

**DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT  
ET DES RECHERCHES OCEANIQUES**

**Etude Ecologique de Projet**

**Site de FLAMANVILLE**

**2<sup>e</sup> Cycle**

**Juin 1977-Juin 1978**

**Vol. 1 : LE DOMAINE PELAGIQUE**

**Fasc. 1 : RAPPORT**





ELECTRICITE DE FRANCE  
Contrat n° PA 1641

E T U D E E C O L O G I Q U E D E P R O J E T

Site de Flamanville

2e cycle

(juin 1977 - juin 1978)

Volume 1 : Le domaine pélagique  
Fascicule 1 : Rapport

Ce rapport a été tiré sous forme provisoire en juin 1979  
par le C.N.EX.O. Département E.L.G.M.M.

IFREMER  
DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT  
ET DES RECHERCHES OCEANIQUES

DERO - 86.22 - EL



S O M M A I R E

=====



## SOMMAIRE GENERAL

AVANT-PROPOS

LISTE DES PARTICIPANTS

SYNTHESE

### VOLUME 1 : Le Domaine Pélagique

#### Fascicule 1 : Rapport

#### CHAPITRE I - GENERALITES

A. Limites géographiques.....	1
B. Description géomorphologique.....	1
I. Le littoral.....	1
II. La zone intertidale.....	4
III. La zone infralittorale.....	4
C. Hydrographie.....	5
I. Hydrodynamisme.....	5
II. Hydrologie.....	8
D. Climatologie.....	9
I. Caractéristiques générales.....	9
II. Caractéristiques de la période étudiée.....	12
III. Comparaison des deux cycles entre eux.....	14

#### CHAPITRE II - HYDROLOGIE

A. Introduction.....	18
I. Méthodologie d'échantillonnage, localisation des stations....	18
II. Calendrier des sorties.....	21
B. Paramètres physico-chimiques.....	21
I. Matériel et méthodes.....	21
II. Résultats.....	21
III. Discussions.....	30
C. Conclusion.....	39

#### CHAPITRE III - MICROBIOLOGIE

A. Prélèvements.....	41
B. Analyse.....	41

C. Résultats.....	42
I. Germes aérobies totaux.....	42
II. Germes fluorescents à l'acridine orange.....	45
III. Germes sulfato-réducteurs.....	47
IV. Recherche des vibrio halophiles.....	49
Conclusion.....	50

#### CHAPITRE IV - PHYTOPLANCTON. PRODUCTION PRIMAIRE

A. Matériel et méthode.....	53
I. Paramètres quantitatifs.....	53
II. Paramètres qualitatifs.....	54
B. Généralités.....	55
I. Paramètres quantitatifs.....	55
II. Paramètres qualitatifs.....	57
C. Résultats.....	68
I. Variations spatiales.....	68
II. Variations temporelles.....	74
III. Discussion.....	111
D. Conclusion.....	114

#### CHAPITRE V - ZOOPLANCTON

Introduction.....	117
A. Méthodologie de prélèvements et d'analyses.....	117
I. Stratégie d'échantillonnage.....	117
II. Récolte des échantillons.....	119
III. Dépouillement des échantillons.....	120
B. Résultats.....	124
I. Biomasse du zooplancton et composition chimique élémentaire..	124
II. Faunistique, composition et diversité du zooplancton.....	136
III. Variations quantitatives des espèces zooplanctoniques. Variations saisonnières et spatiales.....	146
Conclusion générale.....	214

#### CHAPITRE VI - TRAITEMENTS MATHÉMATIQUES

Introduction.....	220
A. Hydrobiologie.....	221
I. Introduction.....	221
II. Variations au niveau d'une campagne.....	221
III. Analyse de la deuxième année (juin 1977 - juin 1978).....	224
IV. Comparaison de deux cycles annuels.....	226
V. Conclusion.....	229

B. Phytoplancton.....	230
I. Introduction.....	230
II. Variations au niveau d'une campagne.....	230
III. Analyse de la deuxième année (juin 1977 - juin 1978).....	233
IV. Comparaison des deux cycles annuels.....	238
V. Conclusion.....	245
C. Zooplancton.....	246
I. Introduction.....	246
II. Variations au niveau d'une campagne.....	246
III. Analyse de la deuxième année (juin 1977 - juin 1978).....	251
IV. Comparaison des deux cycles annuels.....	257
V. Conclusion.....	263

Bibliographie : Généralités et domaine pélagique

**VOLUME 1 : Le domaine pélagique**

**Fascicule 2 : Annexes**

Liste des figures et tableaux.....	a-g
Figures du chapitre I.....	1
Figures du chapitre II.....	11
Figures du chapitre IV.....	34
Figures du chapitre V.....	62
Tableaux du chapitre V.....	125
Figures du chapitre VI.....	131

**VOLUME 2 : Le domaine benthique**

**CHAPITRE VII. PHYTOBENTHOS. ZOOBENTHOS**

A. Introduction.....	1
B. Benthos intertidal.....	3
I. Substrats meubles.....	3
II. Substrats durs.....	46
C. Benthos sublittoral.....	141
I. Phytobenthos.....	141
II. Zoobenthos.....	159

Bibliographie : Domaine benthique..... 185

**ANNEXES : FIGURES ET TABLEAUX.....** 189



## AVANT PROPOS

Dans le cadre de son programme d'Équipement nucléaire, Electricité de France (EDF) a demandé au Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO) de réaliser des Etudes écologiques sur les sites littoraux concernés par l'implantation de centrales nucléaires.

Le présent rapport présente l'étude écologique de Projet menée sur le site de Flamanville de Juillet 1976 à Juillet 1978, (1er et 2ème cycles). Il constitue donc la suite logique du rapport d'étude de 1er cycle (Juillet 1976 et Juillet 1977) produit par nos soins en Octobre 1977.

Les résultats exposés qui ont pour but de définir l'état de référence écologique du milieu, relèvent des disciplines suivantes :

- Géographie du site
- Hydrologie et hydrobiologie
- Microbiologie de la masse d'eau, confiée au Laboratoire Départemental et Régional de Biologie et d'Hygiène de CAEN.
- Phytoplancton
- Zooplancton
- Phytobenthos et zoobenthos de l'estran et des fonds proches.

Cette étude pluridisciplinaire a pu être menée à bien, grâce à la collaboration des chercheurs et des techniciens du Département Environnement du Centre Océanologique de Bretagne (COB).



## LISTE DES PARTICIPANTS

Chef d'Opération : P. CHARDY

Responsable de l'Etude : ROMANA Axel

ARNAL Olivier - Zooplancton : biomasses et composition chimique - chercheur

ARZUL Genevière - Hydrologie - chercheur

BELSHER Thomas - Phytobenthos - chercheur

CRASSOUS Marie-Pierre - Phytoplancton - technicienne

CRASSOUS Philippe - Hydrologie - technicien

de LA SALLE Patrice - Traitements mathématiques - chercheur

ERARD Evelyne - Phytoplancton - chercheur

GUILLAUMONT Brigitte - Zoobenthos - chercheur

HAMON Dominique - Zoobenthos - chercheur

LABBE Agnès - Zooplancton - technicienne

LE FEVRE-LEHOERFF Geneviève - Zooplancton : faunistique et composition  
du zooplancton : copépodes, mysidacés et  
appendiculaires - chercheur

LEROUX Claude - Traitements mathématiques - technicienne

LOARER Ronan - Généralités - chercheur

LUNVEN Michel - Zooplancton - technicien

NICOULAUD Françoise - Zooplancton - technicienne

QUINTIN Jean-Yves - Zooplancton - technicien

RYCKAERT Mireille - Phytoplancton - chercheur

TOULARASTEL France - Zooplancton : méroplancton et chaetognates - chercheur

Laboratoire Municipal de Caen - Microbiologie



SYNTHESE

-----



## SYNTHESE

---

- Le littoral, s'étirant entre le NEZ de JOBOURG et le CAP de CARTERET, exposé aux flux maritimes d'Ouest, se caractérise par une suite de promontoires rocheux et d'anses ourlées de dunes en recul généralisé. La zone intertidale est essentiellement sableuse alors que dans la zone infralittorale dominant sédiments grossiers et cailloutis, ceci en relation avec des courants de marée violents.
- Ces courants de marée, avatars de la dérive de 1,2 noeuds des eaux de la Manche vers la Mer du Nord, sont conditionnés par le remplissage et la vidange du golfe normand-breton où l'on trouve parmi les plus forts du monde. Leur mouvement de giration dans le sens contraire à celui des aiguilles d'une montre, devient alternatif et violent aux passages resserrés (RAZ BLANCHARD). Le bravage important qui en résulte explique la bonne homogénéité des masses d'eau dont la variation thermique saisonnière ne dépasse pas 9°C. SS
- Le climat océanique tempéré est doux, humide et venteux :
  - . amplitude des températures moyennes : 10,3°C
  - . insolation moyenne : 1 692 Heures/an
  - . précipitations : 701 mm répartis sur 168 jours/an
  - . Vents : 6,8m/s en moyenne avec une majorité des coups de vent de secteur Ouest.

Par rapport à la normale, les deux cycles d'étude se caractérisent par :

- . un déficit des températures, malgré un excédent de l'insolation
- . un excédent des précipitations tant en quantité qu'en nombre de jours de pluie.

Cependant les deux cycles d'étude sont très différents l'un de l'autre :

- . l'été 1976 est plus chaud de 2,5 à 3° C que l'été 1977
- . l'hiver 1976-1977 est plus doux de 1 à 1,5° c et plus précoce de un mois que l'hiver 1977-1978.

Deux années d'étude à Flamanville nous ont permis de définir tout d'abord les traits essentiels qui caractérisent le site : homogénéité, stabilité et reproductibilité des phénomènes observés. De plus, la comparaison des deux cycles a mis en évidence les principaux facteurs de variations.

- L'étude a montré que les paramètres hydrologiques présentent des variations spatiales relativement négligeables par rapport aux variations saisonnières.

. Au cours d'une campagne le cycle de marée est partiellement responsable des variations des paramètres, le flot apportant une eau plus continentale que le jusant. Il faut remarquer le déséquilibre flot-jusant avec prédominance du flot (données EPSHOM).

. L'absence de stratification verticale permanente observée est très certainement en relation avec le fort hydrodynamisme et les courants intenses aux alentours du RAZ BLANCHARD.

. Les gradients côte-large qui ont pu être discernés au cours de certaines campagnes ne présentent pas une structure stable au cours du temps. De plus, la comparaison des stations a mis en évidence le caractère côtier de la station "D" hors tache.

Ces caractères hydrologiques sont sans doute responsables de l'homogénéité des distributions spatiales à la fois du phytoplancton et du zooplancton. Cependant, la chlorophylle montre parfois de plus fortes concentrations à la côte et les larves de crustacés et d'annélides sont également plus abondantes sur une frange très côtière.

- Les variations saisonnières sont au contraire reproductibles dans leur ensemble. Les écarts thermiques annuels sont de l'ordre de dix degrés avec un maximum fin août ou début septembre (proche de 17°), et un minimum en février (proche de 7°). L'amplitude annuelle de variations des salinités est toujours faible (influence à 1‰).

A Flamanville, l'aspect le plus remarquable à dégager des deux années d'étude est la présence d'un même stock d'espèces importants, le même type de succession des espèces s'est rejeté durant deux cycles et les grandes phases biotiques sont analogues. P

#### Période Hivernale

Le phytoplancton est représenté par les espèces *Paralia sulcata*, *Fragillaria*, *Plagiogramma*, *Navicula pelagica*, *Nitzschia closterium*, avec une concentration globale de 20 000 à 25 000 cellules par litre. Le zooplancton est représenté par *Pseudocalanus minutus*, les larves de cirripèdes *Balanus balanoides*, et les larves d'annélides *Nephtys* avec un total d'individus planctoniques inférieur à 100 par m<sup>3</sup> et une biomasse globale de 5 mg/m<sup>3</sup> (poids sec).

#### Période Printanière

Les blooms printaniers du phytoplancton sont le plus souvent dus au développement du genre *Rhizosolenia delicatula*, et *Rhizosolenia fragilissima*. La densité des populations peut varier de 120 000 à 240 000 cellules par litre selon les années. On a également noté la régularité de l'apparition fin mai de *Phaeocystis*. L'oxygène, plus abondant en mai 1977 qu'en mai 1978, est probablement le résultat d'une plus forte activité photosynthétique. !

Le zooplancton de printemps est caractérisé par les espèces *Temora longicornis* et *Pseudocalanus minutus* ainsi que les larves de Bryozoaires. La densité des individus peut atteindre 1 000 par m<sup>3</sup> et la biomasse zooplanctonique totale est proche de 50 mg/m<sup>3</sup>.

#### Période estivale

Les espèces phytoplanctoniques présentent un certain degré de maturité. Le genre *Rhizosolenia* reste l'espèce dominante avec une densité de 140 000 cellules par litre. Les espèces zooplanctoniques estivales sont d'une part les larves de crustacés (porcellanes et crabes) et les copépodes *Centropages typicus*, *Parapontella brevicornis* et *Acartia clausi*. Le nombre d'individus peut dépasser 1 000 par m<sup>3</sup>. !

## Période Automnale

L'abondance du plancton diminue et quelques espèces se maintiennent jusqu'en hiver par exemple les carnivores *Sagitta setosa* et *Sagitta elegans*.

Si la composition faunistique du plancton montre une succession dans l'apparition des espèces, la diversité est relativement stable au cours des saisons avec cependant un maximum annuel en fin d'été et un minimum printanier.

Les différences entre les deux années au niveau des cycles biologiques sont dues aux particularités météorologiques et hydrologiques. L'hiver 1977-1978 plus froid (6°3) que l'hiver précédent (8°3) a entraîné un retard tant dans la production primaire que la production secondaire. De plus, la période estivale 1977 a été caractérisée par de fortes pluies (minimum de salinité en septembre 1977) et une relative abondance de sels nutritifs au cours du deuxième cycle.

On observe à Flamanville une très bonne corrélation positive entre l'abondance de la majorité des espèces phytoplanctoniques et zooplanctoniques, et l'augmentation de température. Dans le cas où une augmentation supplémentaire de celle-ci serait consécutive à la mise en fonctionnement de la centrale devant le site, rien ne permet d'affirmer que les conclusions seraient identiques. (problème de la température critique pour chaque espèces).

Afin de mieux comprendre le temps de réponse, de réaction des prédateurs sur les proies, des corrélations dites "décalées" ont été effectuées. Elles ont mis en évidence par exemple que l'abondance des copépodes dépend de celle du phytoplancton le mois précédent.

Flamanville apparaît comme un site présentant une certaine stabilité au cours du temps et une homogénéité au point de vue de la distribution des organismes. La diversité est relativement élevée et une bonne stabilité caractérise le milieu dans les conditions actuelles avant la mise en fonctionnement de la centrale.

Les études menées dans le domaine benthique ont permis d'établir un état de référence dont les données concernent aussi bien les peuplements que la dynamique de quelques populations.

En zone intertidale :

- Les peuplements de substrats meubles se révèlent homogènes ; la fréquente remise en suspension du sédiment constitue un facteur sélectif et limitant d'où une faible diversité. La composition faunistique ainsi que les densités sont relativement stables au cours du cycle annuel ; les crustacés péracarides constituent l'essentiel de la macrofaune endogée.
- La couverture végétale des substrats durs est, dans l'ensemble, discontinue et peu fournie : aussi, la biomasse est-elle souvent médiocre. Au sein des peuplements, les pheophycées apparaissent particulièrement bien adaptées au biotope. Cependant, tant qualitativement que quantitativement, ce sont les rhodophycées qui dominent. Enfin les fluctuations saisonnières sont marquées.
- Les peuplements de cirripèdes présentent de fortes valeurs de densité et de biomasse ; les variations pluriannuelles sont faibles.

En zone sublittorale le peuplement des fonds de cailloutis et graviers plus ou moins envasés occupe la majeure partie du secteur et est essentiellement représenté par le faciès à *Nucula nucleus*.

L'étude dynamique de certaines populations végétales et animales doit permettre de fournir des éléments complémentaires pour l'évaluation de l'impact thermique :

- La croissance de la population de *Fucus serratus* L. du platier de DIELETTE, d'abord lente de l'hiver au printemps, s'accélère par la suite jusqu'à la phase de déclin hivernal. La fertilité apparaît permanente, avec des valeurs minimales en hiver, maximales en été.

- Des études antérieures nous confirment qu'*Urothoë brevicornis* constitue un bon indicateur de modifications thermiques. Le cycle est unimodal ; la reproduction s'effectue de mai à septembre avec un recrutement principal en août. La durée de vie est de l'ordre d'un an. Les femelles présentent un taux de croissance et une longévité légèrement supérieurs à ceux des mâles ; un arrêt de croissance hivernal est observé pour l'ensemble de la population.
- La présence chez *Nucula nucleus* de stries correspondant à un ralentissement de croissance hivernal a permis de mettre en évidence une croissance lente et une longévité importante de l'ordre d'une dizaine d'années. Après un repos sexuel hivernal, la maturation des gonades débute au printemps et la ponte se situe au début de l'automne.

CHAPITRE I



GENERALITES

par R. LOARER



## A) LIMITES GÉOGRAPHIQUES

Situé au Nord du Golfe normano-breton, le secteur d'étude s'étend entre le NEZ de JOBOURG et le Cap de CARTERET, le long d'un littoral exposé au flux maritime d'Ouest (figure I.a).

## B) DÉSCRIPTION GEOMORPHOLOGIQUE

### I) LE LITTORAL

Le littoral est caractérisé par une suite de promontoires rocheux et d'anses ourlées de dunes. Du Nord au Sud, on a successivement : Le NEZ de JOBOURG, l'Anse de VAUVILLE, le Cap de FLAMANVILLE, l'Anse de SCIOTOT, la Pointe du ROZEL, l'Anse de SURTAINVILLE et le Cap de CARTERET (figure I.b).

Ce dispositif est caractérisé par des terrains primaires affectés d'accidents tectoniques : faille S.E. - N.W. au Nord de l'Anse de VAUVILLE, synclinal de SIOUVILLE (Sud de l'Anse de VAUVILLE) et synclinal de RAUVILLE (Anse de SURTAINVILLE) dans les terrains dévonien, silurien et ordovicien. Dans l'Anse de SCIOTOT et à la Pointe du ROZEL le cambrien domine. A l'intérieur de ce système des batholithes cristallophylliens forment l'ossature de ce littoral : NEZ de JOBOURG, Cap de FLAMANVILLE.

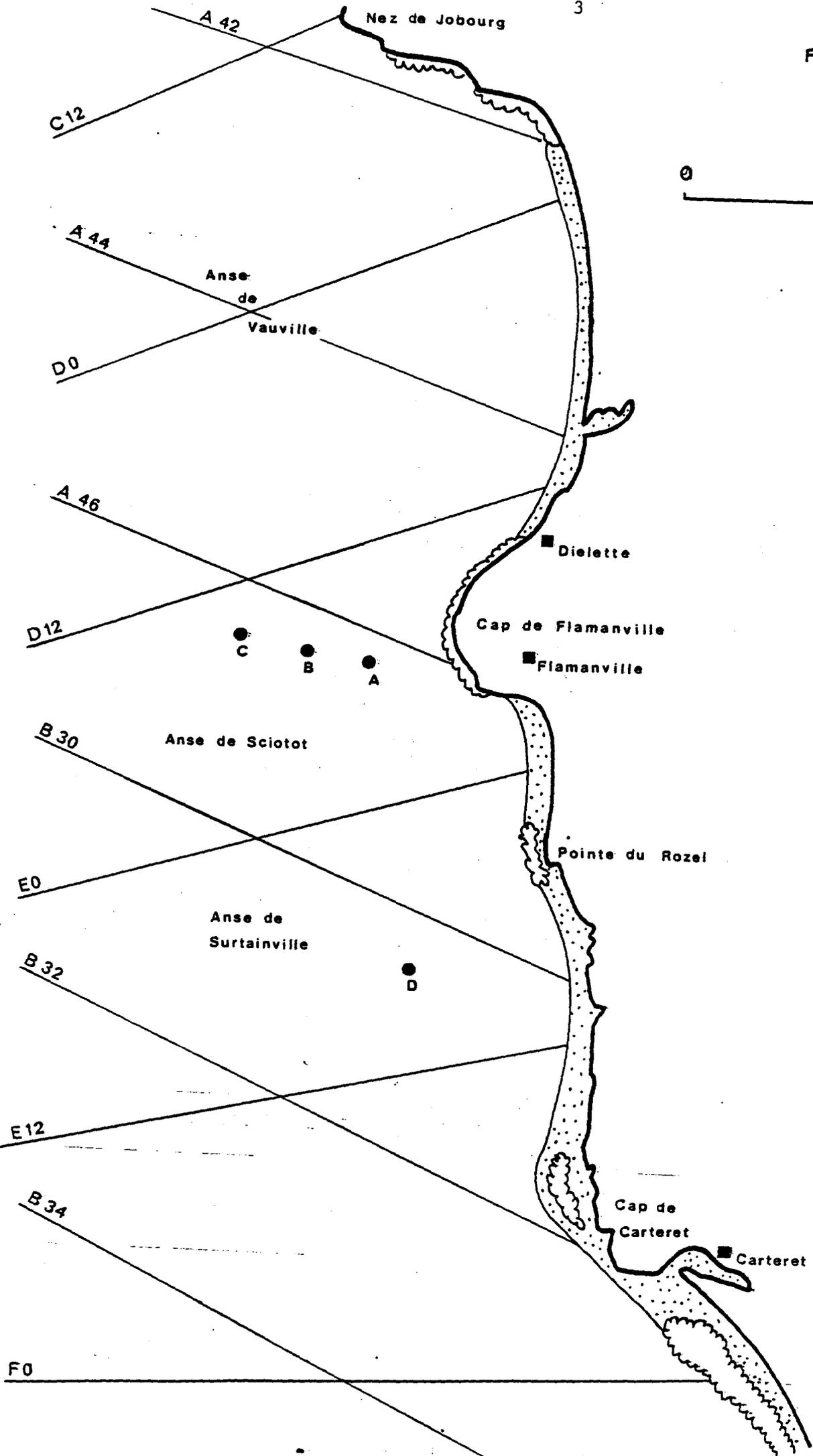
Les anses, en position d'abri entre les promontoires rocheux, présentent toutes un estran faiblement incliné de 300 à 500 m, bordé d'un cordon de dunes atteignant jusqu'à 2 km de large (Anse de VAUVILLE). Ces massifs dunaires s'appuient sur des reliefs continentaux de 80 - 100 m d'altitude.



FIGURE I.a

LOCALISATION DE LA ZONE ETUDIEE

Fig I b



## II) LA ZONE INTERTIDALE

- Dans les anses, le matériel, généralement fin et bien trié, est l'indice d'un brassage important des sédiments. Cependant, on observe des dépôts de galets dans les parties septentrionales des Anses de VAUVILLE et de SCIOTOT.
  
- Au niveau des pointes, l'aspect de l'estran varie en fonction de la nature du substrat :
  - . Le Cap de FLAMANVILLE, granitique, domine sur 6 km un estran tourmenté de blocs érodés et d'éperons rocheux,
  
  - . la Pointe du ROZEL, promontoire empâté par la solifluxion, s'appuie sur un large estran schisteux au pendage très accentué.
  
- L'exposition au flux d'Ouest entraîne une érosion générale de ce littoral, au niveau des cordons dunaires en particulier. Par période de beau temps, on assiste à un engraissement de la plage, et lors des tempêtes, à un démaigrissement.

## III) LA ZONE INFRALITTORALE

Les sédiments grossiers et souvent caillouteux dominent, surtout là où les courants de marées sont violents (RAZ BLANCHARD en particulier). Cependant, entre le Cap de FLAMANVILLE et CARTERET, s'étend une bande de sable quartzeux qui fait suite à la zone intertidale. Sa largeur diminue du Nord au Sud, passant de 3 km à 1,5 km. Seule une tache de cailloutis vient l'interrompre devant la Pointe du ROZEL.

## C) HYDROGRAPHIE

### I) HYDRODYNAMISME

La masse d'eau de la Manche dérive lentement vers la Mer du Nord. En particulier, celle du Golfe normano-breton remonte le long du Cotentin, à la vitesse de 0,2 noeuds, selon une progression en dents de scie due aux courants de marée.

Dans la zone étudiée, les marées sont du type semi-diurne. En voici les caractéristiques pour DIELETTE :

Type de marée	Coefficient	Cote de P.M.	Cote de B.M.
Vive eau moyenne	95	9,7 m	1,3 m
Morte eau moyenne	45	7,4 m	3,6 m

Les courants de marée peuvent être très violents (jusqu'à 10 noeuds dans le RAZ BLANCHARD) en raison du marnage du golfe, l'un des plus forts du monde. A DIELETTE il est de 8 m pour un coefficient de 95. La force et la direction des courants de marée sont conditionnées par le remplissage et la vidange du Golfe normano-breton. Les données du S.H.O.M., pour un coefficient de 95, nous donnent un mouvement général de giration contraire au mouvement des aiguilles d'une montre, avec un temps de remplissage plus court que le temps de vidange, soit : remplissage de P.M. - 6 à P.M. - 2 et vidange de P.M. - 1 à P.M. + 6. (figure I.c).

Cependant, ce mouvement circulaire tend à devenir localement alternatif près des côtes et dans les détroits : entre SERK et HERM, dans le RAZ BLANCHARD, de part et d'autre des ECREHOU, devant le Cap de FLAMANVILLE. Les étales de courants sont souvent à P.M. - 2 et à P.M. + 4, mais dans les détroits, elles sont parfois décalées (P.M. - 1 et P.M. + 6 à l'Est des ECREHOU). Les étales correspondent généralement à des renverses de courant.

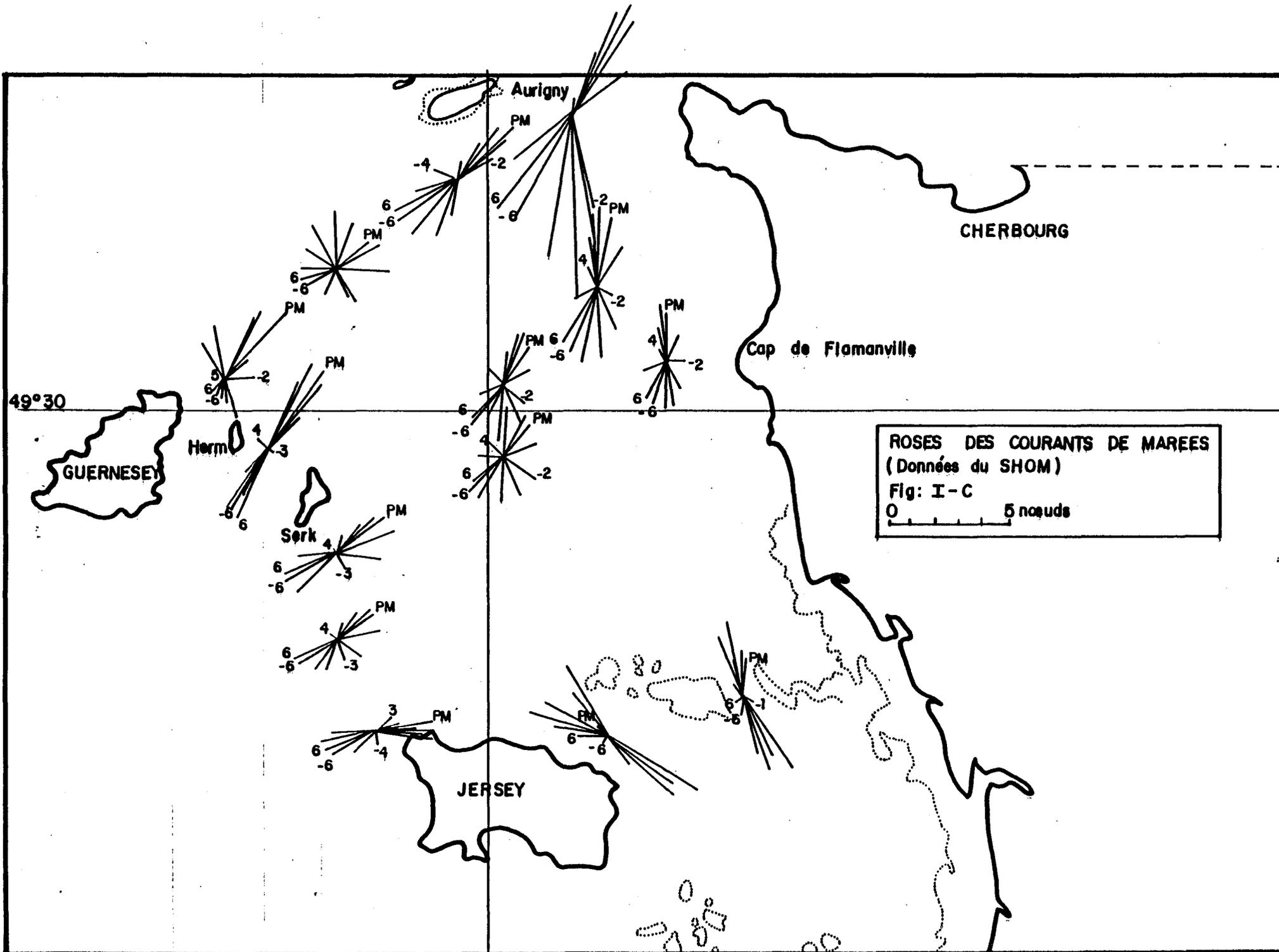
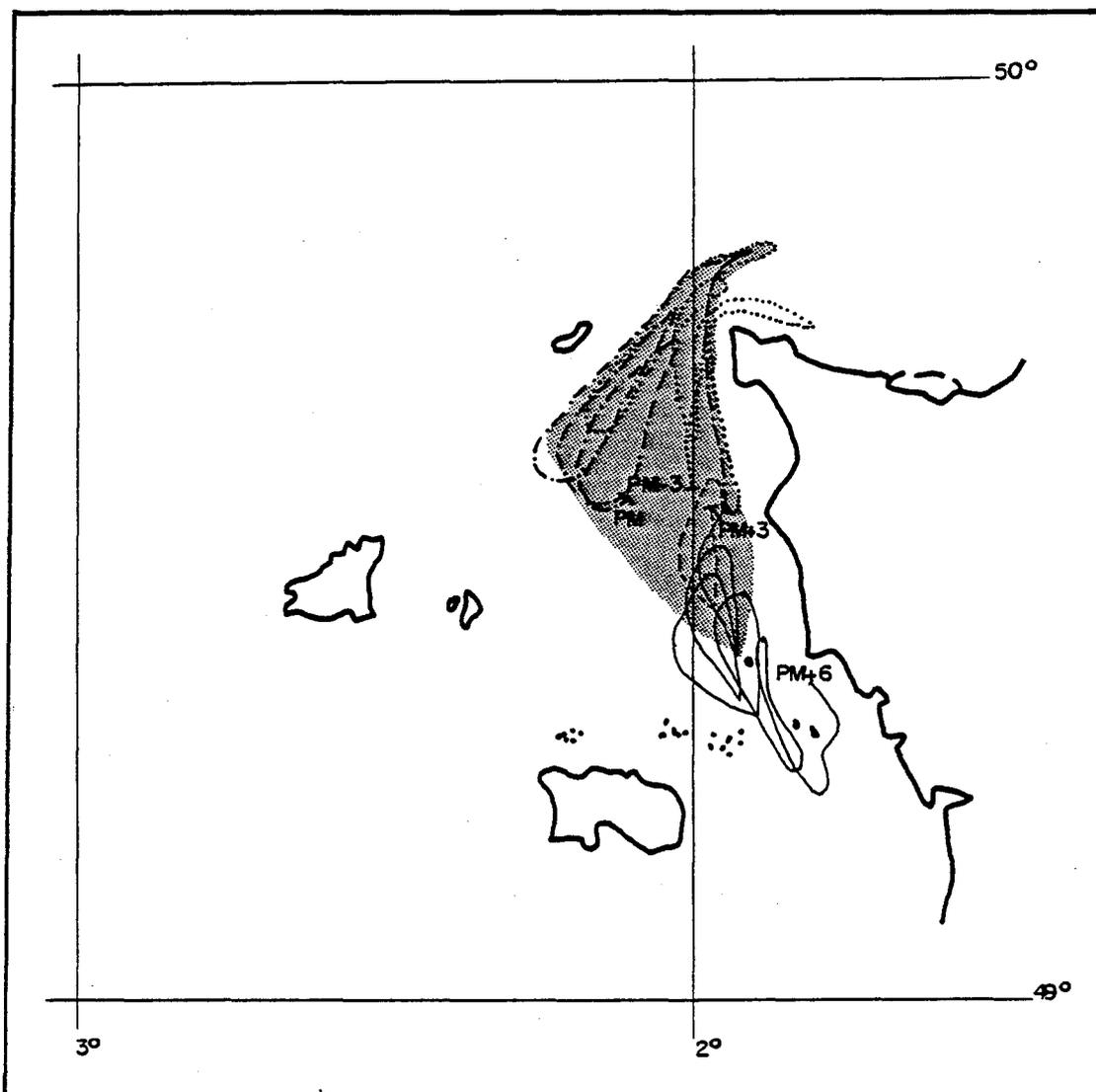


Fig I - d

Déplacement de la masse d'eau à différents moments de la marée à partir du site de Flamanville ( données SHOM - ouvrage n° 553 )



Devant le site à PM - 3 ; suivi sur 3 cycles de marée  
 Devant le site à PM ; suivi sur 3 cycles de marée  
 Devant le site à PM + 3 suivi sur 1 cycle de marée  
 Devant le site à PM + 6 suivi sur 5 cycles de marée

Zone couverte par la circulation de l'eau pendant 1 cycle de marée  
 (coeff. 95)



Dans le but d'apprécier les déplacements de la masse d'eau, on a tenté à l'aide du document n° 553 du S.H.O.M., de schématiser les évolutions entre deux pleines mers de particules d'eau "lâchées" au fil des courants, toutes les heures pendant un cycle de marée, devant le site de FLAMANVILLE. La surface ainsi définie est un triangle ayant un sommet au niveau du Cap de CARTERET, un autre au-delà du Cap de la HAGUE, un troisième, enfin, au Sud d'AURIGNY, à 17 milles de l'Anse de VAUVILLE (figure I.d). Pour le déplacement sur plusieurs cycles de marées, les particules "lâchées" à P.M., P.M.+6, P.M.-3 et P.M.+3 ont été suivies sur un ou plusieurs cycles. Les mouvements ainsi définis montrent une tendance au va-et-vient de part et d'autre des ECREHOU et du RAZ BLANCHARD pour P.M., P.M.+ 6 et P.M.- 3, cependant que pour P.M.+ 3 la particule d'eau effectue un circuit devant le Cap de FLAMANVILLE.

Deux facteurs importants peuvent modifier l'allure générale des courants de marées :

- la présence de courants locaux dus aux nombreuses indentations du littoral,
- des régimes continus de vents assez forts et de direction constante. Ainsi, de forts vents de Sud-Ouest durant plusieurs jours, joints à une grosse houle atlantique, pourraient ramener à la côte et décaler vers le Nord les déplacements de particules d'eau lâchées devant le Cap de FLAMANVILLE.

## II) HYDROLOGIE

Les eaux néritiques de la Manche Occidentale subissent, selon les saisons, l'influence de deux masses d'eau : en été, la dérive Nord-Atlantique, chaude et relativement salée (35,5 ‰) s'étale dans la Manche par le Sud-Ouest, en hiver les eaux du Sud-Irlande, froides et moins salées (35,2 ‰) pénètrent par le Nord-Ouest. Une action violente des courants de marée dans le Golfe normano-breton favorise un brassage et une homogénéisation des masses d'eaux réduisant la variation thermique saisonnière à 9°.

## D) CLIMATOLOGIE

### I) CARACTERISTIQUES GENERALES

La côte Ouest du Cotentin bénéficie d'un climat océanique tempéré, très largement influencé par les courants atmosphériques humides et frais venant de l'Atlantique, comme l'indique l'étude des paramètres suivants\*:

#### 1) La température de l'air

D'amplitudes faibles ( $10,3^{\circ}$ ), les températures mensuelles moyennes se répartissent entre  $6,4^{\circ}$  en février et  $16,7^{\circ}$  en août, la moyenne annuelle étant de  $11,3^{\circ}$ .

Les observations réalisées pendant les deux cycles d'étude montrent une légère baisse de la température : très faible durant le premier cycle ( $11,2^{\circ}$ ), bien que prenant en compte l'été exceptionnellement chaud de 1976 (moyenne :  $17^{\circ}$ ), la baisse s'accroît durant le deuxième cycle à la suite d'un été 1977, d'un hiver et d'un printemps 1978 particulièrement frais : moyenne d'août :  $15,4^{\circ}$  (figure I.1).

#### 2) L'insolation\*\*

Elle varie en moyenne de 44 h en décembre à 235 h en juillet, soit 1692 h par an. Durant la période étudiée, le premier cycle a bénéficié d'un ensoleillement supérieur à la normale (1771 h), grâce à un été 1976 exceptionnel, et malgré un mois de juin 1977 très médiocre (126 h). A l'inverse, un été 1977 et un début d'année 1978 maussade impliquent un déficit d'insolation pour le deuxième cycle (1650 h) (figure I.3).

\*Sauf avis contraire, les observations proviennent du sémaphore de la Hague.

\*\*Observations faites à Maupertus-Cherbourg.

### 3) Les précipitations

Il tombe en moyenne 701 mm de pluie, en 168 jours, chaque année à LA HAGUE. Les pluies, bien réparties dans l'année (pas de mois sec) trouvent leur maximum en novembre (96 mm) et leur minimum en juillet (33 mm), les mois humides étant décembre et janvier (19 jours), les mois les plus secs juin et juillet (10 jours). Très excédentaires pour les deux cycles d'étude, en quantité (1259 mm pour le premier, 1204 mm pour le deuxième) et en durée (194 jours pour le premier et 195 jours pour le deuxième), les précipitations se concentrent principalement sur deux périodes : automne 1976 - hiver 1977 et hiver 1978 (figure I.4 et 5).

### 4) Les brouillards

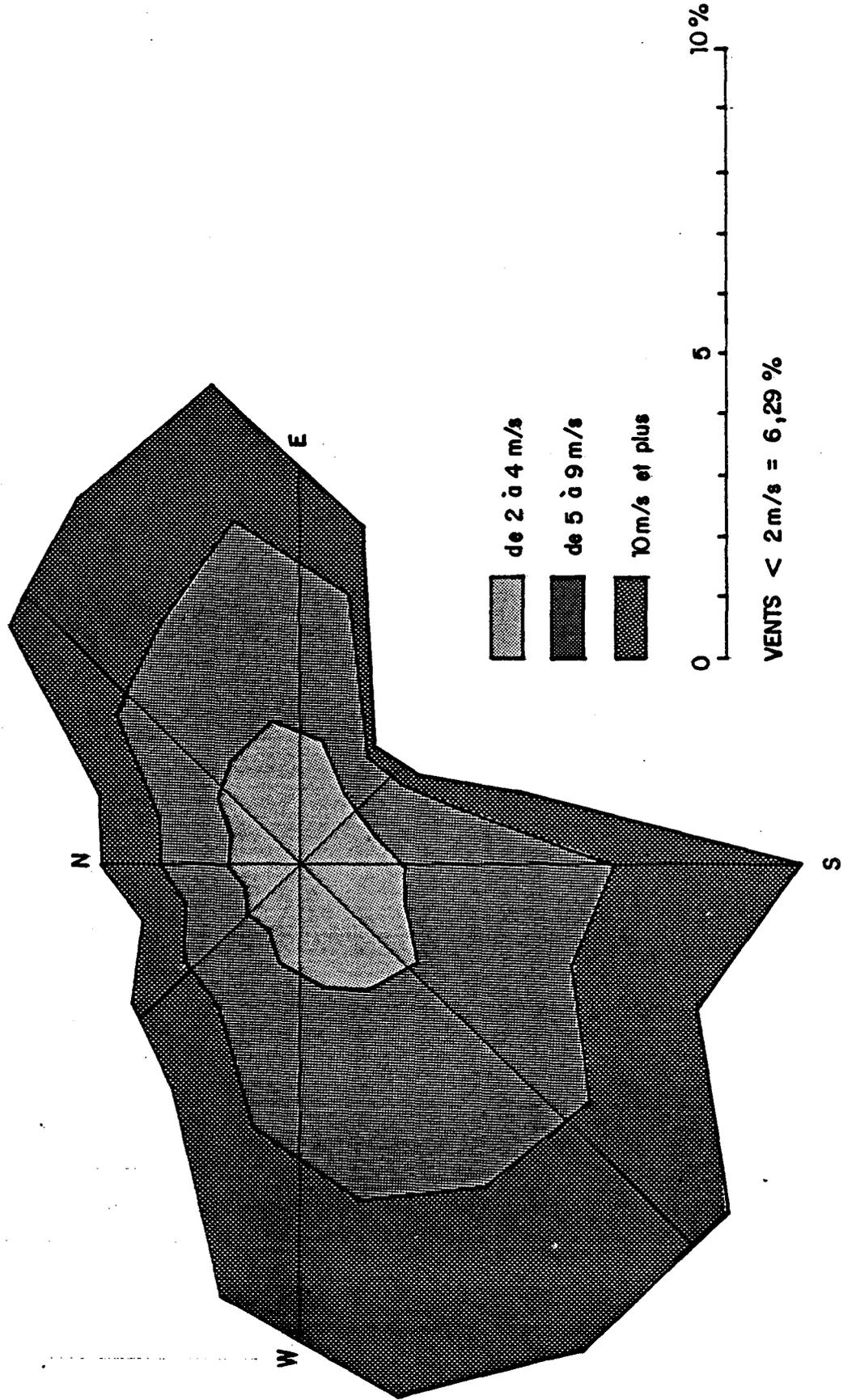
Les observations faites de juin 1976 à juin 1978 confirment les fréquences moyennes et la répartition dans l'année des jours de brouillard : mai, juin, juillet atteignent ou dépassent, en moyenne, les trois jours par mois. On remarque le déficit global du premier cycle : 13 jours au lieu de 26 en moyenne et 6 mois sans observation, et l'excédent du deuxième cycle : 44 jours, dont 9 en mai 1978, mais 4 mois sans observation (figure I.6).

### 5) Les vents

Le sémaphore du Cap de LA HAGUE, bien que différemment exposé, donne une bonne idée des vents que reçoit le Cap de FLAMANVILLE. La rose des vents représente les pourcentages de fréquence des directions, par groupe de vitesse, pendant un quart de siècle et reflète assez fidèlement les observations faites durant la période étudiée (figure I.e). En dehors du secteur Est, peu sensible à FLAMANVILLE, il faut noter l'importance des vents de Sud-Ouest qui représentent plus de 17 % des observations.

Fig 1 - e

**CAP DE LA HAGUE**  
**Fréquence moyenne des directions de vent par groupe de vitesse**



Les 24 mois de l'étude confirment cette tendance : en moyenne, le secteur exposé (160° à 340°) fournit plus de 50 % des relevés, le secteur abrité 30 à 35 %, les périodes calmes (vents < 2 m/s) : 12 %. On notera cependant quelques exceptions :

- dominance des vents de secteur Est en août 1976, mai, juin et juillet 1977, février, avril et mai 1978,
- importance du temps calme en décembre 1976 et octobre 1977 et surtout en août 1977 (fig. I.7).

Les vents > 10 m/s (force 4 ou plus à l'échelle de Beaufort) sont observés 15 à 30 fois/mois entre octobre 1976 et mars 1977 et de décembre 1977 à février 1978. Cet hiver 1977-1978 est, en outre, marqué par de forts vents d'Ouest : 44 observations en novembre 1977 et 46 en mars 1978. De plus, on note 8 coups de vent (vitesse > 22 m/s ; force 8 et plus) entre janvier et mars 1978 (figure I.8).

Durant toute la période considérée, le vent a soufflé à 6,8 m/s en moyenne au Cap de LA HAGUE, ce qui situe bien le caractère venteux de ce littoral où l'on peut considérer que d'octobre à mars les vents sont forts avec des maxima durant les deux mois cités.

## II) CARACTERISTIQUES DE LA PERIODE ETUDIEE (figures I.1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8)

Printemps 1976 : prémices d'un été exceptionnellement beau, le mois de juin subit une insolation très supérieure à la normale : 312 h contre 234 h en moyenne, d'où des records de températures durant la dernière décade de juin : 22,5°. Parallèlement, les précipitations deviennent déficitaires.

Eté 1976 : En relation avec une forte insolation, la température se maintient à 1° au-dessus de la normale, en juillet et août, mais baisse très sensiblement en septembre. Août est marqué par un grand calme ou des vents faibles de secteur oriental, et des précipitations nulles durant les deux premières décades. Par contre, en septembre, de très fortes pluies compensent largement le déficit observé depuis le début de l'été.

Automne 1976 : Le déficit de l'insolation et des températures s'aggrave de décade en décade jusqu'à la mi-octobre. En contrepartie, l'excédent pluviométrique va de pair avec une série de forts vents de Sud-Ouest allant jusqu'aux tempêtes en octobre.

Hiver 1977 : les trois premiers mois de l'année sont marqués par un maximum de flux atlantiques, caractérisés par un temps doux en février et mars (+ 1° par rapport à la normale) mais aussi par des précipitations importantes apportées par de forts vents de secteur Ouest en février, précédés de fréquentes tempêtes de Sud-Ouest en janvier.

Printemps 1977 : Médiocre avec une aggravation du temps en avril et en juin : températures toujours inférieures à la normale, surtout en juin où l'insolation n'est que de 126 heures (234 heures en moyenne). Précipitations excédentaires en mai et juin.

Eté 1977 : Saison irrégulière avec des températures inférieures à 1° par rapport à la normale, des mois de juillet et septembre relativement secs, mais un mois d'août peu venteux et humide.

Automne 1977 : Après un mois d'octobre présentant le maximum moyen le plus élevé de l'année (19,4°) et un net déficit pluviométrique, novembre apparaît comme très humide et subit de nombreuses tempêtes, de Nord-Ouest principalement ; la température elle-même descend beaucoup en décembre.

Hiver 1978 : Janvier est le mois le plus froid de toute la période étudiée (minimum moyen du mois :  $- 0,5^{\circ}$ ). De forts vents de secteur Ouest rendent très humides cette période qui, malgré un réchauffement très net en mars, subit ce mois-là de nombreuses tempêtes de Sud-Ouest.

Printemps 1978 : malgré un mois de mai ensoleillé et peu humide cette saison est médiocre dans son ensemble en raison des brouillards, de la pluviosité et du déficit d'insolation en avril et en juin.

Globalement donc, les deux cycles confondus, cette période présente par rapport à la normale :

- un déficit des températures malgré un excédent de l'insolation,
- un excédent des précipitations, tant en quantité qu'en nombre de jours de pluie.

Cependant, plus qu'une moyenne entre deux cycles assez différents l'un de l'autre, mieux vaut les comparer entre eux.

### III) COMPARAISON DES DEUX CYCLES ENTRE EUX (figure I.f et g)

Les caractères principaux opposant les deux cycles sont :

- les différences des températures entre l'été 1976 et l'été 1977 : le premier est plus chaud que le second de  $3^{\circ}$  en juin,  $2,5^{\circ}$  en juillet et août. Ceci est dû, en partie, à une insolation très excédente en 1976 : + 232 heures pour les mois de juin, juillet et août 1976, alors que l'été 1977 est très déficitaire : - 129 heures pour les mêmes mois,

Fig I - 1

Variations des moyennes mensuelles du nombre de jours de brouillard (A), d'insolation (B) et des températures (C) de Mai 1976 à Juillet 1978

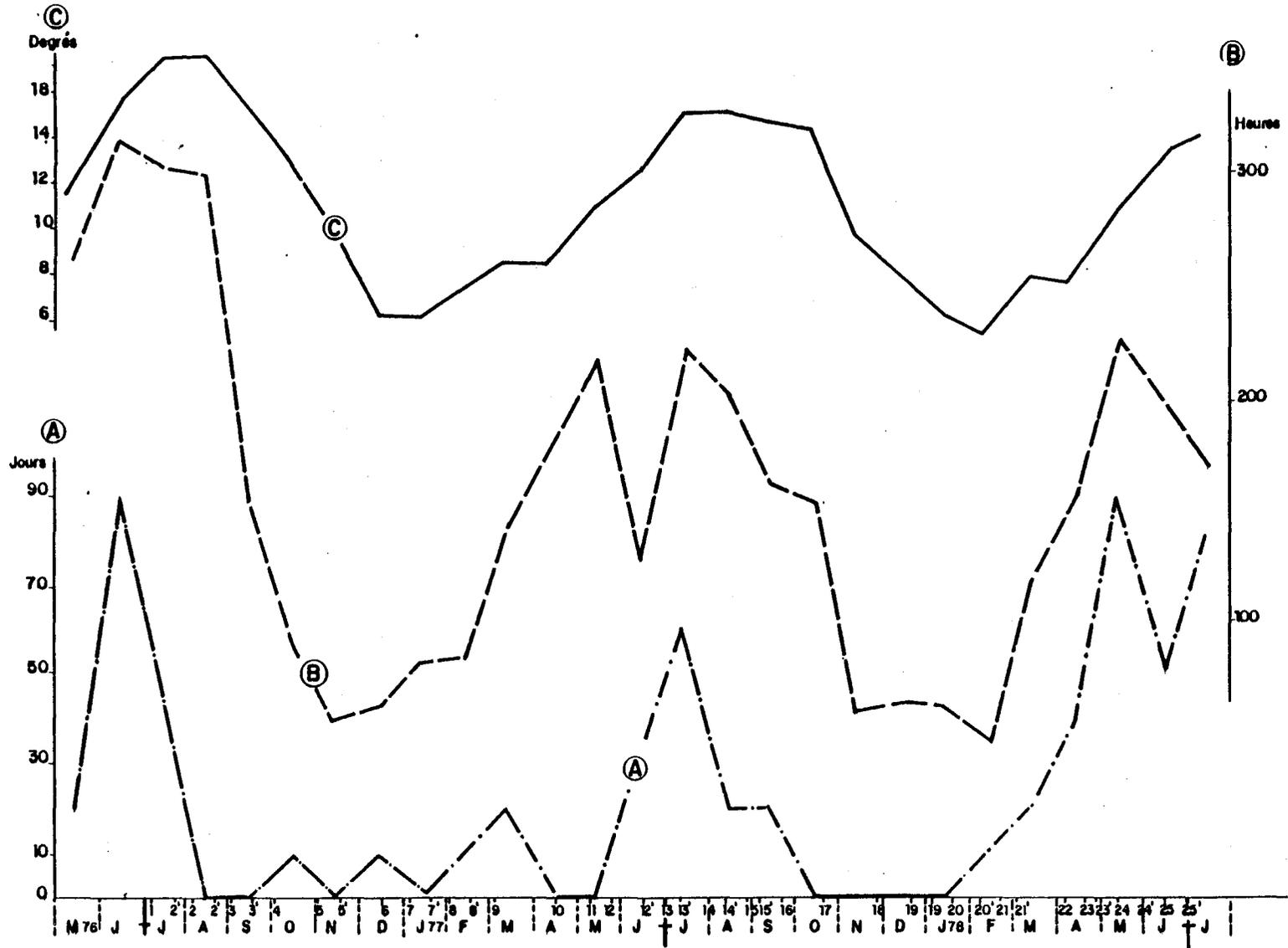
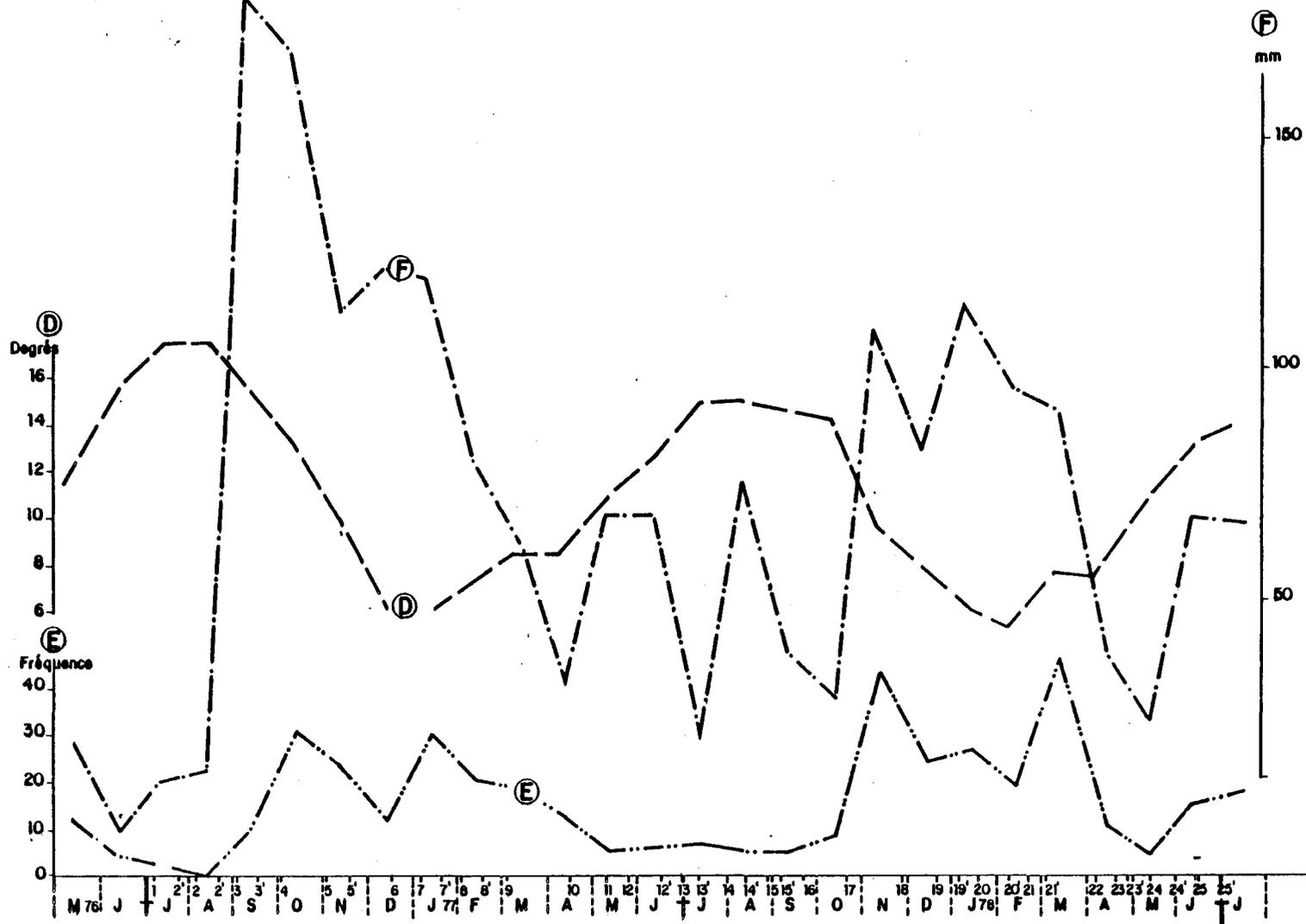


Fig I - g

Variations des moyennes mensuelles , des températures (D) , de la fréquence des vents supérieurs à 10m/s (E) et des précipitations (F) , de Mai 1976 à Juillet 1978



- le décalage d'un mois entre les hivers 1976-1977 et 1977-1978 : la baisse des températures se fait sentir dès décembre 1976, mais seulement en janvier-février 1978,

La hausse de température affecte février-mars 1977 mais seulement mars-avril 1978. Dans l'ensemble, l'hiver 1977 est plus doux que l'hiver 1978 de 1,5° en janvier, et de 1° en février et mars.

