.03	7,00	5,90	8,95	7,28	2,70	2,66	3,26	2,88	0,71
13.04	5,66	-	-	(5,66)	3,22	-	-	(3,22)	1,00
26.04	5,15	4,65	6,72	5,47	3,50	2,86	3,74	3,30	0,71
05.05	13,59	12,51	13,47	13,19	7,45	4,92	3,07	5,15	1,42
23.05	11,38	-	-	(11,38)	4,82	-	-	(4,82)	1,13
06.06	12,90	15,27	17,40	15,19	6,13	5,22	4,38	5,24	1,31
21.06	5,23	4,36	8,54	6,04	5,93	5,99	5,18	5,70	0,94
12.07	14,18	12,83	13,24	13,41	5,89	3,90	4,04	4,61	0,57
27.07	14,49	15,43	14,62	14,85	9,29	5,71	5,27	6,76	0,50

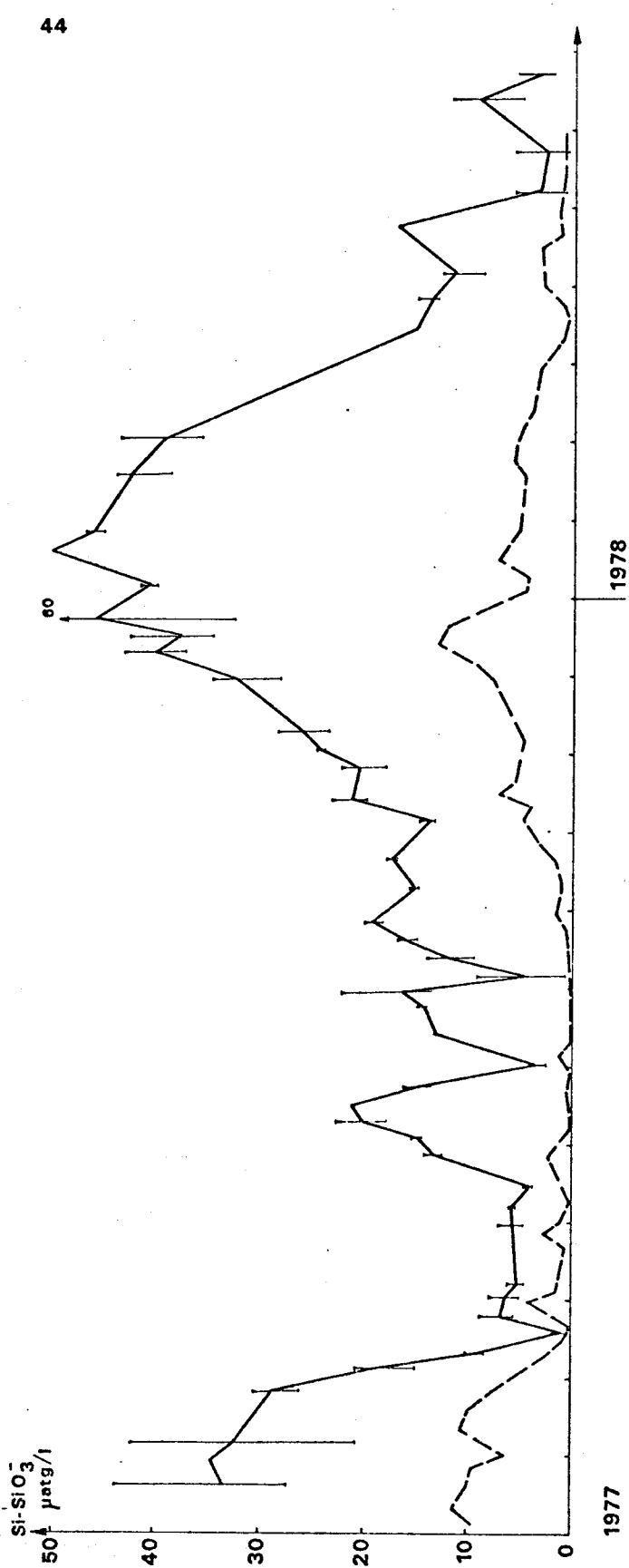


Fig. 18 : Variations des silicates à la station E (—) et en Mer du Nord (--- R.N.O.)

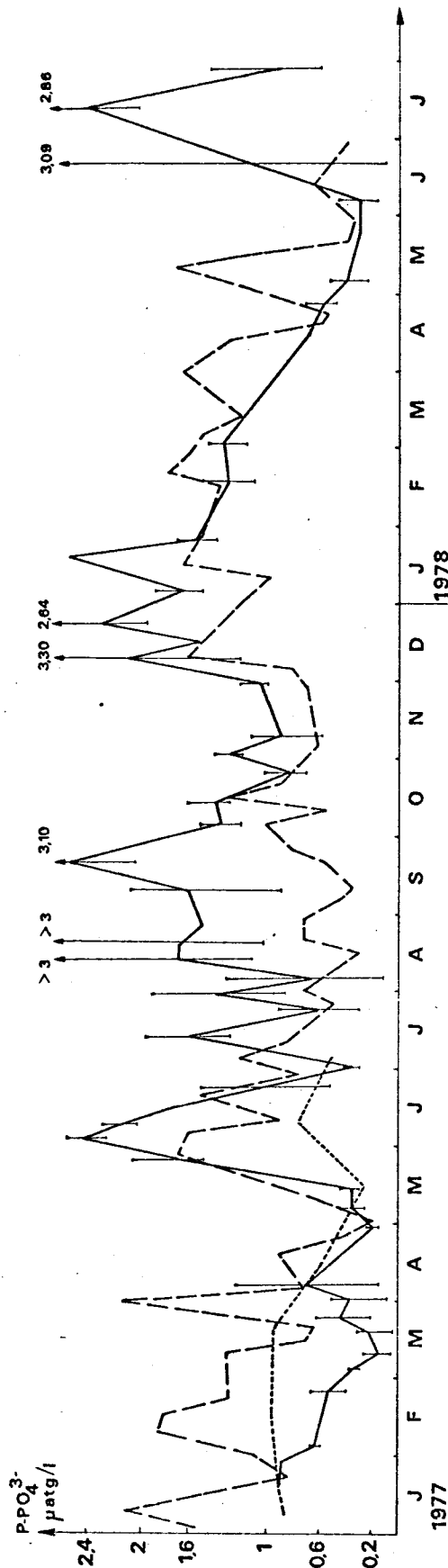


Fig. 19 : Variations des phosphates à la station E (—), en Mer du Nord (--- R.N.O., C.NEXO)



II.8 LES SELS NUTRITIFS (Tableaux 8 à 11)

Les apports de sels nutritifs sont permanents et proviennent essentiellement de l'activité du port et du canal à grand gabarit. La majeure partie des eaux qui drainent la région urbaine de Dunkerque se déversent dans l'avant port Est par le canal exutoire des wateringues (Fig. 1). Ces eaux peuvent entrer dans les bassins à flot au cours des réajustements de niveau et enrichir la station E.

Les figures 18 à 21 permettent de comparer les quantités de sels nutritifs en Mer du Nord (R.N.O. st. n° 2) et dans le bassin d'évitage. Elles montrent clairement la richesse des eaux portuaires.

La teneur en nitrites est considérable et présente des maximums répartis sur toute l'année ($> 10 \mu\text{atg/l}$) et que nos seules données ne permettent pas d'expliquer*. L'abondance des nitrates est telle que son minimum est égal au maximum observé en Mer du Nord. Ils présentent une forte abondance au printemps ($< 50 \mu\text{atg/l}$) et le minimum moyen oscille autour de $20 \mu\text{atg/l}$ de juin à février. Un maximum accessoire ($40 \mu\text{atg/l}$) est relevé en septembre, et correspond probablement au lessivage des engrais d'automne provoqué par les fortes pluies pendant ce mois (Fig. 8). Comme l'indiquent les diagrammes de dispersion (Fig. 22 et 23), il n'existe pas de relation évidente entre les quantités de chlorophylle a et les teneurs en nitrites ou nitrates. L'azote ne semble donc pas pouvoir être considéré comme un facteur limitant dans le développement du phytoplancton, comme c'est le cas à Gravelines en été (BOUGARD, 1976).

Les silicates et les phosphates sont aussi très abondants. Ces deux facteurs sont nettement influencés par la quantité de phytoplancton (Fig. 24 et 25) : à chaque pic de chlorophylle a (Fig. 9b) correspond un affaiblissement marqué du stock de ces deux sels, et leur minimum annuel correspond au maximum de chlorophylle a. La consommation est d'ailleurs telle à cette époque de "bloom" phytoplanctonique (3 à 4 fois de plus de chlorophylle a qu'à Gravelines) que la quantité de phosphates devient relativement faible et inférieure à celle relevée en Mer du Nord.

Les corrélations négatives liant les valeurs de phosphates et

* On notera que les quantités d'ammoniac dissous relevées au cours des quelques dosages effectués au printemps 1977 sont considérables et comprises entre 35 et $80 \mu\text{atg N-NH}_4^+/l$.

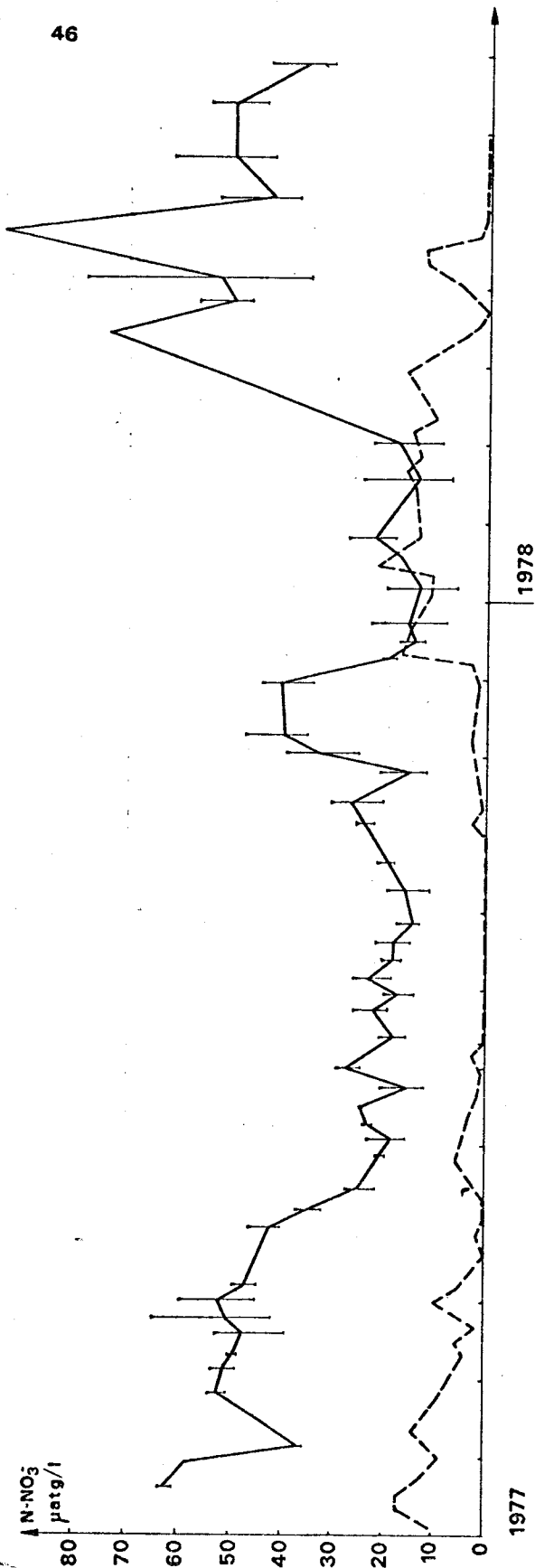


Fig. 21: Variations des nitrates à la station E (—) et en Mer du Nord (--- R.N.O.)

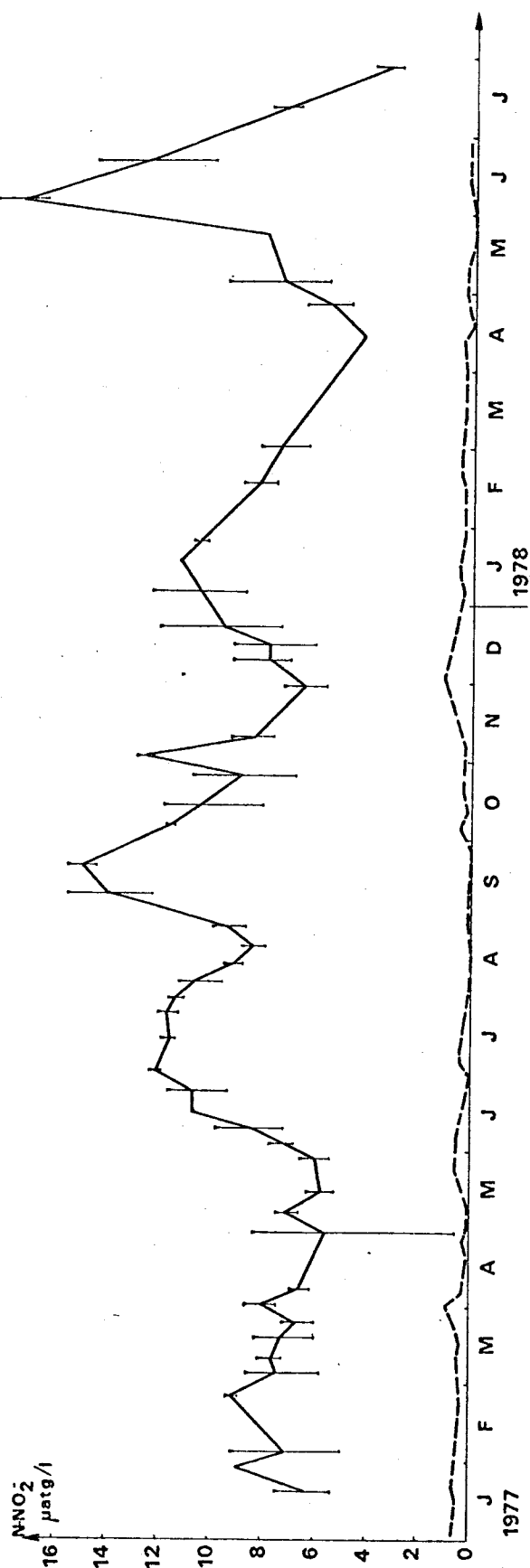


Fig. 20: Variations des nitrites à la station E (—) et en Mer du Nord (--- R.N.O.)



de silicates aux quantités de chlorophylle a sont hautement significatives (99 %) et représentées par les équations suivantes (Fig. 24 et 25) :

$$\begin{aligned} \text{PO} &= 1,503 - 0,0312 \text{ Chla} && \text{avec } r = -0,519 \\ \text{SI} &= 26,350 - 0,6427 \text{ Chla} && \text{avec } r = -0,604 \end{aligned}$$

Ces droites permettent de définir les quantités de chlorophylle a correspondant au phytoplancton théoriquement capable d'épuiser les réserves de chacun des deux sels dans le bassin d'évitage. En fait les fortes valeurs de ces sels mesurées en hiver sont peu influencées par le phytoplancton et faussent un peu le tracé des droites de régression en en augmentant la pente, et en diminuant d'autant la quantité maximale théorique de chlorophylle a. Ce phénomène est surtout marqué pour les silicates et, comme les maximums printaniers du phytoplancton correspondent à des poussées de cellules dont les frustules sont pauvres en silice, parmi lesquelles surtout *Skeletonema costatum* (BOUGARD - Comm. pers.), le maximum théorique peut être dépassé.

Ainsi, si le phytoplancton contribue de façon importante à l'affaiblissement du stock de silicates et de phosphates du milieu, la consommation ne semble pas encore tout à fait suffisante pour que ces deux sels soient considérés comme facteurs limitants dans le développement du phytoplancton dans son ensemble. Il est, toutefois très probable que l'analyse au niveau spécifique nous amènera dans l'avenir à nuancer cette observation, toutes les espèces n'ayant pas les mêmes besoins.

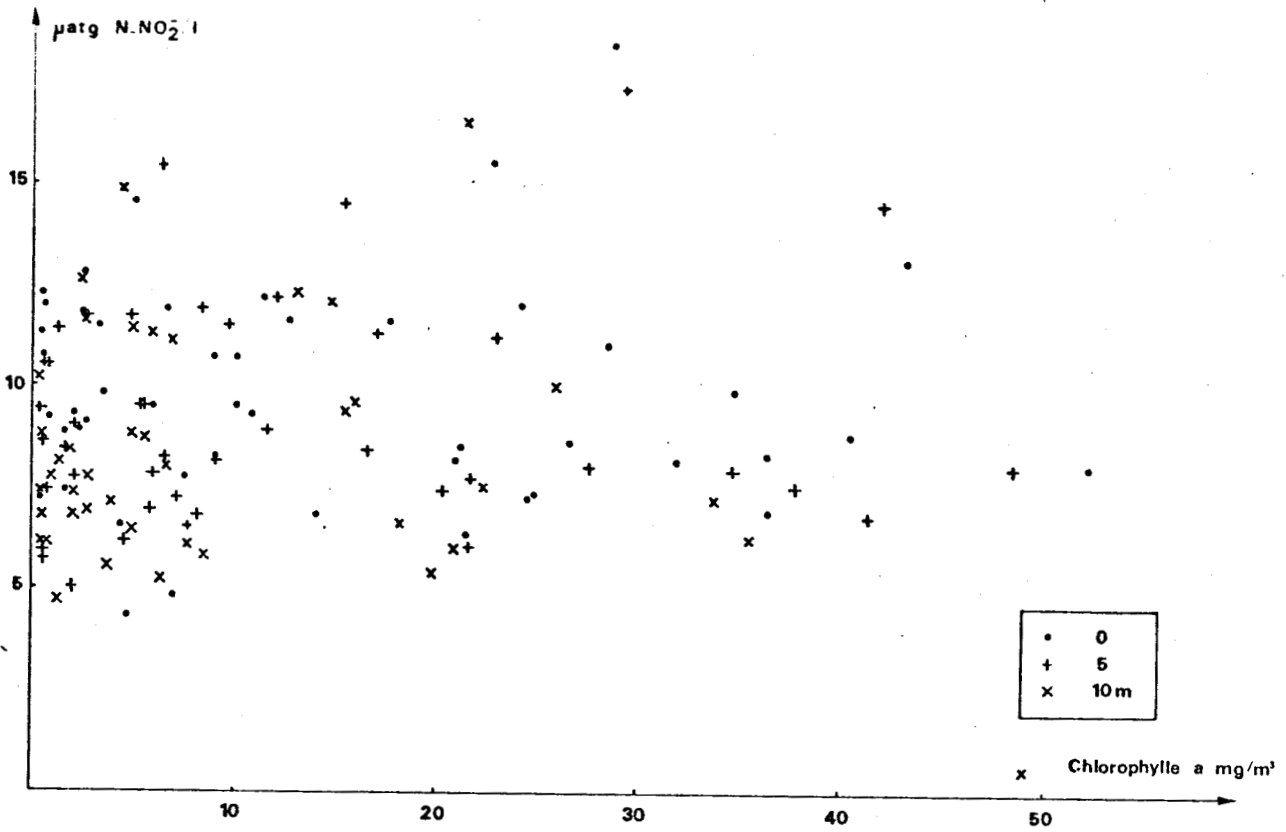


Fig. 22: Relation Nitrites - Chlorophylle a

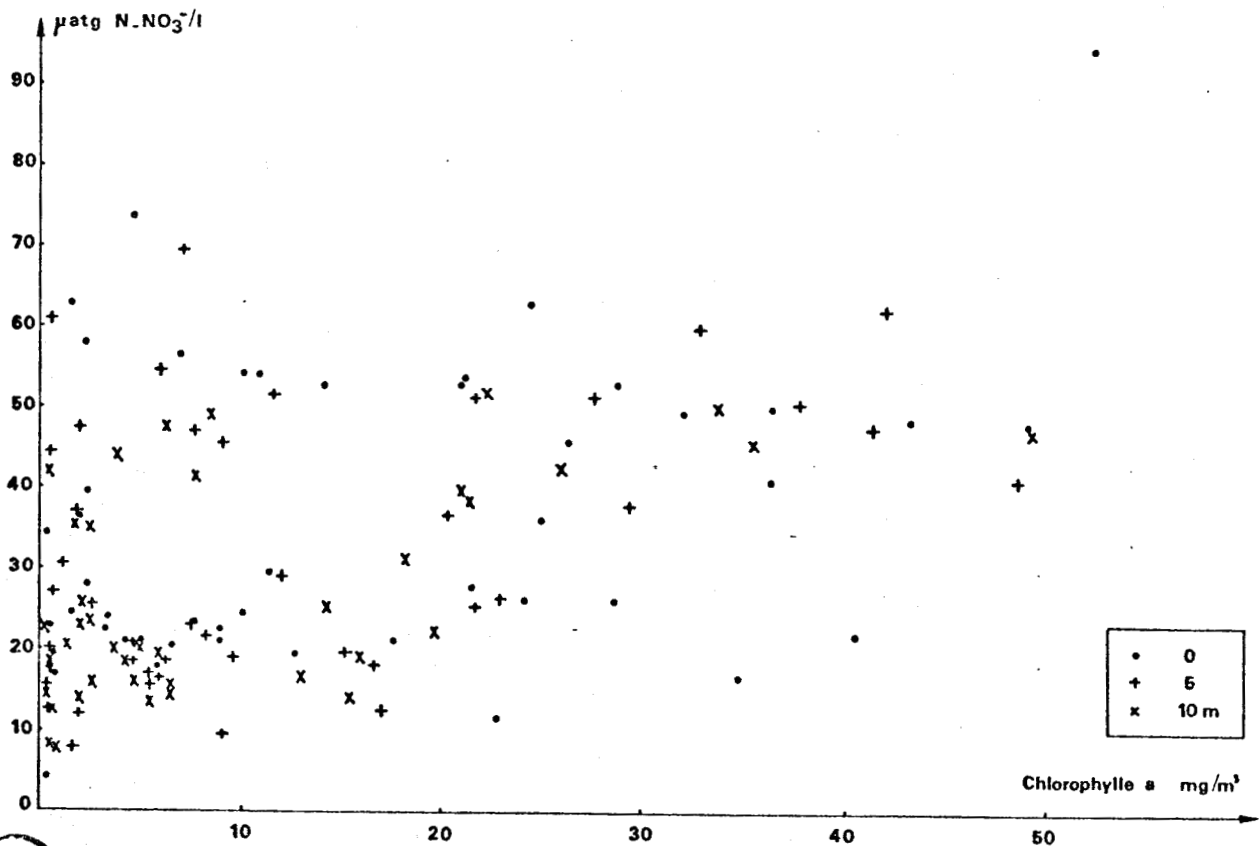


Fig. 23: Relation Nitrates - Chlorophylle a



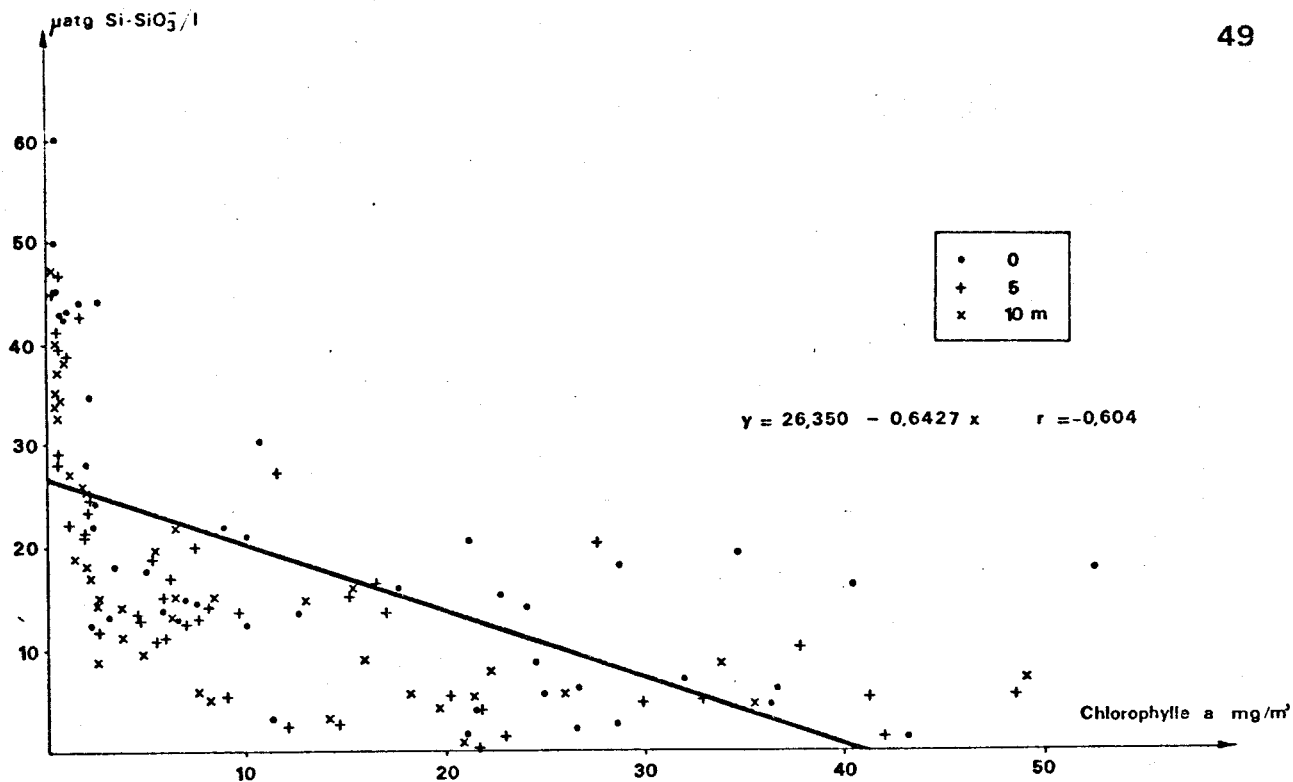


Fig. 24 : Relation Silicates - Chlorophylle a

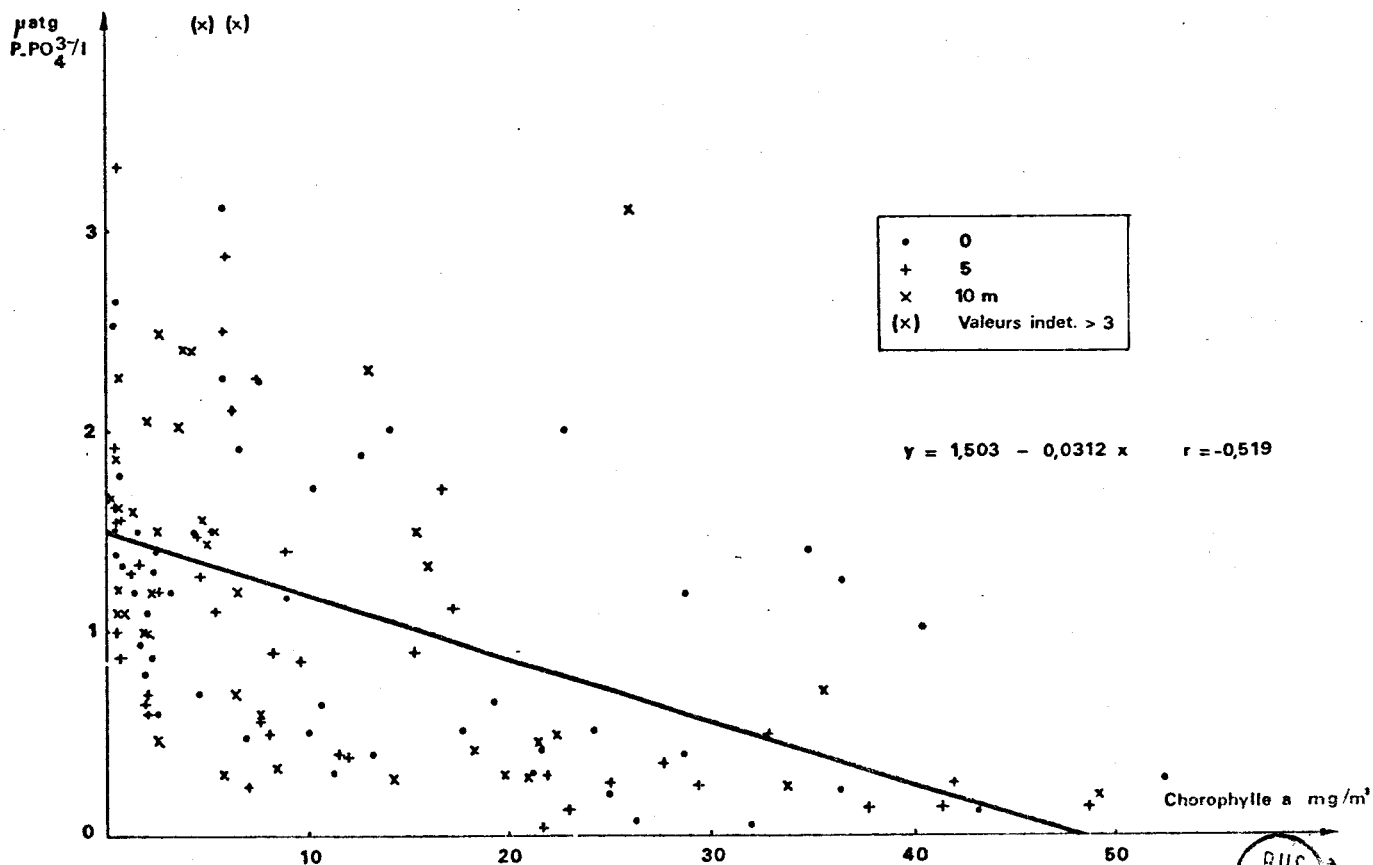


Fig. 25 : Relation Phosphates - Chlorophylle a

TABLEAU 8 : SILICATES ($\mu\text{atg Si-SiO}_3^-/1$)

Date	0 m	5 m	10 m	Moy.	Date	0 m	5 m	10 m	Moy.
19.01.77	43,9	29,2	27,2	33,4	26.08.77	19,2	18,8	19,8	19,2
28.01.	34,7	-	-	(34,7)	09.09	15,3	15,2	14,9	15,1
04.02.	44,2	21,5	-	32,8	20.09	17,7	17,0	17,3	17,3
25.02	30,3	27,2	-	(28,7)	05.10	13,2	13,8	14,4	13,8
04.03	20,6	20,2	15,2	18,6	13.10	22,1	22,3	18,9	21,1
10.03	7,1	9,9	8,4	8,4	25.10	22,1	21,2	18,2	20,5
18.03	1,6	0,2	0,7	0,8	02.11	24,2	-	24,5	(24,3)
24.03	8,8	5,5	6,1	6,8	09.11	28,2	23,4	26,0	25,8
01.04	6,2	5,1	7,8	6,3	29.11	34,5	28,2	33,9	32,2
07.04	5,9	5,3	4,4	5,2	09.12	42,9	39,6	37,2	39,9
29.04	4,6	5,5	6,8	5,6	15.12	42,3	35,3	34,6	37,4
06.05	5,6	5,4	5,8	5,6	22.12	60,0	44,8	32,6	45,8
14.05	3,9	4,0	4,3	4,0	05.01.78	40,5	41,2	40,1	40,6
27.05	12,5	13,5	14,2	13,4	18.01	50,2	-	-	(50,2)
03.06	14,6	15,1	15,2	14,9	25.01	45,0	46,6	46,4	46,0
09.06	17,9	20,0	22,6	20,1	17.02	46,0	42,6	38,5	42,3
15.06	21,1	-	-	(21,1)	01.03.	43,3	38,7	34,5	39,1
23.06	13,9	13,4	16,1	14,4	13.04	15,6	-	-	(15,6)
01.07	3,2	2,4	3,3	2,9	26.04	14,9	13,1	13,2	13,7
13.07	12,9	13,1	13,0	13,0	05.05	12,6	12,6	8,7	11,3
22.07	14,1	14,2	14,7	14,3	23.05	17,6	-	-	(17,6)
22.07	13,6	13,7	22,0	16,4	06.06	1,8	2,6	5,5	3,3
05.08	2,6	1,3	8,9	4,2	21.06	1,2	1,2	5,5	2,6
12.08	13,8	11,0	9,7	11,5	12.07	4,9	11,2	11,5	9,2
19.08	16,5	16,5	15,2	16,0	27.07	2,1	2,4	5,2	3,2

TABLEAU 9 : PHOSPHATES ($\mu\text{atg P-PO}_4^{3-}/\text{l}$)

Date	0 m	5 m	10 m	Moy.	Date	0 m	5 m	10 m	Moy.
19.01.77	0,92	0,88	-	(0,90)	26.08.	1,4	1,5	1,5	1,46
28.01	0,88	-	-	(0,88)	09.09	2,0	0,9	2,3	1,73
04.02	0,61	0,65	-	(0,63)	20.09	3,1	2,1	2,4	2,53
25.02	0,65	0,41	-	(0,53)	05.10	1,2	1,2	1,5	1,30
04.03	0,31	0,37	0,35	0,34	13.10	1,3	1,3	1,6	1,40
10.03	0,06	0,14	0,25	0,15	25.10	0,8	0,8	1,0	0,86
18.03	0,31	0,04	0,29	0,21	02.11	1,4	-	1,2	(1,30)
24.03	0,21	0,50	0,61	0,44	09.11	1,1	0,6	1,0	0,90
01.04	0,08	0,50	0,50	0,36	29.11	1,2	1,0	1,1	1,10
07.04	1,23	0,15	0,71	0,69	09.12	1,78	3,30	1,21	2,09
29.04	0,22	0,15	0,20	0,19	15.12	1,34	1,63	1,62	1,53
06.05	-	0,26	0,43	(0,34)	22.12	2,64	1,93	2,26	2,27
14.05	0,42	0,30	0,31	0,34	05.01.78	1,51	1,55	1,86	1,64
27.05	1,50	1,49	2,02	1,67	18.01	2,53	-	-	(2,53)
03.06	2,25	2,51	2,49	2,41	25.01	1,39	1,56	1,67	1,54
09.06	2,00	2,26	2,05	2,10	17.02	1,50	1,34	1,10	1,31
15.06	1,72	-	-	(1,72)	01.03	1,17	1,41	1,45	1,34
23.06	0,52	1,12	1,50	1,04	13.04	0,70	-	-	(0,70)
01.07	0,30	0,38	0,28	0,32	26.04	0,49	0,57	0,70	0,58
13.07	1,92	1,28	1,57	1,59	05.05	0,51	0,24	0,47	0,40
22.07	0,53	0,90	0,30	0,57	23.05	0,29	-	-	(0,29)
29.07	1,88	0,86	1,20	1,31	06.06	0,18	0,25	0,46	0,29
05.08	0,40	0,12	1,31	0,61	21.06	0,12	0,26	3,09	1,15
12.08	2,26	1,11	> 3	?	12.07	2,00	2,86	2,40	2,42
19.08	1,02	1,71	> 3	?	27.07	0,57	0,60	1,44	2,61

TABLEAU 10 : NITRITES ($\mu\text{atg N-NO}_2^-/1$)

Date	0 m	5 m	10 m	Moy.	Date	0 m	5 m	10 m	Moy.
19.01.77	7,4	5,9	4,7	6,0	26.08	9,9	9,5	8,7	9,3
28.01	8,9	-	-	(8,9)	09.09	15,5	14,5	12,3	14,1
04.02	9,1	5,0	-	(7,0)	20.09	14,5	15,4	14,9	14,9
25.02	9,3	8,9	-	(9,1)	05.10	11,5	11,7	11,6	11,6
04.03	8,5	8,0	5,8	7,4	13.10	11,8	11,4	8,1	10,4
10.03	8,1	7,5	7,2	7,6	25.10	10,7	9,0	6,8	8,8
18.03	8,2	7,7	6,0	7,3	02.11	12,8	-	12,6	(12,7)
24.03	7,2	6,8	6,1	6,7	09.11	9,3	7,7	8,4	8,4
01.04	8,6	7,9	7,5	8,0	29.11	7,2	5,7	6,8	6,5
07.04	6,9	6,8	6,2	6,6	09.12	9,2	7,4	7,1	7,9
29.04	8,3	8,0	0,6	5,6	15.12	9,2	8,6	6,1	7,9
06.05	7,3	7,4	6,6	7,1	22.12	12,0	9,4	7,4	9,6
14.05	6,3	6,0	5,3	5,8	05.01	12,3	10,5	8,8	10,5
27.05	6,5	6,1	5,5	6,0	18.01	11,3	-	-	(11,3)
03.06	7,7	6,9	6,9	7,1	25.01	10,7	10,5	10,2	10,4
09.06	9,8	8,2	7,3	8,4	17.02	8,8	8,4	7,7	8,3
15.06	10,7	-	-	(10,7)	01.03	8,2	8,1	6,4	7,5
23.06	11,6	11,3	9,4	10,7	13.04	4,3	-	-	(4,3)
01.07	12,2	12,1	12,1	12,1	26.04	4,8	6,5	5,2	5,5
13.07	11,9	11,7	11,4	11,6	05.05	9,5	7,2	5,7	7,4
22.07	12,0	11,9	11,3	11,7	23.05	8,0	-	-	(8,0)
29.07	11,6	11,5	11,1	11,4	06.06	18,4	17,3	16,5	17,4
05.08	11,0	11,2	9,6	10,6	21.06	13,1	14,5	10,0	12,5
12.08	9,5	9,5	8,8	9,2	12.07	6,8	7,8	7,1	7,2
19.08	8,8	8,4	8,0	8,4	27.07	3,9	3,1	2,9	3,3

TABLEAU 11: NITRATES ($\mu\text{atg N-O}_3^-/1$)

Date	0 m	5 m	10 m	Moy.	Date	0 m	5 m	10 m	Moy.
19.01.77	63,2	61,2	-	(62,2)	26.08	17,5	15,4	13,7	15,5
28.01	58,3	-	-	(58,3)	09.09	11,5	19,3	17,4	16,0
04.02	35,7	36,9	-	(36,3)	20.09	21,2	18,6	18,6	19,4
25.02	54,2	51,4	-	(52,8)	05.10	22,3	25,3	23,5	23,7
04.03	53,6	51,2	49,1	51,3	13.10	28,2	30,5	20,8	26,5
10.03	48,9	50,2	49,3	49,4	25.10	20,9	12,1	14,0	15,6
18.03	52,5	51,0	39,6	47,7	02.11	39,6	-	25,5	(32,5)
24.03	64,7	45,4	41,8	50,6	09.11	36,6	47,4	35,4	39,8
01.04	45,6	59,4	51,5	52,1	29.11	34,7	44,8	41,9	40,4
07.04	49,6	46,9	44,9	47,1	09.12	19,8	17,9	18,3	18,6
29.04	40,6	40,5	46,4	42,5	15.12	17,1	12,4	12,6	14,0
06.05	36,3	36,6	32,3	35,0	22.12	23,1	15,5	8,1	15,5
14.05	27,5	25,3	22,0	24,9	05.01.78	6,7	20,0	14,5	13,7
27.05	21,3	20,9	20,2	20,8	18.01	17,8	-	-	(17,8)
03.06	23,1	16,9	16,2	18,7	25.01	18,0	27,1	22,5	22,5
09.06	24,1	22,9	23,1	23,3	17.02	24,5	7,8	7,7	13,3
15.06	24,7	-	-	(24,7)	01.03	22,4	9,4	20,1	17,3
23.06	20,9	12,5	14,2	15,8	13.04	73,7	-	-	(73,7)
01.07	29,3	28,1	25,0	27,4	26.04	56,4	47,0	47,5	50,3
13.07	20,6	18,6	16,1	18,4	05.05	54,2	69,5	35,1	52,9
22.07	26,1	21,7	19,7	22,5	23.05	93,8	-	-	(93,8)
29.07	19,8	18,9	14,3	17,6	06.06	52,8	37,6	38,0	42,8
05.08	25,9	26,1	18,9	23,6	21.06	48,1	61,8	42,2	50,7
12.08	17,9	17,2	20,4	18,5	12.07	52,4	54,4	44,1	50,3
19.08	21,5	18,0	15,5	18,3	27.07	43,0	35,6	30,8	36,4

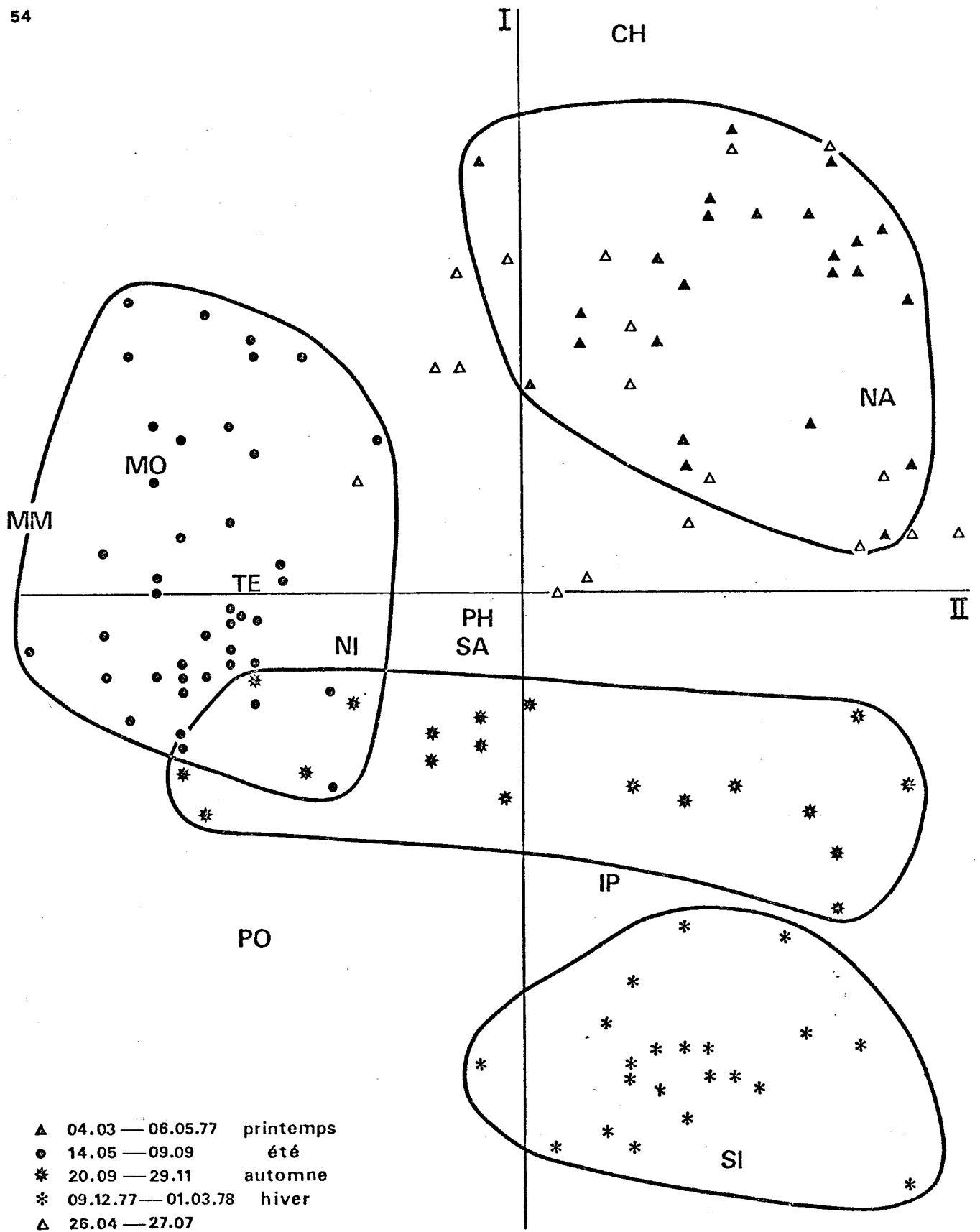


Figure 26 : Cycle hydrologique saisonnier : points prélèvements et points variables.

Afin d'effectuer la synthèse des informations déjà en partie apportées par l'étude séparée de chacun des paramètres hydrobiologiques, nous avons réalisé une analyse mathématique sur les données (analyse des correspondances)*. Ce type d'étude doit permettre de dégager les principales caractéristiques du cycle annuel, tout en précisant l'importance relative des différents paramètres dans cette caractérisation.

Onze paramètres (ou variables) ont été retenus : la température (TE), le pH (PH), la salinité (SA), les nitrites et les nitrates (NI et NA), les phosphates (PO), les matières en suspension, minérales et organiques (MM et MO), et enfin la chlorophylle a (CH) et l'indice pigmentaire (IP). L'oxygène dissous, dont certaines valeurs élevées nous ont paru (peut-être à tort) douteuses, n'a pas été pris en compte dans cette analyse. Ces onze variables ont été mises en correspondance avec 123 observations. Celles-ci correspondent aux 3 niveaux de profondeur analysés sur 41 prélèvements, répartis du 04.03.77 au 27.07.78 (station E). Le nombre des variables et des observations est suffisamment restreint pour que leurs points représentatifs puissent figurer sur un même graphique sans trop l'alourdir (Fig. 26). Cependant, pour simplifier l'interprétation initiale, chaque prélèvement a été visualisé par le barycentre des trois points représentant les trois niveaux de profondeur (Fig. 28). Chaque prélèvement est numéroté de 1 à 41 par ordre chronologique (Fig. 27) pour permettre de suivre l'évolution du cycle.