Parallèlement, l'ensoleillement est plus précoce en 1977 qu'en 1978. La répartition des vents de plus de 10 m/s confirme aussi ce décalage des deux saisons hivernales : les fréquences les plus élevées se situent d'octobre 1976 à mars 1977 pour le premier hiver et de novembre 1977 à avril 1978 pour le second hiver. Il en est de même pour les coups de vent (+ de 22 m/s), fréquemment de Sud-Ouest, qui dominent en octobre 1976 et en janvier 1977, et en novembre 1977 et mars 1978.

- la répartition des chutes de pluie en automne : l'excédent de 1976 (septembre + octobre = 347,2 mm) n'a d'égal que le déficit de 1977 (septembre + octobre = 64,1 mm).



CHAPITRE II



HYDROLOGIE

par G. ARZUL



## A) INTRODUCTION

Le programme de travail prévu pour le premier cycle d'études sur le site de FLAMANVILLE a été appliqué au second cycle sans modification :

- une sortie "lourde" effectuée tous les mois, à un coefficient de marée faible et à-peu-près constant (50 à 60), permettant d'éviter les trop forts courants de marée,
- une sortie "légère" intermédiaire s'intercale entre chacune des précédentes, avec un nombre de prélèvements restreint.

## I) METHODOLOGIE D'ECHANTILLONNAGE, LOCALISATION DES STATIONS

La méthodologie d'échantillonnage est conditionnée par les mesures des masses d'eaux. Les quatre points d'observation, portés sur la figure i.b., sont localisés de telle sorte que trois de ces points constituent une radiale côte-large, face à l'emplacement de la future centrale. Le quatrième point sélectionné se situe en-dehors de la zone d'impact thermique prévue. Les prélèvements sont effectués aux trois niveaux : sub-surface, mi-profondeur et fond. Les échantillons de la radiale sont prélevés à la renverse de flot et de jusant. Le schéma suivant résume l'ordre théorique des prélèvements.

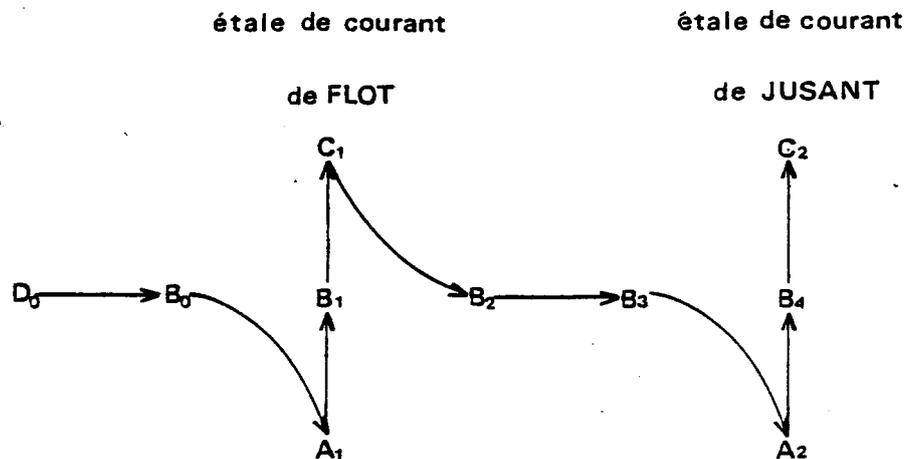


TABLEAU II.1a

MISSIONS EFFECTUEES SUR LE SITE DE FLAMANVILLE  
PREMIER CYCLE

N°	Dates	Nature	Nombre Stations	Coef-marée	Observations
"Avril"	06.04.76	spéciale	8	50 - 55	
F I	08.07.76	L	9	66 - 68	
F I'	23.07.76	I	1	48	
F II	06.08.76	L	10	57 - 60	
F II'	21.08.76	I	1	65	
F III	04.09.76	L	10	52 - 55	
F III'	16.09.76	I	1	41	
F IV	03.10.76	L	5	49 - 51	écourtée (mauvaises conditions météo).
F IV'	03.10.76	I	-	-	banc de sable
F V	03.11.76	L	9	61 - 65	
F V'	19.11.76	I	1	82	
F VI	16.12.76	L	10	57 - 59	
F VI'	-	I	-	-	remplacée par VI
F VII	05.01.77	L	10	77 - 79	
F VII'	19.01.77	I	1	94	
F VIII	02.02.77	L	7	65 - 69	
F VIII'	17.02.77	I	1	88	
F IX	03.03.77	L	9	63 - 68	
F IX'	-	I	-	-	mauvaises conditions météo
F X	14.04.77	L	9	60 - 63	
F X'	-	I	-	-	remplacée par X
F XI	10.05.77	L	10	58 - 56	
F XI'	-	I	-	-	remplacée par XI
F XII	24.05.77	L	10	58 - 56	("Pluteus")
F XII'	16.06.77	I	1	54	

LEGENDE : L : Lourde

I : Intermédiaire

TABLEAU II. 1B  
 MISSIONS EFFECTUEES SUR LE SITE DE FLAMANVILLE  
 DEUXIEME CYCLE

N° CAMPAGNES	DATES	NATURE	NOMBRE STATIONS	COEF. - MAREE	OBSERVATIONS
F 13	30.06.77	L	9	90-93	
F 13 '	12.07.77	I	1	48	
F 14	29.07.77	L	9	84-89	
F 14 '	11.08.77	I	1	51	
F 15	26.08.77	L	9	69-74	
F 15 '	06.09.77	I	1	38	
F 16	21.09.77	L	9	50-52	
F 16 '					Mauvais temps
F 17	20.10.77	L	9	54-52	
F 17 '					Mauvais temps
F 18	27.11.77	L	9	74-72	
F 18 '					Mauvais temps
F 19	20.12.77	L	9	50-52	
F 19 '	05.01.78	I	1	59	
F 20	17.01.78	L	4	49-47	Tempête. Mission écour- tée.
F 20 '	07.02.78	I	1	97	
F 21	21.02.78	L	9	68-73	
F 21 '	02.03.78	I	1	58	
F 22	06.04.78	L	6	90-92	Vent fort. Mission écourtée. Mauvais temps.
F 22 '					
F 23	20.04.78	L	8	66-70	
F 23 '	28.04.78	I	1	74	
F 24	12.05.78	L	7	63-61	Mission "Thalia"
F 24 '	30.05.78	I	1	59	
F 25	15.06.78	L	9	48-49	
F 25 '	29.06.78	I	1	54	

LEGENDE : L : Lourde

I : Intermédiaire

## II) CALENDRIER DES SORTIES

Les missions ont été effectuées à partir du chalutier "Cap de Carteret" basé au port de CARTERET-BARNEVILLE.

Les tableaux II.1 présentent les missions et leurs caractéristiques pour les deux cycles d'études.

## B) PARAMETRES PHYSICOCHEMISTIQUES

### I) MATERIEL ET METHODES

Ce paragraphe, déjà exposé dans l'annexe du rapport de projet de 1er cycle, est repris dans l'annexe du présent rapport. Aucune modification n'a été apportée.

### II) RESULTATS

Les résultats des mesures in situ et des analyses effectuées sur les échantillons prélevés sont exposés en annexe sous forme de listings, où sont regroupées, entre elles, les valeurs correspondant à chaque point, pour les deux cycles d'études.

#### 1) Variations spatiales

##### a) Les variations spatiales de températures, salinités et densités

Elles sont présentées sur les figures II.1, II.2 et II.3 de l'annexe. Elles correspondent aux moyennes de chaque paramètre mesuré au moment des étales aux trois points de la radiale, pour les croisières des deux cycles d'étude qui montrent le mieux les variations spatiales.

Le gradient côte-large de la période estivale apparaît en août 1976 (F2). Moins évident en été 1977, il s'installe à nouveau dès mai 1978 (F24). Le  $\Delta T$  entre les moyennes de températures sur la colonne d'eau pour le point côtier (A) et le point le plus large (C) est de  $0,17^{\circ}\text{C}$  pour ces deux croisières.

Le gradient côte-large de la période hivernale est caractérisé par une inversion des augmentations des paramètres, par rapport à celui de la période estivale. Il est présent en décembre 1976 (F6) :  $\Delta T$  : défini comme précédemment :  $0,08^{\circ}\text{C}$ . En novembre 1977 (F18) le gradient côte-large est évident pour la température et la salinité seulement. Le  $\Delta T$  est de  $0,13^{\circ}\text{C}$ .

Le passage du gradient typique hivernal au gradient typique estival et inversement se fait entre février et avril pour le printemps, entre octobre et décembre pour l'automne.

La stratification, ou gradient surface-fond, est peu apparente mais se montre parfois, par exemple au moment des inversions de gradient côte-large en mars 1977 (F9) et octobre 1976 (F4), mais également en novembre 1977 (F18) pour la densité. Au cours de certaines croisières les masses d'eaux plus denses se trouvent au-dessus des eaux plus légères, d'où une probable instabilité. Cette stratification se reproduit également en fin de printemps-début été : en juin 1977 (F13), et semble s'amorcer en juin 1979 (F25).

L'homogénéité thermique apparaît en octobre 1976 (F4) et octobre 1977 (F17). Elle ne s'observe ni pour la salinité, ni pour la densité.

b) Variations spatiales des matières en suspension, sels nutritifs et oxygène dissous

La répartition des sels nutritifs, matières en suspension et oxygène dissous ne suit aucun gradient côte-large, ni aucune stratification. Ceci confirme l'homogénéité due à un fort brassage des masses d'eaux, déjà signalée dans l'étude de premier cycle.

## 2) Variations temporelles

### a) Variations au cours du cycle de marée

Ces variations sont étudiées au point B, médian de la radiale. La figure II.4 montre que, en fin juillet (F14) et en août (F15), le flot apporte une eau plus chaude, plus salée et moins dense, tandis que le jusant entraîne une eau froide, dessalée et plus dense. Cette remarque a été faite également lors de l'étude de surveillance du 1er cycle pour les mois de juillet (F1), août (F2) et septembre (F3).

Les mois suivants, les courants de marée font circuler des masses d'eaux de températures, salinités et densités différentes, mais il est difficile d'établir une progression aussi bien définie. En février (F21) le passage des courants de flot et de jusant entraîne successivement des eaux plus froides, dessalées et moins denses (étales de pleine mer -E.P.M.-), puis plus chaudes, salées et denses (étales de basse mer -E.B.M.-). Ce gradient est encore observable en avril (F23).

Températures et salinités élevées durant l'été, basses durant l'hiver : ces caractéristiques sont celles d'eaux côtières que transportent les courants de flot. Leur direction générale contribue à déplacer le long des côtes Ouest du Cotentin les eaux du Golfe du MONT-ST-MICHEL (figures II.5 et II.6). La faible profondeur de cette zone, et l'apport non négligeable d'eaux continentales, donnent leur caractère côtier aux masses d'eaux apportées par le flot.

Inversement, les courants de jusant accompagnent des eaux plus froides en été et plus chaudes en hiver : ces caractéristiques océaniques s'expliquent par la direction des courants. Les figures II.7 et II.8 montrent qu'ils entraînent vers le Sud, au large des côtes Ouest du Cotentin, des masses d'eaux provenant de la Manche, d'où leur caractère océanique.

b) Variations saisonnières

Comme pour le premier cycle d'études, les variations saisonnières des paramètres physicochimiques ont été étudiées séparément, aux points B = milieu de la radiale, et D = hors zone. Les variations globales au niveau du site ont été également étudiées en présence des valeurs maximales et minimales.

Variations de la salinité (figures II.a et II.b) : les variations globales de la salinité au niveau du site de FLAMANVILLE, au cours des deux cycles d'étude, présentent les allures d'une sinusoïde très imparfaite. Les différences climatologiques des deux cycles en sont vraisemblablement la cause.

Le premier cycle (juillet 1976 - juin 1977) est plus régulier que le second (juillet 1977 - juin 1978).

Les valeurs moyennes maximales de salinité ont été mesurées en décembre :

- 35,16 ‰ en décembre 1976,
- 34,98 ‰ en décembre 1977.

L'écart entre les valeurs extrêmes est réduit à cette période.

Les valeurs minimales moyennes correspondent à septembre :

- 35,02 ‰ en septembre 1976,
- 34,64 ‰ en septembre 1977.

Cependant, le second cycle montre un deuxième minimum en janvier - février 1978 (34,75 ‰) et un autre maximum en mars (34,87 ‰).

Les variations particulières en B et D montrent que le point D subit de plus grandes variations de salinité que le point B (figure II.b).

Figure II.a

Variations saisonnières des salinités :  
moyennes par mission, valeurs maxi et mini, pour les deux cycles d'études.

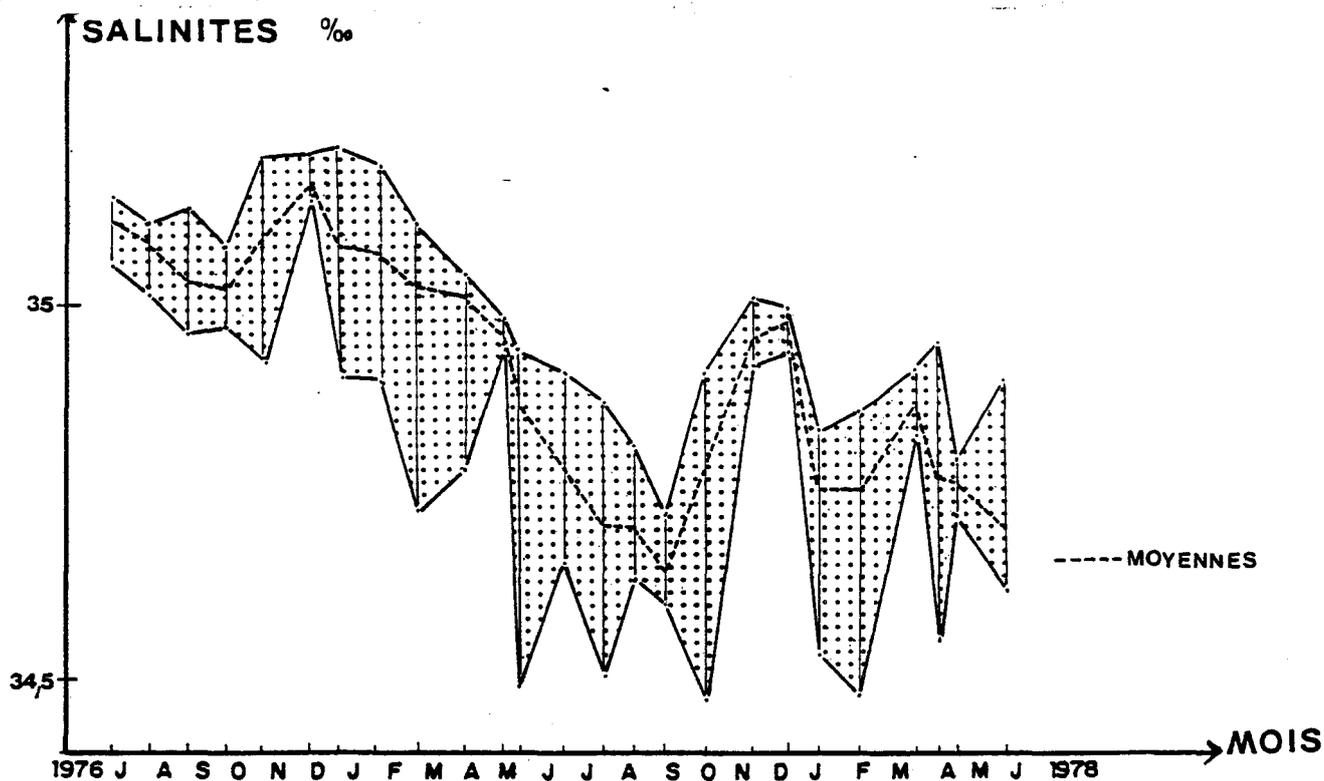
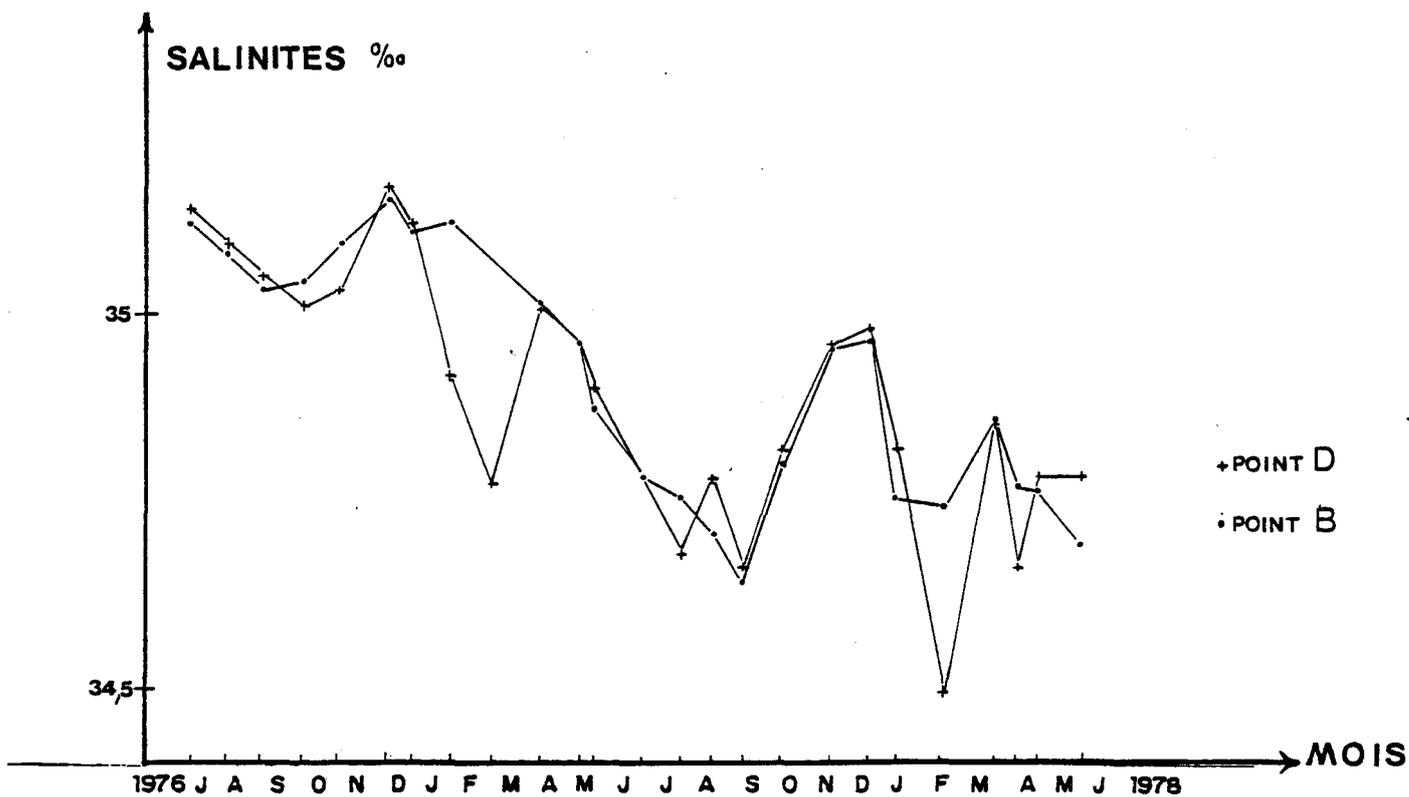


Figure II.b

Variations saisonnières des salinités en B milieu de radiale  
et D hors-zone, pour les deux cycles d'études.



Variations de la température (figures II.c. et II.d) : la température moyenne varie de la même manière au cours des deux cycles, selon une sinusoïde régulière. Le minimum du second cycle montre cependant un refroidissement plus important des masses d'eaux à cette période.

Les températures moyennes maximales atteignent :

- 17,40°C en septembre 1976,
- 16,45°C en août 1977.

et les températures moyennes minimales s'abaissent à :

- 7,70°C en février 1977,
- 6,30°C en février 1978.

Aux minima de salinité correspondent des maxima de température, et les maxima de salinité correspondent aux minima de température, avec un décalage de deux mois pour ces derniers :

- maximum de salinité en décembre 1976,
- minimum de température en février 1977,
  
- maximum de salinité en décembre 1977,
- minimum de température en février 1978.

Aux points B et D l'évolution des températures est très semblable, bien qu'en janvier-février 1978 les eaux se refroidissent et se réchauffent plus vite en B qu'en D.

Variations de la densité (figures II.e et II.f) : la densité moyenne présente une variation sinusoïdale régulière.

Les deux maxima     27,39 en février 1977,  
                          27,34 en février 1978

correspondent aux minima de température et à des eaux plus salées.

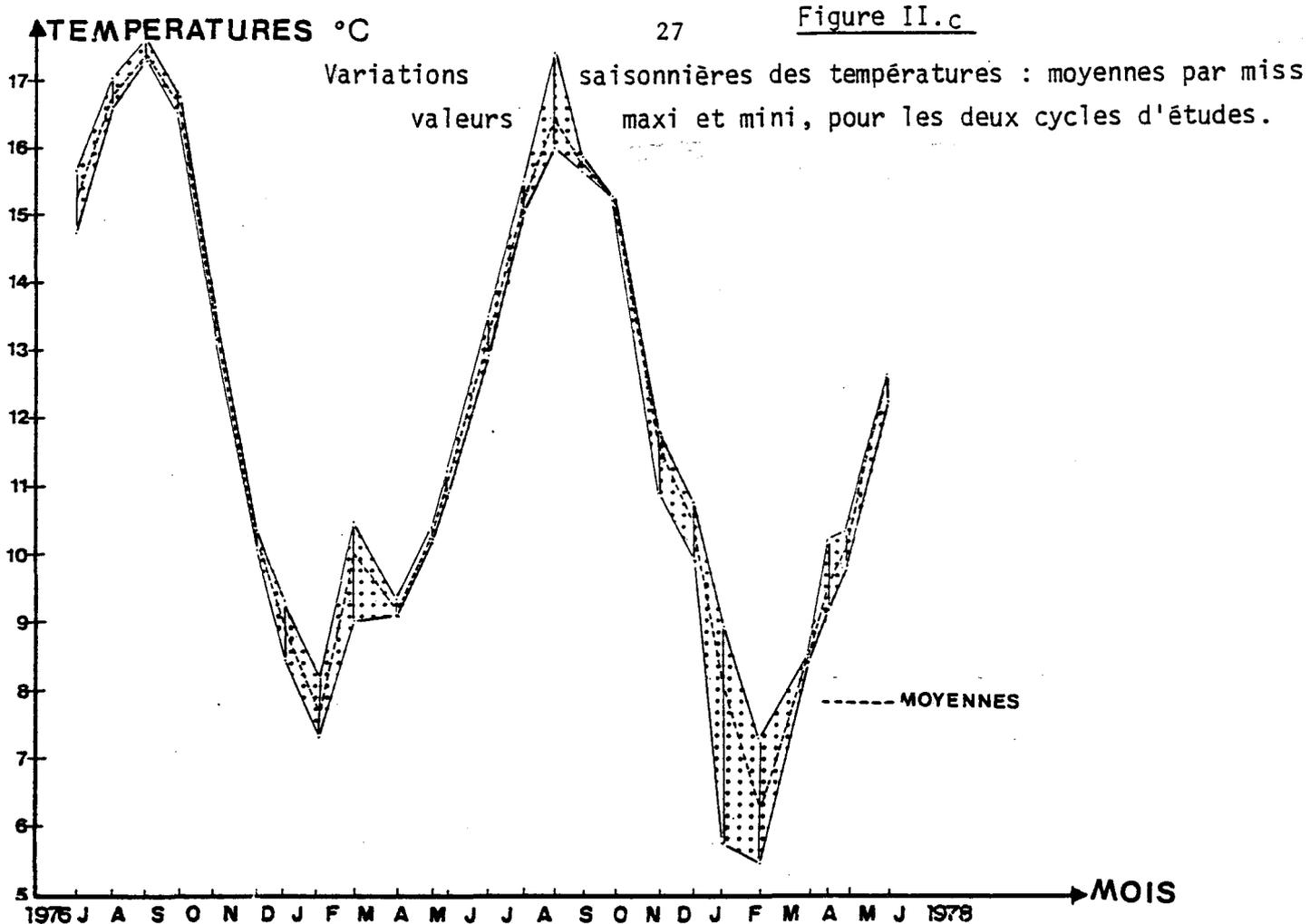


Figure II.d Variations saisonnières des températures en B milieu de radia et D hors-zone, pour les deux cycles d'études.

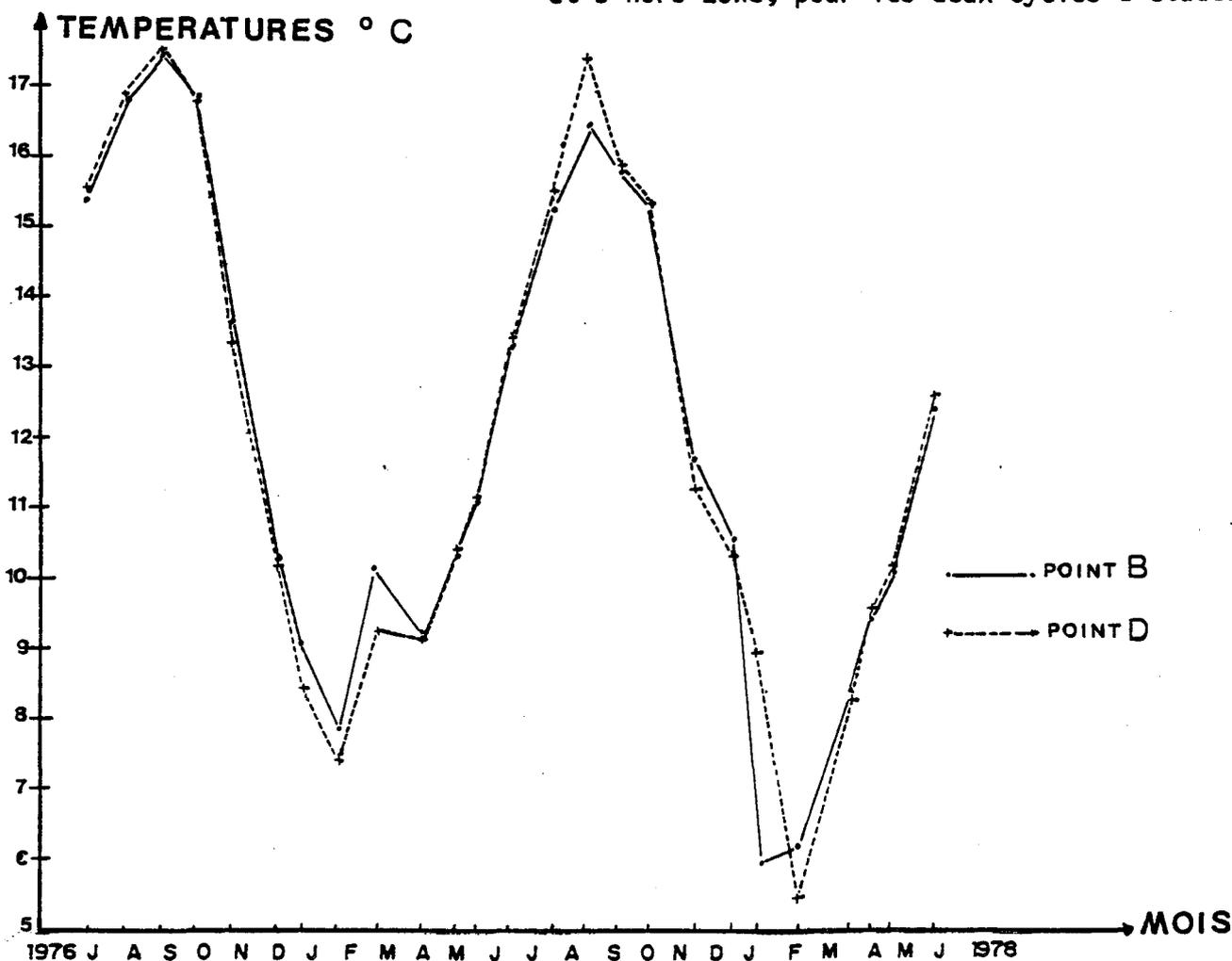


Figure II.e

Variations saisonnières de la densité :  
moyennes par mission, valeurs maxi et mini, pour les deux cycles d'études.

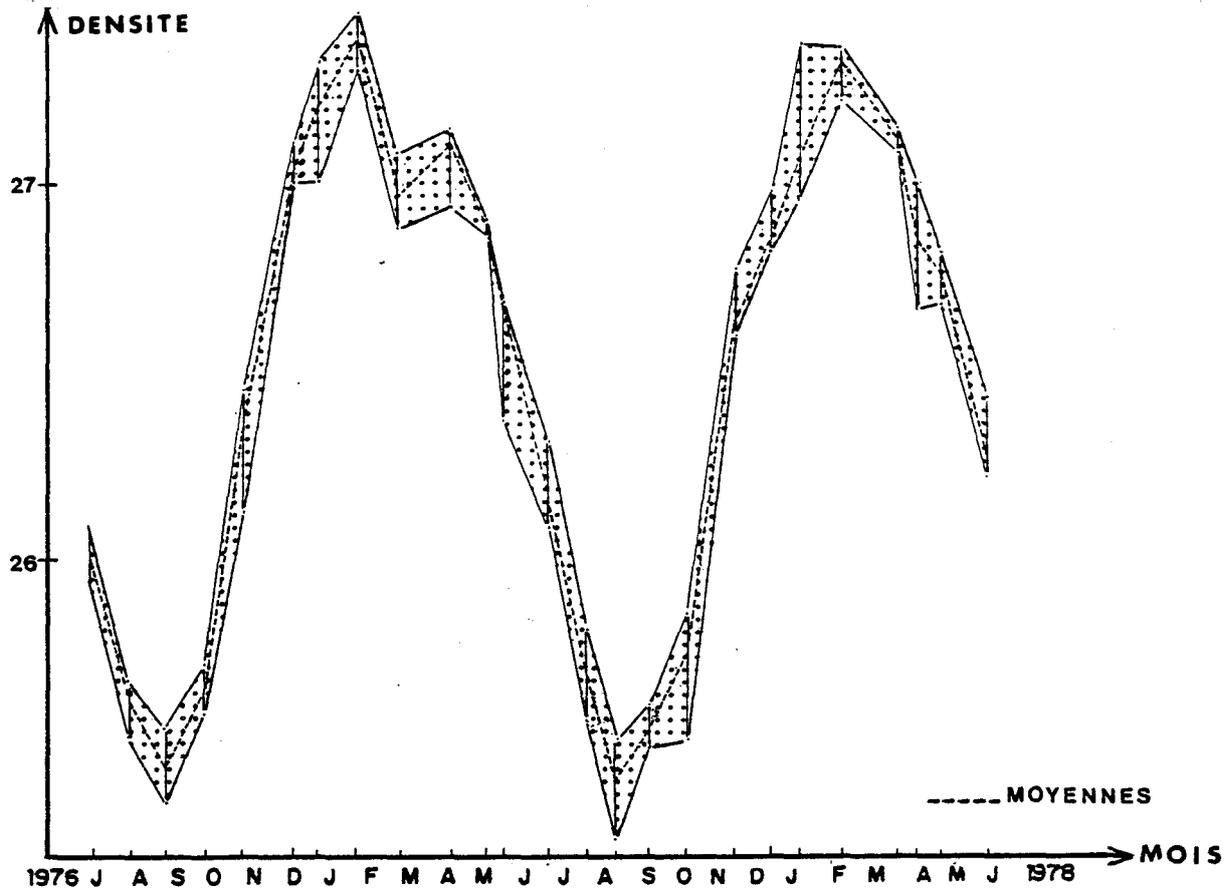
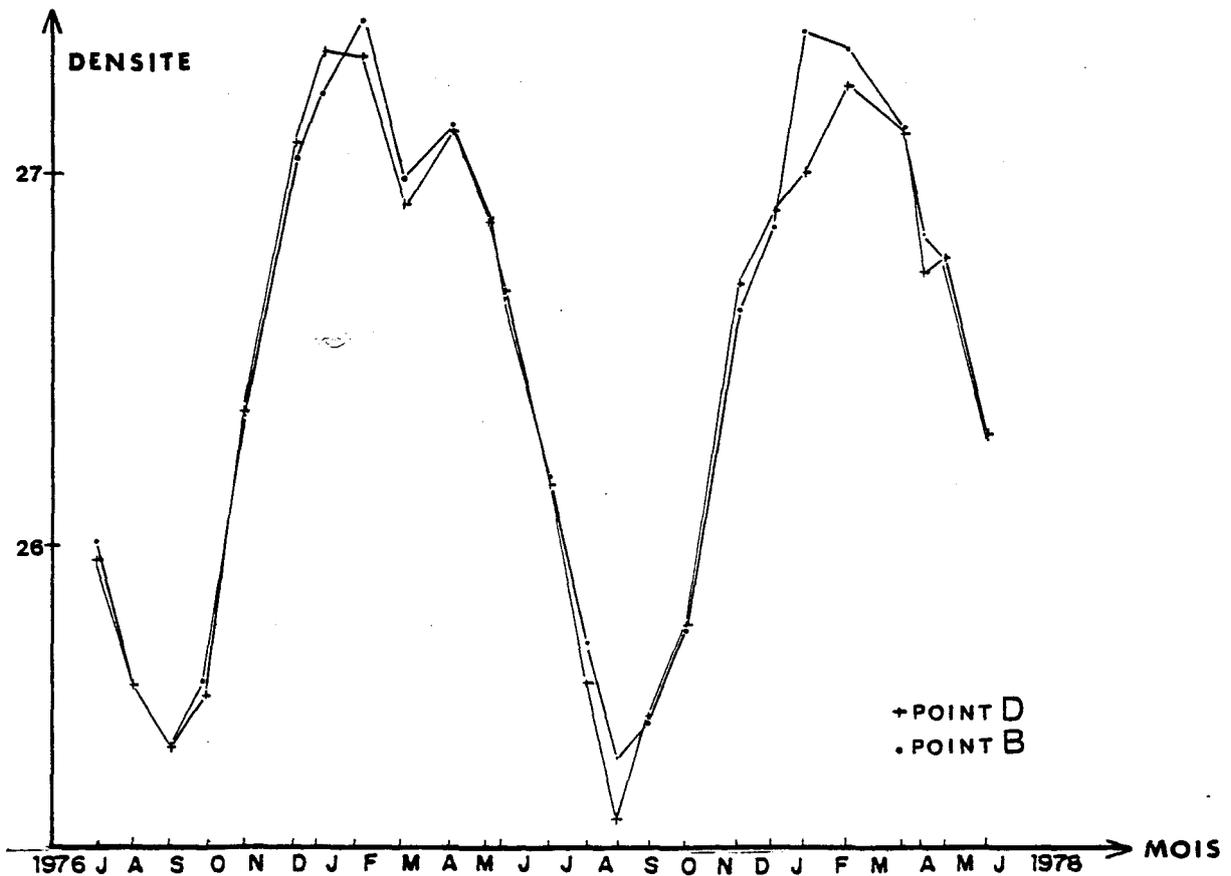


Figure II.f

Variations saisonnières de la densité, aux points B milieu de radiale,  
et D hors-zone, pour les deux cycles d'études.



Les deux minima	25,45 en septembre 1976
	25,42 en août 1977

correspondent aux maxima de température et à des eaux plus douces.

Au point B les eaux paraissent plus denses qu'au point D : la figure II.f montre un décalage non négligeable en janvier - février 1977 août 1977 et janvier - février 1978.

Variations des matières en suspension (figures II.9 et II.10) : les matières en suspension varient très irrégulièrement et montrent des écarts importants entre les valeurs extrêmes. Les moyennes maximales correspondent aux mois d'août 1976 (16,93 mg/l), de juin 1977 (16,24 mg/l) et d'avril 1978 (13,05 mg/l).

Les matières en suspension sont en général plus abondantes au point D qu'au point B, notamment au cours du premier cycle d'études. L'allure générale des graphiques montre une tendance à une augmentation régulière des matières en suspension au cours de l'étude du second cycle. Les forts coups de vent et les précipitations abondantes pourraient l'expliquer.

Variations des sels nutritifs (figures II.11 à II.19) : les concentrations moyennes en sels nutritifs varient assez régulièrement au cours des deux cycles d'études.

Les maxima sont atteints durant la période hivernale : janvier - février et les minima en fin de printemps - début été : juin - juillet.

Les phosphates présentent la particularité d'être très peu abondants au cours des dix premiers mois d'étude : une pluviosité exceptionnellement faible durant les premiers mois de l'année 1976 en serait l'une des causes.

Variations de l'oxygène dissous (figures II.20 et II.21) : les variations des concentrations en oxygène dissous sont régulières. Les maxima atteignent 7,31 ml/l et 6,92 ml/l en mai tandis que les valeurs minimales descendent à 5,57 ml/l en septembre 1976 et à 5,39 ml/l en août 1977.

Le pourcentage de saturation suit les mêmes évolutions, bien que l'amplitude des variations soit plus faible.

### III) DISCUSSION

#### 1) Relations climatologie - hydrologie

Températures atmosphériques, précipitations, durées d'insolation et fréquence des coups de vents influent plus ou moins sur les paramètres physicochimiques mesurés sur l'eau de mer.

La moyenne mensuelle des températures (figure I.1) varie suivant une sinusoïde, de la même manière que la température de l'eau (figure II.c). Le tableau II.2 réunit les températures extrêmes relevées sur les figures.

A I R	E A U
18°C en août 1976	17°4C le 4 septembre 1976
6°C en janvier 1977	7°7C le 2 février 1977
8°4C en mars 1977	10°C le 3 mars 1977
15°4C en août 1977	16°4C le 26 août 1977
5°5C en février 1978	6°3C le 21 février 1978

TABLEAU II.2

---

Les températures observées dans l'eau correspondent à une moyenne sur un cycle de marée, aussi n'est-il pas possible d'estimer la rapidité des échanges de chaleur entre l'air et l'eau.

Les précipitations (figures I.4 et I.5), très abondantes de septembre 1976 à janvier 1977, semblent responsables de l'abaissement régulier des salinités, de décembre 1976 à septembre 1977. L'augmentation des salinités jusqu'en décembre 1977 correspond à des précipitations plus faibles que celles des mois précédents. Une élévation des précipitations précède l'abaissement des salinités au début de 1978 (janvier-février).

Il est donc possible de relier les variations de salinités à celles des hauteurs de précipitations. Le phénomène le plus remarquable est l'abaissement des salinités à la suite des fortes précipitations de la seconde moitié de 1976.

Les concentrations plus élevées en sels nutritifs : nitrates, phosphates, silicates, durant le deuxième cycle d'études, peuvent être également une conséquence des fortes précipitations de la seconde moitié du premier cycle. En drainant le bassin versant, les eaux de pluie se chargent en sels nutritifs apportés par les engrais.

Les variations des concentrations en oxygène dissous (figure II.20) présentent des maxima plus élevés au printemps, et des minima plus bas en automne. La production phytoplanctonique, lors du bloom printanier, et à une moindre échelle lors du bloom estival, contribue essentiellement à l'augmentation des concentrations en oxygène. Le brassage des eaux par les vents forts provoque également une oxygénation supplémentaire, particulièrement sensible en janvier 1977. La chute des concentrations en oxygène correspond à la diminution de sa production, à laquelle s'ajoutent la respiration des organismes zooplanctoniques, la minéralisation des organismes morts et la diminution de sa solubilité en présence des températures élevées (septembre 1976, août, septembre et octobre 1977).

Les coups de vent (figures I.7, I.8) assurent le brassage superficiel de l'eau et, avec les courants de marée, ils contribuent, nous venons de le voir, à homogénéiser et oxygéner les différentes masses d'eaux, et remettre les particules déposées en suspension.

Les courants de marée, plus importants au moment des missions à forts coefficients de marée, paraissent seuls responsables de la remise en suspension des matières déposées au niveau du fond (figure II.22). L'influence du vent sur la stratification verticale et l'homogénéisation des masses d'eaux est certaine : homogénéité thermique et vents du Sud-Ouest en octobre 1976 par exemple. Il apparaît surtout que les gradients côte-large les plus marqués : août 1976, mai 1978 (figures II.1 à II.3), ont lieu à des périodes où le vent est très faible.

## 2) Différences hydrologiques entre les points B et D

L'étude des diagrammes température-salinité, pour le point B milieu de radiale et le point D hors-zone (figure II.g), a montré au cours du premier cycle une différence entre les masses d'eaux des deux zones étudiées. Le caractère plus océanique des eaux au point B se retrouve en particulier de janvier 1978 à avril 1978. En février les eaux au point D sont très dessalées et froides. Par contre, de juin à décembre 1977 la différence entre les masses d'eaux des points B et D n'est pas aussi marquée que pour les six premiers mois d'étude (de juin à décembre 1976).

Les variations des densités en B et D (figure II.g) confirment ces caractéristiques : les maxima de densité en janvier 1977 et janvier 1978 sont plus élevés au point B qu'au point D, tandis que le minimum en août 1977 est plus faible au point D. En août-septembre 1976, les densités paraissent homogènes aux deux points.

Les sels nutritifs présentent à peu près les mêmes variations aux points B et D. Quelques différences sont à remarquer :

- figure II.12 : les phosphates présentent un pic en juillet 1977 au point D, en août au point B. Un autre maximum est à signaler : fin novembre au point B, fin décembre au point D,

- figure II.15 : les nitrates sont plus concentrés au point D au moment des pics d'abondance,
- figure II.14 : les silicates sont également plus abondants au point D au cours du premier cycle d'étude. En février 1978 le pic au point D est plus important qu'au point B,
- figure II.19 : la concentration en ammoniacque est légèrement supérieure au point D,
- figure II.18 : les nitrites par contre sont plus concentrés au point B. Les matières en suspension sont, la plupart du temps, plus abondants au point D. Ainsi, le caractère plus côtier du point D, choisi comme référence "hors tache", se confirme.

### 3) Corrélations

L'étude des corrélations entre différents paramètres a pour but de mieux définir entre elles les relations de cause à effet, ceci pour les matières en suspension, le secchi, le coefficient de marée, l'oxygène dissous, le pourcentage de saturation en oxygène. Il y aurait un rapport constant d'environ 7,2 entre l'azote minéral dissous et le phosphore inorganique de l'eau de mer (IVANOFF, 1971). Ainsi, l'étude de la corrélation N/P permettrait-elle de dégager le caractère plus ou moins océanique des masses d'eau au niveau du site de Flamanville.

Le tableau II.3 résume les résultats des recherches de corrélation simple entre différents paramètres :

- le coefficient de corrélation "r" entre l'azote total dissous et le phosphore inorganique dissous atteint la valeur + 0,73 au cours du premier cycle et 0,54 au cours du second cycle, ce qui met en évidence une interdépendance possible de ces paramètres. Cependant, le rapport  $\frac{N}{P} = 7,2$  soit  $P = 0,139N$ , n'apparaît qu'au cours de la seconde période de l'étude.

TABLEAU II - 3

Coefficient de corrélation de Bravais - Pearson

Paramètres	1er cycle	2è cycle	2 cycles
N / P	$P = 0,09 N - 21$ $r^2 = 0,54$ $r = + 0,73$	$P = 0,13 N + 0,33$ $r^2 = 0,32$ $r = 0,54$	$P = 0,09 N + 0,41$ $r^2 = 0,20$ $r = 0,45$
$\text{NO}_3 / T^\circ$	$T^\circ = -0,97 \text{NO}_3 + 16,24$ $r^2 = 0,62$ $r = - 0,79$	$T^\circ = -0,97 \text{NO}_3 + 16,42$ $r^2 = 0,74$ $r = -0,86$	$T^\circ = -0,97 \text{NO}_3 + 16,32$ $r^2 = 0,68$ $r = -0,82$
$\text{O}_2 / T^\circ$	$\text{O}_2 = -0,09 T^\circ + 7,42$ $r^2 = 0,41$ $r = -0,64$	$\text{O}_2 = -0,13 T^\circ + 7,78$ $r^2 = 0,60$ $r = -0,77$	$\text{O}_2 = -0,10 T^\circ + 7,57$ $r^2 = 0,48$ $r = -0,69$
% sat $\text{O}_2 / T^\circ$	%sat $\text{O}_2 = 0,76 T + 96,30$ $r^2 = 0,16$ $r = 0,40$	%sat $\text{O}_2 = 0,09 T + 101,40$ $r^2 = 2,35 \cdot 10^{-3}$	%sat $\text{O}_2 = 0,30 T + 100,49$ $r^2 = 0,04$ $r = 0,20$
Secchi / MES	Secchi = $0,13 \text{MES} + 3,97$ $r^2 = 0,04$ $r = 0,20$	Secchi = $-0,08 \text{MES} + 7,71$ $r^2 = 0,01$ $r = -0,10$	
MES / Coeff. marée	$\text{MES} = -0,11 \text{coeff} + 15,42$ $r^2 = 0,11$ $r = -0,33$	$\text{MES} = -0,47 \text{coeff} + 45,03$ $r^2 = 0,42$ $r = -0,65$	$\text{MES} = -0,04 \text{coeff} + 7,59$ $r^2 = 0,04$ $r = -0,20$
$\text{PO}_4 / \text{S} \text{‰}$	$\text{PO}_4 = 0,20 \text{S} \text{‰} - 6,39$ $r^2 = 4,75 \cdot 10^{-3}$	$\text{PO}_4 = 4,59 \text{S} \text{‰} - 158,56$ $r^2 = 0,41$ $r = 0,64$	$\text{PO}_4 = -0,58 \text{S} \text{‰} + 20,95$ $r^2 = 0,03$ $r = 0,17$
MES / $\text{S} \text{‰}$	$\text{MES} = -19,77 \text{S} \text{‰} + 700,91$ $r^2 = 0,55$ $r = -0,74$	$\text{MES} = 3,50 \text{S} \text{‰} - 110,46$ $r^2 = 0,02$ $r = 0,14$	$\text{MES} = -8,62 \text{S} \text{‰} + 310,93$ $r^2 = 0,24$ $r = 0,49$

Seuils de signification : Si  $0,10 \leq r \leq 0,14$  on a 95 %  $\leq r \leq$  99 %Si  $|r| > 0,15$  on a  $r > 99$  %

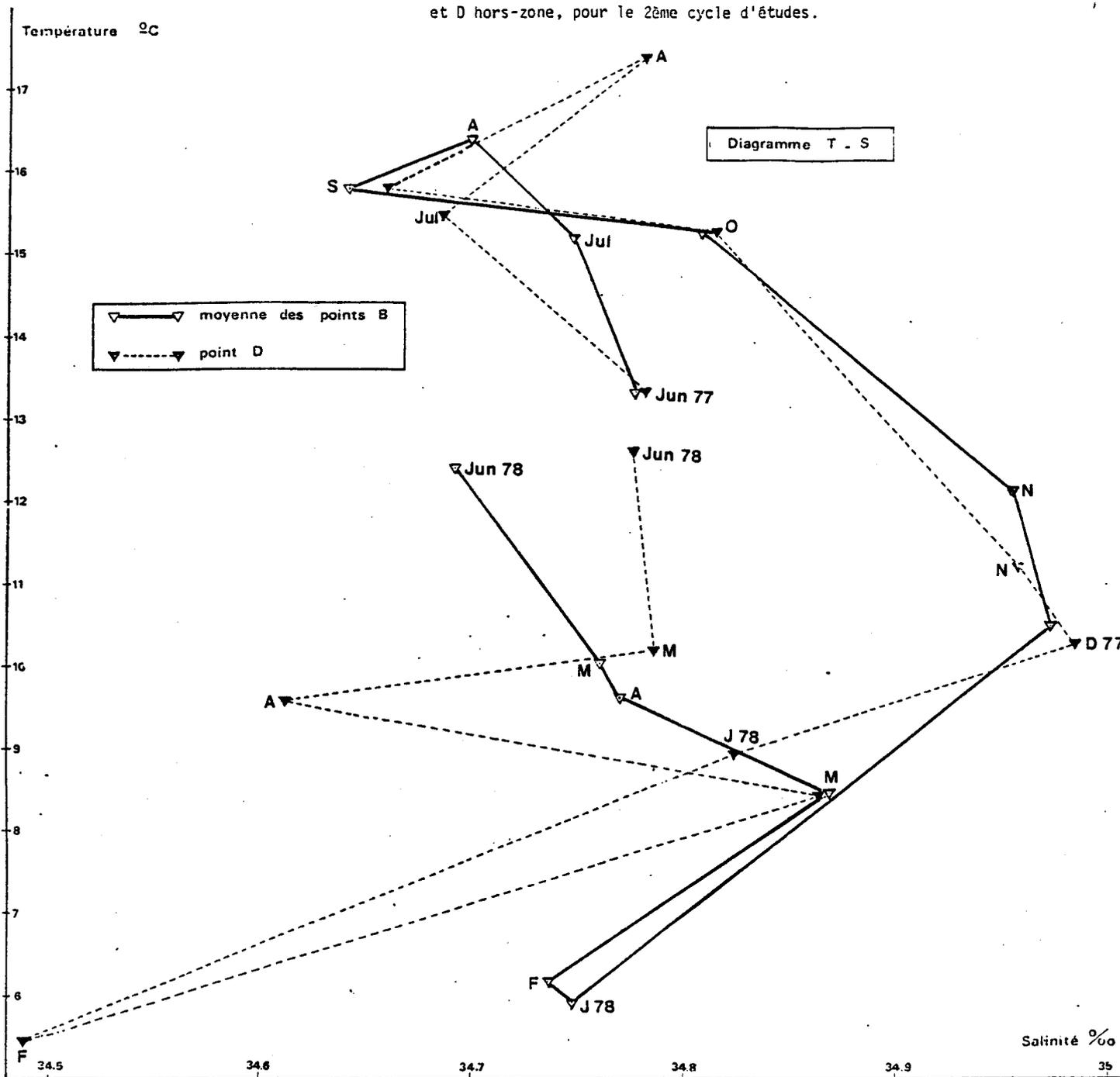
n = Nombre de couples - ? &gt; 100

- les nitrates et la température présentent une bonne corrélation simple avec  $r = - 0,79$  à  $- 0,86$  au cours des deux cycles d'étude. L'équation de la droite obtenue varie très peu, et sa pente reste constante. Ainsi, les variations saisonnières des nitrates, inversées par rapport à celles des températures, se confirment par l'étude de corrélation. De plus, celle-ci fait apparaître la constance de cette relation sur le site,
- la concentration en oxygène dissous est mieux corrélée avec la température, au cours du second cycle d'études ( $r = - 0,77$  au lieu de  $r = - 0,64$  au cours du premier cycle),
- les corrélations entre le pourcentage de saturation en oxygène et la température, le secchi et les matières en suspension (moyennes sur la colonne d'eau), n'apparaissent pas,
- la pente négative de la droite M.E.S. = f (coefficient de marée) pourrait s'expliquer par l'effet de "balayage" de courants plus forts, par marée de coefficient élevé. Cet effet serait d'autant plus sensible que les matières en suspension sont élevées, d'où le meilleur coefficient de corrélation  $r = - 65$  au cours du second cycle (cf. p. 29), par rapport à celui du premier cycle ( $r = - 0,33$ ).
- il apparaît une faible corrélation entre les phosphates inorganiques et la salinité au cours du second cycle d'études ( $r = - 0,64$ ). La pente positive montre que les eaux océaniques, plus salées, présentent les concentrations en phosphates les plus élevées, contrairement aux données habituelles. Ce phénomène pourrait être dû au piégeage des phosphates par les carbonates, abondants dans les sédiments.\* Cette corrélation n'apparaît pas au cours du premier cycle,
- la salinité est également corrélée avec les matières en suspension au cours du premier cycle d'études ( $r = - 0,74$ ). La pente de la droite étant négative, il est possible d'en déduire l'origine terrigène des matières en suspension.

\* PERKINS E.J., 1974, The biology of estuaries and coastal waters, AP 1974.

Figure II.9

Diagramme T.S. pour les points B milieu de radiale et D hors-zone, pour le 2ème cycle d'études.



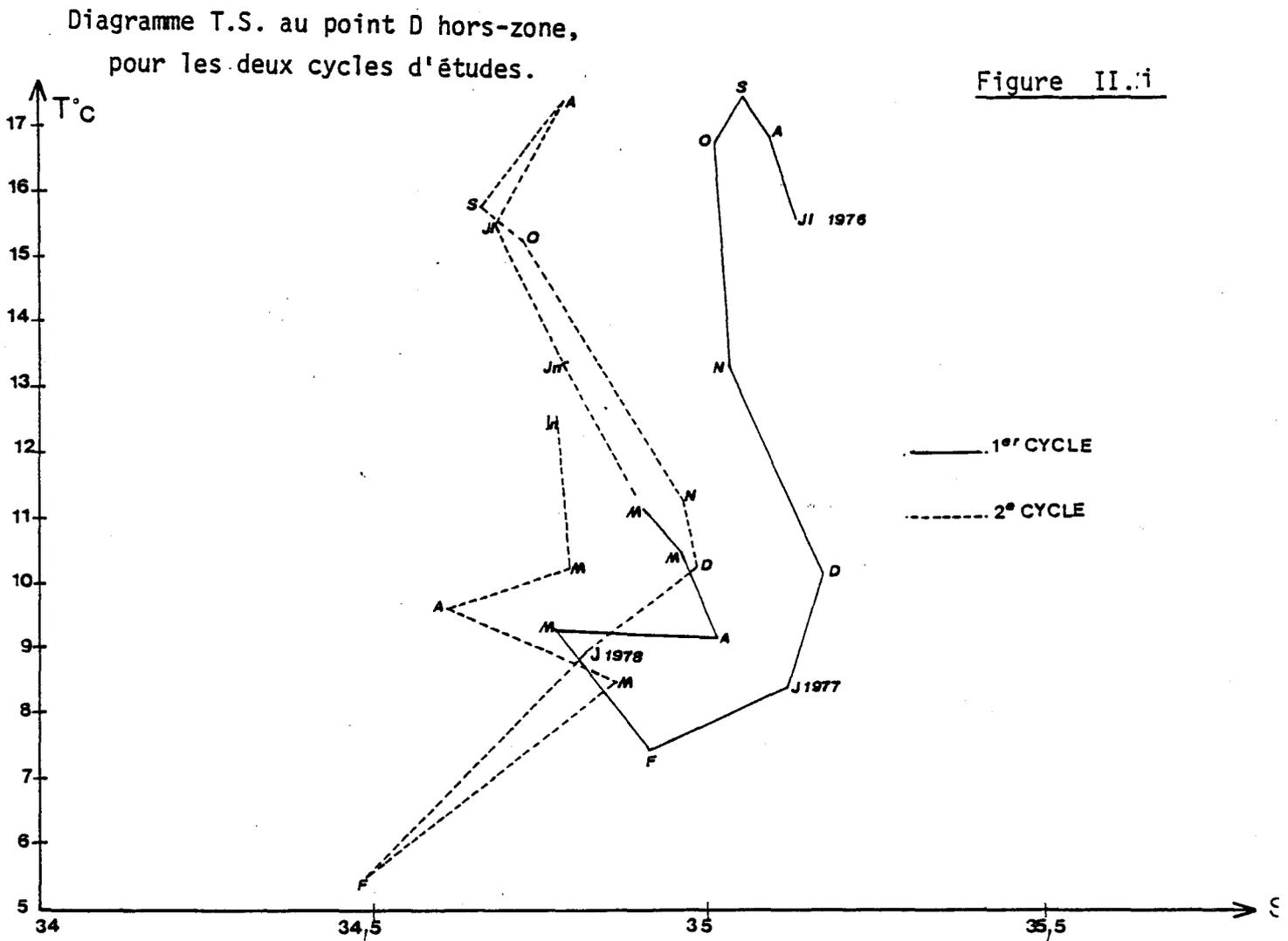
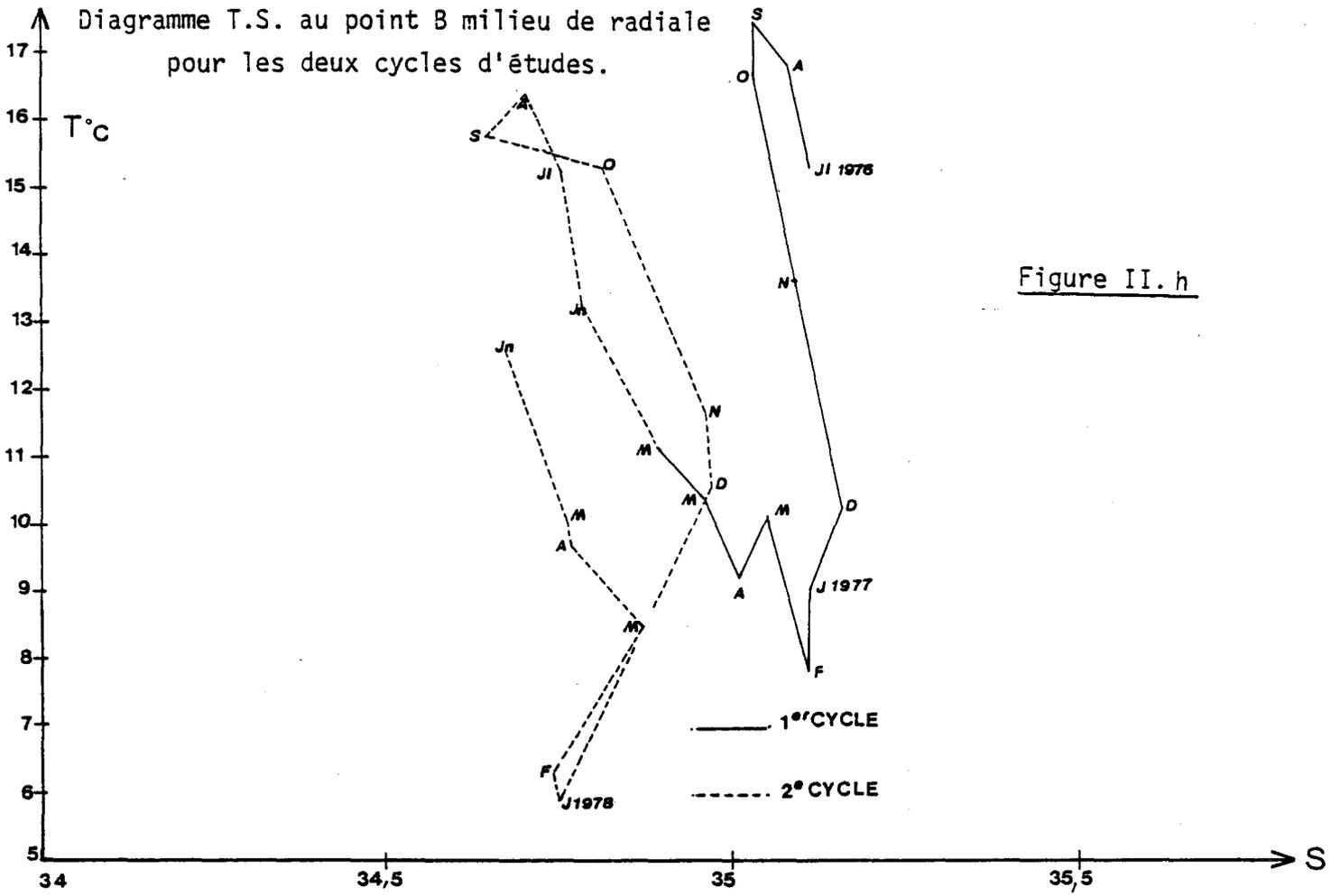
#### 4) Comparaison des deux cycles d'étude

Les paramètres physicochimiques ne présentent pas tous des variations reproductibles au cours des deux cycles d'étude. Les conditions climatiques, assez dissemblables pour les trois années 1976, 1977 et 1978 peuvent en être la cause.

Les variations saisonnières des températures moyennes ont montré qu'en hiver 1977-1978 l'eau est légèrement plus froide qu'en hiver 1976-1977 (écart de 1,40°C en février), tandis que les températures moyennes estivales sont plus semblables (écart de 0,95°C entre août 1977 et septembre 1976). La salinité présente de grandes variations, différentes au cours des deux cycles. Les premiers mois se caractérisent, par rapport au deuxième cycle, par une salinité élevée qui chute régulièrement pendant 10 mois. Au cours des neuf derniers mois, la salinité se montre beaucoup plus irrégulière.

Les diagrammes température-salinité des deux cycles, pour les points B et D, sont décalés (figures II.h et II.i). Au cours des douze derniers mois les eaux sont plus froides et dessalées qu'en début d'étude. Les variations de la densité moyenne restent cependant semblables, et les valeurs de densité moyenne du second cycle ne sont inférieures que de moins de 0,05 unités à celles du premier cycle. Les irrégularités des variations de salinités ne paraissent pas perturber celles de la densité.

Les sels nutritifs : nitrates (figure II.15), phosphates (figure II.11) silicates (figure II.13) présentent tous des concentrations plus élevées de juillet 1977 à juin 1978, que de juillet 1976 à juin 1977. Ainsi, les eaux du site de FLAMANVILLE sont plus riches en sels nutritifs lors de la deuxième année d'études. Ce caractère peut être dû aux précipitations et/ou à la minéralisation des substances organiques.



L'ammoniaque ayant été irrégulièrement dosé au début, il est difficile d'affirmer que la seconde année est plus pauvre en  $\text{NH}_4^+$  que la première, bien que les quelques points de celles-ci se placent nettement au-dessus (figure II.19). La concentration faible en nitrates, en 1976-1977, serait alors une conséquence d'un défaut de minéralisation des matières organiques.

L'oxygène dissous (figure II.20) est nettement plus abondant en mai 1977 qu'en mai 1978 et le second cycle se présente décalé vers les valeurs plus faibles. Cette diminution peut être la conséquence de plusieurs facteurs, parmi lesquels : moindre activité biologique la deuxième année, et/ou oxydation des substances organiques plus importante .

### c) CONCLUSION

L'étude écologique ayant duré 24 mois, nous pouvons dégager, au point de vue hydrologique, deux caractéristiques principales :

- les masses d'eaux circulant au droit du site étant soumises à de forts courants de marée, les influences climatiques se trouvent atténuées. On peut noter cependant que les deux cycles : juillet 1976 - mai 1977 et juin 1977 - juin 1978, très différents au point de vue climatique, présentent des variations de salinité non superposables. Le caractère côtier est plus affirmé au point D, choisi comme "hors zone" thermique, qu'au niveau du point médian de la radiale face au site. D'autre part, d'après la circulation générale Atlantique - Manche, le flot prédomine, apportant des eaux du golfe normano-breton, constituées d'eaux océaniques mélangées aux apports continentaux.

- les brassages très importants sont assurés par les courants de marée et les vents. Les gradients côte - large apparaissant pour les salinités et les températures, sont instables et s'accompagnent de fréquentes inversions de densité. La stratification verticale n'apparaît que transitoire, entre le passage d'un gradient côte - large de type hivernal à estival, et inversement, et parfois durant l'été. Il n'existe donc pas de véritable thermocline.



CHAPITRE III



MICROBIOLOGIE

Laboratoire Municipal de Caen



## A) PRÉLÈVEMENTS

Aucune modification n'a été apportée aux modalités de prélèvements des échantillons.

## B) ANALYSE

Pour mieux permettre la comparaison des résultats avec ceux des autres laboratoires quelques modifications ont été apportées en ce qui concerne les analyses :

- modification du milieu pour dénombrement des germes sulfato-réducteurs, et augmentation du volume d'eau de mer examiné,
- modification du milieu de Kligler par adjonction de chlorure de sodium, pour son utilisation lors du triage des colonies pouvant être des *vibrio* halophiles,
- adjonction d'un dénombrement des germes aérobies "totaux" en gélose nutritive non salée ("douce"), parallèlement au dénombrement en gélose salée, comme antérieurement, ceci pouvant apporter un enseignement complémentaire sur l'origine des germes revivifiables,
- d'autre part, nous avons acquis une fontaine à dépoussiérer MILLIPORE, qui nous permet un rinçage plus efficace de la verrerie utilisée pour la bactérioscopie en lumière ultraviolette, et la préparation d'un colorant pratiquement exempt d'organismes figurés décelables. Ainsi, nos membranes témoins sans eau de mer révèlent-elles habituellement moins d'une image microbienne par champ,
- enfin, nous avons pu réaliser ces examens microscopiques en épifluorescence, et cela permet d'effectuer sans discontinuité la filtration, la coloration et l'examen microscopique.

Nous utilisons maintenant un microscope NACHET, équipé d'une lampe à mercure à haute pression OSRAM HBO 50W, alors qu'antérieurement nous utilisions un microscope LEITZ ORTHOPLAN équipé d'une lampe à mercure à haute pression OSRAM HBO 200W. Or, nous avons constaté que cela ne résolvait pas tous les problèmes (voir plus loin).

## C) RESULTATS

### I) GERMES AEROBIES TOTAUX (Milieu de Zobell, fig. p.43-44)

Leur nombre reste peu élevé, et les différences de réponse entre le milieu salé et le milieu non salé sont peu importantes. A deux reprises, les colonies obtenues sur gélose salée ont été examinées et il s'agissait presque uniquement de bacilles à gram positif, lesquels ne permettaient pas de subculture en bouillon ordinaire ou sur gélose ordinaire ; ils étaient donc vraisemblablement des germes halophiles stricts.

La moyenne du nombre de germes revivifiables dans le milieu nutritif gélosé salé est un peu supérieur à celle obtenue en milieu non salé, à savoir :

- gélose salée = réponse 104 germes par ml d'eau de mer,
- gélose douce = réponse 67 germes par ml d'eau de mer.

Cela confirme le peu d'influence tellurique sur cette flore microbienne, ce qui était prévisible en un tel site. Nous sommes dans un site océanique, sinon abyssal, pauvre en bactéries. Cette flore ne représente, par ailleurs, qu'une infime partie de ce que révèle la bactériologie.

Nous pensons que cette flore, obtenue par culture à + 20°C, se situe vraisemblablement dans la partie inférieure de la fourchette attribuée conventionnellement aux germes mésophiles. Ses variations n'apparaissent pas comme liées à une cause climatique, et les différences entre les points de prélèvement ne sont pas significatives.

ANALYSE BACTERIOLOGIQUE DE L'EAU DE MER  
SUR LE SITE DE FLAMANVILLE (Manche)

(1977 - 1978)

Points de prélèvements : Même définition que lors de la précédente Campagne.

N° d'analyse date de prélèvement	Point de prélèvement	Heure	Nombre par ml d'eau des				Germes sul- fato-réduc- teurs par 10 ml puis par 50 ml	Vibrio halo- philes dans 1l par enri- chissement.
			Germes aérobies "totaux"		Germes fluorescents à l'acridine			
			Milieu salé	Milieu non salé	Germes verts	Germes rouges		
242.448 21/9/77	B1	5 H 02	62		2250	89325	4 dans 10ml	Algino-lyticus
	B4	10 H 18	190		8550	80550	2	Absence
	D0	02 H 44	74		19125	106200	2	Absence
248.321 30/11/77	B2	12 H 30	64	32	27675	32220	0	Tous les caractères d' Algino-lyticus mais O129- - donc ?
	B4	17 H 24	106	16	20362	9607	0	Algino-lyticus
	D0	10 H 00	110	40	7762	23445	0	Algino-lyticus
248.322 20/12/77	B1	6 H 35	148	68	<u>Nouveau Microscope</u> 23965	14018	0	Algino-lyticus
	B3	13 H 00	58	10	4530	46797	0	Absence
	D0	4 H 30	78	36	23452	28942	0	Algino-lyticus
245.346 5/1/78 (échantillons non diffé- renciés)	F 19'	?	60**	38	16843	26320	0	Absence
	F 19'	?	68**	50	11833	41361	0	Absence
245.624 17/1/78	B1	4 H 20	576	164	18058	3475	4 dans 50ml	Absence
	D0	7 H 30	328	102	24560	25541	7 dans 50ml	Absence
246.245 8/2/78	B	9 H 05	42	8	853	14881	0	Absence
21/2/78	B1	10 H 40	40	52	176050*	13218*	0	Absence
	B3	16 H 10	58	16	5300 *	5300*	0	Algino-lyticus
	D0	8 H 05	104	120	3891*	5863*	1 dans 50ml	Absence
246.914 3/3/78	B	13 H 05	114	128	26693	7888	0	Absence

Résultats douteux : Témoin présentant un nombre anormalement élevé de germes.

Remarque : Par isolement direct d'un grattage à l'anse sur la membrane portant le sédiment de 1 l d'eau, nous n'avons jamais obtenu de colonies de *Vibrios* halophiles.

: Bacilles à gram positif.

N° d'analyse date de prélèvement	Point de Prélèvement	Heure	Nombre par ml d'eau des				Germes sul- fato-réduc- teurs par 10 ml puis par 50 ml	Vibrio halo- philes dans 1l par enri- chissement
			Germes aérobies "totaux"		Germes fluorescents à l'acridine			
			Milieu salé	Milieu non salé	Germes verts	Germes rouges		
247.870 6 Avril 78	B1	10 H 45	16	36	12.579	3.944	0	Absence
	B2	15 H 00	204	356	7.355	7.675	0	Absence
	DO	9 H 00	232	324	16.203	9.914	0	Absence
248.306 20.04.1978	B1	10 H 45	12	16	13.367	18.933	0	Absence
	DO	9 H 00	26	24	3.833	18.581	0	Absence
248.558 26.04.78	B	13 H 45	112	62	/	/	1	Absence
249.123 12.05.78	B	14 H 50	11	6	/	/	0	Absence
	DO	13 H 40	15	8	/	/	0	Absence
249.466 30.05.78	B (F 24')	17 H 00	14	10	10.447	11.598	0	Absence
249.880 15.06.78	B1	5 H 50	160	74	24.731	8.208	0	Vibrio alginolytic (=V.P.type I)
	B4	12 H 00	14	8	14.071	10.127	0	Absence
	DO	3 H 40	22	10	18.762	6.503	0	Absence

Analyses complémentaires = Recherche des hydrocarbures (Sensibilité 0,20 mg/l) dans le film superficiel :

6 Avril 1978 : Point B1 = Recherche négative  
Point DO = Recherche négative

Remarques :

La coloration à l'acridine n'a pu être effectuée sur les échantillons reçus le samedi 29 Avril, et le samedi 13 Mai.

## II) GERMES FLUORESCENTS A L'ACRIDINE ORANGE (tableaux pages 43 et 44)

Nous avons d'abord constaté, et signalé, dans l'état d'avancement des travaux, que le rapport entre le nombre de germes rouges ("morts") et jaune-vert ("vivants") avait changé d'une façon importante, à l'occasion du changement de matériel. Nous avons donc procédé à l'examen successif des mêmes préparations avec les deux équipements concernés :

### - Equipement NACHET avec objectif 100 :

- . surface du champ : 0,01178 mm<sup>2</sup>,
- . facteur de multiplication pour une filtration de 50 ml d'eau = 2132 pour un résultat ramené à 1 ml,
- . champ très lumineux, uniformément éclairé. Pour diminuer l'intensité lumineuse, nous intercalons simultanément le filtre 7 (B.G.12), et les deux filtres d'extinction 6 et 8,
- . les germes se détachent moins bien sur le fond clair que sur le fond plus sombre du microscope ORTHOPLAN, et leur extinction est beaucoup plus rapide, surtout en ce qui concerne les germes colorés en vert.

### - Equipement ORTHOPLAN avec objectif 100

- . surface du champ : 0,0279 mm<sup>2</sup>,
- . facteur de multiplication pour une filtration de 50 ml d'eau = 900 pour un résultat ramené à 1 ml,
- . champ assez sombre. Eclairage non uniforme : les germes placés vers 3 heures et 9 heures (à droite et à gauche du champ) sont beaucoup moins visibles,
- . les germes se détachent bien et ne s'éteignent que lentement. On dispose d'au moins 30 secondes pour la lecture. On est souvent amené à ne compter qu'un demi-champ, avec les aléas que cela comporte, puisque l'optique ne présente pas de trait de repère.

Comparaison par examens successifs, des mêmes préparations, les deux appareils étant utilisés avec l'huile d'immersion vendue par la Société NACHET, pour examen en lumière ultra-violette. Nous en avons profité également pour comparer l'acuité visuelle des deux opérateurs effectuant habituellement ce travail :

		Point B1				Point D0			
		Filtration de 50 ml				Filtration de 50 ml			
Microscope	Coloration des germes	ORTHOPLAN		NACHET		ORTHOPLAN		NACHET	
		Verts	rouges	verts	rouges	verts	rouges	verts	rouges
Opérateur	A	12285	21150	16630	21425	5895	12240	3312	29527
	B	9450	14940	19828	25689	2925	13050	3199	19507

Récapitulation du contrôle ; nombre moyen de germes observés, ramené à 1 ml d'eau de mer :

		Germes verts	Germes rouges	% de déficit en	
				Germes verts	Germes rouges
Opérateur	A	9.530	21.085	/	/
	B	8.850	18.296	7, 1 %	13, 2 %
Microscope	O	7.639	15.345	28, 9 %	36, 1 %
	N	10.742	24.037	/	/

Essais faits ultérieurement, ne pouvant être pris en compte dans les résultats des campagnes.

On voit donc qu'il y a un facteur individuel non négligeable, tenant notamment à l'acuité visuelle, à la fatigue oculaire, à la rapidité de comptage, le nombre de secondes étant limité, mais aussi à l'interprétation de la nature microbienne ou non des éléments fluorescents présents parmi des débris divers. En conséquence, il ressort que 13 % de déficit d'un opérateur à l'autre doit être considéré comme normal et inévitable.

Une autre cause d'erreur liée au matériel utilisé nous est apparue par la suite, et il est facile d'y remédier ; l'huile d'immersion spécialement vendue par la Société NACHET pour les examens en lumière ultra-violette, absorbe beaucoup plus la fluorescence verte que l'huile vendue par la Société LEITZ. De là provient probablement la chute importante de pourcentage de germes verts par rapport aux germes rouges, observée la deuxième année.

Toutes ces difficultés confirment le peu de fiabilité que nous pouvons attribuer, jusqu'à preuve du contraire, à cette méthode d'analyse.

Il faudrait, à défaut de possibilités d'intercomparaisons, un rodage en commun des manipulations dans les différents laboratoires concernés, et une uniformisation rigoureuse des matériels utilisés. Cela seul permettrait de faire, ensuite, toutes comparaisons utiles entre les stations étudiées, et d'avoir une référence sûre pour toutes les comparaisons avec une situation future sur le même site.

### III) GERMES SULFATO-REDUCTEURS

Depuis le 30 novembre 1977, nous avons substitué au milieu de ZOBELL-BRISOU modifié, le milieu de composition et de préparation suivantes :

- sulfate neutre d'ammonium .....	1,0 g
- phosphate monopotassique .....	0,5 g
- extrait de levures .....	1,0 g
- lactate de sodium à 60 % .....	5,8 ml
- agar .....	15,0 g

- eau distillée ..... 250,0 ml
- eau de mer vieillie filtrée ..... 750,0 ml
- . pH final = 6,8
- . répartition à raison de 10 ml par tube de 120 x 12
- . stérilisation 15° à 120°C,

Ajouter au moment de l'emploi, après régénération des tubes du milieu précédent 20° à 100°C, 1,5 ml de la solution suivante, par tube de 10 ml de milieu :

- sulfate ferreux ..... 0,5 g
- acide ascorbique ..... 0,1 g
- acide thioglycollique de  
densité 1,38 ..... 0,1 g
- eau distillée ..... 100,0 ml
- . pH 6 à 7
- . stérilisation par filtration

Chaque tube maintenu à 45°C est inoculé avec 5 ml d'eau de mer (nous faisons 10 fois 5 ml), ou avec 1 ml d'échantillon + 4 ml d'eau de mer stérile, ce qui ne s'impose pas pour le site de FLAMANVILLE où les résultats avoisinent généralement zéro :

- refroidissement immédiat,
- petite couche d'huile de vaseline stérile pour empêcher la dissolution d'oxygène par la surface,
- incubation 12 jours à 30°C en suivant régulièrement l'apparition des colonies.

Résultats : dans le précédent rapport, nous annonçons que nous commençons à rechercher les germes sulfato-réducteurs dans 10 ml au lieu de 5 ml. Nous en sommes maintenant à 50 ml et le nouveau milieu est loin de faire apparaître un plus grand nombre de colonies réduisant les sulfates. Cette constatation est intéressante en elle-même et précieuse pour des comparaisons ultérieures.

#### IV) RECHERCHE DES VIBRIO HALOPHILES

Nous avons apporté à notre travail les améliorations suivantes :

- le triage des colonies se fait en Kligler salé, maintenant à 3 % (alors que le Kligler normal en contient 0,5 %). On évite ainsi de perdre des colonies halophiles strictes,
- la gélose ordinaire pour tester le  $O_{129}$  est maintenant salée à 1 %,
- la gamme API reste inoculée avec une suspension du germe en eau physiologique.

Le germe est testé en eau peptonée à 0 % de sel, 7 et 10 % afin de s'assurer qu'il s'agit bien d'un germe halophile.

Résultats : grâce à l'affinement de notre technique, nous trouvons plus souvent des *vibrio* halophiles que lors de la première campagne, mais aucun jusqu'ici ne s'est avéré être un *vibrio parahaemolyticus*, ce qui d'ailleurs n'a rien de surprenant sur le site de FLAMANVILLE.

Sur 30 recherches de *vibrio* halophiles effectuées par enrichissement à partir de 1 l, au cours de la présente campagne, 7 nous ont permis de déceler un *vibrio alginolyticus* (+ 1 cas douteux).

## CONCLUSION

Le déroulement de cette étude a souffert des difficultés climatiques et des problèmes propres au travail en mer, dans une région peu clémente.

La validité des informations recueillies au cours de ce "point zéro" est allée en croissant, mais nous avons fait apparaître que l'une des déterminations a posé jusqu'à la fin des problèmes, qui sont, pensons-nous, proches de leur dénouement, mais mériteraient une nouvelle concertation entre les laboratoires engagés dans des travaux similaires.

Le nombre de germes aérobies totaux est toujours resté faibles. La comparaison de nos résultats avec ceux trouvés à GRAVELINES par le Laboratoire d'Hydrologie de Lille montre, à FLAMANVILLE, un nombre de germes cultivés sur gélose "douce" du même ordre de grandeur, mais un nombre d'halophiles stricts très inférieur. En milieu côtier se rapprochant un peu du type estuarien (cas de GRAVELINES), l'activité marine autochtone est très importante, ce qui n'est pas le cas à FLAMANVILLE.

En ce qui concerne le dénombrement sous lumière ultra-violette, après coloration à l'acridine des corps microbiens, nous n'avons pas pu résoudre toutes les difficultés du petit nombre d'interventions qui nous était demandé. Nous souhaitons qu'il nous soit fourni très rapidement la possibilité de dépasser ce stade de tâtonnement.

Dès à présent, nous pouvons néanmoins avancer que le site de FLAMANVILLE est nettement plus pauvre en germes autochtones que le site de GRAVELINES. Nous n'avons pas encore à nous préoccuper des répercussions d'un choc thermique ou d'une chloration. Lorsque nous en seront là pour FLAMANVILLE, il sera difficile de comparer le pourcentage de germes verts et rouges trouvé, en 1979, avant standarnisation rigoureuse de la méthode, et en 1982 et 1985, après mise en route de la centrale nucléaire, avec les résultats de la campagne 1977-1978.

Malgré toutes les limites de la méthode, malgré l'incertitude en ce qui concerne la relation à établir entre la coloration des germes et leur activité, il doit être possible de déterminer le nombre de germes présents dans le milieu à 20 % près, ce qui est déjà une bonne approche par rapport aux méthodes de dénombrement par culture. L'imprécision des méthodes de mesures bactériologiques est bien connue quelles que soient les précautions prises, mais les causes de perturbation intervenant dans un milieu donné, introduisent facilement des variations numériques de 10 à 100 fois, qui ne sauraient échapper à l'examen.

Les germes sulfato-réducteurs sont très rares, du moins en surface du milieu considéré. L'essai d'un nouveau milieu de culture, et l'augmentation de volume mis en analyse, nous permettent de renforcer cette affirmation. Nous croyons savoir que le site que nous étudions est plus pauvre sous ce rapport que d'autres sites en Mer du Nord.

Des *Vibrio alginolyticus* ont été mis en évidence dans 7 échantillons sur 30, mais jamais de *Vibrio parahaemolyticus*, malgré l'amélioration de nos performances. La méthode d'étalement direct du sédiment de filtration de 11 nous permet d'affirmer qu'ils ne sont jamais nombreux, et, en tout cas, bien moins que dans la Mer du Nord. Ce fait est normal, car le site de FLAMANVILLE ne présente certainement aucune dessalure.

En résumé, nos résultats font apparaître le milieu comme sain et homogène, présentant certaines caractéristiques actuellement difficiles à comparer avec d'autres sites. Il s'agit d'une sorte de photographie d'un certain état dans le temps, ce qui nous incite à penser que le prolongement de cette étude serait loin d'être inutile, avant toute intervention thermique ou antiseptique.



CHAPITRE IV



PHYTOPLANCTON - PRODUCTION PRIMAIRE

par P. CRASSOUS  
E. ERARD  
C. LEROUX  
M. RYCKAERT



## A) MATÉRIEL ET METHODES

Le matériel et les méthodes communs aux deux cycles d'études sont présentés en annexe. Les paramètres retenus pour l'étude du phytoplancton et de la production primaire pélagique sont de deux sortes : quantitatifs et qualitatifs.

### I) PARAMETRES QUANTITATIFS

#### 1) Pigments

La méthodologie est commune au premier et au deuxième cycle.

#### 2) Production primaire pélagique

Durant le deuxième cycle, toutes les incubations ont eu lieu en lumière artificielle. La méthodologie a été légèrement modifiée lors du deuxième cycle (cf. annexe).

#### 3) Comptage des cellules

La méthodologie reste celle utilisée lors de la première année (cf. annexe), excepté en ce qui concerne l'observation des échantillons pour lesquels, à partir de juillet 1977, le nombre a été réduit de 24 à 15 pour chaque campagne.

Cette diminution répond aux résultats obtenus lors du premier cycle d'études, au cours duquel une homogénéité verticale des valeurs du microplancton avait été observée.

Les analyses ont été réalisées de la manière suivante :

- mélange de fractions aliquotes des échantillons correspondant aux trois niveaux de tous les prélèvements,
- cependant, pour vérification, la numération des cellules a été conservée sur les trois niveaux, pour la station hors-tache (D) et la station médiane de la radiale aux deux renverses (B et B<sub>4</sub>),

Cette réduction du nombre des échantillons a pu permettre d'améliorer la qualité des analyses par :

- un dénombrement des frustules (ou thèques) vides,
- une indication du nombre de cellules en division.

## II) PARAMETRES QUALITATIFS

- 1) Taxonomie (cf. annexe)
- 2) Diversité spécifique (cf. annexe)
- 3) Biométrie

Les mesures de taille des cellules ont été effectuées (deuxième cycle) au microscope inversé, auquel on a adapté un micro-oculaire Leitz étalonné. Neuf observations des stations, à trois niveaux (D, B<sub>1</sub> et B<sub>4</sub>) ont été réalisées. Les cellules choisies correspondent aux principales espèces saisonnières rencontrées lors de la première année.

## B) GÉNÉRALITÉS

Les méthodes d'analyse du phytoplancton et de la production primaire ont permis de classer les paramètres en deux catégories :

### I) PARAMETRES QUANTITATIFS

#### 1) Pigments

La biomasse pigmentaire est généralement représentée par le taux de chlorophylle a (pigment actif). L'état physiologique d'une population peut également s'estimer par le calcul de la proportion de chlorophylle active  $\frac{\text{chloro.a}}{\text{chloro.a} + \text{phéo.}} \times 100$ .

#### 2) Production primaire pélagique

La production mesurée correspond à la production potentielle des populations autotrophes. La quantité de carbone assimilée par unité de temps varie selon le nombre et l'état physiologique des organismes ; l'intensité lumineuse et la constitution physico-chimique de l'eau de mer interviennent également. L'emploi d'une source constante (lumière artificielle) durant le deuxième cycle permet, en outre, de suivre l'évolution de l'état des populations dans le temps.

#### 3) Comptages numériques des cellules microplanctoniques et nanoplanctoniques

Le dénombrement, réalisé en deux étapes, ne représente qu'une fraction inférieure à 5 % de l'ensemble

du matériel présent, excepté lors de la floraison printanière où cette fraction peut atteindre 70 %. La majorité du matériel décanté, constitué pour la plupart de particules inertes, gêne souvent les comptages ; certaines cellules riches en mucus s'imprègnent de particules minérales formant ainsi une "gangue".

Hormis les particules minérales, des fragments organiques divers sont aussi présents, tels : les spicules d'éponge, les grains de pollen, les oeufs et pelotes fécales d'organismes zooplanctoniques, certains petits copépodes, nématode (août 1976) et de nombreux fragments non identifiés.

Le recensement des microflagellés (cryptophycés, gymnodinés, etc.) inférieurs à 5  $\mu$ , regroupés improprement sous le terme de "nanoplancton" si l'on suit la définition de JACQUES (1970), pose aussi quelques problèmes lorsque des organismes comme les *Phaeocystis* (mai 1977 et 1978) et les bactéries (juin 1978) sont présents. L'importance de ces flagellés vis à vis des processus autotrophiques et hétérotrophiques n'est pas à négliger.

En dernier lieu, lors du deuxième cycle, des dénombrements de cellules en division et de cellules mortes ont donné une indication sur la productivité et la vitalité des populations.

Il ne faut cependant pas perdre de vue l'erreur d'échantillonnage, supérieure à la précision du comptage. En effet, la distribution des organismes planctoniques au hasard est tout à fait rare dans le milieu aquatique et l'on observe, le plus souvent, une surdispersion (GRALL, J.R.).

Dans le cas d'espèces coloniales (chaînes de diatomées, etc.), HOLMES et WIDRIG (1956) montrent aussi qu'elles ne sont pas distribuées au hasard.

## II) PARAMETRES QUALITATIFS

### 1) Détermination des taxons phytoplanctoniques

L'inventaire des populations phytoplanctoniques a permis de recenser 110 taxons environ (cf. liste des espèces pages suivantes) assemblés en plusieurs groupes, dont les principaux sont :

- Les bacillariophycées (ou diatomées) : environ 90 % du microplancton observé. La plupart appartiennent aux diatomées centriques. Les seules espèces importantes de diatomées pennées marines concentrées à FLAMANVILLE sont planctoniques : *Asterionella japonica*, *Nitzschia closterium*, *Thalassionema nitzschioides*, etc. ; les quelques diatomées pennées solitaires comme *Navicula sp.*, *Surirella sp.* ne sont généralement pas vraiment planctoniques, mais plutôt benthiques ; quant elles se détachent de leur substratum on les appelle parfois espèces tychopélagiques.
- Les dinophycées (ou dinoflagellés) : environ 3 %. La plupart sont autotrophes, mais beaucoup sont hétérotrophes et même parasites ; un bon nombre est mixotrophe.
- Les ciliés, également hétérotrophes, sont principalement composés de tintinnidés, constituant souvent le maillon trophique intermédiaire entre le phytoplancton proprement dit et le zooplancton.

Si beaucoup d'espèces peuvent être directement déterminées, certaines nécessitent des conditions particulières d'examen (traitement aux acides ou microscope à balayage), telles les navicules et les dinoflagellés dont l'identification, dans le cadre de ces études, a été principalement basée sur la forme des cellules.

BACILLARIOPHYCEAECENTRALES

o <i>Actinocyclus</i> sp.	Ehrenberg
* <i>Actinoptychus senarius</i>	(Ehrenberg) Ehrenberg
o <i>Asteromphalus</i> sp.	Ehrenberg
* <i>Biddulphia alternans</i>	(Bail) Van Heurck
* <i>Biddulphia aurita</i>	(Lyngbye) de Brebisson
o <i>Biddulphia pulchella</i>	Gray
* <i>Biddulphia regia</i>	(Schultze) Ostenfeld
o <i>Biddulphia sinensis</i>	Greville
* <i>Cerataulina pelagica</i>	Cleve (Hendey)
* <i>Chaetoceros</i> sp.	Ehrenberg
o <i>Chaetoceros affine</i>	Lauder
o <i>Chaetoceros compressum</i>	Lauder
o <i>Chaetoceros crinitum</i>	Schütt
* <i>Chaetoceros curvisetum</i>	Cleve
* <i>Chaetoceros danicum</i>	Cleve
* <i>Chaetoceros debile</i>	Cleve
o <i>Chaetoceros decipiens</i>	Cleve
* <i>Chaetoceros densum</i>	Cleve
* <i>Chaetoceros didymum</i>	Ehrenberg
* <i>Chaetoceros gracile</i>	Schütt
* <i>Chaetoceros perpusillum</i>	Cleve
o <i>Chaetoceros rigidum</i>	Greville
o <i>Chaetoceros simile</i>	Cleve
* <i>Chaetoceros simplex</i>	Ostenfeld
* <i>Chaetoceros sociale</i>	Lauder
o <i>Chaetoceros subtile</i>	Cleve
* <i>Chaetoceros teres</i>	Cleve
* <i>Chaetoceros</i> sp. 1	
* <i>Chaetoceros</i> sp. 2	
* <i>Chaetoceros</i> sp. 3	
* <i>Corethron criophilum</i>	Castracane

0	<i>Corethron</i> sp.	Castracane
*	<i>Coscinodiscus</i> sp.	Ehrenberg
0	<i>Coscinodiscus radiatus</i>	Ehrenberg
0	<i>Coscinosira polychorda</i>	Gran (Gran)
*	<i>Ditylum brightwellii</i>	(T. West) Gran ex Van Heurck
*	<i>Eucampia zodiacus</i>	Ehrenberg
*	<i>Guinardia flaccida</i>	(Castracane) Peragallo
*	<i>Lauderia borealis</i>	Gran
*	<i>Leptocylindrus danicus</i>	Cleve
*	<i>Leptocylindrus minimum</i>	Gran
*	<i>Paralia sulcata</i>	(Ehrenberg) Cleve
*	<i>Podosira stelliger</i>	(Beiley) Mann
0	<i>Rhizosolenia alata</i> f. <i>alata</i>	Brightwell
*	<i>Rhizosolenia delicatula</i>	Cleve
*	<i>Rhizosolenia faeröensis</i>	Ostenf
*	<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	Bergon
*	<i>Rhizosolenia setigera</i>	Brightwell
*	<i>Rhizosolenia shrubsolei</i>	Cleve
*	<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>	H. Peragallo
*	<i>Skeletonema costatum</i>	Greville
*	<i>Streptotheca tamesis</i>	Schrubsole
*	<i>Thalassiosira</i> sp.	Cleve
*	<i>Thalassiosira decipiens</i>	(Gran ex Van heurck) Jorgensen
*	<i>Thalassiosira gravida</i>	Cleve
*	<i>Thalassiosira levanderi</i>	Goor
*	<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	Cleve
*	<i>Thalassiosira rotula</i>	Meunier
*	<i>Thalassiosira subtilis</i>	(Ostenfeld) Gran

#### PENNALES

*	<i>Asterionella japonica</i>	Cleve & Müller ex. Gran
*	<i>Asterionella kariana</i>	Grunow in Cleve & Grunow
0	<i>Bacillaria</i> sp.	Gmellin
*	<i>Bacillaria paxillifer</i>	(of Muller) Hendey
*	<i>Diploneis</i> sp.	Ehrenberg

o	<i>Fragilaria</i> sp.	Lyngbye
*	<i>Grammatophora oceanica</i>	Ehrenberg
●	<i>Grammatophora serpentina</i>	Ehrenberg
*	<i>Gyrosigma</i> sp.	Hassal
o	<i>Licmophora</i> sp.	Agardh
*	<i>Navicula</i> sp.	Bory
*	<i>Navicula pelagica</i>	Cleve
*	<i>Nitzschia</i> sp.	Hassal
*	<i>Nitzschia closterium</i>	(Ehrenberg) Wm Smith
*	<i>Nitzschia delicatissima</i>	Cleve
*	<i>Nitzschia longissima</i>	(de Brebisson ex. Kutzing) Ralfs in Pritchard
*	<i>Nitzschia seriata</i>	Cleve
*	<i>Nitzschia</i> sp. 1	
*	<i>Plagiogramma</i> sp.	Greville
o	<i>Pleurosigma</i> sp.	Wm Smith
●	<i>Rhaphoneis surirella</i>	(Ehrenberg) Grunow
*	<i>Stauroneis membranacea</i>	(Cleve) Hustedt
o	<i>Surirella</i> sp.	Turpin
*	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	Hustedt

#### DINOPHYCEAE

o	<i>Ceratium lineatum</i>	(Ehrenberg) Cleve
●	<i>Dinophysis</i> sp.	Ehrenberg
o	<i>Dinophysis acuta</i>	Ehrenberg
*	<i>Dinoflagellē indēterminā</i>	
*	<i>Exuviella</i> sp.	Cienkowski
*	<i>Gymnodinium</i> sp.	Stein
*	<i>Gymnodinium fusus</i>	Schütt
*	<i>Gymnodinium lohmanni</i>	Paulsen
*	<i>Gymnodinium splendens</i>	Lebour
*	<i>Gyrodinium</i> sp.	Kafoid u. Swezy
*	<i>Minuscula bipes</i>	Lebour

* <i>Peridinium</i> sp.	Ehrenberg
● <i>Peridinium breve</i>	Paulsen
* <i>Peridinium brevipes</i>	(Paulsen) Lebour
* <i>Peridinium cerasus</i>	Paulsen
o <i>Peridinium claudicans</i>	Paulsen
* <i>Peridinium ovatum</i>	(Pouchet) Smith
* <i>Prorocentrum gracile</i>	Schutt
* <i>Prorocentrum micans</i>	Ehrenberg
o <i>Pyrocystis lunula</i>	Schutt

SILICOFLAGELLATEAE

* <i>Dictyocha speculum</i>	(Ehrenberg) Haeckel
* <i>Ebria</i> sp.	Borget

HAPTOPHYCEAE

* <i>Phaeocystis</i> sp.	(Hariot) Lagerheim
--------------------------	--------------------

CHLOROPHYCEAE

o <i>Chlorophycēe indēterminēe</i>	
o <i>Scenedesmus</i> sp.	(Turp) Breb.
* <i>Scenedesmus quadricauda</i>	Meyen

CHRYSOPHYCEAE

* <i>Chrysophycēe indēterminēe</i>	
o <i>Trochischia</i> sp.	Kuetz

EUGLENOPHYCEAE

* <i>Euglène indēterminēe</i>	
-------------------------------	--

CYANOPHYCEAE

* <i>Cyanophycēe indēterminēe</i>	
-----------------------------------	--

CILIESNANOPLANCTONCELLULES INDETERMINEESLEGENDE : ESPECES OBSERVEES

- o 1er cycle seulement
- 2ème cycle seulement
- \* communes aux deux cycles

Les mêmes problèmes d'identification se sont posés au cours des deux cycles, notamment pour les cellules en chaînes qui, par le conservateur et l'agitation des échantillons, se sont séparées, comme les genres :

- *Thalassiosira* (dont la taille des cellules varie suivant l'état physiologique),
- *Fragilaria* sp., *Navicula pelagica* et *Plagiogramma* sp. : cellules souvent malaisées à distinguer les unes des autres, et regroupées sous le terme de "chaînes",
- les espèces baptisées *Chaetoceros* sp.1, *Chaetoceros* sp.2, *Chaetoceros* sp.3, *Nitzschia* sp.1, durant la première année, ont été retrouvées lors du deuxième cycle, sans qu'aucun éclaircissement n'ait pu être donné quant à leur identification.

Sous le terme "cellules indéterminées" des cellules de petite taille, souvent en chaîne ont été regroupées (peut être des cyanophycées ?).

## 2) Calcul des indices de diversité des populations déterminées

Un élément synthétique, intéressant à tirer des numérations, est la diversité spécifique (cf. annexe). L'indice de Shannon donne une information sur la structure du peuplement dont provient l'échantillon et sur la façon dont les individus y sont répartis entre diverses espèces (Daget). Cependant, comme les diversités dépendent des fréquences relatives des espèces et du nombre de celles-ci, les comparaisons se font souvent par l'intermédiaire de l'équitabilité, rapport de la diversité réelle à la diversité maximale.

L'indice et l'équitabilité sont calculés pour chaque échantillon et sur l'ensemble de chaque campagne.

L'indice de diversité spécifique donne une importance égale à toutes les espèces représentées, des plus abondantes aux plus rares. Or, la présence des espèces rares dans un échantillon est très dépendante de la méthodologie et du volume de l'échantillon.

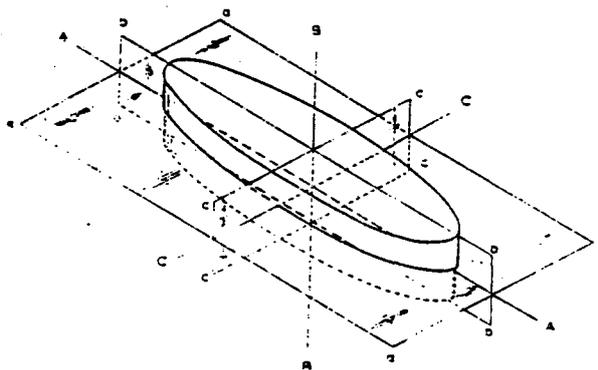
Le calcul de l'indice de diversité est donc complété par l'utilisation des diagrammes rang-fréquence (FRONTIER, 1976) qui mettent l'accent sur les variations des principales espèces.

Le diagramme choisi est exprimé en coordonnées logarithmiques.

### 3) Biométrie

Comme il a été dit précédemment, les cellules choisies correspondent aux principales espèces saisonnières rencontrées lors de la première année (voir dessins planche IV.A).

Le plan d'observation et l'axe mesuré (cf. figure ci-dessous) sont représentés, pour chaque espèce, dans le tableau IV.B.

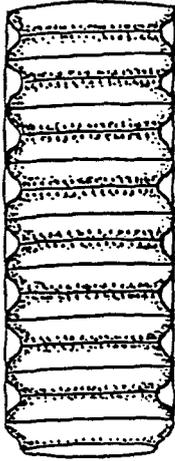


— *Planes of symmetry of the diatom cell.*

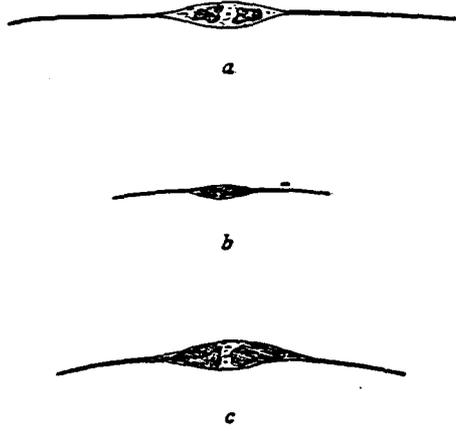
A. apical axis; B. principal axis or pervalvar axis; C. transapical axis.  
(a) valvar plane; (b) apical plane; (c) transapical plane.

d'après HENDEY - 1964.

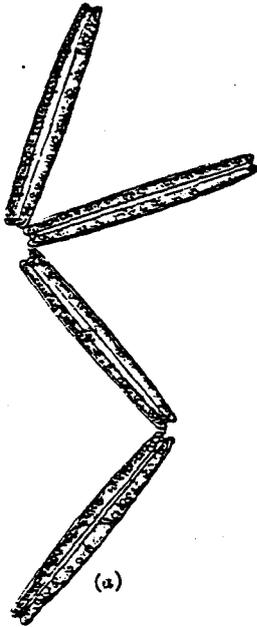
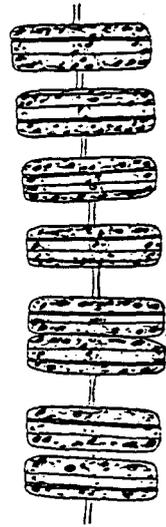
1



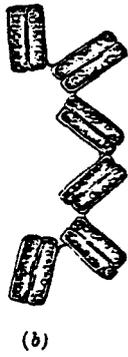
2



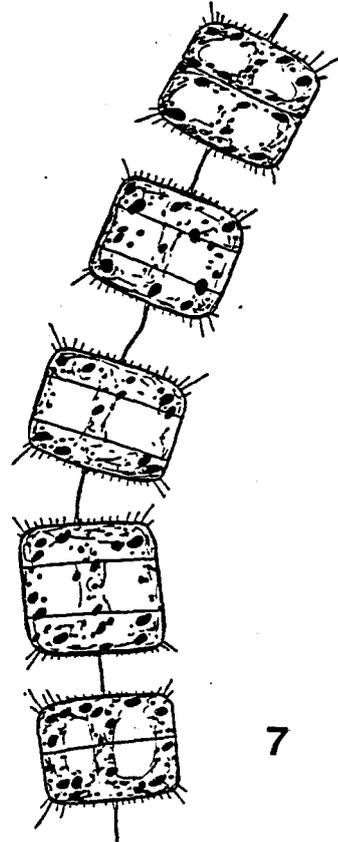
4



3



5



7



6

PHYTOPLANCTON

PRINCIPALES ESPECES SAISONNIERES

## PLANCHE IV.A (suite)

- 1) *Paralia sulcata* (Ehr.), 36 $\mu$  accross, Plymouth (M.V.L.) -  
D'après LEBOUR, 1930.
- 2) *Nitzschia closterium* (Ehr.) W.Sm.a, cell 86 $\mu$  long. b, cell 41 $\mu$  long.c,  
cell 66 $\mu$  long. Note chromatophores - D'après CUPP, 1943.
- 3) *Thalassiothrix nitzschioides* Grun. (a) valve 80 $\mu$  long ; (b) 22 $\mu$  long,  
Plymouth (G.E.W.). - D'après LEBOUR, 1930.
- 4) *Thalassiosira rotula* Meun. a, chain of vegetative cell. -  
D'après CUPP, 1943.
- 5) *Rhizosolenia delicatula* Cl. - D'après CUPP, 1943.
- 6) *Nitzschia seriata* Cleve, valve 90 $\mu$  long, Plymouth (G.E.W.) -  
D'après LEBOUR, 1930.
- 7) *Thalassiosira gravida* Cl. Chain of vegetative cells ; diameter 27 $\mu$  -  
D'après CUPP, 1943.

TABEAU IV.BPLAN D'OBSERVATION ET AXES MESURES POUR LES PRINCIPALES ESPECES SAISONNIERES (2ème CYCLE)

Espèces mesurées	Bibliographie	Plan observé	Axe mesuré
<i>Paralia sulcata</i> (Centrique)	Ehrenberg (Cleve)	Apical (vue cingulaire)	Pervalvaire
<i>Nitzschia closterium</i> (Pennée)	(Ehrenberg) Wm Smith	Valvaire ou apical	Apical
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Pennée)	Hustedt	Valvaire en géné- ral ou apical	Apical
<i>Thalassiosira rotula</i> (centrique)	Meunier	Valvaire ou Apical (vue cingulaire)	Apical diamètre
<i>Rhizosolenia delicatula</i> (centrique)	Cleve	Apical (vue cingulaire)	Pervalvaire
<i>Nitzschia seriata</i> (pennée)	Cleve	Valvaire ou apical	Apical
<i>Thalassiosira gravita</i> (centrique)	Cleve	Valvaire ou apical (vue cingulaire)	Apical diamètre du frustule

Pour chaque espèce, les séries de valeurs ont été ordonnées et classées pour constituer une distribution (histogrammes de fréquence en pourcentage, avec intervalle de classe égaux). Suivant le nombre de cellules observé, les niveaux ou les stations ont été regroupées, rendant ainsi les histogrammes polygonaux à première vue anarchiques, unimodaux ou bimodaux.

## c) RÉSULTATS

Pour les divers paramètres, les variations sont regroupées en :

- variations spatiales (verticales et horizontales le long de la radiale, avec comparaison avec le point hors-zone),
- variations temporelles (cycle de marée et cycle saisonnier).

### I) VARIATIONS SPATIALES

#### 1) Variations quantitatives

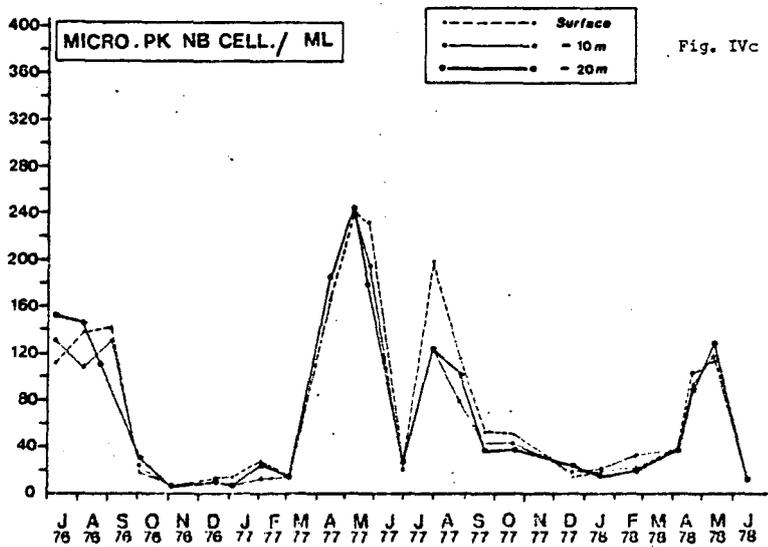
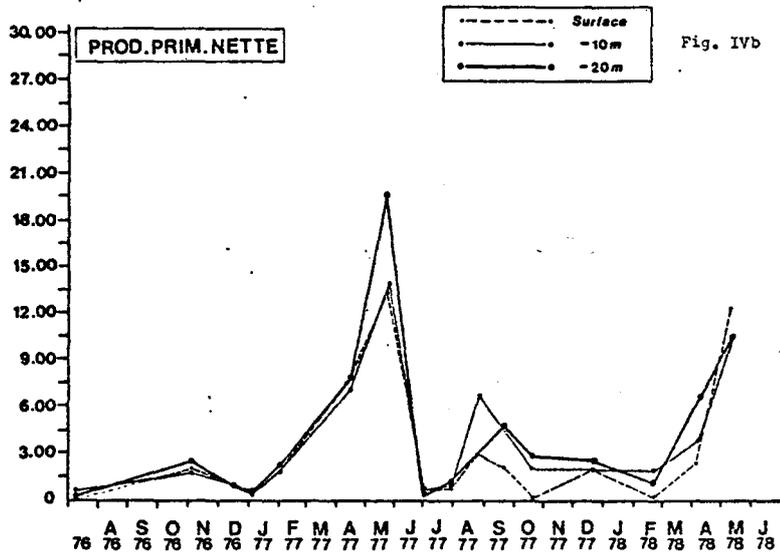
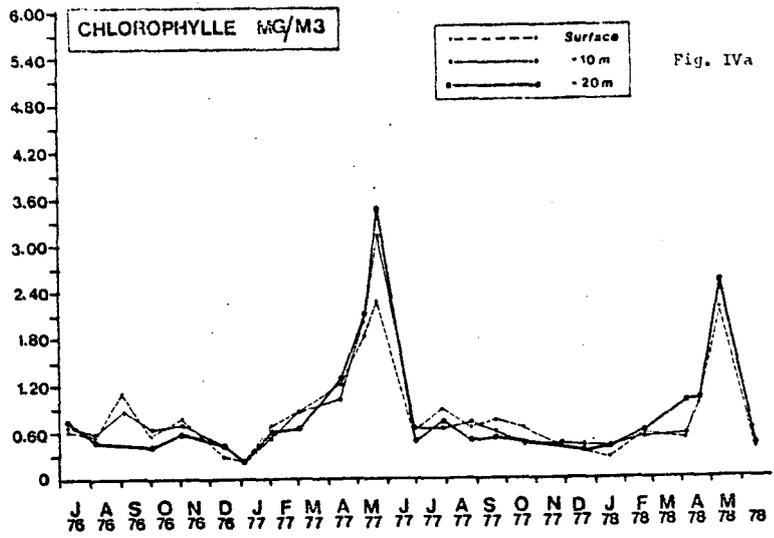
##### a) Gradient surface - fond

Dans l'ensemble, les valeurs biologiques présentent peu de variations entre la surface et le fond :

- pour la chlorophylle (points D et B) une stratification verticale, avec valeurs plus faibles en surface (figure IV.a), paraît au cours des deux pics printaniers 1977 et 1978. La stratification est inversée en période estivale,

FLAMANVILLE

Gradient surface / fond (moyenne des points)



- pour la production primaire, le même gradient vertical est observé en mai 1977 (point D : figure IV.b),
- pour le microplancton les gradients printaniers caractéristiques n'ont pas été retrouvés, les trois niveaux sont identiques ; en juillet 1977, seul le niveau de surface se distingue (fig. IV.c),
- pour les cellules mortes, les eaux de surface paraissent moins riches. Les cellules déficientes ont tendance à sédimenter (cette sédimentation peut aussi se produire par accumulation d'ions sélectifs pour les diatomées). Quant aux cellules en division et au "nanoplancton", aucune remarque n'est à noter,
- pour les ciliés la préférence est observée pour les eaux superficielles.

b) Gradient côte - large

Le tableau IV.C met en évidence les valeurs moyennes relevées aux points A, B et C. La distribution des différents paramètres biologiques ne suit aucune loi particulière ; seule la chlorophylle a montre parfois des plus fortes concentrations à la côte (7 fois on a observé un gradient côte-large négatif et 3 fois un gradient côte-large positif).

Une seule variation spatiale a été relevée : elle concerne les points B et D, le 30 juin 1977 (F13). Cette variation spatiale est unique et seule la "productivité potentielle" entre ces deux points est significative :

	Point B	Point D
<b>Productivité potentielle</b>	3,79 mgC/m <sup>3</sup> /h	>0,25 mgC/m <sup>3</sup> /h
Chlorophylle <u>a</u>	0,76 mg/l	> 0,56 mg/l
% chlorophylle <u>a</u>	80 %	> 64 %
Microplancton	74 cell/ml	> 24 cell/ml

Tableau IV.C : Gradient côte-large.