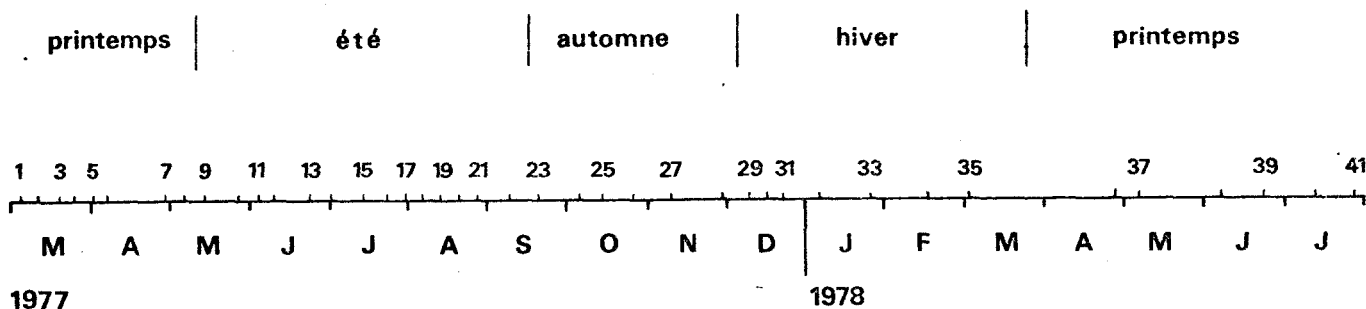
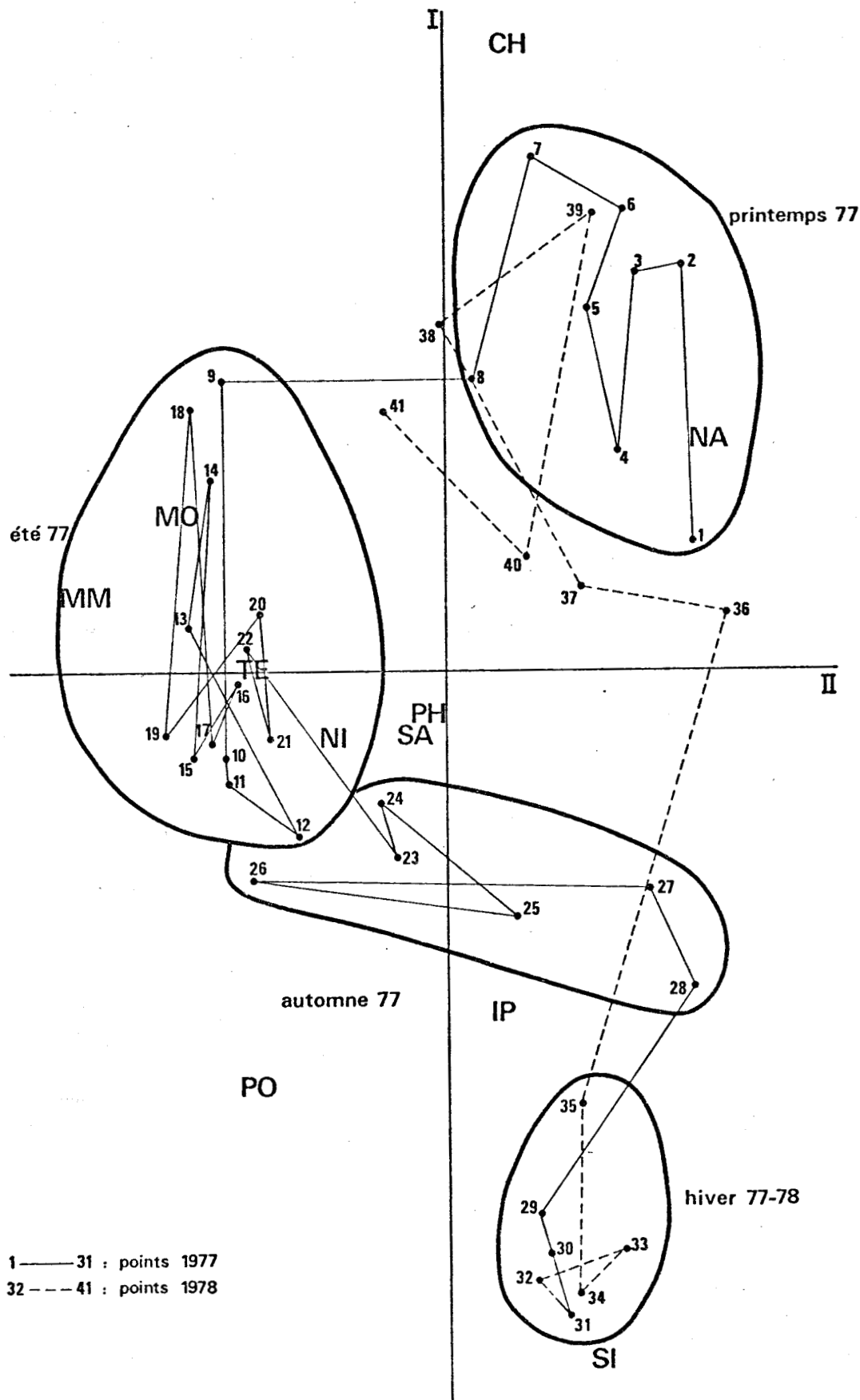


Figure 27 : Numérotation des prélèvements d'hydrologie utilisés dans l'analyse des correspondances .

* Les calculs ont été réalisés au Centre Interuniversitaire de Traitement de l'Information (Université de Lille I - programme TABET) .

Je remercie Madame REMY, ingénieur au C.I.T.I. et A. SOUPLLET, chercheur CNEXO , qui ont bien voulu m'initier à la programmation des données et à l'interprétation des sorties d'ordinateur .



1 — 31 : points 1977
 32 - - - 41 : points 1978



Figure 26 : Cycle hydrologique saisonnier : points prélèvements (évolution) et points variables.

Le plan défini par les deux premiers axes rend compte de 77,8 % de l'inertie de l'ensemble des points, ce qui est considérable (1e axe : 58,0 % - 2e axe : 18,9 % cf. tableau 12). De ce fait, on peut considérer que ce plan suffit à lui seul pour mettre en évidence l'évolution au cours du temps des caractéristiques hydrobiologiques de la station E.

Variables	CH	SI	NA	MM	TE	MO	IP	PO	NI	SA	PH
Axe I	34,6	50,1	8,8	0,4	0,0	0,7	3,0	1,3	0,3	0,8	0,1
Axe II	1,3	8,4	36,8	30,5	11,8	7,2	0,2	0,9	2,0	0,8	0,1

Tableau 12 : Contribution relative (%) des différentes variables à la détermination des axes I et II.

II.9.1 Le cycle 1977

On peut distinguer plusieurs groupes de points, plus ou moins bien délimités. (Fig. 28) et représentatifs d'un cycle de quatre saisons hydrologiques :

- Un premier groupe de valeurs (1 à 8), positives sur l'axe I et sur l'axe II, est caractérisé par une forte abondance en chlorophylle a et en nitrates et de faibles valeurs en phosphates : ce sont les prélèvements du printemps 1977 (04 mars au 06 mai).

- Un deuxième groupe, dont les valeurs sont toutes négatives sur l'axe II (9 à 22), est marqué par une température élevée et surtout (Tableau 12) par une quantité importante de matières en suspension et moins de nitrates. Ce sont les prélèvements d'été (14 mai au 09 septembre).

- Une troisième série de points, mal groupés (23 à 28), correspond à l'automne (20 septembre au 29 novembre) et fait la transition avec le groupe suivant.

- Les points 29 à 35 sont très groupés et représentent les prélèvements d'hiver (09 décembre 1977 au 01 mars 1978). Très pauvres en phytoplancton, ils sont très riches en silicates.

Outre une synthèse des informations, cette analyse met en évidence une opposition entre d'une part l'été et l'hiver, et d'autre part le printemps et l'automne. En effet, l'été et surtout l'hiver 1977 sont caractérisés par une grande stabilité (points groupés), alors que le printemps et surtout l'automne accusent le caractère évolutif des saisons de transition (espacement des points).

Quelques prélèvements présentent des particularités dans le groupe estival. Par exemple, le numéro 9 (14.05.77) possède la plupart des caractéristiques du groupe printanier, mais s'en démarque par une très forte turbidité (accidentelle ?) qui explique sa position négative par rapport à l'axe II et sa position intermédiaire entre le printemps et l'été. Les prélèvements 14 et 18 (01.07 et 05.08.77) correspondent à une diminution importante mais très temporaire des silicates due à des pics accessoires de phytoplancton (Fig. 9a et 18). Le numéro 12 (09.06.77) se différencie légèrement de ses voisins et correspond à un maximum accessoire des silicates.

L'automne est surtout marqué par une évolution des différents paramètres analysés. Ainsi, une augmentation lente des silicates et une stabilisation de la quantité de chlorophylle a expliquent la position du nuage de points, presque perpendiculaire à l'axe I, qui est défini principalement par ces 2 facteurs (à 84,7 %). L'étirement selon l'axe II marque surtout le pic accessoire des nitrates qui se développe d'octobre à novembre (interrompu le 25 octobre : n° 26), la fin des fortes turbidités et, dans une moindre mesure, la baisse de température.

II.9.2 Comparaison entre les années 1977 et 1978

Bien que moins nombreux et réalisés selon une maille temporelle plus lâche, les prélèvements de 1978 ont également été pris en compte dans les calculs. On observe sur la figure 28 le décalage qui existe entre les 2 années : le point n° 35 (01.03.78), qui se détache légèrement du groupe hivernal, est en retard sur le point n° 1 (03.03.77) qui était lui, déjà situé au printemps. Il existe ensuite un "trou" entre les points n° 35 et 36 qui provient de l'absence de prélèvements pendant une période relativement longue (55 jours). Les points 36 à 41, correspondant au reste de l'étude, restent tous relativement groupés avec les points 1 à 8 (en "position de printemps") alors que les derniers d'entre eux sont des prélèvements d'été (juillet). Cette période possède

en effet les caractéristiques du printemps 1977 : les fortes valeurs de phytoplancton et de nitrates se maintiennent beaucoup plus longtemps que l'année précédente (Fig. 9a et 21). D'autre part les quantités de matières en suspension y sont moins abondantes (Fig. 15). La localisation des points 39 et 40 sur le côté positif de l'axe II rappelle la contribution non primordiale que prend la température dans la détermination de cet axe (11,8 %) par rapport aux deux autres facteurs précités (NA : 36,8 % et MM : 30,5 %).

Le décalage entre les deux années est bien mis en évidence si l'on découpe artificiellement les saisons 1978 selon le modèle des dates 1977 et que l'on compare les figures 26 et 29.

II.9.3. Les variables "non saisonnières"

Les 5 dernières variables du tableau 12 n'entrent que pour une part infime dans la structuration du nuage de l'ensemble de points.

Les phosphates, abondants presque toute l'année, ne "se situent" par rapport au cycle annuel que par leur opposition au phytoplancton, qui en épuise les réserves au printemps.

Il est par ailleurs à priori curieux de noter que la salinité (et le pH) ne participe que pour très peu à la caractérisation d'un cycle hydrologique en milieu côtier. Ce phénomène est dû aux relations artificielles liant les différentes masses d'eaux douces (canal), marines (Mer du Nord) et dessalées (port). Les oscillations de période mensuelle et d'amplitude relativement importante au printemps 1977 n'ont en effet rien de naturel puisque contrôlées par les éclusées (Fig. 8). De même les fortes arrivées d'eau douce au printemps 1978 n'ont pu se diluer librement en Mer du Nord comme cela se produit au niveau d'un estuaire normal.

II.9.4 Hétérogénéité du milieu

La figure 30 met en évidence l'hétérogénéité verticale de chaque prélèvement (seuls les plus caractéristiques sont représentés). On peut noter cependant que les différences entre niveaux d'un même prélèvement n'affectent pas les séparations entre les saisons définies auparavant. Comme à Gravelines (CHARDY et Coll., 1977), et malgré une hétérogénéité verticale beaucoup plus importante, la discrimination des saisons est donc d'une ampleur supérieure à celle relevée entre les différents niveaux de profondeur.

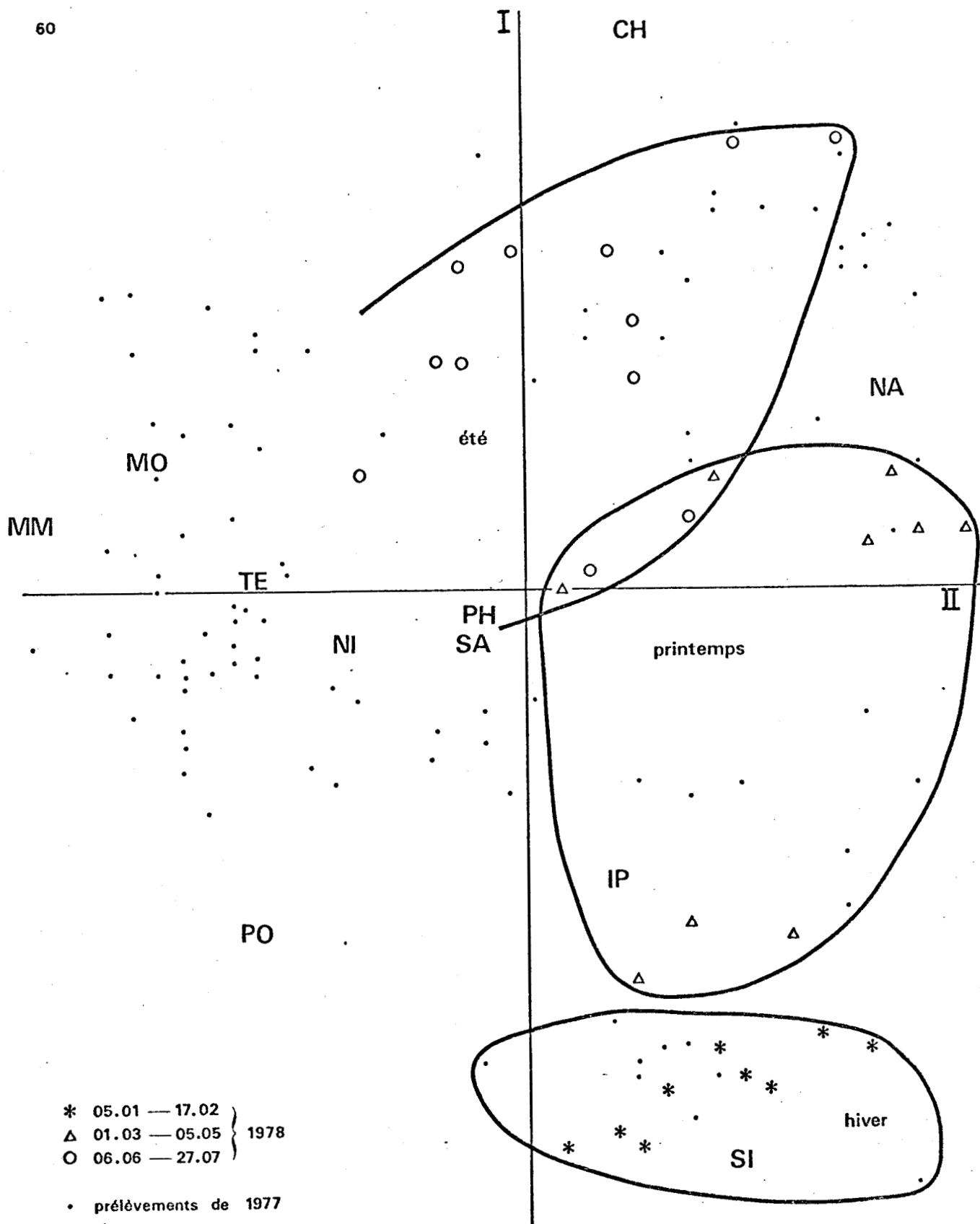


Figure 29 : Cycle hydrologique : année 1978.

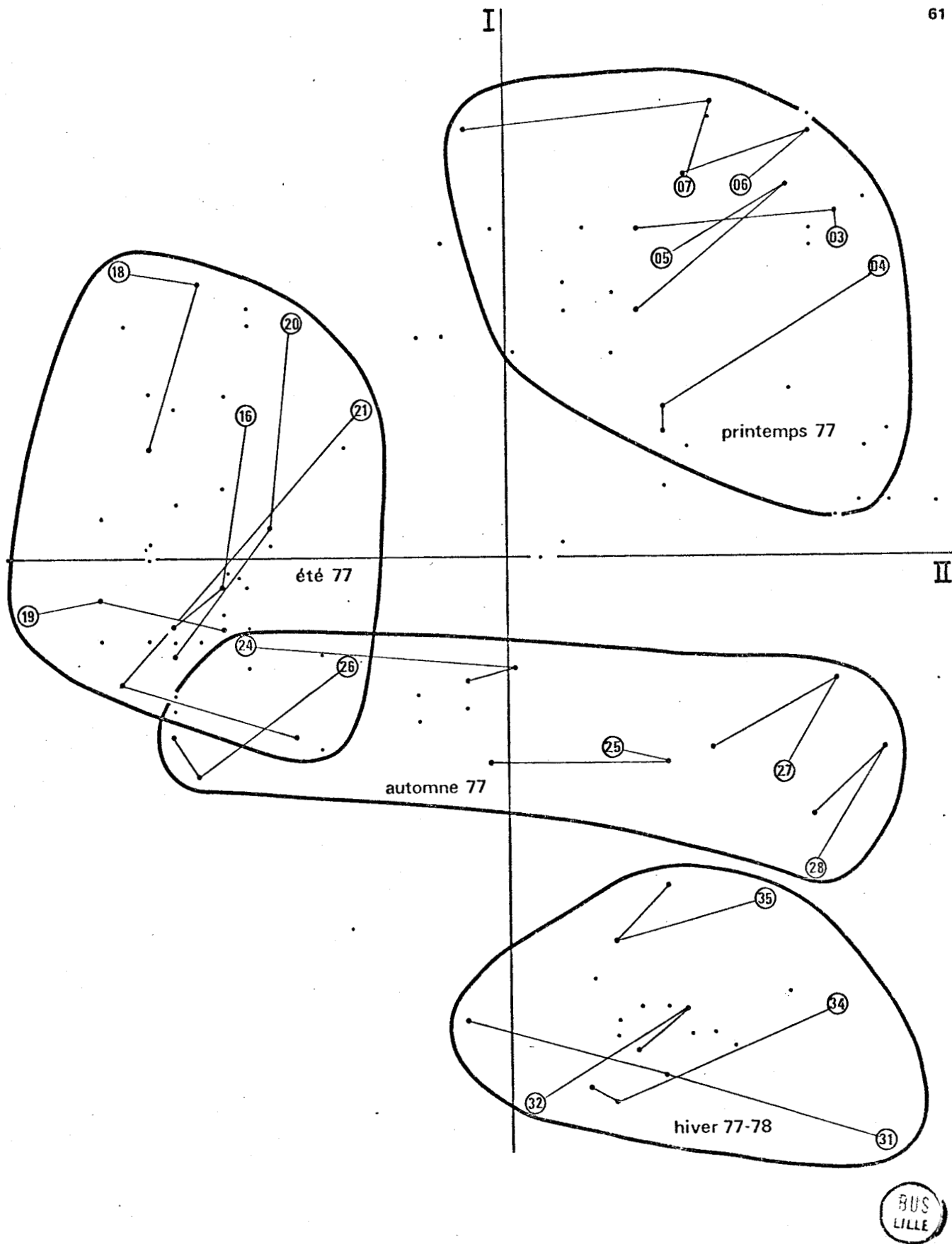


Figure 30 : Cycle hydrologique : hétérogénéité des points prélèvements.

III - CONCLUSION

Avec des températures moyennes assez élevées pour la région et une hétérogénéité spatiale très marquée, les eaux du port de Dunkerque sont caractérisées par leur grande richesse en sels nutritifs, favorisant un développement important du phytoplancton au printemps.

On notera malgré cela que les quantités de chlorophylle a ne sont pas toujours aussi importantes que ce que l'on pourrait attendre.

Le rapport entre les sels nutritifs déterminé par RICHARDS (1958, *in* BOUGARD et coll., 1978) pour les eaux océaniques est, pour les nitrates et les phosphates, de $\text{NO}_3/\text{PO}_3 = 16/1$. En général, ce rapport tend à diminuer dans les milieux côtiers eutrophes et les milieux portuaires soumis aux apports des détergents phosphatés d'origine urbaine ou industrielle.

Souvent inférieur à 1/1 dans le port de Marseille (PATRITI, 1976), il varie entre 0,3/1 et 14,6/1 à l'embouchure du Rhône (BENON et Coll., 1977) et entre 0,6/1 et 22,7/1 à Gravelines (BOUGARD, 1977). A Dunkerque, ce rapport $\text{N-NO}_3/\text{P-PO}_3$ ne descend pas en dessous de 6/1 et est par contre souvent supérieur à 100/1 (maximum observé supérieur à 1000/1 !). L'essentiel des produits phosphatés en provenance de l'agglomération Dunkerquoise débouche directement dans l'avant port Est par le canal exutoire des wateringues (Fig. 3) et subissent une certaine dilution avant d'entrer par les écluses, dans le bassin d'évitage, où ils sont sous-représentés par rapport aux différentes formes d'azote. Il se peut que cette forte dystrophie influe de façon négative sur le développement du phytoplancton.

CHAPITRE II

LE ZOOPLANCTON

VARIATIONS SAISONNIÈRES ET RELATIONS AVEC LE MILIEU

I - METHODES D'ETUDE

La station régulièrement prospectée est la station E, près de l'écluse Ch. de Gaulle (Fig. 3). Les prélèvements de zooplancton sont effectués par traits obliques fond/surface avec un filet WP2 normalisé (U.N.E.S.C.O., 1968) dont le maillage est de 207 μ . Le volume d'eau filtré est contrôlé par un débitmètre installé à l'entrée du filet. Après fixation au formol (10 %), le tri est fait au laboratoire sous la loupe binoculaire. Les comptages sont réalisés soit sur l'échantillon total, soit, le plus souvent, sur des sous-échantillons lorsque la quantité de plancton récolté est importante. Deux méthodes de sous-échantillonnage ont été employées : dans une première phase de l'étude nous avons utilisé la "méthode des surfaces" préconisée par BOURDILLON (1971), puis, à partir de mai 1978, nous avons fractionné nos échantillons à l'aide d'une boîte de MOTODA, cette dernière méthode s'étant révélée d'un usage plus pratique.

Des prélèvements complémentaires ont pu être effectués près de la station de pompage E.D.F. (P) ou dans les rejets (R), soit à l'aide d'un petit filet de maillage 200 μ (prélèvements qualitatifs), soit à la pompe électrique immergée (prélèvements quantitatifs - filtration sur soie de 200 μ).

Les données chiffrées présentées dans ce document correspondent, sauf autre indication, à des nombres d'individus pour 10 m³.

II - RESULTATS

II.1 LISTE FAUNISTIQUE DES ESPECES RECOLTEES

Les abréviations en lettres capitales indiquent les espèces et la nomenclature utilisées dans l'analyse des correspondances (p.107)

CNIDAIRES

Hydrozoaires :

Tubularia larynx (Ellis et Solander, 1786) : larves *Actinula*

Hybocodon prolifer (Agassiz, 1862)

Sarsia tubulosa (M. Sars, 1835)

Sarsia prolifera (Forbes, 1848)

- Rathkea octopunctata* (M. Sars, 1835)
XXX Genre indéterminé
Phialidium hemisphaericum (Gronovius, 1760)
OBE *Obelia* sp.
Eucheilota maculata (Hartlaub, 1894)

SCY Scyphozoaires :

- Rhizostoma octopus* (Linné, 1788)
Ephyrules

Anthozoaires :

- Cerinules

CTENAIRES

- Pleurobrachia pileus* (O.F. Müller, 1776)
Beroe cucumis (Fabricius, 1780)

ANNELIDES (A : adultes, N : stade nectochète)

Larves Trochophores et Metatrochophores

- Aphroditidae* : N
Phyllodoceidae : N
Hesionidae : *Magalia perarmata* A (Marion et Bobretzky, 1875)
Syllidae : *Autolytus* sp.
Nereidae : N
SPI *Spionidae* *Nerine* sp. N
Polydora ciliata N (Johnston, 1838)
Spiophanes bombyx N (Claparède, 1870)
Arenicolidae *Arenicola marina* N (Linné, 1758)
TER *Terebellidae* *Lanice conchilega* N (Pallas, 1766)
Amphictenidae *Lagis koreni* N (Malmgren, 1866)

MOLLUSQUES

- GAS Gastéropodes : *Littorina littorea* (Linné, 1758), oeufs et
larves véligères
BIV Lamellibranches : *Mytilus edulis* (Linné, 1758), véligères

CHAETOGNATHES

- SSE *Sagitta setosa* (J. MÜLLER, 1847)

BRYOZOAIRES

BRY Larves Cyphonautes

ARTHROPODES

Acariens : indét.

Pycnogonides : indét.

Crustacés

- PPO Cladocères : *Podon polyphemoïdes* (Leuckart, 1859)
Bosmina sp.
- Copépodes *Calanus helgolandicus* (Claus, 1863)
- PPA *Paracalanus parvus* (Claus, 1863)
- PEL *Pseudocalanus elongatus* (Boeck, 1872)
- TLO *Temora longicornis* (O.F. Müller, 1792)
- EHI *Eurytemora hirundoïdes* (Nordquist, 1888)
- CHA *Centropages hamatus* (Lilljeborg, 1853)
- ICL *Isias clavipes* (Boeck, 1864)
Parapontella brevicornis (Lubbock, 1857)
- ACL *Acartia clausi* (Giesbrecht, 1889)
- ADI *Acartia discaudata* (Giesbrecht, 1881)
- ABI *Acartia bifilosa* (Giesbrecht, 1881)
- ATO *Acartia tonsa* (Dana, 1848)
- EAC *Euterpina acutifrons* (Dana, 1848)
Peltidium sp.
Tegastes sp.
- HXX autres Harpacticoïdes (indét.)
- CLI *Cyclopina littoralis* (Brady, 1872)
- CDI *Cyclopina dilatata* (G.O. Sars, 1921)
Corycaeus anglicus (Lubbock, 1855)
Lerneæ branchialis (Linné, 1767)
- CIR Cirripèdes : *Balanus crenatus* (Brugguière, 1789) , *Nauplii* et
Cypris
Lepas anatifera (Linné, 1767) , *Nauplii*
- Mysidacés : *Schistomysis spiritus* (Norman, 1860)
Mesopodopsis slabberi (Van Beneden, 1861)
- Cumacés : *Pseudocuma longicornis* (Spence Bate, 1858)
Juvéniles indét.

- Isopodes : larves d'épicarides
- Amphipodes : *Jassa falcata* (Montagu, 1808)
Caprella sp.
Divers indét.
- Décapodes : *Crangon crangon* (Linné, 1758), zoés
Palaemon serratus (Pennant, 1777), zoés
Pagurus bernhardus (Linné, 1758)
Ebalia sp.
Macropipus sp., zoés et mégalopes
- CMA *Carcinus maenas* (Linné, 1758), zoés et mégalopes

ECHINODERMES

- ARU *Asterias rubens* (Linné, 1758) , larves *Bipinnaria* et *Brachiolaria*
- Echinopluteus*
- Ophiopluteus*

TUNICIERS

- CIN *Ciona intestinalis* (Linné, 1767), larves tétards
- AAS *Ascidiella aspersa* (O.F. Müller, 1776), larves tétards
- ODI *Oikopleura dioica* (Fol, 1872)

VERTEBRES

Oeufs et alevins de poissons, indét.

II.2 LES CNIDAIRES (Tableau 13)

II.2.1 Les Hydrozoaires

II.2.1.1. *Obelia* sp.
.....

Cette méduse apparaît à la fin du mois de février (Fig. 31) et présente un maximum le 10 mars (345). Les effectifs sont ensuite relativement stables jusqu'en juillet (entre 30 et 88) puis plus irréguliers jusqu'à la fin octobre où *Obelia* disparaît. Elle réapparaît en 1978 avec un mois de retard sur l'année précédente, probablement en raison du retard thermique ($T^{\circ} \approx 10^{\circ} C$). A Gravelines, le cycle 1975 est comparable

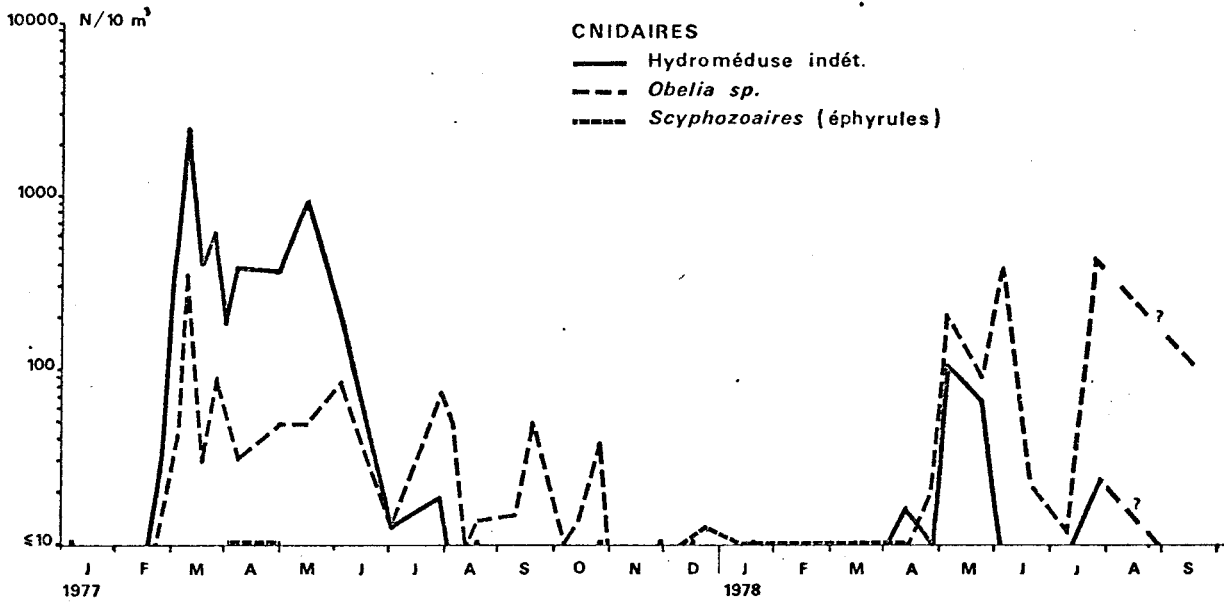


Fig. 31 - Variations saisonnières chez les Cnidaires



(abondance au printemps et en été) mais *Obelia* apparaît à une température inférieure à 10° C : l'arrivée de cette méduse dans le plancton ne semble donc pas liée directement à la température.

II.2.1.2. Hydroméduse indéterminée

Cette méduse n'a pu encore être déterminée en raison de sa très petite taille (≈ 1 mm) et de sa forme peu évoluée (juvénile ?). Elle apparaît dans le plancton fin février et, après un pic d'abondance le 10 mars (2 400), reste assez abondante jusqu'en juin (Fig. 31). Elle se raréfie en juillet et n'est récoltée que de façon très sporadique pendant le reste de l'année. En 1978, comme pour *Obelia*, son apparition est retardée et son abondance est beaucoup plus faible (maximum 108, le 05 mai). Cette différence peut être due à la méthode du prélèvement : jusqu'en juillet 1977 le filet longeait le quai (lieu d'émission des jeunes méduses ?), alors que par la suite le filet était traîné plus au large.

II.2.1.3. Les autres espèces

Elles sont rares (cf. liste systématique) et n'apparaissent que de façon isolée dans les prélèvements.

II.2.2. Les Scyphozoaires

Les éphyrules des méduses Acalèphes sont récoltées de décembre à avril mais toujours en petit nombre (< 3). (Fig. 31).

II.2.3. Les Anthozoaires

Les larves cerinules sont récoltées de janvier à avril (< 15).

II.3 LES CTENAIRES

Pleurobrachia pileus est mal échantillonné par le filet WP2. Les récoltes que l'on peut faire sur les grilles rotatives de la station de pompage E.D.F. montrent cependant qu'il peut être abondant au printemps.

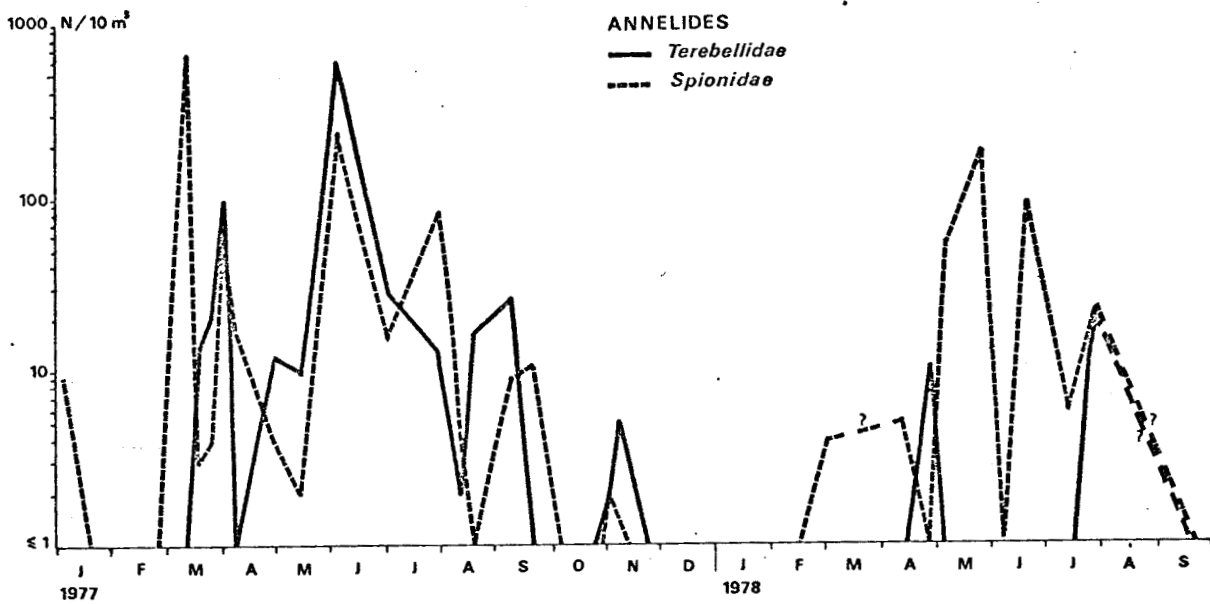


Fig. 32 - Variations saisonnières chez les Annélides



II.4 LES ANNELIDES (larves nectochètes)

De nombreux groupes sont représentés (cf. liste systématique) mais deux d'entre eux seulement ont une importance notable (Tableau 13 Fig. 32).

II.4.1 Les Terebellidae

Ils sont représentés par une espèce unique : *Lanice conchilega*. Ils apparaissent en mars pour atteindre un premier maximum le 01 avril (97), un second maximum important le 03 juin (617), et un troisième plus faible le 09 septembre (27). Rare en novembre, l'espèce est absente dans nos récoltes en hiver. En 1978 cette espèce a été très rarement récoltée. A Gravelines *Lanice conchilega* est présent toute l'année et la période d'abondance est aussi printanière.

II.4.2. Les Spionidae

La famille des *Spionidae* présente 5 maximums d'abondance répartis de mars à octobre, mais une interprétation n'est actuellement guère possible car plusieurs espèces ont été comptabilisées simultanément.

II.5 LES MOLLUSQUES (larves véligères)(Tableau 13)

Nous avons séparé les larves véligères des Gastéropodes et des Lamellibranches mais sans pousser plus loin la détermination.

II.5.1. Les Gastéropodes

La présence exclusive sur le rivage de *Littorina littorea* et de ses oeufs dans le plancton, permet de penser que cette espèce fournit une grande part des stades véligères de Gastéropodes comptabilisés (Fig. 33). Les larves apparaissent à la mi-mars et présentent quatre maximums : le 01 avril (90), le 03 juin (745), le 05 août (688), et le 13 octobre (98). Tous coïncident avec une apparition des oeufs dans le plancton. Les effectifs se réduisent ensuite rapidement dès le mois de novembre pour atteindre des valeurs très faibles en décembre. En 1978, le retard dans le développement des véligères est compensé par un maximum très important au début du mois de juin (3 823).

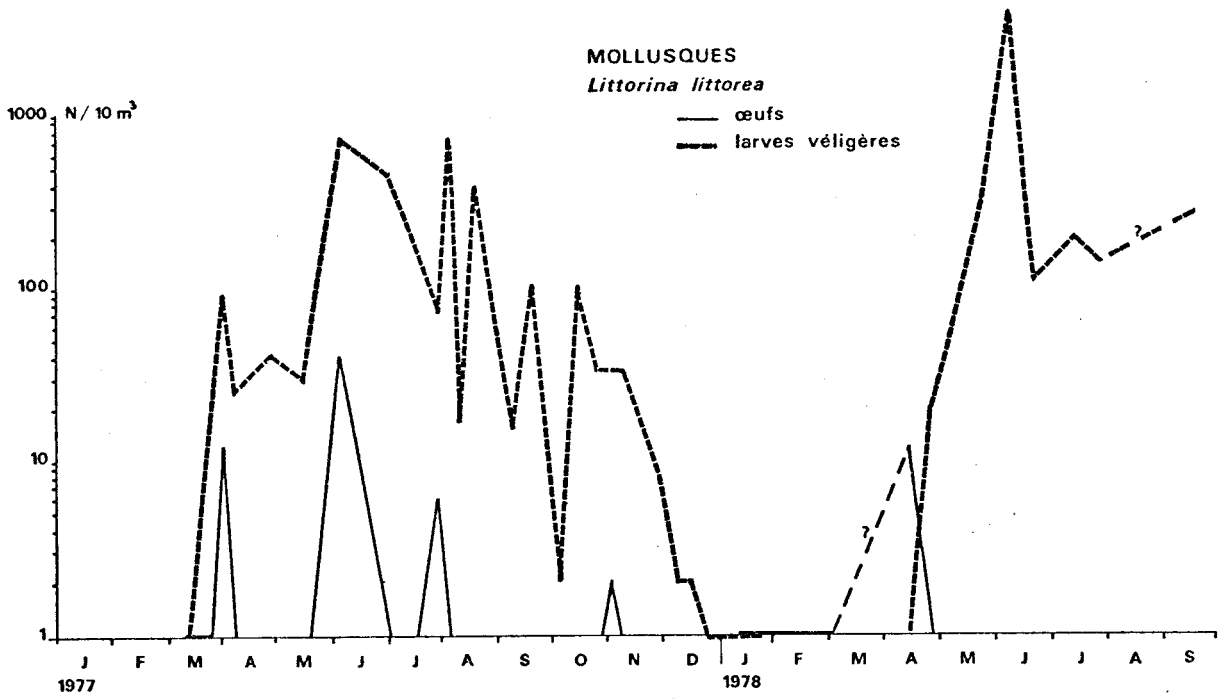


Fig. 33 - Variations saisonnières chez les Mollusques Gastéropodes

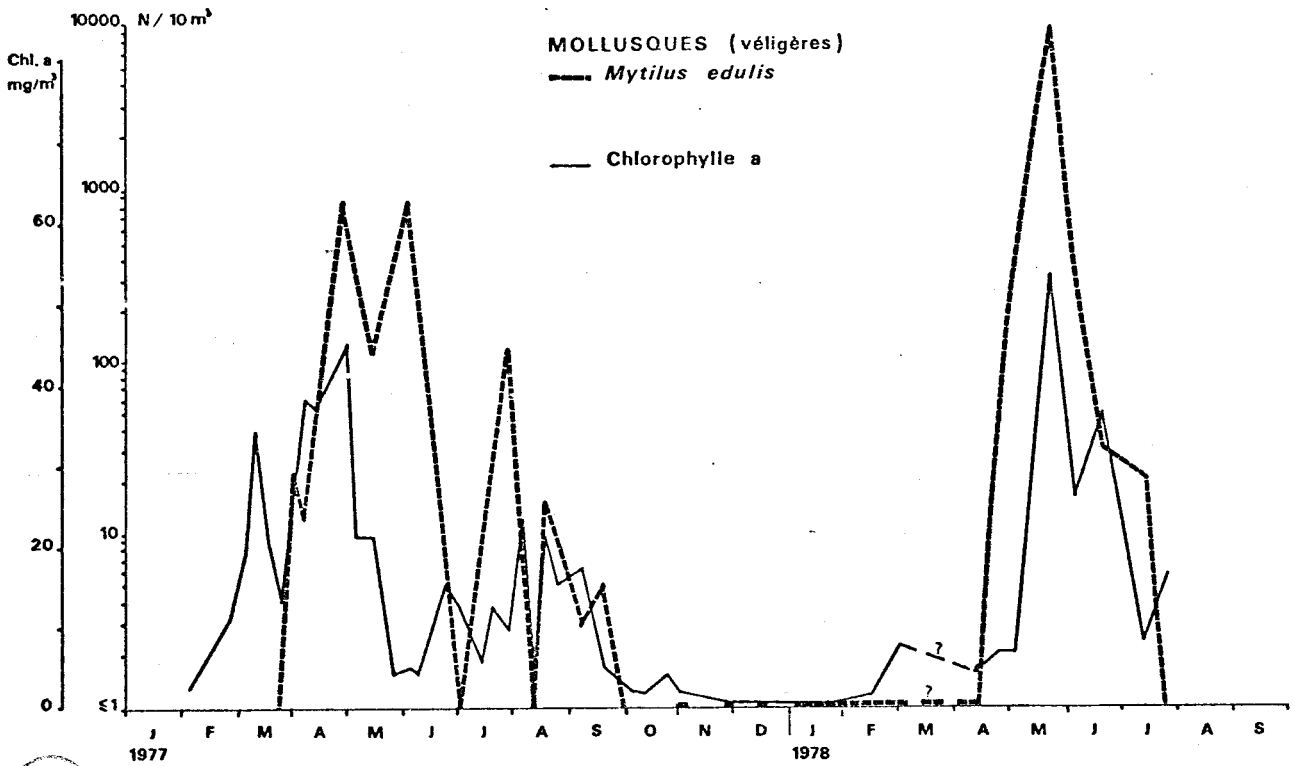


Fig. 34 - Variations saisonnières chez les Mollusques Lamellibranches



II.5.2. Les Lamellibranches

Les véligères de lamellibranches appartiennent probablement en grande majorité aux moules (*Mytilus edulis*) qui peuplent les installations de pompage E.D.F. et les quais des bassins à flot. Cependant une prospection des plages (et du fond vaseux ?) du port pourrait révéler la présence d'autres espèces de bivalves. Les véligères apparaissent fin mars pour atteindre deux maximums les 29 avril (810) et 03 juin (851) (Fig. 34). La quantité d'individus diminue ensuite rapidement dès le mois d'août (< 25) et devient nulle en octobre. Il est probable cependant qu'en raison de la petite taille des véligères les comptages soient sous-estimés, certains individus ayant pu échapper à l'observation dans des prélèvements encombrés de débris.

II.6 LES CHAETOGNATHES

Sagitta setosa est la seule espèce recensée dans le port. Sa période de relative abondance dure de la fin juillet à la fin octobre avec un maximum en septembre (37). Quelques exemplaires isolés sont encore récoltés jusqu'en janvier (Tableau 13). Cette espèce carnivore se trouve en fin de chaîne trophique zooplanctonique mais son intervention dans l'écosystème doit être relativement limitée dans le port de Dunkerque. Elle est en effet peu abondante par rapport à ce qu'on observe à Boulogne-sur-mer (2 300) ou Gravelines (1 600).

II.7 LES BRYOZOAIRES

Les larves cyphonautes apparaissent en faibles quantités à des périodes de l'année plus ou moins bien déterminées, avec une préférence pour l'été (Tableau 13).

II.8 LES CRUSTACES

II.8.1 Les cladocères

II.8.1.1. *Podon polyphemoïdes*

Seule cette espèce de petite taille, a été récoltée en grand nombre (Tableau 13). Absente jusqu'en avril, elle atteint son maximum

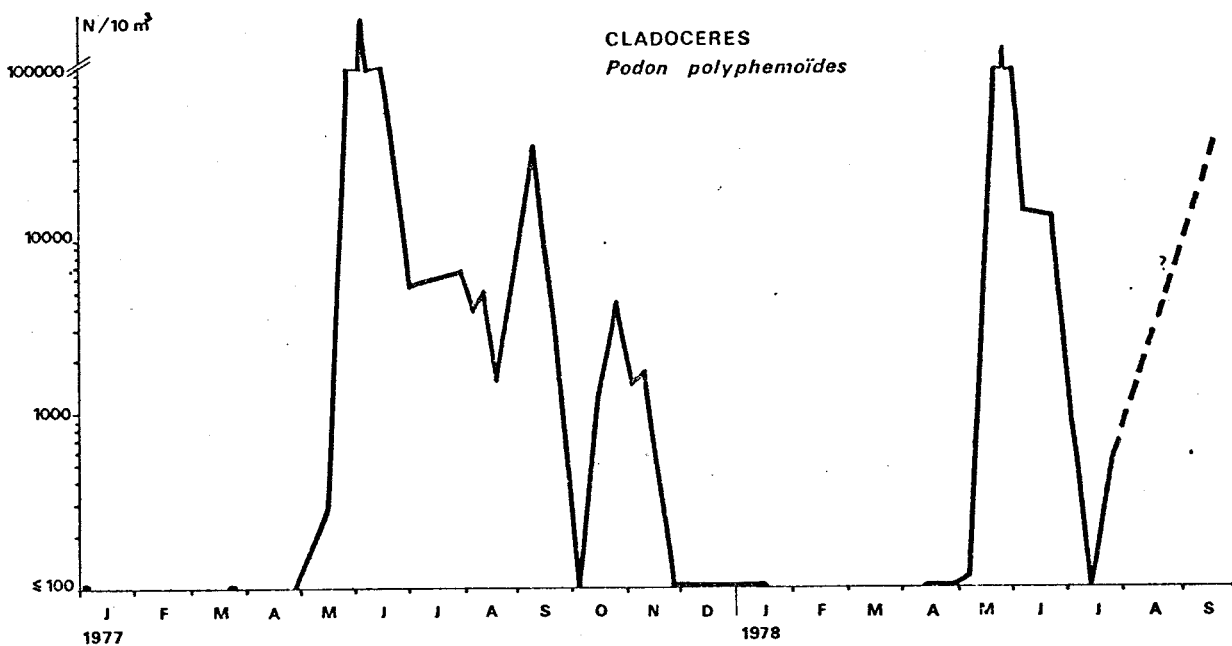


Fig. 35 - Variations saisonnières chez les Cladocères

d'abondance le 03 juin 1977 (1 400 000). Trois maximums se succèdent ensuite (Fig. 35) en juillet (6 585), septembre (35 439) et octobre (4 211). En novembre les effectifs s'effondrent brusquement, et on ne trouve plus que de rares individus en décembre. En 1978 *Podon polyphemoides* réapparaît en avril pour atteindre, après une croissance très rapide, un maximum important le 23 mai (655 360). Puis, comme en 1977, après des valeurs plus faibles en juillet (et août ?), une seconde période d'abondance est observée en septembre (41 143).

Cette espèce qui est pratiquement la seule récoltée dans le bassin d'évitage, est très rare à Boulogne-sur-mer (BRYLINSKI, 1975) et n'a pas été recensée à Gravelines où elle est remplacée par d'autres espèces ou genres peu abondants. A Dunkerque son importance est considérable puisqu'elle peut représenter jusqu'à plus de 90 % du plancton total (Tableau 14, Fig. 36).

Contrairement aux autres espèces du zooplancton du port, *Podon polyphemoides* se localise surtout dans les premiers mètres sous la surface. Cette répartition habituelle peut être perturbée lorsque les eaux sont agitées et que les turbulences surpassent leurs possibilités de natation (BOSCH et TAYLOR, 1973 - BENON, 1977).

II.8.1.2. *Bosmina maritima*
.....

Cette espèce a été récoltée dans un prélèvement isolé réalisé au milieu du bassin minéralier le 27.07.78, en face de USINOR (température et salinité de surface : 19,45° C et 30,37 ‰). Courante en Mer du Nord et Mer Baltique (RAMMNER, 1939), elle caractériserait les eaux à faible salinité. Un exemplaire isolé a été trouvé en février 1975 sur le site de Gravelines, au débouché de l'Aa. (S°/oo : 27,4 ‰ - TOULARASTEL, 1976). Sa présence dans le bassin minéralier, dont la salinité est abaissée par les apports du canal de Bourbourg, pourrait être courante.

II.8.2. Les Copépodes (Fig. 37, Tableau 15)

II.8.2.1. Variations annuelles de la population globale
.....
des copépodes
.....

Dans cette étude les comptages ne concernent que les stades copépodites et adultes, les stades plus jeunes (*nauplius*) n'étant pas pêchés par le filet utilisé en raison de leur petite taille.

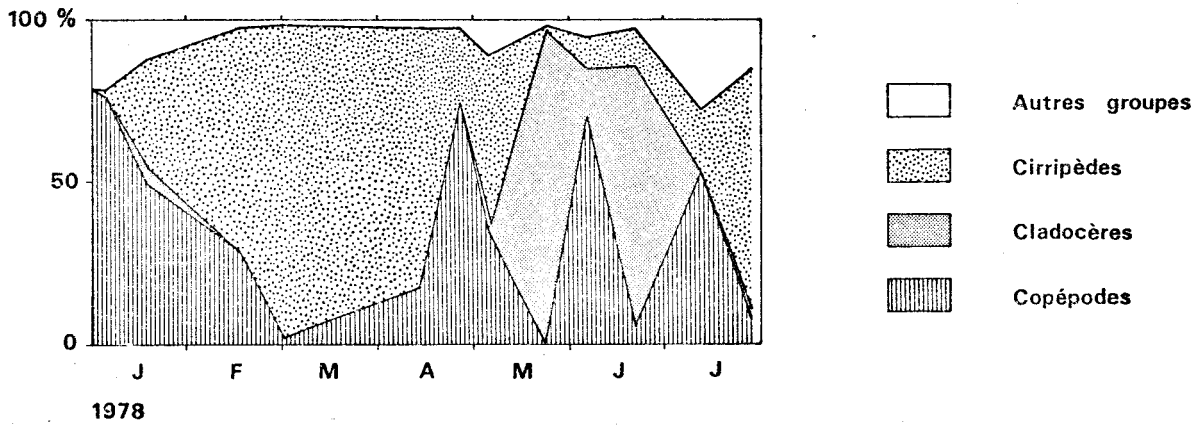
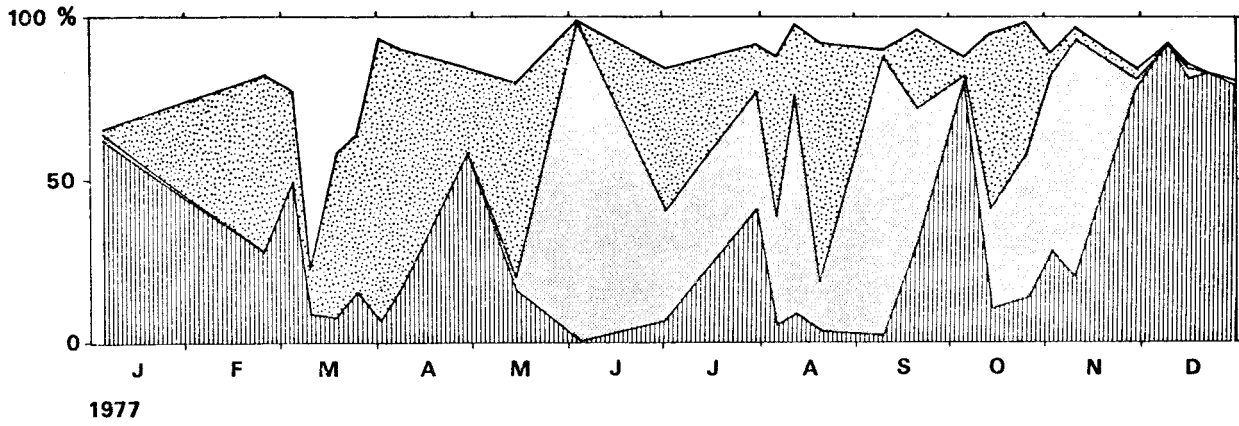


Fig. 36 : Dominance des principaux groupes du zooplancton



TABLEAU 14 : IMPORTANCE RELATIVE DES PRINCIPAUX GROUPES DU ZOOPLANCTON (%)

Date	CNIDAIRES	ANNELIDES	MOLLUSQUES	CHAETOGNATHES	BRYOZAIRES	CLADOCERES	COPEPODES	CIRRIPEDES	DECAPODES	ECHINODERMES	TUNICIERES
04.01.77	1,91	3,45	-	13,79	-	1,15	63,23	1,53	12,26	-	2,68
25.02	7,63	-	-	-	-	-	28,32	54,90	0,44	2,83	5,88
04.03	15,62	1,17	-	-	-	-	49,77	28,53	1,29	1,36	2,26
10.03	63,71	4,13	+	-	0,32	-	9,10	14,34	1,92	-	6,38
18.03	34,30	1,37	0,32	-	0,24	-	7,97	51,14	0,64	1,93	2,09
24.03	27,59	1,00	0,92	-	-	-	16,02	48,84	0,34	2,30	2,99
01.04	2,28	1,57	1,11	-	0,01	-	7,22	86,85	0,28	0,19	0,49
07.04	6,45	0,56	0,57	-	-	+	16,33	75,10	0,28	0,09	0,62
29.04	4,56	0,17	9,10	-	-	0,35	57,96	26,77	0,48	0,09	0,52
14.05	15,07	0,26	2,13	-	0,61	4,56	15,97	60,33	+	0,77	0,30
03.06	0,02	0,06	0,11	-	+	98,21	0,24	1,29	+	-	0,07
01.07	0,04	0,28	2,78	+	0,05	33,73	7,50	43,79	0,09	0,02	11,72
29.07	0,53	0,53	1,04	0,07	0,21	35,94	42,36	14,26	0,03	-	5,03
05.08	0,41	0,29	5,89	0,04	0,12	33,53	5,79	49,58	0,20	-	4,15
11.08	+	0,10	0,22	0,17	+	66,20	10,26	22,40	0,26	-	0,39
19.08	0,22	0,16	3,41	0,31	0,01	15,18	4,10	73,55	0,36	-	2,70
09.09	0,04	0,10	0,04	0,09	0,01	85,80	2,10	11,20	0,04	-	0,58
20.09	0,46	0,20	0,98	0,15	0,10	40,24	31,94	24,12	0,15	-	1,66
05.10	+	0,19	0,05	+	-	0,65	81,38	6,38	-	-	11,35
13.10	0,10	+	2,37	0,07	-	30,72	10,35	54,53	-	-	1,86
25.10	0,40	+	0,36	0,2	+	43,78	14,74	39,53	-	-	0,99
02.11	0,36	0,14	1,15	+	0,36	54,11	28,17	7,46	-	-	8,25
09.11	-	0,26	1,42	+	0,04	73,12	20,00	4,69	0,04	-	0,43
29.11	+	-	3,59	-	+	2,69	78,92	2,69	0,45	-	11,66
09.12	+	-	1,65	+	-	+	92,57	-	+	-	5,78
15.12	0,97	+	1,94	0,97	-	2,91	81,56	0,97	+	-	10,68
22.12	5,17	1,72	+	1,72	+	+	82,77	-	3,45	-	5,17
05.01.78	1,89	-	+	+	+	+	77,36	1,89	13,20	-	5,66
18.01	+	+	+	+	1,05	5,26	50,53	32,64	8,42	-	2,10
17.02	0,14	0,14	0,14	-	-	-	29,57	68,64	1,37	-	+
01.03	0,36	0,10	0,02	-	-	-	2,32	96,79	0,41	-	-
13.04	0,56	0,35	+	-	+	+	18,00	80,03	0,90	-	0,16
26.04	0,30	0,13	0,79	-	0,06	0,02	75,37	22,65	0,40	0,02	0,26
05.05	3,24	0,58	4,75	-	-	1,26	34,96	53,49	0,80	-	0,92
23.05	0,02	0,03	1,27	-	-	96,81	0,42	1,32	0,09	-	0,04
06.06	0,34	+	3,89	0,01	-	14,45	71,34	9,55	+	-	0,42
21.06	0,11	0,53	0,77	-	-	81,46	5,11	11,80	-	0,05	0,17
12.07	0,81	0,44	15,88	-	1,55	0,89	52,37	20,09	1,55	-	6,42
27.07	1,96	0,20	0,62	-	-	2,48	9,10	73,47	0,20	-	11,97
21.09	0,09	0,01	0,26	0,04	0,17	38,29	58,04	1,59	0,06	0,04	1,41

Noms des prélèvements	1977												1978																																						
	04.01	28.01	04.02	25.02	04.03	10.03	18.03	24.03	01.04	07.04	29.04	14.05	03.06	01.07	29.07	05.08	11.08	19.08	09.09	20.09	05.10	13.10	25.10	02.11	09.11	29.11	09.12	15.12	22.12	05.01	18.01	17.02	01.03	13.04	26.04	05.05	23.05	08.06	21.06	12.07	27.07	21.08									
<i>Callinectes helgolandicus</i>																																																			
<i>Paracalanus parvus</i>																																																			
<i>Pseudocalanus elongatus</i>																																																			
<i>Isocera longicornis</i>																																																			
<i>Entylmenes hirundooides</i>																																																			
<i>Leptomenes homotus</i>																																																			
<i>Leptomenes typicus</i>																																																			
<i>Isopae clavipes</i>																																																			
<i>Acartia clausi</i>																																																			
<i>Acartia discudetea</i>																																																			
<i>Acartia biflora</i>																																																			
<i>Acartia tonsa</i>																																																			
<i>Cyclopina littoralis</i>																																																			
<i>Cyclopina dilatata</i>																																																			
<i>Eurytemora acutifrons</i>																																																			
Total des 2 premiers %	93,1	99,9	88,8	89,0	91,0	91,9	89,8	93,9	74,9	95,4	97,1	97,9	89,4	48,7	83,1	53,3	61,0	63,2	70,5	80,5	77,8	71,4	62,6	57,5	67,3	85,9	87,4	76,8	67,5	82,8	63,9	64,6	34,9	94,7	97,0	92,1	70,7	91,1	82,3	67,8	78,2										
Indice de diversité de Shannon H'	1,07	0,45	1,22	0,57	0,59	1,29	1,74	0,70	1,49	0,55	0,40	0,31	1,75	2,21	1,73	2,59	2,77	2,10	2,00	1,66	1,77	1,87	2,26	2,30	2,30	2,30	1,46	1,55	1,87	2,20	1,88	2,31	2,16	2,67	1,31	0,53	0,81	2,06	0,93	1,62	1,96	1,85									
Spécialité E	0,41	0,45	0,77	0,36	0,30	0,81	0,67	0,30	0,43	0,18	0,17	0,21	0,62	0,70	0,50	0,78	0,68	0,75	0,67	0,55	0,56	0,67	0,81	0,69	0,73	0,46	0,59	0,62	0,70	0,59	0,89	0,88	0,80	0,39	0,19	0,29	0,63	0,31	0,54	0,76	0,67										

* valeur inférieure à 0,1 %

Tableau 16 : Fréquence des copépodes (%) et indice de diversité (Shannon)



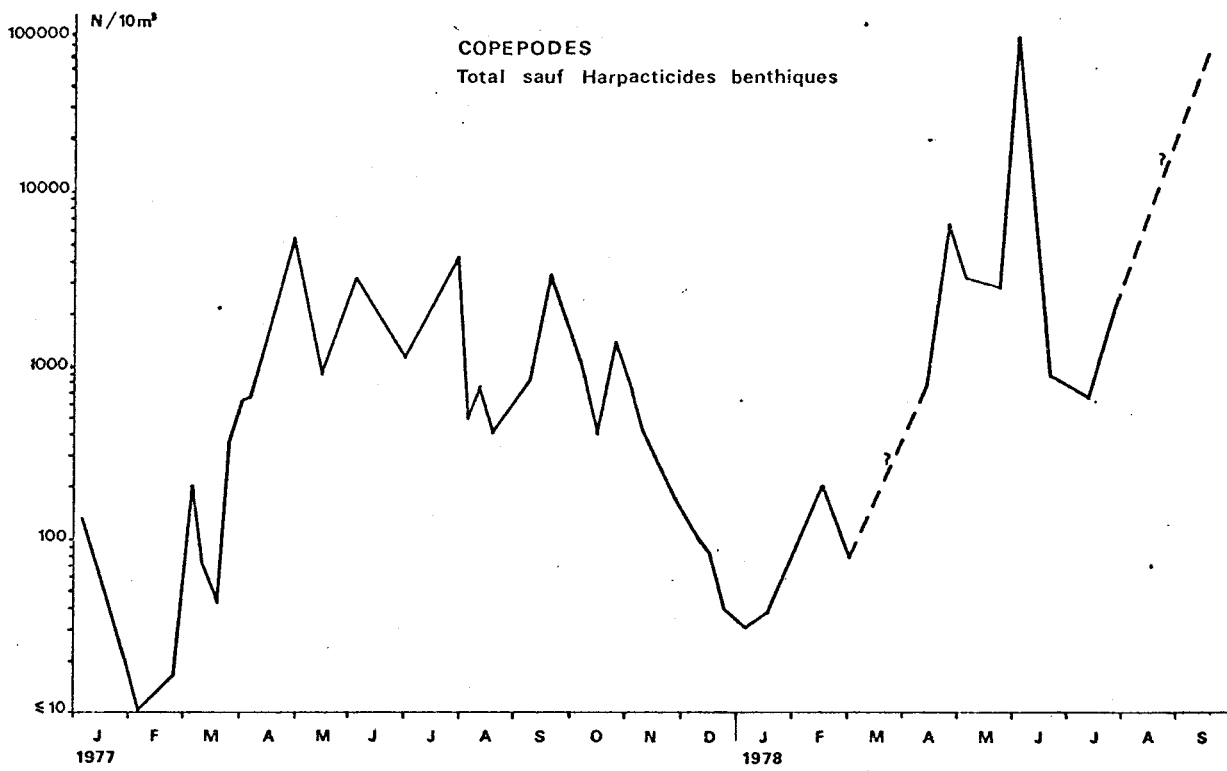


Fig. 37 - Variations saisonnières de la population globale des Copépodes



Après des valeurs faibles en février 1977, la population globale des copépodes varie de 400 à 7 700 individus pour 10 m³ du mois d'avril au mois d'octobre. En novembre les effectifs chutent rapidement pour atteindre un minimum de 40 en janvier 1978. Pendant cette deuxième année, les valeurs obtenues sont beaucoup plus importantes puisqu'un maximum de 76 820 est atteint le 06 juin. Les analyses spécifiques montrent que chaque maximum d'abondance de la population globale des copépodes est provoqué par un pic d'abondance de l'espèce principale. Ainsi de février à juin le maximum est principalement provoqué par la population de *T. longicornis*, celui de juillet par le genre *Acartia*, celui de septembre par *E. acutifrons*.

II.8.2.2. Les Harpacticoïdes

Les Harpacticoïdes sont des copépodes peu nageurs (courtes antennes) qui vivent sur des fonds et qui peuvent être temporairement mis en suspension dans l'eau par les remous. Il ne font donc pas partie du plancton au sens strict, et c'est pourquoi ils n'ont pas été déterminés. Cependant les comptages montrent qu'ils sont bien représentés dans nos échantillons (Tableau 15), surtout jusqu'en juillet 1977, lorsque les prélèvements étaient réalisés près des quais, qui leur servent de support et d'abri (Fig. 38a). A partir de août 1977 les traits de filet étaient effectués un peu plus au large et la quantité d'Harpacticoïdes a nettement diminué dans nos prélèvements, ainsi que leur importance par rapport au groupe des copépodes (Fig. 38b).

II.8.2.3. Variations d'abondance des principales espèces

(Tableaux 15 et 16)

Temora longicornis (Fig. 39)

Présent toute l'année, c'est l'un des copépodes principaux du biotope et une étude détaillée de cette espèce a été engagée (ch. III), (BRYLINSKI, 1978). Faiblement représenté de janvier à mars 1977 (< 20), il présente son maximum d'abondance à la fin avril (4 934) et en juin. Dès le début juillet et pendant tout l'été ses effectifs diminuent fortement (< 200) pour atteindre des valeurs très faibles fin novembre (< 10). C'est le copépode le plus abondant de février à juin (> 50 %) et il peut repré-

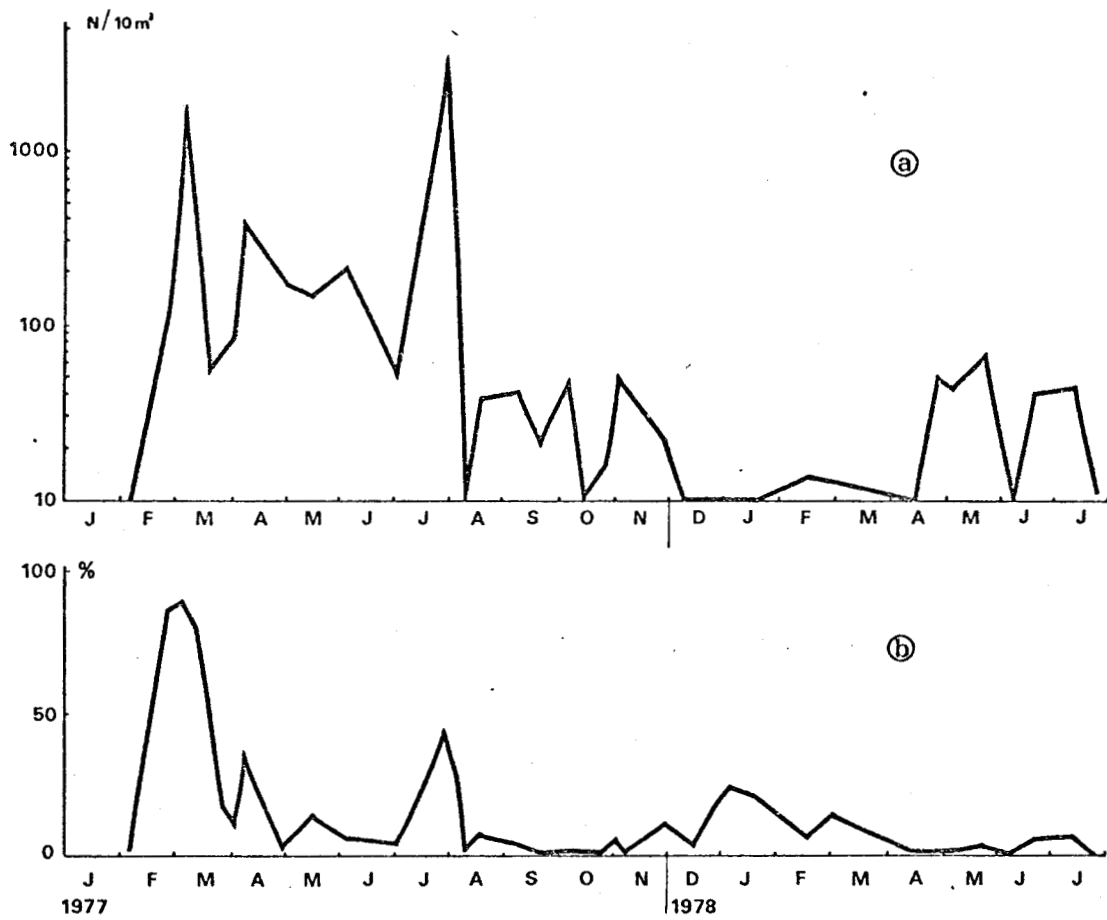


Fig. 38 : Variations saisonnières chez les copépodes Harpacticoides benthiques
① abondance ② % parmi les copépodes



senter jusqu'à plus de 90 % des copépodes en avril et mai.

Les prélèvements effectués en 1978 montrent également deux maximums printaniers : un en avril (5 848) et un beaucoup plus important en mai (64 260). Contrairement à l'année précédente, on observe le maintien des effectifs en septembre avec une valeur forte de 5 356 individus pour 10 m³.

Acartia sp.

Présent toute l'année, le genre *Acartia* est peu représenté de février à mai 1977 (< 20). La croissance du groupe coïncide avec la chute de la population de *T. longicornis* et les maximums d'abondance sont atteints à la fin juillet (2 326) et à la mi-septembre (1 028). Les effectifs diminuent ensuite jusqu'à la fin décembre (14). Les *Acartia* dominent le groupe des copépodes pendant la deuxième moitié de l'année avec plus de 80 % des effectifs en novembre et décembre.

Les valeurs relevées en 1978 montrent un premier maximum (1 638) plus précoce, au début du mois de juin. Le prélèvement de septembre indique, comme pour *T. longicornis* une très forte abondance par rapport à l'année précédente.

La détermination spécifique révèle la présence dans les eaux du port de Dunkerque de quatre espèces du genre *Acartia* : *A. clausi*, *A. tonsa*, *A. discaudata*, *A. bifilosa*. D'après l'ensemble des données disponibles sur ces espèces dans la littérature, leurs caractéristiques écologiques sont très différentes et rendent l'interprétation globale du groupe peu significative.

Les stades copépodites de ces quatre espèces sont très semblables et la détermination spécifique n'a été effectuée pour cette étude qu'au niveau des adultes, mâles et femelles. Les stades juvéniles ont été comptabilisés globalement. La différenciation des adultes demande une grande habitude pour être effectuée au cours des comptages de routine, sauf pour la femelle de *A. discaudata* dont la furca possède une forme bien caractéristique.

La détermination a été le plus souvent vérifiée par la dissection sous fort grossissement des appendices thoraciques : la conformation des 5e paires de pattes thoraciques mâles et femelles pour les quatre espèces est indiquée sur la figure 40. Un complément d'information est apporté par la présence ou l'absence de fils rostraux. En effet, *A. clausi* et *A. discaudata* font partie du groupe des *Arostratae* et *A. tonsa* et *A. bifilosa* du groupe des *Rostratae* (STEUER, 1915).

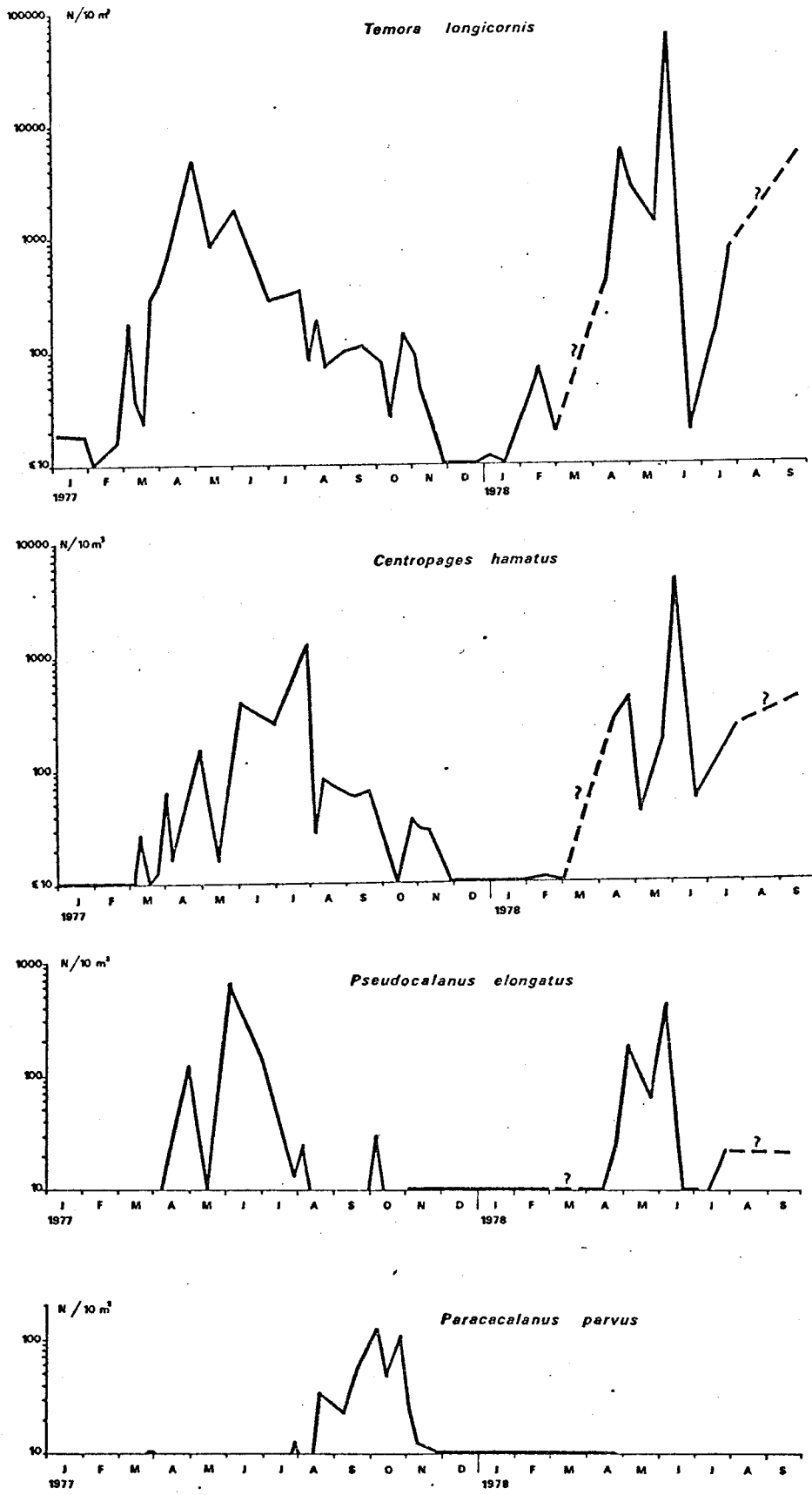


Fig. 39 : Variations saisonnières de l'abondance chez quatre copépodes du port de Dunkerque.

Il faut remarquer que parmi ces quatre espèces, seules *A. discaudata* et surtout *A. clausi* sont couramment rencontrées en Manche (DIGBY, 1950 - BODO et coll., 1965 - BRYLINSKI, 1975 - HECQ, 1976) et dans l'extrême Sud de la Mer du Nord (BRYLINSKI, 1973 - LEFEVRE, 1976). *A. bifilosa* est rare et *A. tonsa* n'y avait jamais été récoltée.

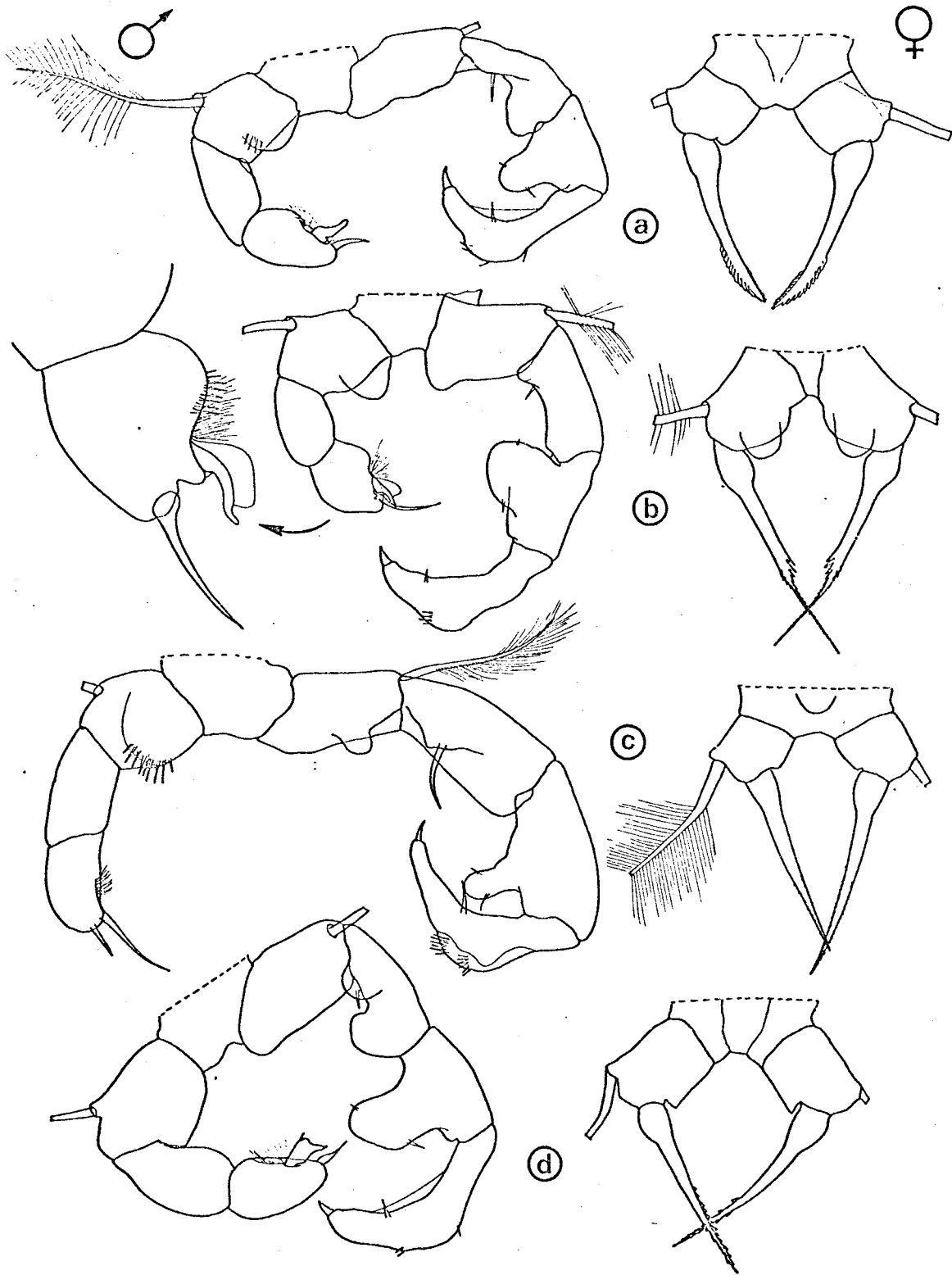
Acartia clausi (Fig. 41)

Cette espèce fait partie des principaux copépodes observés en Manche et Mer du Nord où il est le représentant presque exclusif du genre *Acartia* (avec *A. discaudata*).

A Dunkerque, *A. clausi* représente en général plus de 50 % et souvent plus de 80 % de l'ensemble des espèces d'*Acartia*. Présente toute l'année, la population adulte montre plusieurs maximums d'abondance en 1977 : début avril (22), fin juillet (2 112), mi-septembre (262), fin octobre (68), et au cours de l'année 1978 : mi-février (22), début juin (359), fin juillet (525). Ce copépode domine le groupe pendant de longues périodes au cours de la deuxième moitié de l'année avec des fréquences (% par rapport au total des copépodes) importantes qui peuvent dépasser 50 % (Fig. 42, Tableau 16). Son importance devient manifeste lorsque la population de *Temora longicornis* s'effondre au début de l'été.

A. discaudata (Fig. 41)

Bien qu'elle soit caractéristique des eaux côtières dessalées et plus ou moins inféodée aux débouchés d'estuaires, cette espèce euryhaline montre un développement relativement limité dans le port de Dunkerque puisque, pour la période étudiée, elle ne dépasse qu'exceptionnellement les 10 individus adultes pour 10 m³ (Tableau 15). A Boulogne-sur-mer, elle n'est présente que près des côtes, avec un maximum de 135 individus pour 10 m³ (BRYLINSKI, 1975). A Gravelines, les valeurs sont plus élevées, souvent supérieures à 100, et peuvent atteindre 500 individus pour 10 m³ (LEFEVRE, 1976). On constate donc que le port de Dunkerque, malgré la dessalure assez prononcée de ses eaux par rapport à la Mer du Nord, ne semble pas un milieu favorable pour cette espèce. Les plus faibles salinités observées au début de l'année 1978 permettent cependant un développement plus régulier qu'en 1977.



(a) *A. clausi* (b) *A. tonsa* (c) *A. discaudata* (d) *A. bifilosa*

Fig. 40 : Structure de la 5e paire de pattes thoraciques chez les 4 espèces d'*Acartia*

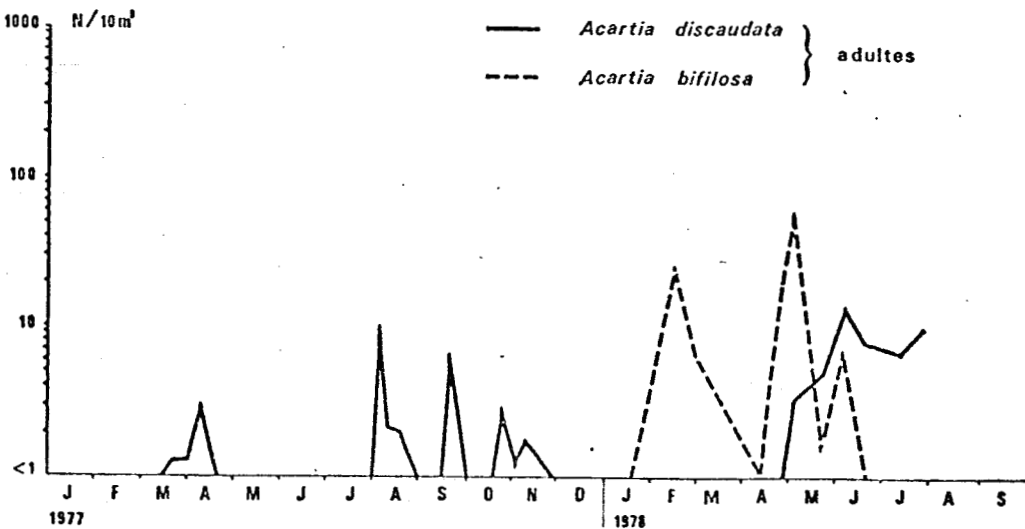
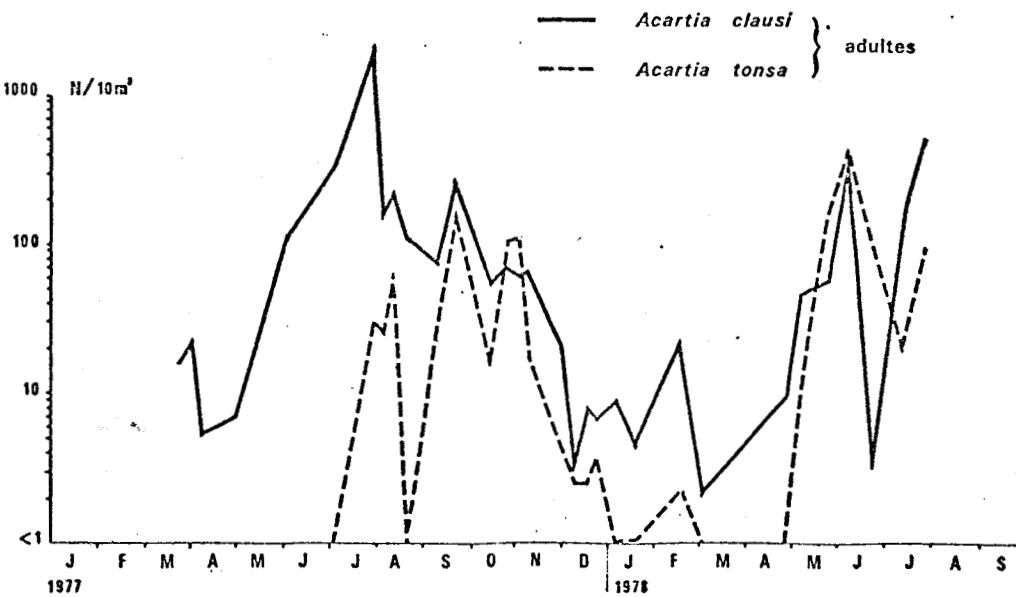
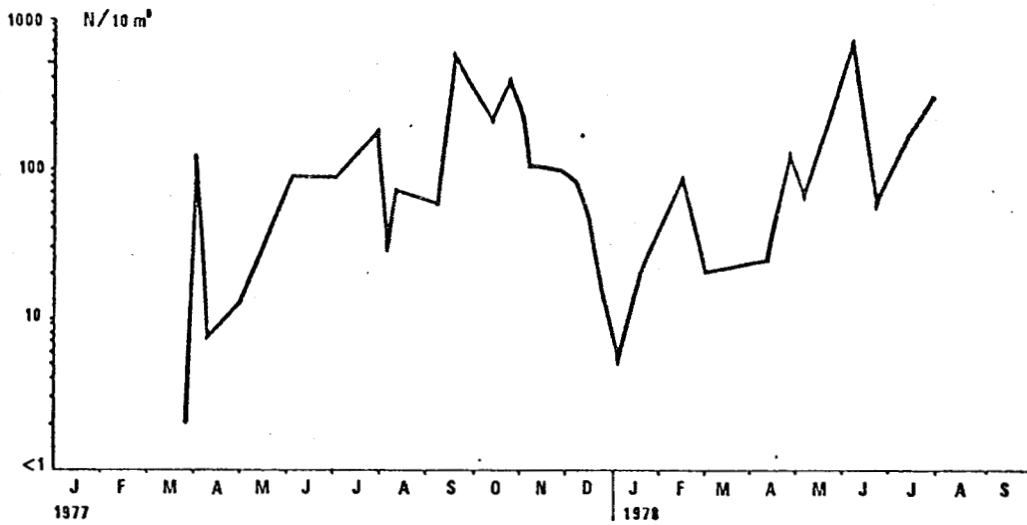
A. bifilosa (Fig. 41)

Contrairement à *A. discaudata* qui est une espèce marine supportant bien les faibles salinités, *A. bifilosa* est une espèce typique des eaux saumâtres. Citée par HECQ (1976) à Boulogne-sur-mer, elle est généralement absente en mer ouverte dans nos régions et ne s'observe que dans les zones dessalées des mers nordiques où elle peut former plus de 90 % des copépodes. (ACKEFORS, 1969 - ERIKSSON, 1973). Plus près de nous, *A. bifilosa* représente un constituant typique du port d'Ostende (DE PAUW, 1969). Dans le bassin de chasse de cette même ville, zone fermée où la salinité dépasse rarement 31‰, c'est le composant presque exclusif de la population de copépodes en juillet et août (POLK-DARO, 1972).

A Dunkerque, (Tableau 15, Fig. 41) *A. bifilosa* n'est que sporadiquement récolté pendant l'année 1977. Il ne se développe de façon notable que de janvier à juin 1978 lorsque la salinité descend en dessous de 30,5 ‰, valeur jamais atteinte au cours de l'année précédente. Le développement de la population est très rapide et au début du mois de mars 1978, les conditions écologiques semblent favorables à cette espèce qui vient alors temporairement au premier rang des copépodes (70 adultes).

Toutefois, si les conditions du milieu sont favorables, il semble qu'elles ne soient pas pour autant optimales : en effet la température est à ce moment au minimum hivernal ($T < 10^{\circ}\text{C}$) alors que les relevés de DE PAUW (1969) et POLK-DARO (1972) à Ostende indiquent des maximums d'abondance en plein été, lorsque la température atteint ou dépasse 20°C . On remarque que la croissance de la population d'*Acartia bifilosa* est brusquement interrompue en mai, alors que les conditions de salinité sont encore compatibles avec le développement de l'espèce et que le stock de phytoplancton est encore en augmentation. (Fig. 9a). Cette période correspond au second maximum d'abondance de deux autres copépodes euryhalins : *A. clausi* et surtout *A. tonsa*. Dans le Zuidersee, REDEKE (1934) observe le même phénomène : *A. bifilosa*, dominant en hiver et au printemps, est remplacé par *A. tonsa* en été et en automne : cette dernière espèce est favorisée par les faibles salinités comme *A. bifilosa*, mais aussi par les températures élevées comme nous le verrons plus loin. Le régime alimentaire des trois espèces congénères est probablement très voisin et la compétition vis-à-vis de la nourriture jouerait en défaveur de *A. bifilosa*. Par la suite, dès le mois de juillet, la salinité à nouveau supérieure à 31 ‰ redeviendrait le principal facteur limitant une reprise éventuelle du développement de ce copépode.

Copépodites (4 espèces)



BGS
LILLE

Fig. 41 : Variations saisonnières de l'abondance chez les quatre espèces du genre *Acartia*

Le développement de *A. bifilosa* dans le bassin d'évitage s'est probablement effectué à partir d'une population régulièrement établie plus à l'ouest dans les bassins du port de Dunkerque, dans une zone plus directement soumise à la dessalure induite par le déversement du canal à grand gabarit (Fig. 1).

Acartia tonsa

A Dunkerque (Tableau 15, Fig 41), *A. tonsa* est rare ou absente de janvier à juillet 1977 puis les maximums d'abondance (adultes) s'observent de façon synchrone avec ceux d'*A. clausi* : début Août (63), fin septembre (167), début novembre (111), (et fin décembre ?) 1977. Le nombre d'*A. tonsa* dépasse celui des *A. clausi* fin octobre-début novembre et cette espèce devient alors la plus importante parmi les copépodes avec 37 % des effectifs.

Comme pour *A. clausi*, le développement d'*A. tonsa* est plus important en 1978. Contrairement à l'année précédente, cette espèce se développe fortement dès le mois de mai et, pendant deux mois, dépasse en abondance sa congénère avec plus de 500 adultes pour 10 m³. Elle ne prend cependant pas la première place parmi les copépodes, cette période étant caractérisée par une nette dominance de *Temora longicornis*.

Typiquement citée comme une espèce côtière de l'Atlantique ouest et de l'indopacifique (STEUER, 1915), *Acartia tonsa* n'avait jamais été recensé dans la région. Une note de REMY (1927) signale pour la première fois cette espèce sur les côtes d'Europe, dans le canal de Caen à la mer où elle représente le crustacé prédominant du plancton estival. L'établissement de *A. tonsa* dans ce biotope particulier et géographiquement très restreint a été confirmé depuis par LAFON et coll. (1955).