Légende : Moyenne des 3 niveaux  
de prélèvement :

. Valeur minimale .  
o Valeur moyenne < ●  
0 Valeur maximale < ●

	campagnes - Radiales				campagnes Radiales			
	I		à la renverse des courants		II		à la renverse des courants	
	année	de flot	de jusant	de flot	année	de flot	de jusant	de flot
	A B C	A B C	A B C		A B C	A B C	A B C	
CHLOROPHYLLE ( a )	1	● . ●	o . 0		13	. 0 o	. ● ●	
	2	. 0 o	. ● ●		14	. 0 o	● ● .	
	3		. 0 o		15	● ● .	0 . o	
	4	● ● .			16	● . ●	θ o .	
	5	0 . o	0 . o		17	● . ●	o . 0	
	6	● ● ●	o . 0		18	● ● .	. 0 o	
	7	● ● .	0 o .		19	0 o .	● ● ●	
	8	o o 0			20	o 0 .		
	9	● ● .	o 0 .		21	● ● .	. 0 o	
	10	0 . o	. ● ●		22	. o 0	-	
	11	0 o .	● ● .		23	o . 0	● . ●	
	12		● ● .	0 . o	24		o . 0	● ● .
				25	● ● .	0 . o		
% CHLORO ACTIVE	1	● ● .	. o 0		13	. o 0	. ● ●	
	2	0 o .	. ● ●		14	. ● ●	o . 0	
	3		. o 0		15	. ● ●	0 . o	
	4	. o 0			16	0 o .	● ● .	
	5	0 ● .	o . 0		17	● ● .	o . 0	
	6	o 0 .	● . ●		18	. ● ●	. o o	
	7	0 . ●	0 o .		19	0 . o	0 . o	
	8	. o 0			20	. o 0		
	9	0 . o	● ● .		21	o . 0	0 . o	
	10	● . ●	o . 0		22	o 0 .		
	11	0 o .	0 . o		23	o . 0	● ● .	
	12		. ● ●	0 o .	24		o 0 .	. ● ●
				25	0 o .	. ● ●		

TABLEAU IV.C (suite)

	C	F	J	F	C	F	J	F
MICROPLANCTON nombre de cell, par ml	1	● ● ●	. ○ ○		13	○ . ○	● ● .	
	2	● ● .	○ . ○		14	○ ○ ○	● ● .	
	3		● ● .	○ ○ .	15	● ● ●	○ ○ .	
	4	○ ○ .			16	○ ○ .	. ○ ○	
	5	● ● ●	○ ○ .		17	○ ○ .	. ○ ○	
	6	○ ○ ○	. ○ ○		18	. ○ ○	. ○ ○	
	7	. ○ ○	. ○ ○		19	○ . ○	○ . ○	
	8	○ ○ ○			20	○ ○ .		
	9	○ . ○	○ ○ ○		21	● ● .	. ○ ○	
	10	. ● ○	. ○ ○		22	○ ○ .		
	11	. ○ ○	. ● ●		23	. ○ ○	○ . .	
	12		● ● .	○ ○ .	24		. ● ●	. ○ ○
NANOPLANCTON nombre de cell. par ml	1	. ● ●	○ ○ .		13	● . ●	○ ○ .	
	2	. ○ ○	○ . ○		14	. ○ ○	● ● .	
	3		. ○ ○	○ ○ .	15	● ● .	○ ○ .	
	4	○ ○ .			16	○ ○ .	. ○ ○	
	5	● ● .	. ○ ○		17	○ ○ .	. ● ●	
	6	. ○ ○	○ ○ .		18	?		
	7	○ ○ .	○ ○ .		19	● . ●	. ○ ○	
	8	○ ? ○			20	?		
	9	○ . ○	○ . ○		21	?		
	10	○ ○ .	○ . ○		22	?		
	11	○ ○ ○	○ . ○		23	. ● ●	○ ○ .	
	12		○ ○ .	○ ○ . (phaeocystis)	24		○ ○ .	○ ○ .
CILIES nombre de cell, pour 10 ml	1	. ● ●	○ ○ .		13	● . ○	○ . ○	
	2	. ● ●	○ . ○		14	. ● ●	○ ○ .	
	3		● . ●	. ○ ○	15	○ ○ .	. ● ●	
	4	○ ○ .			16	. ○ ○	. ● ●	
	5	. ● ●	○ ○ .		17	. ○ ○	. ● ●	
	6	○ ○ ○	○ ● ○		18	. ○ .	. ○ .	
	7	○ ● ●	○ ○ ○		19	○ ○ ?	. ○ .	
	8	○ ○ ○			20	○ . ○		
	9	● ● ●	. ○ .		21	○ ○ .	● ● .	
	10	. ● ●	○ . ○		22	○ ○ .		
	11	● ● ●	. ○ ○		23	. ● ●	○ ○ .	
	12		● ● ●	○ . ○	24		○ ○ .	● ● .
				25	. ● ●	. ○ .		

TABLEAU IV.C (suite)

	C	F	J	F
% de cell. en division (10 ml )	13	— — —	— — —	
	14	● ● ●	○ ● ○	
	15	● ● ●	● ○ ●	
	16	○ ○ ○	● ● ●	
	17	● ● ●	○ ○ ●	
	18	● ● ●	● ● ●	
	19	● ● ●	● ● ●	
	20	● ● ●		
	21	● ● ●	● ● ●	
	22	○ ○ ●		
	23	● ○ ●	● ● ●	
	24		● ● ●	○ ○ ●
	25	● ● ●	● ○ ●	
taux de cell. mortes qm. x 100 <hr/> qm. +cv.	13			
	14	● ● ●	○ ○ ●	
	15	○ ○ ●	● ● ●	
	16	● ● ●	○ ○ ●	
	17	● ● ●	● ○ ○	
	18	○ ○ ●	● ● ●	
	19	● ● ●	● ○ ○	
	20	● ○ ○		
	21	○ ○ ●	● ● ●	
	22	● ○ ○		
	23	○ ○ ●	● ● ●	
	24		● ● ●	○ ○ ●
	25	○ ○ ●	● ● ●	

Cette faible activité des populations phytoplanctoniques côtières est à mettre en relation avec des fortes concentrations en ammoniacque (D : 2,16  $\mu\text{atg/l}$  - B : 0,26  $\mu\text{atg/l}$ ).

## 2) Variations qualitatives

### a) Gradient surface - fond

Aucune stratification cohérente de la composition spécifique relative sur la colonne d'eau ne peut être distinguée (de plus, l'analyse d'un seul échantillon augmente l'erreur d'échantillonnage).

### b) Gradient côte - large

Comme on pouvait s'y attendre pour une aire marine côtière, les variations spécifiques entre la côte et le large sont inexistantes. Les différentes espèces phytoplanctoniques rencontrées à FLAMANVILLE sont essentiellement néritiques et possèdent les mêmes exigences écologiques.

## II) VARIATIONS TEMPORELLES

### 1) Cycle de marée

#### a) Variations quantitatives

Durant les deux cycles d'étude, les fluctuations importantes observées sur un cycle de marée ne paraissent pas toujours reproductibles d'une campagne à l'autre (cf. figures II.44 et II.45 du rapport de première année). Les maxima de concentration en cellules phytoplanctoniques, souvent notés entre la renverse du courant de flot et la basse mer (figure IV.d : F15, F21, F23) sont également rencontrés après

VARIATIONS SUR UN CYCLE DE MAREE  
2<sup>e</sup> cycle

Fig. IVd

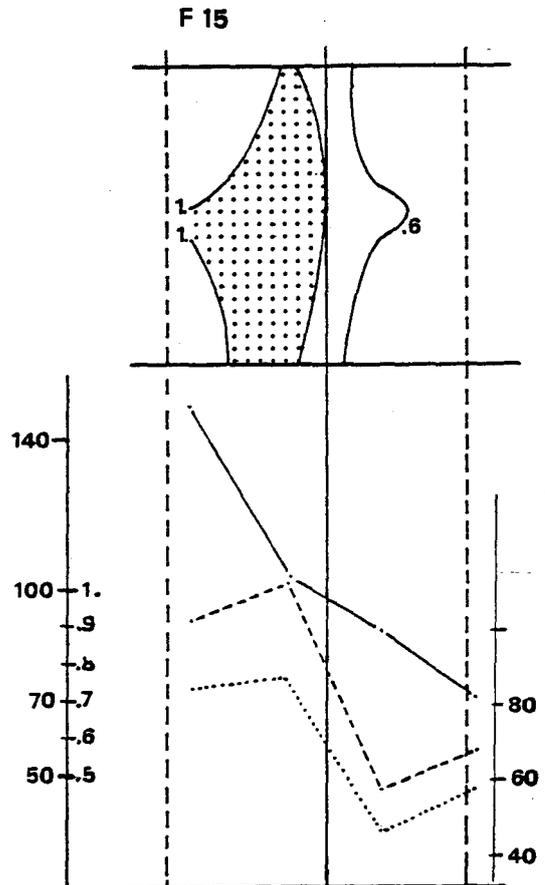
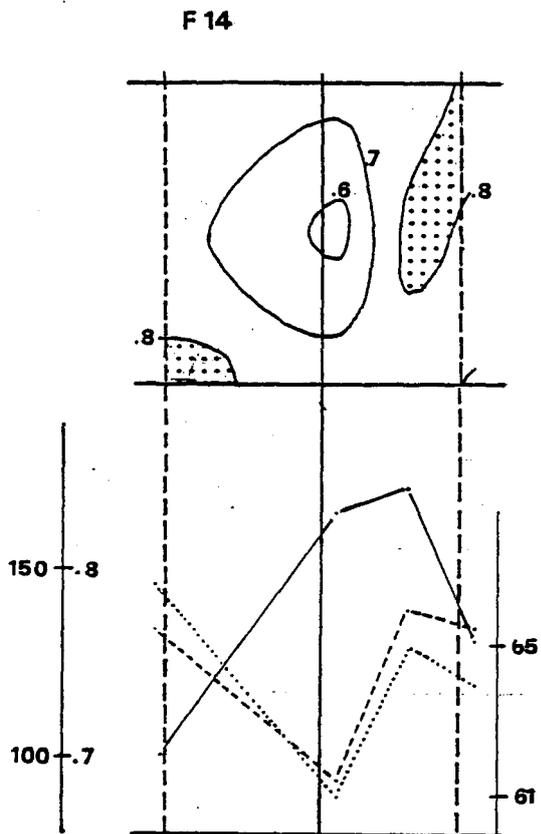
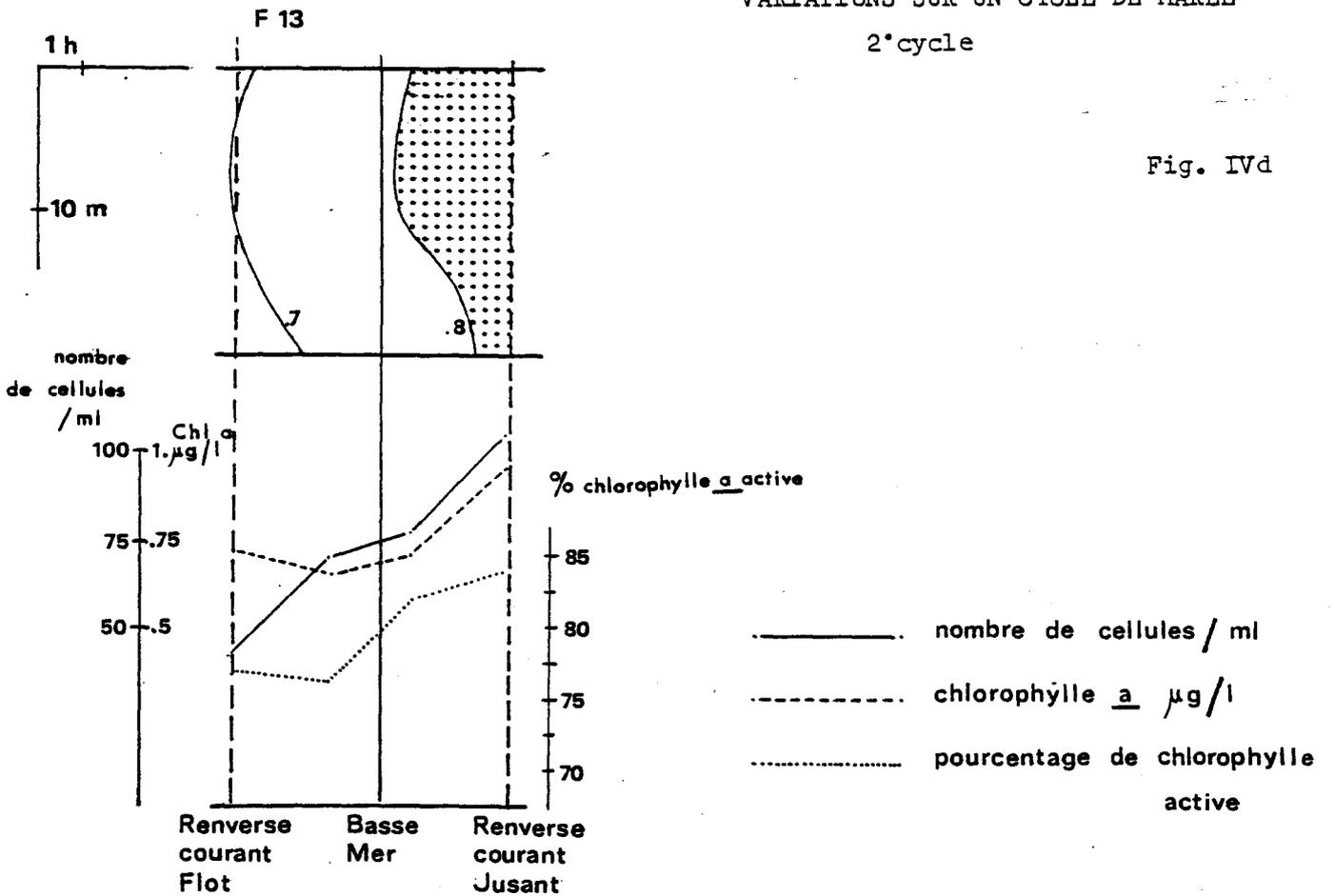


Fig. IVd  
suite

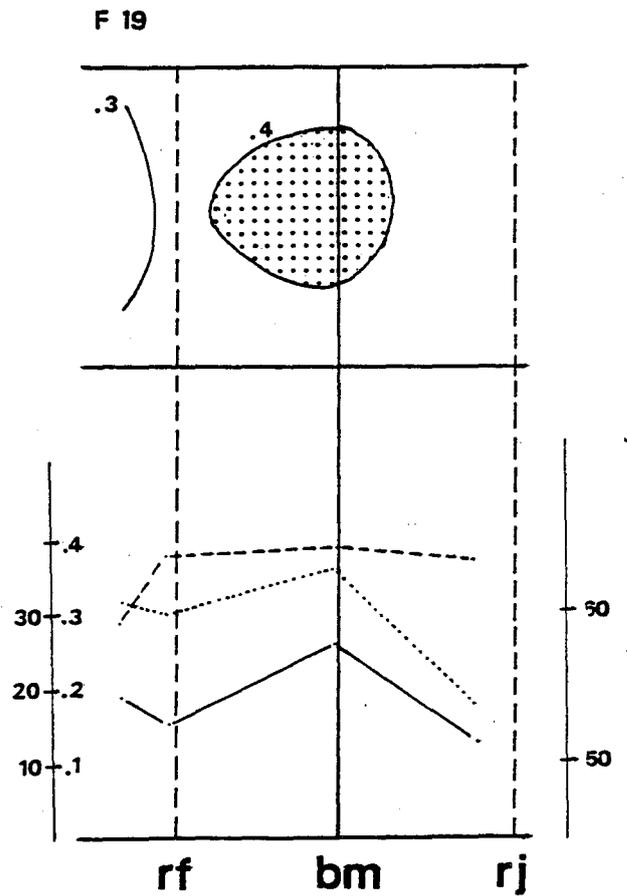
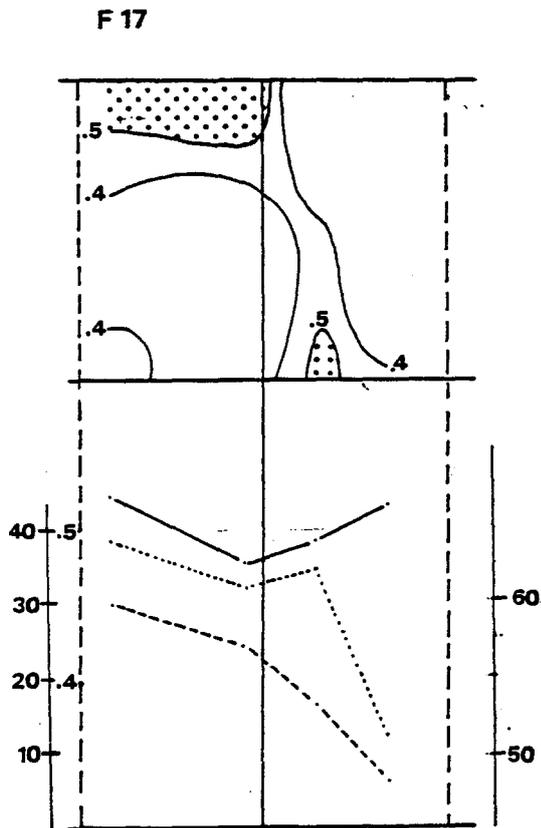
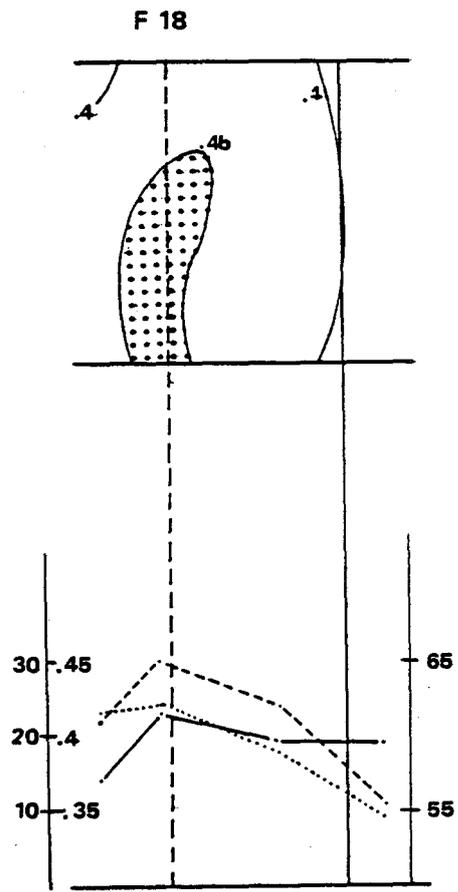
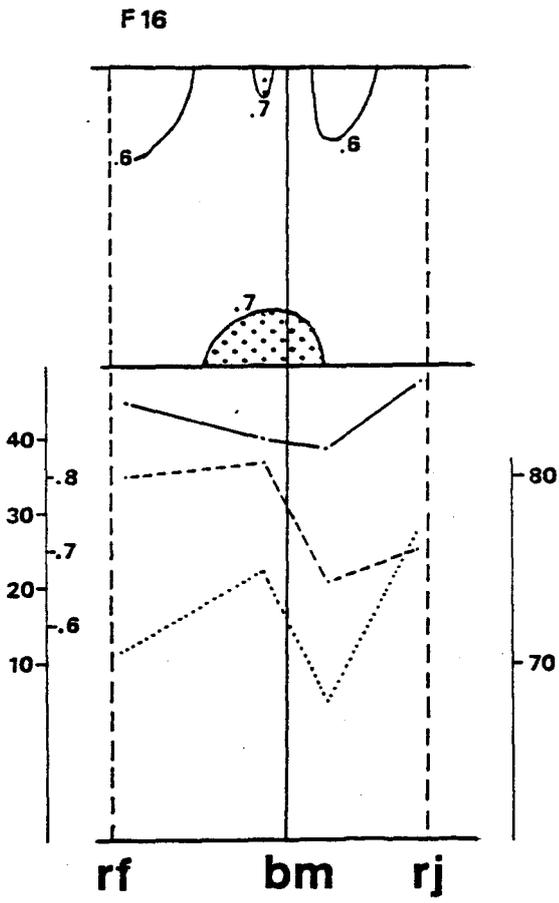
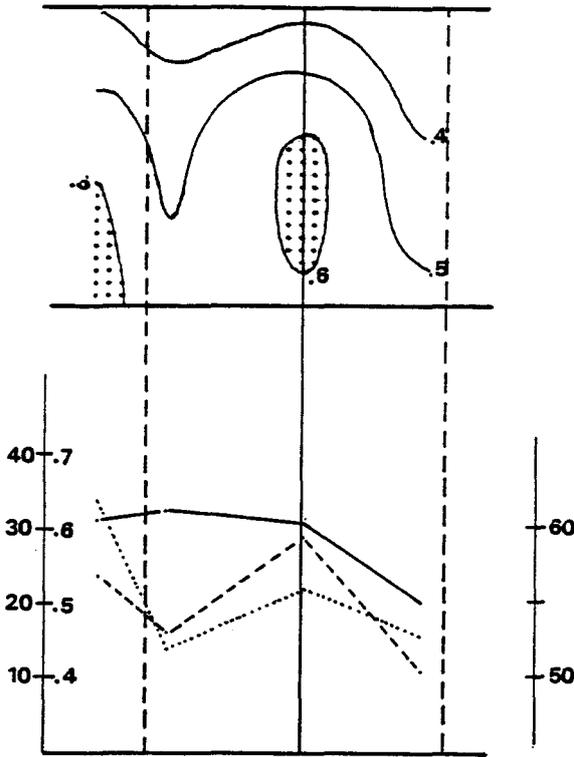
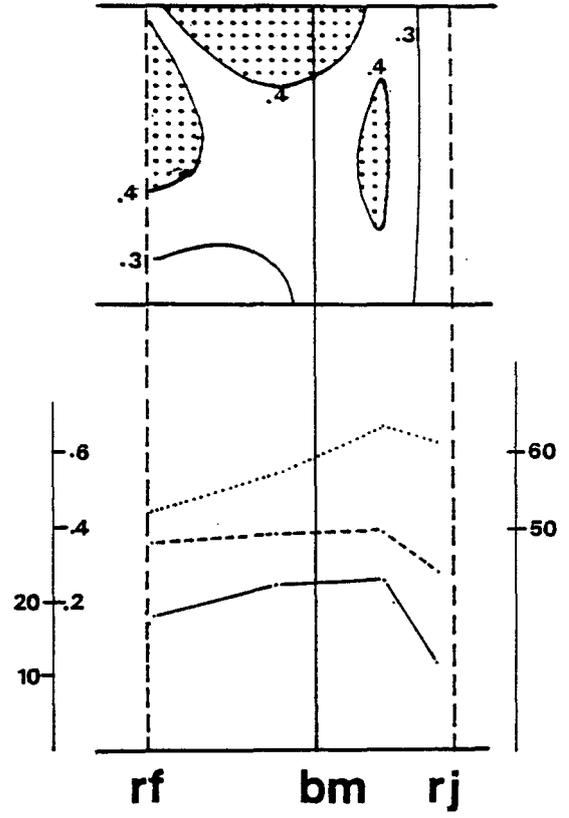


Fig. IVd  
suite

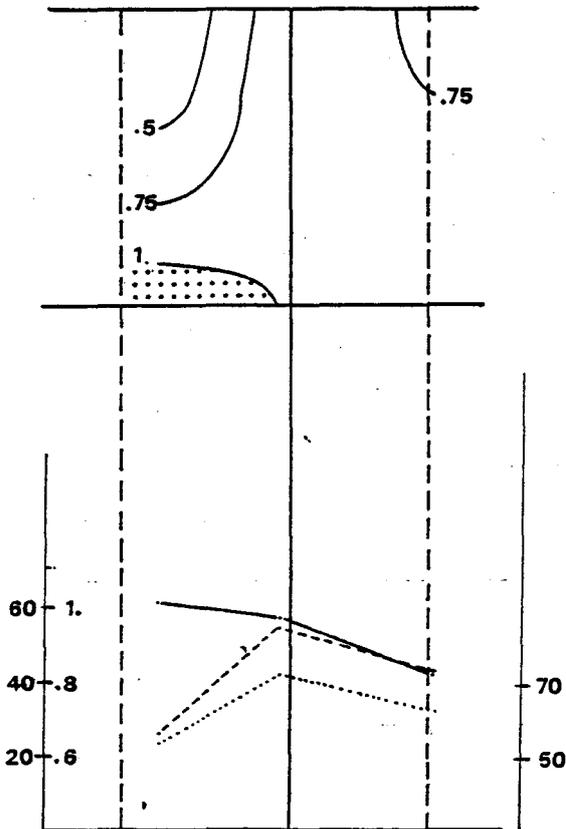
F 21



F 25



F 23



la basse mer (F13, F14, F16). Les valeurs des cellules en division et des cellules mortes semblent fluctuer d'une manière identique (figure IV.e). Le pourcentage de chlorophylle active quant à lui, chute à basse mer pour l'ensemble des campagnes (figure IV.d). Cependant, il ne faut pas sous-estimer l'influence du cycle nycthéral.

#### b) Variations qualitatives

D'importantes variations de dominance spécifiques ont été observées, mais elles ne présentent aucune constance pendant le cycle de marée (cf. rapport premier cycle).

L'examen des diagrammes rang-fréquence, par station et par campagne, confirme ces observations. Ceux-ci varient peu au cours du cycle de marée, excepté pour la campagne F13 (juin 1977). Lors de cette dernière, la composition spécifique évolue entre pleine mer et basse mer, ce qui se traduit par une déformation des diagrammes. L'espèce dominante reste la même (*Rhizosolenia delicatula*), mais on note l'apparition progressive de *Skeletonema costatum* qui domine (après *Rhizosolenia delicatula*) à basse mer.

Il semble difficile de lier ce fait à l'hydrologie qui évolue peu au cours de cette campagne.

Les indices de diversité et d'équitabilité fluctuent également peu ou d'une manière peu cohérente au cours du cycle de marée.

## 2) Cycle saisonnier

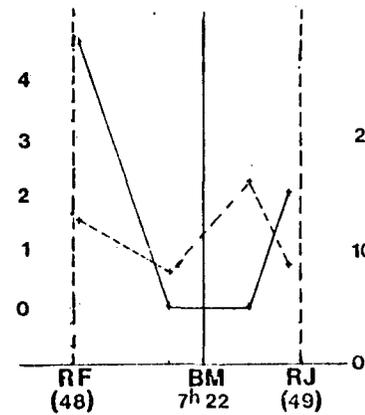
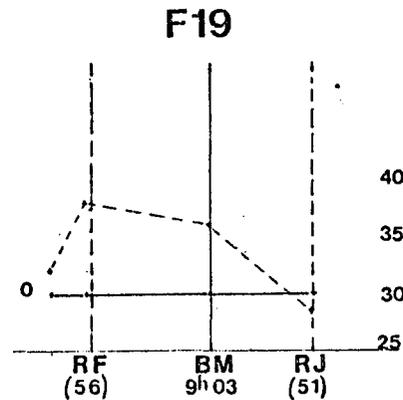
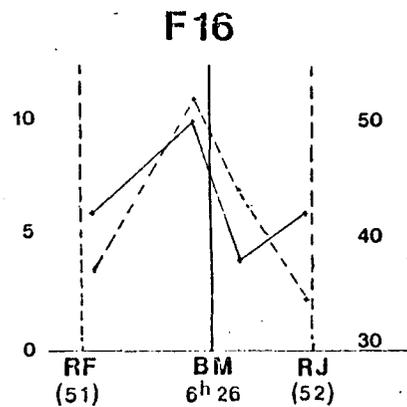
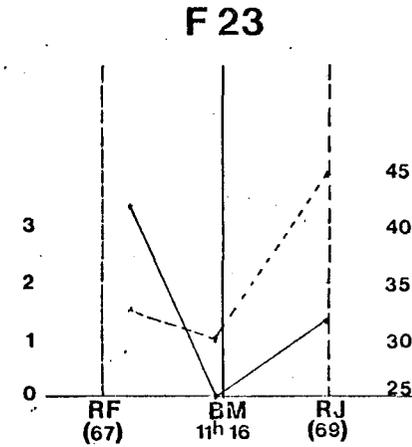
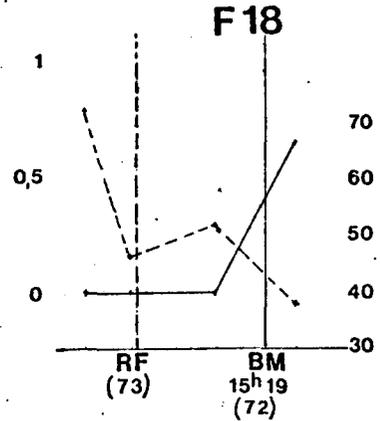
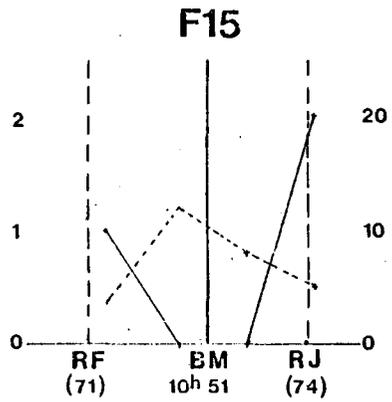
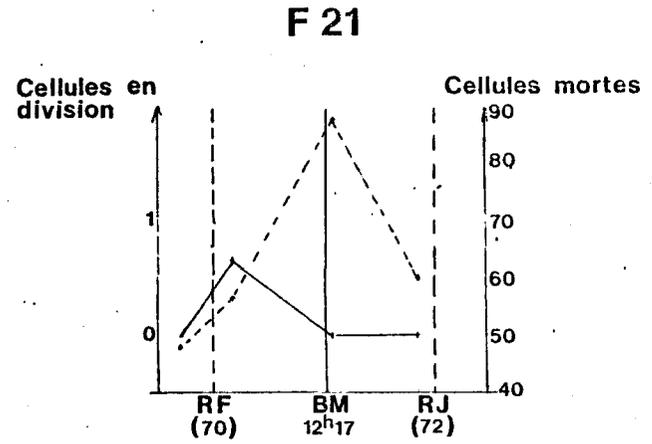
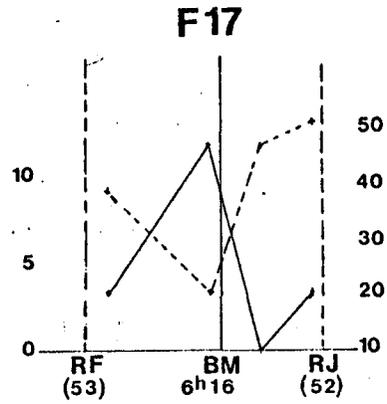
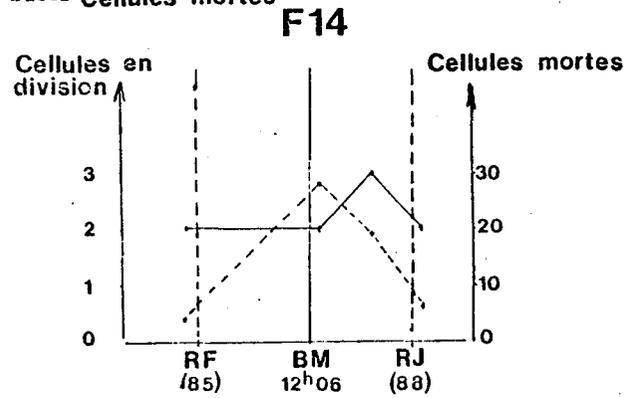
Durant les deux cycles d'études, l'évolution des variations saisonnières des paramètres biologiques fut étudiée aux stations :

- hors zone (sur la colonne d'eau), car elle est échantillonnée sensiblement à un même moment de la marée, à chaque campagne (entre P.M. et P.M. + 2 h) d'où l'atténuation de l'influence du cycle de marée sur les variations saisonnières observées,

2<sup>e</sup> cycle

— Cellules en division

- - - Cellules mortes



suite

- point B (station médiane de la radiale) d'une part, parce qu'elle permet de comparer les variations des paramètres entre campagnes par rapport aux variations caractérisant les cycles de marée et, d'autre part, parce que c'est elle qui fait l'objet des prélèvements aux campagnes intermédiaires (en surface uniquement).

Les graphes présentés ci-après sont tracés à partir des moyennes arithmétiques (et écarts-types) des valeurs aux différentes profondeurs (point D et point B) et des valeurs aux différents points B.

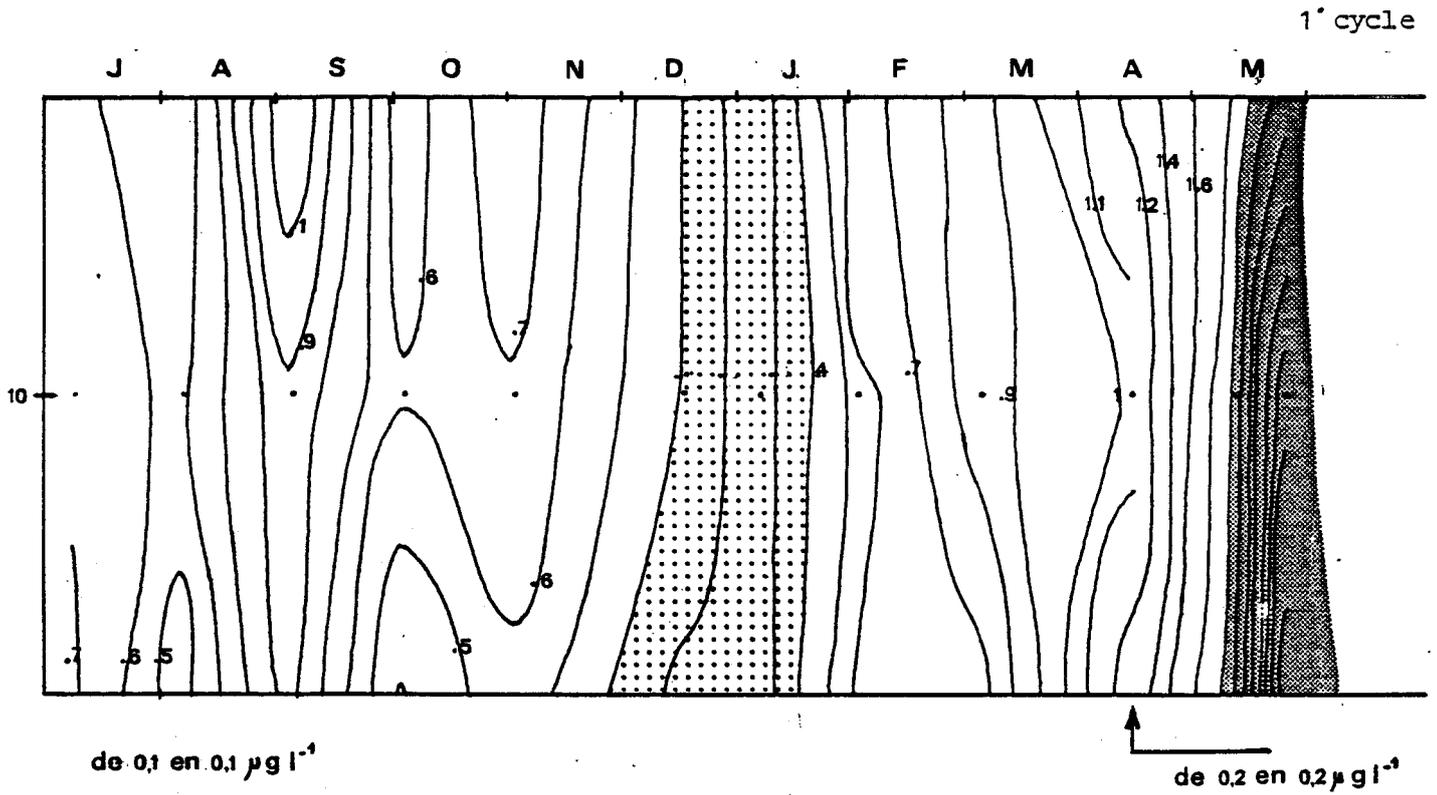
#### a) Variations quantitatives

PIGMENTS : Au point D l'évolution de la chlorophylle a aux trois profondeurs (figure IV.f) confirme l'homogénéisation des valeurs sur la colonne d'eau.

En moyenne, les valeurs des pigments chlorophylliens sont assez faibles durant les deux cycles d'études ( $< 1 \mu\text{g/l}$ ) aussi bien au point D (figure IV.g) qu'au point B (figure IV.h). Durant la période estivale (juillet, août, début septembre, pour la première année) les valeurs fluctuent autour de  $0,7 \mu\text{g/l}$ . Les valeurs inférieures de la deuxième année annoncent plus rapidement la période hivernale comprise de septembre à mar-avril (valeurs en moyenne  $< 0,5 \mu\text{g/l}$ ) ; un minimum est noté en janvier 1977 (F7) :  $0,22 \mu\text{g/l} \pm 0,02$ . La période printanière, amorcée précocement durant la première année (début mars) met en évidence les maxima du mois de mai (première année F12 :  $3 \mu\text{g/l}$  - deuxième année F24 :  $2,4 \mu\text{g/l}$ ) ainsi que la chute des valeurs de juin 1977 (F13) et 1978 (F25), environ  $0,5 \mu\text{g/l}$ . La légère remontée des valeurs de fin juin (F25') signale peut être la période estivale.

Les maxima notés en mai durant les deux années essentiellement dus à de la chlorophylle active (80 à 90 % par rapport à l'ensemble des pigments (figure IV.i et figure IV.j) confirment la précocité du printemps 1977 par rapport à 1978 et laisse supposer une biomasse d'organismes phytoplanctoniques en phase d'activité plus importante.

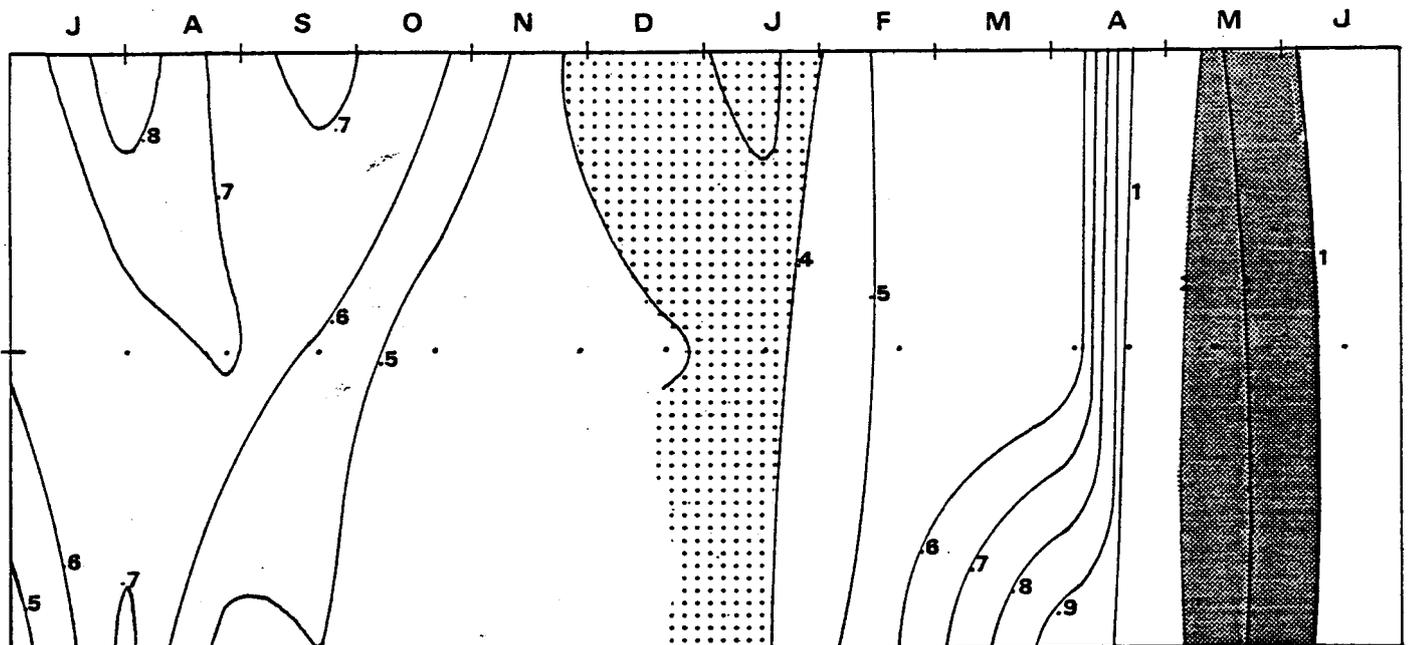
Evolution de la chlorophylle a point D0 .



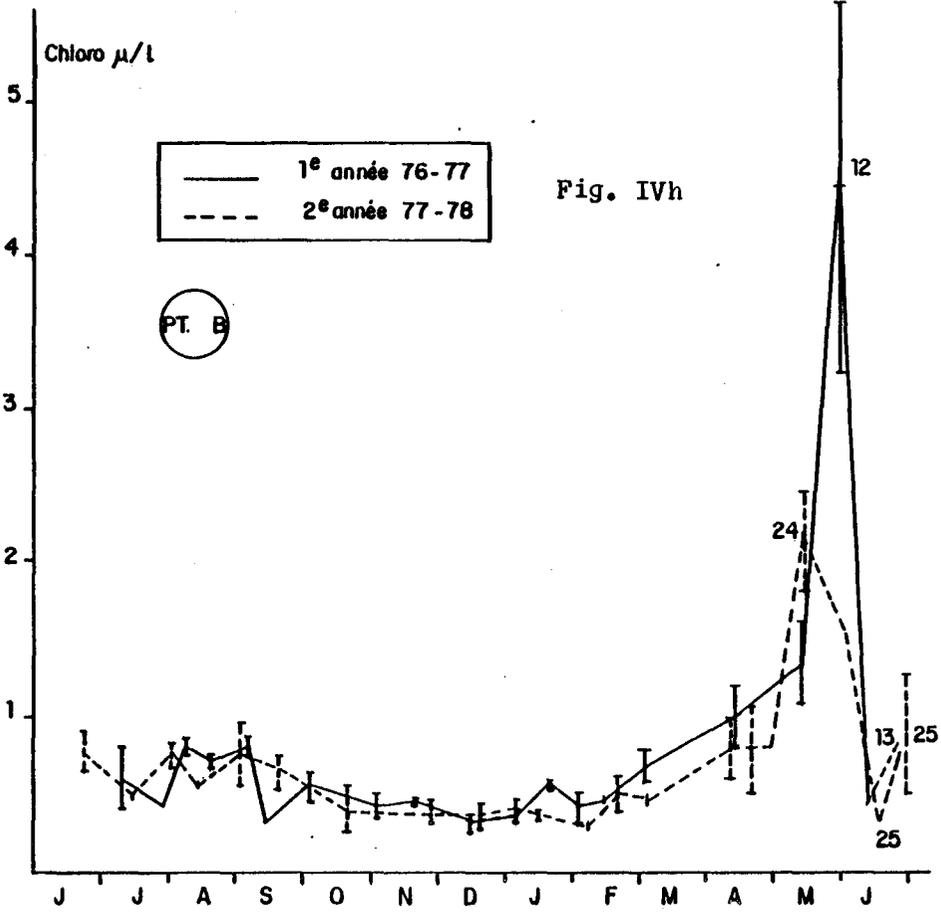
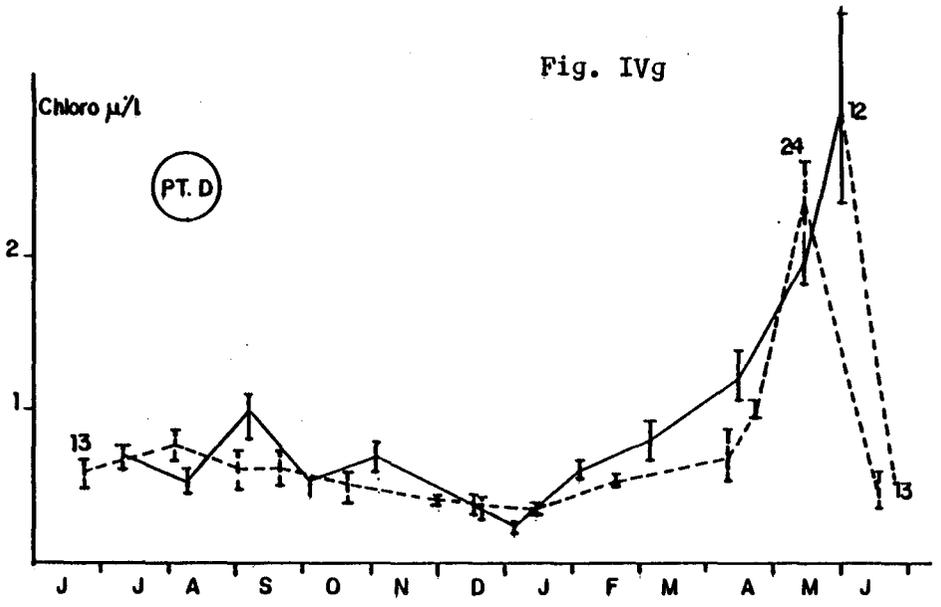
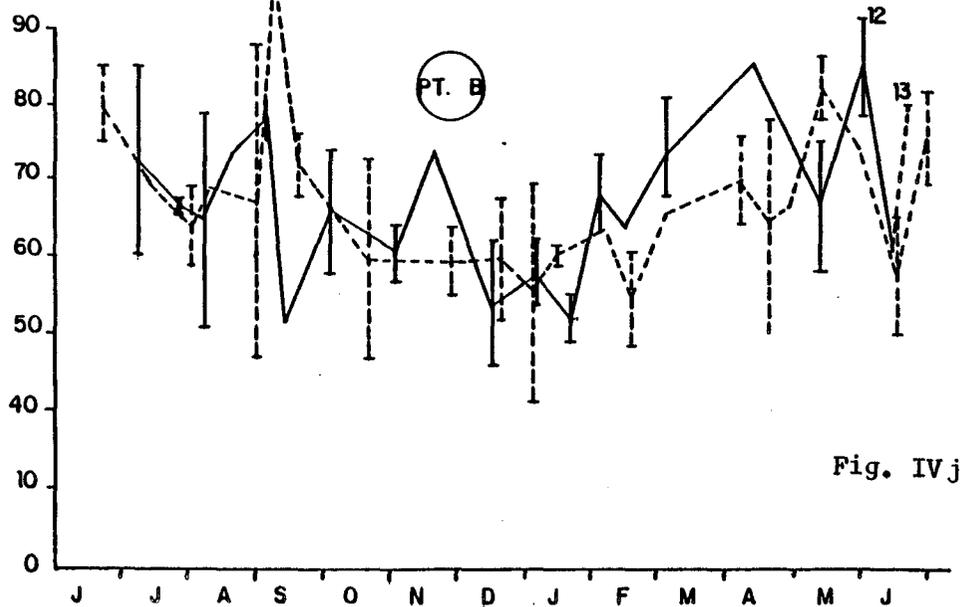
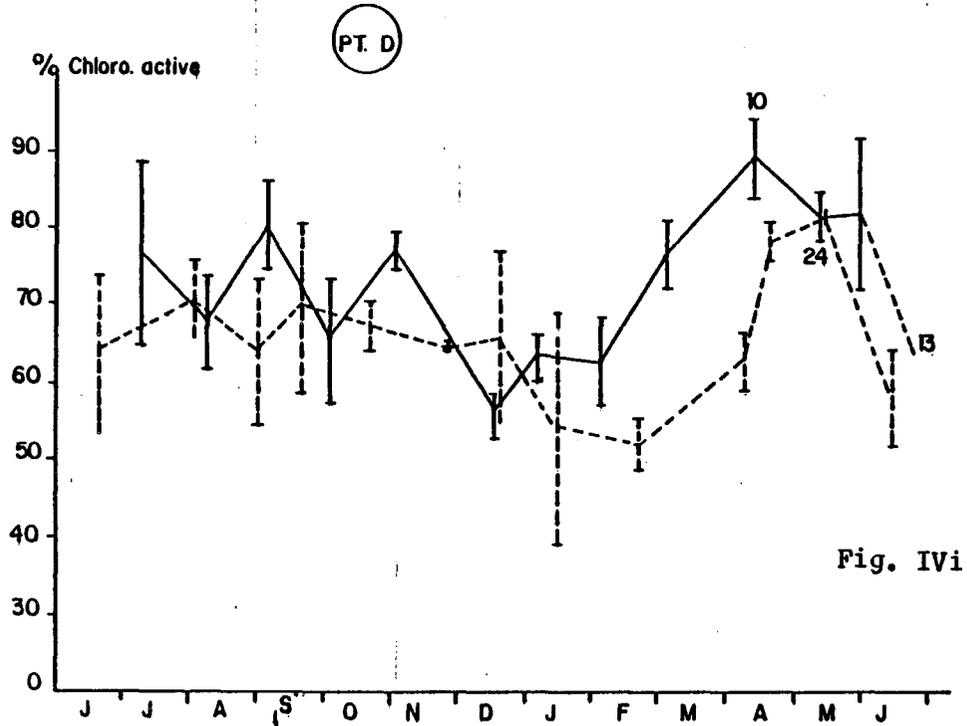
superieur à  $2 \mu\text{g l}^{-1}$

inferieur à  $0.4 \mu\text{g l}^{-1}$

2<sup>e</sup> cycle



VARIATIONS SAISONNIERES DE LA CHLOROPHYLLE



PRODUCTION PRIMAIRE POTENTIELLE : A l'échelle du temps, le taux de production (en général) montre pour les deux cycles une variation annuelle (figure IV.k et IV.l). Bien que des difficultés de comparaison apparaissent dans le détail, durant la période estivale (les deux premières valeurs relevées en F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub> correspondent à des échantillons incubés en lumière naturelle, il manque des valeurs pour F<sub>3</sub> et F<sub>4</sub>) et durant la période printanière (pas de valeurs pour F<sub>9</sub>, F<sub>11</sub> et F<sub>23</sub>), les variations saisonnières sont similaires à celles observées précédemment pour la chlorophylle (maxima en mai).

Pour les deux années, les quotients photosynthétiques du type production/biomasse ont été établis (figure IV.m). L'interprétation des graphes, délicate vu le manque de données en production primaire, montre quand même une activité photosynthétique plus importante durant la période estivale du deuxième cycle (le début d'apparition des petites cellules en chaîne telles *Skeletonema costatum* en serait peut-être la cause).

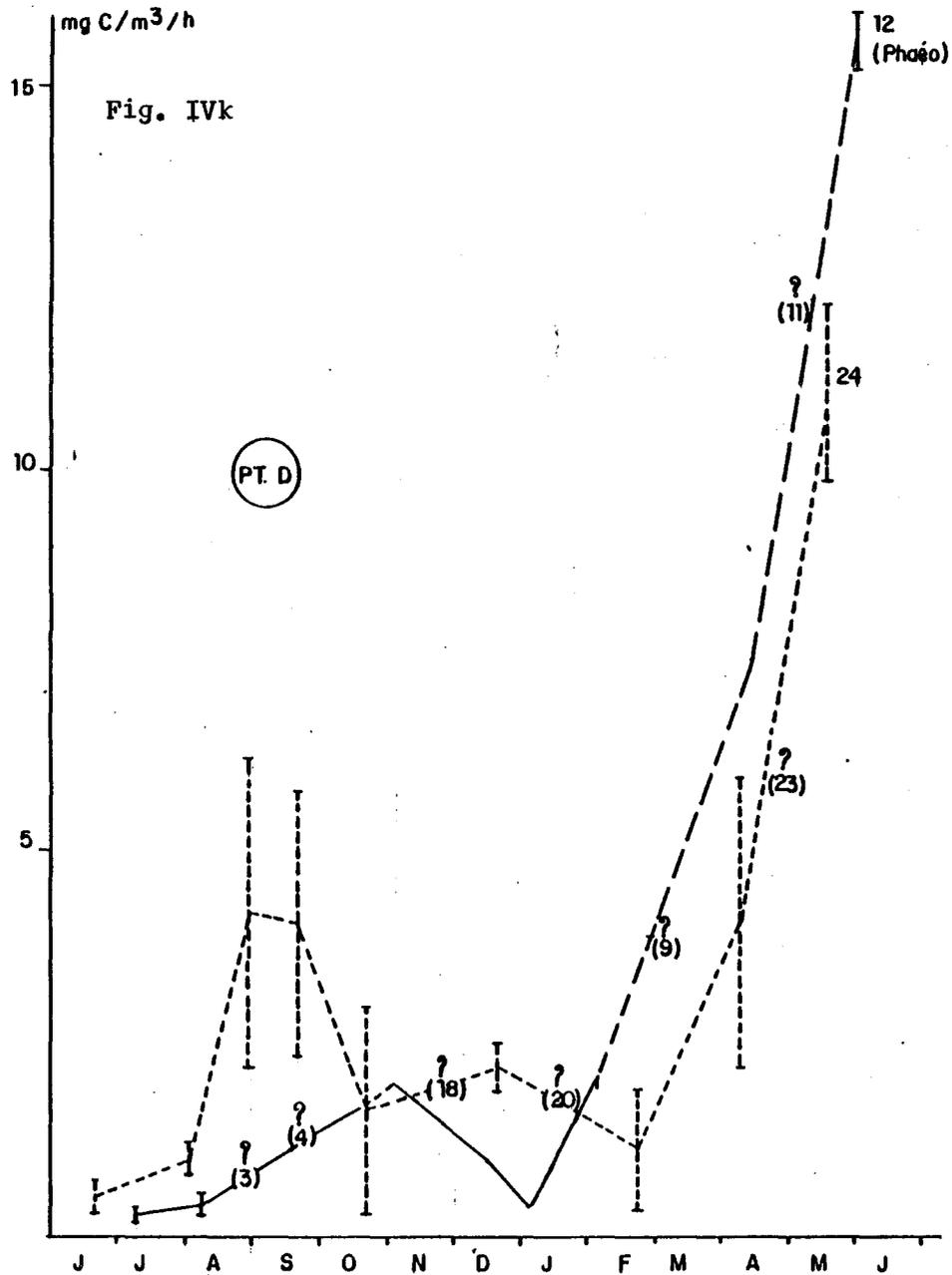
MICROPLANCTON - NANOPLANCTON : La figure IV.n représentant l'évolution du microplancton au point D<sub>0</sub> (aux trois niveaux de prélèvements) démontre l'homogénéisation des valeurs sur la colonne d'eau.