Depuis l'observation de REMY (1927), *Acartia tonsa* a été retrouvée à plusieurs occasions dans les eaux européennes (Fig. 42) : eaux côtières d'Allemagne (KLIE, 1933 - KUNZ, 1935), Zuidersee et autres localités dessalées des Pays-Bas (REDEKE, 1934), golfe de Finlande (SMIRNOV, 1935), Danemark (JESPERSEN, 1949) et plus récemment dans les eaux britanniques côtières de Southampton (CONOVER, 1957) et dans le bassin de chasse d'Ostende (POLK, 1977).

Euterpina acutifrons (Fig. 43)

Bien que faisant partie du groupe des Harpacticoides, cette espèce est récoltée couramment à la saison chaude dans les pêches planctoniques et parfois en grandes quantités, (BRYLINSKI, 1975 - LEFEVRE, 1976) c'est pourquoi elle a été considérée comme une espèce planctonique. Rare

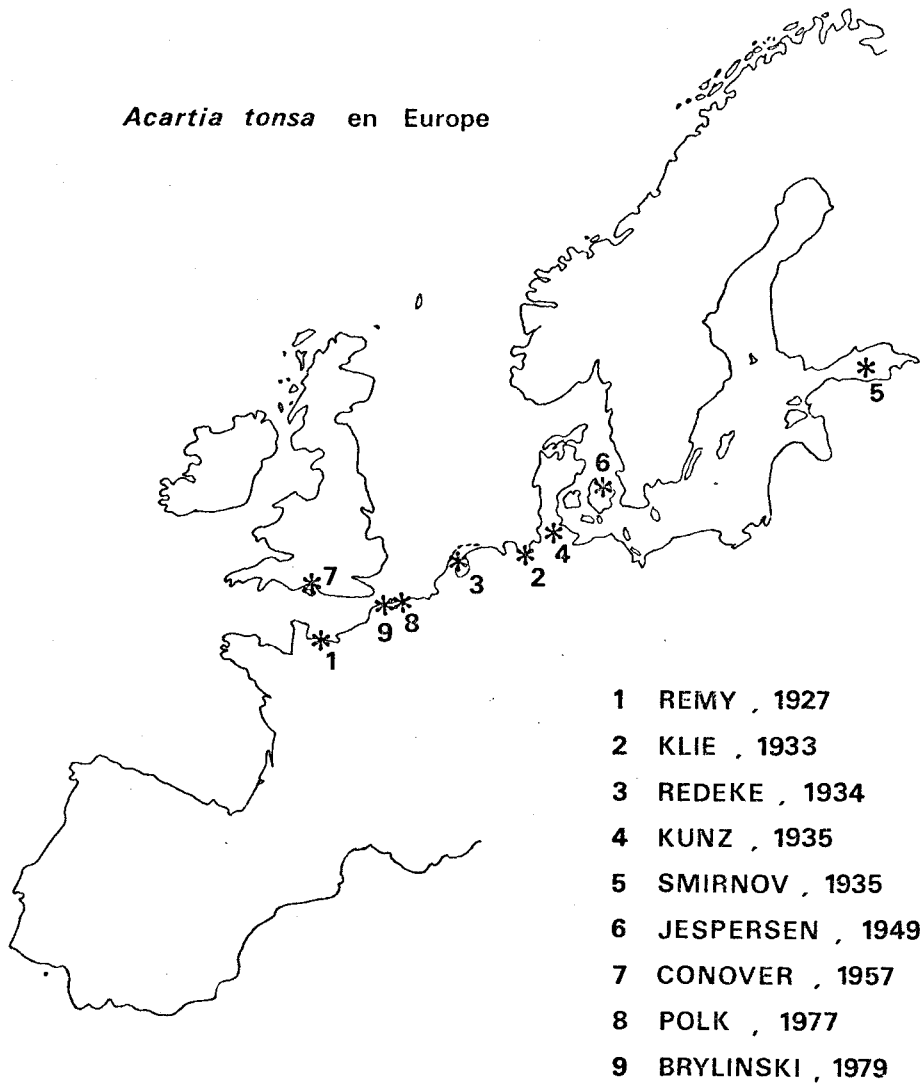


Figure 42 : Répartition européenne actuellement connue de *Acartia tonsa*.

ou absente de janvier à mai 1977, cette espèce présente un premier pic d'abondance fin juillet (295) et un deuxième plus important le 20 septembre (2 079). Sa population diminue rapidement en novembre pour retrouver des valeurs très faibles en décembre (< 5). *Euterpina acutifrons* domine en septembre et octobre ($> 50\%$).

En 1978, la population s'accroît moins rapidement, de mai à juillet, mais on observe en septembre une abondance (2 133) comparable au maximum de 1977.

Centropages hamatus

Présent toute l'année (Fig. 39), ses effectifs augmentent progressivement de mars (4) à la fin juillet (1 264) pour diminuer ensuite rapidement en août (< 100) puis à la fin novembre (< 4). Le printemps 1978 permet le développement de deux maximums : fin avril (321) et début juin (4 733). Cette espèce n'atteint jamais le premier rang d'abondance (Fig. 44) et sa fréquence n'atteint qu'exceptionnellement 35%. C'est cependant l'espèce la plus importante après *Temora longicornis* de février à juillet 1977.

Pseudocalanus elongatus et Paracalanus parvus (Fig. 39)

Ces deux espèces secondaires n'ont d'importance relative que pendant une période brève de l'année bien délimitée (respectivement à la fin de printemps (685) et en automne (111), comme à Gravelines et à Boulogne-sur-mer), et ne dépassent jamais le deuxième et quatrième rang dans l'ordre d'abondance des copépodes.

Eurytemora hirundoïdes

En 1978, nous voyons apparaître très temporairement au premier rang le copépode *Eurytemora hirundoïdes* (Tableaux 15 et 16, Fig. 44). C'est une espèce typique des estuaires qui supporte des salinités très faibles, inférieures à 5 ‰ (CASTEL et Coll., 1976) avec un optimum à 12 ‰ (en élevage à 20°C - HEINLE, 1969). Il n'est recueilli qu'exceptionnellement à Gravelines. Dans le port il apparaît en petit nombre en juillet et août 1977 (31,1 ‰ $< S$ ‰ $< 32,5$ ‰). Par contre, en 1978 la salinité est inférieure à 30,5 ‰ de janvier à juin : *E. hirundoïdes* apparaît début mai (5) et présente un maximum d'abondance début juin (5 734) lorsque la salinité est minimale (29,5 ‰). Comme pour les autres copépodes, sa population diminue rapidement fin juin (585) mais il devient à ce moment l'espèce principale (66,3%). Dès le 12 juillet, alors que la salinité remonte (31,0 ‰), il n'est plus récolté.

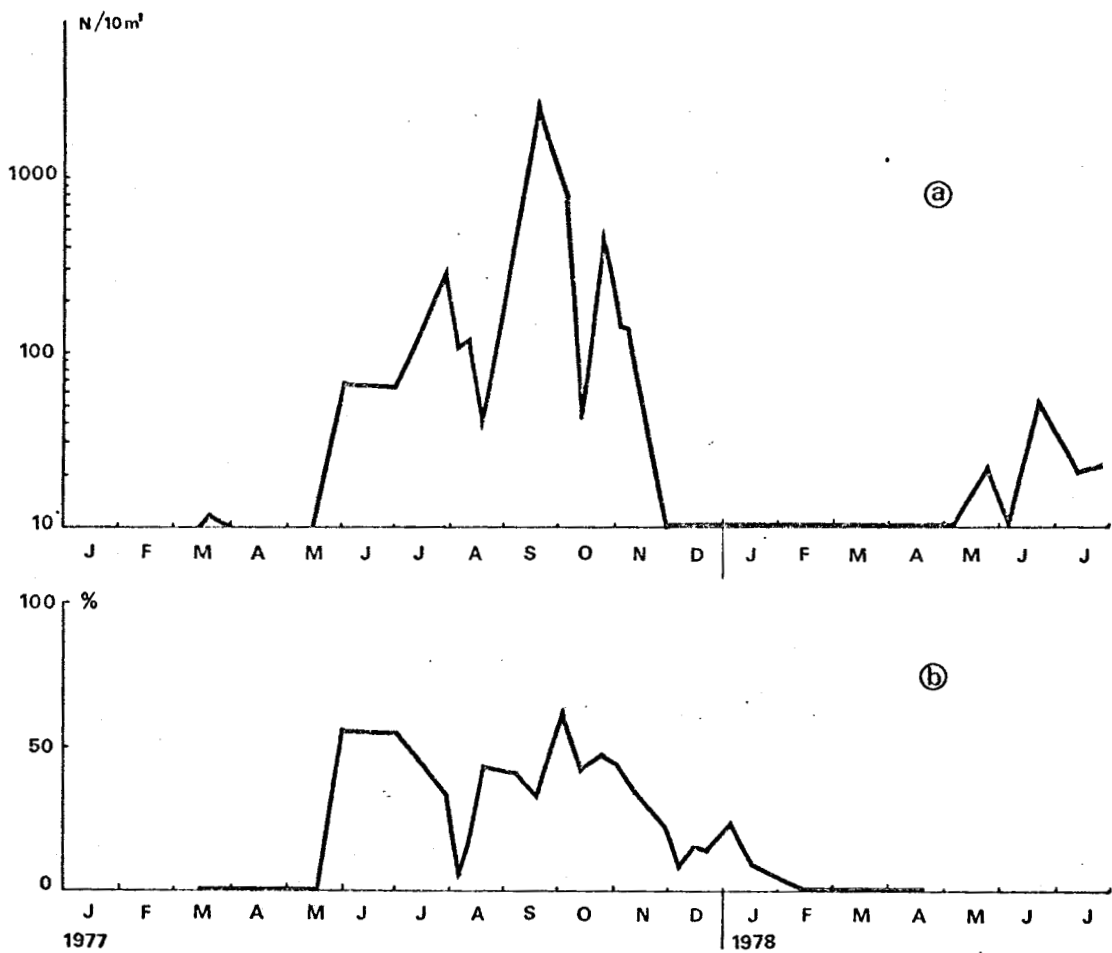


Fig. 43 : Variations saisonnières chez le copéode *Euterpina acutifrons*
① abondance ② % parmi les copépodes



Il est probable que cette espèce possède une population bien établie toute l'année à l'extrémité Ouest des bassins (Mardyck), où se déverse le canal de Bourbourg, et que la baisse de salinité a permis temporairement son extension au bassin d'évitage.

II.8.2.4 Cycles et dominances spécifiques dans la population
.....
globale des copépodes
.....

Les différentes espèces ont été classées par ordre d'abondance à chaque prélèvement, puis les données ont été regroupées par mois (Fig. 44). Il est ainsi possible de définir différentes périodes au cours de l'année.

- Février à juin : *Temora longicornis* domine très nettement les autres espèces avec des fréquences élevées, atteignant 80 % des copépodes (Tableau 16).

- Septembre-octobre : *Euterpina acutifrons* prend la première place avec parfois plus de 60 % des effectifs. Il semble cependant que le prélèvement isolé de septembre indique des valeurs beaucoup plus faibles pour 1978 (3,4 %).

- Juillet-août et novembre à janvier : Le genre *Acartia** domine le groupe des copépodes pendant près de la moitié de l'année. L'espèce principale est *A. clausi* qui prend ici une importance qu'il n'a pas dans les eaux ouvertes de Gravelines. *A. clausi* est fortement concurrencé pendant les périodes les plus chaudes par son congénère *A. tonsa*, plus thermophile.

Outre ces espèces principales caractérisant des périodes bien déterminées, on observe des espèces régulièrement représentées pendant le printemps et l'été comme *Centropages hamatus* et *Pseudocalanus elongatus* ou en automne comme *Paracalanus parvus*, suivant en cela le schéma couramment relevé sur d'autres sites proches comme Boulogne-sur-mer ou Gravelines.

* Les maximums d'abondance pour les adultes des différentes espèces d'*Acartia* sont synchrones. Malgré toute l'approximation que cela suppose nous avons dû considérer pour des raisons pratiques que l'abondance globale de chaque espèce (adultes et copépodites) était proportionnelle à l'abondance des adultes. Ceci afin de pouvoir intégrer nos données sur ce groupe dans les calculs concernant l'ensemble des copépodes (fréquences, diversité...).

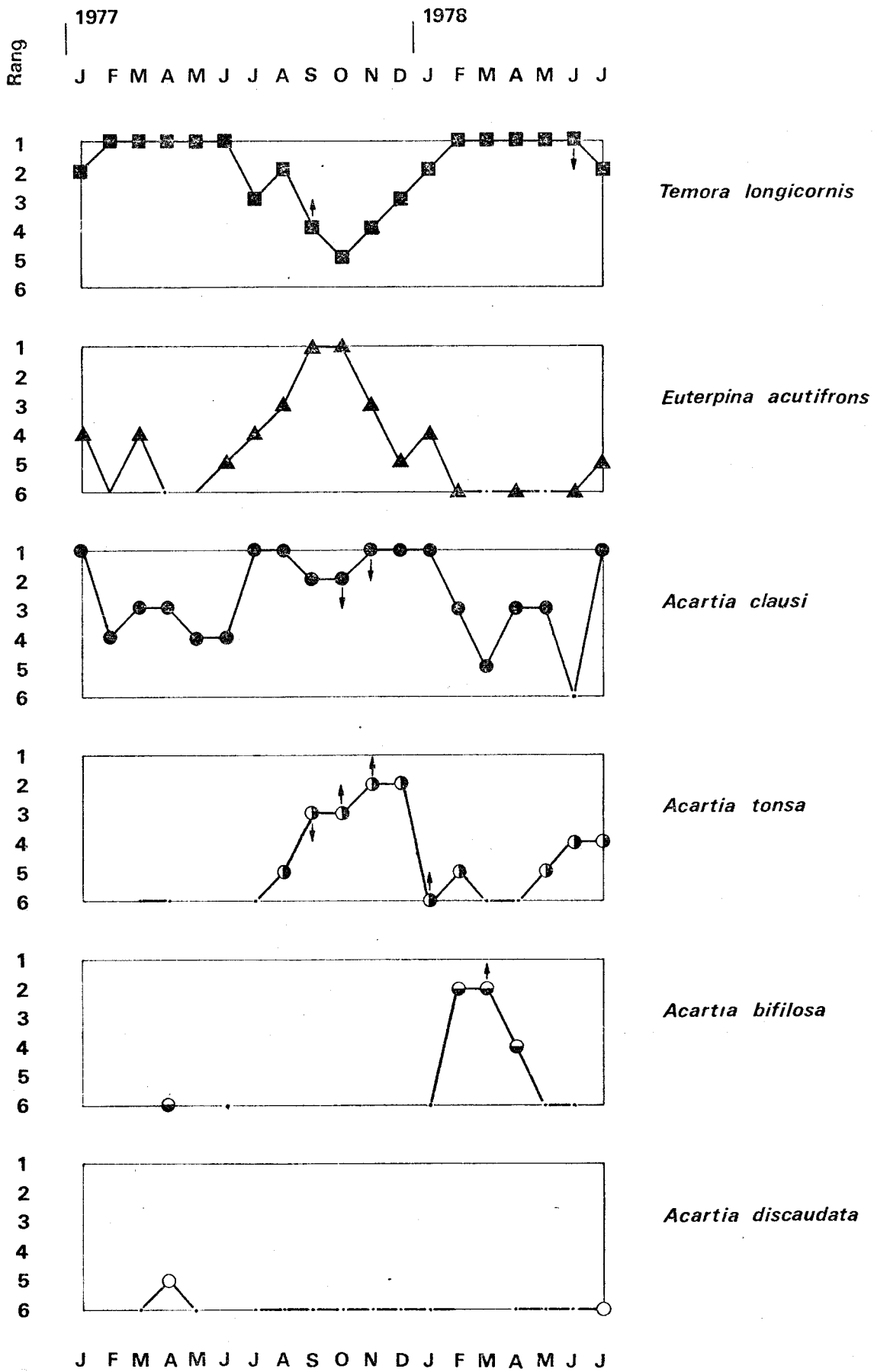


Fig. 44 : Classement mensuel des principales espèces de copépodes
1ère partie



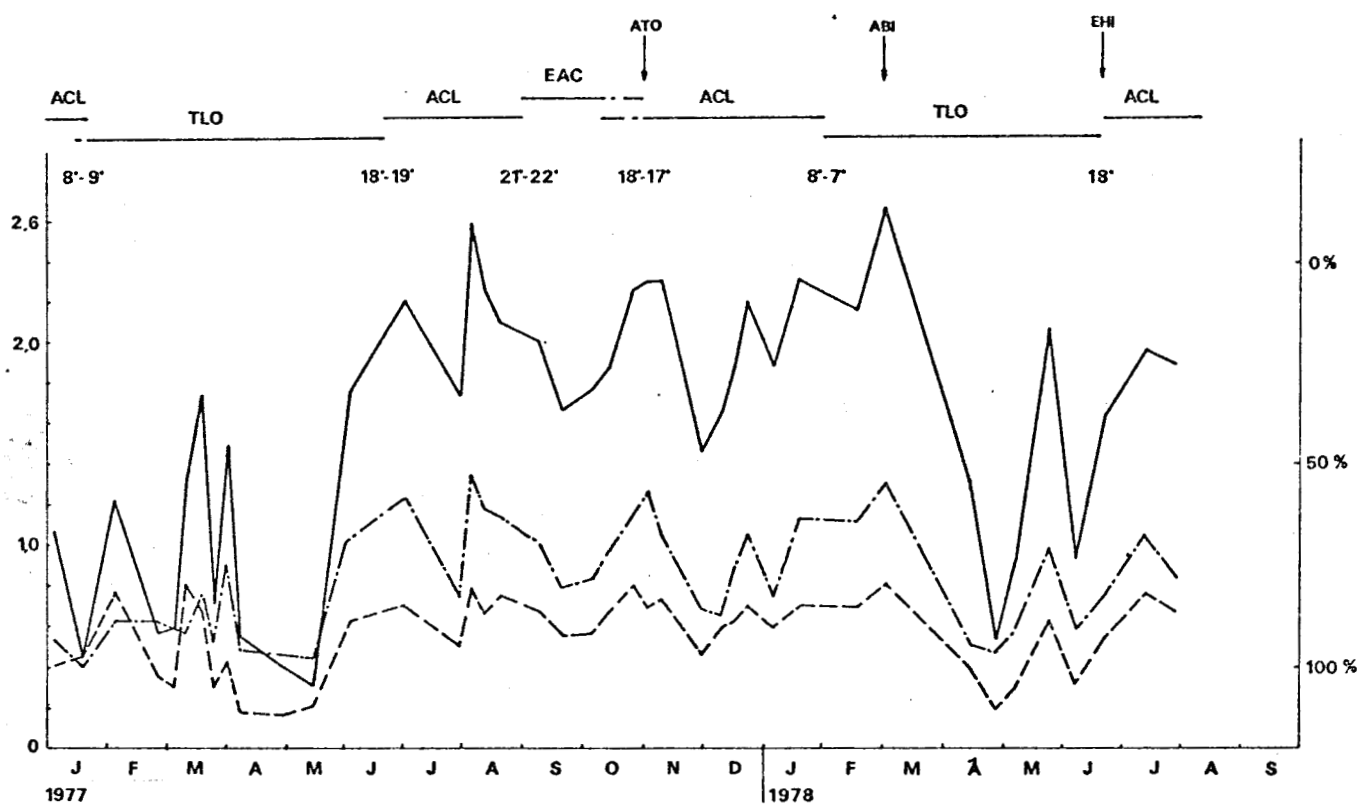


Figure 45 : Variations saisonnières de l'indice de diversité et périodes de dominance spécifique chez les copépodes
 — H : indice de Shannon, --- E : équitabilité, — total des 2 premières espèces (%)
 TLO : *Temora longicornis*, ACL : *Acartia clausi*, EAC : *Euterpina acutifrons*
 ATO : *Acartia tonsa*, ABI, *Acartia bifilosa*, EHI, *Eurytemora hirundoides*



Les autres espèces (*Eurytemora hirundoïdes*, *Acartia bifilosa*, *Acartia discaudata*) présentent des cycles saisonniers qui apparaissent peu représentatifs lorsque l'on connaît les conditions irrégulières de salinité observées pendant la période d'étude (Fig. 8) et les sensibilités particulières que chacune d'elles possède vis-à-vis du taux de chlorures.

II.8.2.5. Indice de diversité
.....

Pour exprimer la diversité spécifique des copépodes (copépodes Harpacticides non déterminés exceptés), nous avons utilisé l'indice de Shannon dont la formule est la suivante :

$$H = - \sum P_i \log_2 P_i$$

avec $P_i = \frac{n_i}{N}$

et n_i = nombre d'individus de l'espèce i

et N = nombre total d'individus du prélèvement

L'équitabilité, qui permet de comparer 2 sites où le nombre moyen d'espèces est différent, a été calculé par la formule :

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

avec S = nombre d'espèces dans le prélèvement

Les résultats des calculs sont exprimés dans le tableau 16. La figure 45 montre les variations de la diversité au cours de la période étudiée.

Le cycle annuel est marqué au printemps par un indice très faible, pouvant descendre en dessous de 1 et atteindre 0,3 bits (mi-janvier à fin mai 1977 et avril-mai 1978). C'est la période de développement maximum de *Temora longicornis* (> 80 % des copépodes).

Le reste de l'année se caractérise par une diversité relativement plus élevée et H oscille autour de 2 bits, entre 1,5 et 2,6 bits. Chaque diminution nette de l'indice correspond aux périodes de dominances spécifiques décrites au paragraphe précédent : juillet-*Acartia clausi*, septembre-*Euterpina acutifrons*, décembre-*Acartia clausi*. Chacune de ces périodes est séparée de la suivante par une période de transition où l'indice peut être assez élevé (> 2,2 bits) et correspond à un équilibre numérique précaire entre les espèces. Cette précarité est indiquée par la rapidité des variations.



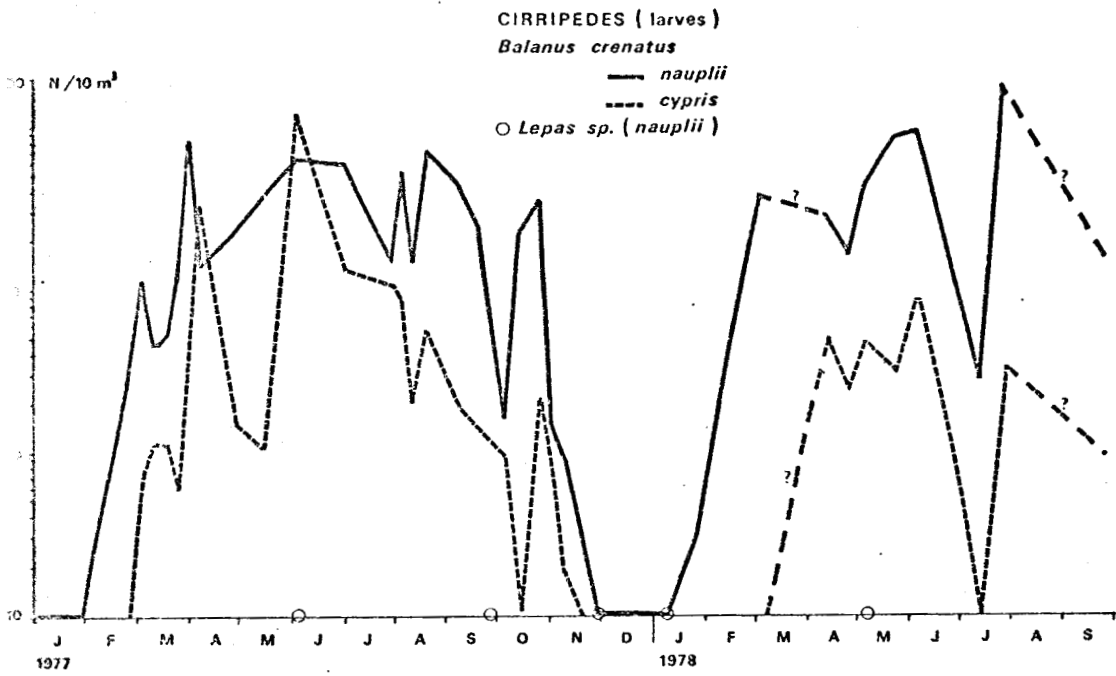


Fig. 46 - Variations saisonnières chez les Cirripèdes



En 1978, H reste élevé jusqu'en mars et présente un court maximum le 23 mai. Ceci est dû à la présence supplémentaire de *Acartia tonsa* et des espèces caractéristiques de la forte dessalure observée à cette époque : *Acartia bifilosa* et *Eurytemora hirundoïdes*.

Les variations périodiques de l'équitabilité suivent celles de l'indice de Shannon. On peut voir d'autre part sur la figure 45 que le total des deux premières espèces dépasse souvent 80 % ou même 90 % de l'effectif copépodique (Tableau 16), et varie de façon inverse à la diversité, en étant ainsi un bon indicateur.

II.8.3 Les Cirripèdes

Les larves de *Balanus* sp. (*B. crenatus* est la seule espèce actuellement recensée sur les quais de la zone étudiée) forment un constituant très important du plancton dans le port de Dunkerque (Tableau 14, Fig. 36). Elles peuvent en effet dépasser 80 % du plancton total au printemps.

Toujours présentes mais rares d'octobre à janvier (Fig. 46) les larves *Nauplii* sont rapidement abondantes dès le mois de mars et, en 1977, six phases d'abondance ont pu être localisées jusqu'en novembre : 04 mars (1 100), 01 avril (8 320), 03 juin (6 192), 05 août (5 284), 19 août (7 520) et 25 octobre (3 576). Ces différents pics sont suivis rapidement dans le temps (10 à 15 jours) par les maximums des larves plus âgées, au stade *Cypris*.

En 1978, le retard thermique ne paraît pas avoir eu d'influence négative sur l'émission larvaire qui commence même plus tôt qu'en 1977. Les balanes ne semblent pas non plus défavorisées par les températures élevées de l'été.

Il faut signaler la récolte à cinq reprises de quelques *Nauplii* du groupe des *Lepadidae* (Fig. 46). Les adultes de ces Cirripèdes, qui vivent fixés près de la surface sur des épaves flottantes, se font très rares depuis plusieurs années dans notre région.

II.8.4 Les Décapodes

La seule espèce régulièrement représentée est le *Carcinus maenas* par ses larves zoé et mégalopes, surtout récoltées de mars à juillet avec un maximum le 10 mars (64) (Tableau 13). Relativement peu abondante, son importance tient à la taille relativement grande des individus et à sa

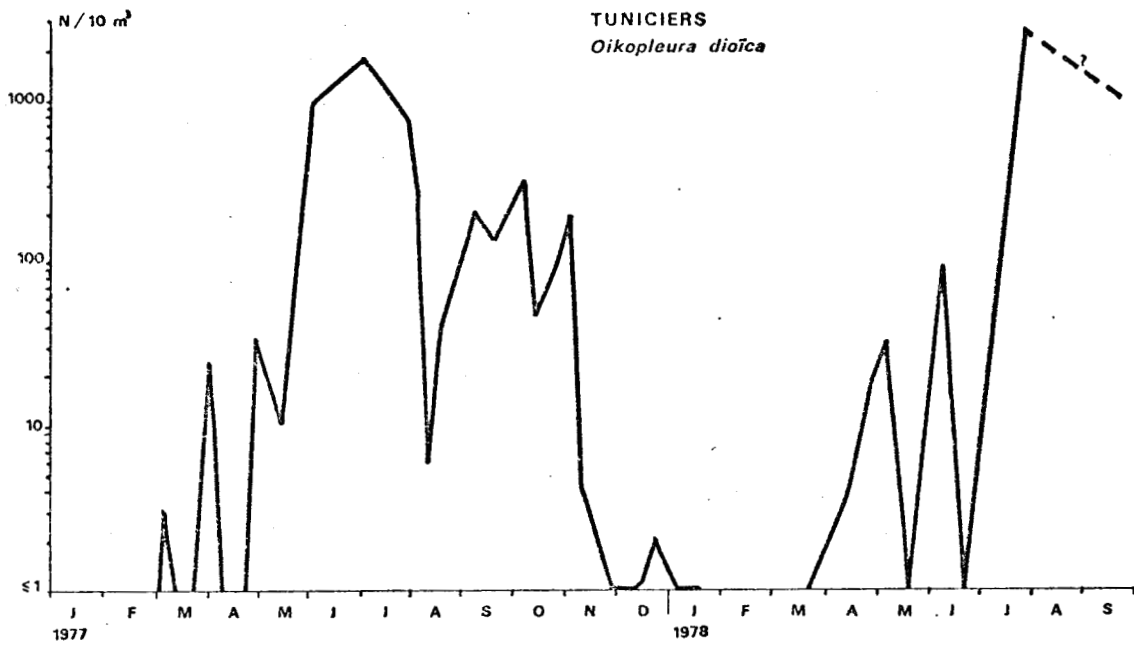


Fig. 47 - Variations saisonnières chez les Tuniciers Appendiculaires



place en fin de chaîne trophique zooplanctonique.

II.9 LES ECHINODERMES

Les larves de ce groupe sont principalement représentées par les stades *Bipinnaria* et *Brachiolaria* de l'étoile de mer *Asterias rubens*. Assez abondantes de février à mai 1977 avec deux maximums en mars (56 et 60), elles n'ont fait qu'apparaître en 1978. Les larves *plutei* d'Echinides et Ophiurides sont très rares et plus tardives (été).

II.10 LES TUNICIERS

II.10.1 *Oikopleura dioica*

Cet Appendiculaire holoplanctonique est absent ou rare jusqu'en avril et atteint rapidement son abondance maximale en été (1 900 le 01 juillet 1977 et 2 600 le 27 juillet 1978). Les effectifs se réduisent brusquement en novembre (Tableau 13, Fig. 47).

II.10.2 Les larves d'Ascidies

Les larves tétard sont présentes toute l'année (Tableau 13, Fig. 48) et correspondraient aux espèces *Ciona intestinalis* et *Ascidiella aspersa* qui colonisent le port de Dunkerque. En 1977 les larves d'*A. aspersa* sont abondantes en mars-avril (256) et en août (250). Les larves de *Ciona intestinalis* sont moins abondantes (de taille plus petite, elles pourraient échapper au filet ou et à l'observation) et apparaissent dans les prélèvements de façons irrégulières, dépassant rarement 25 individus par 10 m^3 . La période des émissions semble d'autre part plus tardive : été et automne.

Curieusement en 1978, les larves de *C. intestinalis* prennent une grande importance dès avril et atteignent un premier maximum (364) début juin et un second en septembre (568), alors que les larves de *A. aspersa* restent rares et ne dépassent pas 10 individus pour 10 m^3 pendant leur maximum (juin-juillet).

Les larves tétard sont rares dans les eaux ouvertes comme à Gravelines et Boulogne-sur-mer.

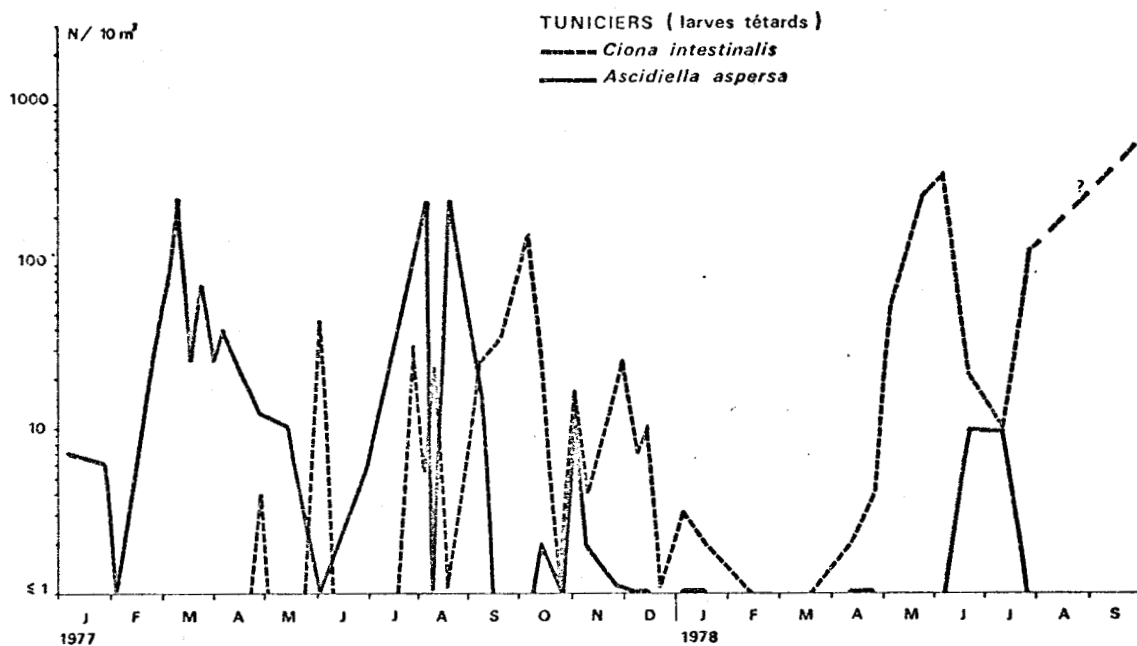


Fig. 48 - Variations saisonnières chez les larves d'Ascidiés



II.11 CYCLE SAISONNIER DU ZOOPLANCTON TOTAL

La population globale du zooplancton du port de Dunkerque est caractérisée par la dominance de trois groupes principaux : Les copépodes, les cladocères et les cirripèdes (Fig. 36, Tableau 14).

L'importance en général du groupe des copépodes au sein du zooplancton n'est plus à démontrer. Cette importance diminue plus on s'approche des côtes en raison de l'accroissement de la fraction méroplanctonique. Ce phénomène est très marqué à Dunkerque. En effet, si les copépodes peuvent former plus de 80 % du plancton total (décembre), il n'en représente souvent que moins de 50 % en raison du foisonnement des larves de balanes, auquel s'ajoute celui des cladocères (holoplancton).

Les cladocères, dont le groupe est pratiquement monospécifique, pullulent à partir du mois de mai jusqu'à la fin de l'automne et peuvent former plus de 90 % des effectifs totaux.

Les cirripèdes, très abondants de février à novembre, prennent une importance considérable au printemps où ils représentent 80 % du plancton.

Outre ces groupes majeurs, trois autres groupes secondaires peuvent prendre une place relative au cours de l'année : les larves de décapodes en hiver ($\approx 10\%$), les larves d'ascidies assez irrégulièrement au cours de l'année ($\approx 10\%$) et les méduses très temporairement au printemps, surtout en 1977 avec l'espèce indéterminée (60 %).

Une analyse des correspondances a été effectuée sur les données quantitatives du zooplancton, concernant les prélèvements réalisés entre le 18 mars 1977 et le 27 juillet 1978.

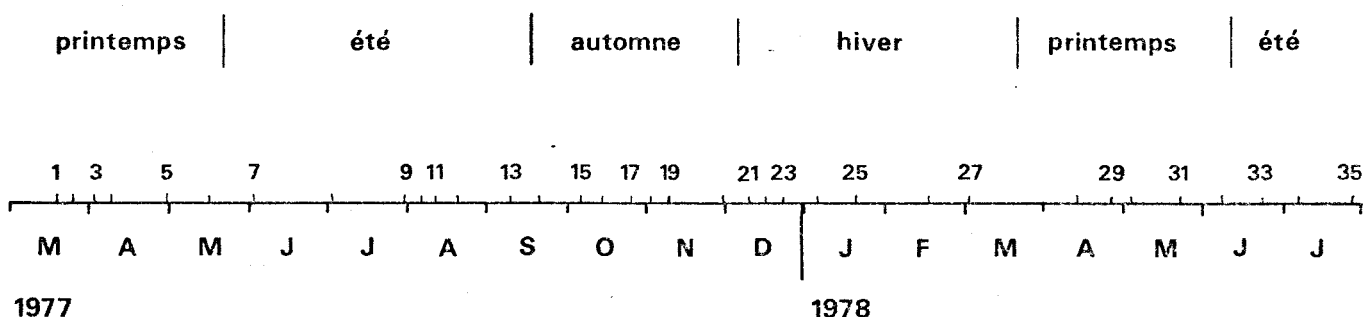
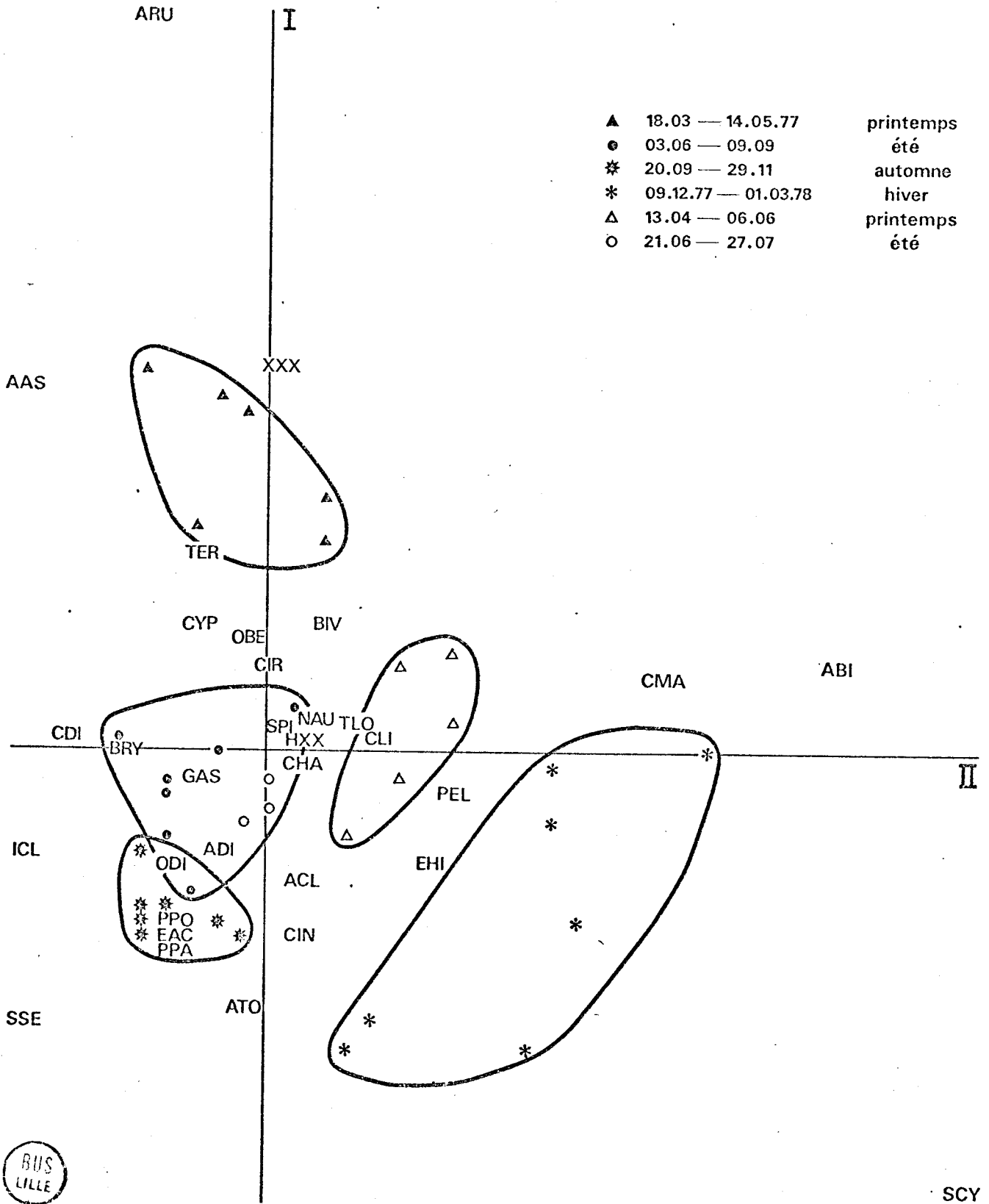


Figure 49 : Numérotation des prélèvements de zooplancton utilisés dans l'analyse des correspondances.



BUS
LILLE

Figure 50 : Cycle annuel du zooplancton : points espèces et points prélèvements
Plan I-II de l'analyse.

Seules les espèces principales et ou caractéristiques ont été introduites ici dans les calculs (voir liste systématique).

Afin d'atténuer l'importance des fortes valeurs, nous avons opté pour une transformation logarithmique des données. Pour pouvoir intégrer les données nulles, la transformation finale est :

$$X = \log(x+1)$$

Le plan défini par les axes I et II de l'analyse rend compte de 41,0 % de l'inertie totale du nuage de points.

La figure 50 montre que l'on peut grouper les prélèvements de façon satisfaisante en saisons distinctes :

n° 1 à 6	: printemps 1977	(18 mars - 14 mai)
n° 7 à 13	: été	(03 juin - 9 septembre)
n° 14 à 20	: automne	(20 septembre - 29 octobre)
n° 21 à 27	: hiver	(9 décembre - 01 mars)
n° 28 à 32	: printemps 1978	(13 avril - 06 juin)
n° 33 à 35	: été	(21 juin - 27 juillet)

Le printemps et le début de l'été sont caractérisés par la présence de *Obelia sp.* (OBE)*, des larves de moules (BIV) et de balanes (CIR). Les copépodes *Temora longicornis* (TLO) et *Centropages hamatus* (CHA), dont c'est aussi la période préférentielle, sont décalés vers le printemps 1978 en raison de leur plus forte abondance cette année là. L'axe I (25,6 % de l'inertie totale) a surtout pour effet d'isoler le printemps 1977 par rapport aux autres saisons. Les prélèvements 1 à 6 contribuent en effet pour 63,7 % à la détermination de cet axe. Le printemps 1977 est marqué par la présence des larves d'astéries (ARU), d'*Ascidrella aspersa* (AAS) et de *Lanice conchilega* (TER), et par la méduse indéterminée (XXX). Ces quatre espèces sont très peu représentées dans nos prélèvements de 1978. Il est probable que cette séparation entre les printemps des deux années ait été provoquée par la différence de salinité. C'est ce qu'indique le plan défini par les axes II et III de l'analyse (Fig. 51), où l'hiver et le printemps 1978 se détachent des autres saisons, et sont caractérisés en partie

* La signification des symboles spécifiques employés pour cette analyse est indiquée dans la liste systématique page 65.

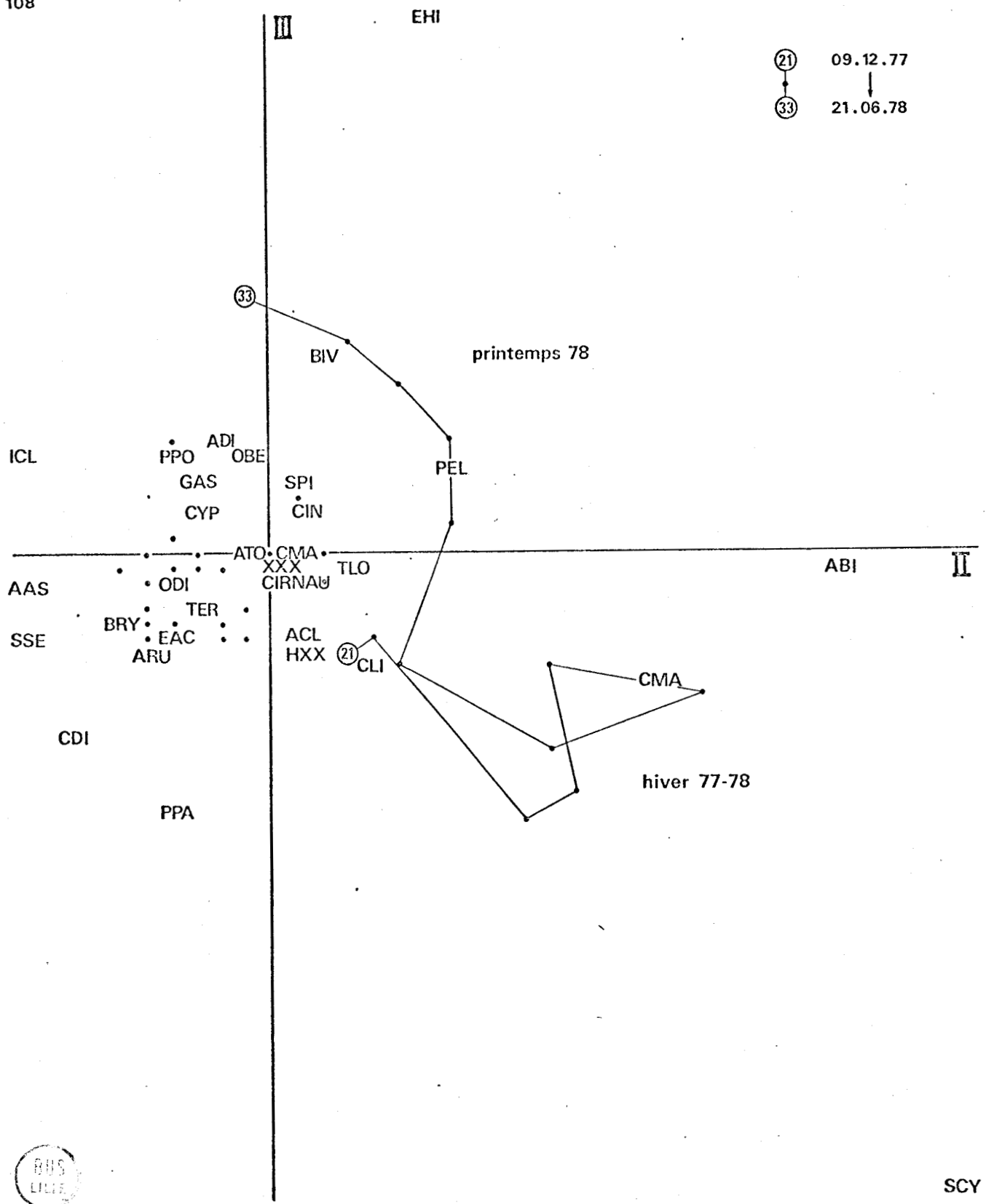


Figure 51 : Cycle annuel du zooplancton : points espèces et points prélèvements
Plan II-III de l'analyse.

par la présence d'espèces d'eau dessalées : *Acartia bifilosa* (ABI) et *Eurytemora hirundoïdes* (EHI).