Que ce soit à la station D ou à la station B, les variations saisonnières du microplancton suivent celles de la concentration en chlorophylle a et de la production primaire, et délimitent elles aussi trois périodes d'inégale richesse (figure IV.o et IV.p) comme :

- une période estivale de juillet à août-septembre (F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>, F<sub>13</sub>, F<sub>14</sub>, F<sub>15</sub>) durant laquelle le nombre de cellules est en moyenne de 130.000/litre pour la première année et de 149.000/litre pour la deuxième année. Comme pour la chlorophylle, les valeurs décroissantes de la deuxième année annoncent plus rapidement la période hivernale. Le pic du 23 juillet (F<sub>1'</sub>) correspond à l'observation d'un seul échantillon d'une mission intermédiaire,

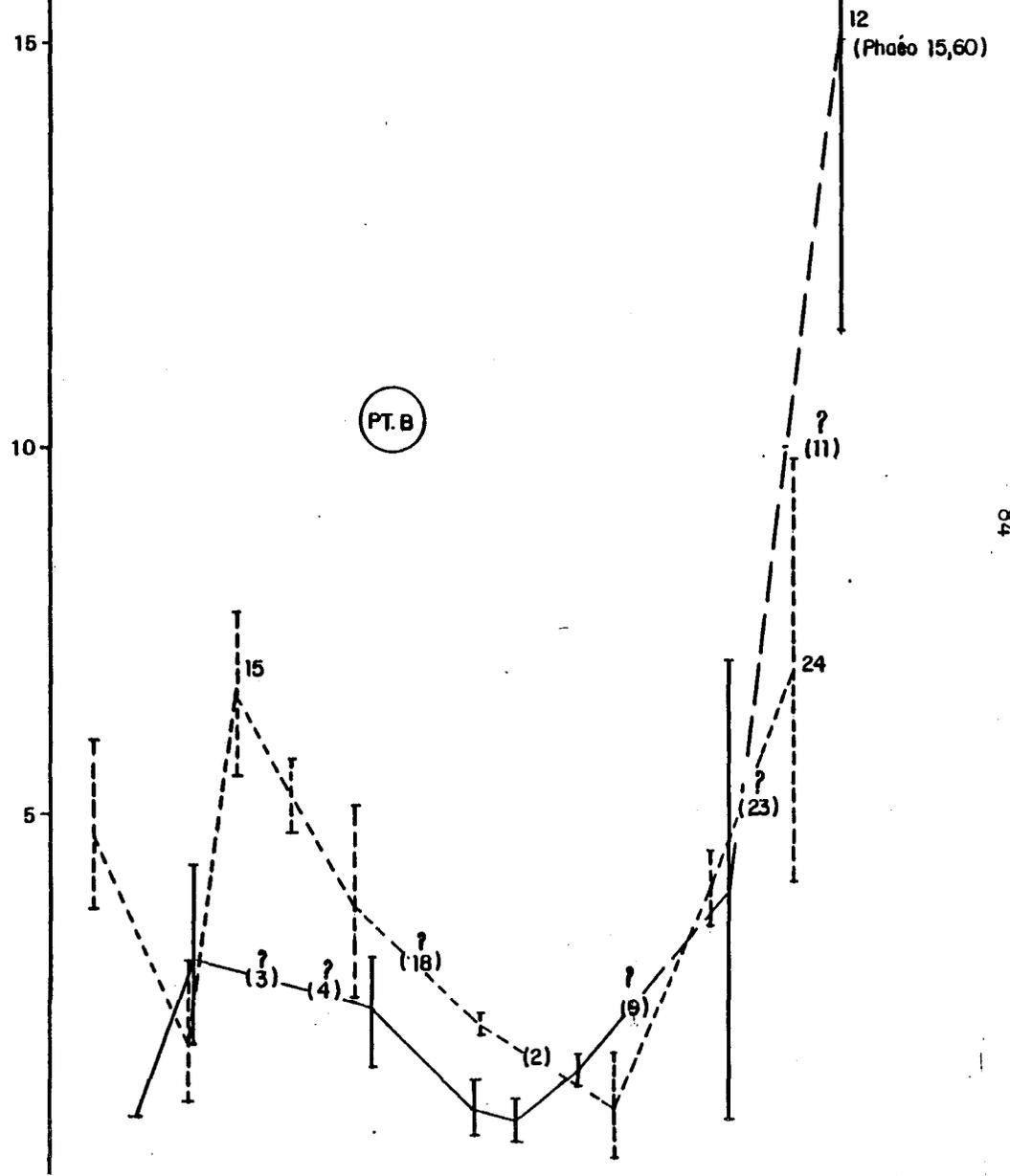
VARIATIONS SAISONNIERES DE LA

PRODUCTION PRIMAIRE



mgC/m<sup>3</sup>/h

Fig. IVl

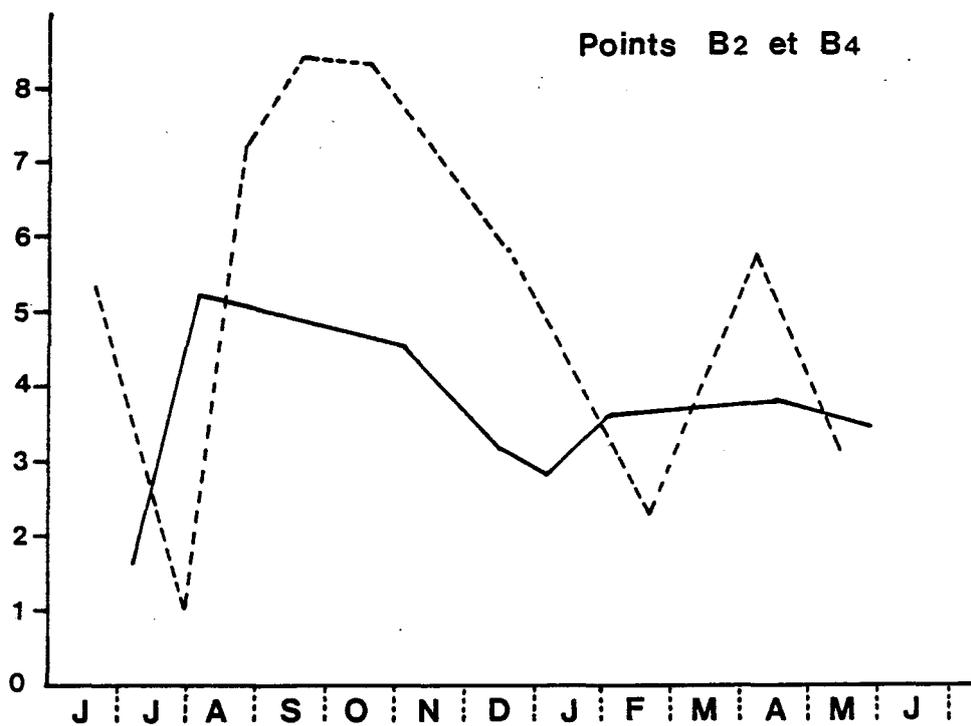
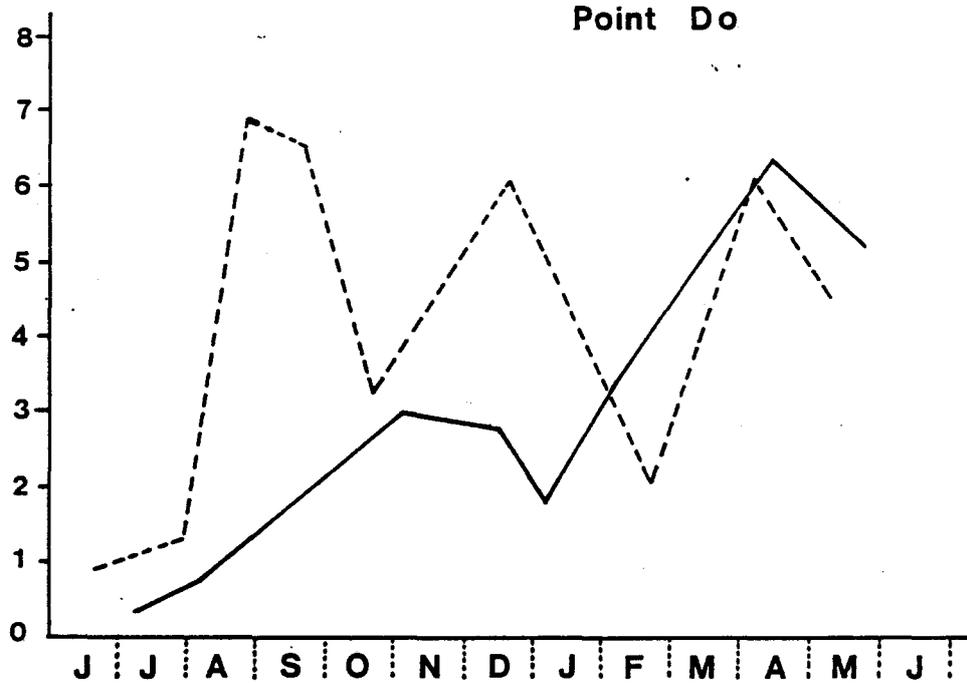


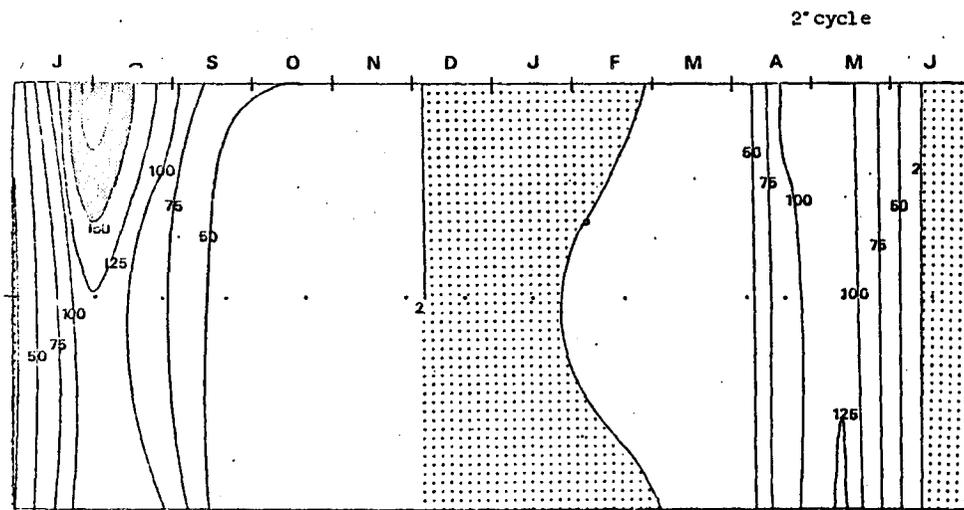
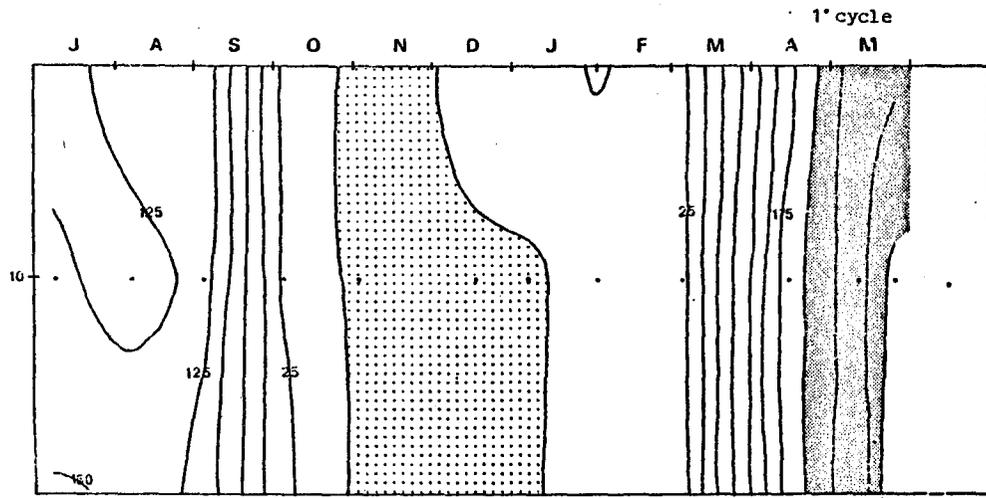
# VARIATIONS SAISONNIERES DU QUOTIENT PHOTOSYNTHETIQUE

Fig. IVm

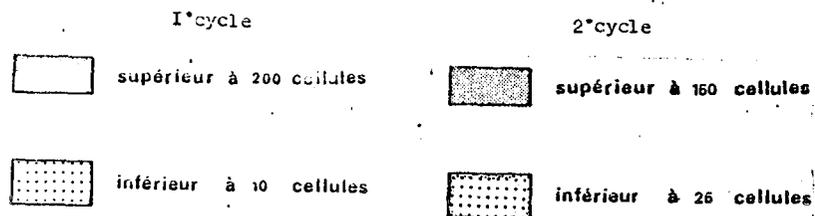
— 1<sup>e</sup> Cycle- - - 2<sup>e</sup> Cycle

Prod. prim.  
Chr. a

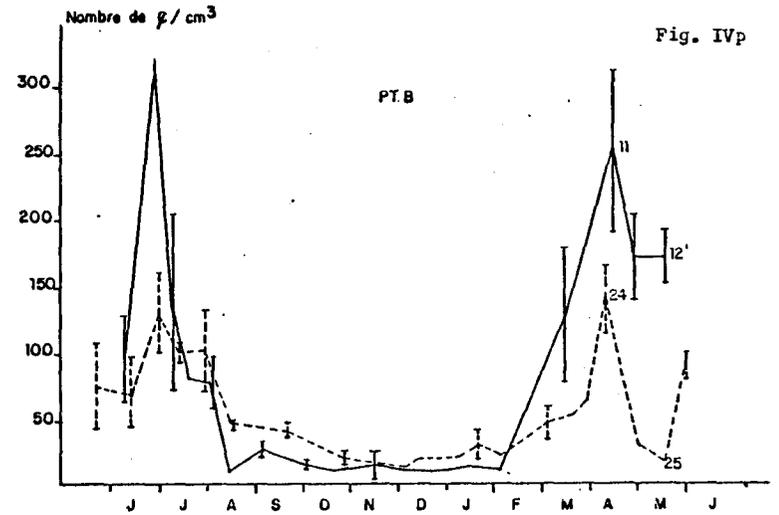
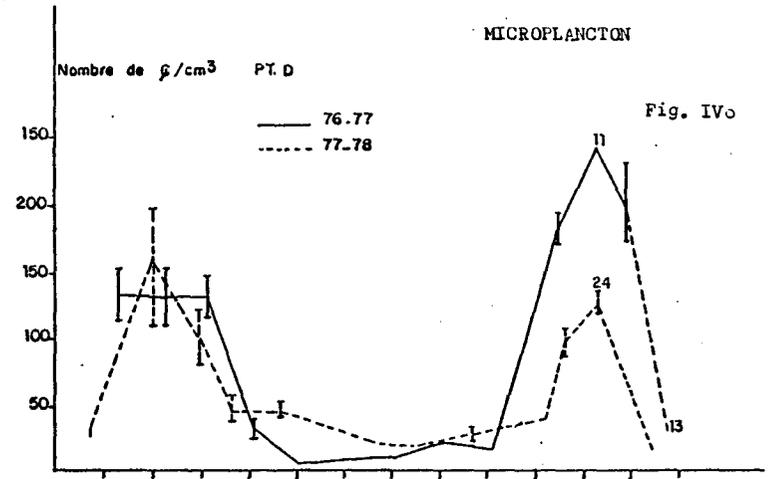




de 25 en 25 cellules par cc



VARIATIONS SAISONNIERES DU MICROPLANCTON



- une période automne - hiver, période durant laquelle la pauvreté quantitative des cellules ne dépasse pas 18.000 cellules/litre la première année, et 28.000 cellules/litre la deuxième année (différence peut être due à la méthodologie),
- une période printanière qui débute pour le premier cycle à partir du 3 mars, tandis qu'un décalage d'un mois est noté lors de la deuxième année (6 avril).

Le démarrage plus progressif de la poussée phytoplanctonique du deuxième cycle rejoint, à la même date, le pic de l'année 1977 (mi-mai), mais cette similitude s'estompe quant à la richesse des "blooms" phytoplanctoniques : première année : 243.000 cellules/l (F11) ; deuxième année : 121.000 cellules/l (F24). Il convient de souligner, pour la première année, la chute du nombre de cellules en fin mai, bien corrélée avec la chlorophylle a, quand on tient compte du développement intensif de *Phaeocystis sp.*, inclus dans le "nanoplancton".

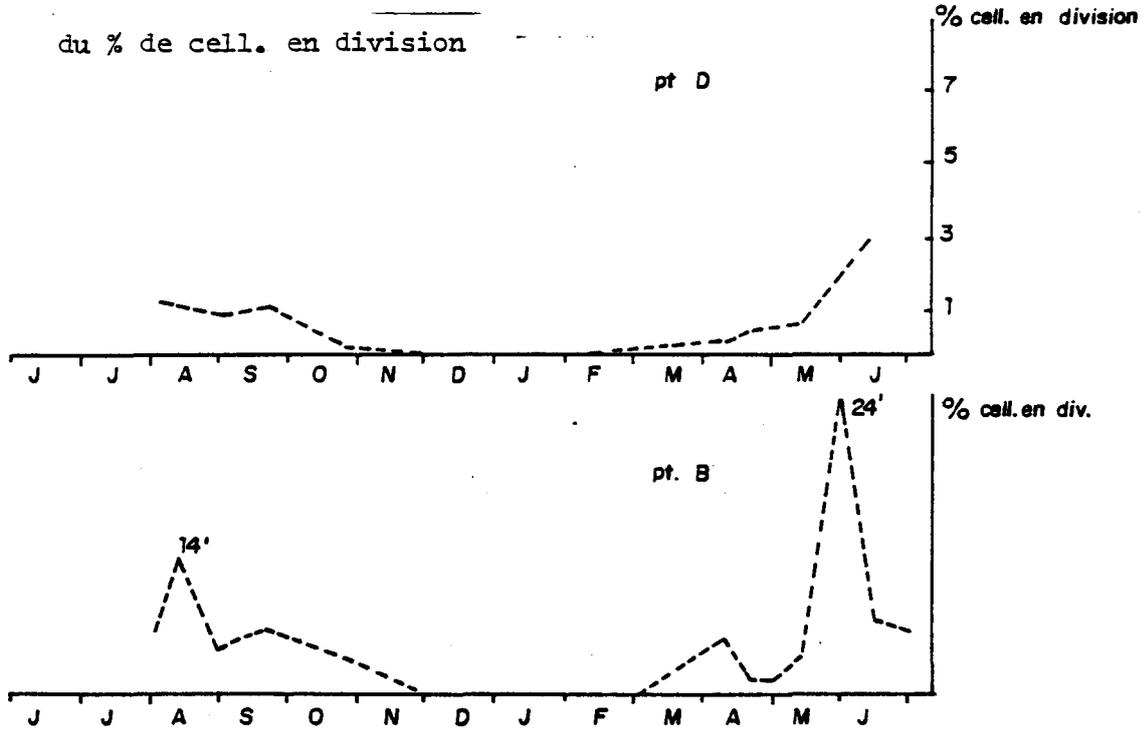
Aux dénombrements du microplancton sont ajoutés, lors du deuxième cycle, les comptages des cellules en division exprimés en pourcentage (figure IV.q). Ceux-ci montrent une chute en période hivernale à première vue reliée avec le pourcentage de chlorophylle active. Cette dernière, indicatrice de l'état physiologique d'une population présente aussi une relation inverse bien évidente (au point D), avec le taux de mortalité cellulaire (figure IV.r) : aux poussées phytoplanctoniques, correspondent des chutes de l'ordre de 2 à 2,5 %.

Pour le "nanoplancton" l'évolution d'abondance (exprimée en nombre de cellules/cm<sup>3</sup> : figure IV.s) suit celle du microplancton avec diminution en période hivernale. Par contre, on peut avoir une meilleure idée de l'importance relative du "nanoplancton" dans l'ensemble de la microflore pélagique quand on calcule le rapport :

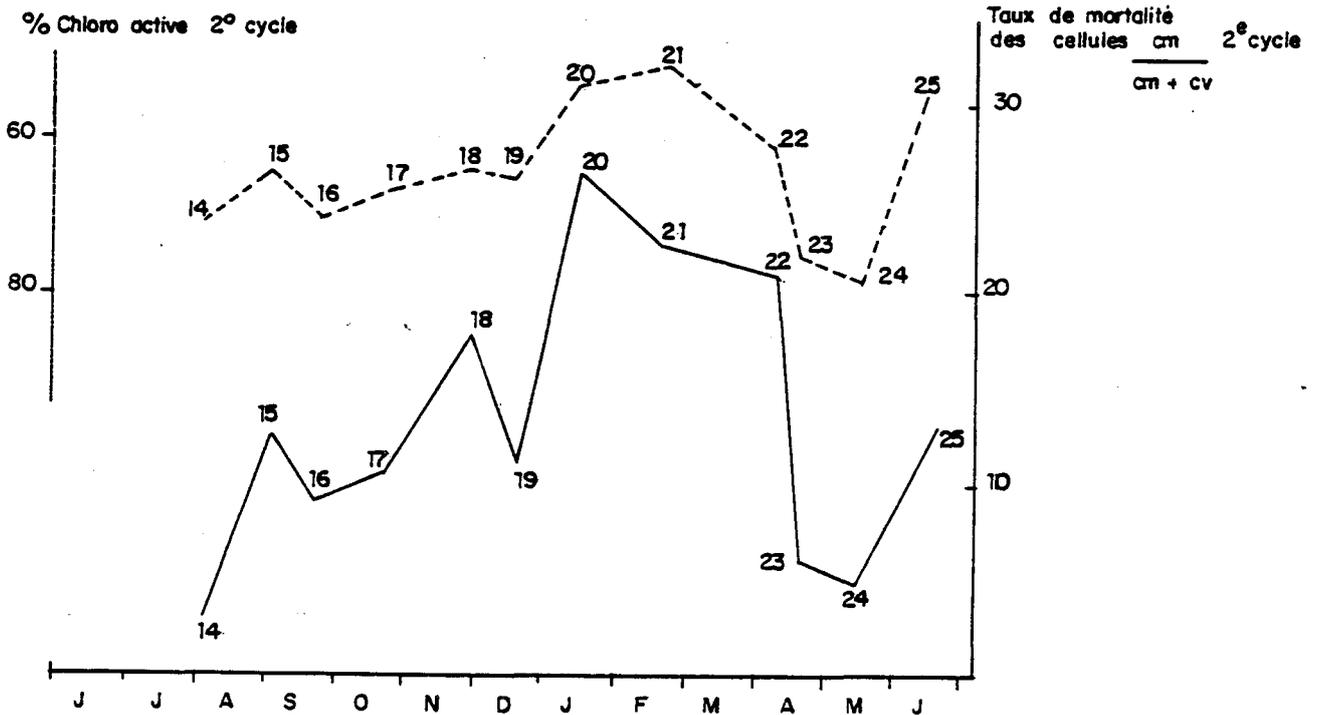
$$\frac{\text{nanoplancton}}{\text{nanoplancton} + \text{microplancton}}$$

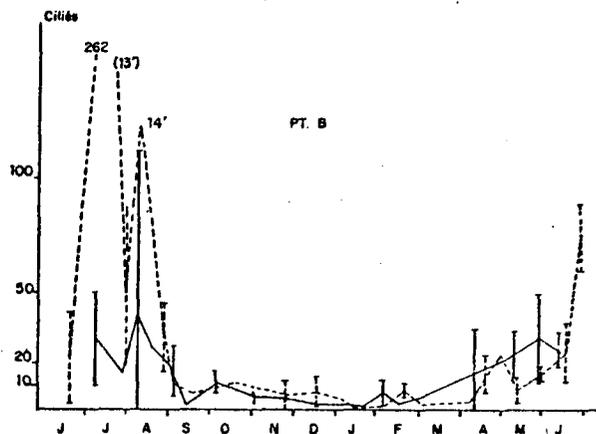
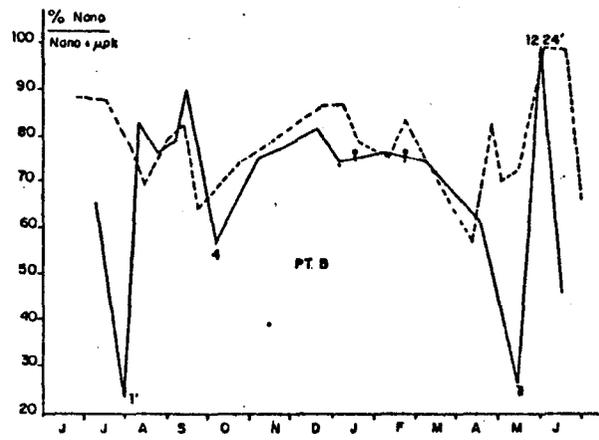
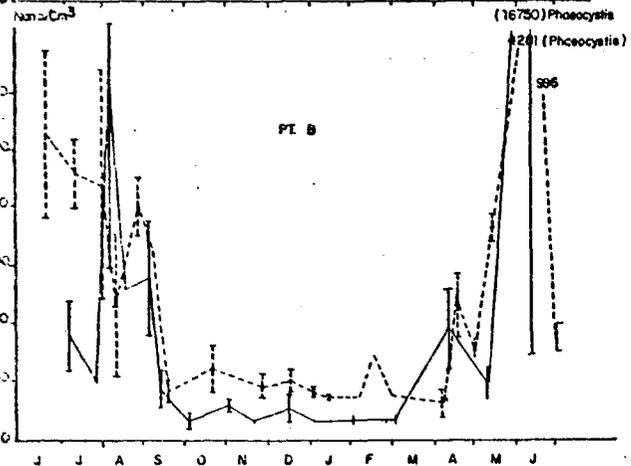
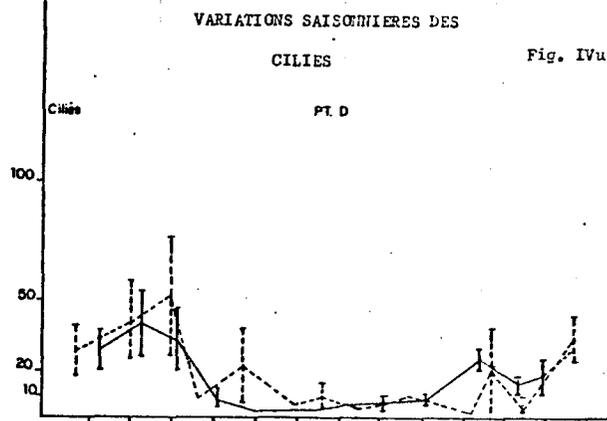
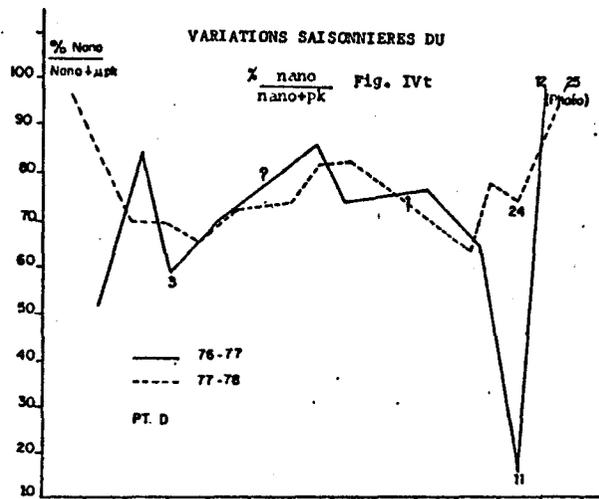
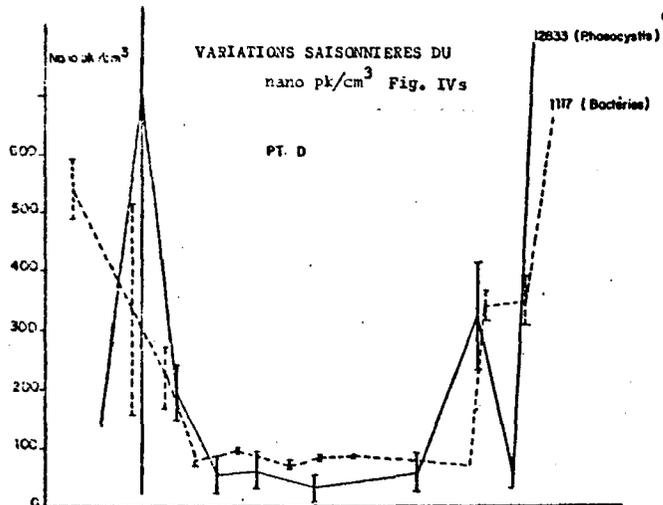
D'après la figure IV.t, le rôle du "nanoplancton" n'est pas à sous-estimer en hiver. Le nanoplancton représente 80 % du phytoplancton.

VARIATIONS SAISONNIERES Fig. IVq  
du % de cell. en division



VARIATIONS SAISONNIERES Fig. IVr  
du taux de mortalité des cellules





L'évolution des ciliés (figure IV.u) quant à elle, approximativement semblable durant les deux cycles, répond au trois périodes saisonnières.

RELATIONS ENTRE LES PARAMETRES QUANTITATIFS :

- microplancton - chlorophylle a : toutes les données ont été ajustées en courbes exponentielles (figures IV.1 à IV.5, annexe). Les courbes IV.1 et IV.2 établies à partir des moyennes de tous les points lors des premier et deuxième cycles, ne peuvent qu'approuver les corrélations observées précédemment entre ces deux paramètres. Les relations sont positives et hautement significatives (> 99 % de signification :  $r = 0,79$  pour le premier cycle,  $r = 0,82$  pour le deuxième cycle). Une meilleure relation est établie lors du deuxième cycle ; en effet, la campagne F12 se distingue des autres par une chlorophylle plus abondante pour un nombre de cellules plus faible (campagne à *Phaeocystis*), un diagramme (figure IV.3) a donc été réalisé en supprimant cette mission ( $r = 0,82 > 99$  % de signification). Les diagrammes pris dans le détail, relation entre les deux années au point D (figure IV.4  $r = 0,79$  et  $r = 0,72$ ) et au point B (sans les missions intermédiaires : figure IV.5 :  $r = 0,77$  et  $r = 0,82$ ), confirment la signification des relations (> 99 %) entre microplancton et chlorophylle a. Quelques points se trouvent éloignés de la courbe comme pour la mission F24, période printanière durant laquelle les populations phytoplanctoniques sont en pleine activité (pourcentage de chlorophylle a élevé),
- pourcentage de chlorophylle a - taux de mortalité cellulaire : la régression linéaire (figure IV.6) complète les observations antérieurement évoquées (figure IV.r) ; la relation est négative et significative ( $r = 0,86 > 99$  % de signification).

b) Variations qualitatives

Celles-ci sont étudiées au niveau de la succession des taxons, au niveau de la diversité spécifique et au niveau de la biométrie.

TAXONOMIE : les variations ont été suivies pour l'ensemble des différents groupes, pour plus de précision, pour les espèces dominantes et peu abondantes :

- Variations du pourcentage de dominance des groupes : les deux tableaux IV.D et IV.E présentés résumant l'organisation de la structure d'ensemble des communautés phytoplanctoniques durant les deux cycles d'étude :
  - . les Bacillariophyceae y jouent un rôle prépondérant, de 98 à 99 % environ. Leur pourcentage décroît en période hivernale à 85 - 90 %, période durant laquelle les Dinophyceae sont quantitativement plus importants (3 - 4 %). En juin 1977 (F25), le pourcentage restreint de diatomées est corrélié au pourcentage élevé de cellules indéterminées,
  - . les Silicoflagellateae : ils présentent, durant les deux cycles, une tendance aux eaux hivernales,
  - . les Haptophyceae (*Phaeocystis sp.*) observés fin mai 1976 (F12) ont été également dénombrés en mai 1977 (F24'), ces espèces très petites, < à 5  $\mu$  sont comptées dans le nanoplancton.
  - . les Chlorophyceae, abondants dans les eaux saumâtres, ont été relevés au point B en été 1976 (0,3 %) et montrent une préférence pour les eaux côtières hivernales (point D : 0,3 - 0,6 %) durant le deuxième cycle,

POURCENTAGE DE DOMINANCE DES GROUPES (1er CYCLE)

Tableau IV.D

GROUPES	CAMPAGNES																			
	1	1'	2	2'	3	3'	4	5	5'	6	7	7'	8	8'	9	10	11	12	12'	
Bacillariophyceae	99,85	-	97,68	-	95,24	-	95,42	85,37	-	97,62	95,22	-	96,46	-	94,49	98,13	98,93	96,85	-	Point hors-zone : D <sub>0</sub>
Dinophyceae	0,09	-	0,77	-	3,28	-	3,52	6,12	-	1,70	2,94	-	3,09	-	3,08	1,22	0,57	2,48	-	
Silicoflagellateae	0,07	-	1,34	-	0,20	-	0,45	8,11	-	0,34	0,74	-	0,13	-	0,56	0,28	0,03	-	-	
Chlorophyceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chrysophyceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,34	1,10	-	0,32	-	-	-	-	0,33	-	
Euglenophyceae	-	-	0,21	-	1,28	-	0,61	0,40	-	-	-	-	-	-	-	0,37	0,19	0,33	-	
Cyanophyceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cellules indéterminées	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,87	-	0,27	-	-	
Bacillariophyceae	99,46	99,53	96,69	97,73	95,29	87,67	93,25	92,86	91,71	90,71	95,60	96,04	89,38	94,00	92,38	95,09	96,91	97,49	97,95	Point médian : B
Dinophyceae	0,46	0,31	1,50	1,08	3,35	11,41	4,71	4,27	7,18	3,96	3,83	1,49	3,07	2,20	3,91	1,14	0,85	1,88	2,05	
Silicoflagellateae	0,07	0,16	1,06	0,36	0,24	0,74	0,58	2,57	0,55	5,03	0,35	0,50	1,15	-	2,00	0,27	0,21	0,16	-	
Haptophyceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chlorophyceae	-	-	0,33	-	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Chrysophyceae	-	-	-	-	-	-	0,21	0,29	0,55	0,21	0,22	-	0,27	0,20	-	-	-	0,20	-	
Euglenophyceae	-	-	0,42	0,84	1,09	0,18	1,24	-	-	-	-	-	-	-	0,16	0,10	0,03	0,16	-	
Cyanophyceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cellules indéterminées	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,98	6,13	3,60	1,56	3,40	2,00	0,11	-	

POURCENTAGE DE DOMINANCE DES GROUPES (2ème CYCLE).

Tableau IV.E

GROUPES	C A M P A G N E S																							
	13	13'	14	14'	15	15'	16	17	18	19	19'	20	20'	21	21'	22	23	23'	24	24'	25	25'		
Bacillariophyceae	97,67	-	95,37	-	96,28	-	95,34	95,80	93,31	93,77	-	94,80	-	89,59	-	89,96	92,48	-	96,13	-	64,67	-	Point hors-zone : D <sub>0</sub>	
Dinophyceae	1,67	-	3,96	-	2,70	-	2,17	2,64	6,32	2,93	-	3,72	-	4,11	-	2,64	2,08	-	0,94	-	9,78	-		
Silicoflagelleae	-	-	0,44	-	0,34	-	0,47	0,63	0,37	1,47	-	1,49	-	1,64	-	0,88	0,50	-	0,50	-	0,54	-		
Chlorophyceae	-	-	-	-	-	-	0,62	-	-	0,37	-	-	-	0,27	-	-	0,07	-	-	-	-	-		
Chrysophyceae	-	-	-	-	-	-	-	0,78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Euglenophyceae	1,39	-	0,22	-	0,68	-	1,24	0,16	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14	-	-	-	0,54	-		
Cyanophyceae	0,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Cellules indéterminées	-	-	-	-	-	-	0,16	-	-	1,47	-	-	-	4,38	-	6,51	4,73	-	2,43	-	24,46	-		
Bacillariophyceae	98,01	93,55	95,87	93,95	97,17	99,43	96,16	96,76	91,13	91,29	94,76	90,21	90,76	92,49	96,77	86,30	85,89	85,00	92,50	90,88	65,22	94,66		Point médian : B
Dinophyceae	1,60	3,58	2,69	3,26	1,06	-	1,19	2,38	5,96	4,20	3,79	4,55	3,23	3,25	2,42	2,40	3,11	2,19	1,06	8,47	9,25	2,09		
Silicoflagelleae	-	0,14	0,58	2,33	0,47	0,29	0,68	0,18	2,62	2,18	0,76	0,35	2,77	2,69	0,81	0,11	0,56	0,32	0,25	0,33	0,45	-		
Haptophyceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Chlorophyceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19	-	-	-	-	-	-	0,30	-		
Chrysophyceae	-	0,43	-	-	-	-	0,23	0,31	-	0,62	0,76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Euglenophyceae	0,39	2,29	0,87	0,47	1,30	0,29	0,79	0,18	-	1,09	-	-	-	-	-	-	-	0,31	0,05	0,33	0,30	1,04		
Cyanophyceae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Cellules indéterminées	-	-	-	-	-	-	0,96	0,18	0,29	0,62	-	4,90	3,23	1,39	-	11,19	10,44	12,19	6,15	-	24,48	2,20		

- . les Chrysophyceae, moins abondantes dans les eaux marines que dans les eaux douces, sont répandues durant les deux cycles dans les eaux hivernales (points D et B),
  - . les Euglenophyceae sont rencontrés en période hivernale et printanière (1977 - 1978),
  - . les Cyanophyceae, peu courantes à FLAMANVILLE, ont été notés en décembre 1976 (point B) et en été 1977 (point D),
  - . les cellules indéterminées, cellules pour la plupart en chaînes, ont été relevées en période hivernale et printanière (1976 et 1977). Le pourcentage élevé (24,4 %) observé en juin 1977 a peut-être une relation avec la présence de nombreuses bactéries.
- Variations des espèces dominantes : les variations saisonnières des espèces principales du premier cycle et du deuxième cycle sont représentées (figure IV.v à figure IV.y) à partir des moyennes des valeurs obtenues aux points D et B (campagnes intermédiaires comprises), tableaux IV.7 à IV.10 (annexe). Le pourcentage représente le rapport entre le nombre de cellules de l'espèce considérée et le nombre total de toutes les espèces considérées. La classification choisie pour les figures a été effectuée à partir des espèces dominantes hivernales :
- . pour le premier cycle : F7 (5 janvier 1977),
  - . pour le deuxième cycle : F20 (17 janvier 1978).

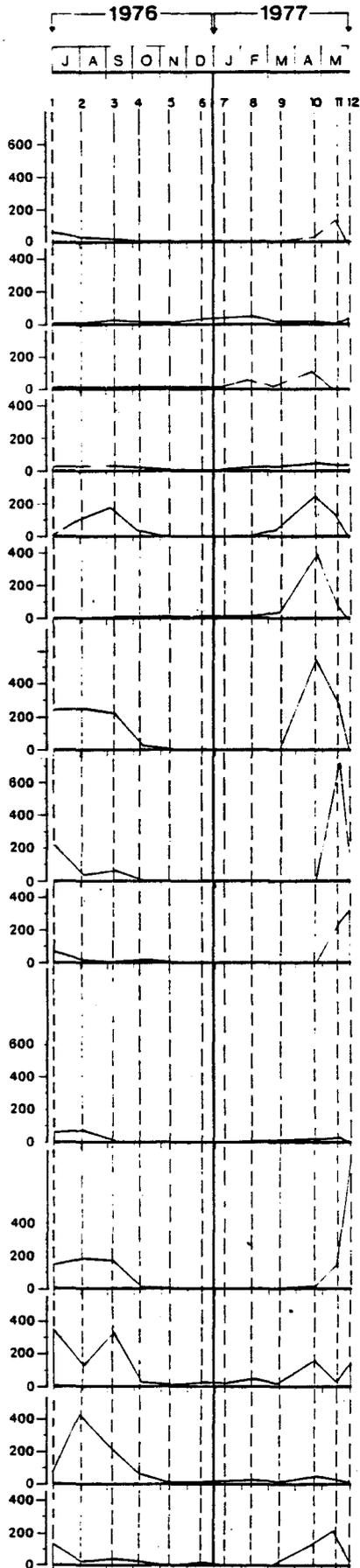
La période hivernale est caractérisée par la dominance de *Paralia sulcata* (35 % environ lors du premier cycle - 20 % au cours du deuxième cycle) ; espèce tychopélagique , sa rencontre

**SITE DE FLAMANVILLE · 1<sup>er</sup> CYCLE**

**VARIATIONS SAISONNIERES DES PRINCIPALES ESPECES AU POINT "D"**

**[NOMBRE DE CELLULES/10 ml]**

**[% DE DOMINANCE]**



*Nitzschia* sps

*Paralia sulcata*

"Chaines"

*Nitzschia closterium*

*Thalassiosira* sps

*Thalassiosira rotula*

*Chaetoceros* spp

*Rhizosolenia fragilissima*

*Rhizosolenia* sps

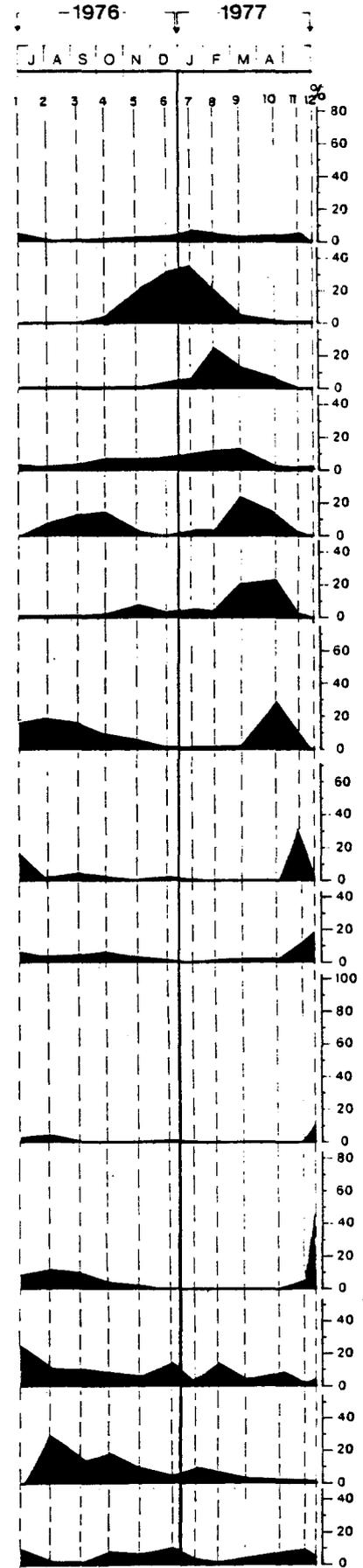
*Nitzschia "delicatissima"*

*Rhizosolenia delicatula*

*Skeletonema costatum*

*Thalassiosira gravida*

*Thalassionema nitzschioides*



80

60

40

20

0

40

20

0

40

20

0

40

20

0

60

40

20

0

40

20

0

100

80

60

40

20

0

80

60

40

20

0

40

20

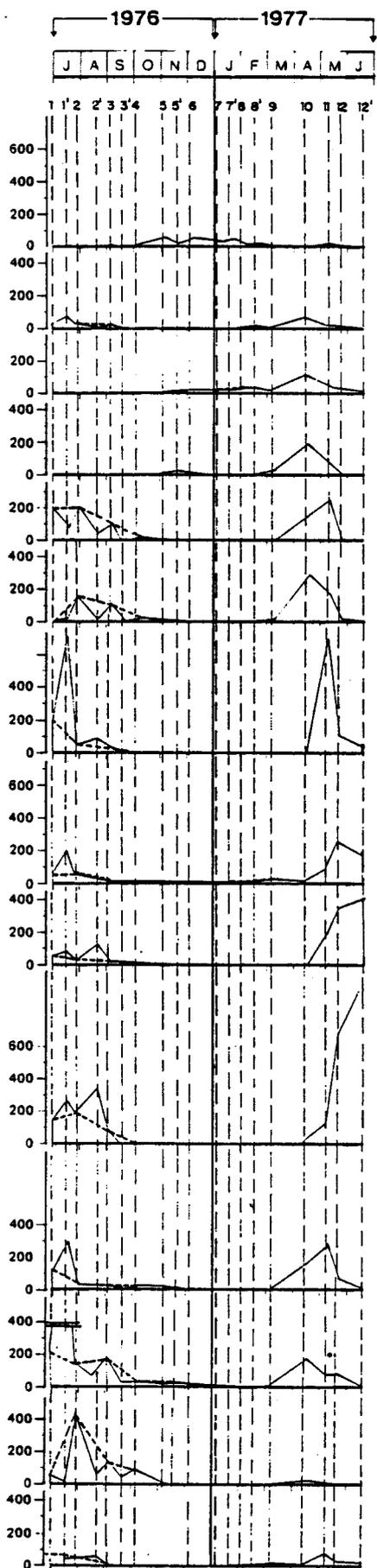
0

**SITE DE FLAMANVILLE · 1<sup>er</sup> CYCLE**

**VARIATIONS SAISONNIERES DES PRINCIPALES ESPECES AU POINT "B"**

**NOMBRE DE CELLULES/10 ml**

**% DE DOMINANCE**



*Paralia sulcata*

*Nitzschia closterium*

"Chaines"

*Thalassiosira rotula*

*Chaetoceros spp*

*Thalassiosira sps*

*Rhizosolenia fragilissima*

*Nitzschia "delicatissima"*

*Rhizosolenia sps*

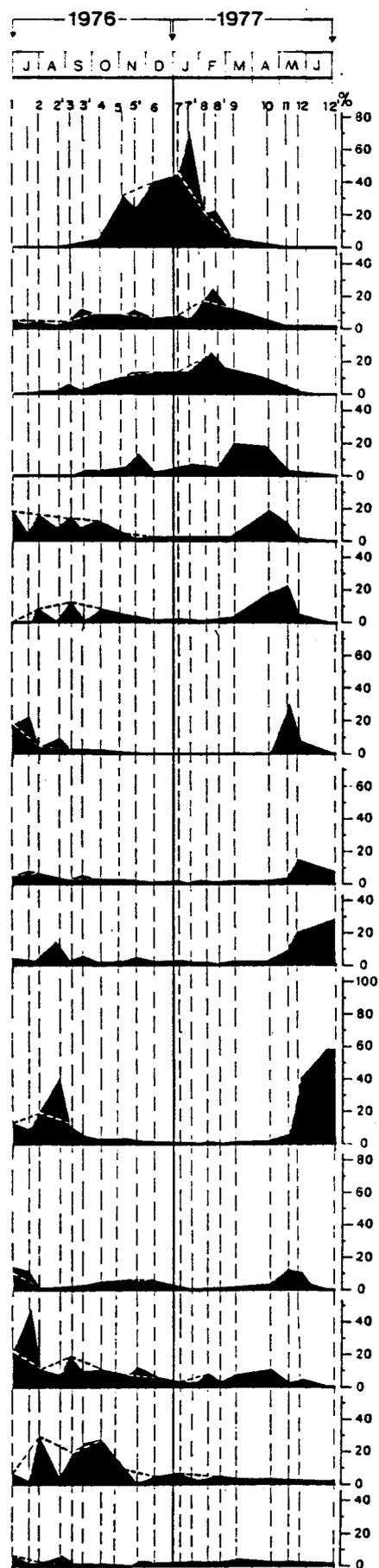
*Rhizosolenia delicatula*

*Thalassionema nitzschioides*

*Skeletonema costatum*

*Thalassiosira gravida*

*Nitzschia sps*

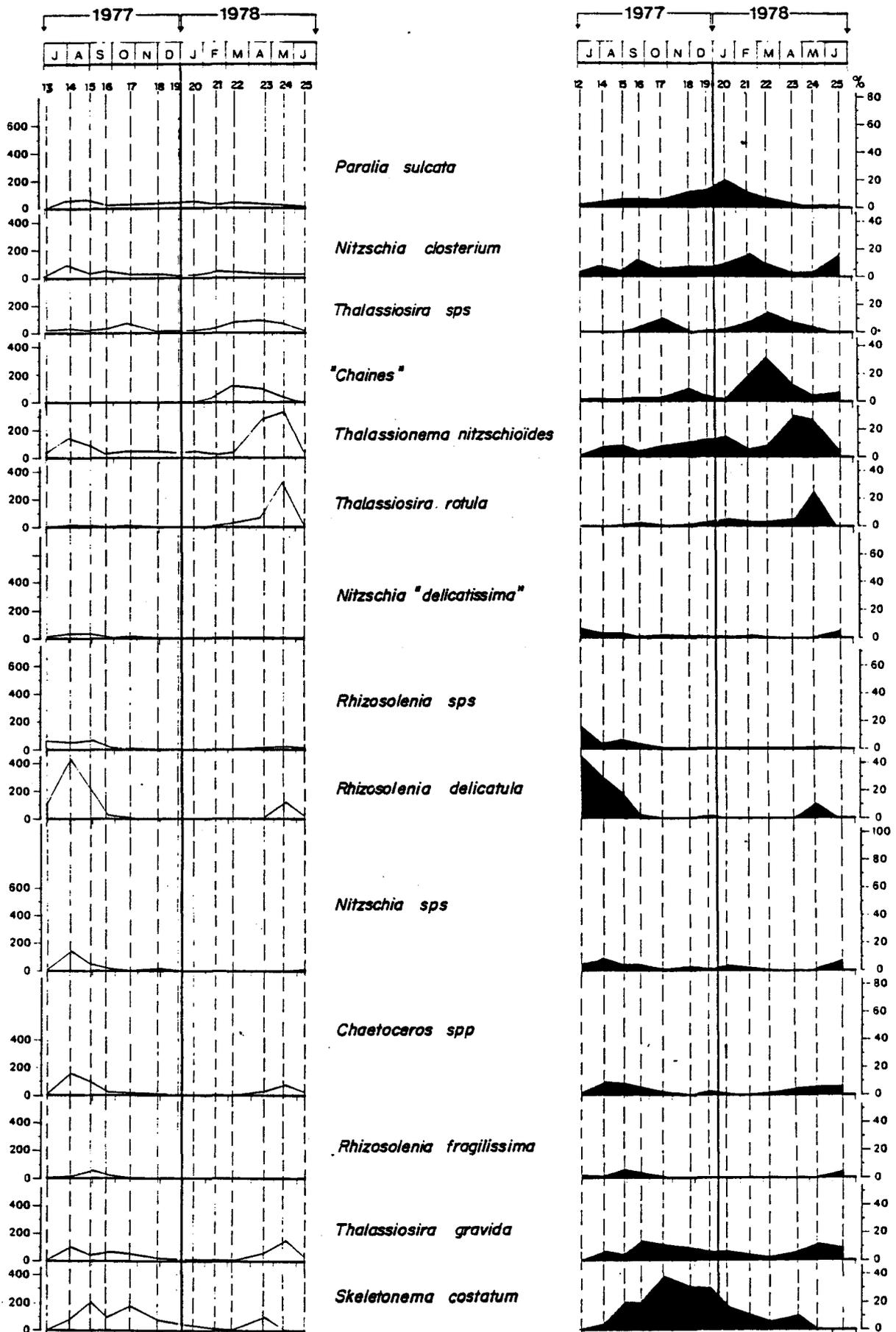


**SITE DE FLAMANVILLE · 2° CYCLE**

**VARIATIONS SAISONNIERES DES PRINCIPALES ESPECES AU POINT "D"**

**NOMBRE DE CELLULES/10 ml**

**% DE DOMINANCE**

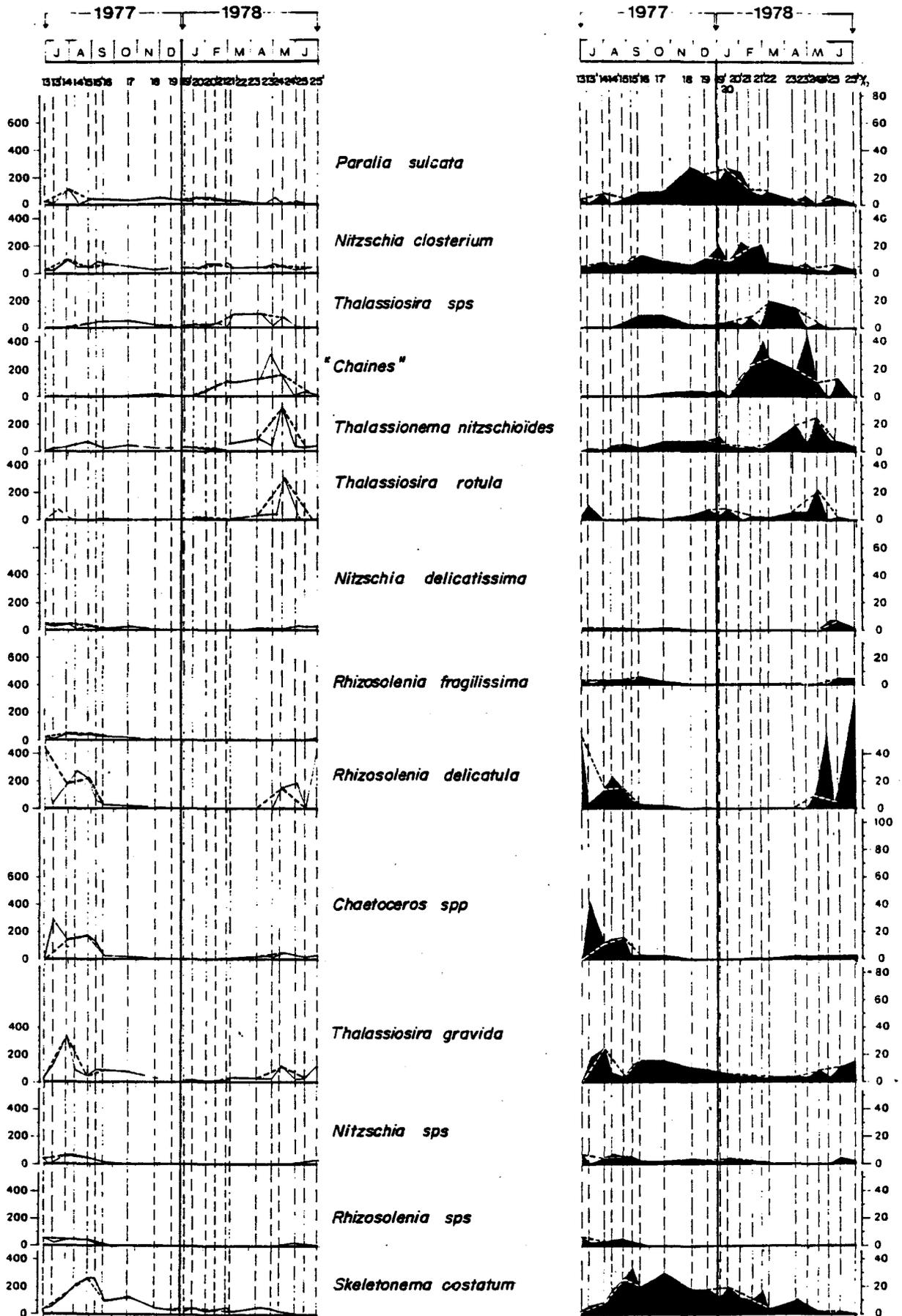


# SITE DE FLAMANVILLE 2° CYCLE

## VARIATIONS SAISONNIERES DES PRINCIPALES ESPECES AU POINT "B"

[NOMBRE DE CELLULES/10 ml]

[% DE DOMNANCE]



concorde avec celle de diatomées pennées benthiques comme *Navicula sp.*, *Navicula pelagica*, *Fragilaria* et *Plagiogramma*, regroupées sous le terme de "chaînes". Se développant essentiellement sur des substrats (durs ou meubles), de telles populations sont mises en suspension par de forts brassages des masses d'eau (février 1977 - 1978).

Eurytherme et euryhaline, *Nitzschia closterium* est constamment présente dans les eaux de FLAMANVILLE. L'importance relative de cette espèce (en hiver) lui permet cependant d'être bien représentée dans la composition floristique hivernale (de 13 à 16 % en mars 1977 et en février 1978).

Cette liste taxonomique est complétée par l'ensemble des *Thalassiosira sps.* autres que les espèces *Thalassiosira rotula* et *Thalassiosira gravida*. En majorité constituées de *Thalassiosira levanderi*, ces chaînes de cellules semblent responsables de l'augmentation de chlorophylle observée en mars 1977 (20 % de *Thalassiosira sps.*) et en avril 1978 (17 % de *Thalassiosira sps.*).

A cette période hivernale succède, à partir d'avril 1977 et 1978, la période printanière.

Le début de cette période est amorcé par l'apparition, lors du deuxième cycle, de *Thalassionema nitzschoides* (environ 25 % fin avril 1978). Cette espèce est aussi présente en avril 1977 (8 %), mais sa dominance est diminuée par la présence de *Chaetoceros perpusillum* : 20 % et de *Thalassiosira rotula*.

De développement précurseur au cours du premier cycle, cette dernière espèce de transition accompagne le genre *Rhizosolenia* en 1978.

L'apparition de ces cellules, dont l'inoculum existait dans les eaux hivernales, caractérise la flore printanière des deux cycles d'études.

Une remarque est à noter quant à l'ordre d'apparition des différentes espèces :

- en 1977 *Rhizosolenia fragilissima* (30 % du microplancton à la mi-mai) est supplanté à la fin du mois par *Rhizosolenia delicatula* (environ 40 %),
- en 1978, seule *Rhizosolenia delicatula*, d'apparition beaucoup plus faible (10 % à la mi-mai), est à considérer.

Les échantillons analysés fin juin 1978 peuvent laisser supposer un nouveau "bloom" (avec réapparition de *Rhizosolenia delicatula* : 62,8 %), ou une fin de "bloom" printanier inhibé par la présence des bactéries observées à la mi-juin.

Dernière période caractéristique du site de FLAMANVILLE, la période estivale (juillet - septembre), phase stationnaire pour le genre *Rhizosolenia* (31,6 % en juillet 1976 - 60 % en juillet 1977).

Les prélèvements effectués en été 1976 (été particulièrement chaud) apparaissent peu différents de ceux prélevés en 1977 quand on considère le genre *Rhizosolenia*. Par contre, des espèces comme *Chaetoceros curvisetum*, *Chaetoceros perpusillum* et *Thalassiosira gravida* se montrent essentiellement comme populations estivales du premier cycle.

Quant à *Skeletonema costatum*, espèce eurytherme et euryhaline, elle se manifeste plus particulièrement en juillet 1976 (20 % environ) et en octobre 1977 (30 % environ).

Compte-tenu des différentes phases de succession citées précédemment, il semble bien qu'il y ait, au cours des deux années, à FLAMANVILLE, trois grandes phases biotiques analogues.

- Variations des espèces peu abondantes : les tableaux IV.F et IV.G représentent la répartition saisonnière des taxons peu abondants. La représentation en pourcentage de dominance présente cependant l'inconvénient de diminuer l'importance relative de ces taxons lorsque l'effectif de cellules dominantes est très important.