L'été est caractérisé (Fig. 50) par les larves de bryozoaires (BRY) et de gastéropodes (GAS) et par le copépoïde thermophile *Isias clavipes* (ICL).

En automne nous retrouvons les espèces traditionnelles pour cette époque dans le plancton régional : *Sagitta setosa* (SSE) et les copépoïdes *Euterpina acutifrons* (EAC) et *Paracalanus parvus* (PPA).

L'hiver est marqué par la présence peu durable des éphyrules de Scyphozoaires (SCY) et par une grande pauvreté numérique de l'ensemble des espèces.

La présence d'*A. clausi* (ACL) en toutes saisons est indiquée par sa position centrale dans le plan des axes I et II par rapport aux différents nuages de points caractérisant les saisons. Par contre le "décentrage" d'*A. tonsa* (ATO) provient de son absence presque totale avant la fin du mois de juillet 1977 : il s'oppose sur l'axe I au printemps 1977.

Les positions des copépoïdes *Eurytemora hirundoïdes* (EHI) et *Acartia bifilosa* (ABI) à la sortie de l'hiver s'expliquent par la dessalure importante à cette époque en 1978 mais n'ont pas de "signification saisonnière" proprement dite. Par contre il est intéressant de noter la position de *Pseudocalanus elongatus* (PEL), espèce printanière à tendance boréale et dont la reproduction commence très tôt dans l'année (LEFEVRE, 1977).

II.12 APERÇU SUR LA REPARTITION VERTICALE DU ZOOPLANCTON

La station E est caractérisée par de forts gradients verticaux de température et de salinité qui s'opposent et déterminent ainsi un gradient de densité relativement important. Cette structure hydrologique se retrouve dans l'ensemble des bassins sauf à proximité immédiate de certains rejets (KHALANSKI, 1977) et joue certainement un rôle non négligeable dans la répartition du zooplancton en diminuant sa flottabilité dans les eaux de surface.

Bien que nous n'ayons pas encore fait d'étude systématique sur la

TABLEAU 17 - EXEMPLE D'HETEROGENEITE SPATIALE VERTICALE DU ZOOPLANCTON :

exemples pris sur les copépodes

Temora longicornis, *Acartia* sp. , *Centropages hamatus* et *Euterpina acutifrons*
(unités arbitraires)

a) Aux stations Prise (P) et dans l'axe du chenal (Z)

Prélèvement	Date	Station	Niveau (m)	T. l.	A. sp.	C. h.	E. ac.
Pompe	25.05.77	P	5	1285	5	30	20
			12	1825	55	40	15
Filet	08.06.77	Z	1	21	0	17	0
			5-10	169	13	20	0
Pompe	21.07.77	Z	1	12	8	5	11
			13	55	66	24	37
Pompe	09.08.77	P	12	44	66	20	52
			1	7			
Pompe	09.08.77	P	12	35			
			1	23 et 37			
Filet	26.08.77	Z	5	156 et 144			
			1	74	210	57	92
Filet	13.09.77	Z	5	288	299	65	151

b) Dans l'axe des rejets

Distance du rejet	50 m		100 m		300 m	
	T. l.	A. sp.	T. l.	A. sp.	T. l.	A. sp.
Niveau						
1 m	27	54	22	0	15	73
3 m	7	70	106	207	24	154
8 m					80	222

répartition spatiale du zooplancton, quelques données sont déjà disponibles (Tableau 17) et montrent une tendance générale à l'enfoncement, tout au moins pendant les périodes diurnes, (sauf pour *Podon polyphemoïdes* qui préfère les eaux chaudes superficielles). Nous avons parfois pu constater un véritable "désert zooplanctonique" dans les couches les plus superficielles (≈ 1 m) du bassin dévitage.

II.13 ANOMALIES RELEVÉES CHEZ CERTAINS COPEPODES

Plusieurs types d'anomalies ont pu être relevés chez certains individus du groupe des copépodes : extrusions tissulaires, prolapses intestinales, anomalies morphologiques.

- Les extrusions tissulaires non structurées (Fig. 52) se produisent le plus souvent en position dorsale entre deux segments thoraciques. Très rares, nous avons pu en provoquer artificiellement et par inadvertance au cours de manipulations sur des copépodes fixés, dont la carapace aurait été rendue plus fragile par immersion dans le fixateur (non neutralisé). Ce type d'anomalie doit donc être actuellement considérée comme douteuse à l'état naturel (artefact).

- Les prolapses intestinales (Fig. 52) s'effectuent en général au bout de l'abdomen et sont plus ou moins développées. CRISAFI (1974) avait déjà observé de telles anomalies sur des copépodes en provenance de zones plus ou moins polluées. Il en a vérifié la nature intestinale par coupes histologiques. D'après cet auteur, l'inégal développement de l'ex-trusion montrerait le caractère évolutif du mal. Pourtant on peut penser qu'assez tôt de tels copépodes ne sont plus viables et que si la ptôse n'est pas instantannée, la progression doit être très rapide et suivie de mort à très brève échéance. Tout de même assez rares, de telles manifestations seraient le résultat de stress brutaux plutôt que l'indication d'une pollution ambiante.

- "L'affection" la plus courante est représentée par des transformations morphologiques d'appendices (Antennules, 5e pattes thoraciques, furca). Dans le cadre de nos déterminations spécifiques chez le genre *Acartia*, nous avons été amené à observer un très grand nombre de 5e paires de pattes thoraciques femelles et avons constaté la fréquence assez élevée

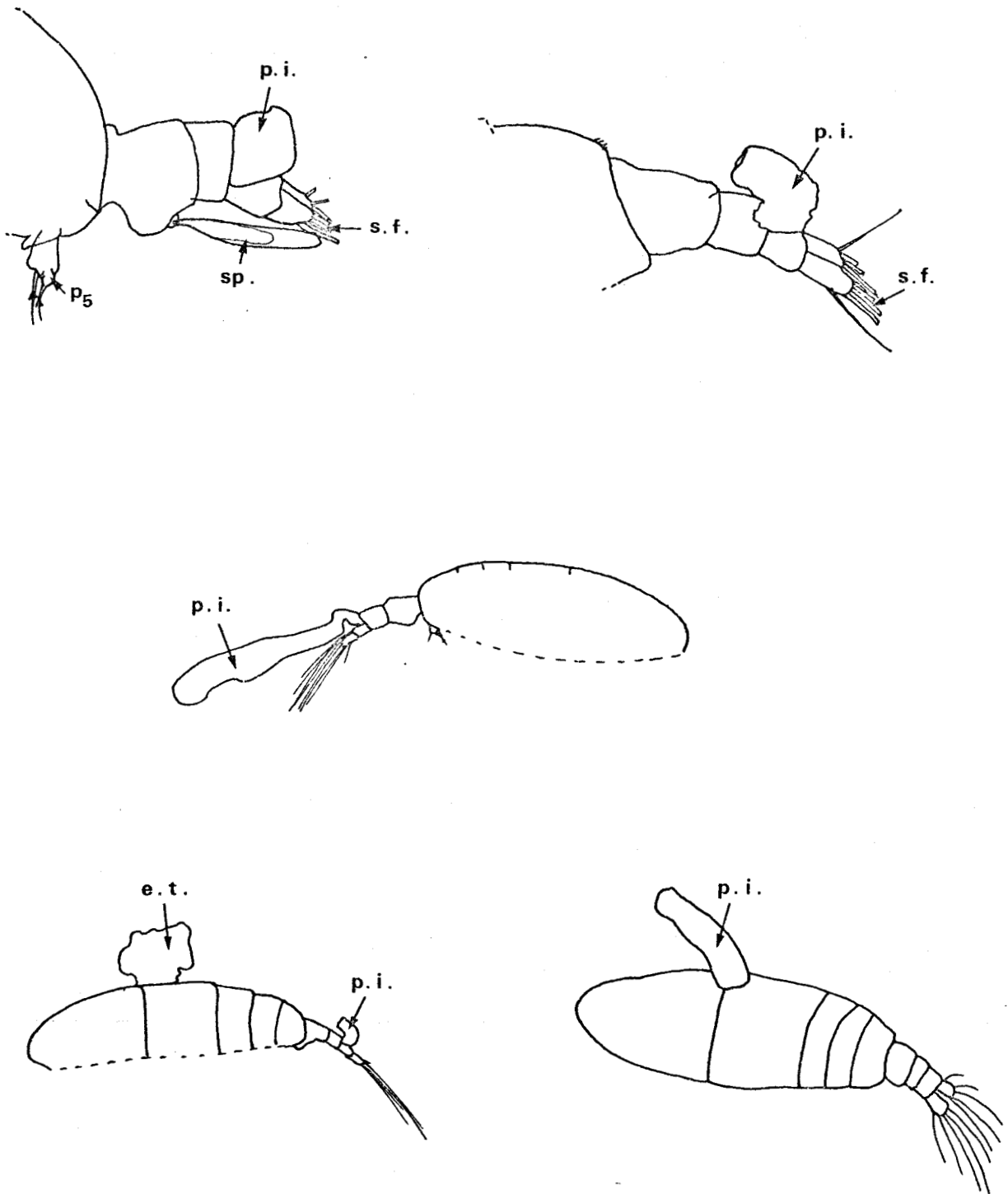
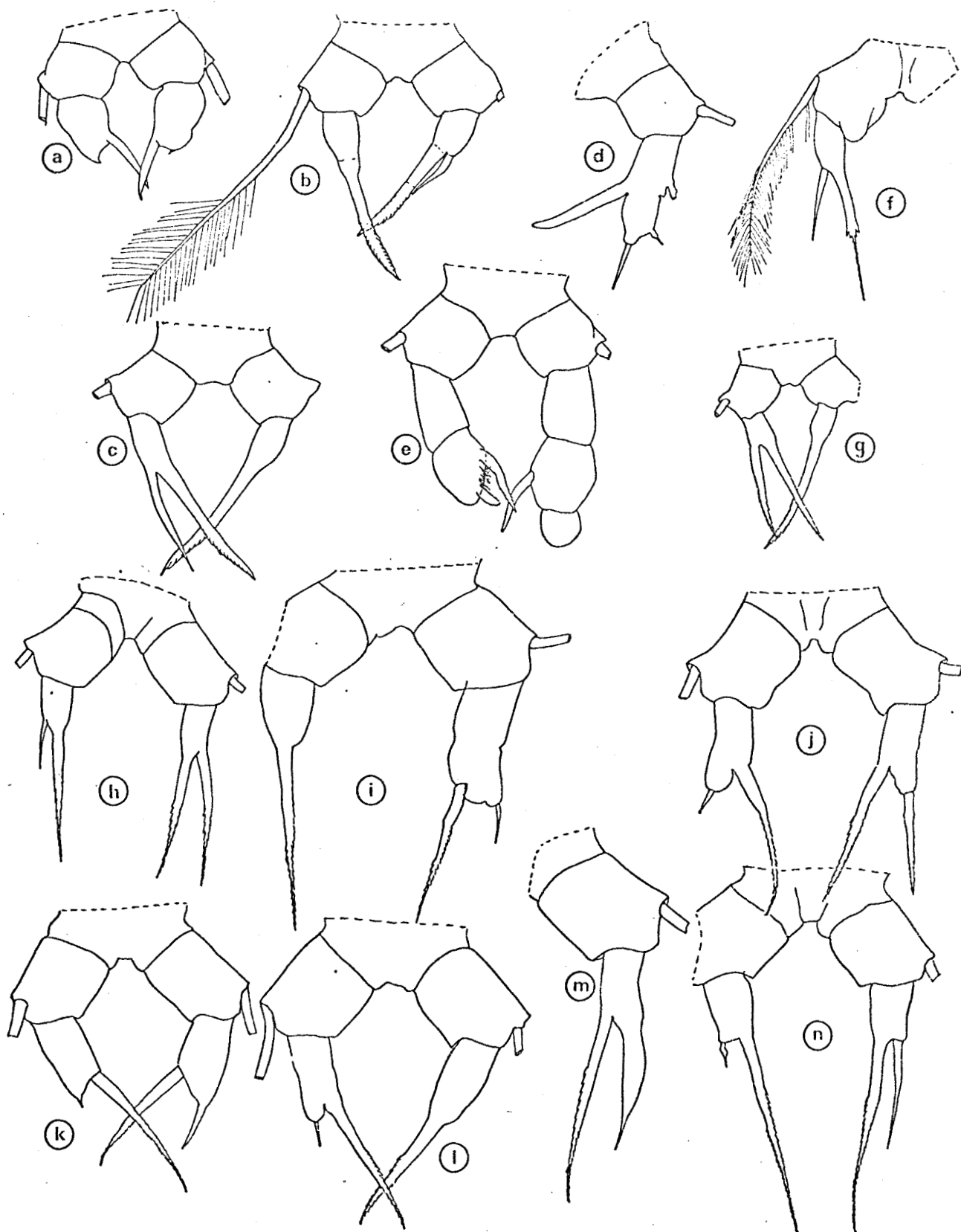


Figure 52 : Extrusions tissulaires et prolapses intestinales chez les copépodes (*Acartia* sp.) .

e.t., extrusion tissulaire . p.i., prolapse intestinale .

p_5 , 5^e paire de pattes thoraciques . s.f., soies furcales .

sp., spermatophore .



(a) (c) *A. clausi*, (f) *A. tonsa*, (g) *A. discaudata*, (h) (n) *A. bifilosa*



Fig. 53 : Anomalies morphologiques chez les *Acartia*

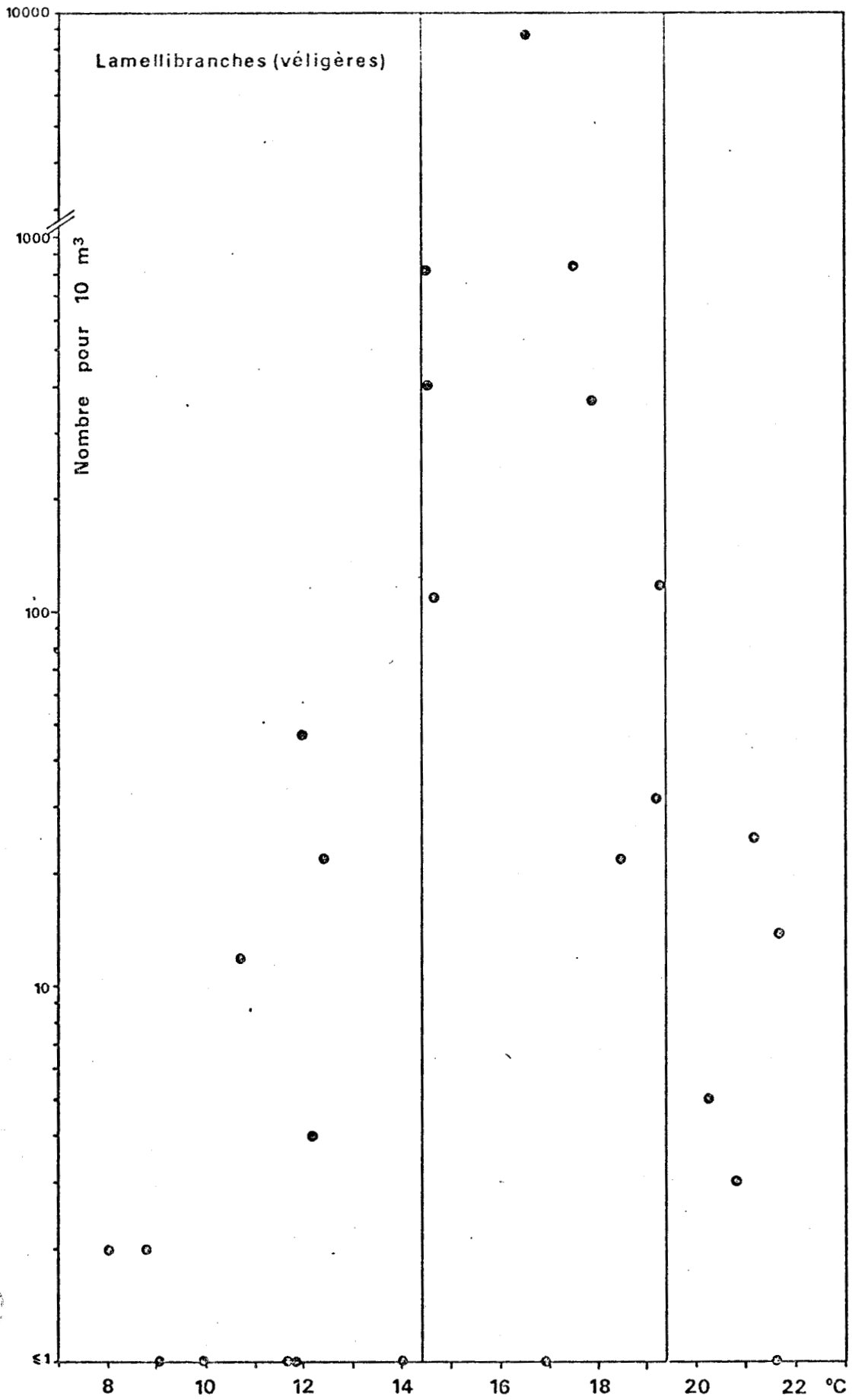


Fig. 54 - Abondance des larves véligères de Lamellibranches en fonction de la température

des anomalies dont les principales formes sont présentées sur la figure 53 et que l'on peut comparer à la structure normale, figure 40.

A partir d'un simple dédoublement de l'article terminal, on peut aboutir à des formes beaucoup plus complexes (Fig. 53d), avec segmentations supplémentaires. Le cas extrême est représenté par la figure 53e où l'appendice rappelle celui des mâles (l'abdomen et l'antennule droite non géniculée de cet individu étaient typiquement féminins).

Peu observées chez *A. discaudata* (qui a été peu disséqué car se reconnaît facilement à sa furca), ces anomalies sont assez rares chez *A. tonsa*. Plus courantes chez *A. clausi* (dans 7 prélèvements sur 20 analyses, avec des taux compris entre 2 et 5 %), les formes anormales ont été observées dans presque tous les échantillons d'*A. bifilosa* sur jusqu'à 23 % (février) et même 100 % (5/5) des individus (janvier).

III - DISCUSSION

Le développement des différentes espèces est conditionné par plusieurs facteurs écologiques. A partir des résultats de nos mesures hydrologiques et des données de la littérature, nous avons tenté de préciser leurs influences sur certaines espèces du zooplancton de Dunkerque. Ces facteurs peuvent être variables suivant les espèces ou, pour un même facteur, agir à partir d'un seuil différent. Nous avons principalement retenu dans notre étude l'action de la salinité, de la nourriture, de la "pollution globale" et surtout de la température. Ce dernier paramètre est en effet important dans la biologie des espèces et est directement perturbé par l'implantation d'une centrale électrique de grande puissance.

III.1 LES LAMELLIBRANCHES

Comme beaucoup d'espèces, le retard thermique observé en 1978 a décalé la date d'apparition des larves dans le plancton. La première période de ponte est moins étendue, mais en contre-partie, le maximum de véligères observé (8 271) est beaucoup plus important qu'en 1977. (Fig. 34).

Le rôle de la température dans le déclenchement de la ponte de *Mytilus edulis* est bien connu (LUBET, 1959). La figure 54 montre l'influence de la température sur l'abondance des véligères récoltées à Dunkerque. L'apparition des larves commence vers 12° C mais l'optimum thermique semble situé entre 14,5° et 19,5° C.

Entre certaines limites, l'élévation de la température favorise l'activation des processus biologiques (dont la maturation des gamètes) :

L'accélération de la reproduction de *Mytilus edulis* dans le port doit être limitée puisque d'après LUBET (1959), il existe un maximum thermique voisin de 18° C au-delà duquel la gamétogenèse est stoppée : le cycle de reproduction entre alors dans une phase de "repos estival". A Dunkerque l'abondance des véligères diminue effectivement dès le mois de juin. Les larves d'été pourraient provenir d'une zone peu affectée par les rejets thermiques E.D.F., ou plutôt de l'extérieur du port, par les écluses. En effet, même en profondeur (couches les plus froides) et à 700 m des rejets (prise E.D.F.) la température dépasse 18° C de juin à octobre. Il est cependant possible que cette limite thermique soit légèrement reculée dans les bassins en raison d'une adaptation physiologique de l'espèce à ce milieu continuellement échauffé (?).

Bien que fortement ralentie en hiver (le minimum thermique pour l'émission des gamètes est voisin de 7° C à Luc-sur-Mer, LUBET et LEGALL, 1968), la ponte ne semble pas bloquée, puisque des véligères sont récoltées sporadiquement pendant les mois les plus froids. Elles proviendraient des adultes fixés près de la zone des rejets.

Les Lamellibranches sont filtreurs suspensivores et leur développement est favorisé par l'abondance du phytoplancton. En 1977, chaque pic de véligères succède à un maximum de chlorophylle a, à environ 1 mois d'intervalle. (Fig. 34).

D'après LUBET (1959), chez les moules du littoral soumises à l'action de la marée (médiolittoral), les périodes de pontes correspondent aux périodes d'immersion maximale : les pleines mers de vives-eaux. Par contre, chez celles qui sont constamment immergées, le cycle sexuel est presque continu, les individus pondant alternativement les uns par rapport aux autres . Il est probable qu'à Dunkerque un même animal adulte ne participe pas à deux périodes de ponte successive : on peut penser qu'en 1978, le retard thermique a bloqué les premières pontes de l'année et que tous les géniteurs ont pondu en même temps (mai). Ceci expliquerait la faiblesse de la ponte de juin-juillet, malgré un pic important de chlorophylle a en juin : le potentiel de reproduction de la population globale ayant été temporairement épuisé.

III.2 LES CLADOCERES

La figure 55 montre l'abondance de *Podon polyphemoides* en fonc-

tion de la température. La température minimale de récolte est voisine de 9° C et on observe une baisse d'abondance au-dessus de 21° C. La température optimale (arbitrairement : lorsque $n > 1\ 000$ individus/m³) se situe entre 16,5° C et 21,0° C. La plus grande quantité d'individus est relevée pour une température de 17,5° C. A Martigues-Ponteau, BENON (1977) estime l'optimum thermique à environ 19° C. Comme à Dunkerque, l'abondance de cette espèce diminue aux températures trop élevées (températures estivales accrues par les effets des rejets thermiques). Le tableau 18 donne différents préférendums thermiques que nous avons pu relever dans la littérature. On constate une légère variation en fonction de la latitude : les températures optimales diminuent lorsque la latitude augmente, et ceci pourrait correspondre à une adaptation (races physiologiques ?) à des cycles thermiques annuels différents.

Latitude	Lieu	Auteur	Préférendum thermique	Optimum
57°	Suède (Kattegatt)	ERIKSSON, 1974	15° - 19°	16,0°
51°	France (Dunkerque) (port)	BRYLINSKI cette étude	16,5° - 21°	17,5°
43°	France (Marseille)	BENON, 1977	?	≈19,0°
37° à 40°	U.S.A. (Chesapeake Bay)	BOSCH et TAYLOR, 1973	12,0° - 24°	19,5°

Tableau 18 : Variations de l'optimum thermique de *Podon polyphemoïdes* en fonction de la latitude

Il faut cependant signaler les observations de ERIKSSON (1973) qui relève en Mer Baltique les maximums d'abondance à des températures de 10 à 16°. D'autre part ACKEFORS ET ROSEN (1970) déterminent expérimentalement en laboratoire un préférendum thermique aux environs de 8° C ! Ce résultat est en totale contradiction avec de nombreuses observations faites en milieu naturel où *Podon polyphemoïdes* apparaît comme une espèce thermophile (PATRITI, 1973 - ERIKSSON, 1974 - MORAITOU-APOSTOLOPOULOU et KIORTSIS, 1976 - et cette étude.).

On peut émettre l'hypothèse selon laquelle le facteur conditionnant le développement ne serait pas directement la température ? D'autres facteurs écologiques interviendraient, qui seraient optimisés par l'élévation de la température (?) et qui restent à déterminer.

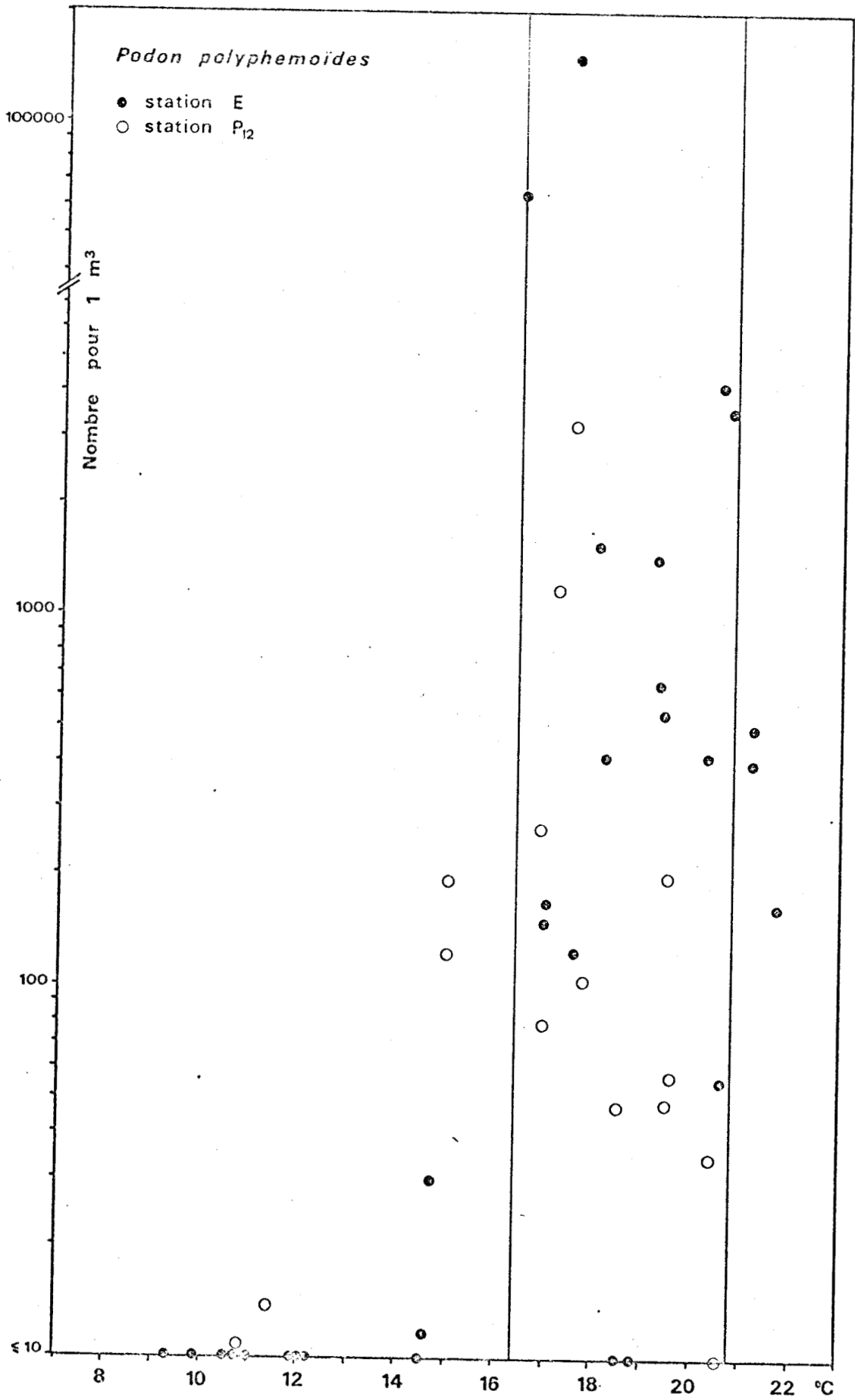


Fig. 55 - Abondance des Cladocères en fonction de la température

Podon polyphemoïdes est récolté dans des zones souvent dessalées. BOSCH et TAYLOR (1973) déterminent un optimum salin très bas, compris entre 8 et 18 ‰, mais à Dunkerque, comme dans le port de Marseille (PATRITI, 1973), il n'a pas été possible d'établir de relation entre la salinité et l'abondance de cette espèce. Les salinités y sont en effet assez élevées par rapport à l'optimum cité. Ces zones de dessalures correspondent en général à des milieux plus ou moins pollués (estuaires, ports) et cette espèce doit être plutôt considérée, lorsqu'elle pullule, comme caractéristique des eaux polluées (PATRITI, 1973 - MORAITOU-APOSTOLOPOULOU et KIORTSIS, 1976). Dans le golfe de Fos, BENON et coll. (1977) signalent l'excellente résistance de cette espèce à la pollution par les hydrocarbures et les métaux lourds.

En mer ouverte, les quantités relevées sont nettement plus faibles que dans les milieux fermés et protégés (eaux calmes). Les valeurs maximales que nous avons relevées - 140 000/m³ en 1977 et 65 500/m³ en 1978 - sont les plus élevées de la littérature étudiée et correspondent respectivement à 98 % et 96 % du plancton total. A ces dates, le filet WP2 (200 µ de maille) a d'ailleurs été colmaté par les *Podon*. Les valeurs les plus élevées recueillies chez d'autres auteurs sont de 60 560/m³ en Chesapeake Bay (BOSCH et TAYLOR, 1973) et 50 000/m³ dans le port de Marseille (PATRITI, 1973).

Cependant les comptages ne peuvent être qu'une estimation de la quantité réelle. Le comportement de cette espèce en tant que particule est en effet particulier : dans les échantillons fixés, de nombreux individus ont tendance à flotter à la surface de l'eau et à s'agglutiner entre eux, ce qui rend difficile l'homogénéisation des prélèvements à sous-échantillonner. ACKEFORS et ROSEN (1970) avaient déjà signalé qu'une des difficultés rencontrées lors des expérimentations en laboratoire était l'adhérence des *Podon* à la surface, due à des forces de tensions superficielles.

III.3 LES COPEPODES

A Dunkerque le rôle de la température dans la succession des espèces de copépodes est certainement primordial et a été mis en évidence (Fig. 44 et 45).

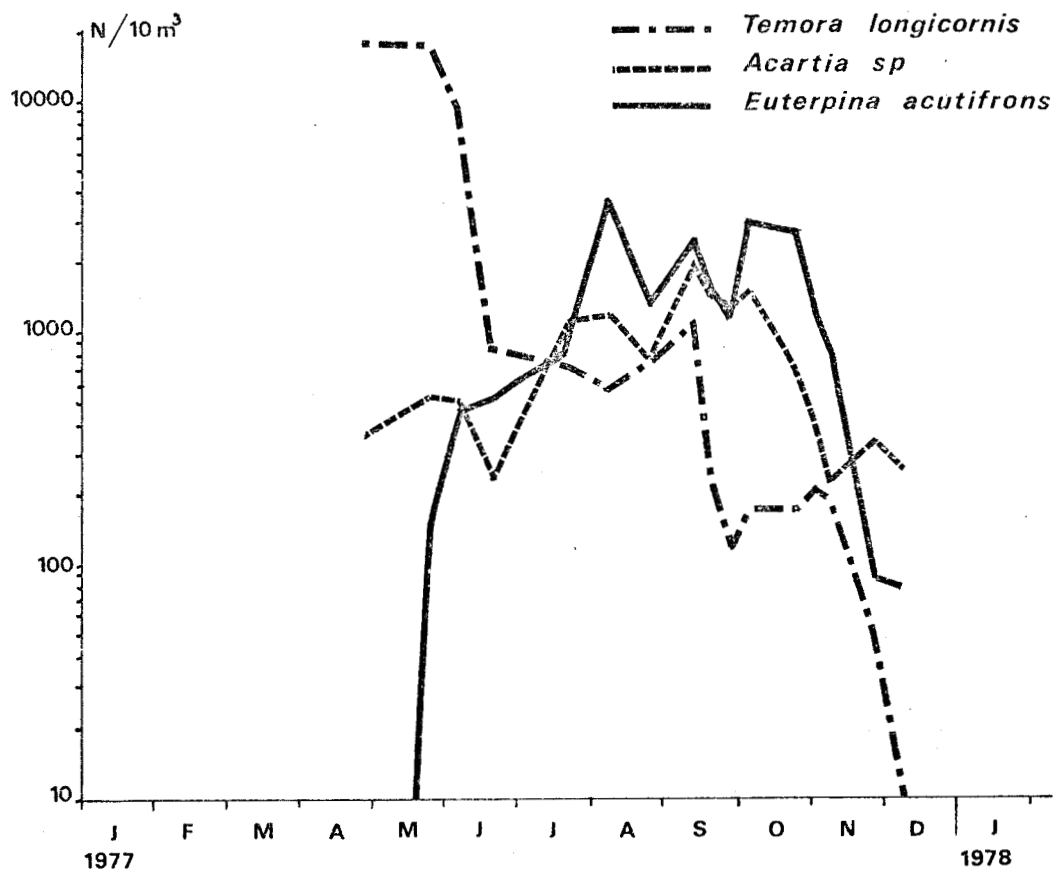


Fig. 56 - Variations saisonnières des trois principales espèces de Copépodes à la station P₁₂.



III.3.1 Acartia clausi et Temora longicornis : Alternance spécifique et température

A. clausi cède la première place à *T. longicornis* à la fin de l'hiver, lorsque la température de l'eau atteint son minimum, c'est à dire fin janvier 1977 et mi-février 1978. Après "la période *T. longicornis*", *A. clausi* reprend la première place lorsque la température atteint 18-19° C, c'est à dire à la fin du mois de juin pour les deux années.

Pendant la période de baisse de température (Septembre 1977 - Février 1978), la dominance d'*A. clausi* serait trop importante pour permettre une reprise de la croissance de la population de *T. longicornis* en automne. Par contre, au printemps 78, le développement de *T. longicornis* serait favorisé par les faibles températures (BODO et Coll., 1965). Cependant, d'après McLAREN (1978), "on ne devrait pas supposer de concurrence pour la nourriture dans des études de niches et de dynamique des communautés de copépodes marins". Particulièrement à Dunkerque, où de fortes quantités de chlorophylle a relevées pour les faibles quantités de zooplankton tendent à démontrer que ces copépodes herbivores ne sont pas limités par le manque de nourriture. L'effacement numérique de *T. longicornis* en été-automne-hiver 1977 (visible^{Fig. 56} également à la station P en 1977, on ne le retrouve pas en septembre 1978) ne serait donc pas lié à une compétition trophique avec d'autres espèces mais plutôt à l'importance de l'affaiblissement estival : une reprise rapide de la croissance en automne aurait été rendue impossible en raison d'un nombre insuffisant de reproducteurs ? L'alternance biannuelle *A. clausi*-*T. longicornis* serait alors plutôt due à une réponse spécifique différente vis-à-vis de la température, des variations de celle-ci, et des effets synergiques correspondants.

III.3.2 Temora longicornis

C'est une espèce des zones tempérées froides et la température des eaux où elle est récoltée dépasse rarement 20° C. Cette température correspond au maximum estival, très temporaire, dans les eaux du Sud de la Mer du Nord et en Manche Orientale. Abondante en Mer du Nord (RAE et REES, 1947 - LEFEVRE, 1976), en Manche Orientale (BRYLINSKI, 1975) et Occidentale (DIGBY, 1950 - RAZOULS, 1963), elle disparaît dans le bassin d'Arcachon (LUBET, 1953) dès le mois de juin, lorsque la température s'élè-

ve, et est absente pendant tout l'été et l'automne. En Méditerranée, *Temora longicornis* est rarement et peu récolté (GAUDY, 1972). Dans le bassin d'évitage où la température moyenne dépasse 20° C pendant une période assez longue (juillet à septembre), cette espèce se trouverait alors dans des conditions thermiques inhabituelles pour son aire de répartition géographique normale.

III.3.3. *Acartia clausi*

A. clausi est une espèce plus cosmopolite qui supporte mieux des températures plus élevées et que l'on retrouve en bonne place en Méditerranée (GAUDY, 1971 - BENON, 1977).

A. clausi est par ailleurs très bien adapté aux conditions écologiques extrêmes du milieu portuaire. Bien représentée à Boulogne-sur-mer (BRYLINSKI, 1975) et Gravelines (BRYLINSKI, 1973 - LEFEVRE, 1976) avec des maximums respectifs de 62 %, 32 % et 17 % des copépodes, *A. clausi* n'y occupe pas une dominance si nette ni surtout si durable que dans le port de Dunkerque. En Méditerranée, elle ne représente que 11 à 14 % des copépodes dans le golfe de Marseille (GAUDY, 1971), mais jusqu'à 90 % dans le port de Marseille (PATRITI, 1976). Dans la zone de Martigues-Ponteau, cette espèce peut atteindre 89 % des copépodes (BENON, 1977). Cette région est soumise aux influences du golfe industriel de Fos où le genre *Acartia* trouve dans les zones polluées des conditions trophiques particulièrement favorables (BLANC et coll., 1975a). Dans le golfe de Tarente (Italie), CRISAFI et CRESCENTI (1975) observent une augmentation importante des pourcentages d'*A. clausi* entre les années 1956-58 et 1972-73, augmentation qu'ils considèrent comme une conséquence de l'activité humaine. "*A. clausi* est capable d'occuper comme unique zooplancton le milieu où elle vit". Près de Messine, "elle pullule et prolifère dans les sinuosités côtières fortement polluées" (CRISAFI et CRESCENTI, 1972).

D'après CONOVER (1956), bien qu'*A. clausi* ait une distribution mondiale et une forte tolérance thermique et haline, elle n'arrive à dominer dans le zooplancton que dans les conditions d'estuaire, tout au moins pour les eaux tempérées Nord. En fait *A. clausi* n'atteindrait une place importante dans le plancton que lorsque la faible salinité restreint la distribution des autres copépodes. Elle ne s'imposerait donc pas activement par une pression sur l'écosystème mais plutôt par un défaut des autres es-

pèces (BLANC et coll., 1975a). C'est ce qu'il semble se passer à Dunkerque où la population globale des copépodes est relativement faible.

En conclusion, même si *A. clausi* ne peut pas être considérée comme espèce caractéristique d'un milieu portuaire (PATRITI, 1976), il semble que le pullulement de cette espèce néritique soit l'indicateur d'un milieu pollué, tout comme d'ailleurs pour plusieurs autres espèces du genre *Acartia* (CRISAFI, 1973-1974 - BLANC et coll. 1975a).

III.3.4 *A. clausi* et *A. tonsa* : alternance spécifique, température et salinité

Sur les sites Ouest-atlantiques, les deux espèces sont souvent présentes mais leur écologie est différente et leur réussite n'est pas provoquée par les mêmes conditions de milieu, en particulier de température et de salinité.

Dans son importante étude sur la biologie de *A. clausi* et *A. tonsa*, CONOVER (1956) indique que si la température est le facteur qui contrôle la distribution saisonnière de ces espèces dans le Long Island Sound, elle en contrôle aussi la répartition géographique mondiale. En effet, bien qu'*A. clausi* soit récoltée de la latitude 50° S à 80° N, cette espèce se développe mieux dans les eaux froides, parmi lesquelles la Manche et la Mer du Nord. Par contre, le développement d'*A. tonsa* est circonscrit aux zones tropicales ou sub-tropicales et aux eaux subissant l'influence de courants marins chauds tout autour du globe. La reproduction de *A. tonsa* est en effet très faible en dessous de 10° C (JEFFRIES, 1962). Ainsi, sur la côte Est des Etats-Unis, *A. clausi* domine dans le golfe du Maisne (lat. 44° N) et est progressivement remplacée dans le Sud par *A. tonsa* (BOWMAN, 1961).

L'ensemble des localités européennes actuellement recensées (Fig. 42) montre que lorsque cette dernière espèce a colonisé les hautes latitudes des eaux européennes, elle est restée confinée dans les eaux estuariennes plus chaudes que les eaux ouvertes. En France, la présence d'*A. tonsa* dans les bassins du port de Dunkerque où la température est plus élevée qu'en Mer du Nord, et dans le canal de Caen à la mer où la température est plus élevée qu'en Manche (LAFON et coll., 1955) confirme cette observation.

Sa localisation très côtière indique d'autre part qu'il existe une relation entre le phénomène de dessalure observé dans ces biotopes et la répartition géographique d'*A. tonsa*.

Comme CONOVER (1956), JEFFRIES (1962) observe dans les estuaires Nord-américains une alternance spécifique fortement liée à la température : *A. tonsa* domine en été-automne dans les eaux chaudes et *A. clausi* en hiver-printemps lorsque les eaux sont plus froides. Cependant la salinité joue un rôle très important au cours de la période de transition. En effet *A. tonsa* est moins sensible à la dessalure que *A. clausi* et en estuaire, au printemps, il le remplace progressivement de l'amont vers l'aval. Cette différence de sensibilité à la dessalure s'observe dans le canal de Caen à la mer. La salinité (< 10 ‰) y est beaucoup plus faible qu'en Manche (LAFON et coll., 1955) et seul *A. tonsa* se développe. Bien que des apports d'eaux salées puissent se faire à marée haute par les écluses séparant le canal de la mer, les ensemencements du milieu en *A. clausi* se révèlent improductifs. Au contraire à Dunkerque, malgré la dessalure non négligeable des bassins due aux apports du canal de Bourbourg, le milieu demeure un milieu marin et *A. clausi* reste largement représenté à côté d'*A. tonsa*. Si *A. tonsa* se révèle ainsi moins sensible à la dessalure, il est par contre plus sensible aux fortes salinités, en dessous d'un certain seuil thermique. En Manche, au large de Caen, et en Mer du Nord, au large de Dunkerque, la salinité est toujours supérieure à 33 ‰, valeur exceptionnellement atteinte dans le port, et *A. tonsa* est absent dans ces zones de mer ouverte.

Il se peut d'autre part que *A. tonsa* se trouve à Dunkerque très proche de ses limites supérieures de tolérances vis à vis de la salinité. Au début de 1978 les valeurs de salinité sont très faibles (< 31 ‰) par rapport à l'année précédente. A cette période, la température comprise entre 11 et 18° C (mai-juin) est favorable à la reproduction des deux espèces (JEFFRIES, 1962), mais *A. tonsa* est favorisé par les faibles salinités et domine largement *A. clausi*. En juillet, la salinité remonte au dessus de 31 ‰ et *A. clausi* reprend la prédominance.

Dans le bassin d'évitage du port de Dunkerque, l'alternance spécifique due à la température n'est donc que partiellement observable, alors que le contrôle de la salinité est nettement mis en évidence au cours de la période étudiée, en raison des différences de salinités observées en 1977 et 1978. La dominance théorique été-automne de *A. tonsa*, dont la population est propre au bassin, est marquée par une augmentation de son im-

portance parmi les autres *Acartia* (Tableau 16) de août à décembre 1977, mais est limitée par le fait que les populations autochtones d'*A. clausi* sont sans cesse renouvelées et enrichies par les apports extérieurs de la Mer du Nord.

III.3.5. *Acartia tonsa*

Ainsi la survie d'*A. tonsa* et la réussite de son développement dépendent du maintien de la température à un niveau relativement élevé par rapport aux eaux ouvertes de la région et du maintien de la salinité à un niveau relativement faible, surtout aux basses températures. Absent ou rare au printemps 1977, *A. tonsa* est abondant au printemps 1978, aux mêmes températures mais à des salinités plus faibles.

Cette absence temporaire pendant les mois les plus froids pose le problème de la recolonisation estivale. Dans le canal de Caen à la mer, *A. tonsa* disparaît totalement du plancton d'octobre à avril. LAFON et coll. (1955) émettent l'hypothèse selon laquelle un certain nombre d'individus adultes pourraient passer l'hiver sur les berges du canal dans les touffes d'organismes fixés, assurant ainsi la survie de l'espèce sous forme benthique.

Qu'elle soit benthique ou pélagique, une survie semble en effet possible aux basses températures comme le signale GONZALEZ (1974) qui a récolté plusieurs spécimens de cette espèce dans des eaux dont la température avoisinait -1° C. Les individus seraient alors en "état d'attente", tout développement bloqué. De tels arrêts dans le développement ont été observés chez d'autres copépodes (LAIR, 1977 - MARSHALL et ORR, 1952). Des expériences en laboratoire (CONOVER, 1956) montrent qu'à 4° C, *A. tonsa* tombe dans une sorte d'apathie (plus de réaction à un stimulus lumineux) signalant un métabolisme très faible.