Certaines espèces comme *Guinardia flaccida*, *Cerataulina pelagica* et *Chaetoceros sp.3*, printanières au cours du premier cycle, n'ont pas été dénombrées en 1978. Notons également la chlorophycée *Scenedesmus sp.* à tendance estivale et printanière, au cours du premier cycle, qui marque un préferendum hivernal au cours de la deuxième année.

Par contre, la présence permanente de certains taxons comme *Dictyocha speculum*, *Prorocentrum micans*, *Navicula spp.* et *Minuscula bipes* est évidente durant les deux cycles d'étude.

INDICE DE DIVERSITE - EQUITABILITE : que ce soit au premier cycle ou au deuxième cycle d'études, les variations de l'indice de diversité et l'équitabilité sont relativement faibles. Les plus grandes variations intercampagnes s'observent en été et en automne (de juin à septembre, voir figures IV.11 et IV.12 en annexe). Les amplitudes plus importantes notées au point B sont essentiellement provoquées par la grande différence du nombre d'échantillons entre les campagnes lourdes et les campagnes intermédiaires.

Aux points B et D, le maximum de diversité spécifique (maturité des populations) est observé les deux années en automne (septembre-octobre). Les populations correspondantes sont principalement constituée de *Thalassiosira sp.*, *Paralia sulcata* et *Skeletonema costatum* (et *Chaetoceros spp.* la première année).

T A B L E A U IV.F

VARIATIONS DE L'IMPORTANCE RELATIVE DES ESPECES PEU ABONDANTES  
AU COURS DU PREMIER CYCLE (POURCENTAGE DE DOMINANCE PAR CAMPAGNE)

ESPECES	C A M P A G N E S																			
	1	1'	2	2'	3	3'	4	5	5'	6	7	7'	8	8'	9	10	11	12	12'	
<i>Scenedesmus sp.</i>	x	-	0,2	-	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-	
<i>Rhizosolenia stolterpothii</i>	0,1	0,2	1,0	10,8	1,1	2,6	0,8	0,3	1,1	0,1	-	-	-	-	-	-	0,4	2,4	16,1	
<i>Chaetoceros sp1</i>	-	-	1,4	0,4	1,1	1,7	1,1	0,3	-	0,4	-	-	-	-	-	3,1	0,3	0,3	-	
<i>Leptocylindrus danicus</i>	0,2	0,1	0,5	-	1,3	-	1,5	0,3	-	0,1	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,4	1,0	0,6	
<i>Minuscula bipes</i>	0,1	0,2	0,2	-	0,3	0,9	0,2	0,1	0,6	0,1	-	-	0,1	-	0,3	0,1	0,1	0,6	-	
<i>Prorocentrum micans</i>	0,1	-	0,1	0,6	0,8	2,8	0,5	0,2	-	0,2	0,3	0,2	0,1	-	0,2	-	0,1	0,1	-	
<i>Rhizosolenia setigera</i>	4,0	1,4	0,4	2,7	0,2	2,4	0,8	1,3	2,2	0,7	0,1	-	0,1	-	0,5	0,3	0,3	0,2	-	
<i>Navicula spp.</i>	0,6	0,2	0,6	1,2	1,2	5,3	2,0	2,6	4,4	5,4	5,0	5,0	2,4	3,8	1,1	0,3	x	0,1	0,6	
<i>Dictyocha speculum</i>	0,1	0,2	0,9	-	0,2	0,7	0,4	1,0	0,6	0,8	0,6	-	0,8	-	1,1	0,4	-	0,1	-	
<i>Ebria sp.</i>	-	-	-	-	-	-	3,3	-	-	4,0	-	0,5	0,1	-	0,5	-	-	-	-	
<i>Chaetoceros sp2</i>	-	-	-	-	-	-	0,1	0,2	-	0,2	0,2	-	0,2	0,2	0,3	-	0,1	-	-	
<i>Stauroneis membranacea</i>	-	-	-	-	-	0,7	-	0,7	-	0,5	-	-	0,2	-	0,2	-	0,1	0,5	0,9	
<i>Asterionella japonica</i>	-	-	-	-	0,1	-	-	0,4	-	0,2	-	-	0,1	-	0,1	0,5	5,5	0,3	-	
<i>Guinardia flaccida</i>	-	-	-	-	-	0,2	x	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	0,1	0,6	0,6	
<i>Rhizosolenia shrubsolei</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	0,1	-	0,1	0,1	5,5	16,8	8,5	-	
<i>Ceratautina pelagica</i>	-	-	x	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	2,4	1,3	0,6	
<i>Chaetoceros sp3</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,6	0,2	-	

T A B L E A U IV.6

VARIATIONS DE L'IMPORTANCE RELATIVE DES ESPECES PEU ABONDANTES  
AU COURS DU DEUXIEME CYCLE (POURCENTAGE DE DOMINANCE PAR CAMPAGNE)

ESPECES	C A M P A G N E S																								
	13	13'	14	14'	15	15'	16	17	18	19	19'	20	20'	21	21'	22	23	23'	24	24'	25	25'			
<i>Stauroneis membranacea</i>	0,9	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Guinardia flaccida</i>	3,3	2,0	1,3	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-		
<i>Leptocylindrus minimum</i>	2,9	1,3	1,7	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Cerataulina pelagica</i>	0,6	-	0,7	0,9	0,3	0,3	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	x	0,6	-	0,1	-		
<i>Gyrosigma sp.</i>	0,2	-	0,1	-	0,5	1,1	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Leptocylindrus danicum</i>	6,1	0,3	1,0	-	0,4	-	0,2	0,2	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Chaetoceros sp3</i>	-	-	0,4	-	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Eucampia zodiacus</i>	-	-	0,5	0,5	0,5	0,9	0,6	0,3	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Biddulphia alternans</i>	x	-	0,2	-	1,0	0,6	2,9	1,4	0,6	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Chaetoceros sp1</i>	0,3	0,9	2,4	5,1	3,3	-	0,6	0,7	-	0,1	-	-	0,2	-	-	0,1	-	-	-	0,1	-	-	-		
<i>Chaetoceros danicum</i>	x	-	0,8	0,9	0,3	0,3	-	x	-	0,1	-	0,1	-	-	x	x	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Minuscula bipes</i>	-	1,3	0,5	0,5	0,1	-	0,1	0,2	0,1	0,1	-	-	-	-	-	0,1	0,3	-	x	0,3	0,3	-	-		
<i>Prorocentrum micans</i>	0,1	0,1	x	0,9	0,3	-	x	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,3	0,5	0,1	-	x	0,1	1,0	0,6	-	-		
<i>Gymnodinium spp.</i>	0,1	0,7	0,1	-	0,2	-	x	0,3	-	0,1	-	0,4	-	0,2	-	-	x	-	0,1	1,6	1,8	0,6	-		
<i>Asterionella japonica</i>	x	-	x	-	0,3	2,0	1,8	0,1	0,5	0,7	-	0,5	-	0,5	0,8	0,1	0,8	-	0,5	0,3	0,2	0,2	-		
<i>Dictyocha speculum</i>	x	-	0,6	2,3	0,5	0,3	0,4	0,3	1,1	1,7	0,8	0,7	2,8	2,5	0,8	0,5	0,7	0,2	0,3	0,3	0,4	-	-		
<i>Ebria sp.</i>	-	0,1	-	-	0,1	-	0,3	0,1	0,6	0,1	-	0,4	-	-	-	x	x	0,2	-	-	-	-	-		
<i>Peridinium sp.</i>	0,3	0,4	0,5	0,5	-	-	0,1	0,2	0,2	0,3	-	0,1	-	0,4	0,8	0,6	x	0,3	0,1	1,0	0,7	0,1	-		
<i>Navicula spp.</i>	0,3	-	1,5	4,2	1,7	1,7	3,9	2,1	8,0	8,6	14,4	7,5	6,5	4,6	0,8	4,6	5,7	4,1	2,0	1,0	3,6	0,7	-		
<i>Nitzschia sp1</i>	0,1	-	0,1	-	0,4	-	0,4	0,3	2,6	1,1	-	1,4	0,9	0,6	0,8	0,3	0,1	0,5	x	-	-	-	-		
<i>Coscinodiscus spp.</i>	x	-	0,4	-	0,3	-	0,4	0,3	0,8	0,6	0,8	1,1	0,5	0,5	-	0,4	-	0,3	x	0,3	-	-	-		
<i>Gyrodinium sp.</i>	-	-	0,3	-	0,5	-	0,4	0,7	1,2	0,9	0,8	1,2	2,3	0,7	-	1,1	0,4	0,3	x	-	-	0,1	-		
<i>Chaetoceros sp2</i>	-	-	0,1	-	-	-	x	0,1	0,2	0,2	-	-	-	0,2	-	-	-	-	x	-	-	-	-		
<i>Scenedesmus sp.</i>	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	0,1	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<i>Streptotheca tamesis</i>	-	-	-	-	0,1	-	0,2	0,1	0,3	0,4	-	0,3	-	0,3	-	x	x	-	0,1	-	0,3	0,1	-		
<i>Ditylum brightwellii</i>	-	-	-	-	0,4	0,3	0,9	0,6	0,1	0,1	0,8	0,1	-	x	-	-	0,1	0,2	0,2	-	0,1	-	-		
<i>Actinoptychus senarius</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,3	0,7	2,3	0,8	-	1,0	-	0,4	-	-	-	-	-	-		
<i>Bacillaria paxillifer</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	0,2	-	-	0,3	2,8	2,2	1,6	1,8	-	-	0,2	-	-	-		
<i>Rhizosolenia setigera</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	-	-	0,1	-	-	0,5	-	0,3	-	-		
<i>Iauderia borealis</i>	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,8	0,2	0,3	-	1,3	2,3	0,2	-		

LEGENDE : x : % < à 0,1  
- : espèce absente

Les indices minimaux indiquent les poussées phytoplanctoniques, avec développement particulier d'une espèce :

- F7 : *Paralia sulcata* (autour de 40 %),
- F12 : *Rhizosolenia delicatula*,
- F13 : *Rhizosolenia delicatula*.

Avec les réserves indiquées plus haut (nombre d'échantillons), les populations échantillonnées aux stations intermédiaires apparaissent souvent moins diversifiées :

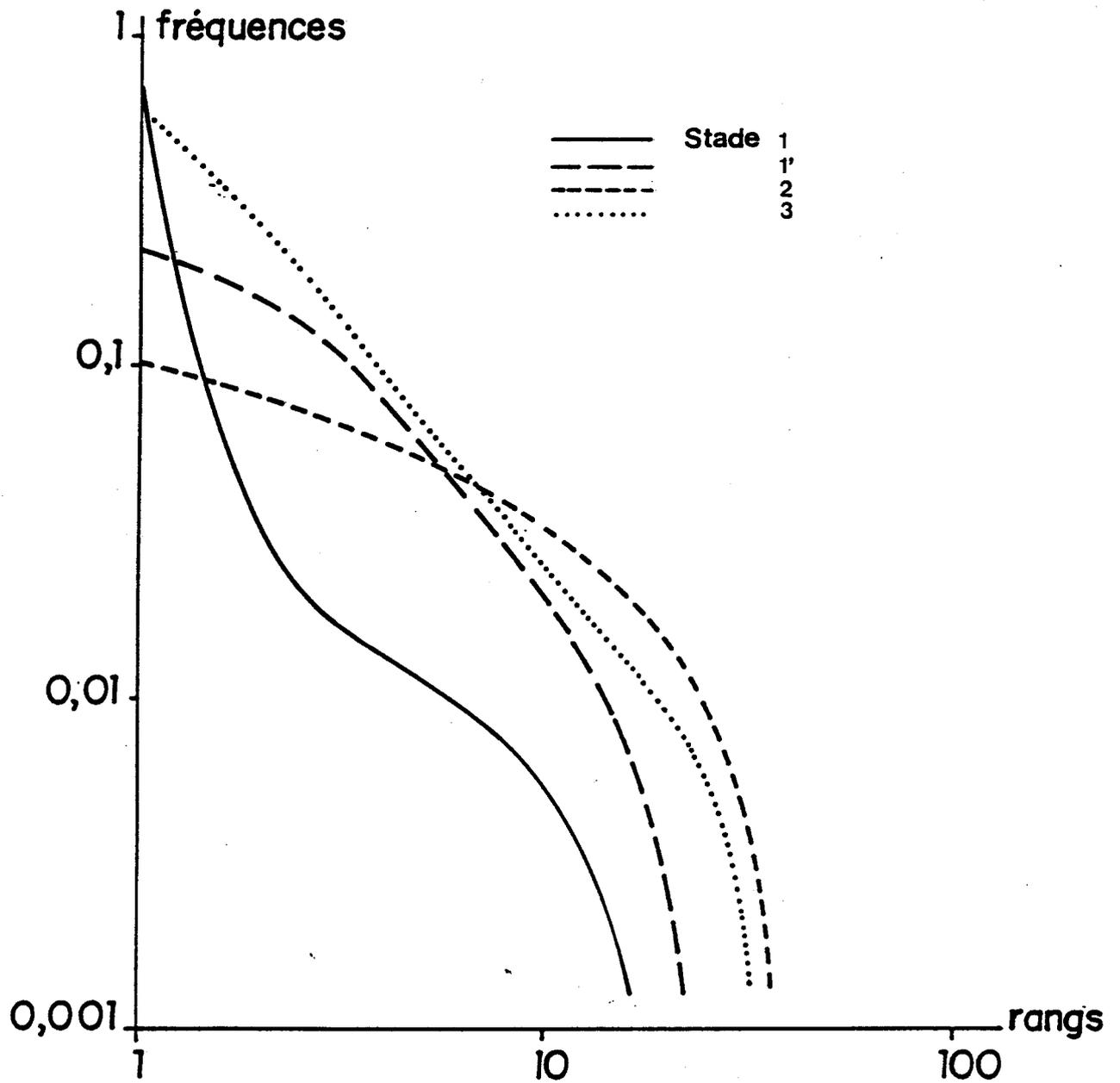
- juillet 1976 (F1') avec 50 % de *Skeletonema costatum*,
- janvier 1977 (F7') presque 70 % de *Paralia sulcata*,
- juin 1977 (F12') avec 60 % de *Rhizosolenia delicatula*.

Les variations annuelles de l'indice de diversité et d'équitabilité ne paraissent pas liées aux variations hydrologiques physico-chimiques (densité, dessalure, sels nutritifs).

DIAGRAMME RANG - FREQUENCE : l'allure des diagrammes rang - fréquence peut préciser l'évolution saisonnière des populations. Ainsi, FRONTIER (1976) distingue trois phases de maturation (figure IV.Z) :

- stade 1 : début de succession ; la partie gauche de la courbe est concave, indiquant la prédominance d'un petit nombre d'espèces. La partie droite est convexe. La diversité est faible. En cours de succession (F1') les espèces abondantes augmentent, ainsi que la diversité,
- stade 2 : la courbe est entièrement convexe, la diversité forte,
- stade 3 : fin de succession. Le diagramme tend à devenir rectiligne, la diversité diminue.

Variations des courbes rang-fréquence le long d'une succession écologique dans le plancton ( d'après Frontier 1976 )



Pour cette étude, seules les campagnes lourdes ont été retenues en étant considérées comme un seul échantillon. Le nombre d'échantillons des campagnes intermédiaires apparaît trop restreint.

Pour FLAMANVILLE, l'interprétation de l'évolution saisonnière des diagrammes rang - fréquence est délicate du fait de l'intervalle de temps (un mois) séparant deux campagnes "lourdes". En effet, le développement des populations phytoplanctoniques est accéléré au printemps - été et les prélèvements sont parfois trop espacés pour rendre compte de la totalité des transformations.

Pour ces raisons, la succession des diagrammes (figures IV.13 à IV.19 en annexe) ne suit pas toujours la succession des schémas-types présentés par FRONTIER.

Dans le tableau suivant sont présentées les analogies entre les diagrammes théoriques et les diagrammes mesurés :

Stades	Campagnes					
	1		4-5-6-	11-	13-	
1'		7-8-		14-15	16-17-	
2	1-2-		9	10-		18-19-20-21- 23-24
3	3-			12-		22
Saisons	Eté 1976	Automne Hiver	Printemps 1977	Eté	Automne Hiver	Printemps 1977

Il paraît difficile de faire un classement plus précis, et celui-ci est relativement arbitraire. Il semble cependant qu'au cours de l'année il existe une série de successions de populations, plus ou moins rapides selon la saison et marquées par certaines espèces. D'autre part, entre la campagne F10 (14/04/77) et F11 (10/05/77), l'évolution des populations s'est poursuivie, mais aucun échantillonnage n'ayant pu être effectué, il est difficile de l'évaluer. Il semble que le même problème se pose entre F11 et F12 (24/05/77). Par contre, l'évolution hivernale telle qu'elle apparaît ici est très lente, particulièrement la deuxième année.

**BIOMETRIE** : les cellules choisies à partir des données de la première année ont été classées suivant les variations saisonnières de leur pourcentage de dominance :

- *Paralia sulcata* : les dimensions observées à FLAMANVILLE ont été de 4 à 13 $\mu$  (axe pervalvaire) (3-10 $\mu$  selon BRUNEL). D'écologie générale, néritique et benthique, elle prédomine en hiver à FLAMANVILLE ( $t^{\circ}$  = 6°33 - 16°48 ; S°/‰ = 34,64 - 34,98). Remises en suspension, surtout après de mauvaises conditions météorologiques, les cellules rencontrées à FLAMANVILLE sont réunies en chaîne compacte de 2 (environ 22 $\mu$ ) à 22 cellules (environ 155 $\mu$ ). Les histogrammes généraux regroupent l'ensemble des mesures faites aux stations D<sub>0</sub>, B<sub>1</sub> et B<sub>4</sub> (aux trois profondeurs) (figure IV.20). Les dimensions observées rejoignent celles de BRUNEL. Suivie presque tout au long du cycle, la plus grande diversité de taille a été rencontrée durant la période automnale (octobre et novembre 1977, graphe) (figure IV.21). La taille moyenne de l'espèce est d'environ 6,9  $\mu$ .
- *Nitzschia closterium* : de 50 à 160 $\mu$  à FLAMANVILLE, l'axe apical varie de 50 à 80 $\mu$  selon HENDEY, de 20 à 90 selon LEBOUR et de 25 à 100 selon CUPP (1943). Pélagique, cosmopolite, eurytherme et euryhaline, elle est présente durant toute l'année à FLAMANVILLE ( $t^{\circ}$  = 6°30 - 16°50 ; S°/‰ = 34,65 - 34,98).

Espèce solitaire, le corps est généralement inférieur ou supérieur au tiers de la longueur totale de la cellule. Quelques unes des cellules avaient des appendices recourbés (espèces différentes ou bien vues dans des plans différents) et des appendices brisés (turbulence, tempête des jours précédents ?).

A FLAMANVILLE les dimensions recouvrent celles données par HENDEY, LEBOUR et CUPP et les surpassent (50 à 160 $\mu$ ). On sait que cette espèce est très variable ainsi que l'espèce voisine *Nitzschia longissima* (Bréb.) Ralfs, cellule souvent plus droite et plus longue (200 à 400 $\mu$ , selon HENDEY, 125 à 250 $\mu$  selon DREBES). Nous avons cru préférable de considérer tous nos spécimens comme appartenant à une seule espèce *Nitzschia closterium*. Selon DOOLEY (1973 - côte Ouest de l'Irlande) les dimensions hivernales vont de 79 à 184 $\mu$  ; en été, deux populations ont été dénombrées : de 120 $\mu$  et de 42 $\mu$  en moyenne. A FLAMANVILLE des histogrammes bimodaux ont été observés en novembre 1977 et en janvier 1978 (figure IV.22) mais le nombre restreint des données (environ 40) peut remettre en question l'allure de cette distribution. De plus, certaines *Nitzschia* aux appendices cassés peuvent aussi fausser les valeurs. En général, les moyennes des mesures (figure IV.23) donnent approximativement le même écart-type, la distribution présente donc un même étalement (50 à 150 $\mu$  environ) avec une chute en décembre 1977 (le pourcentage de fréquence maximal est situé entre 60 et 70 $\mu$ ) ; plusieurs hypothèses peuvent être émises : poussée d'une petite population ou brisures des appendices.

- *Thalassionema nitzschoïdes* : de 7 à 58 $\mu$  à FLAMANVILLE, les dimensions de l'axe apical semblent inférieures à celles de HENDEY (30 à 90 $\mu$ ), de LEBOUR (10 à 80 $\mu$ ), de CUPP (30 à 80 $\mu$ ) et de DREBES (10 à 110 $\mu$ ). Cosmopolite, eurytherme et euryhaline, on rencontre cette espèce tout au long de l'année ; elle est cependant dominante en période printanière ( $t^{\circ} = 9^{\circ}64 - 10^{\circ}09$  ;  $S^{\circ}/\text{‰} = 34,77 \text{ ‰}$ ).

Formant des colonies en zig-zag ou en étoile de trois ou quatre cellules en plan apical, elle est parfois solitaire en plan valvaire.

Les histogrammes généraux (figure IV.24) permettent de suivre une variation saisonnière des maxima de pourcentage de fréquence : les dimensions des cellules estivales, pour la plupart comprises entre 20-25 $\mu$ , chutent à 10-15 $\mu$  durant la période hivernale (figure IV.25).

- *Thalassiosira rotula* : de 24 à 61 $\mu$  à FLAMANVILLE, l'axe apical (ou diamètre) varie de 32 à 36 $\mu$  d'après HENDEY, de 30 à 61 $\mu$  (CUPP et DREBES) aux environs de 35 $\mu$  d'après LEBOUR. Espèce d'eau tempérée, elle est dominante au printemps (> 20 % en mai -  $t^{\circ} = 10^{\circ}$  ;  $S^{\circ}/\text{‰} = 34,77$ ). En avril (F23) l'histogramme (figure IV.26) montre une distribution plus étalée (30 à 62  $\mu$ ) qu'en mai.
  
- *Rhizosolenia delicatula* : espèce néritique, cosmopolite d'eaux tempérées et chaudes (selon MARGALEF, 1961), elle caractérise la période printanière et estivale à FLAMANVILLE ( $t^{\circ} = 10^{\circ}1 - 16^{\circ}5$  ;  $S^{\circ}/\text{‰} = 34,70 - 34,77$ ). L'axe pervalvaire mesuré de 15 à 65 $\mu$  ne tient pas compte de l'épine ; d'après HENDEY, les dimensions peuvent atteindre 60 $\mu$ .  
 Les histogrammes collectifs présentés figure IV.27 sont tous unimodaux avec des maxima de cellules de 30 à 35  $\mu$  en période estivale. En août certaines valeurs supérieures à 60 $\mu$  peuvent correspondre à des cellules en état de division. En mai 1977 la majorité des cellules a des axes pervalvaires compris entre 20 et 25 $\mu$ . Ces dimensions printanières inférieures à celles relevées en été (30 à 35 $\mu$ ) laisse supposer une population juvénile. Cette hypothèse semble être confirmée par l'observation de cellules en chaînes. Par contre, des cellules, pour la plupart solitaires, ont été notées en été.

- *Nitzschia "seriata"* : pélagique, mais d'origine benthique, elle est présente en Atlantique Nord Elle a été rencontrée toute l'année à FLAMANVILLE ( $t^{\circ}$  = de  $6^{\circ}$  à  $16^{\circ}5$  ;  $S^{\circ}/\text{‰}$  = de 34,64 à 34,98), sauf en avril et mai 1977 ; elle est mesurée en juillet et août où elle domine. L'axe apical présente des dimensions de 25 à  $90\mu$ , dimensions inférieures à celles données par HENDEY (90 à  $100\mu$ ), DREBES (80 à  $140\mu$ ), LEBOUR (environ  $100\mu$ ) et CUPP (80 à  $140\mu$ ). Ces auteurs remettent en question la détermination de l'espèce. Celle-ci se rapprocherait de *Nitzschia "delicatissima"* (de 32 à  $85\mu$ ). De plus, pour HASLE (1965) qui a revu toute la systématique du groupe *Pseudonitzschia* en utilisant le microscope électronique, les deux espèces de CLEVE (*Nitzschia delicatissima* et *Nitzschia seriata*) sont devenues deux complexes regroupant chacun de nombreuses espèces. D'après l'histogramme (figure IV.28) les cellules de 85 à  $90\mu$ , mesurées en août, appartiendraient donc au groupe *Nitzschia seriata*.
  
- *Thalassiosira gravida* : solitaire en plan valvaire ou bien en chaîne (plan apical) de deux ou trois cellules, cette espèce peut être confondue avec *Thalassiosira rotula* (LEBOUR, 1930), surtout en plan valvaire, bien que l'axe apical soit de dimension inférieure : de 20 à  $58\mu$  (HENDEY), de 17 à  $62\mu$  (LEBOUR), de 20 à  $50\mu$  (CUPP) et de 17 à  $62\mu$  (DREBES). A FLAMANVILLE, l'éventail de taille compris entre 10 et  $26\mu$  a permis de dresser des histogrammes dans l'ensemble bimodaux (figure IV.29). Deux classes se distinguent avec des cellules de 14 à  $16\mu$  et de 20 à  $22\mu$ , excepté en mai (F24) où la majorité des cellules se répartit dans des classes inférieure (de 10 à  $12\mu$  et de 14 à  $16\mu$ ) ; peut-être se trouve-t-on en présence d'une population juvénile ?

### III) DISCUSSION

#### 1) Valeur de l'étude biométrique

Cette étude effectuée lors du 2e cycle a donc permis la remise en question de la détermination de certaines espèces (comme *Nitzschia closterium* et *Nitzschia seriata*). Dans la limite d'une seule année, l'observation des variations saisonnières n'a pu être que succincte et demandera à la suite de la prochaine étude une amélioration des critères biométriques (mesure des différents axes pour chaque espèce mesurée).

Un facteur semble avoir influé sur la taille des cellules : la température. D'ailleurs la température (WIMPENNY, 1966), la turbulence (SEMINA, 1969) et l'abondance des cellules (VAN DER SPOEL, 1973) ont été avancées comme facteurs de régulation de la taille cellulaire. D'autres facteurs n'ont pu être pris en compte et pourraient intervenir, par exemple : la prédation par les herbivores.

#### 2) Différences biologiques entre le point B et le point D

D'un point de vue hydrologique, le point D se montre plus côtier. Cette particularité apparaît moins marquée en biologie. En effet, la composition spécifique des populations selon le caractère plus ou moins océanique n'a pas été remarquée, certaines espèces d'eau douce ou saumâtre ont été observées aussi bien en D qu'en B :

- Chlorophycées en B (1er cycle) et en D (2e cycle).
- Chrysophycées en D et en B (1er et 2e cycle).
- Cyanophycées en B (1er cycle) et en D (2e cycle).

Comme on pouvait s'y attendre pour une frange marine côtière (de 1 à 5 km de la côte) les espèces phytoplanctoniques observées à FLAMANVILLE ont les mêmes exigences écologiques et confirment le caractère néritique des masses d'eau étudiées durant les deux cycles.

Par ailleurs, les mesures biométriques ne peuvent que renforcer la remarque faite précédemment : aucune différence caractéristique n'a été relevée entre les deux points étudiés.

### 3) Relations hydrologie - biologie

Les corrélations entre les paramètres physico-chimiques et le phytoplancton ont été en partie appréciées par l'emploi des coefficients de corrélation linéaire de BRAVAIS-PEARSON. Les données biologiques (nombre de cellules de microplancton, chlorophylle, phéopigments et production primaire) ont été transformées en  $\log(x + 1)$ .

Le tableau IV.30 présente la valeur des coefficients de corrélation entre les paramètres biologiques et les paramètres physico-chimiques sur l'ensemble des données obtenues lors des deux cycles d'études.

La partie gauche du tableau présente les résultats du calcul du coefficient sur 88 groupes de données, correspondant aux prélèvements où tous les paramètres ont été mesurés, y compris la production primaire. La partie droite du tableau, avec 377 groupes de données, intéresse les prélèvements où la totalité des paramètres (moins la production primaire) a été analysée.

L'observation de ce tableau permet de noter certaines différences entre les deux séries de résultats. Ces différences sont peut être dues à la sélection des stations (B et D) où la production primaire a été mesurée. Dans cette série, l'absence des stations côte (A) et large (C) élimine l'influence potentielle des gradients côte - large et peut réduire l'amplitude des variations observées. D'autre part, il manque un certain nombre de mesures pendant les périodes de forte activité.

Les différences principales concernent :

- Les phéopigments et la température : relation significative négative sur les 88 groupes de données, peu de relation sur 377 groupes de données.

- Les phéopigments et les nitrates, avec une relation positive sur les prélèvements avec production primaire, et pas de relation pour les autres.

Les phéopigments paraissent augmenter avec la profondeur de la colonne d'eau (immersion) ainsi que la production primaire, mais moins nettement. En ce qui concerne la température, la relation significative entre ce paramètre et le nombre de cellules ne prouve que l'abondance des organismes phytoplanctoniques pendant la saison chaude.

Les paramètres biologiques ont une corrélation négative avec la salinité, donc un accroissement pendant la dessalure. De plus, les variations de la salinité conjuguées à celles de la température influent sur la densité et la viscosité des eaux. La morphologie des espèces se trouve modifiée : les populations fortement silicifiées se développent dans les eaux hivernales (*Paralia sulcata*, Silicoflagellés.....), par contre celles à faible densité cellulaire sont mieux adaptées à l'abaissement de la densité de l'eau (*Chaetoceros spp*, *Rhizosolenia spp*.....).

Les corrélations sont positives avec la saturation en oxygène, ce qui peut montrer l'importance de la photosynthèse dans l'oxygénation des masses d'eau (mai 1977 et 1978).

Sur les 377 groupes de données, les relations avec les sels nutritifs sont positives avec l'ammonium, mais négatives avec les autres sels. Il est possible que le phytoplancton réponde plus rapidement aux variations de  $\text{NH}_4^+$  qui est plus directement assimilable (de plus il a été montré que l'azote gazeux est utilisé par certaines Cyanophycées marines).

Lors des deux cycles d'étude, les poussées printanières ont provoqué la consommation de la plus grande partie du stock de "nutrients" accumulés durant l'hiver. Ainsi en mars 1977 et avril 1978, la diminution de la teneur en silicates correspond aux poussées de *Thalassiosira levanderi* et de *Thalassionema nitzschioides*. Les concentrations minimales sont atteintes en avril-mai ("bloom" phytoplanctonique) périodes durant lesquelles prolifèrent les *Phaeocystis* peu (cf. p. -87 alinéa 3)

exigeants en silicates (grands consommateurs de sels azotés et phosphatés). Ainsi, le léger accroissement du stock de silicates, remarqué en juin pour les deux cycles, permet la poussée de nouvelles populations (*Rhizosolenia delicatula* et *Rhizosolenia fragilissima*).

Les silicates semblent être consommés dans les premiers temps, préférentiellement aux nitrates et nitrites, dont les réserves sont quasiment épuisées en période estivale (1er cycle).

Il est difficile d'expliquer toutes les relations existant entre les différents paramètres étudiés, certaines pouvant être secondaires, de plus les relations exprimées ne présentent qu'une vision instantanée des phénomènes.

#### D) CONCLUSION

L'étude phytoplanctonique, réalisée lors du 1er cycle, avait déjà permis de caractériser le site de FLAMANVILLE, au cours de la deuxième année, les principales caractéristiques du site ont été retrouvées.

Par sa position géographique FLAMANVILLE est soumis à l'action de courants importants, de forts brassages verticaux entraînent une homogénéisation des valeurs biologiques sur la colonne d'eau.

Quelques variabilités ont cependant été notées pour la chlorophylle et la production primaire aux pics printaniers (valeurs plus faibles en surface).

Quant au gradient côte-large aucune loi particulière n'a pu être émise, seule la chlorophylle a montre parfois de plus fortes concentrations à la côte.

Au point de vue spécifique, les variations sont apparues inexistantes, les espèces phytoplanctoniques rencontrées, essentiellement néritiques possèdent les mêmes exigences écologiques.

Les variations spatiales apparaissant entre les trois stations de la radiale et le point hors zone ont pu mettre en évidence les fluctuations dues au cycle de marée (point D échantillonné avant A, B et C). Le cycle de marée se présente comme le facteur de variation le plus important à l'intérieur des campagnes.

Les dosages des pigments chlorophylliens, l'estimation de la production primaire et l'étude systématique du microplancton ont permis de définir le cycle saisonnier des populations phytoplanctoniques de FLAMANVILLE. Celui-ci s'est montré identique durant les deux années d'étude.

Dans l'ensemble les valeurs moyennes des pigments chlorophylliens sont assez faibles sur toute l'année ( $< 1 \mu\text{g/l}$ ) sauf en mai 77 et 78 ( $3 \mu\text{g/l}$  et  $2,4 \mu\text{g/l}$ ). Ces maxima essentiellement dus à de la chlorophylle active confirme la précocité du printemps 77 par rapport à 78 (décalage d'un mois) et laisse supposer une biomasse d'organismes en phase d'activité plus importante.

Les variations annuelles de la production primaire suivent celles de la chlorophylle avec des maxima en mai 77 :  $15,5 \text{ mg c/m}^3/\text{h}$  (*Phaeocystis*) et en mai 78 :  $9 \text{ mg c/m}^3/\text{h}$ .

Des études biométriques du 2e cycle, un seul facteur a été avancé comme facteur de "régulation" de la taille cellulaire : la température. Ainsi les dimensions printanières de *Rhizosolenia delicatula* inférieures à celles relevées en été, laissent supposer une population juvénile, une même hypothèse a été émise pour *Thalassiosira gravida*.

A FLAMANVILLE l'aspect le plus remarquable à dégager des deux années d'étude est la présence d'un même stock d'espèces importantes chaque année.

Comparé aux autres sites de la Manche, le phytoplancton de FLAMANVILLE présente approximativement une même diversité spécifique avec cependant de plus faibles variations annuelles. Le maximum de diversité (maturité des populations est observé lors des deux années en automne, et le minimum durant les poussées phytoplanctoniques (populations juvéniles).

Comme dans beaucoup de milieux côtiers, ce sont les Diatomées (98 % environ) qui dominent.

Le même type de succession des espèces s'est répété durant les deux cycles. Les trois grandes phases biotiques sont analogues :

- Période hivernale d'octobre à mars ( $18\ 000 \text{ c/l}$  lors du 1er cycle ;  $28\ 000 \text{ c/l}$  lors du 2e cycle) où dominant *Paralia sulcata* et quelques Diatomées pennées comme *Fragilaria*, *Plagiogramma*, *Navicula pelagica*.....

- Période printanière qui débute en mars 77 et en avril 78, et durant laquelle les blooms phytoplanctoniques atteignent 243 000 c/l en 77 et 121 000 c/l en 78, essentiellement représentés par le genre *Rhizosolenia* (*Rhizosolenia delicatula*, *Rhizosolenia fragillissima*). La régularité des successions floristiques a même été observée pour l'apparition des *Phaeocystis* en fin mai 1977 et 78.
- Période estivale (juillet - septembre) où se maintiennent des communautés phytoplanctoniques ayant un certain degré de maturité : *Rhizosolenia* sp, *Skeletonema costatum*..... Les prélèvements des deux années se sont montrés peu différents quantitativement (130 000 c/l durant le 1er cycle ; 149 000 c/l pour le second), par contre *Chaetoceros curvisetum* et *Thalassiosira gravida* se présentent comme espèces estivales du 1er cycle.

Les valeurs peuvent paraître assez faibles si on les compare à celles obtenues en Manche orientale où le phytoplancton varie quantitativement à Paluel de  $2,5 \cdot 10^6$  cellules/l en mai à  $5 \cdot 10^5$  c/l en décembre, cependant elles se situent bien dans le contexte écologique de la Manche occidentale (c.f. les études faites par J.R. GRALL à l'entrée de la Manche).

## CHAPITRE V

---

# LE ZOOPLANCTON

par

ARNAL O. : Biomasse et composition  
chimique élémentaire

LE FEVRE-LEHOERFF G. : Composition  
faunistique et diversité  
du zooplancton.  
Les copépodes-Mysidacés  
et appendiculaires.

TOULARASTEL F. : Meroplancton et  
chaetognathes

Avec la collaboration technique de A. LABBE, M. LUNVEN,  
F. NICOLAUD et J.Y. QUINTIN



## INTRODUCTION

Deux années d'étude sur le site de Flamanville ont permis de mettre en évidence les principales caractéristiques des populations zooplanctoniques. Les variations quantitatives et qualitatives du plancton ont été suivies par des observations bimensuelles totalisant quarante missions en deux années. Quatre points d'étude ont permis de connaître les caractères principaux de la répartition spatiale des espèces sur le site. Au terme de cette étude, une "liste type" d'espèces à étudier au cours de la surveillance du site de Flamanville a été établie en fonction de l'intérêt de chacune d'elle.

### A) MÉTHODOLOGIE DE PRÉLÈVEMENTS ET D'ANALYSES

#### I) STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

Elle tient compte des caractéristiques du site :

- 1) localisation du site en Manche, soumise à la marée semi-diurne qui peut atteindre une grande amplitude,
- 2) influence de courants intenses à FLAMANVILLE.

Pour apprécier un éventuel gradient côte-large du plancton il est indispensable d'échantillonner les stations en éliminant l'influence de la marée et des courants de marée. Aussi, les prélèvements en trois stations de la radiale côte-large, devant le site, sont-ils effectués au moment des étales de courant de haute et basse mer, conditions choisies comme étant supposées les plus stables.

La variabilité quantitative et qualitative du zooplancton au cours du cycle de marée peut être appréciée par un échantillonnage effectué toutes les trois heures au point médian de la radiale (B). En fait, les impératifs de rentrée au port de CARTERET, qui assèche à marée basse, ont amené à modifier légèrement les heures de prélèvements au point B. Les heures adoptées sont les suivantes :

- étale de pleine mer - 3 heures,
- étale de pleine mer,
- étale de pleine mer + 3 heures,
- étale de pleine mer + 4 heures 30,
- étale de basse mer.

Les étales ont été calculées à partir des résultats décrits dans le rapport d'avant-projet de FLAMANVILLE (1976) :

- le port de référence est Saint-Malo,
- les haute et basse mer à DIELETTE se situent 30' et 40' après les haute et basse mer à Saint-Malo,
- les étales de courants (ou renverses) à DIELETTE ont lieu 3 h 30' après les pleine et basse mer de DIELETTE.

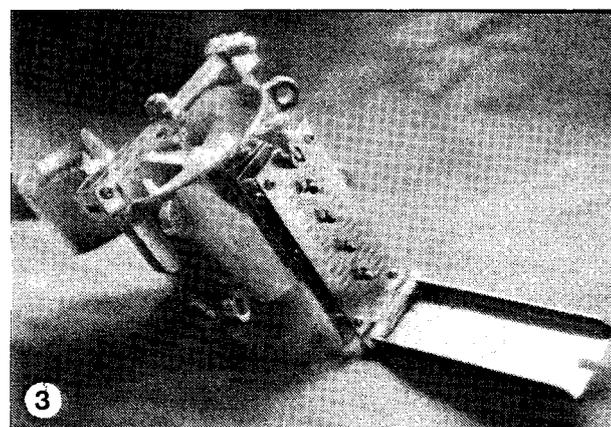
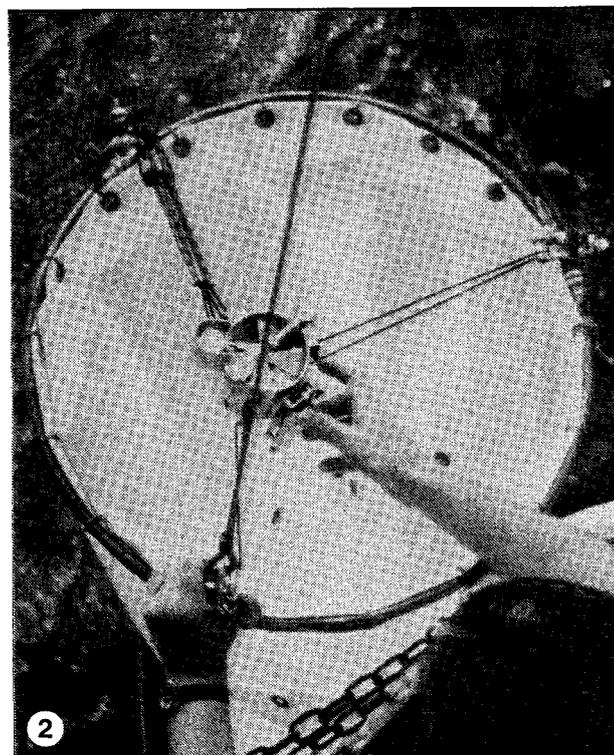
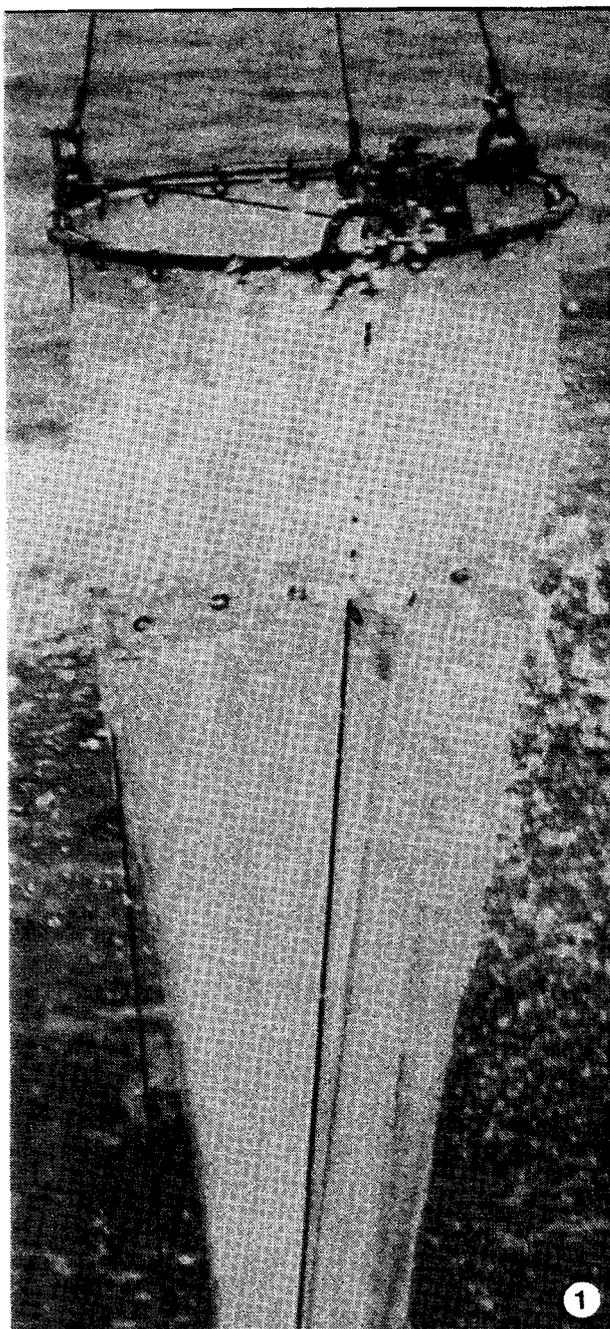
Un point "D" avait été choisi pour servir de station de référence , en principe en dehors de la tache thermique, telle qu'elle avait été décrite par Electricité de France au début des études en 1976. Or, un nouveau modèle d'Electricité de France prévoit une extension plus au Sud de la tache thermique. Aussi, la station "D", choisie à l'origine hors tache thermique, est-elle à l'intérieur de la tache thermique prévue actuellement, et sera dans la zone d'échauffement  $DT + 0.25^{\circ} C$  d'après le L.N.H. Actuel- Actuel- lement nous n'avons aucune station de référence avant la mise en route de la centrale pour la zone "hors tache thermique".

Afin d'apprécier la variabilité dans l'échantillonnage, nous avons procédé à des prélèvements répétés ou "replicates", au point D et au point B.

La périodicité des campagnes est mensuelle, sauf à la station B où des prélèvements complémentaires s'effectuent tous les 15 jours, afin de préciser les variations saisonnières du zooplancton et le taux de renouvellement de certaines espèces (tableau V.1).

## II) RECOLTE DES ECHANTILLONS

Les filets utilisés sont du type WP2 (voir photo) défini selon les normes internationales (UNESCO, 1968). Le vide de maille est de  $200\mu$ . Un filet WP2 est également utilisé pour l'étude des stades juvéniles de quelques copépodes (vide de maille  $80\mu$ ). Les filets sont équipés de fluxmètres "Tsurumi" donnant une bonne précision dans l'estimation du volume d'eau filtrée. Les traits de pêche sont effectués verticalement du fond à la surface. Les échantillons sont formolés à 5 %. Les biomasses sont congelées à bord.



- 1 - Filet WP2 simple
- 2 - Débitmètre monté sur WP2
- 3 - Débitmètre TSK

### III) DEPOUILLEMENT DES ECHANTILLONS DE ZOOPLANCTON

#### 1) Comptage des espèces de zooplancton

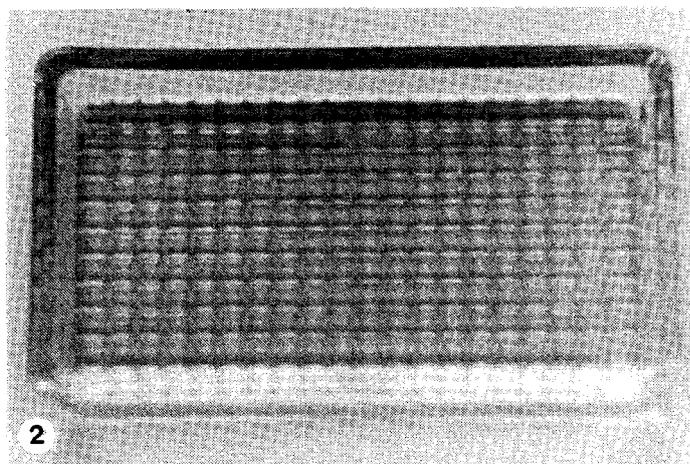
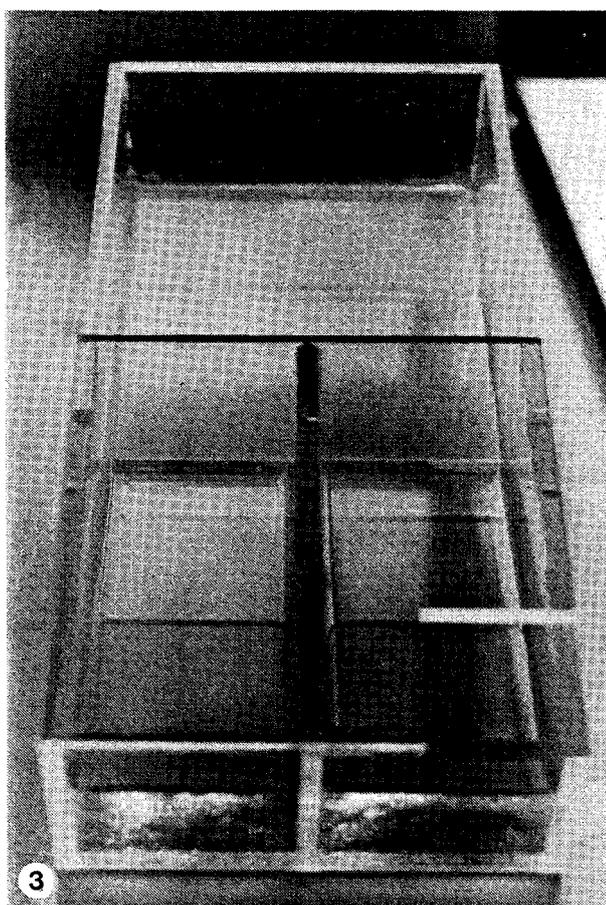
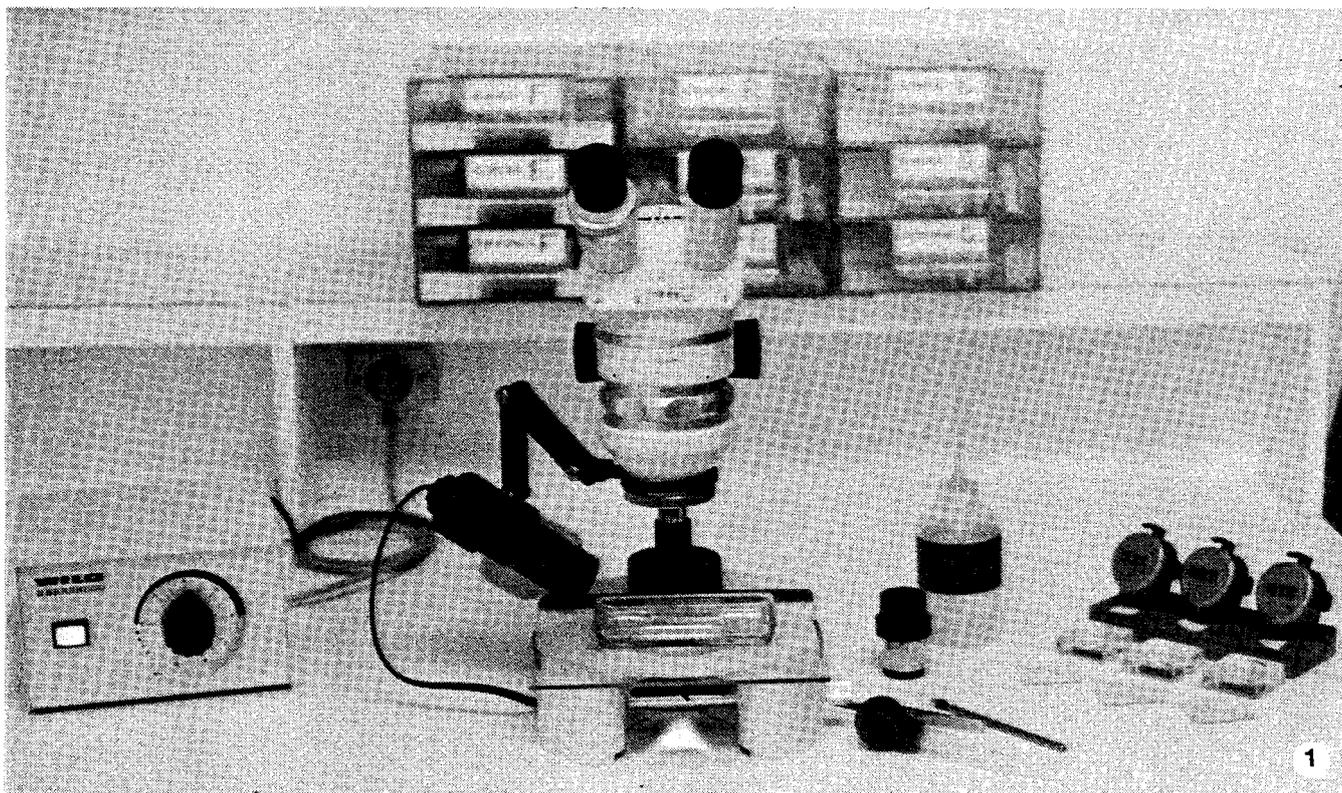
Les échantillons formolés destinés au comptage des espèces sont soit examinés entièrement si l'échantillon est "pauvre" en nombre d'individus (hiver le plus souvent), soit soumis à un fractionnement si l'échantillon est riche. Le fractionnement s'effectue à la "boîte de Motoda" (MOTODA, 1959). Les fractions à compter sont réparties dans des "cuves de Dollfus" et observées à la loupe binoculaire. WILD de type M5.

Le comptage s'effectue selon une méthode basée sur la méthode préconisée par Serge FRONTIER (1972), que nous avons modifiée, pour réduire la durée du comptage tout en gardant une bonne précision des mesures.

Selon FRONTIER (1972) on peut avoir une bonne estimation de l'abondance d'une espèce dans le milieu si on a compté au moins 100 individus de cette espèce dans l'échantillon. On en déduit que la fraction  $1/n$  comptée (correspondant à un volume d'eau quelconque mais connu) sera d'autant plus petite que l'espèce est plus abondante.

Si on voulait appliquer scrupuleusement cette méthode il faudrait, pour les espèces très rares, regarder en totalité des échantillons très grands (volume d'eau filtré très grand). En fait, il faut trouver un compromis entre une évaluation extrêmement précise de l'abondance de toutes les espèces et une évaluation très grossière de quelques espèces seulement. La méthode adoptée est la suivante

- pour quelques espèces (en général 4 ou 5), la fraction comptée est  $1/n$  très petite (estimée pour chaque échantillon), ce qui permet de compter au moins 100 individus de ces espèces,
- on effectue ensuite le comptage d'une fraction  $x/n$  pour les autres espèces de l'échantillon ( $x$  est égal à 2 ou 4 ou 8 en général),



1 - Loupe binoculaire (ou stéréomicroscope)  
WILD M5.

2 - Cuve de DOLLFUS. Elle comporte  
200 carrés de 5 mm de côté.

3 - Boite de MOTODA.

- enfin, un examen rapide, à l'oeil nu, du reste de l'échantillon, permet de repérer les espèces de grande taille et rares (alevins, mysidacées, chaetognathes, etc.) pouvant représenter une biomasse importante et des échelons intéressants du réseau alimentaire.

Cette méthode permet :

- de ne pas compter un trop grand nombre d'individus pour les espèces très abondantes,
- de compter un nombre suffisant d'individus pour les espèces moins abondantes,
- de ne pas négliger les espèces rares mais de grande taille. On perd l'information qu'aurait apporté l'examen d'espèces petites et rares.

## 2) Difficultés relatives au comptage et détermination

- certains individus sont déterminés au niveau de l'espèce, d'autres au niveau du genre, d'autres enfin de façon moins approfondie (familles, classes, etc.), selon l'importance que l'on attribue aux individus : le niveau de détermination est appelé taxon.
- deux familles de copépodes, les pseudocalanidés et les paracalanidés sont difficiles à distinguer au cours du comptage. Aussi, afin de distinguer les différentes espèces de ces deux familles, procède-t-on de la manière suivante :
  - . au cours du comptage on totalise les individus des deux familles,
  - . ensuite, on prélève une trentaine d'individus dans l'échantillon dans l'ordre du comptage, sans choix de taille ni de sexe. Ensuite on détermine spécifiquement ces individus au microscope. On déduit la proportion relative des espèces et on note aussi la proportion des mâles et des femelles afin de déterminer le "sex-ratio". Ensuite on extrapole les résultats à l'ensemble de l'échantillon.

### 3) Mesure de la biomasse

Les échantillons prélevés en vue de la mesure de la biomasse ont été filtrés et congelés à bord.

#### a) Mesure du poids sec : biomasse

Pour recueillir le plancton on utilise des soies de 100 $\mu$  de vide de maille. Ces soies sont numérotées, lavées, séchées à l'étuve pendant 48 heures à 60° et pesées. A bord, sur ces soies, les échantillons recueillis sont filtrés et congelés. Au laboratoire, ensuite, les échantillons sont à nouveau séchés dans les mêmes conditions et repesés. La biomasse en poids sec est notée pour chaque échantillon.

#### b) Matière organique et matière minérale

Sur chaque échantillon nous avons dosé le carbone et l'azote organique.

Quand le milieu est très lourdement chargé en matière minérale, il est possible de faire une mesure de la fraction organique et de la fraction minérale en utilisant, soit un deuxième échantillon, soit une fraction de l'échantillon unique, et de calculer le "poids de cendres".

MATIERE ORGANIQUE : la matière organique séchée est homogénéisée par broyage au mortier. Une fraction est prélevée pour l'analyse et pesée à l'électrobalance CAHN. L'autoanalyseur de carbone et d'azote est l'appareil "Hewlett Packard 185 B Carbon-Hydrogen-Nitrogen Analyser." Le principe est celui de la chromatographie en phase gazeuse. La fraction de l'échantillon à analyser est brûlée en présence d'un oxydant (dioxyde de manganèse) mis en excès. Un courant d'hélium entraîne les gaz libérés au cours de la combustion ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ). L'appareil produit un spectre dont les aires inscrites sous les pics sont proportionnelles aux quantités de carbone et d'azote dosées et les intègre lui-même. Il est nécessaire d'étalonner l'appareil avant tout dosage avec un produit organique connu (la cyclohexanone 2-4 dinitrophénylhydrazone).

## B) RÉSULTATS

### I) BIOMASSE DU ZOOPLANCTON ET COMPOSITION CHIMIQUE ELEMENTAIRE

Durant les deux années d'études les échantillons prélevés au filet WP2 (200 $\mu$ ), en vue de l'analyse de la biomasse du méso-plancton (de 200 à 2000 $\mu$ ) ont été congelés immédiatement à bord, après filtration sur soies.

La biomasse du zooplancton représente donc la quantité (en poids) de la matière zooplanctonique ainsi retenue sur le filtre.

#### 1) Poids sec (figure V.a)

Le poids sec est la valeur la plus couramment mesurée pour représenter la biomasse. Il présente à FLAMANVILLE un cycle annuel de variations, dont la moyenne est de l'ordre de 16 mg/m<sup>3</sup>. Ses valeurs extrêmes sont de l'ordre de 5 mg/m<sup>3</sup> en hiver, et, exceptionnellement, de 60 mg/m<sup>3</sup> en juin 1978, mais plus couramment de 40 mg/m<sup>3</sup>. Pratiquement, sept mois sur douze il reste compris entre 10 et 20 mg/m<sup>3</sup>.

Par comparaison avec d'autres sites de la Manche que nous avons eu l'occasion d'étudier, il apparaît un gradient décroissant du poids sec, du Nord vers le Sud, caractérisé par 60 mg/m<sup>3</sup> en moyenne à GRAVELINES, 28 mg/m<sup>3</sup> à PALUEL et 16 mg/m<sup>3</sup> à FLAMANVILLE, tous les échantillons ayant été obtenus de la même façon.

#### a) Comparaison des deux années d'études

Dans l'ensemble, il y a une grande ressemblance entre les deux années d'étude. Toutefois, il faut mentionner

Poids sec du zooplancton  
(valeurs moyennes par campagne)

Fig V a

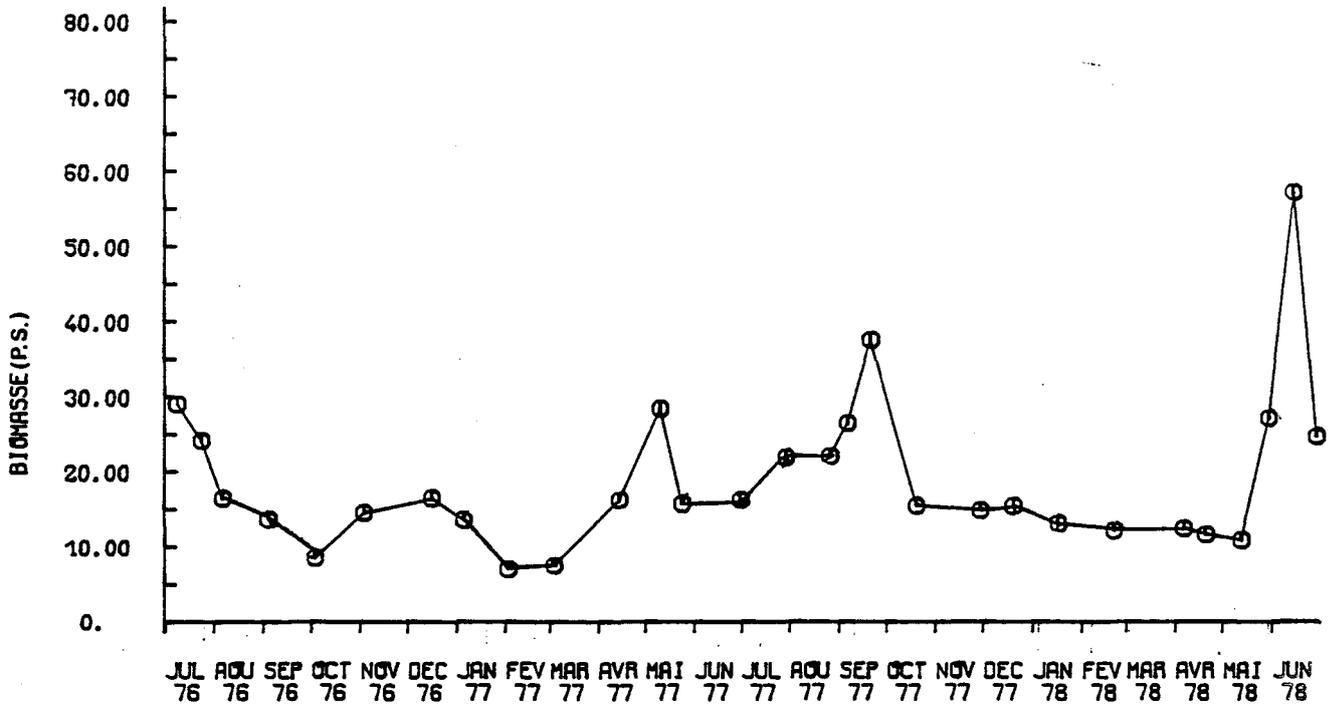
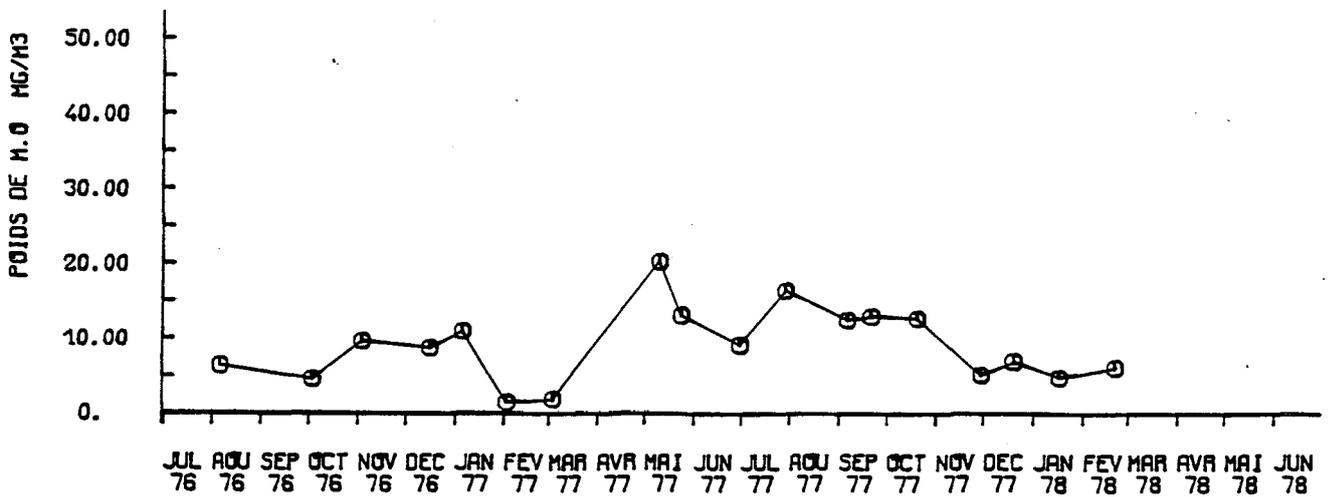


Fig V b

Poids de la matière organique contenue dans le poids sec  
(moyennes par campagne)



les différences suivantes :

- en septembre 1977 (36 mg/m<sup>3</sup>) une valeur plutôt élevée, tandis qu'en septembre 1978 (12 mg/m<sup>3</sup>) elle est plutôt faible,
- une valeur différente et un décalage d'un mois dans le temps des poussées printanières de mai 1977 (23 mg/m<sup>3</sup>) et juin 1978 (40 mg/m<sup>3</sup>) à mettre en relation avec une température basse en janvier-février 1978, et une faible biomasse phytoplanctonique.

b) Variabilité du poids sec sur le site (figure V.1 annexe p. 62)

Les poids secs du zooplancton sont très semblables entre les trois stations échantillonnées sur le site : hors-zone (D), milieu radiale à l'étales de pleine mer (B-<sub>E<sup>H</sup>M</sub>) et à l'étales de basse mer (B-<sub>E<sup>B</sup>M</sub>). On remarquera que les valeurs obtenues aux étales de courant au point B sont plus homogènes et plus proches de la moyenne générale du site. Par contre, les valeurs obtenues au point D sont plus variables entre elles.

Le poids sec est donc homogène sur tout le site, ce qui s'explique par la présence de courants importants qui contribuent à un brassage intense des masses d'eaux.

c) Validité du poids sec mesuré

Il faut bien voir que nos échantillons sont prélevés avec un filet MP2 de 200 $\mu$  de vide de maille, de sorte que, théoriquement, toutes les particules en suspension (seston) de tailles supérieures à 200 $\mu$  sont prélevées. Parmi elles nous trouvons du plancton vivant et des particules inertes (tripton) minérales ou organiques. BEERS et STEWART (1969) estiment qu'avec un filet de 100 $\mu$  de vide de maille on recueille de 15 à 40 % de tripton, de 1 à 2 % de phytoplancton et de 50 à 80 % de zooplancton. En ce qui concerne les eaux côtières, généralement plus chargées, KENCHINGTON (1970) obtient, avec un filet de 190 $\mu$  de vide de maille, jusqu'à 90 % de zooplancton, ce qui correspond à nos observations. Néanmoins, nous avons minimisé l'influence du tripton minéral (sables, etc.) en échantillonnant aux étales de courants (E.P.M. et E.B.M.), et en mesurant les teneurs dans le poids sec de la matière organique totale, du carbone et de l'azote organique.

## 2) Matières organiques

### a) Teneur en matière organique du poids sec (figure V.2 annexe p. 63)

En moyenne, le poids sec du zooplancton à FLAMANVILLE contient 57 % de matières organiques, et la gamme des teneurs mesurées varie de 40 à 80 %. On sait que la teneur en matières organiques varie de façon importante, suivant les groupes faunistiques, et donc selon la composition du zooplancton. Les teneurs trouvées à FLAMANVILLE sont en moyenne assez faibles par rapport à celles trouvées à GRAVELINES (65 %) et à PALUEL (70 %) ; ceci peut s'expliquer par la plus grande abondance des crustacés sur ce site.

Il n'y a pas de cycle annuel net de la teneur en matières organiques :

### b) Poids de matière organique (figures V.6 et V.3)

Le poids de matières organiques varie parallèlement au poids sec, mais avec des amplitudes plus atténuées (figure V.3). Au minimum hivernal de janvier - février (environ 2 mg/m<sup>3</sup>) succède un maximum printanier en mai 1977 (20 mg/m<sup>3</sup>). On remarque en particulier que le poids sec élevé de septembre 1977 contient relativement peu de matières organiques, de sorte qu'il faut conclure à cette époque à la présence de tripton minéral pris en compte dans le poids sec.

## 3) Carbone et azote organique

### a) Teneur en carbone (C %) (figure V.4 annexe p. 65)

Le poids sec du zooplancton recueilli sur le site contient en moyenne 29 % de carbone organique. La gamme des teneurs observées s'étend entre les valeurs extrêmes de 10 à 40 %, ce qui correspond

tout à fait aux résultats habituellement trouvés. On sait en effet que la teneur en carbone est de l'ordre de 10 % chez les cnidaires et les cténaïres, et qu'il peut atteindre plus de 50 % chez les copépodes (BEERS, 1966). Divers auteurs ont trouvé des valeurs allant de 25 % à 40 %. LE BORGNE (1975), et nos propres résultats sur d'autres sites de la Manche (GRAVELINES et PALUEL), montrent des valeurs très voisines (25 % en moyenne).

On peut mettre en évidence un cycle annuel de la teneur en carbone, caractérisé principalement par un maximum estival (près de 40 %) et un minimum hivernal (15 à 20 %). On remarquera en outre une teneur élevée en mai, correspondant à la forte poussée printanière du zooplancton et à l'utilisation, par ce dernier, de la poussée phytoplanctonique

b) Teneur en azote (figure V.5 annexe p. 66)

Le poids sec contient en moyenne 6 % d'azote organique ; les teneurs varient au cours d'une année de 2 à 11 %. Comme pour le carbone, on sait que la teneur en azote peut être inférieure à 3 % chez les cnidaires et les cténaïres, et qu'elle peut atteindre 5 à 13 % pour les chaetognathes et les crustacés. CONOVER et CORNER (1968) ont montré une variation saisonnière de 6 à 9 % pour le copépode *Calanus finmarchicus*. Rappelons que nos résultats sur les autres sites de la Manche ne sont pas significativement différents de ceux trouvés à FLAMANVILLE.

Il apparaît un cycle annuel qui, comme pour le carbone, présente un maximum estival (10 %) et un minimum hivernal (4 %). Les teneurs élevées correspondent à l'utilisation de la poussée phytoplanctonique.

c) Relation entre carbone et azote (fig. V.c1, V.c2 et V.6)

Les teneurs en carbone et azote sont liées, d'une façon significative, par la relation suivante

$$C = 4,78 \times N \quad (r = 0,77 - 100 \text{ observations})$$

obtenue pour l'ensemble des deux années d'étude. Cette relation, indépendante des causes de variations liées aux cycles biologiques et physiologiques, et de la composition faunistique, caractérise, en quelque sorte, la réponse biochimique du zooplancton au sein de l'écosystème à FLAMANVILLE.

Elle est en grande partie dépendante des constituants biochimiques constitutifs du zooplancton et principalement de la fraction protéique qui intervient pour plus de 50 % du poids sec, et dans laquelle le carbone, et surtout l'azote, sont impliqués.

L'azote (N) total organique que nous mesurons est représenté par les acides aminés, qu'ils soient libres (20 %) ou polymérisés en protéines (80 %). Le carbone, lui, est impliqué dans toutes les molécules organiques fondamentales, protéines (> 50 % de poids sec), lipides (10 à 30 % de poids sec) et glucides (1 à 5 % de poids sec).

Le rapport  $\frac{C}{N}$  varie au cours de l'année (figure V.c2) ; sa valeur moyenne est 4,7 et oscille entre les extrêmes, de 3 à 6.

Au cours d'une année nous pouvons distinguer :

- un  $\frac{C}{N}$  plutôt élevé en hiver, compris entre 4,5 et 5, tant en 1977 qu'en 1978,
- un  $\frac{C}{N}$  plutôt faible au printemps (< 4) correspondant à l'utilisation du phytoplancton par le zooplancton qui augmente son effectif.

En cette période de croissance rapide, la protéo-synthèse, vraisemblablement active, pourrait expliquer, par l'augmentation relative de l'azote, la diminution du rapport C/N. Le dosage simultané des

Relation entre le carbone et l'azote organiques du zooplancton  
(valeurs par station.)

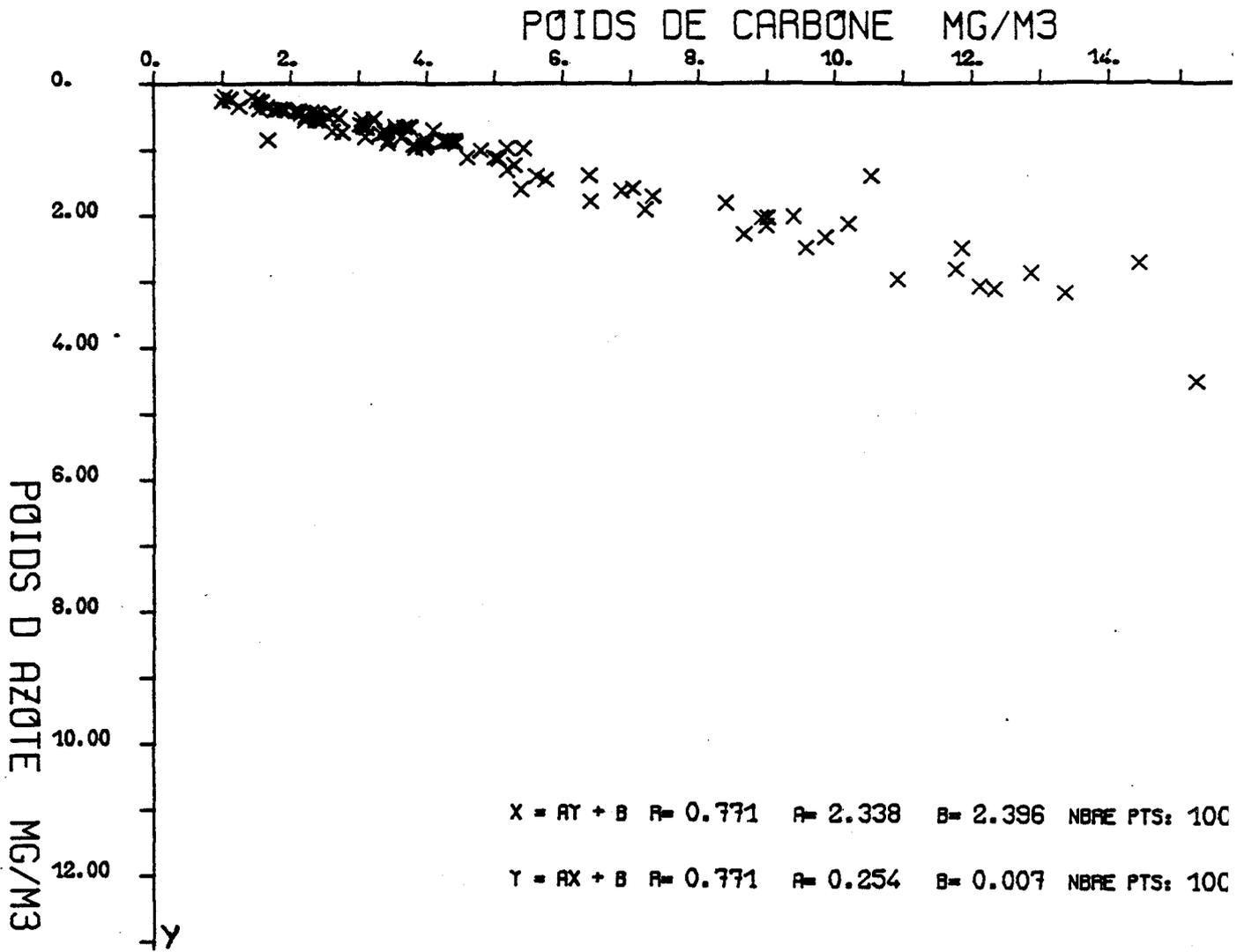
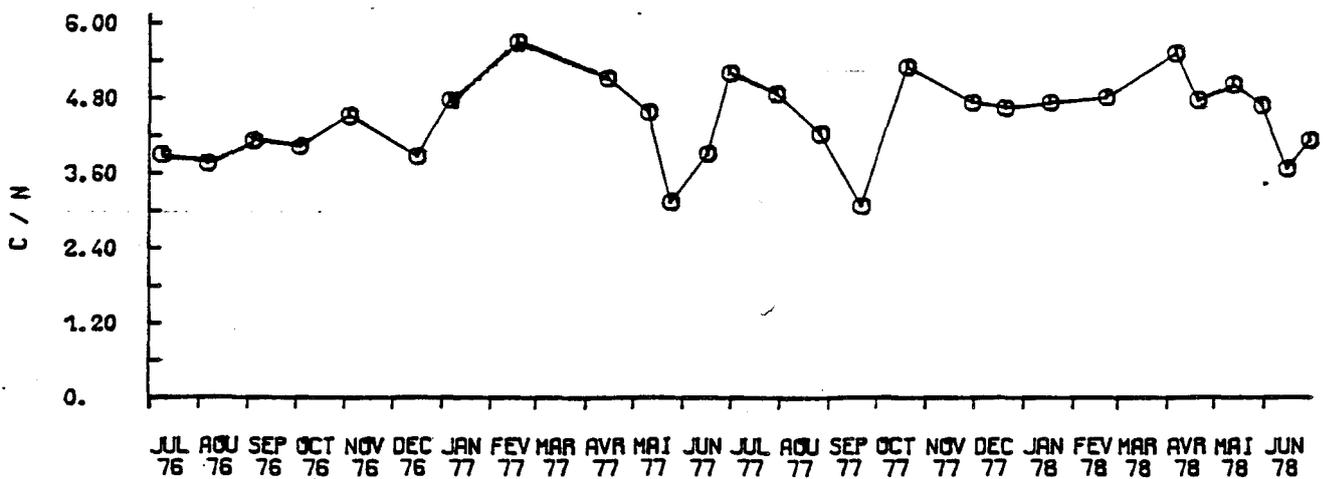


Fig V

Variations du rapport carbone/azote organique



protéines permettrait de le contrôler. C'est en tout cas ce que confirment RAYMONT et al (1971), qui observent chez un euphausiacé une augmentation de la teneur en protéines au printemps et une baisse en automne - hiver, associée à une augmentation des lipides (substances de réserves), ce qui explique la valeur plus élevée du C/N.

Sur le "Newport River Estuary" (THAYER, 1973) a effectué des observations semblables aux nôtres, ce qui confère au rapport C/N l'intérêt de représenter un indicateur de composition biochimique du zooplancton. Cet aspect pourrait constituer un certain intérêt au cours de la surveillance écologique du site si l'on considère que la composition biochimique qui résulte du métabolisme est directement reliée à la température du milieu. Nos propres résultats en effet révèlent une augmentation simultanée de C/N avec la latitude. Cependant, sur le site, nous n'observons pas de différence significative entre les stations échantillonnées.

d) Poids de carbone organique (figure V.7)

Le poids de carbone organique du zooplancton, obtenu à partir du poids sec (figure V.8), présente à FLAMANVILLE un cycle annuel de même type, caractérisé par (figure V.d) :

- un minimum hivernal (2 mg/m<sup>3</sup> en janvier 1977 et décembre 1977),
- un maximum printanier en mai 1977 (9 mg/m<sup>3</sup>) et juin 1978 (18 mg/m<sup>3</sup>), de courte durée,
- une valeur estivale élevée : fin juillet 1977 (8 mg/m<sup>3</sup>) et en juillet 1976 (12 mg/m<sup>3</sup>).

Ce cycle est observé pour chacune des deux années d'études, mais on notera cependant un décalage dans la survenue des principales phases : par exemple, la poussée printanière des principales espèces est plus précoce en 1977 (mai) et moins importante qu'en juin 1978.

Fig Vd

Variations du poids de carbone organique

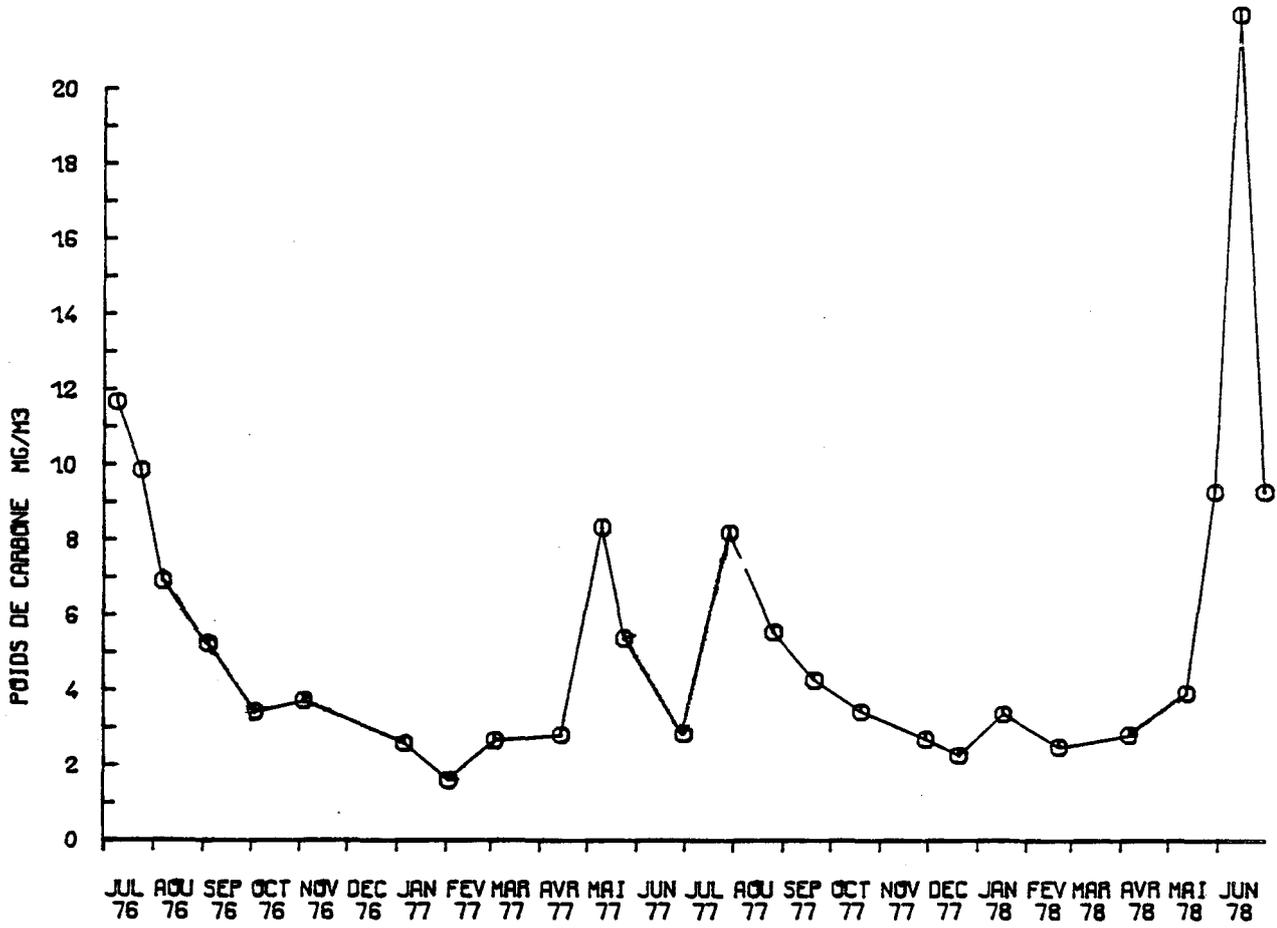
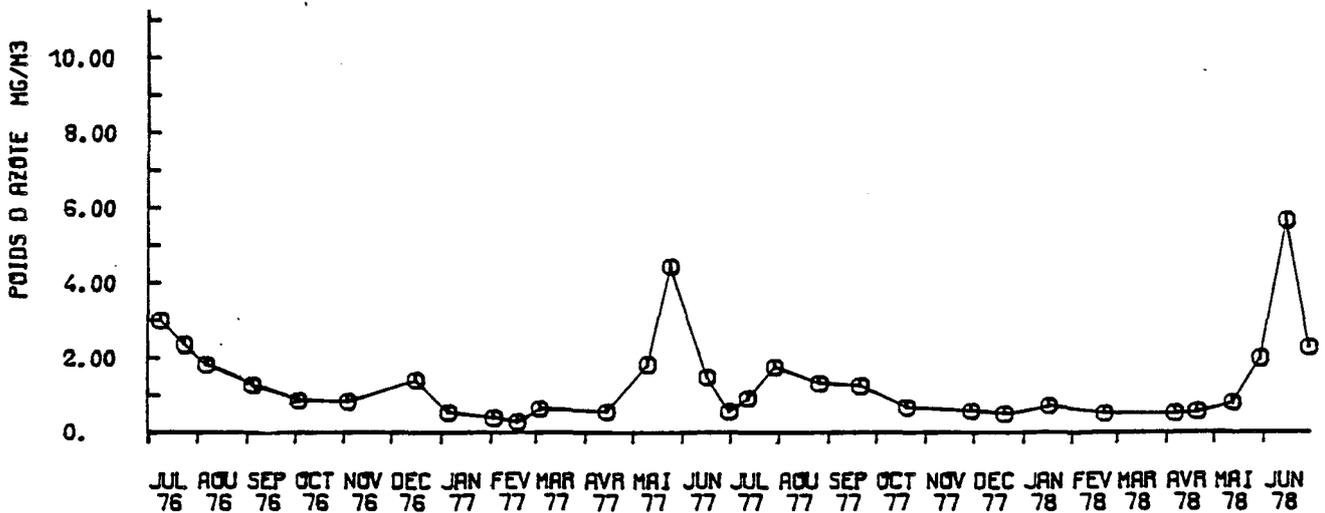


Fig V,

Variations du poids d'azote organique



On remarque d'autre part que les cycles annuels décrits présentent une chute quantitative de biomasse (qui se retrouve en nombre d'individus) en juin 1977 et juin 1978, séparant la forte production printanière (herbivores) et l'abondance estivale (herbivores + carnivores).

e) Poids de l'azote organique (figure V.9)

Le poids de l'azote organique présente le même type de variation que le poids de carbone organique. Son cycle est caractérisé par un minimum hivernal de 0,5 mg/m<sup>3</sup> et un pic printanier qui représente le maximum annuel, fin mai 1977 (4,5 mg/m<sup>3</sup>) ou juin 1978 (5,5 mg/m<sup>3</sup>). Une valeur estivale élevée, supérieure à 1 mg/m<sup>3</sup>, domine progressivement de juillet à septembre.

Ce cycle annuel, qui se retrouve durant les deux années d'études, présente toutefois un poids d'azote plus élevé en juillet 1976 (3 mg/m<sup>3</sup>) qu'en juillet 1977 (1,7 mg/m<sup>3</sup>). La température en été 1976, plus élevée qu'en été 1977 pourrait expliquer cette différence. Rappelons d'autre part que le poids de protéine peut être obtenu à partir du poids de l'azote organique multiplié par 6,25, ce qui donne une bonne idée de la quantité de nourriture disponible pour les carnivores supérieurs.

f) Chlorophylle et biomasse zooplanctonique

A l'intérieur du zooplancton se trouvent différents niveaux de production dont le premier correspond aux herbivores, représentés en particulier par plusieurs espèces de copépodes.

Les tracés chronologiques révèlent un synchronisme entre les poussées respectives de chlorophylle et de biomasse zooplanctonique, au printemps et dans une moindre mesure en automne. En poids de carbone organique le zooplancton représente de 5 à 20 % du phytoplancton.

g) Relation entre la biomasse et le nombre d'individus du zooplancton

Il est évident que le nombre d'individus zooplanctoniques ainsi que leur tailles respectives déterminent la quantité de la biomasse totale du zooplancton (figure V.10).

La comparaison des tracés chronologiques montre une bonne correspondance entre la biomasse et le nombre total d'individus du zooplancton. Les principales phases sont les suivantes :

- une pauvreté hivernale relative caractérisée par la présence, en moyenne, de 600 ind./m<sup>3</sup>, principalement des copépodes, et un poids de 2.5 mg/m<sup>3</sup> de carbone organique en 1976 - 1977. En 1977 - 1978, un même poids de 2.5 mg/m<sup>3</sup> correspond à 1000 individus.
- un pic printanier avec 8 mg/m<sup>3</sup> pour 70000 individus en mai 1977 et 22 mg/m<sup>3</sup> pour 15000 individus/m<sup>3</sup> en juin 1978.
- une valeur estivale élevée de 8 mg/m<sup>3</sup> pour 9000 ind./m<sup>3</sup> en août 1977 et 12 mg/m<sup>3</sup> pour 15000 individus en juillet 1976.

Il résulte de ce qui précède les principales remarques suivantes (figure V.11) :

- en février l'arrivée de larves méroplanctoniques et en particulier des Nauplii de Cirripèdes, de petites tailles, ne modifie pas de façon apparente la biomasse totale qui correspond donc, pour une grande part, aux espèces hivernales de copépodes les plus abondants dans le plancton d'hiver. A 1 mg de carbone organique correspond en moyenne, une trentaine d'individus dont 27 copépodes,
- en mai, la présence d'individus jeunes plus petits explique qu'à 1 mg/ de carbone organique correspondent 80 individus (dont 50 % de copépodes),
- en juin, à 1 mg/m<sup>3</sup> de carbone organique correspondent, en moyenne, 130 individus/m<sup>3</sup> (dont 100 copépodes).

On voit apparaître la grande importance, vis à vis de la biomasse, des copépodes, à cause de leur très grand nombre.

La relation la meilleure est obtenue entre le poids de carbone organique et le nombre total d'individus holoplanctoniques, essentiellement représentés par les copépodes, mais aussi par les chaetognathes et les appendiculaires dont les tailles plus importantes compensent les effectifs plus faibles.

CONCLUSION : La biomasse du zooplancton, mesurée à FLAMANVILLE, montre une certaine correspondance avec les individus holoplanctoniques représentés essentiellement par les copépodes, de loin les plus nombreux (70 à 98 %).

Le poids de carbone organique est le paramètre le plus intéressant à suivre car il ne prend pas en compte les sables minéraux en suspension dans les eaux, alors qu'ils sont intégrés dans le poids sec.

La qualité de nos prélèvements peut d'ailleurs être contrôlée par la valeur du rapport C/N égale à 4,78 en moyenne, caractéristique du zooplancton à FLAMANVILLE.

Dans l'ensemble, la biomasse zooplanctonique varie plus dans le temps que dans l'espace, ce qui permet au point hors-zone de constituer un bon point de référence du site.

Dans la perspective d'une surveillance du site, il paraît intéressant de s'attacher davantage aux biomasses spécifiques d'ores et déjà abordées dans cette étude, ainsi qu'à la composition chimique élémentaire en carbone et en azote qui présente l'intérêt supplémentaire de contrôler le métabolisme global du zooplancton.

## II) FAUNISTIQUE - COMPOSITION ET DIVERSITE DU ZOOPLANCTON

La liste faunistique détaillée des espèces recueillies est reproduite en annexe (tableau V.2).

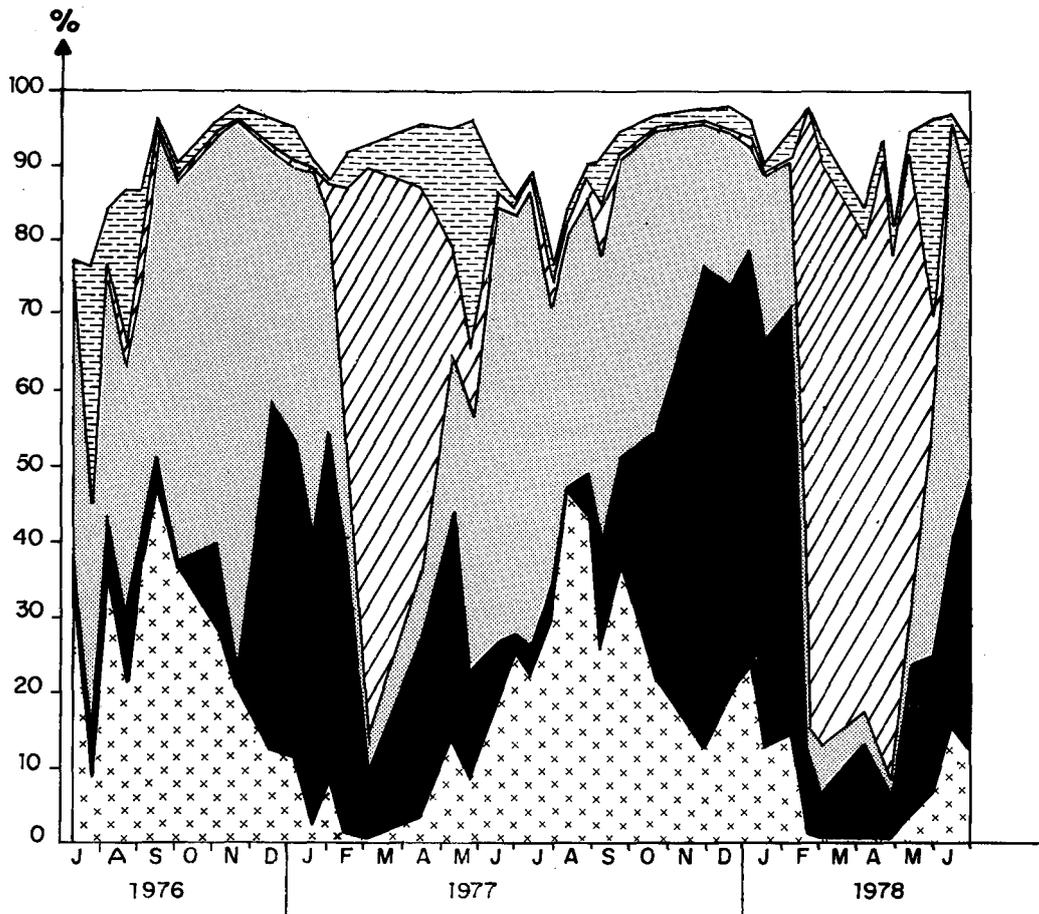
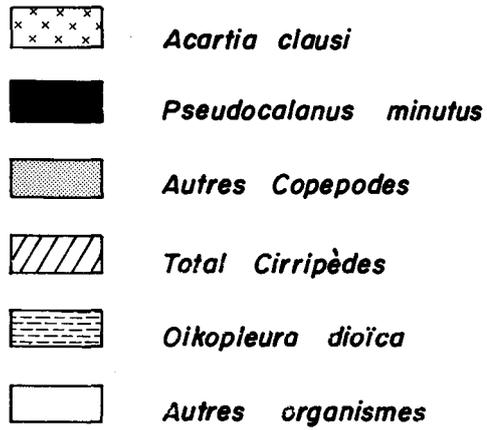
### 1) Evolution générale de la composition du zooplancton

Un examen rapide du plancton à FLAMANVILLE montre immédiatement que quelques groupes sont dominants. L'évolution générale de ces groupes au cours des deux années d'étude (juillet 1976 à juin 1978) est représentée sur la figure V.f. Les remarques générales déjà exposées dans le rapport de travail de première année à FLAMANVILLE (Rapport C.N.E.X.O., octobre 1977) sont confirmées par l'examen des deux cycles d'étude :

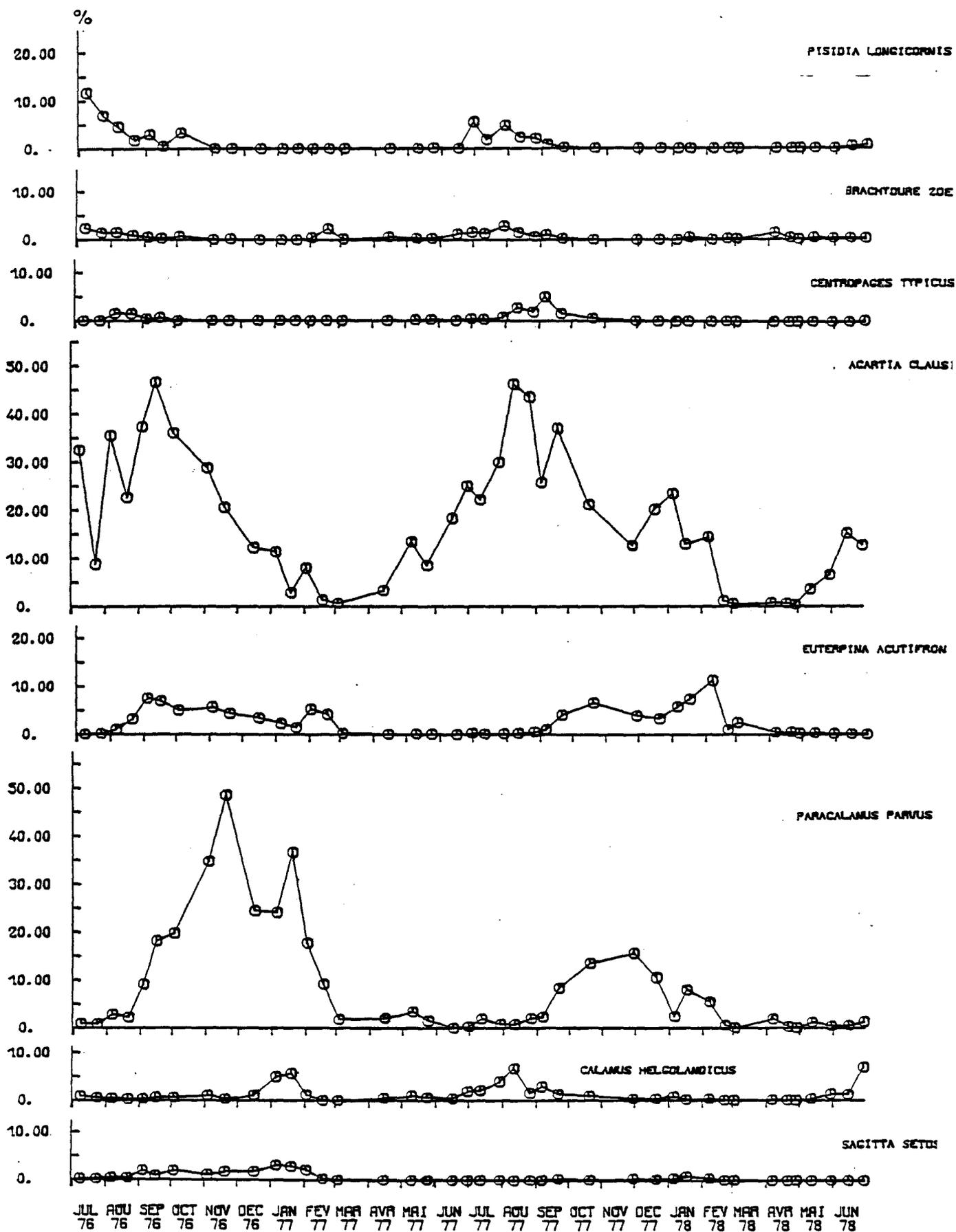
- les groupes dominants sont les copépodes, les cirripèdes et les appendiculaires. Le zooplancton de FLAMANVILLE est un plancton formé essentiellement de crustacés,
- les copépodes sont dominants entre le mois d'avril et le mois de janvier (9 mois) et peuvent atteindre 95 % des échantillons,
- les larves de cirripèdes dominent de février à avril (3 mois) (jusqu'à 70 % des récoltes en mars),
- les larves de crabes et de porcellanes sont abondantes de juin à août (jusqu'à 15 %),
- les appendiculaires présentent des variations très irrégulières (le maximum peut atteindre jusqu'à 20 %),
- deux copépodes *Acartia clausi* et *Pseudocalanus minutus*, représentés sur la figure V.f, peuvent atteindre à FLAMANVILLE des pourcentages très importants. D'une façon générale, tandis que les copépodes et appendiculaires forment l'essentiel de l'holoplancton, des larves de balanes, les crabes et annelides dominant le méroplancton.

Fig V<sub>f</sub>

VARIATION SAISONNIERE SUR DEUX ANNEES DE  
LA DOMINANCE DE QUELQUES GROUPES

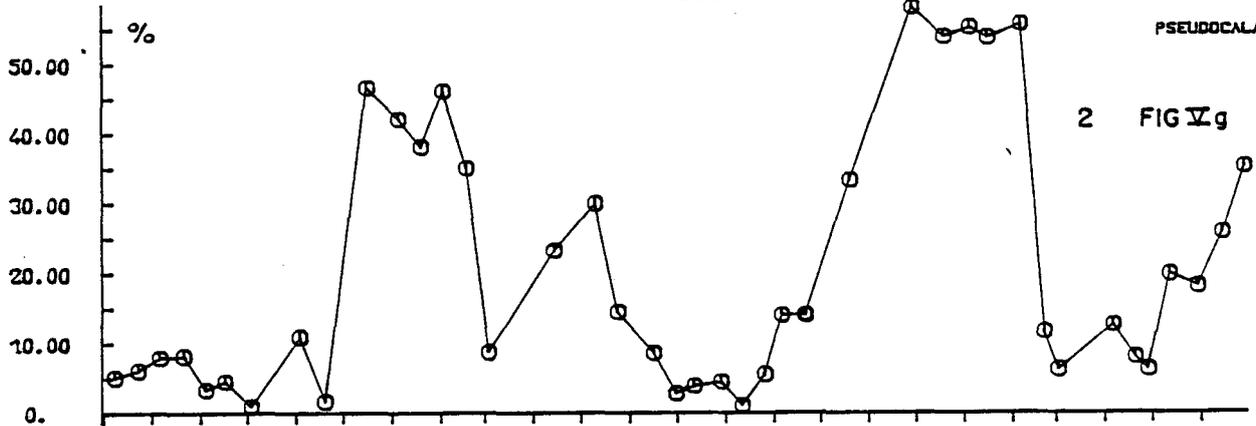


% de dominance de quelques taxons ( points confondus )

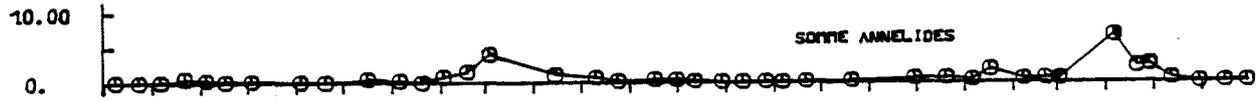


PSEUDOCALAMUS MINUTUS

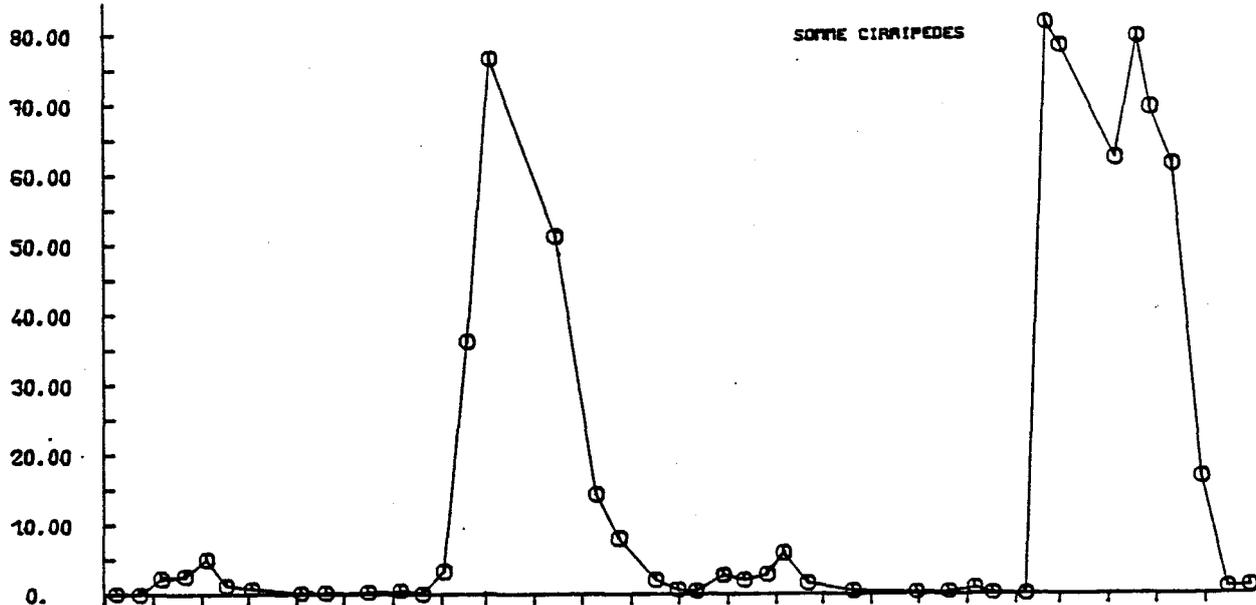
2 FIG Vg



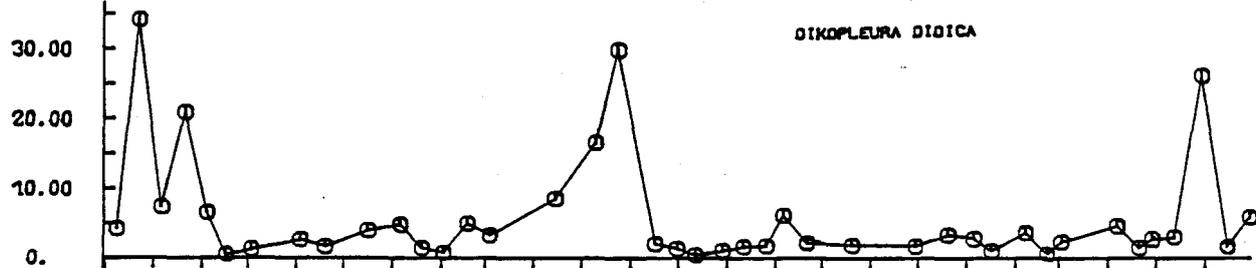
SORTIE ANNELIDES



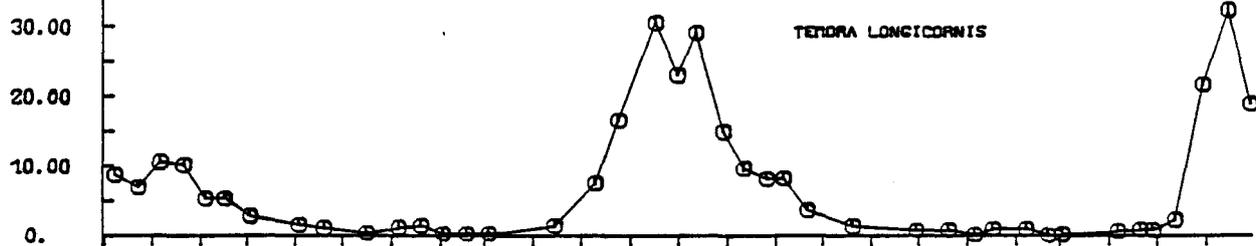
SORTIE CIRRIPEDES



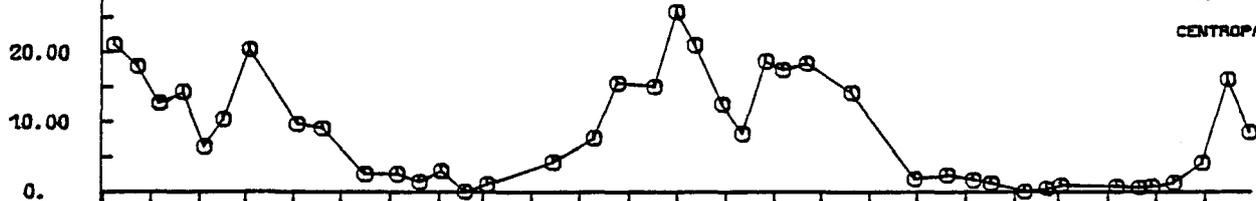
DIKOPLEURA DIDICA



TENDRA LONGICORNIS



CENTROPAGES HARIATUS

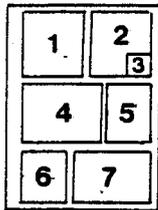


JUL 76 AUG 76 SEP 76 OCT 76 NOV 76 DEC 76 JAN 77 FEB 77 MAR 77 AVR 77 MAI 77 JUN 77 JUL 77 AUG 77 SEP 77 OCT 77 NOV 77 DEC 77 JAN 78 FEB 78 MAR 78 AVR 78 MAI 78 JUN 78

QUELQUES CRUSTACES ZOOPLANCTONIQUES  
RENCONTRES A FLAMANVILLE

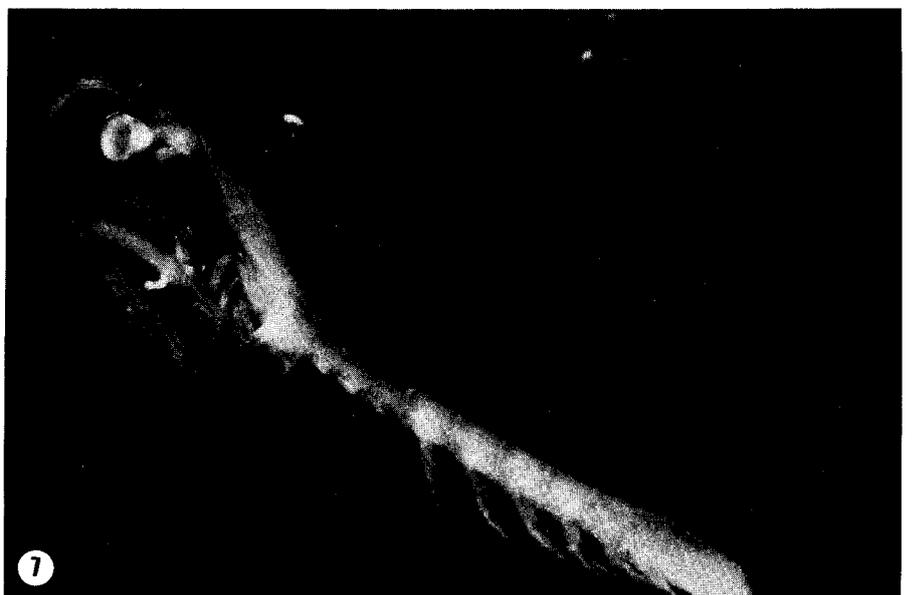
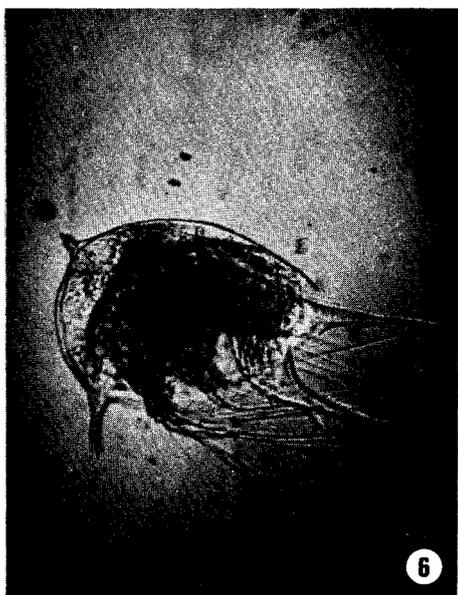
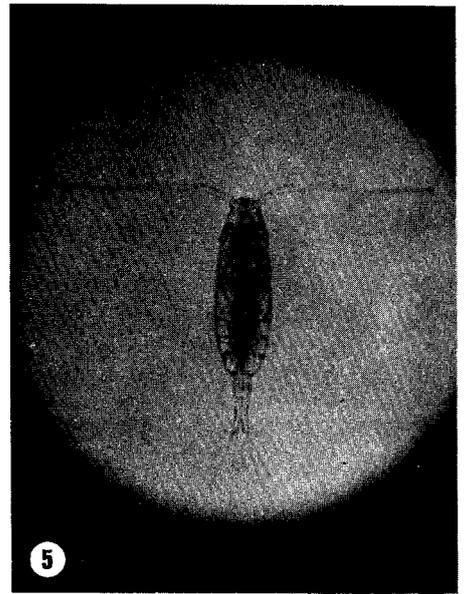
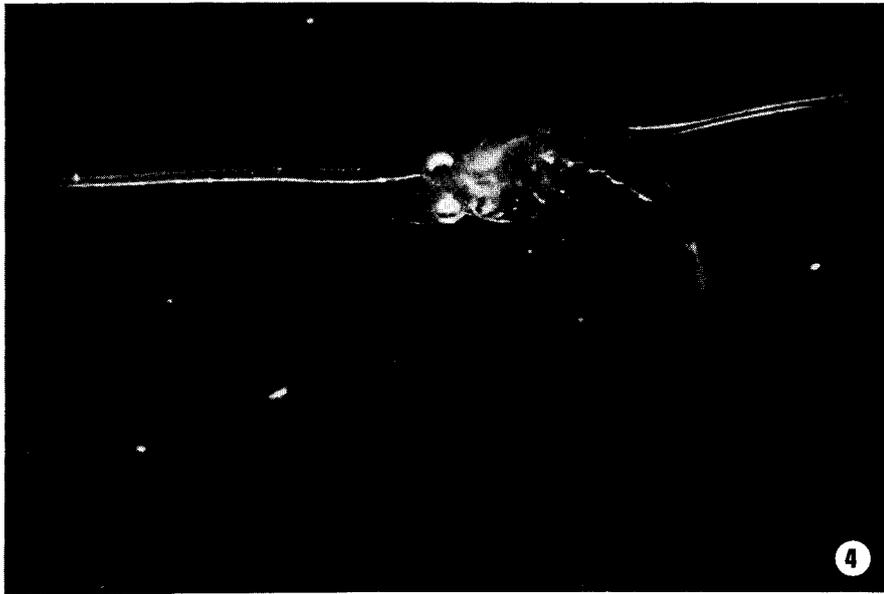
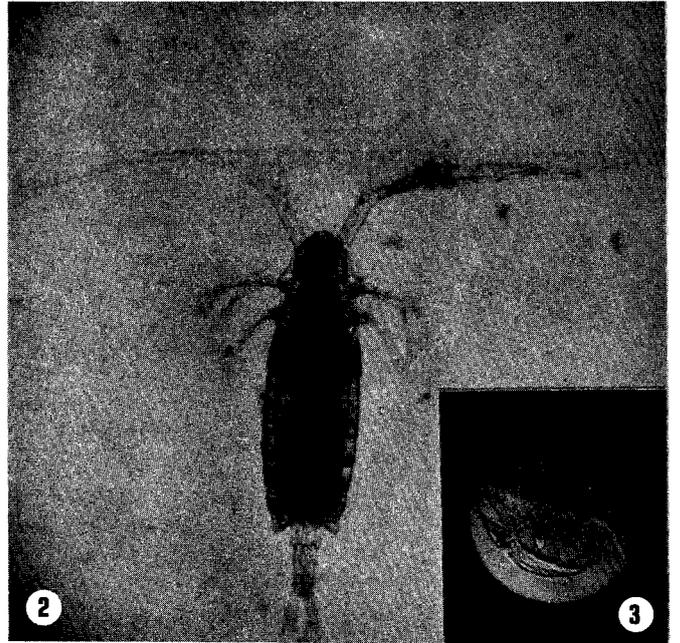
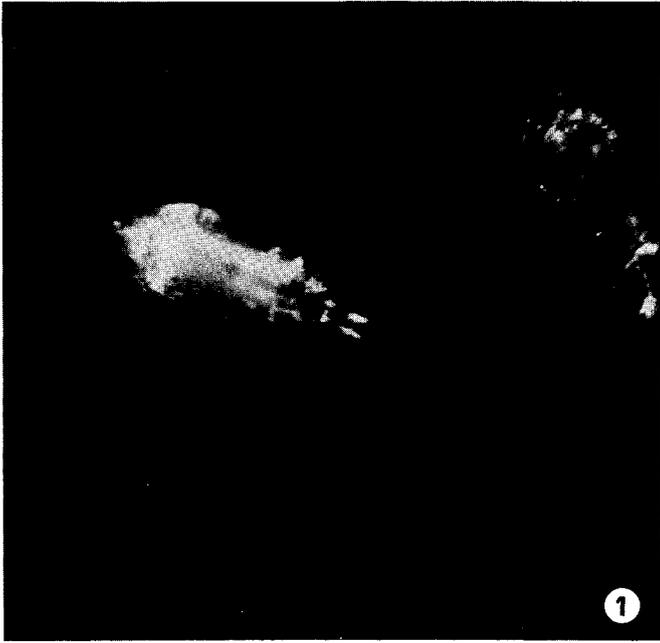
-----

- 1) *Parapontella brevicornis* (copépode) ♀ et ♂ - photo © G. LE FEVRE-LEHOËRFF
- 2) *Labidocera wollastoni* (copépode) avec détail d'une P5 ♂ (3) -  
photo © J. LE FEVRE
- 4) Larve de Porcellane (décapode) - photo © J. LE FEVRE
- 5) *Acartia clausi* (copépode) - photo © G. LE FEVRE-LEHOËRFF
- 6) Larve de cirripède - photo © J. LE FEVRE
- 7) *Squilla mantis* (stomatopode) - photo © J. LE FEVRE



LEGENDE

---



## 2) Evolution saisonnière des principaux taxons

Sur la figure V.g les principaux taxons ont été classés de manière à suivre, au cours de l'année, la succession de leur dominance dans les récoltes.