Des études plus récentes ont révélé l'existence "d'oeufs de survie" chez les copépodes et entre autres chez le genre *Acartia* (ZILLIOUX et GONZALEZ, 1972 - UYE et coll., 1976 - KASAHARA et coll., 1974). Enfouis dans la vase à l'état de dormance, ils éclosent lorsque les conditions de milieu redeviennent favorables. Cette procédure pourrait être alors le principal moyen de survie des copépodes qui disparaissent totalement du plancton pendant une période plus ou moins longue de l'année. Il se peut toutefois qu'à Dunkerque, où seul le bassin d'évitage a été échantillonné, *Acartia tonsa* poursuive un développement normal dans d'autres parties du port.

L'importation d' *A. tonsa* dans les eaux européennes semble relativement récente (Fig. 42). En accord avec l'hypothèse de REMY (1927) nous pouvons considérer que ce copépode a été transporté parmi les salissures peuplant la coque des navires trans-océaniques. L'amplification du trafic depuis le début du siècle a certainement augmenté les probabilités d'apports en même temps que le développement des activités industrielles côtières permettait l'établissement de zones littorales échauffées (estuaires, fjords, ports...), toujours de faible étendue, favorisant la survie et l'implantation plus ou moins réussie de cette espèce. La recherche systématique de tels sites et l'étude de leur plancton devrait permettre d'approfondir nos connaissances sur l'extension de cette espèce dans les eaux européennes. L'acquisition de cette espèce à la faune européenne semble bien définitive.

III.3.6 *Euterpina acutifrons*

Euterpina acutifrons commence à se développer en juin lorsque la température dépasse 15° C, comme à Gravelines, et il domine le groupe des Copépodes avec son pic maximum en septembre et octobre. Son développement est favorisé par la température élevée de l'été. D'après HAQ (1972) la ponte est maximale lorsque la température atteint 25° C. Le pourcentage de femelles ovigères observées est nettement plus important dans les eaux échauffées du port qu'à Gravelines, puisqu'il dépasse 55 % en juin et début juillet 1977 et 40 % de août à septembre, contre un maximum de 19,7 % (LEFEVRE, 1976). Par ailleurs, BENON (1976) a pu "constater une grande abondance de femelles porteuses de sacs ovigères chez les copépodes Harpacticoïdes (dont *E. acutifrons*) dans la nappe échauffée" de la centrale thermique de Martigues-Ponteau.

L'élévation de la température semble donc avoir un effet bénéfique sur la reproduction de cette espèce.

L'abondance et la dominance de *E. acutifrons* sont pourtant plus fortes à Gravelines. Il se peut que cette espèce détritivore ne trouve pas son optimum trophique dans le port de Dunkerque que l'on peut assimiler à un bassin de décantation : les pesées de particules en suspension sur les deux sites montrent un déficit très net à Dunkerque par rapport à Gravelines. En mer du Nord, les turbulences dues aux courants favorisent à la fois la mise en suspension des particules nutritives et des *Euterpina* eux-mêmes, animaux peu nageurs. Les comptages complémentaires effectués au niveau de la prise d'eau E.D.F. (au niveau - 12 m) montrent qu'au fond

du bassin (au voisinage des particules qui s'y trouvent), la dominance de *Euterpina acutifrons* est beaucoup plus nette et plus longue (août-novembre) (Tableau 18, Fig. 56). Cette observation se rapproche plus du cycle observé à Gravelines où cette espèce domine pendant tout l'automne et l'hiver.

Les différences thermiques entre les deux années peuvent expliquer en partie le retard observé en 1978 dans le développement de la population d'*Euterpina acutifrons*. Les plus fortes valeurs d'abondance s'observent toutefois à la même période (fin de l'été) pour les deux années et sont très voisines. La différence de régime alimentaire fait que cette espèce principalement détritivore possède un cycle de développement totalement indépendant des autres. La première place parmi les copépodes en septembre 1977 ne correspond donc pas à une dominance de *E. acutifrons* (au sens adopté par DAJOZ - 1972 : forte pression sur l'écosystème), mais est due à l'effacement numérique des autres espèces à la même période, effacement sans relation directe avec le maximum d'abondance d'*E. acutifrons*.

III.3.7. Diversité des copépodes

Dans un écosystème équilibré, il existe un grand nombre d'espèces dont plusieurs principales d'importances comparables : la diversité est élevée et ses variations sont atténuées. Dans un écosystème instable, une ou peu d'espèces dominant à tour de rôle : les variations de la diversité, qui est faible, sont accentuées (SOUPLET et coll. 1977). A Gravelines, H varie de 1,0 à 2,8 (LEFEVRE, 1977) et à Boulogne-sur-mer de 1,50 à 2,40. Dans le port de Dunkerque, H atteint des valeurs très faibles (0,3 bits) par rapport aux deux sites voisins précités, mais reste assez élevé pendant une bonne partie de l'année et peut atteindre 2,6 bits.

Les variations rapides et bien marquées de H indiquent le caractère instable de l'écosystème portuaire où une seule espèce semble, la plupart du temps, responsable des faibles indices de diversité (PATRITI, 1976). C'est ce que souligne la correspondance entre les chutes des valeurs de H et les périodes de dominances spécifiques (Fig. 45).

La population des copépodes est formée à Dunkerque par les mêmes espèces qu'en Mer du Nord, espèces auxquelles s'ajoutent celles qui sont propres au bassin, rarement ou jamais trouvées à l'extérieur.

Ceci explique les valeurs relativement fortes de la diversité observées de l'été à l'hiver.

On peut pourtant se demander si ces valeurs ne sont pas artificiellement élevées étant donné le caractère à priori difficile du milieu. Le calcul de l'indice de Shannon prend en effet en compte les importations permanentes de la Mer du Nord. Certaines espèces peu abondantes ne pourraient se trouver dans le port qu'à l'état de survie. (*Pseudocalanus elongatus*, *Paracalanus parvus* et peut être *Centropages hamatus* ?). Ceci étant une hypothèse de travail, il n'en reste pas moins vrai que la diversité instantanée est relativement élevée pendant une bonne partie de l'année à Dunkerque. Seul l'aspect dynamique de la diversité (amplitude et vitesse des variations) semble alors pouvoir caractériser le milieu de façon réaliste.

III.4 LES APPENDICULAIRES

A Gravelines, TOULARASTEL (1976) observe une bonne corrélation entre le nombre d'individus et la température ($r = 0,80$) pour la période de septembre 1974 à décembre 1975. A Dunkerque, le maximum d'abondance précède légèrement le maximum thermique et se situe lorsque la température atteint 19° C en 1977 et $20,5^{\circ}$ C en 1978. Ce maximum est donc un peu plus précoce qu'en Mer du Nord. La figure 57 montre que l'abondance maximale correspondrait à un optimum thermique compris entre 17° et 21° C.

Cependant d'autres études (BODO et Coll., 1965 - HECQ, 1971 - BRYLINSKI, 1975) montrent une certaine indépendance de *O. dioica* vis-à-vis de la température. Cette espèce (filtreur) se développe alors juste après les maximums du phytoplancton. (BLANC et coll., 1975a - BRYLINSKI, 1975).

III.5 LES ASCIDIIES

Les larves de *Ciona intestinalis* et *Ascidella aspersa* sont bien représentées dans le port de Dunkerque où, comme dans beaucoup d'enceintes portuaires plus ou moins fermées, les adultes filtreurs trouvent un milieu favorable à leur développement : eaux calmes, riches en matières organiques. Ces organismes ont un cycle vital très sensible à la température. Ainsi les données bibliographiques rassemblées par DYBERN (1965) concernant les relations entre la température et *C. intestinalis* montrent que le nombre de générations par an peut être inférieur à un dans les zones sub-arctiques, et égal ou supérieur à quatre

TABLEAU 19 : ABONDANCE DES PRINCIPALES ESPECES A LA STATION P 12

nombre pour 10 m³

	1977	29.04	25.05	08.06	21.06	21.07	09.08	26.08	13.09	20.09	29.09	05.10	25.10	02.11	09.11	28.11	09.12
Podon polyphemoides			1950	12000	xxx	xxx	350	83	583	2000	490	483	1067	2688	800	140	110
Paracalanus parvus							83		50	+	33	150	183	66	20		
Pseudocalanus elongatus	200	1400	1966		16	16	116	399							20	20	40
Temora longicornis	18700	18250	9366		866	733	583	766	116	220	116	167	167	200	180	40	
Centropages hamatus	200	400	3430		516	333	1200	66	300	10	83	117	50	66	60		20
Acartia sp.	350	550	1033		233	1100	1216	783	2000	1480	1283	1517	667	422	220	340	260
Euterpina acutifrons				466	533	866	3800	1383	2550	160	1216	2983	2700	1222	800	80	70
Nauplii de Cirripèdes	14100	17200	15530		xx	xx	4550	10083	2516	3760	5240	10350	4600	244	180	x	
Cypris de Cirripèdes	900	3350	2930		x		950	283	500	340	70	517	150	133	x		20
Lamellibranches	350	700	1666		x		32	66	16		20						

xx comptages non effectués



dans les zones sub-tropicales et tropicales. Ce même auteur signale qu'en une même station (Suède), il est possible d'observer deux générations par an en surface (1 - 10 m) et une seule en profondeur (15 - 30 m) simplement en raison des conditions thermiques différentes aux deux niveaux de profondeur.

Les résultats obtenus à Dunkerque ne permettent pas de tirer des conclusions précises quant au nombre de générations annuelles mais montrent que la réussite de ces deux espèces peut être très variable.

Le développement de l'avant-port Ouest risque de favoriser l'installation de ces organismes à l'extérieur des bassins à flot : les ascidies trouveront des substrats durs dans un milieu relativement protégé, et de la nourriture avec l'enrichissement prévisible des eaux en matières organiques. C'est pourquoi, malgré le peu de larves observées actuellement à Gravelines (TOULARASTEL, 1976), les installations de la centrale risquent dans l'avenir d'être, comme à Dunkerque, sujettes en partie à la colonisation par ces espèces.

III.6 LE ZOOPLANCTON TOTAL - CONCLUSION

Il existe une correspondance remarquable entre les saisons hydrobiologiques définies dans le chapitre précédent et les saisons zooplanctoniques. Cette correspondance indique une certaine dépendance de la composition du zooplancton vis-à-vis des conditions de milieu. Cette observation doit cependant être tempérée par plusieurs remarques :

- Les espèces les plus contributives dans la détermination des saisons zooplanctoniques sont en fait des espèces qui sont le plus souvent peu abondantes et peu importantes au niveau de la biomasse totale (*Asterias rubens*, Scyphozoaires, *Asciidiella aspersa*, *Sagitta setosa*, *Isias clavipes*...)

- Les séparations entre les saisons n'ont apparemment pas la même signification : en particulier, la salinité joue un rôle important vis-à-vis du zooplancton alors qu'elle influe peu sur la caractérisation des saisons hydrologiques.

- Alors que l'année hydrologique 1978 accusait un simple retard par rapport à l'année 1977, avec décalage des printemps, les "printemps zoologiques" présentent des structures spécifiques dont la différence ne semble pas avoir de rapport direct avec le retard hydrologique.

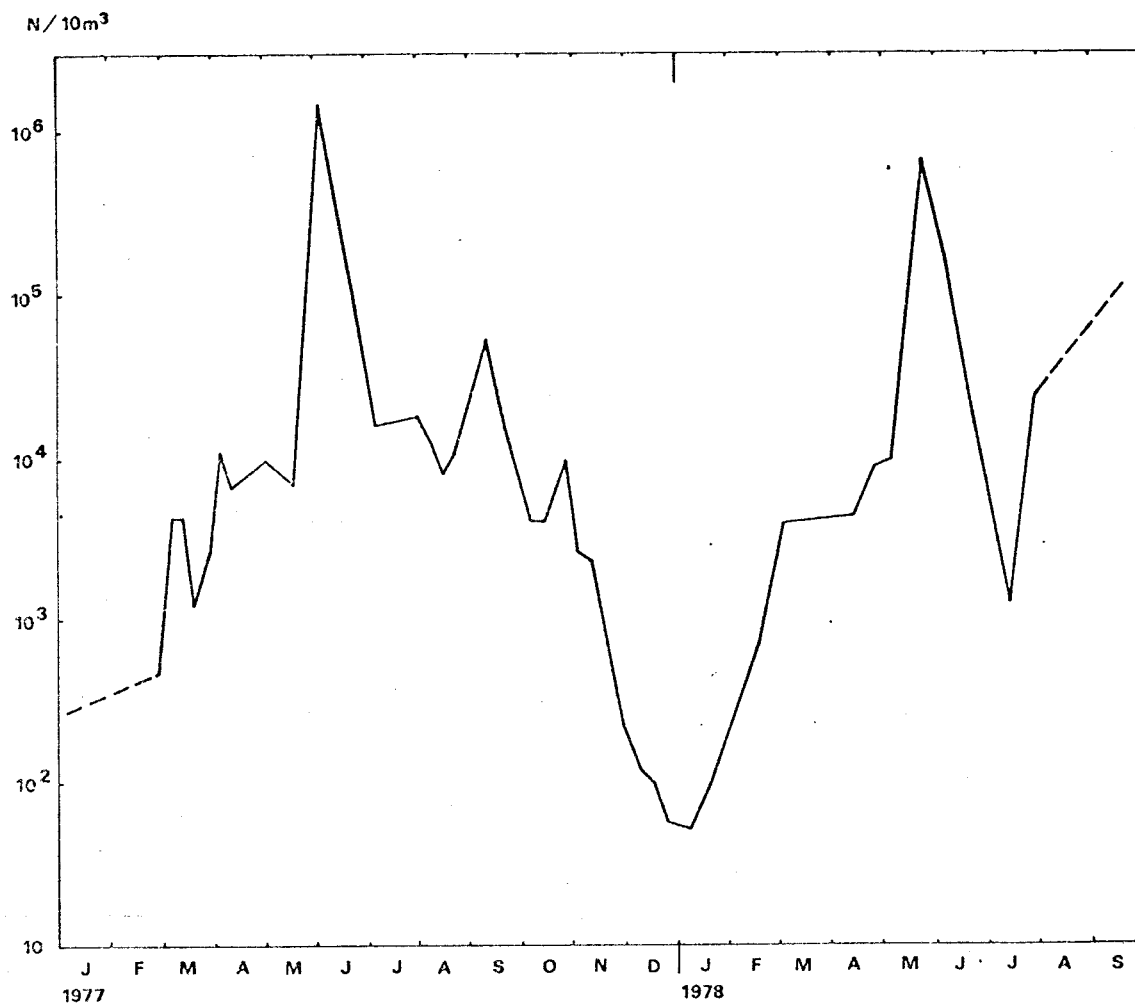


Fig. 58 : Variations saisonnières du zooplancton total



En définitive, on observe surtout à Dunkerque une opposition entre l'hiver très pauvre et les autres saisons plus riches (Fig. 58). Cette pauvreté hivernale est due principalement au manque de nourriture que signale les très faibles quantités de chlorophylle a à cette époque. La plupart des espèces numériquement importantes (cirripèdes, copépodes, cladocères) se développent dès le printemps et se maintiennent plus ou moins jusqu'en automne. Ce sont les espèces secondaires qui viennent caractériser avec plus de précision les différentes périodes de l'année.

Si le méroplancton se maintient à un niveau d'abondance important, voisin ou supérieur à celui de la Mer du Nord, on peut se demander pourquoi beaucoup de représentants de l'holoplancton n'acquiescent qu'un développement limité dans le port. Faute d'informations complémentaires que nous n'avons pu recueillir dans le cadre de ce travail, nous ne pouvons qu'évoquer l'existence d'une "pollution globale des eaux". Certaines espèces que l'on récolte en très faible nombre, ne pourraient se trouver dans les bassins que grâce à leur importation et en état de survie précaire ?

Cette notion de "pollution globale" peut paraître abstraite et subjective lorsqu'elle n'est pas quantifiée. Toutefois, les extrusions tissulaires et prolapses intestinales relevées chez plusieurs copépodes pourraient en représenter les effets. Par ailleurs, les anomalies de structure de la 5e paire de pattes observées chez les *Acartia* peuvent affecter d'autres Calanoïdes (CARLI, 1963) et il serait intéressant de les rechercher sur d'autres espèces de la région, et surtout, de savoir dans quelle mesure elles indiquent ou non l'existence de zones polluées. D'après CRISAFI (1974), décrivant deux nouvelles espèces d'*Acartia*, "les milieux pollués sont liés à des processus de sélection qui agissent en facteur d'accélération dans les phénomènes de spéciation". De telles anomalies morphologiques pourraient être alors les témoins de l'*Evolution*.

Il est probable aussi que la faible biomasse holoplanctonique du bassin d'évitage (cladocères exceptés) est due en partie à un effet de cumul concernant :

- d'une part la stagnation plus ou moins forcée du zooplancton dans la tache thermique : températures létales ou sublétales en été, effet du chlore, effet accentué des polluants en synergie avec la température élevée...

- d'autre part un recyclage au moins partiel dans les circuits de la centrale du fait du petit volume des bassins concernés. Ce recyclage accentue les risques de mortalité directe du zooplancton par effet de transit : stress mécaniques, thermiques et chimiques.

CHAPITRE III

TEMORA LONGICORNIS

DYNAMIQUE DES POPULATIONS, INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE

INTRODUCTION

Au cours du chapitre précédent, nous avons noté l'importance quantitative et surtout qualitative du copépode *Temora longicornis* et avons entrepris d'étudier cette espèce plus précisément. En effet, si l'abondance de ce copépode peut paraître relativement faible par rapport à ce qu'il est possible de trouver dans les régions voisines de la Mer du Nord (LEFEVRE, 1976), son importance qualitative est en revanche, considérable puisqu'il domine la population copépodique de février à juin et qu'il peut représenter plus de 90 % des copépodes en avril et mai.

De nombreuses études ont montré l'influence de la température sur le métabolisme des poïkilothermes et en particulier des copépodes. On sait qu'une élévation de température provoque une accélération de croissance et de maturation mais entraîne une réduction de la taille maximale chez les adultes. (BATTAGLIA, 1959 - DEEVEY, 1960 - McLAREN, 1963 - CORKETT et McLAREN, 1970 - RICHARD, 1971).

Un des caractères principaux des eaux du port de Dunkerque étant l'élévation de la température par rapport aux eaux côtières de la Mer du Nord, il était donc intéressant d'étudier l'influence de cet échauffement sur le développement de *Temora longicornis* et de comparer deux populations géographiquement très proches, mais vivant dans deux milieux très différents.

Ce chapitre présente les résultats acquis sur la connaissance de la biologie et de la dynamique des populations de *Temora longicornis* dans le port de Dunkerque.

I - METHODOLOGIE

L'examen du nombre de générations annuelles permet d'apprécier en partie la productivité d'une espèce. Plusieurs méthodes récapitulées par GAUDY (1972) et RAZOULS (1974) peuvent être employées pour différencier ces générations. Quatre d'entre elles ont été utilisées dans notre étude.

1) L'abondance des adultes

Le nombre d'adultes présente des fluctuations au cours de l'année et chaque pic d'abondance peut correspondre à une génération.

2) Proportion des différents stades de développement

Cette méthode suppose comme les autres, qu'il existe des périodes de ponte relativement limitées dans le temps et permettant de caractériser une génération à l'aide des individus tous issus d'une même ponte. On peut alors théoriquement suivre la progression du développement : les jeunes stades dominant au début pour être remplacés progressivement par les stades plus âgés puis par les adultes. Pour des raisons pratiques (utilisation d'un filet WP₂ de 207 µ de maille) nous n'avons pu étudier que les stades copépodites (C₁ à C₅) et les adultes (C₆), les stades plus jeunes (*nauplius*) n'étant pas représentés dans nos prélèvements en raison de leur petite taille. Nous avons reporté à titre indicatif sur la figure 59b les comptages relatifs au premier stade copépodite (C₁). Leur faible nombre comparé à celui des adultes montre que les comptages de C₁ sont largement sous-estimés. La largeur moyenne de leur céphalothorax est en effet inférieure à 200 µ (≈ 170 µ). Afin de réduire la variabilité imputable aux problèmes d'échantillonnage, nous avons préféré utiliser les variations des pourcentages des différents stades de développement plutôt que leurs variations quantitatives brutes. Les différents stades ont été déterminés d'après les travaux de CORKETT (1965 et 1968).

3) Variations dimensionnelles chez les adultes

Les principaux facteurs (les mieux connus) agissant sur la taille des copépodes sont la température et la nourriture disponible pendant le développement. Les individus adultes issus d'une même ponte doivent avoir des tailles voisines, leur développement s'étant effectué dans les mêmes conditions de milieu.

Les adultes femelles et les adultes mâles (plus petits) ont été mesurés séparément, des informations complémentaires pouvant être éventuellement apportées par chacun des sexes. Comme l'ensemble des auteurs travaillant dans ce domaine, nous avons mesuré la longueur du céphalothorax. Ce paramètre est plus fiable que la longueur totale qui est difficile à mesurer dans le cas d'une flexion du corps. Les mesures sont faites à la loupe binoculaire munie d'un oculaire micrométrique (la précision est de 25 μ) et portent lorsque cela est possible sur au moins 100 individus de chaque sexe par prélèvement. Les différents calculs statistiques (moyenne, écart-type) sont effectués à l'aide d'une calculatrice H.P. 65.

4) Variations du sex-ratio

De nombreux auteurs ont noté des fluctuations plus ou moins importantes de la proportion des sexes chez les copépodes. Le pourcentage important de mâles relevé au début de la phase adulte de chaque génération annoncerait une période de reproduction. Ces variations seraient dues à un développement plus rapide des mâles et ou à la survie plus longue des femelles.

Comme le fait remarquer GAUDY (1972), "*aucune de ces différentes méthodes employée seule, ne présente de garanties de rigueur suffisante et il est préférable de les utiliser conjointement*". D'autre part, ces méthodes prennent pour hypothèse une succession plus ou moins régulière de générations, chacune donnant naissance à la suivante. Ce schéma est compliqué dans la nature par l'étalement plus ou moins important de la période de ponte, par la survie des adultes de la (ou les) génération(s) précédente(s) et par l'introduction de formes exogènes :

- L'étalement excessif de la période de ponte peut masquer la succession théorique des différents stades de développement. D'autre part les individus issus du début et de la fin de la période de ponte se développent dans des conditions thermiques suffisamment différentes pour que des variations de tailles apparaissent chez les adultes.

- La survie des adultes de la génération précédente peut modifier la proportion de ce stade parmi les comptages. Ils peuvent cependant être repérés par leur taille différente.

- L'introduction de formes exogènes, dans un autre état de développe-

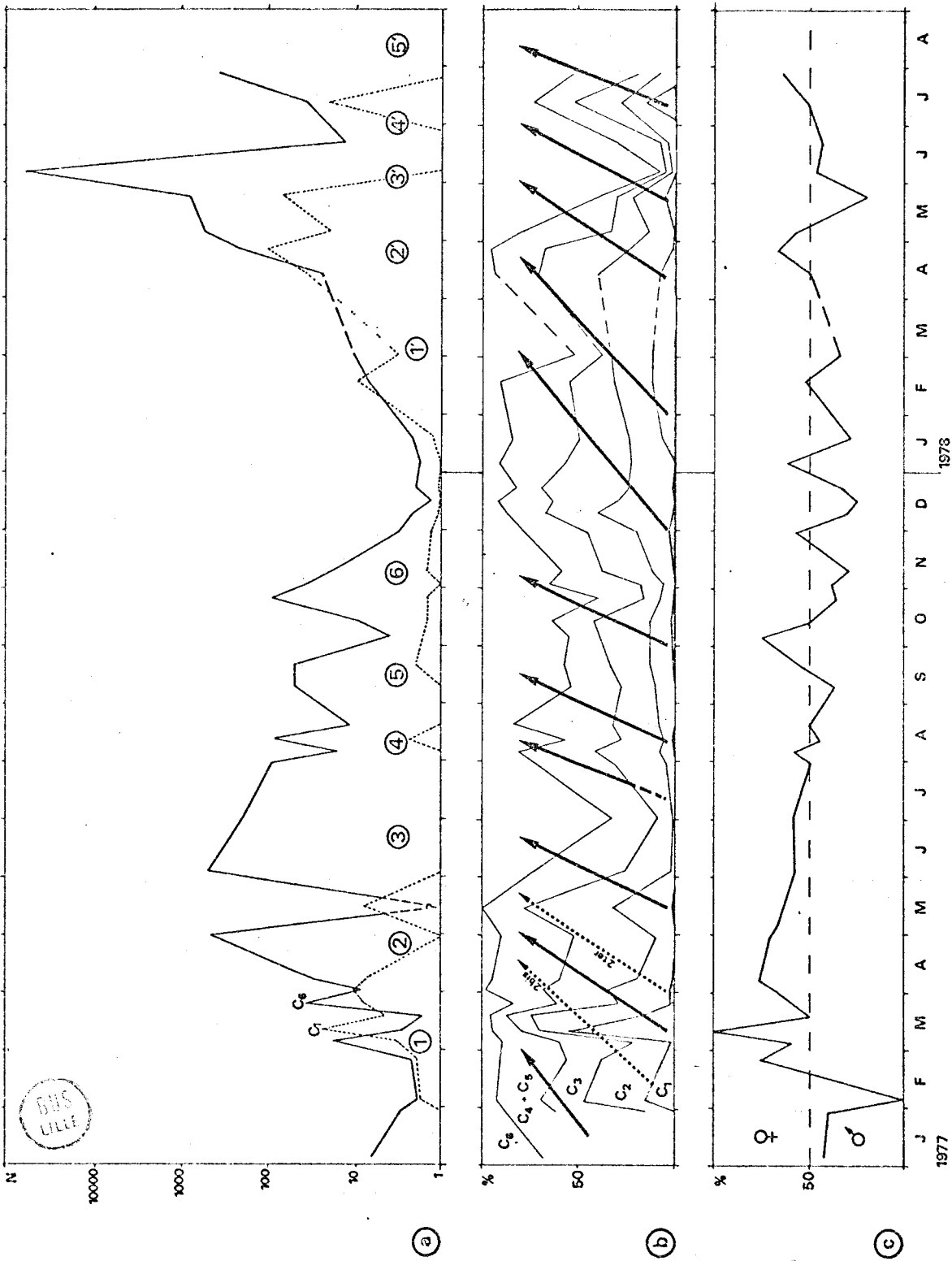


Fig. 59 : Cycle biologique de *Temora longicornis* à Dunkerque

- ① nombre d'adultes et de C₁ pour 10 m³
- ② pourcentage des différents stades de développement
- ③ proportion entre les deux sexes

ment que la population autochtone, peut modifier considérablement les proportions "logiques" entre les différents stades et modifier la taille moyenne des copépodes adultes mesurés.

A Dunkerque, l'importation de copépodes de la Mer du Nord par les écluses au cours des étales de haute mer est une réalité non négligeable : en effet une montée du niveau de l'eau de 25 cm en quelques heures correspond à un volume d'eau de $1 \bar{M} m^3$ qui s'étale au fond des bassins en raison de sa densité plus forte. Ces entrées d'eau ont certainement faussé en partie certains de nos résultats, des points de vue quantitatif et qualitatif. Des mesures effectuées sur des copépodes prélevés sélectivement en profondeur (station P₁₂) montrent qu'ils sont significativement plus grands que la moyenne de ceux prélevés à notre station E, et pour certains, aussi grands que ceux relevés en Mer du Nord.

II - RESULTATS

II.1 MISE EN EVIDENCE DES DIFFERENTES GENERATIONS (Fig. 59 et 60)

1e génération : février-début mars 1977 ①

Le nombre des adultes est faible ($< 20/10 m^3$) ainsi que leur proportion par rapport aux différents stades copépodites ($< 10 \%$). La taille moyenne est élevée, supérieure à $1\ 000 \mu$ pour les femelles et 900μ pour les mâles.

2e génération : fin mars-début mai ②

Annoncés en mars par un fort pourcentage du premier stade copépodite (C₁), les adultes deviennent abondants fin avril (440). Cette génération est marquée par une baisse sensible de la taille des individus ($\approx 800 \mu$). On constate cependant le maintien de copépodes de grandes tailles correspondant probablement à la survie de la première génération et eu à l'importation d'individus extérieurs au port. La proportion importante des copépodites observée de février à mai indique une reproduction assez intense et continue, ce qui peut expliquer les difficultés rencontrées dans l'interprétation des histogrammes de taille pour cette période.

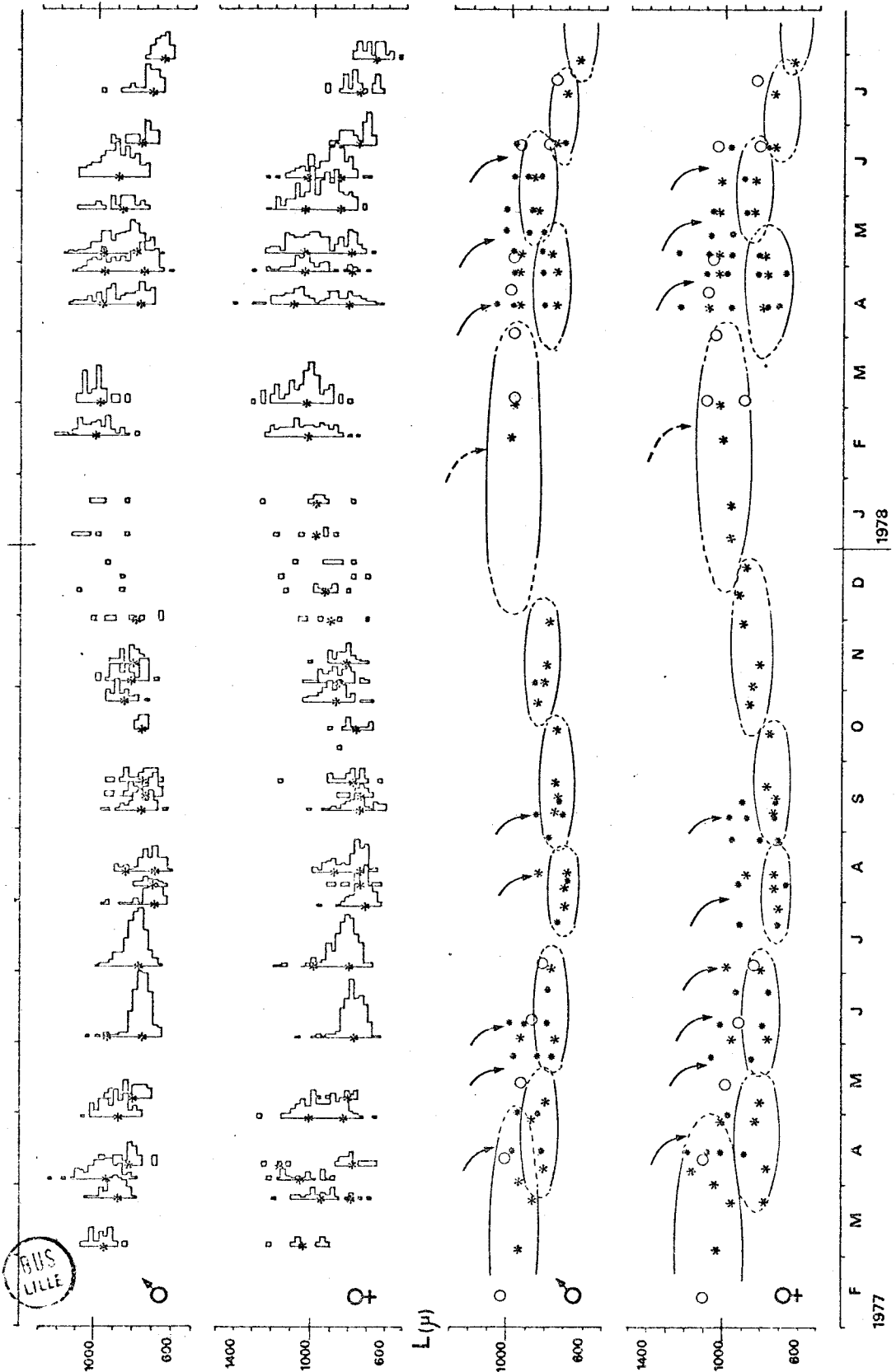


figure 60 : Evolution de la taille de *Temora longicornis* au cours du temps : histogrammes et interprétation .

- * taille moyenne à la station E , O taille moyenne à Gravelines ,
- * principaux modes de taille relevés à Dunkerque en profondeur (P₁₂ et R) , ↘ apports extérieurs visibles .

3e génération : mi-mai - début-juillet ③

Cette génération représente le maximum observé pour l'année 1977 avec 500 adultes le 3 juin. Le maximum de C_1 est observé mi-mai* et l'arrivée des adultes s'étend jusqu'au début du mois de juillet. La durée de développement peut être estimée à 30-40 jours. Tant pour les mâles que pour les femelles, les histogrammes de tailles sont unimodaux, révélant une population assez homogène. La moyenne est légèrement plus élevée en fin de génération, les derniers individus arrivés à l'état adulte ayant profité de l'accroissement de la quantité de phytoplancton observé en juin (Fig. 9).

4e génération : mi-juillet - fin-août ④

Numériquement, cette génération se marque par le maintien des effectifs adultes à un niveau assez élevé. Elle est surtout mise en évidence par une nette diminution de la taille des individus : les adultes rencontrés à cette époque sont les plus petits de l'année. Le développement a eu lieu à une température élevée voisine de 20° C et les tailles se situent autour de 750 μ pour les femelles et 700 μ pour les mâles. L'origine de cette génération n'apparaît pas dans nos résultats. Elle peut provenir soit d'un pic de C_1 non visualisé en août ou juillet en raison de l'espacement des dates de prélèvement **, soit de l'extérieur du bassin. Elle se serait alors développée à partir de la période de ponte observée en juillet par LEFEVRE (1977) au large de Gravelines. Le temps moyen de développement apparaît alors relativement court et serait voisin de 30 jours.

5e génération : fin-août - mi-octobre ⑤

Un pic d'adulte est nettement différencié à cette période et fait suite à un très faible maximum de C_1 le 10 août. La durée de développement peut être estimée à 30-40 jours. On observe d'autre part une lé-

* Il faut remarquer que, curieusement, le prélèvement du 14 mai 1977 ne présentait aucun adulte de *T. longicornis*.

** Il est probable qu'en cette période où les tailles sont minimales, la proportion de jeunes stades qui échappe à nos filets se soit encore accrue.

gère augmentation de la taille, surtout visible chez les mâles. Paradoxalement, cet allongement du temps de développement et de la taille des individus correspond à la période de l'année où la température est maximale, atteignant 21° C à - 12 m de profondeur pendant un temps assez long.

6e génération : mi-octobre - fin-décembre (6)

Un maximum d'adultes (100) individualise la dernière génération de l'année 1977. Ces individus proviennent d'un pic de C_1 assez étalé dans le temps, de fin septembre à octobre. La durée du développement s'allonge peu avec la baisse de température et la taille des adultes augmente à 880 μ pour les femelles et 820 μ pour les mâles. Il semble que le léger réchauffement temporaire d'octobre ait permis une diminution des tailles entre le 25 octobre et le 9 novembre.

1e génération : février-mars 1978 (1)

De décembre 1977 à février 1978 le nombre total d'individus est très faible (< 20) et, comme l'année précédente, la proportion de stades copépodites très forte. Le nombre de mesures céphalothoraciques est donc très réduit. On observe cependant des individus de plus grande taille dès le mois de décembre (\approx 1 000 μ) avec toutefois une persistance d'adultes femelles de la 6e génération, jusqu'à la fin du mois. Cette première génération 1978 semble se développer à partir de novembre 1977 pour aboutir à un pic d'adultes début-mars. La progression $C_1 \rightarrow C_6$ est bien visualisée par l'évolution du pourcentage des différents stades. Le temps de développement est très long (80-100 j) et correspond à la fin de la baisse de température. Il est probable qu'à cette époque la population du port est alimentée en grande partie par les copépodes de la Mer du Nord. Les histogrammes de taille sont en effet très voisins sur les deux sites.

2e génération : avril (2)

En avril les histogrammes de taille bimodaux signalent l'apparition d'une deuxième génération provenant des C_1 de janvier et février. Les mâles et les femelles mesurent respectivement 780 μ et 820 μ . Les températures sont faibles (6 à 11° C) et la durée de développement reste longue (80 jours). L'arrivée de cette génération est d'autre part marquée

par un important accroissement numérique fin avril. La proportion d'adultes reste cependant faible à ce moment en raison d'une reproduction importante et continue.

3e génération : mai-juin (3)

Cette génération provient du stock de C_1 observé en avril et marque le maximum d'abondance pour toute la période étudiée (58 000 !*). Les tailles sont en augmentation (880 μ) malgré des températures plus élevées, augmentation provoquée par l'abondance de nourriture (phytoplancton) existant en mai, et probablement par un mélange avec des copépodes extérieurs au port. Le temps de développement est estimé à 50 jours.

4e génération : fin-juin - juillet (4)

Issue des nombreux C_1 observés en mai, cette génération est peu abondante au niveau des adultes mais se signale par une nette diminution des tailles. (\approx 700 μ).

5e génération : août (5)

Bien marquée numériquement à la fin du mois de juillet (360), cette génération provient des C_1 de juillet et est annoncée par des individus de taille très réduite. Comme pour la génération précédente, le faible nombre de mesures ne permet pas de donner avec beaucoup de sûreté une taille moyenne, évaluée à 660 μ .

L'examen du rapport entre les sexes (Fig. 59c) apporte peu de renseignements complémentaires pour cette espèce.

II.2 INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LE DEVELOPPEMENT

Comme le montrent de nombreuses études antérieures à la notre, la durée de développement des copépodes, organismes poïkilothermes, est largement conditionnée par la température. Le tableau 20 regroupe les différentes données recueillies sur chaque génération de *Temora longicornis*.

* Ce chiffre apparaît excessif par rapport à tous les autres comptages effectués dans le bassin. On peut cependant noter qu'il correspond à des concentrations couramment observées au large de Gravelines (LEFEVRE, 1977) à cette période.

TABLEAU 20 : DONNEES SUR LE CYCLE BIOLOGIQUE DE *TEMORA LONGICORNIS* A DUNKERQUE

Génération	Période de maximum	Période de développement	Durée du développement (en jours)	Température de développement (° C)	Taille des adultes	
					♀ (en microns)	♂
1977 1	Fév.-Mars	-	-	-	1 020	950
2bis	Avril	10 Fév.-20 Avril	70	11,0	-	-
2	Avril	10 Mars- 30 Avril	40-50	12,0	820	820
2ter	Mai-Juin	1 Avril-20 Mai	50-60	13,5	-	-
3	Juin	10 Mai-20 Juin	40	16,5	800	780
4	Août	10 Juil.-10 Août	30 ?	20,5	740	700
5	Septembre	10 Août-20 Sep.	30-40	21,0	750	750
6	Oct.-Nov.	1 oct.-10 Nov.	30-40	18,5	820	800
1978 1'	Fév.-Mars	1 Déc.-1 Mars	80-100	9,0	1 020	980
2'	Avril	1 fév.-20 Avril	80	10,0	820	780
3'	Mai-Juin	10 Avril-1 Juin	50	14,0	880	880
4'	Juin-Juil	20 Mai-30 Juin	40	16,5	700	700
5'	Août	10 Juil.-10 août	30	19,5	670	650
..



nis à Dunkerque. On observe une bonne corrélation entre la durée de développement exprimée en valeurs logarithmiques et la température moyenne pendant ce développement (Fig. 61). Les points (10 couples de valeurs) s'alignent sur une droite d'équation :

$$\text{Lny (jours)} = - 0,0818 t^{\circ} + 5,078 \quad (r = -0,93)$$

On remarque que la génération 2 semble avoir un temps de développement "trop court" par rapport à sa température moyenne de développement. Nous avons vu la difficulté qu'il y avait parfois à Dunkerque à déterminer les différentes générations, surtout au printemps où il semble y avoir chevauchement. Les autres points (9 couples) s'alignant avec un meilleur coefficient de corrélation (significatif à 99 %) sur une droite d'équation :

$$\text{Lny (jours)} = - 0,08975 t^{\circ} + 5,238 \quad (r = -0,97) ,$$

il est possible d'imaginer une erreur d'interprétation* sur la génération 2. La figure 59b nous montre une proportion importante de C_1 au début du mois de février 1977. Ces copépodites pourraient évoluer jusqu'en avril pour donner la population 2 bis, dont la durée de développement serait alors de 70 jours.

D'autre part, si l'on considère le prélèvement du 14 mai comme douteux puisqu'il ne comporte aucun adulte alors que des maximums importants sont observés de part et d'autre, 15 jours plus tôt et 15 jours plus tard, on peut supposer qu'il existe une génération supplémentaire (2ter) se développant de mars à fin mai. La séparation entre les générations 2 ter

* Nous prendrons ici l'hypothèse de travail selon laquelle la température est le facteur essentiel déterminant la durée du développement. Si la quantité de nourriture disponible a une influence certaine sur la taille finale des individus, son influence sur la durée du développement n'a pas encore été clairement démontrée et les données disponibles sur ce sujet sont contradictoires (LAIR, 1977). D'autres facteurs peuvent certainement intervenir comme en témoignent les anomalies du même type observées sur d'autres sites. Le sens et l'amplitude des variations de la température pendant le développement pourraient jouer un rôle (RAZOULS, 1974), cependant la recherche de facteurs correctifs tenant compte de ces variations n'a pas apporté dans notre étude de solution satisfaisante.

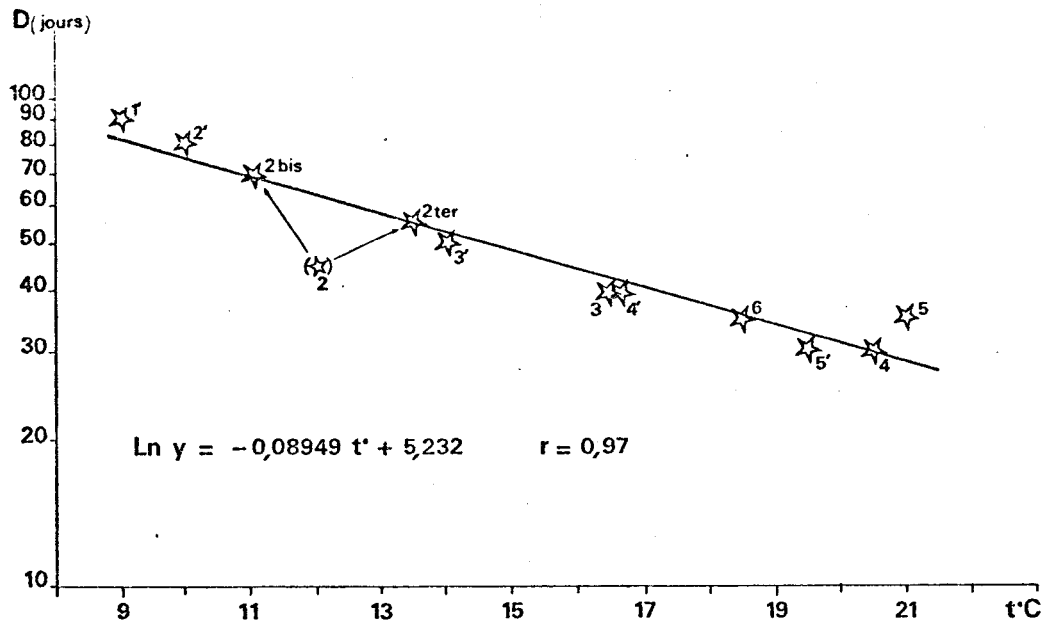


fig. 61 : Relation Température/Durée de développement

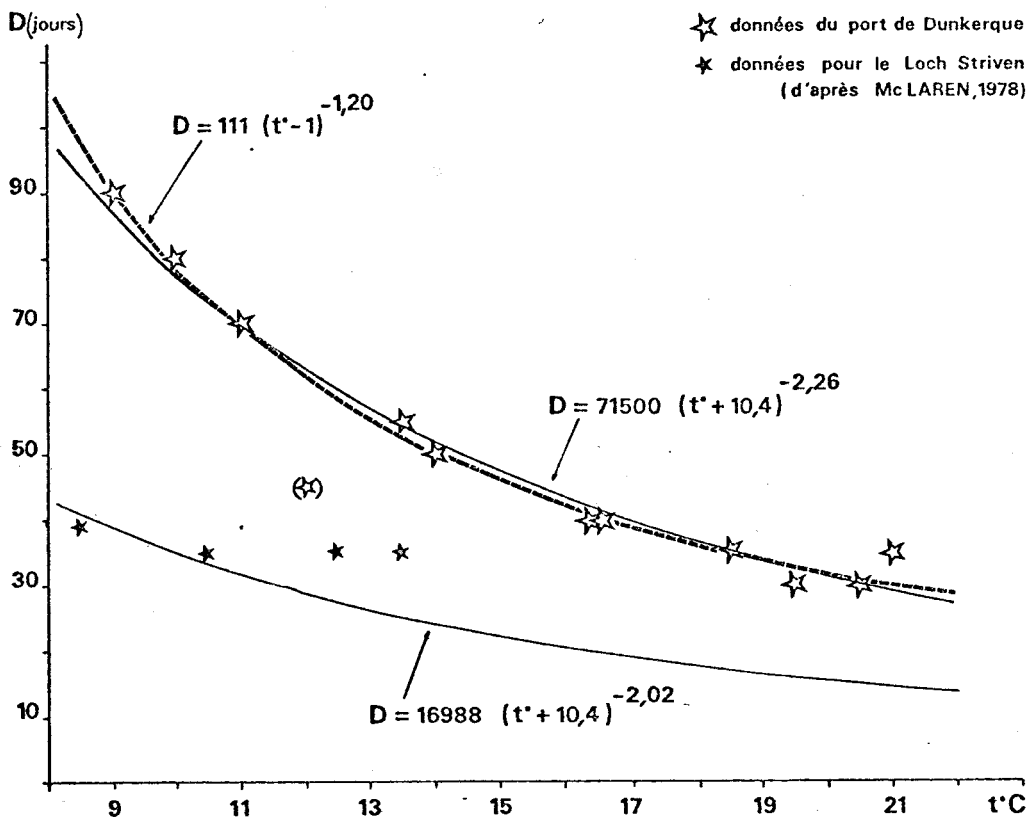


fig. 62 : Relation Température/Durée de développement
 (formule de BELEHRADEK)



et 3 pourraient alors apporter une part d'explication dans les différences de tailles observées entre les copépodes du 3 juin et du 1er juillet. Le nombre total de générations pour 1977 est alors porté de 6 à 7. La relation durée de développement/température est, avec les 11 nouveaux couples de valeurs, déterminée par l'équation (Fig. 61) :

$$\text{Lny (jours)} = - 0,08949 t^{\circ} + 5,232 \quad (r = -0,97)$$

D'autres formules mathématiques ont été employées pour exprimer la relation liant la durée du développement et la température, et en particulier la formule de BELEHRADEK :

$$D = a (t^{\circ} - \alpha)^{-b}$$

où D représente la durée du développement, t° la température, et où a, b et α sont des constantes (fig.62).

Plusieurs études montrent que b est toujours voisin de 2 chez les copépodes Calanoïdes (McLAREN et coll., 1969 - McLAREN, 1978 - COOLEY et coll., 1978). Le terme α est ajusté par approximations successives pour obtenir le meilleur coefficient de corrélation. Selon McLAREN et coll. (1969), α constitue un indice d'adaptation à la température. Négatif chez les espèces d'eaux froides, α est positif chez les espèces d'eau chaudes. Pour *Temora longicornis*, α a été déterminé égal à - 10,4, ce qui correspond selon eux à une température moyenne d'environnement de 10° C. (aire de répartition géographique mondiale).

Les différents travaux effectués sur cette espèce donnent :

- pour la durée de vie embryonnaire (McLAREN et coll., 1969)

$$D = 1346 (t^{\circ} + 10,4)^{- 2,05} \quad \text{équation I}$$

- pour le temps séparant l'éclosion du premier stade copépodite (CORKETT et McLAREN, 1970)

$$D = 8313 (t^{\circ} + 10,4)^{- 2,05} \quad \text{équation II}$$

- pour la durée de développement d'une génération en élevage (McLAREN, 1978. d'après HARRIS et PAFFENHOFER, 1976)

$$D = 16988 (t^{\circ} + 10,4)^{- 2,05} \quad \text{équation III}$$

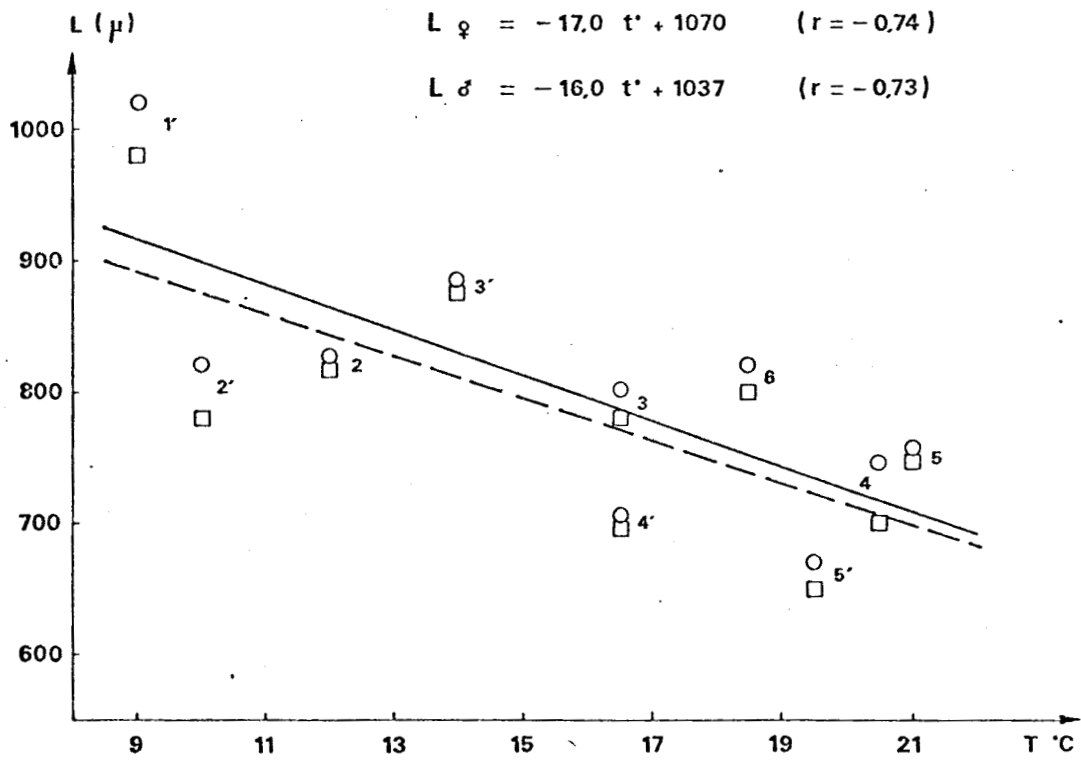


Fig. 63 : Relation entre la longueur du céphalothorax et la température de développement chez *Temora longicornis* (□ — ♂, ○ — ♀) pour les différentes générations

- pour la durée de développement entre les stades C₁ et C₆, avec
 $\alpha = - 10,4$ (notre étude)

$$D = 71500 (t^{\circ} + 10,4)^{- 2,26} \quad (r = - 0,98480) \quad \text{équation IV}$$

- si l'on cherche à l'aide de nos données et par approximations successives la valeur de α correspondant au meilleur coefficient de corrélation, on trouve $\alpha = + 1$ et l'équation devient :

$$D = 1111 (t^{\circ} - 1)^{- 1,20} \quad (r = - 0,98798) \quad \text{équation V}$$

Malgré des valeurs de a , b et α très différentes, le tracé des courbes correspondant aux équations IV et V (Fig. 62) montre qu'elles sont, dans la gamme des températures étudiées, équivalentes au niveau de l'interprétation écologique du phénomène. Surtout si l'on garde en vue l'incertitude qui existe sur le positionnement des points qui sont à l'origine des équations. Une détermination précise de ces constantes, permettant de leur attribuer une valeur écologique spécifique, se révèle donc hasardeuse sinon impossible à partir des données de terrain. Cette détermination semble par contre plus réalisable en laboratoire où D peut être connu avec plus de précision et où t° peut être maintenu constant. C'est pourquoi nous retiendrons l'équation IV plutôt que l'équation V pour caractériser le développement de *Temora longicornis* à Dunkerque.

II.3 INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA TAILLE DES COPEPODES

II.3.1. Relation température/taille à la station E

L'influence de la température de développement sur la taille finale des adultes peut se traduire d'après nos données résumées dans le tableau 20 par les droites (Fig. 63) dont les équations sont :

$$\begin{aligned} L_{\text{♀}} (\mu) &= 1070 - 17,0 t^{\circ} & (r = - 0,74) \\ L_{\text{♂}} (\mu) &= 1037 - 16,0 t^{\circ} & (r = - 0,73) \end{aligned}$$

Cependant, la taille moyenne des individus de chaque génération a été ici définie graphiquement (Fig. 60) avec une certaine approximation. Il en est de même pour la température moyenne de développement. C'est pourquoi nous avons par ailleurs corrélié la taille moyenne des copépodes

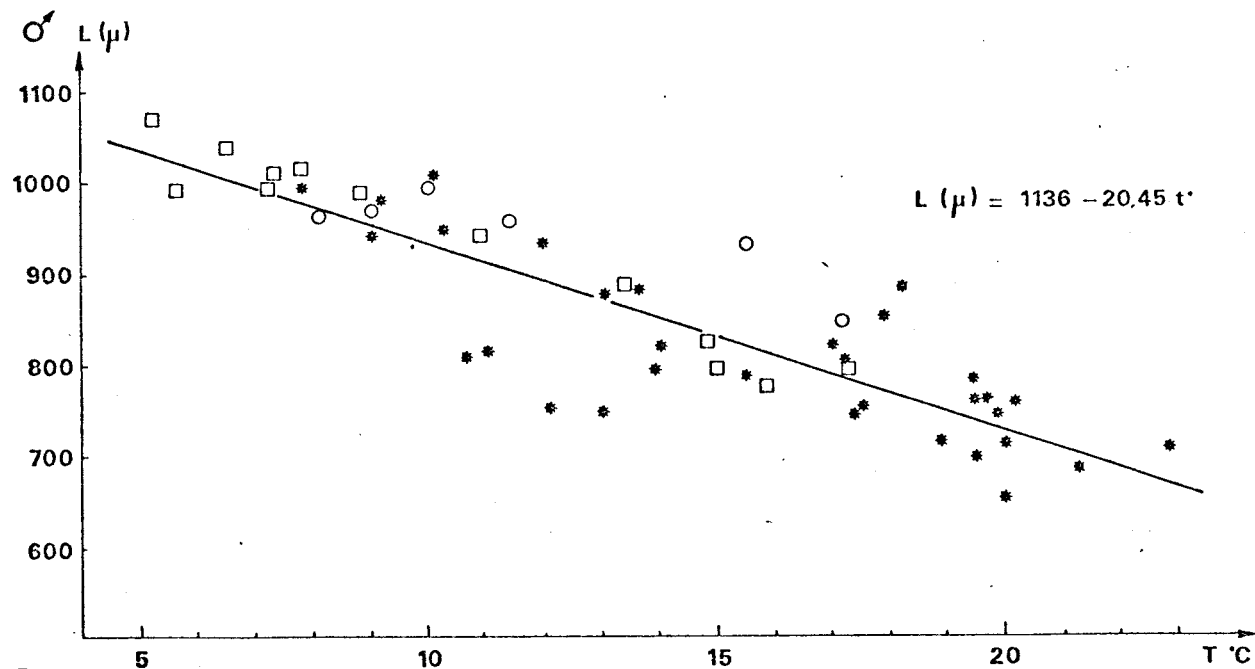
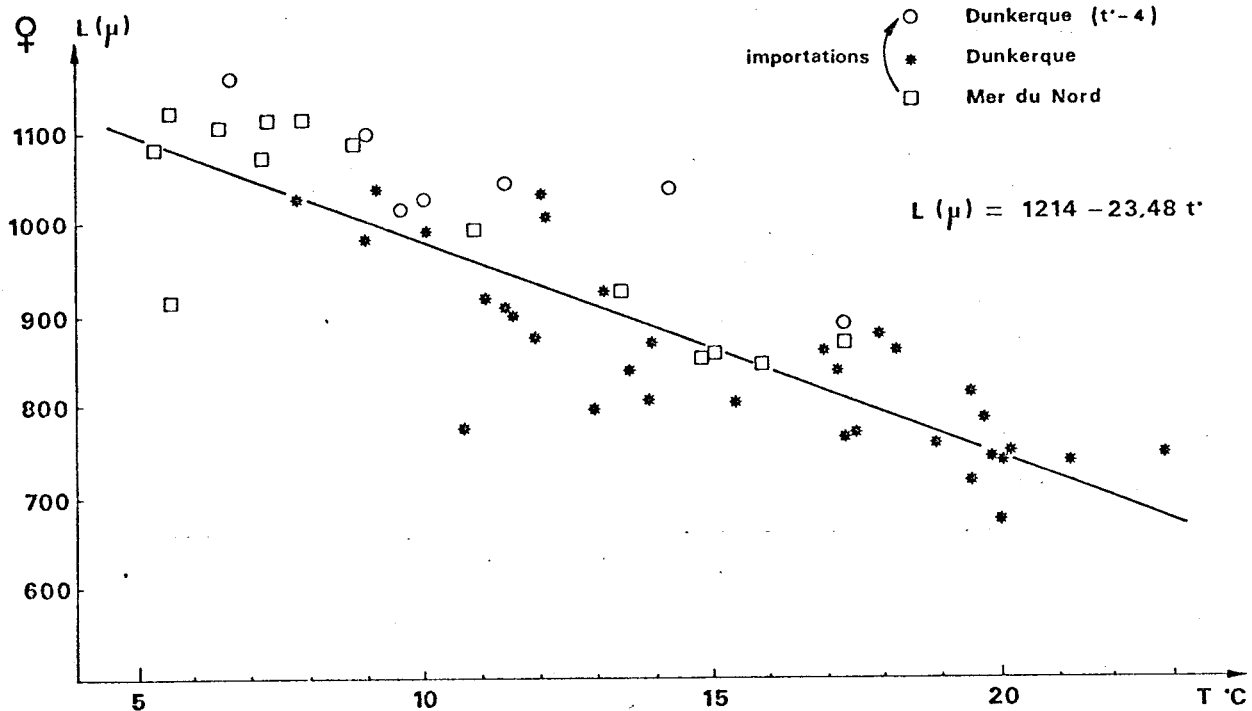


Fig. 64: Relation taille - température de prélèvement

de chaque prélèvement avec la température (niveau - 5 m) au moment du prélèvement (Fig. 64).

Les échantillons de la Mer du Nord ont également été pris en compte. Lorsqu'à Dunkerque les histogrammes présentent deux modes, on considère que les individus de grande taille sont en grande partie d'origine extérieure. Comme le Δt° entre les deux sites avoisine 4° C, les grandes tailles sont corrélées avec la température de prélèvement $t^\circ - 4^\circ$ C (Fig. 64). Mais ces valeurs ne sont pas introduites ici dans les calculs, le cycle de développement s'étant effectué dans deux milieux différents. (Toutefois leur adjonction ne modifie que très peu les résultats). Les équations des droites de régressions deviennent :

$$\begin{aligned} L_{\text{♀}} (\mu) &= 1214 - 23,48 t^\circ & (r = - 0,89) \\ L_{\text{♂}} (\mu) &= 1136 - 20,45 t^\circ & (r = - 0,89) \end{aligned}$$

Ces résultats sont très proches de ceux rapportés par LEFEVRE (1977) sur le site de Gravelines.

II.3.2. Hétérogénéité des prélèvements dans le port

Chez les copépodes de la Mer du Nord, la répartition des fréquences de tailles dans un prélèvement s'établit en général selon une courbe gaussienne avec un mode unique et bien centré. La population de *Temora longicornis* est homogène dans chaque prélèvement (Fig. 65 et 66).

Dans le port de Dunkerque, par contre, la répartition est souvent beaucoup plus hétérogène. Les figures 65 et 67 donnent quelques exemples de disparités des tailles. Même si l'on effectue des regroupements de classes de mesures, on peut parfois observer deux et même peut-être trois modes. Ceci indique le mélange probable de plusieurs populations d'origines différentes, ou de deux générations successives qui se chevauchent. La réalité de cette répartition plurimodale est confirmée par le fait qu'elle se retrouve en général chez les deux sexes.

Le mélange de populations différentes dans le bassin se traduit parfois par des différences significatives entre deux prélèvements de même date. Ainsi les copépodes prélevés le 26 août à la station P sont-ils significativement plus petits que ceux prélevés dans le bassin d'évitement (Fig. 67b). De même il est possible d'observer des cas où la taille

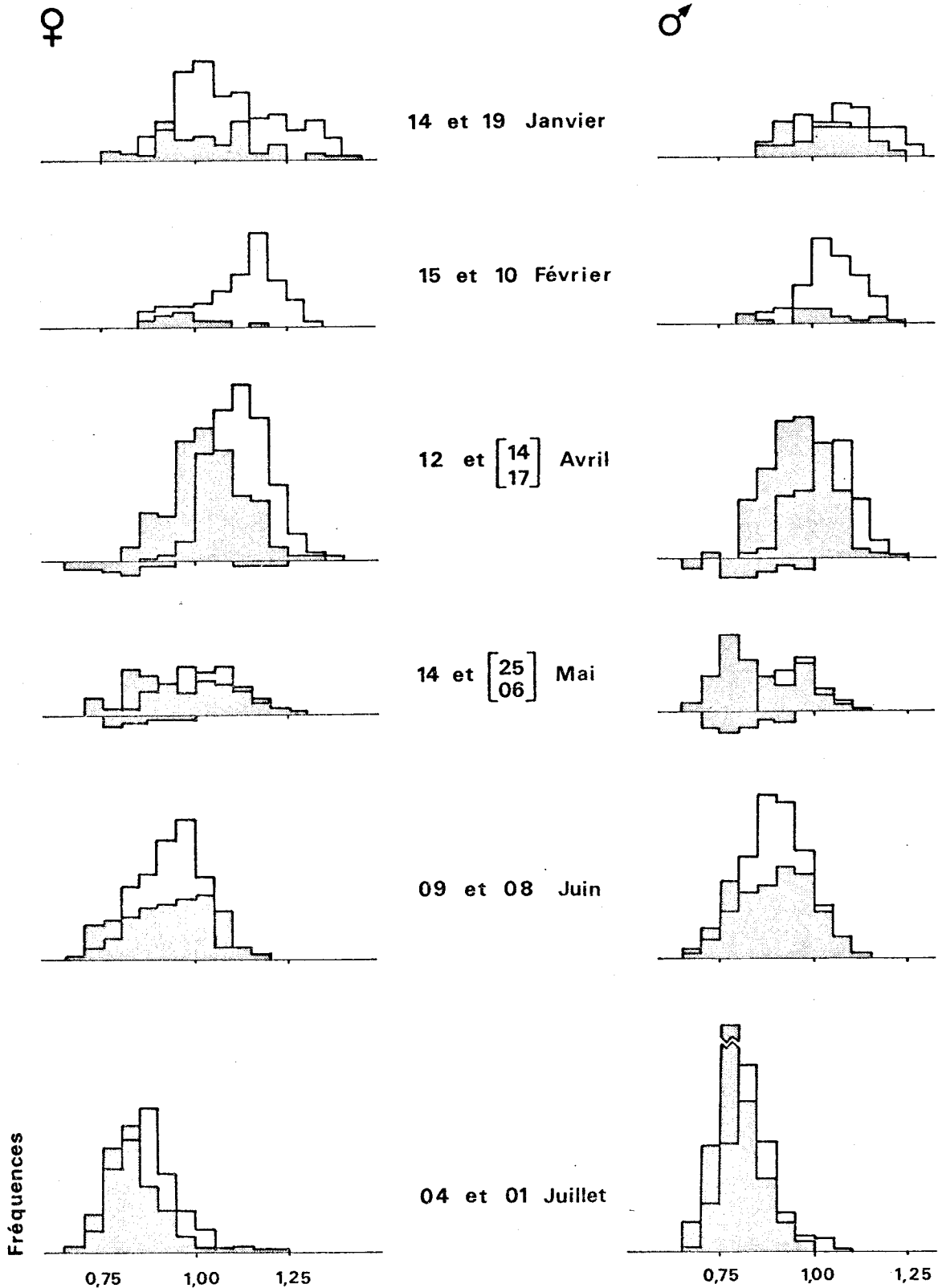


Figure 65 : Histogrammes des fréquences de taille (en mm) chez *Temora longicornis* de janvier à juillet 1977. Trait plein et première date : en Mer du Nord ; grisé et deuxième date : dans le port de Dunkerque. Les classes de mesures ont été regroupées par deux.

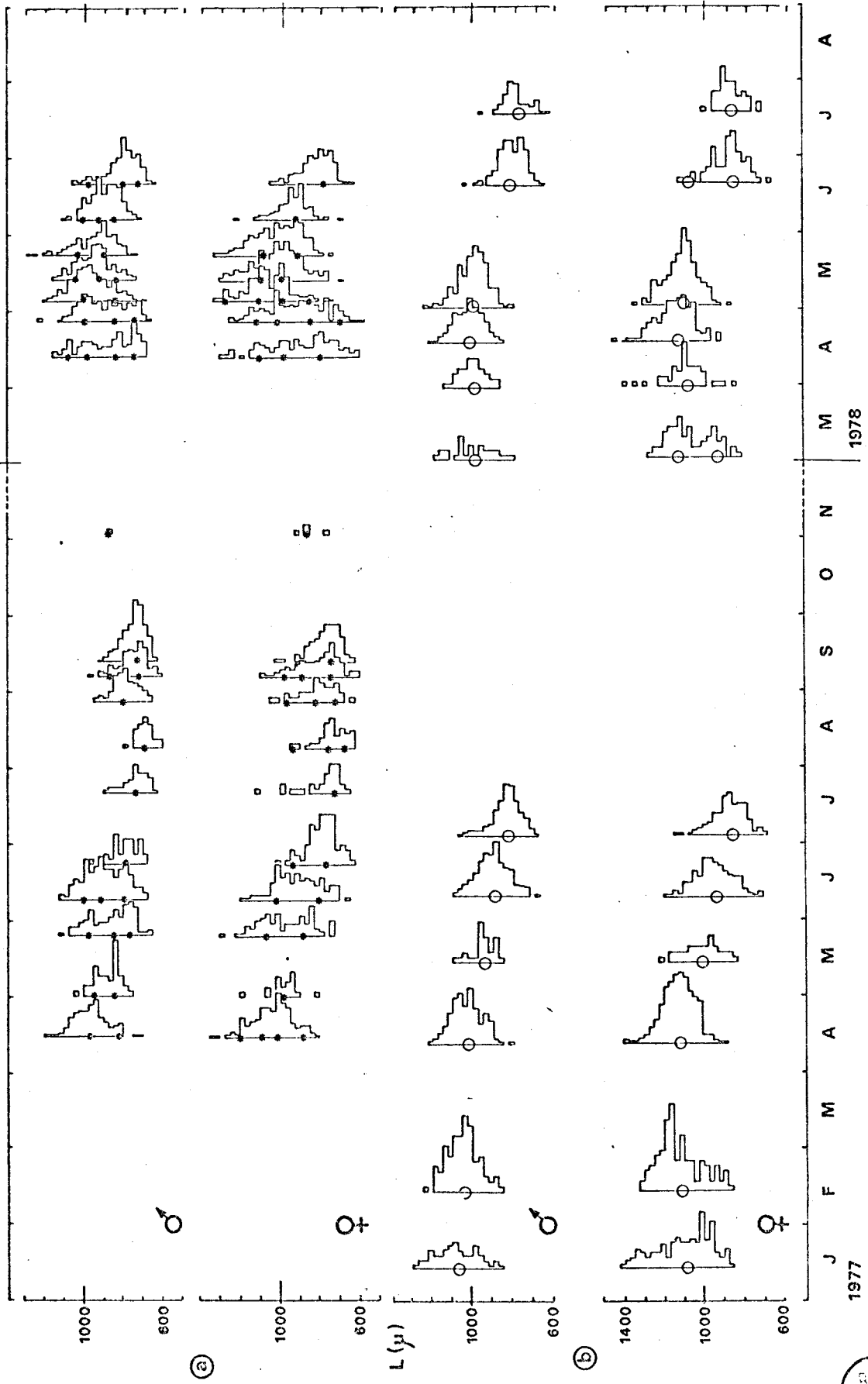


Figure 66 : Histogrammes des tailles à la station P12 (♂ principal modes) et en Mer du Nord (♀ moyenne)



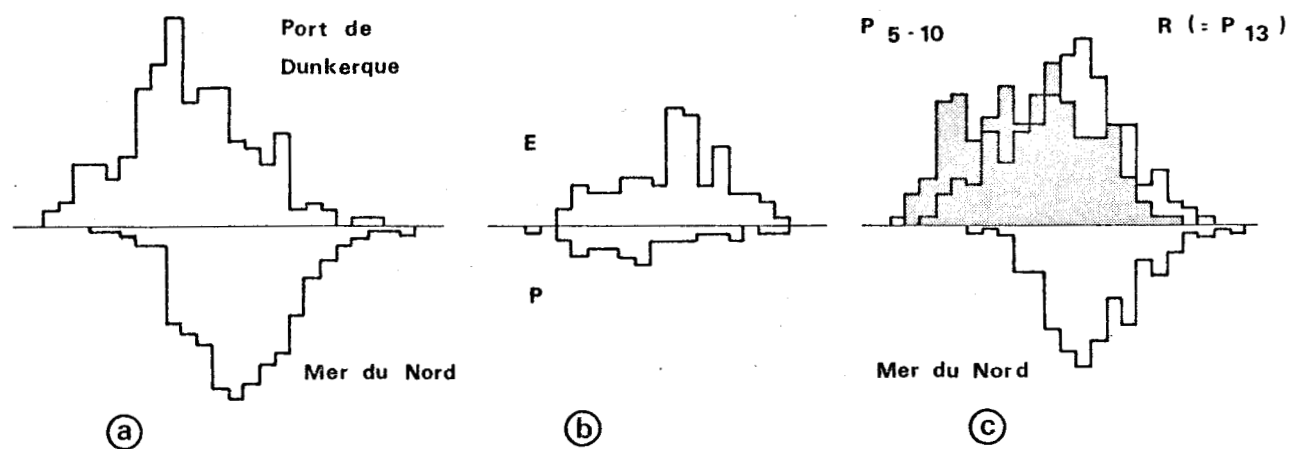


Figure 67 : Exemples d'hétérogénéité des tailles de *Temora longicornis* dans le port de Dunkerque. (a) hétérogénéité dans le port et homogénéité en Mer du Nord. (b) tailles différentes dans le bassin d'évitage et à la prise. (26.05.77) (c) tailles différentes à deux niveaux d'une même station, comparaison avec les tailles en Mer du Nord.

des copépodes varie en fonction de la profondeur : le 05 mai, les copépodes prélevés aux rejets, et qui correspondent à une population profonde de la prise (P_{13}) aspirée par la centrale électrique, sont significativement plus grands que des copépodes prélevés à la prise entre 5 et 10 m de profondeur (Fig. 67c). La taille moyenne des copépodes prélevés en R est d'ailleurs ce jour là très voisine de la taille moyenne des copépodes de la Mer du Nord (différence non significative pour les mâles).

II.3.3. Comparaison entre copépodes du port de Dunkerque et copépodes de la Mer du Nord

Les dimensions des copépodes de la Mer du Nord et du bassin d'évitage (Station E) ont été comparées dans des prélèvements de même date ou de dates voisines, de janvier à juillet 1977, de mars à juillet 1978 et en septembre 1978. La comparaison des histogrammes de taille dans les deux localités (Fig. 65) montre que les individus sont plus petits à Dunkerque.

Lorsque le prélèvement effectué dans le port présente deux populations apparentes (histogramme bimodal) on peut admettre l'hypothèse selon laquelle le groupe de grande taille, même s'il est de taille inférieure aux copépodes de la Mer du Nord, peut provenir de copépodites importés. Nous avons donc pris comme référence pour Dunkerque le groupe de petite taille.

Plutôt que de comparer les dimensions moyennes brutes, il nous a semblé préférable d'étudier le pourcentage de diminutions entre les deux populations défini par la formule :

$$\frac{(L_1 - L_2) \times 100}{L_1} = \Delta L$$

avec L_1 pour la longueur moyenne des copépodes en Mer du Nord et L_2 pour la longueur moyenne des copépodes à Dunkerque. Les résultats sont reportés sur la figure 68.

Bien que la différence de température (Δt°) soit en moyenne sensiblement constante entre les deux sites, on peut observer que le ΔL varie dans le temps. Relativement faible en hiver (5 à 10 %), il devient maximum en avril (20 à 30 %) pour décroître régulièrement jusqu'en juillet (5 à 10 %). La donnée unique pour l'automne indique une légère remontée

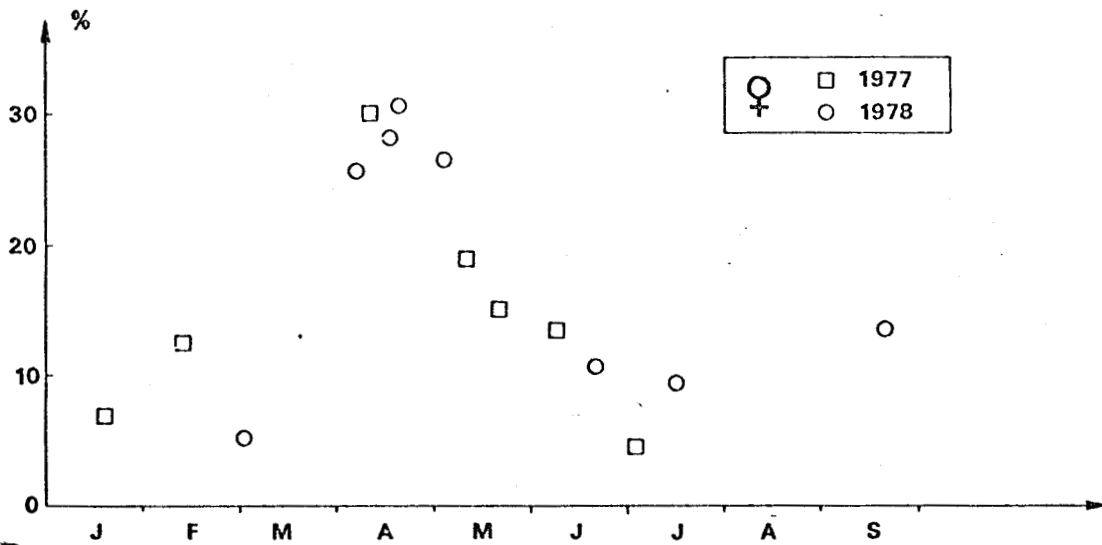
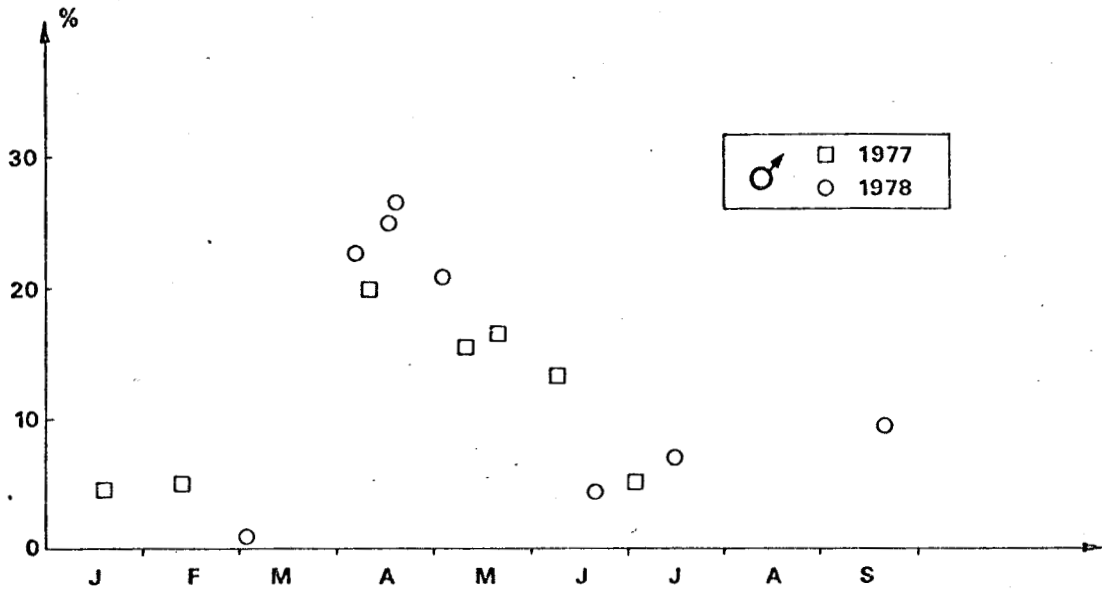


Fig. 68 : Pourcentage de diminution entre la taille des copépodes du port de Dunkerque et de la Mer du Nord prélevés à des dates voisines

en septembre (10 à 15 %).

Le ΔL est assez régulièrement plus faible chez les mâles que chez les femelles, indiquant une sensibilité plus forte de ces dernières aux conditions de température. Cette différence de sensibilité est d'ailleurs aussi suggérée par la légère différence de pente entre les droites de régression liant la taille à la température chez les deux sexes. (Fig. 64).

III - DISCUSSION

III.1 CYCLES BIOLOGIQUES ET TEMPERATURE

Nous avons donc individualisé six ou sept générations en 1977 et probablement sept en 1978. Les prélèvements effectués en profondeur (station P₁₂) mettent en évidence la présence d'individus de grandes tailles traduisant les apports de copépodes de la Mer du Nord. Cette hétérogénéité explique les difficultés d'interprétation du cycle biologique au printemps, période de fort développement numérique pour cette espèce. D'autre part, si les générations d'été et d'automne peuvent provenir chacune des précédentes, il en va autrement au printemps où les générations se chevauchent.

Ainsi, comme le fait remarquer RAZOULS (1974), *"aucun des critères utilisés pour discriminer chacune des générations n'est totalement satisfaisant, même lorsqu'ils sont conjugués, et il demeure parfois une certaine part d'interprétation subjective des informations écologiques"*. Ceci est d'autant plus vrai à Dunkerque que l'écosystème particulier constitué par les eaux échauffées du bassin d'évitage est sans cesse "perturbé" par des apports extérieurs.

Il devient alors difficile de dire si le nombre de générations observé serait le même en l'absence d'apports de la Mer du Nord, et si un échauffement régulier de 3-4° C suffit pour que s'installent réellement à Dunkerque sept générations contre cinq (LEFEVRE, 1977) en Mer du Nord.

La durée de développement est fortement corrélée avec la température à laquelle il s'effectue et le nombre de générations successives pour une année dépend en grande partie de la durée de développement. On peut donc supposer à priori que dans les localités où les températures an-

TABLEAU 21 :DONNEES SUR LE CYCLE BIOLOGIQUE DE *TEMORA LONGICORNIS* EN EUROPE

AUTEURS	Lieu-Latitude	Amplitude annuelle des variations thermiques	Nombre de générations annuelles
DIGBY, 1950	Plymouth 50° 20'	5,5° - 17,0°	5
RAZOULS, 1963	Roscoff 48° 50'	9,0° - 15,5°	5
EVANS, 1976	Northumberland 55° 07'	6,0° - 12,0°	5 - 6
McLAREN, 1978 (données de MARSHALL, 1949)	Loch Striven ≈ 56°	6,0° - 15,0°	> 5
LEFEVRE, 1977	Gravelines 51° 03'	5,0° - 20,0°	5
BRYLINSKI (cette étude)	Dunkerque 51° 03'	7,0° - 22,0°	6 - 7



nelles sont élevées, le nombre de générations est plus grand que dans les localités à températures plus faibles.

Le tableau 21 regroupe les différentes données disponibles sur le cycle biologique de *Temora longicornis* dans la nature. En Manche (RAZOULS, 1963 - DIGBY, 1950) et dans le sud de la Mer du Nord (LEFEVRE, 1977), les auteurs s'accordent sur l'existence de cinq générations annuelles. Plus au Nord, EVANS (1977) note cinq ou six générations selon les années, malgré des températures moyennes plus faibles. De même dans le Loch Striven (MARSHALL, 1949 - McLAREN, 1978), il existe au moins cinq générations (cinq générations d'avril à septembre). Toute erreur d'interprétation dans la séparation des générations mise à part, on voit qu'il n'existe pas de relation évidente entre la température moyenne d'un site et le nombre de générations annuelles.

Il apparaît donc une différence entre les cycles biologiques potentiels et les réalités observées dans une localité donnée.

Cette différence est confirmée par les résultats obtenus en élevage. PERSON-LE RUYET (1975) obtient des générations de 20 à 25 jours pour une température de 20° C, ce qui n'est que légèrement plus court que le cycle de Dunkerque à 20° C. Par contre, HARRIS et PAFFENHOFER (1976) déterminent pour une température beaucoup plus faible (12,5° C) un temps de génération à peine plus long (28 jours). La courbe de l'équation III (Fig. 62) déterminée par McLAREN (1978) révèle une "potentialité" de développement beaucoup plus forte en élevage qu'à Dunkerque. De la même façon, ses relevés dans le Loch Striven s'ajustent mal avec la courbe III. Le développement semble par ailleurs plus rapide en Ecosse qu'à Dunkerque (pour des températures inférieures à 14° C) et assez mal corrélé à la température (Fig. 62).

Ces résultats confirment que la température n'est pas le seul facteur agissant sur la durée de développement des copépodes. Il semble que chaque site ait ses particularités propres et qu'il soit impossible actuellement de définir des règles générales.

III.2 ACTION LIMITANTE DE LA TEMPERATURE

Dans les mers tempérées nord, chaque espèce se développe dans une aire géographique qui peut être principalement circonscrite par de

simples limites thermiques. Dans la partie méridionale de cette zone, la présence de l'espèce est effective en hiver (possibilité de reproduction) et sporadique en été (absence ou faible abondance - survie végétative). C'est ce qui se passe à Arcachon pour *Temora longicornis* qui disparaît dès le mois de juin lorsque la température s'élève (LUBET, 1953). A Dunkerque, *T. longicornis* ne disparaît pas en raison des importations continuelles de la Mer du Nord et est "contraint" à se développer à des températures inhabituelles pour son aire de répartition géographique normale. A Gravelines, LEFEVRE (1977) observe une chute de l'abondance de cette espèce après les étés particulièrement chauds de 1975 et 1976 ($t^{\circ} \approx 20^{\circ} \text{ C}$).

L'hypothèse d'une baisse ou inhibition de la reproduction à des températures supérieures à 20° C a déjà été proposée (BRYLINSKI, 1978), mais demande à être vérifiée par des études plus poussées. Le tableau 22 (CORKETT et ZILLIOUX, 1975) montre que la productivité (nombre d'oeufs pondus par femelle et par jour) croît avec la température : à $15,4^{\circ} \text{ C}$ une femelle pond en moyenne 15,5 oeufs/jour contre 7,6 à $9,5^{\circ} \text{ C}$. Tout autre facteur écologique mis à part, il est probable que l'élévation de la température dans les bassins du port de Dunkerque accélère la croissance de la population de *T. longicornis* par rapport au site de Gravelines. Par contre la production d'une femelle (nombre d'oeufs pondus pendant la vie) est plus faible (107,0) à $15,4^{\circ} \text{ C}$ qu'à $9,5^{\circ} \text{ C}$ (132,2).

Il semblerait que le bilan ne puisse être favorisé dans le milieu échauffé de Dunkerque que si cette baisse de production est compensée par l'accélération suffisante de la croissance permettant la mise en place effective d'au moins une génération supplémentaire pour un cycle annuel. La faible biomasse instantanée pourrait être alors compensée par une accélération du recyclage de la matière (énergie) dans un écosystème plus dynamique.

Nombre d'individus	T° C	Nombre moyen d'oeufs produits par femelle	Nombre moyen d'oeufs produits par femelle et par jour	Nombre d'oeufs produits par femelle
8	4,1	123,2	4,7	2 à 361
21	9,5	132,2	7,6	11 à 411
9	15,4	107,0	17,3	7 à 182

TABLEAU 22 : Production des oeufs chez *T. longicornis* à différentes températures. (d'après CORKETT et ZILLIOUX, 1975).

Cependant il est dommage que les expériences de CORKETT et ZILLIOUX (1975) n'aient pas été effectuées à des températures plus élevées, voisines de 20° C. Aux hautes températures atteintes en été dans le port ($T^{\circ} > 20^{\circ}$), il faut tenir compte d'une altération possible de la gamétogenèse et de la vitalité des gamètes et des différents stades copépodites (notion de température sub-létale).

En effet, selon l'hypothèse de travail de GUERIN (1973), l'énergie disponible dans le milieu serait utilisée pour deux grandes fonctions vitales : le métabolisme de repos et la gamétogenèse : *"Il arrive un moment où, à une température donnée (élevée), le métabolisme de repos exige une telle quantité d'énergie que la gamétogenèse devient impossible car les animaux n'ont pas à leur disposition une nourriture suffisante (ou les moyens de l'assimiler) pour couvrir tous leur besoins"* Pour *Temora longicornis*, espèce des eaux tempérées froides, cette limite pourrait être atteinte aux environs de 20-21° C. Le développement des générations estivales à Dunkerque ne s'effectueraient alors qu'à partir de stades larvaires importés de la Mer du Nord, la température étant trop élevée pour permettre une reproduction autochtone.

On peut supposer aussi, outre une inhibition possible de la reproduction, une "asphyxie thermique" freinant les processus métaboliques et ralentissant la croissance. C'est ce que suggère l'allongement de la durée du développement de la génération 5 (Fig. 62). Malheureusement, le cas est isolé et incertain, et il est à priori impossible de vérifier dans la nature le bien fondé de notre hypothèse, en raison du contrôle de l'extension géographique par la température.

Quelques données de laboratoire sont cependant disponibles qui tendent à prouver sa vraisemblance. De nombreux travaux ont été réalisés sur la relation liant la durée du développement des oeufs de copépodes et la température, mais la plupart sont limités aux températures rencontrées dans le milieu d'origine des espèces. La relation est alors couramment exprimée de façon satisfaisante par la formule de BELEHRADEK. BERNARD (1970) et LANDRY (1975) ont poussé leurs expériences à des températures plus élevées et obtiennent des valeurs expérimentales qui s'alignent sur une courbe présentant un minimum net ainsi que deux branches ascendantes dissymétriques. Ces courbes indiquent une accélération du développement jusqu'à une température optimale puis un ralentissement au-delà. De telles

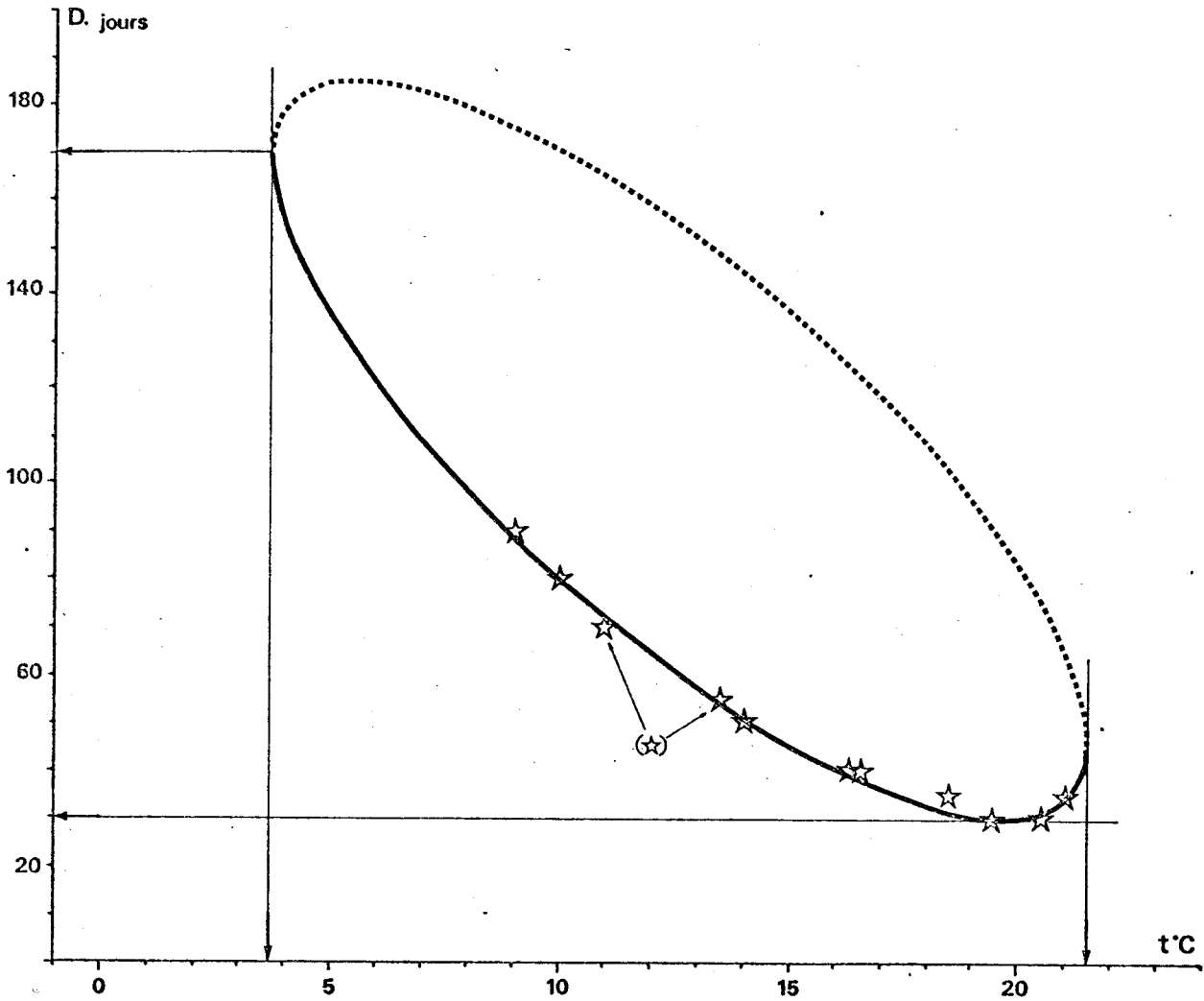


Figure 69 : Forme elliptique de la relation température / durée de développement .
[d'après la théorie de BERNARD M., 1970]



formes se retrouvent chez les oeufs de poissons et d'insectes (KINNE et KINNE, 1962 et BIRCH, 1944 - *in* BERNARD, 1970). La formule de BELEHRADEK devient alors insuffisante pour décrire une telle relation durée de développement/température. BERNARD (1970) propose d'ajuster cette courbe à une ellipse. La figure 69 montre que l'application de cette théorie à nos résultats donne une "image satisfaisante". Comme le remarque cet auteur, "*plusieurs courbes peuvent être ajustées aux données expérimentales avec des résidus très voisins* (ce que l'on a constaté avec les formules logarithmiques et de BELEHRADEK) ; *il s'agit de choisir celle à qui l'on peut donner une signification générale soutenue par une théorie*". Dans ce sens, l'ellipse présente un intérêt évident : d'après cet auteur, les tangentes verticales détermineraient les limites thermiques supérieures et inférieures de l'espèce et la tangente inférieure la durée minimale de développement.

Dans notre cas, si la durée minimale de développement semble un peu élevée par rapport aux données d'élevage, les limites thermiques inférieures (3 - 4° C) et supérieures (21,5° C) correspondent bien (aux erreurs d'interprétations près) aux observations jusqu'à présent réalisées sur *Temora longicornis*. Ces limites concernent le développement du stade C₁ au stade adulte et non à la résistance des individus matures aux faibles et fortes températures. *T. longicornis* peut être en effet récolté jusqu'à 1° C, et dans le bassin d'évitage, les adultes semblent supporter, au moins temporairement, des températures assez élevées, supérieures à 25° C. Une étude tenant compte des jeunes stades de développement plus sensibles (HARRIS et PAFFENHOFER, 1976) pourrait abaisser cette limite supérieure spécifique.

Une étude expérimentale sur le développement embryonnaire des principales espèces de copépodes pourrait d'autre part permettre de connaître les températures maximales à ne pas dépasser dans les taches thermiques des centrales nucléaires, températures au-delà desquelles la reproduction serait bloquée. Indépendamment du problème posé par le passage du plancton dans les circuits des condenseurs et le stress correspondant, ce genre d'étude montre que pour préserver les organismes amenés à transiter dans la tache thermique sous l'action des courants côtiers, il y a intérêt à prévoir un abaissement rapide des températures de rejet. En effet, il est possible qu'au delà des limites thermiques ainsi définies, la reproduction soit définitivement bloquée, par exemple, par lyse des

ovocytes, comme cela se produit chez les oeufs déjà libérés (BERNARD, 1970), et cela même si la femelle paraît supporter les températures élevées.

Il faut toutefois rester prudent dans la détermination en laboratoire d'une température sublétales (définie ici comme la température suffisamment élevée pour inhiber la reproduction et le développement). Il est probable que dans un milieu comme le port de Dunkerque, la toxicité des divers polluants industriels dispersés dans les eaux peut agir en synergie avec la température élevée et diminuer la température sublétales expérimentalement calculée.

III.3 LES CONDITIONS DU MILIEU ET LA TAILLE DES COPEPODES

III.3.1. Facteurs influençant l'hétérogénéité des tailles dans le port de Dunkerque

L'hétérogénéité de répartition des tailles peut avoir à Dunkerque de nombreuses origines. Rappelons que le niveau d'eau dans les bassins est maintenu élevé par les entrées d'eaux de la Mer du Nord pendant les étales de hautes mers. Il existe par conséquent un ensemencement certain et non négligeable en copépodes provenant de la Mer du Nord. On peut alors concevoir qu'à certaines périodes de l'année et dans certaines zones du bassin, une stratification thermique et haline prononcée et établie depuis un temps assez long contrarie le mélange de deux groupes différents :

- une population autochtone, adaptée aux conditions du bassin, de petite taille et en partie stationnée dans les couches d'eaux supérieures,
- et une population de plus grande taille, introduite régulièrement par les écluses, et maintenue uniquement en profondeur. La taille de cette population "profonde" serait alors voisine de celle de la population de Mer du Nord (Fig. 57c). Les conditions de courants nuls, très faibles ou très localisés expliquent que deux groupes de copépodes puissent se développer pendant un certain temps et sans contact dans des lieux très voisins mais de conditions thermiques différentes. Ce temps peut être suffisamment long pour que des différences de taille apparaissent chez les adultes des deux groupes. A la grande variété de conditions thermiques de développement correspond donc une grande variété de tailles des adultes. Une observation de même ordre (BENON, 1977) a d'ailleurs été signalée pour le copépode *Acartia clausi*, au large des rejets de la cen-

trale thermique de Martigues-Ponteau.

II.3.2 Action de la température et du phytoplancton sur la taille des copépodes

Bien qu'une relation simple semble pouvoir lier la taille des copépodes à la température, d'autres facteurs interviennent aussi avec parmi les plus étudiés, la quantité de nourriture disponible pendant le développement. (DEEVEY, 1960 - HEINLE, 1969 - MORAITOU-APOSTOLOPOULOU, 1975 - EVANS, 1977 - LEFEVRE, 1977).

Alors que la différence de température est relativement stable ($\Delta t^\circ \approx 4^\circ \text{C}$) entre la Mer du Nord et le port de Dunkerque, la différence entre les tailles des copépodes des deux sites varie (Fig. 68). En raison de l'échauffement des eaux du port, le développement de la première génération printanière, de petite taille, s'effectue plus tôt qu'en mer ouverte où la température est basse, et où dominent encore les individus de grande taille qui se sont développés pendant l'hiver. Le ΔL devient alors maximum (avril-mai). Il existe donc, au printemps, une période (mars-avril) privilégiée pour le développement de *Temora longicornis*, et caractérisée par une grande richesse en phytoplancton (Fig. 9a). Le facteur thermique reste cependant prépondérant pour la détermination finale des tailles. Si cette nourriture abondante n'a pas d'action certaine sur l'accélération de développement*, elle contribue sûrement à l'accélération de la maturation génitale des femelles qui peuvent alors pondre plusieurs fois au cours de leur vie (BERNARD 1970b, *in* RAZOULS, 1974 - GAUDY, 1971b). C'est à ce moment que l'élévation de la température a le plus d'effet sur la diminution de taille des individus.

A l'opposé, les valeurs faibles du ΔL dès le mois de juillet (Fig. 68), lorsque la température dépasse 20°C à Dunkerque, semblent indiquer qu'à partir d'un certain seuil, l'élévation de température a moins d'influence sur la taille des copépodes du port. Les individus développés à $20-22^\circ \text{C}$ à Dunkerque ont en effet une taille voisine de ceux développés à $16-17^\circ \text{C}$ en Mer du Nord. Les copépodes observés en été dans le port de Dunkerque pourraient n'être, pour une grande part, que

* Une accélération du développement provoquée par l'abondance d'une nourriture appropriée pourrait expliquer l'anomalie observée pour la durée de développement de la génération 2.

le reflet des importations de copépodites de la Mer du Nord. Il n'y aurait alors plus de reproduction propre au bassin en été. Le temps de séjour dans les eaux échauffées étant réduit aux derniers stades de développement, l'influence des températures élevées serait minimisée.

La poursuite de ces comparaisons sur un cycle annuel plus complet comprenant un maillage temporel plus serré permettrait de vérifier ou d'infirmer cette hypothèse. En effet les différences observées entre les tailles des copépodes sur les deux sites obéissent à des lois plus complexes qu'une simple relation taille/température et si, au lieu de prendre comme référence les copépodes prélevés à la station E, nous prenons ceux prélevés aux rejets de la centrale électrique (ou en profondeur), nous observons parfois des copépodes plus grands à Dunkerque qu'en Mer du Nord (Fig. 60 et 66).

Cette hypothèse pourrait de même laisser croire qu'en hiver, où les différences de taille sont aussi faibles, la population est essentiellement une population importée (§ II.1, génération 1'). L'homogénéité de la population à cette époque va d'ailleurs dans le sens d'une telle interprétation. Rappelons qu'à cette période les quantités de chlorophylle a sont très faibles et nettement plus basses qu'en Mer du Nord. Ce manque de nourriture pourrait expliquer l'absence de développement d'une population autochtone.

L'expression de la relation longueur/température, figurée en coordonnées logarithmiques (Fig. 70) montre un point d'inflexion vers 8° C. En dessous de ce seuil, il semble que la température ait moins (mâles) ou pas (femelles) d'influence sur la taille des individus*. Cela correspond dans la nature aux périodes hivernales, très pauvres en phytoplancton qui devient alors facteur limitant.

Nous avons déjà vu comment la quantité de nourriture disponible pouvait permettre un accroissement des tailles entre deux prélèvements voisins, malgré une température en augmentation. A l'opposé, quand l'approvisionnement en nourriture est insuffisant, il se pourrait d'après

* Si cette différence entre les sexes existe réellement, on peut supposer qu'elle est due d'une part à la différence de taille entre les mâles et les femelles et d'autre part aux besoins importants nécessaires pour l'élaboration de la vitellogenèse chez les femelles. L'abondance des C₁ pendant les périodes froides montre en effet que la production n'est pas stoppée.

HEINLE (1969) que l'effet de la température sur le métabolisme soit altéré et que *T. longicornis* ne puisse atteindre la taille maximale qui serait permise théoriquement par la température.

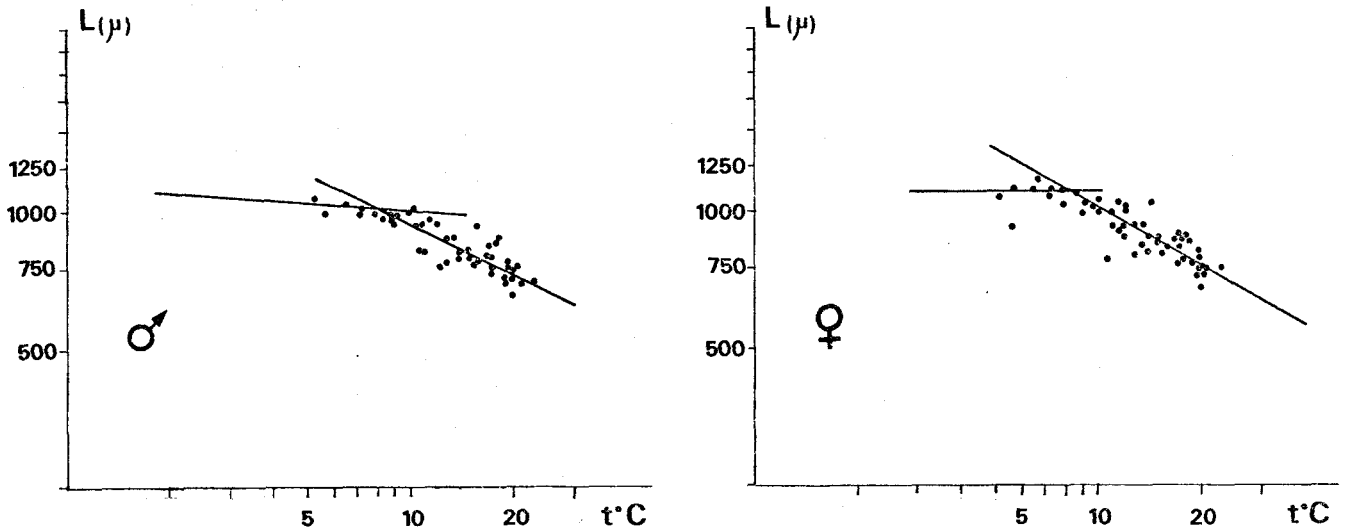


fig. 70 : Relation taille/température (coordonnées logarithmiques)

IV - CONCLUSION

Les valeurs régulièrement plus élevées de la température dans le bassin d'évitage semblent donc permettre une accélération du cycle biologique, et par là, un accroissement du nombre annuel de générations pour *Temora longicornis* (productivité) par rapport à la Mer du Nord proche. Cependant, la biomasse instantanée est beaucoup plus faible et il est probable que le bilan annuel (production) n'est pas positif. La mise en doute du caractère autochtone de certaines générations (été, hiver) va dans le sens d'une telle conclusion. Par ailleurs, les études similaires que nous avons entreprises sur d'autres copépodes montrent une synchronisation presque parfaite entre les générations extérieures et portuaires pour *Centropages hamatus*, réfutant la thèse d'une action favorable de l'élévation de la température sur le nombre annuel de générations, tout au moins dans les conditions hydrologiques du port de Dunkerque (pollution), et montrent qu'il existe une différence entre les potentialités de reproduction et les réalités observées sur le terrain.

RESUME ET CONCLUSIONS GENERALES

De nombreux prélèvements ont été effectués de janvier 1977 à juillet 1978 dans le port de Dunkerque, et nous ont permis de recueillir des informations sur l'hydrologie et le zooplancton d'une zone soumise à l'influence des rejets thermiques d'une centrale électrique de 500 MW.

Les eaux du bassin d'évitage du port de Dunkerque possèdent des caractéristiques particulières qui les différencient nettement des eaux de la Mer du Nord. Constamment échauffées en surface par les rejets de la centrale électrique E.D.F., elles subissent par ailleurs une dessalure due aux apports du canal à grand gabarit, dessalure à laquelle s'opposent les entrées d'eau de la Mer du Nord. L'hétérogénéité verticale est relativement stable en raison de l'absence de courants dans le port que l'on peut assimiler à un ensemble de bassins de décantation. Les eaux y sont souvent assez claires.

La richesse des eaux en sels nutritifs favorise le développement du phytoplancton mais ce développement semble parfois limité par "l'état de pollution globale des eaux". Nos données ne nous ont pas permis d'analyser plus clairement ce phénomène.

Contrairement à ce qu'on observe en Mer du Nord où c'est l'azote (et les silicates) qui peut être facteur limitant (Anon., 1971 - BOUGARD et coll., 1978), il semble qu'à Dunkerque ce soit les phosphates et les silicates qui manquent les premiers lors des poussées phytoplantoniques printanières.

Le cycle hydrologique annuel, mis en évidence par une analyse mathématique, est principalement caractérisé par un printemps très riche en chlorophylle a et en nitrates mais pauvre en phosphates, un été avec des températures élevées et de fortes teneurs en matières en suspension, et enfin un hiver très pauvre en chlorophylle a mais très riche en silicates. L'intervention humaine dans les relations entre les eaux des bassins et les eaux extérieures perturbe très fortement le caractère saisonnier des variations de la salinité.

Le caractère portuaire du zooplancton est fortement marqué par l'importance de sa fraction méroplanctonique. Le site est favorable aux organismes fixés (*fouling*) et filtreurs comme les moules, ascidies et balanes, qui trouvent de bons supports sur les quais et de la matière organique nutritive suffisante en suspension dans l'eau. Ces organismes émettent de nombreuses larves qui sont peu dispersées, de par l'absence de courant dans les bassins.

Au sein de l'holoplancton, le cladocère *Podon polyphemoïdes* prend une importance considérable avec parfois plus de 80 % du plancton total. Rare ou absent en Mer du Nord proche, il caractérise les eaux dessalées, échauffées et polluées du port.

Les copépodes, beaucoup moins abondants qu'en Mer du Nord, sont principalement représentés par *Temora longicornis*, *Euterpina acutifrons* et le genre *Acartia*. *Temora longicornis* domine nettement au printemps et, sur le reste de l'année, *Acartia clausi* prend une importance relative qu'il n'a pas à l'extérieur, cela plus par défaut des autres espèces que par un développement propre exceptionnel. Les autres copépodes de la faune régionale sont présents mais n'acquièrent qu'un développement limité.

Les eaux du port favorisent par contre le développement d'espèces qu'on ne retrouve pas en mer ouverte : *Acartia bifilosa* et *Eurytemora hirundoïdes*, copépodes d'eaux dessalées et surtout *Acartia tonsa*, reconnu pour la première fois dans la région (2 sites recensés en France), et qui prospère dans des eaux chaudes et dessalées.

Ainsi, malgré le développement privilégié de certaines espèces, la diversité copépodique est maintenue relativement élevée par le mélange des espèces du large constamment importées et des espèces supplémentaires propres aux bassins. Le printemps reste cependant une exception avec le développement massif de *Temora longicornis* qui représente alors plus de 80 % des copépodes.

Le cycle annuel du zooplancton total présente une certaine analogie avec le cycle hydrologique mais est surtout marqué par un hiver très pauvre qui s'oppose aux trois autres saisons.

L'étude de la dynamique des populations du copépode *Temora longicornis* révèle une accélération du cycle biologique par rapport aux individus de la Mer du Nord : la durée de développement est fortement liée à la température et l'échauffement permanent des eaux du port semble permettre l'établissement de générations supplémentaires, ou une reproduction continue. La très forte hétérogénéité des tailles des adultes révèle le mélange d'individus ayant subi des conditions de développement différentes et on peut noter des chevauchement de générations, surtout au printemps.

Bien que *Temora longicornis* adulte paraisse résister à des températures assez élevées (> 25° C), la reproduction semble réduite lorsque la température dépasse 20° C et de ce fait, on peut mettre en doute, pour cette espèce, l'existence d'une reproduction propre au bassin pendant l'été. Il conviendra donc de faire la différence entre les adaptations physiologiques dont sont capables les adultes d'une espèce vis à vis des températures élevées (GONZALEZ, 1974 - GAUDY, 1977) et les "risques de stérilisation" (?) encourus à des températures plus faibles et que l'on pourrait trouver dans une tache thermique.

L'importation permanente et non négligeable de formes exogènes ne facilite pas les interprétations et, pour *Temora longicornis* comme pour de nombreuses autres espèces, il est parfois difficile d'établir la proportion entre les individus importés et les individus qui se développent réellement dans le port.

Nous n'avons échantillonné régulièrement qu'une station et, en raison du calme des eaux, il est probable qu'elle ne soit représentative que du bassin d'évitage. Le terme "importé" pourrait alors s'appliquer aussi à des individus qui se sont développés dans des zones très voisines (bassin maritime, bassins d'évolution), où les conditions de températures peuvent être assez différentes.

Par ailleurs, le zooplancton se trouve réparti préférentiellement en profondeur pendant la journée. Une étude ultérieure devrait permettre de définir si cette répartition correspond à un simple phototropisme négatif, ou s'il existe en plus une réaction de fuite vis-à-vis des couches les plus chaudes, effective également pendant les périodes nocturnes, et contrariant plus ou moins les migrations verticales. Les différences de taille qu'il est parfois possible d'observer à une même

station entre les copépodes du fond et les copépodes de surface tendent à montrer qu'au sein d'une même espèce certains individus restent confinés en profondeur de façon plus ou moins volontaire.

L'étude de prélèvements réalisés sur une partie plus étendue des bassins de part et d'autre des rejets E.D.F. et à différents niveaux de profondeur permettra de mieux caractériser cette hétérogénéité spatiale et de définir les réactions des principales espèces vis-à-vis d'un panache thermique, principalement superficiel.

De nombreuses études concernant l'influence des rejets thermiques sur le milieu vivant se sont développées récemment, et notamment en France en raison des projets d'implantation des centrales nucléaires sur le littoral (Journées de la thermoécologie - Brest, nov. 1976). Dans le domaine planctonique, ces travaux sont en partie réalisés en laboratoire et portent alors essentiellement sur l'effet des chocs thermiques, la recherche des températures létales et sublétales, et les possibilités d'adaptation des organismes aux températures élevées. Sur le terrain, elles concernent les études quantitatives et qualitatives entre la prise d'eau et la zone des rejets, et les effets de transit dans les circuits de refroidissement. Elles visent à apprécier la mortalité immédiate due aux effets mécaniques, thermiques et chimiques. La variabilité des résultats obtenus (KHALANSKI, 1978b) provient autant de la multiplicité de forme des installations industrielles thermiques que de l'hétérogénéité des méthodes d'études et montre qu'il reste encore dans ce domaine beaucoup de travail à faire, chaque site ayant ses particularités.

Les effets à long terme sur une population planctonique *in situ* sont difficilement abordables par le fait que les rejets s'effectuent en général en milieu ouvert où sévissent de forts courants de marées, comme à Gravelines. La dispersion des masses d'eau contenant le zooplancton affecté par le transit dans la centrale est alors assez rapide (MÜLLER-FEUGA, 1977) et rend par là-même difficile l'évaluation des perturbations dès que l'on s'éloigne un peu de la zone directe des rejets (CARPENTER et coll., 1974a).

C'est pourquoi, malgré des caractéristiques hydrologiques particulières, l'ensemble des bassins à flot du port de Dunkerque, et plus

spécialement le bassin d'évitage, apparaît comme une enceinte de grand volume sur laquelle il est possible d'entreprendre de façon privilégiée des études sur l'action à court et long terme des rejets thermiques industriels sur un écosystème marin relativement bien délimité.

BIBLIOGRAPHIE

- ACKEFORS H., 1969 - Seasonal and vertical distribution of the zooplankton in the Askö area (Northern Baltic proper) in relation to hydrographical conditions. *Oikos*, 20 : 480-492.
- ACKEFORS H. et ROSEN C.G., 1970 - Temperature preference experiments with *Podon polyphemoïdes* Leuckart in a new type of alternative chamber. *J. exp. mar. Biol. Ecol.*, 4 : 221-228.
- ANON. - Bull. climatologiques mensuels. - *Météorologie Nationale. S.M.M. Région Nord*, n° 174 à 193.
- ANON., 1971 - Nutrients et paramètres biologiques associés. *Projet Mer, rapport de synthèse*, 1 : 96-122, éd. Comm. intermin. politique Sci. belge.
- ATKINS W.R.G., JENKINS P.G., 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 (2) : 497-509.
- BATTAGLIA B., 1959 - Facteur thermique et différenciation saisonnière chez un copépode harpacticoïde de la lagune de Venise. *Vie et Milieu*, 10 (1) : 1-13.
- BENON P., 1977 - Influence des rejets d'eau chaude de la centrale E.D.F. Martigues-Ponteau, sur les populations zooplanctoniques. *Tethys*, 8 (1) : 63-82.
- BENON P., BOURGADE B., KANTIN R., 1977 - Impact de la pollution sur les écosystèmes méditerranéens côtiers. Aspects planctoniques. *Thèse 3° cycle (spéc. océanologie). Univ. Aix-Marseille II.* 400 p., 235 fig.
- BERNARD M., 1970 - La forme elliptique de la relation température-durée de développement embryonnaire chez les copépodes pélagiques et ses propriétés. *Fourth Europ. Mar. Biol. Symp. éd. D.J. CRISP* : 203-210.
- BERNARD M., 1970 b - Quelques aspects de la biologie du copépode pélagique *Temora stylifera* en Méditerranée. Essais d'écologie expérimentale. *Pelagos*, II : 1-196.

- BLANC F., LEVEAU M., KERAMBRUN P., 1975 a - Eutrophie et pollution : Structure et fonctionnement du sous-écosystème planctonique. *10th European Symp. Biol. Ostend. Belgium*, 2 : 61-83.
- BLANC F., LEVEAU M., BONIN M.C., 1975 b - Ecosystème planctonique : Structure et fonctionnement en relation avec les phénomènes de dytrophie (Golfe de Fos). *Intern. Rev. Hydrobiol., Dtsch.*, 60 (3) : 359-378.
- BODO F., RAZOULS C., THIRIOT A., 1965 - Etude dynamique et variations saisonnières du plancton de la région de Roscoff. II. Zooplanton. *Cah. biol. mar.*, 6 : 219-254.
- BOSCH H.F. et TAYLOR V.R., 1973 - Distribution of the cladoceran *Podon polyphemoides* in the Chesapeake Bay. *Mar. Biol.*, 19 : 161-171.
- BOUGARD M., 1977 - Hydrologie. *in* : Etude écologique de projet - Site de Gravelines, 2^e cycle. Ed. : C.N.E.X.O. / *Inst. Biol. Mar. Wimereux*.
- BOUGARD M., DEWARUMEZ N., MENU D., RICHARD A., SOUPLLET A., 1978 - Etude hydrologique du site de Dunkerque - Réseau National d'Observation de la qualité du milieu marin. *Univ. Lille I., Inst. Biol. Mar. Rég. Wimereux*. 106 p.
- BOURDILLON A., 1971 - L'échantillonnage du zooplancton marin. *in* : LAMOTTE M. et BOURLIERE F. - Problèmes d'écologie : l'échantillonnage des peuplements animaux des milieux aquatiques, 294 p. éd. Masson et Cie.
- BOURGADE B., 1977 - Impact des rejets thermiques sur les populations phytoplanctoniques aux abords de la centrale thermique E.D.F. Martigues-Ponteau. *Tethys*, 8 (1) : 47-62.
- BOWMAN T.E., 1961 - The copepod genus *Acartia* in Chesapeake Bay. *Chesapeake Sci.* 2 : 206-207.

- BROUARDEL J. et JOSEPH M., 1976 - Influence sur la production primaire du passage de l'eau de mer dans une centrale thermique (Dunkerque). Etude préliminaire. *Rapport E.D.F.* (non publié). 9 p. 9 tableaux.
- 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., 1973 - Le zooplancton. *in* : Etude écologique du site de Gravelines (Centrale E.D.F.) - *Rapport préliminaire F.41.D.52 Service G.E.C.T.N.*, 115 p.
- BRYLINSKI J.M., 1975 - Etude du zooplancton marin de la région de Boulogne-sur-mer. *D.E.A. Univ. Lille I*, 90 p.
- BRYLINSKI J.M., 1978 - Première approche de la dynamique d'une population de *Temora longicornis* O.F. Müller (Copepoda - Calanoïda) dans les bassins à flot du port de Dunkerque (France) - *Colloque Ecotron - juillet 78 - C.N.E.X.O.* - 15 p. (sous presse).
- CARLI A., 1963 - Casi di anomalia del V° paio di arti natatori di alcuni Crustacei Calanoidi. *Riv. Sc. Nat. "Natura"*, 54 : 85-89.
- CARPENTER E.J., PECK B.B. et ANDERSON S.J., 1972 - Cooling water chlorination and productivity of entrained phytoplankton. *Mar. Biol.*, 16 : 37-40.
- CARPENTER E.J., ANDERSON S.J. et PECK B.B., 1974 a - Copepod and chlorophyll a concentrations in receiving waters of a nuclear power station and problems associated with their measurement. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 2 : 83-88.
- CARPENTER E.J., PECK B.B. et ANDERSON S.J., 1974 b - Survival of Copepods passing through a nuclear power station on Northeastern Long Island Sound, U.S.A. *Mar. Biol.*, 24 : 49-55.

- CASTEL J., ARZUL G., LISSALDE J.P., 1976 - Etude préliminaire du plancton de l'estuaire de la Gironde. *J. Rech. Oceanogr., Fr.*, 1 (2) : 17-24.
- CHARDY P., de la SALLE P., DERRIEN E., JEZEQUEL M. et LAUREC A., 1976 - Traitement mathématique in : Etude écologique, site de Gravelines, rapport final, éd. C.N.E.X.O.
- CONOVER R.J., 1956 - Oceanography of Long Island Sound, 1952- 1954. IV. Biology of *Acartia clausi* and *A. tonsa*. *Bull. Bingham Oceanogr. Coll.*, 15 : 156-233.
- CONOVER R. J., 1957 - Notes on the seasonal distribution of zooplankton in Southampton water with special reference to the genus *Acartia*. *Annu. Mag. Nat. Hist.*, 10 : 63-67.
- COOLEY J.M. et MINNS C.K., 1978 - Prediction of egg development times of freshwater copepods. *J. Fish. Res. Board Can.*, 35 : 1322-1329.
- CORKETT C. J., 1965 - The copepodid stages of *Temora longicornis* O. F. MULLER 1792 (Copepoda). *Crustaceana*, 12 : 261-273.
- CORKETT C.J., 1968 - Observations sur les stades larvaires de *Pseudocalanus elongatus* (BOECK) et *Temora longicornis* (O.F. MOLLER). *Bull. Inst. Océanogr. Alger, Pelagos*, 8 : 51-57.
- CORKETT C.J. et Mc LAREN I.A., 1970 - Relationships between development rate of eggs and older stages of copepods. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 50 : 161-168.
- CORKETT C.J. et ZILLIOUX E.J., 1975 - Studies on the effect of temperature on egg laying of three species of calanoid copepods in the laboratory. (*Acartia tonsa*, *Temora longicornis*, *Pseudocalanus elongatus*). *Bull. Plankton Soc. Jap.*, 21 : 77-85.
- CRISAFI P., 1973 - Eurivalenza e tollerabilità di specie del genere *Acartia* (Copepoda : Calanoïda) in acque inquinate. *Atti 5° Coll. int. Oceanogr. med. Messina* : 369-378.

- CRISAFI P., 1974 - Some responses of planktonic organisms to environmental pollution. *Rev. Intern. Océanogr. Méd.*, 34 :145-153.
- CRISAFI P., 1974b - Inquinamento e speciazione : *Acartia josephinae* e *A. enzoï* (Copepoda, Calanoïda), specie nuove del mare Mediterraneo. *Boll. Pesca Piscic. Idrobiol.*, 29 (1) : 5-10.
- CRISAFI P. et CRESCENTI M., 1972 - Comportamento, morfologia, sviluppo, misure, confronti e revisione di otto specie delle famiglia *Acartiidae*, incontrate in acque marine inquinate soprattutto da scarichi industriali. *Boll. Pesca Piscic. Idrobiol.*, 27 (2) : 221-254.
- CRISAFI P. et CRESCENTI M., 1975 - Conseguenze delle attività umane sullo zooplancton del mare di Taranto. *Boll. Pesca Piscic. Idrobiol.*, 30 (2) : 207-216.
- DAJOZ R., 1972 - Précis d'écologie. éd. Dunod, Paris. 434 p.
- DASTE P., KHALANSKI M. et NEUVILLE P., 1978 - Effets de facteurs thermique et chimique, liés au refroidissement des centrales nucléaires sur quatre espèces phytoplanctoniques cultivées *in vitro* *C.R. Acad. Sc.*, 286 : 1911- 1913.
- DEEVEY G.B., 1960 - Relative effects of temperature and food on seasonal variations in length of marine copepods in some Eastern American and western European waters. *Bull. Bingham Oceanogr. Coll.*, 12 (1) : 1-44.
- DE PAUW N., 1969 - Contribution à l'étude du plancton dans le port d'Ostende. *Dodonaea, Biologisch Joarboek*, 37 : 186-261.
- DIGBY P.S.B., 1950 - The biology of the small planktonic copepods of Plymouth. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 29 (2) : 393-438.
- DYBERN B.I., 1965 - The life of *Ciona intestinalis* (L.) *typica* in relation to the environmental temperature. *Oikos. Copenhagen*, 16 : 109-131.

- ERIKSSON S., 1973 - Preliminary zooplankton investigations in the Oregrund archipelago (Southwestern Bothnian Sea) during the summer 1970. *Zoon*, 1 : 95-111.
- ERIKSSON D., 1974 - The occurrence of marine *Cladocera* on the west coast of Sweden. *Mar. Biol.*, 26 : 319-327.
- EVANS F., 1977 - Seasonal density and production estimates of the commoner planktonic copepods of Northumberland coastal waters. *Estuar. and Coastal Mar. Sci.*, 5 : 223-241.
- GAUDY R., 1971 - Contribution à l'étude du cycle biologique des copépodes pélagiques du golfe de Marseille. 1 : L'environnement physique et biotique et la composition de la population de copépodes. *Tethys*, 3 (4) : 921-942.
- GAUDY R., 1971 b - Etude expérimentale de la ponte chez trois espèces de copépodes pélagiques (*Centropages typicus*, *Acartia clausi* et *Temora stylifera*). *Mar. Biol.*, 9 (1) : 65-70.
- GAUDY R., 1972 - Contribution à la connaissance du cycle biologique des copépodes du golfe de Marseille. 2. Etude du cycle biologique de quelques espèces caractéristiques. *Tethys*, 4 (1) : 175-242.
- GAUDY R., 1977 - Etude des modifications du métabolisme respiratoire des populations d'*A. clausi* (Crustacea : Copepoda) après passage dans les circuits de refroidissement d'une centrale thermo-électrique. *Mar. Biol.*, 39 : 179-190.
- GONZALEZ J.G., 1974 - Critical thermal maxima and upper lethal temperatures for the calanoid copepods *Acartia tonsa* and *A. clausi*. *Mar. Biol.*, 27 (3) : 219-223.
- GREEN E.J. et CARRITT D.E., 1967 - New tables for oxygen saturation of sea-water. *J. Mar. Res.*, 25 : 140-147.
- GUERIN J.P., 1973 - Premières données sur la longévité, le rythme de ponte et la fécondité de *Scoelelepis* cf. *fuliginosa* (polychète, spionidé) en élevage. *Mar. Biol.*, 19 : 27-40.

- HARRIS R.P. et PAFFENHÖFER G.A., 1976 - Feeding, growth and reproduction of the marine planktonic copepod *Temora longicornis* MÖLLER. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 56 : 675-690.
- HAQ S.M., 1972 - Breeding of *Euterpina acutifrons*, a harpacticoid copepod with special reference to dimorphic males. *Mar. Biol.*, 15 : 221-235.
- HECQ J.H., 1971 - Recherches sur le cycle annuel du zooplancton à Boulogne-sur-mer (1970-71). *Mémoire de licence. Univ. Liège Belgique*, 71 p.
- HECQ J.H., 1976 - Cycle annuel du zooplancton à Boulogne-sur-mer (Pas-de-Calais 1970-71). II l'holoplancton. *Bull. Soc. Roy. Sci. de Liège*, 9-10 : 443-457.
- HEINLE D.R., 1969 - Temperature and zooplancton. *Chesapeake Sci.*, 10 : 186-209.
- HEINLE D.R., 1976 - Effect of passage through power plant cooling systems on estuarine copepods. *Environ. Pollut. G.B.*, 11 (1) : 39-58.
- HEIP C., 1974 - A comparison between models describing the influence of temperature on the development rate of copépods. *Biol. Jb. Dodonaea*, 42 : 121-125.
- HERAL M., 1977 - Utilisation des dosages d'adénosine tri-phosphate (ATP) dans l'estimation des pertes de matières vivantes au cours du transit dans les condenseurs de la centrale de Dunkerque. *Journées de la thermoécologie: Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. Brest 15-16 nov. 1976.- E.D.F. Dir. de l'Équipement*: 145-156.
- JEFFRIES H.P., 1962 - Succession of two *Acartia* species in estuaries. *Limnol. Oceanogr.*, 7 : 354-364.
- JESPERSEN P., 1949 - Investigations on the occurrence and quantity of holoplankton animals in the Isefjord, 1940-1943. *Medd. Komm. Havundersg. Kbh. Fiskeri. Serie Plankton*, 5 (3) : 1-18.

KASAHARA S., UYE S. et FLEMINGER A., 1976 - Effect of various environmental factors on egg development of several species of *Acartia* in Southern California. *Mar. Biol.*, 38 : 253-262.

KASAHARA S., UYE S. et ONBE T., 1974 - Calanoid copepod eggs in seabottom muds. *Mar. Biol.*, 26 : 167-171.

KASAHARA S., UYE S. et ONBE T., 1975 - Calanoid copepod eggs in seabottom muds. II. Seasonal cycles of abundance in the populations of several species of copepods and their eggs in the Inland sea of Japan. *Mar. Biol.*, 31 (1) : 25-29.

KHALANSKI M., 1977 - Influence du fonctionnement d'une centrale thermique sur la production primaire planctonique du port de Dunkerque. *Journées de la thermo-écologie : Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. Brest 15-16 nov. 1976. E.D.F. Dir. de l'Équipement* 101-144.

KHALANSKI M., 1978 - Incidence du fonctionnement des centrales de Dunkerque et Martigues-Ponteau sur le zooplancton marin : Point des études au 31 / 12 / 1977. *Rapport E.D.F. E 31-78 / N° 24.*

KHALANSKI, 1978b - Perturbations écologiques liées à l'implantation de centrales thermiques de grande puissance sur le littoral. *Séminaires lab. Océanogr. Biol. de l'Inst. Océanogr., Oceanis*, 4 (3) : 152-195.

KLIE W., 1933 - Neues zur Crustaceen-Fauna Nordwestdeutschlands. *Abh. Naturw. Ver. Bremen*, 28 : 271-276.

KUNZ V.H., 1935 - Zur Ökologie der Copepoden Schleswig-Holsteins und der Kieler Bucht. *Schriften Naturw. Ver. Schleswig-Holsteins*, 21 : 84-132.

LAFON M., DURCHON M., SAUDRAY Y., 1955 - Recherches sur les cycles saisonniers du plancton. *Ann. Inst. Oceanogr.*, 31 (3) : 125-230.

LAI H.C., 1977 - Changes in cephalothorax length of *Diaptomus oregonensis* as an indicator of generations. *Hydrobiologia*, 54, 1, p. 17-21.

LAIR N., 1977 - Biomasse et production dans deux lacs du Massif Central français. *Arch. Hydrobiol.*, 2 : 247-273.

- LANDRY M.R., 1975 - Seasonal temperature effects and predicting development rates of marine copepod eggs. *Limnol. Oceanogr.* 20 : 434-440.
- LEBRETON J.C., 1977 - Place des centrales littorales dans le programme nucléaire français à moyen terme. *Journées de la thermo-écologie : Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire.* Brest, 15-16 nov. 1976 - E.D.F. Dir. de l'Équipement : 3-9.
- LEFEVRE G., 1976 - Le zooplancton [copépodes]. *in* : Etude écologique, site de Gravelines - rapport final, éd. C.N.E.X.O. / I.B.M.R.W.
- LEFEVRE G., 1977 - Le zooplancton [copépodes]. *in* Etude écologique de projet. Site de Gravelines, 2^e cycle. C.N.E.X.O. / Inst. Biol. Mar. Wimereux.
- LUBET P., 1953 - Variations saisonnières du zooplancton du Bassin d'Arcachon. *Bull. Soc. Zool. Fr.*, 78 : 204-216.
- LUBET P., 1959 - Recherches sur le cycle sexuel et l'émission des gamètes chez les *Mytilidae* et les *Pectinidae* (Moll. Bivalves) *Rev. Trav. Inst. Pêches Maritimes*, 23 (4) 3 : 387-548.
- LUBET P. et LEGALL P., 1968 - Observations sur le cycle sexuel de *Mytilus edulis* L. à Luc-sur-mer. *Bull. Sc. Linn. Normandie*, 8 (2) : 303-307.
- MARSHALL S.M., 1949 - On the biology of the small copepods in Loch Striven. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 28 : 45-122.
- MARSHALL S.M. et ORR A.P., 1952 - On the biology of *Calanus finmarchicus*. VII. Factors affecting egg production. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 30 : 527-547.
- Mc LAREN I.A., 1963 - Effect of temperature on growth of zooplankton and the adaptive value of vertical migration. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 20 : 685-727.

- Mc LAREN I.A., 1978 - Generation lengths of some temperate marine copepods: Estimation, prediction and implications. *J. Fish Res. Board Can.*, 35 : 1330-1342.
- Mc LAREN I.A., CORKETT C.J., ZILLIOUX E.J., 1969 - Temperature adaptations of copepod eggs from the arctic to the tropics. *Biol. Bull.*, 137 (3) : 486-493.
- MORAITOU-APOSTOLOPOULOU M., 1975 - Seasonal variations in length of three copepods in Saronic bay (Greece). *Boll. Pesca Piscic. Idrobiol.*, 30 (1) : 93-101.
- MORAITOU-APOSTOLOPOULOU M. et KIORISIS V., 1976 - Etude comparée des cladocères du premier mètre de l'eau de mer, recueillis dans une zone polluée et dans une autre, relativement propre. *Rev. Int. Océanogr. Méd., Fr.* 43 : 37-46.
- MÜLLER-FEUGA A., 1977 - Essai d'évaluation de l'impact d'une centrale nucléaire en bord de mer sur le milieu aquatique vivant : cas de la future centrale de Paluel. *Journées de la thermoécologie : Influence des rejets thermiques sur le milieu vivant en mer et en estuaire. Brest 15-16 nov. 1976 - E.D.F. Dir. de l'Équipement* : 279-302.
- PARSONS T.R. et STRICKLAND J.D.H., 1963 - Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophylls and carotenoids. *J. Mar. Res.*, 21 : 155-163.
- PATRITI G., 1973 - Les cladocères des milieux portuaires de Marseille. *Mar. Biol.*, 20 : 50-57.
- PATRITI G., 1976 - Structure et environnement de la partie planctonique dans l'écosystème des zones fermées et semi-fermées des ports de Marseille (Dystrophie et pollution). *Thèse Doc. Etat Univ. Aix-Marseille 2*, 202 p.
- PERSON-LE RUYET J., 1975 - Elevage de copépodes calanoides. Biologie et dynamique des populations : premiers résultats. *Ann. Inst. Océanogr.*, 51 (2) : 203-221.

- POLK-DARO M.H., 1972 - Le rôle du zooplancton dans l'écologie du bassin de chasse d'Ostende. *Thèse Doct. Sci. Zool. Vrije Universiteit Brussel*. 115 p., 91 fig.
- POLK P., 1977 - Inventarisatie plankton - Fauna en flora. *Progr. Nat. Rech. Dev. Belg. éd. NIHOUL et CONNINCK. Projet Mer, rapport final*, 7 : 233-252.
- RAE K.M. et REES C.B., 1947 - Continuous plankton records : the copepoda in the North Sea, 1938-1939. *Hull. Bull. Mar. Ecol.*, 11 (2) : 95-132, 25 pl.
- RAMMNER W., 1939 - *Cladocera*. Fiches d'identification du zooplancton. *Cons. perm. int. explor. de la mer. Danemark*.
- RAZOULS C., 1963 - Etude qualitative et quantitative des Copépodes planctoniques côtiers de Roscoff. *Thèse 3^e cycle. Paris*. 61 p.
- RAZOULS C., 1974 - Variations annuelles quantitatives de deux espèces dominantes de copépodes planctoniques *Centropages typicus* et *Temora stylifera* de la région de Banyuls : cycles biologiques et estimations de la production. III : Dynamique des populations et calcul de leur production. *Cah. Biol. Mar.*, 15 (1) : 51-88.
- REDEKE H.C., 1934 - On the occurrence of two pelagic copepods, *Acartia bifilosa* and *Acartia tonsa*, in the brackish waters of the Netherlands. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 9 : 39-45.
- REMY P., 1927 - Note sur un copépode de l'eau saumâtre du canal de Caen à la mer, *Acartia tonsa* DANA. *Ann. Biol. lacustre*, 15 : 169-186.
- RICHARD A., 1970 - Contribution à l'étude expérimentale de la croissance et de la maturation sexuelle de *Sepia officinalis* L. (Mollusque Céphalopode). *Thèse Doct. Etat, Univ. Sci. et Tech. Lille I*, 305 p. 104 fig., 42 pl.
- R.N.O. - Bulletins trimestriels (résultats bruts). 1^e trimestre 1977 - 3^e trimestre 1978. d. *Ministère de la Culture et Env. / C.N.E.X.O.*

SMIRNOV S.S., 1935 - Über das Auftreten von *Acartia tonsa* DANA (Copepoda) in Finnischen Meerbusen. *C. R. Acad. Sci. U.R.S.S.*, 3 (5) : 237-240.

SOUPLET A., DEWARUMEZ J.M., BOUGARD M., BRYLINSKI J.M. et RICHARD A., - Utilisation de l'indice de diversité de Shannon et de l'équité pour dégager l'influence des facteurs du milieu dans les zones littorales de la Manche et de la Mer du Nord. *Soc. Zool. Fr.*, 102. Supp. (sous presse). Publication présentée à la table ronde du 22 novembre 1977.

STEVER A., 1915 - Revision der Gattung *Acartia* DANA. *Zool. Anz.*, 45 : 392-397.

TOULARASTEL F., 1976 - Le zooplancton. *in* : Etude écologique, site de Gravelines - rapport final. éd. C.N.E.X.O. / *Inst. Biol. Mar. Wimereux.*

TRAVERS A. et TRAVERS M., 1973 - Données sur quelques facteurs de l'écologie du plancton dans la région de Marseille. 3. La lumière. *Tethys*, 5 (1) : 7-30.

TREGUER P. et LE CORRE P., 1974 - Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (utilisation de l'autoanalyseur II, Technicon R). *Labor. Océan. Chim. Univ. Bret. Occid. Brest*, 59 p.

U.N.E.S.C.O., 1966 - Determination of photosynthetic pigments in seawater. *Monographs on oceanographic methodology*. 69 p.

U.N.E.S.C.O., 1968 - Zooplankton sampling. *Monographs on oceanographic methodology*. 174 p.

VIVARELLI C. et BELIAKOFF P., 1976 - Etude sommaire de la tache thermique du bassin maritime du port de Dunkerque et du champ de vitesses au droit de la prise d'eau et du rejet de la centrale E.D.F. *Rapport E.D.F. E 31 / 76 N° 29*, 3 p., 9 Tableaux.

ZILLIOUX E.J. et GONZALEZ J.G., 1972 - Egg dormancy in a neritic Calanoid Copepod and its implications to overwintering in boreal waters. *Fifth europ. Mar. Biol. Symp. éd. B. BATTAGLIA*, 217-230.