On remarque que les deux cycles sont relativement semblables dans l'allure générale des courbes, bien que les valeurs absolues diffèrent d'une année à l'autre pour certaines espèces.

Juillet : l'espèce la plus abondante est le copépode *Acartia clausi* (30 %). Viennent ensuite *Centropages hamatus* et les larves de porcellanes : *Pisidia longicornis* (12 %).

Août : les espèces précédentes sont également abondantes. On note la présence d'espèces estivales comme *Centropages typicus*, espèce moins côtière que *Centropages hamatus* indiquant une influence des eaux atlantiques. C'est en août aussi que se développe bien l'espèce *Parapontella brevicornis* (espèce négligeable en Manche Orientale à Gravelines et à Paluel) et que sont émises les larves de crabes.

En septembre 1976 et août 1977 *Acartia clausi* peut atteindre 50 % des individus récoltés. En septembre, se développent bien également *Centropages hamatus* et les appendiculaires sont encore nombreux. La présence de ces espèces herbivores est certainement en relation avec la poussée phytoplanctonique de fin d'été.

Octobre et novembre : les espèces d'automne sont le chaetognathe *Sagitta setosa* (2 %), les copépodes *Paracalanus parvus* (45 %) et *Euterpina acutifrons* (8 %). L'espèce *Acartia clausi* se maintient à une valeur aussi élevée qu'en juillet (25 % à 30 %).

Décembre - février : pendant cette période les espèces citées plus haut diminuent d'importance, tandis qu'une espèce se reproduit activement : c'est *Pseudocalanus minutus*, copépode très important en Manche Occidentale et à FLAMANVILLE en particulier. Cette espèce peut atteindre presque 60 % de l'effectif total.

Février - mars : c'est l'époque où les espèces benthiques émettent leurs larves en très grande quantité. Les annélides atteignent 5 % des échantillons avec l'espèce la plus abondante : *Nephtys*. Mais ce sont surtout les larves de balanes, essentiellement l'espèce boréale *Balanus balanoides*, qui sont émises en grande quantité (78 % du plancton).

Avril : les larves de cirripèdes sont encore très nombreuses (50 % des récoltes) tandis que les copépodes commencent à reprendre une certaine importance, *Pseudocalanus minutus* principalement.

Mai - juin : le printemps est caractérisé par le développement et la reproduction simultanée de nombreuses espèces d'herbivores qui présentent des pourcentages équivalents : *Pseudocalanus* (30 % en mai), *Temora longicornis* (20 % en mai - 30 % en juin), l'appendiculaire *Oikopleura dioica* (30 % en mai), *Centropages hamatus* (25 % fin juin), *Acartia clausi* (25 % fin juin)

### 3) Diversité du plancton à FLAMANVILLE

La diversité du zooplancton peut s'exprimer de différentes manières : elle peut se définir par le nombre d'espèces "S" existant dans une récolte : c'est la richesse spécifique. On peut aussi connaître non seulement le nombre d'espèces, mais la répartition des espèces à l'intérieur de l'ensemble des organismes. On emploie parfois, pour apprécier la diversité spécifique, la mesure de dominance "D" ou proportion entre espèces. Cette façon d'aborder le problème de la diversité a été appliquée sur l'ensemble des taxons présents dans les échantillons et également pour le groupe des copépodes (voir plus loin). La notion de diversité ne revêt pas toujours la même signification pour les écologistes. Une analyse des divers indices, utilisés pour la mesurer dans un écosystème, a été longuement développée dans un travail récent (DESSIER, A., sous-presse). Quand la diversité s'exprime par rapport à l'espèce on parle de diversité spécifique (cas de l'étude des copépodes ci-après). L'indice de diversité utilisé dans ce travail, pour l'ensemble des taxons des échantillons d'une part, et pour les

espèces de copépodes d'autre part est l'indice de diversité de Shannon (SHANNON, 1948) :

$$H = \sum_{i=1}^{i=S} p_i \log_2 p_i$$

H est exprimé en bits/individus (b/i)

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

$n_i$  est l'effectif de la même espèce ou du même taxon  
 $N$  est l'effectif total des espèces (ou taxons)  
 $S$  est le nombre d'espèces

a) Etude de la diversité par l'intermédiaire du calcul des dominances

VARIATIONS SAISONNIERES : La figure V.13 représente les variations des pourcentages cumulés des taxons en fonction du nombre de taxons comptés ou du rang des taxons, classés par ordre d'importance décroissante (hiérarchie). Les pourcentages ont été calculés sur l'ensemble des échantillons de chaque mission et pour chaque espèce, puis classés par ordre d'importance décroissante. La figure V.13 montre quelques exemples (8 - caractéristiques des différentes saisons) de la diversité des récoltes. De l'étude des quarante missions, quelques remarques se dégagent :

- on obtient toujours plus de 50 % des individus récoltés si l'on tient compte des trois espèces les plus abondantes. On obtient très souvent 50 % si on ne compte que deux espèces, et très rarement 50 % avec une seule espèce (mars 1977),
- 75 % de l'effectif est atteint rapidement avec 3 à 5 espèces et 90 % avec 5 à 7 espèces en hiver (janvier 1977, mars 1977, février 1978). Au contraire, en période estivale, 90 % n'est atteint que lentement, après comptage d'une quinzaine d'espèces (juillet 1976, juillet 1977, août 1977, juin 1978). Ce

résultat simple montre qu'une bonne image des récoltes est obtenue. en recensant un très petit nombre d'espèces en hiver et un plus grand en été ; ceci revient à dire que la diversité est plus grande en été qu'en hiver, résultat conforme à ceux obtenus en Manche Occidentale, à ROSCOFF par exemple (LE FEVRE-LEHOERFF, G., 1972), mais assez différent de ceux déjà obtenus par nous en Manche orientale, à GRAVELINES et PALUEL (Rapport C.N.E.X.O., 1977, Gravelines - Rapport C.N.E.X.O., 1977, Paluel).

VARIATIONS SPATIALES (figure V.14) : Aux différents points de prélèvements A, B et C (radiale) la composition faunistique est différente. On remarque sur la figure que les pentes des courbes sont différentes : plus faible en C qu'en B, elle-même plus faible qu'en A., ce qui revient à dire qu'en juillet 1976 la diversité est plus faible à la côte qu'au large. On remarque aussi que la composition du plancton au point D est intermédiaire entre A et B.

b) Indice de diversité de Shannon calculé sur le plancton total (figure V.15)

VARIATIONS SAISONNIERES : L'indice de diversité varie selon la saison. Le minimum annuel s'observe en mars (1977) ou février (1978). La valeur moyenne de l'indice est proche de 1,0 à cette époque. Le maximum en septembre se situe aux environs de 3,5. On remarque que si les courbes présentent de nombreuses irrégularités, les résultats sont assez comparables d'une année à l'autre.

VARIATIONS SPATIALES : On a comparé d'une part les variations aux points 2 (B) et 4 (D) et d'autre part aux points 1 (A), 2 (B) et 3 (C). On remarque que toutes les courbes présentent globalement la même allure de variations saisonnières et que les courbes aux différents points sont peu écartées l'une de l'autre. Les valeurs de l'indice ne présentent pas de gradients stables au cours de l'année. Les variations spatiales des indices de diversité ne sont pas faciles à interpréter. Cependant, il semble, après un premier examen, que les gradients peuvent s'inverser selon la saison. L'amplitude annuelle de l'indice semble plus forte au point 1 (A) correspondant au caractère

très côtier de la station. Si on compare les stations 2 (B) et 4 (D) l'indice de diversité est tantôt plus élevé en 2, tantôt plus élevé en 4 ; ceci peut suggérer qu'il y a une inversion saisonnière des gradients avec une valeur de souvent plus élevée en B qu'en D en été et automne et inversement en février.

### III) VARIATIONS QUANTITATIVES DES ESPECES ZOOPLANCTONIQUES - VARIATIONS SAISONNIERES ET SPATIALES

#### 1 - Méroplancton

Le méroplancton tient une grande place parmi le zooplancton de FLAMANVILLE. Nous présentons pour commencer la courbe (moyenne) des variations saisonnières de ce méroplancton qui contient essentiellement des larves et quelques méduses d'hydrires. Parmi ce méroplancton il faut retenir l'importance, qualitative et quantitative des larves de crustacés.

La figure V.h montre une baisse entre octobre et mars, et une phase maximale (régulièrement répétée lors des deux cycles), depuis le printemps jusqu'à septembre.

#### a) Larves de crustacés

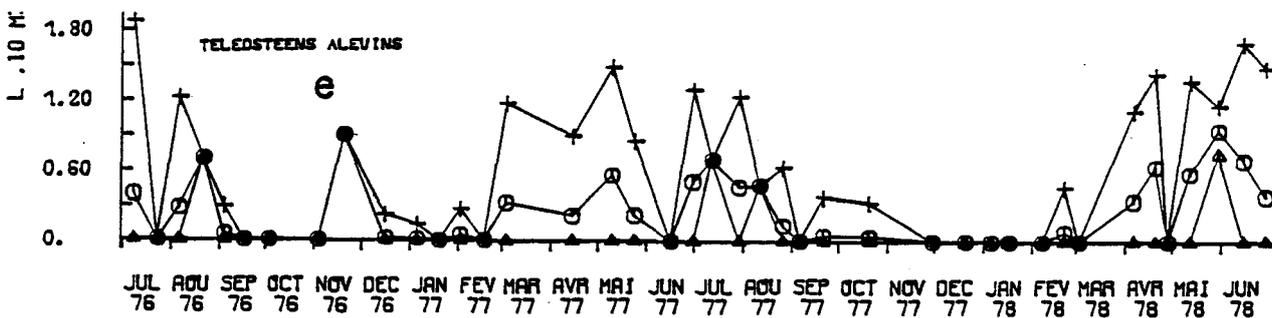
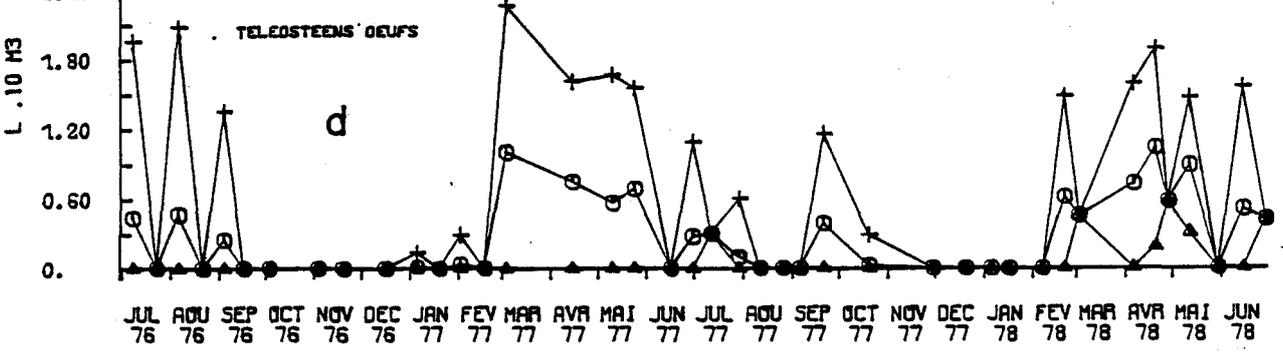
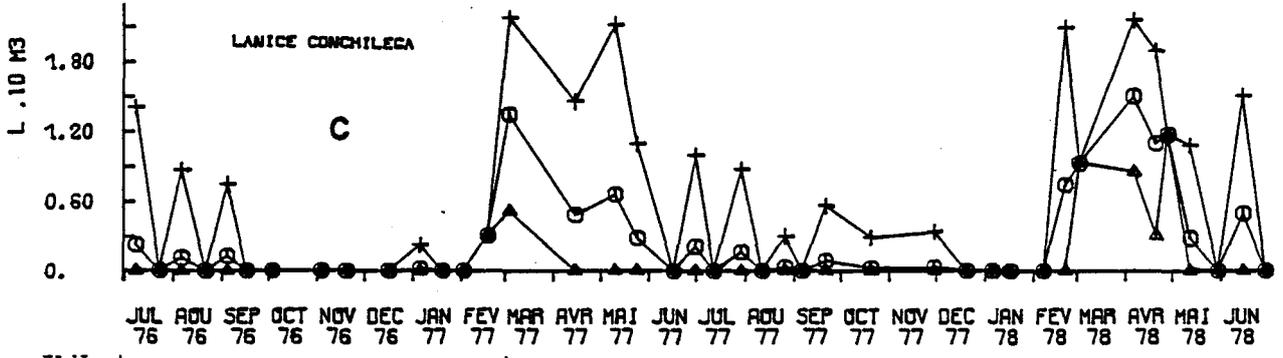
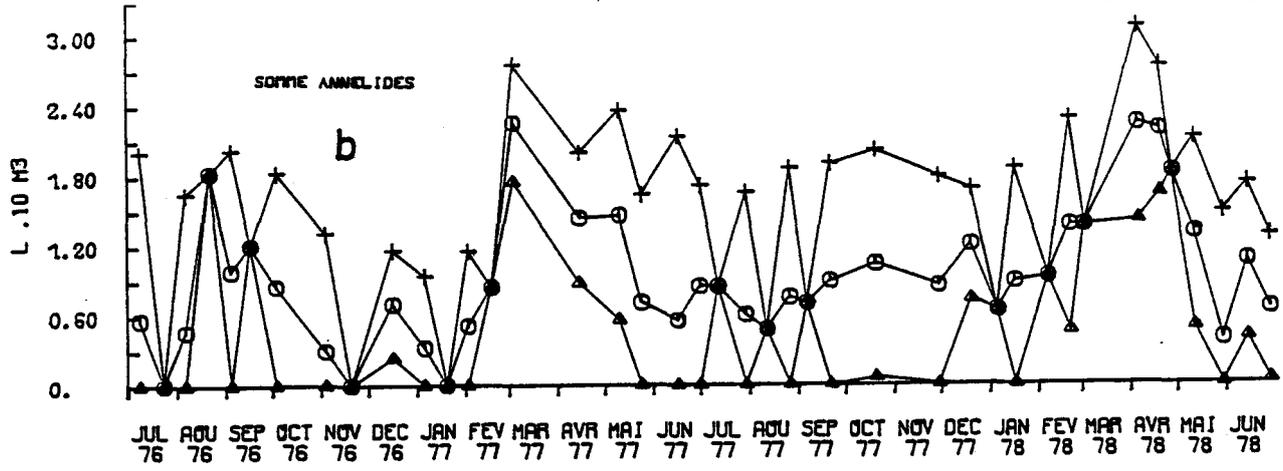
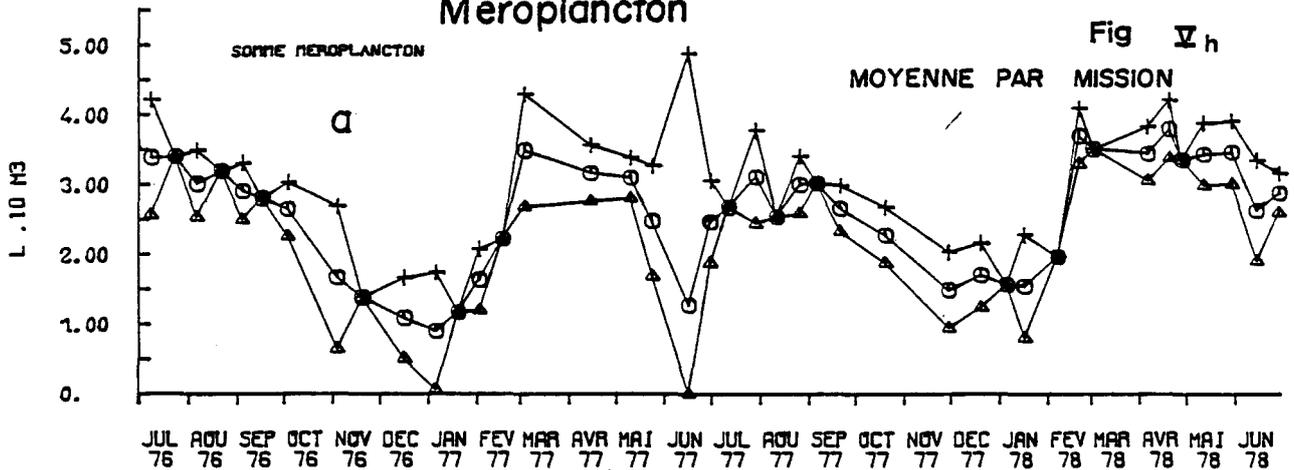
Parmi ces larves, celles des cirripèdes sont particulièrement abondantes et constituent en nombre d'individus la majeure partie des larves de crustacés. La figure V.f p. 137 des variations saisonnières du pourcentage de dominance des larves cirripèdes montre bien qu'il représente jusqu'à 80 % du zooplancton total. Pour comparaison, notons que l'ensemble des larves de décapodes ne dépassent pas 25 % de l'ensemble du zooplancton, et les larves d'annélides 10 %.

#### a1) Larves de Cirripèdes

On sait que les cirripèdes adultes sont fixés à des substrats rocheux et peuvent peupler, de façon très dense, de larges étendues. Ils émettent leurs larves très tôt vers la fin

# Méroplancton

Fig 5<sub>h</sub>



l'hiver. On distingue deux stades larvaires : "nauplius" et "cypris". On observe sur la figure V.f les variations saisonnières de l'ensemble des larves de cirripèdes, soit un pic d'abondance fin mars en 1977 et un maximum plus étalé dans le temps en 1978, depuis janvier à fin avril, qui comprend deux pics successifs. L'ordre de grandeur des effectifs est semblable pour les deux années, soit de l'ordre de 3000/10 m<sup>3</sup>.

Du fait de la forte mortalité, le nombre de larves cypris est toujours faible par rapport au nombre de nauplii ; on note un décalage de trois semaines à un mois entre les moments d'abondance maximale qui correspond au temps de développement.

La comparaison des effectifs moyens en larves de cirripèdes, entre les prélèvements faits à basse mer et ceux faits à haute mer, ne montrent pas de différence.

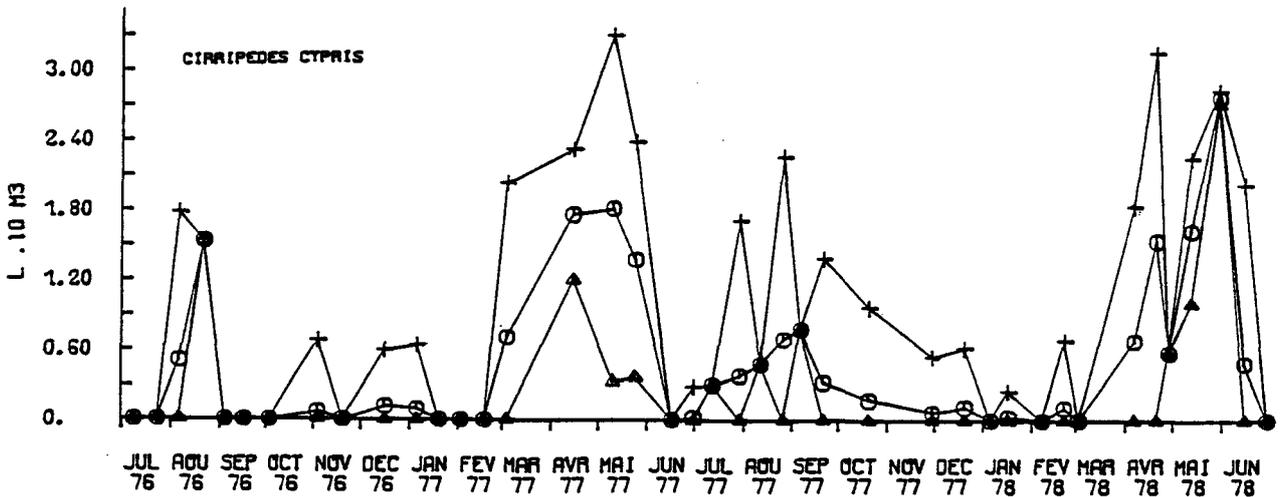
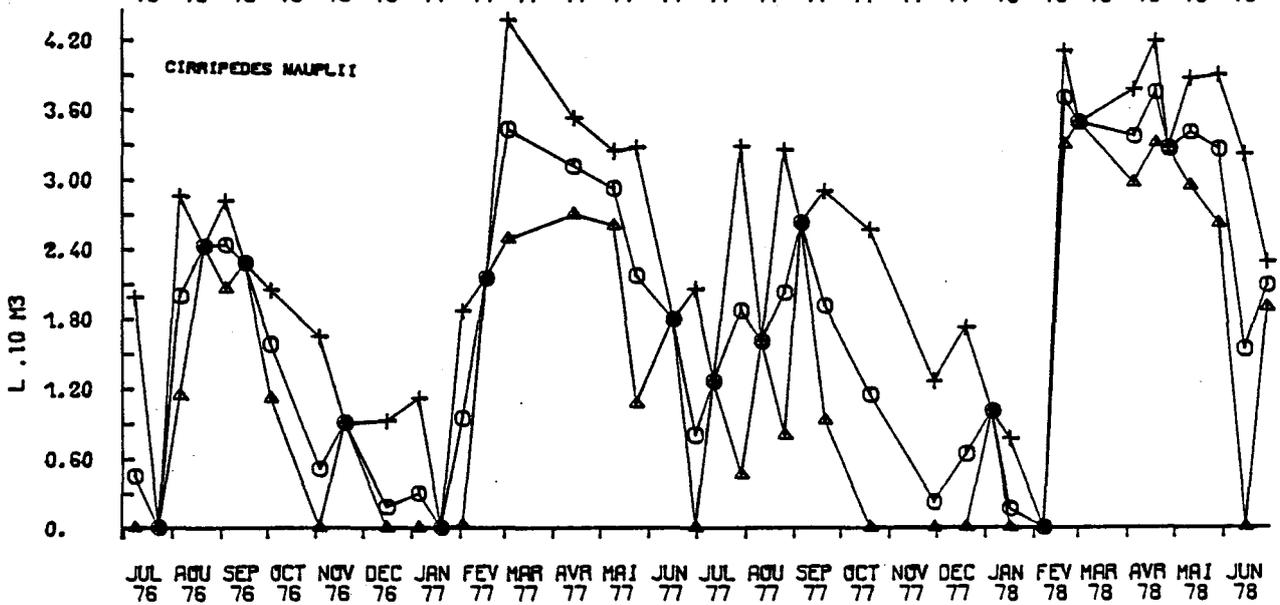
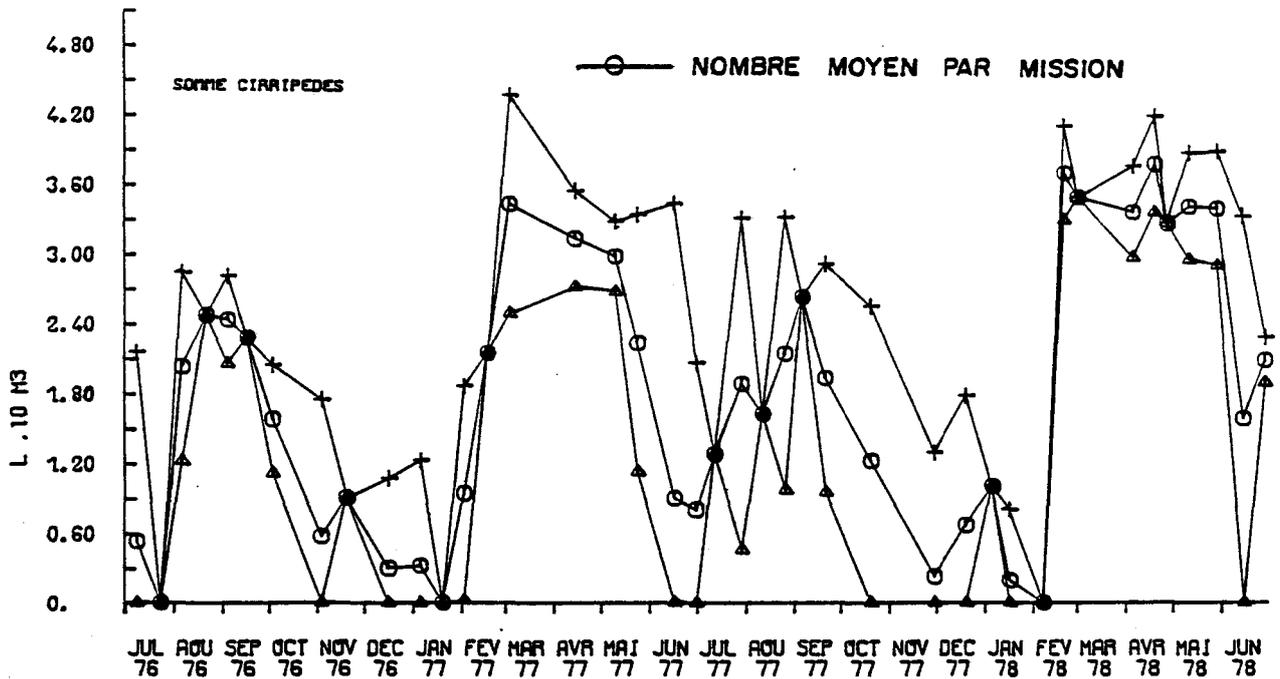
La comparaison entre le point médian et le point hors-tache (figure V.16) donne pour le stade nauplius une grande similitude et un léger décalage pour les stades cypris, ces derniers étant un peu plus abondants au point hors-zone, en particulier en avril 1978, au moment du maximum. On peut penser que ceci est dû à la dispersion des larves par les courants, les plus fortes émissions se faisant près de la côte (où il y a le plus de balanes) et les stades les plus âgés se trouvent plus largement distribués dans les points les plus éloignés.

Enfin, la comparaison des effectifs entre les trois points de la radiale (figure V.17) montre que les nauplii sont un peu plus abondants à la côte.

Dans l'ensemble les profils des courbes de variations saisonnières restent très semblables, qu'il s'agisse des résultats du premier ou du deuxième cycle, de la comparaison côte-large, point B-point hors-tache, étale de basse mer - étale de haute mer.

Larves de cirripèdes  
variations saisonnières

Fig V<sub>i</sub>



a2) Larves de décapodes

Nous distinguons dans ce groupe plusieurs catégories, l'ensemble des larves de décapodes, puis, à l'intérieur de ce groupe, les larves des genres *Upogebia* et *Pisidia*, celles de paguridés, galathéidés, caridés, enfin l'ensemble des zoés de brachyours et des mégalopes, enfin, parmi les zoés de brachyours celles de *Pinnotheres* et *Ebalia* sont différenciées (il ne faut pas oublier que l'étude des larves de ce groupe est pris en charge par l'I.S.T.P.M. de façon plus approfondie et que nos études se complètent).

La figure V.j donne en pourcentage l'importance relative des trois groupes : zoés de brachyours, *Pisidia*, *Upogebia*, au sein de l'ensemble des larves de décapodes ; on peut suivre l'évolution saisonnière, la partie supérieure du graphique correspond aux "autres" larves en particulier celles de paguridés et galathéides.

La courbe moyenne des variations saisonnières (figure V.k) du nombre total de larves de décapodes montre que le maximum se situe en été, août 1976, juillet 1977, et déjà en juin 1978 (date où s'arrête l'étude) on observe un fort accroissement.

Les larves de décapodes ne sont jamais totalement absentes, même entre novembre et février.

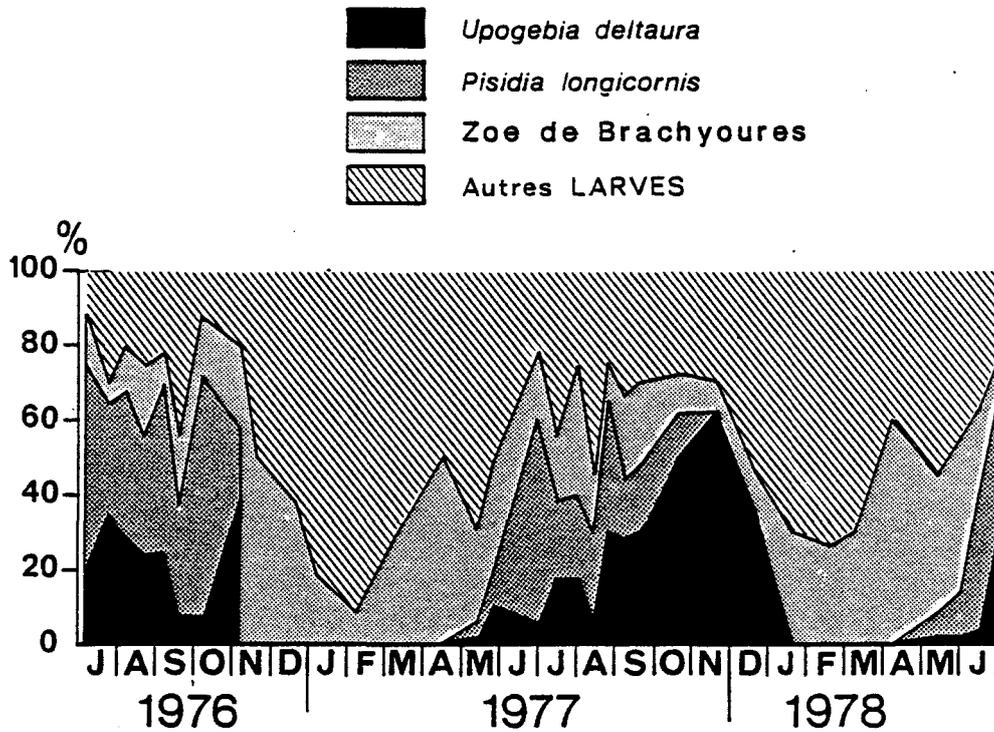
En résumé, on observe deux phases, l'apparition au début de printemps puis diminution et fort effectif en été.

*Upogebia deltaura* : (figure V.l). Les larves de ces thalassinidés sont très abondantes en juillet et août, le maximum est brusque et bien marqué, la "disparition" de même (en fait on voit encore quelques rares larves en hiver). Les effectifs, plus abondants en 1976 qu'en 1977 sont de l'ordre de 150/10 m<sup>3</sup>. Il y a une bonne concordance entre les deux années en ce qui concerne les variations saisonnières de ces larves.

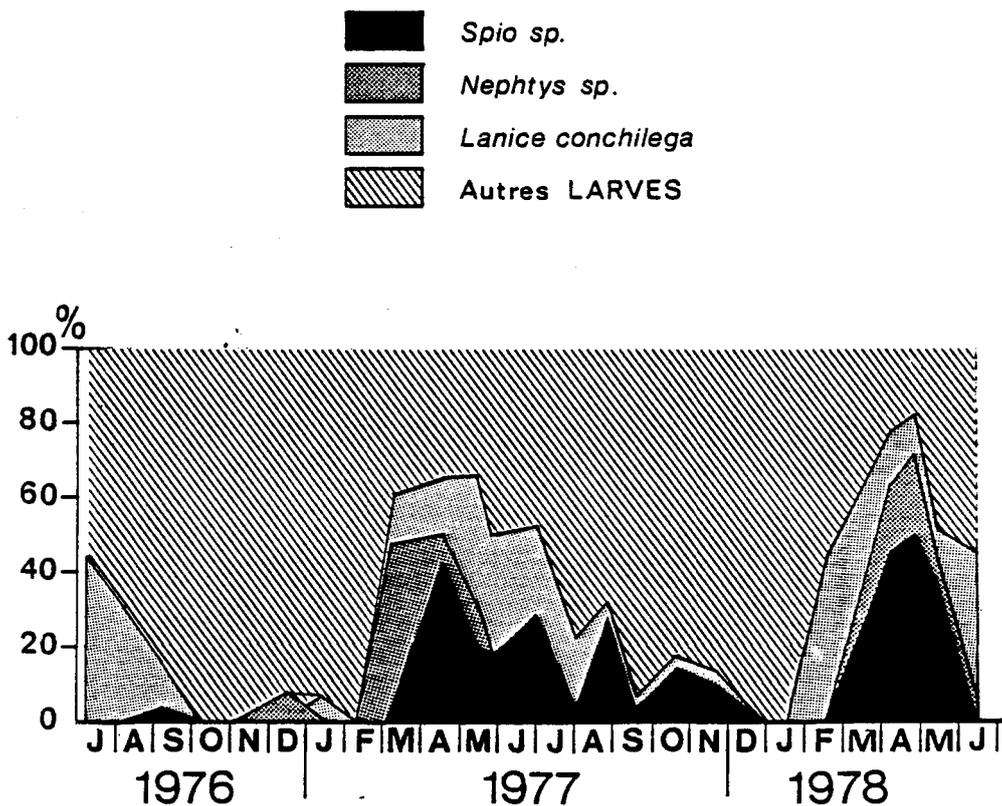
## MEROPLANCTON

POURCENTAGE DE DOMINANCE  
DE DIFFERENTES LARVES DANS LEUR GROUPE

## a. LARVES DE DECAPODES



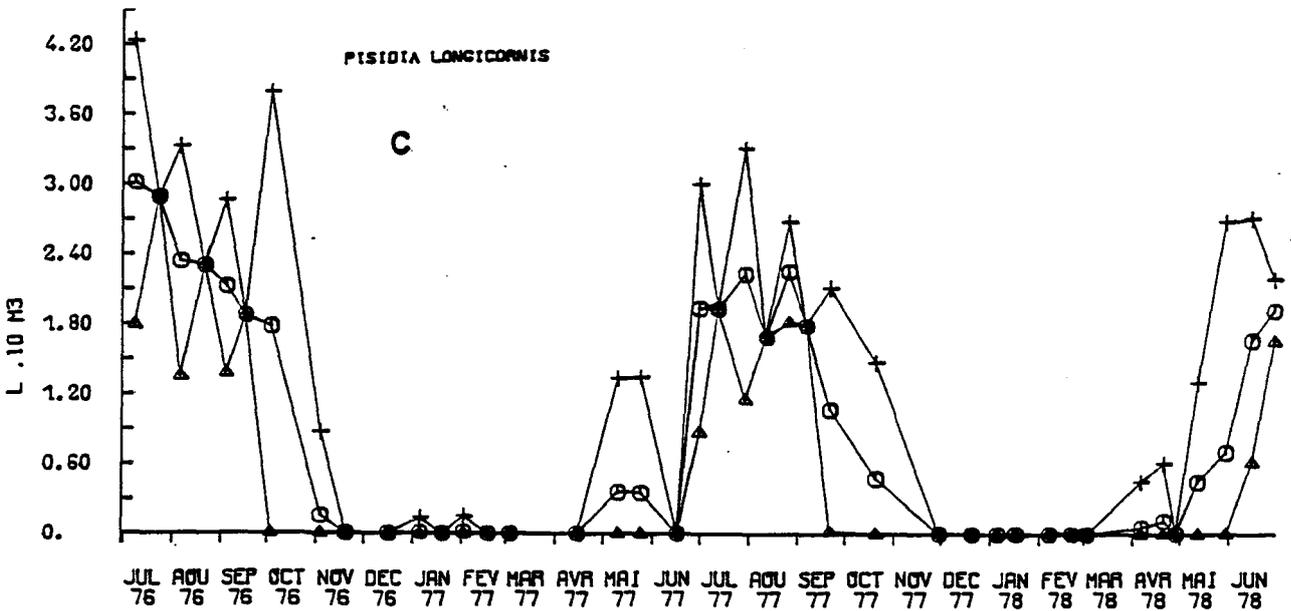
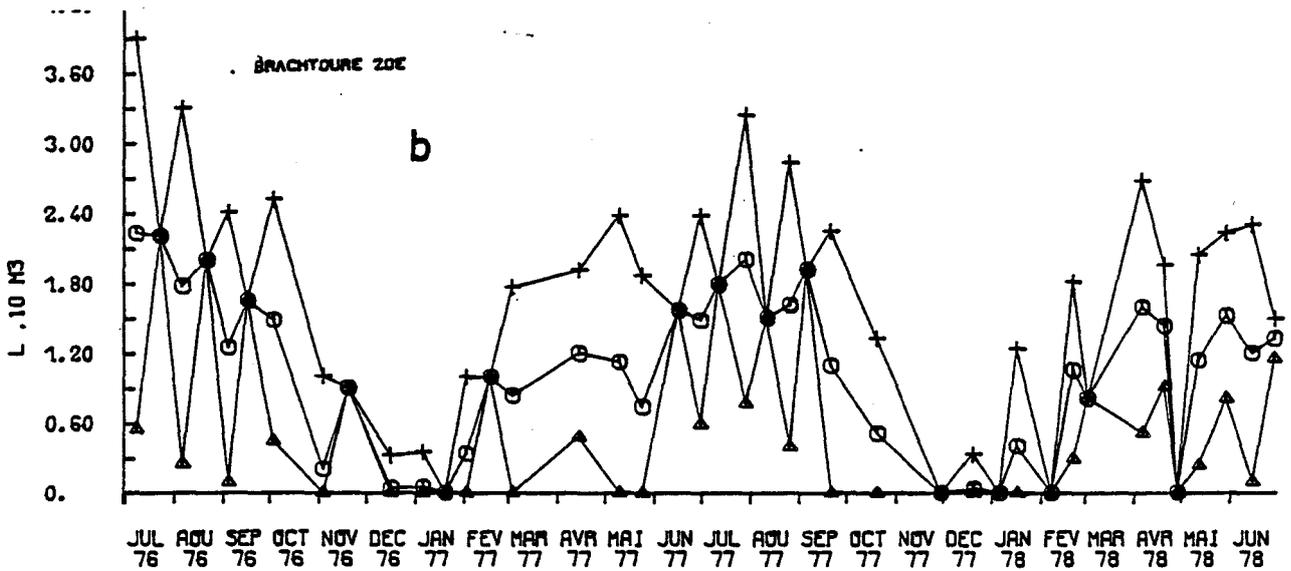
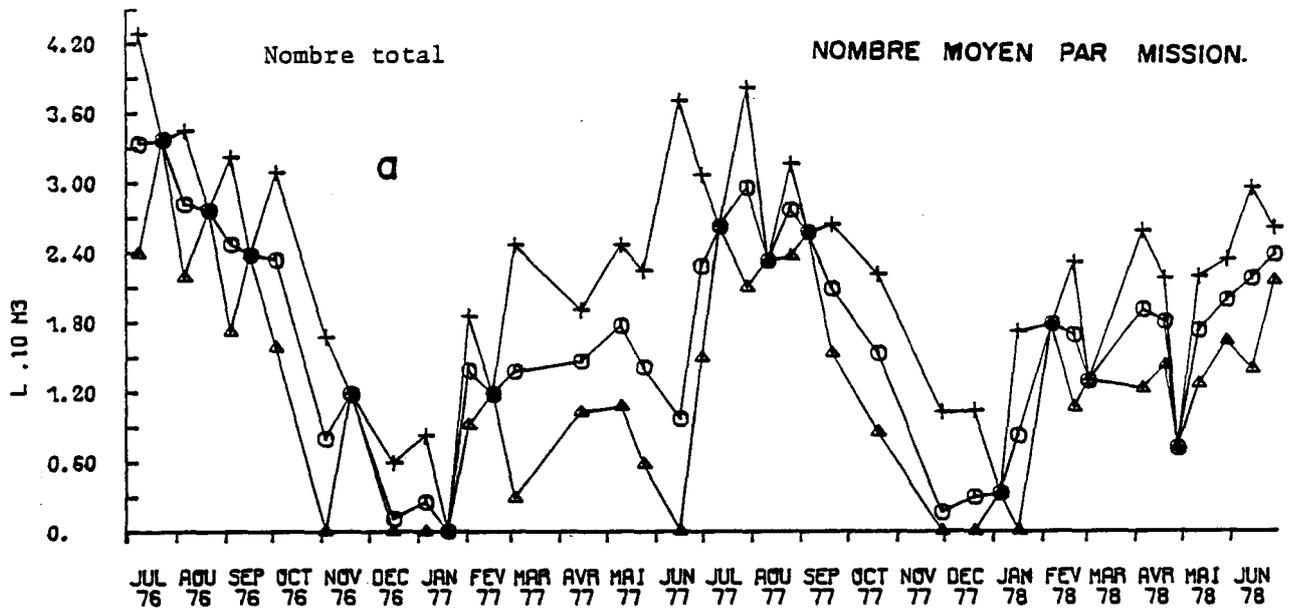
## b. LARVES D'ANNELIDES



# Larves de décapodes variations saisonnières

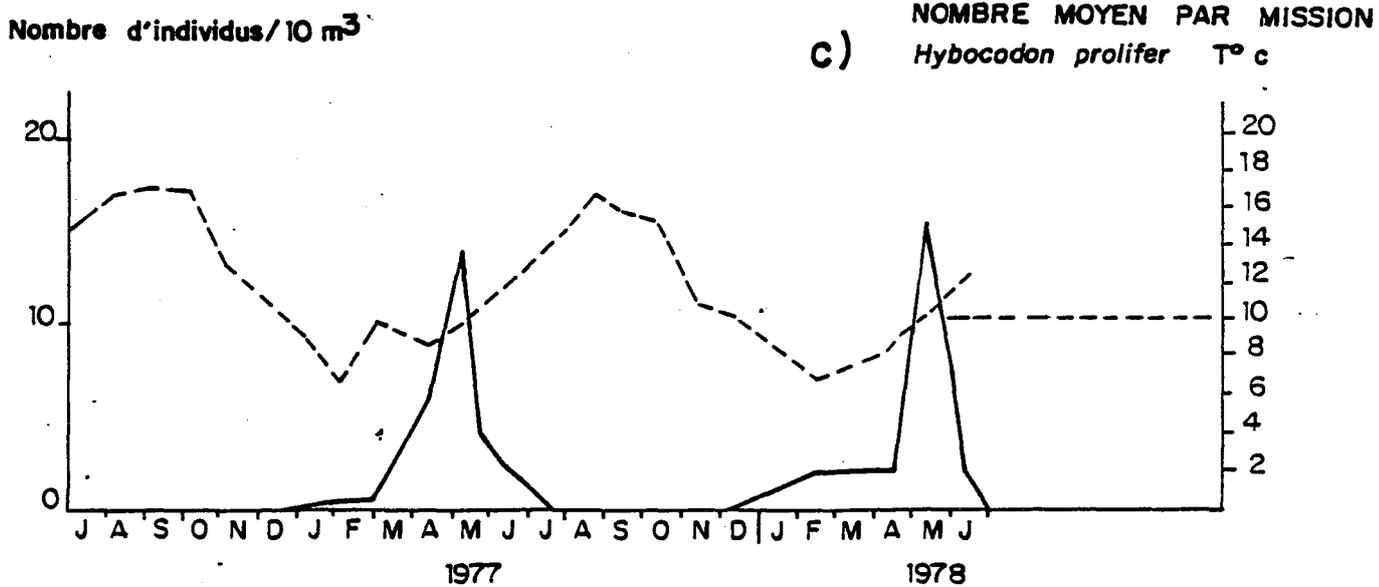
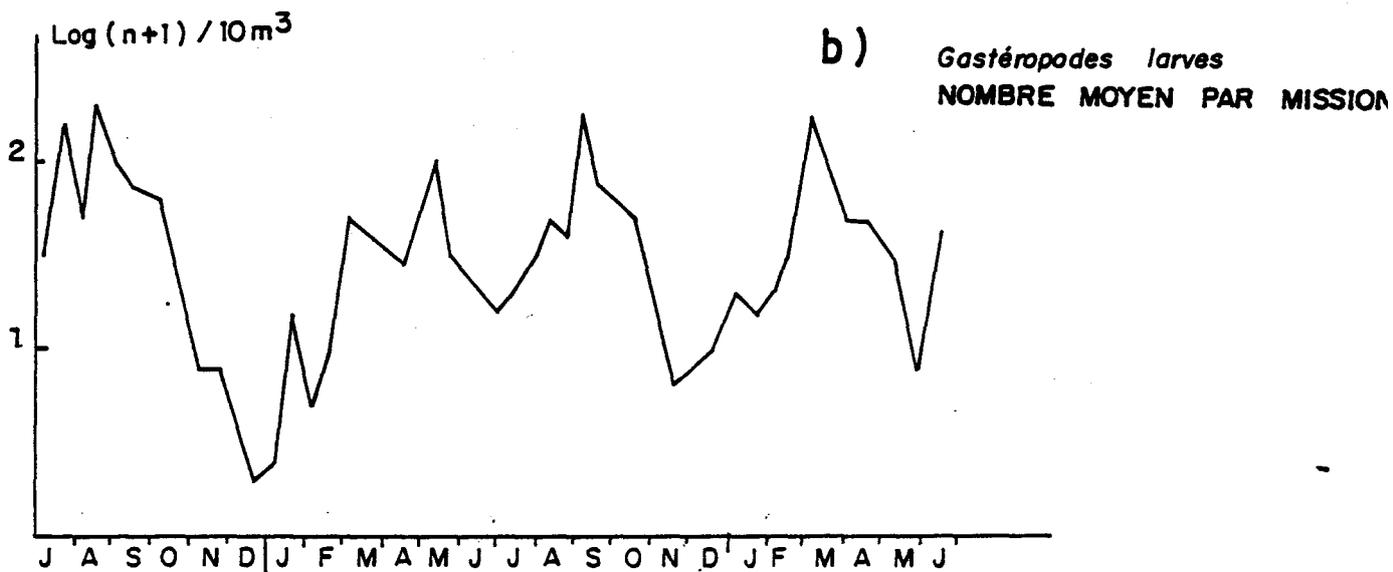
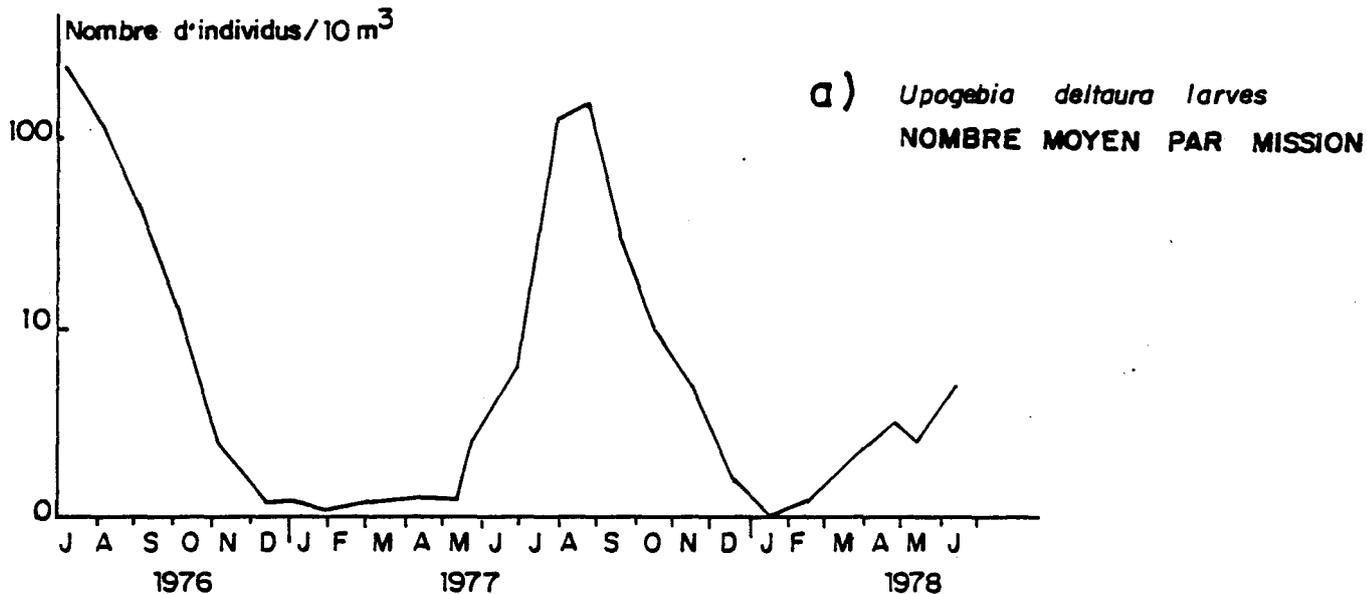
+ maxi  
o moyenne  
Δ mini

Fig V<sub>k</sub>



**MEROPLANCTON**

Figure V.1



Pisidia longicornis (figure V.k) : cette larve de porcellanidés est la plus importante (il est d'ailleurs possible que des larves de *Porcellena platycheles* aient parfois été confondues accidentellement). Les premières larves de cette espèce apparaissent au début du printemps, le maximum se situe en juillet et août, elle restent ensuite présentes dans le plancton de novembre à mars. Les effectifs sont plus forts en 1976 qu'en 1977, soit 1 millier/10 m<sup>3</sup> en juillet contre 250/10 m<sup>3</sup> en 1977.

Paguridés : les larves de pagures sont très précoces et restent présente toute l'année. Les premières apparitions ont lieu fin janvier (jusqu'à 156/10 m<sup>3</sup> en février 1978). Il s'agit à ce moment, très vraisemblablement de *Eupagurus bernhardus* (des femelles grainées ont par ailleurs été observées à ce moment dans des dragages). Les larves de paguridés représentent durant le premier trimestre de 60 à 100 % des larves de décapodes.

Galathéidés : ce sont des larves qui sont émises en été, le moment où elles sont le plus abondantes se situe en juillet et août, jusqu'à 300/10 m<sup>3</sup>. On observe, comme pour beaucoup d'autres larves, que les quantités sont toujours beaucoup plus forte en été 1976 qu'en 1977, jusqu'à 10 fois plus, et l'on sait la chaleur enregistrée au cours de cet été. Il faut dire que même si d'après la courbe de température page 27, il n'apparaît qu'une différence faible, les organismes y sont très sensibles, et en 76, le réchauffement se fait sentir en avril.

Caridés : parmi ceux-ci on compte les larves de crevettes grises (*Crangon crangon*) ; le maximum se situe en juillet, avec une dizaine de larves/10 m<sup>3</sup> en 1976, en moyenne (410/10 m<sup>3</sup> ont été enregistrés en un prélèvement du large le 8 juillet 1976). Dans l'ensemble, on remarque que ces larves sont plus fréquentes au point médian (B).

Larves de brachyours (figure V.k) : nous citerons d'abord les zoés des genres *Ebalia* et *Pinnothères* que nous distinguons des autres. Elles sont surtout présentes en été :

- larves de *Ebalia* : les effectifs sont assez faibles, de 10 à 50/10 m<sup>3</sup>, et légèrement plus nombreux au point hors tache. Le moment du maximum est de juillet à septembre. On note un prélèvement le 8 juillet 1976 avec 234/10m<sup>3</sup>. Elle est absente de novembre à mars,

- larves de pinnothères : on sait que les adultes vivent comme commensal dans les bivalves, en particulier *Pinnotheres pisum* vit dans les moules. C'est en juillet et août que l'on trouve le plus grand nombre de zoé de pinnothères ; les effectifs atteignent plus de 1000/10 m<sup>3</sup> le 29 juillet 1977 dans quatre prélèvements, et en particulier au point médian. Sauf rares exceptions, on n'en compte pas entre octobre et juin.

Pour en revenir aux larves de brachyours, notons que nous séparons zoé et mégalope. Il s'agit bien évidemment d'un groupe intéressant puisqu'il regroupe crabes, araignées de mer, etc., soit des espèces commercialisées.

Le cycle saisonnier se présente comme assez régulier. On peut distinguer deux phases principales, une au printemps, l'autre en été, surtout de juillet à septembre. Les mégalopes sont toujours moins nombreuses et les périodes de maximum sont décalées puisqu'il s'agit d'un stade plus âgé.

#### b) Larves d'annélides :

On recense à FLAMANVILLE des larves d'annélides de 17 types différents, en particulier, onze appartiennent à la famille des spionidés. Cependant, à FLAMANVILLE, ces larves ne sont pas aussi abondantes que sur les sites de la Manche Orientale.

Le tableau page 157 montre les périodes de présence pour chacun d'eux (outre des larves on observe quelques *Tomopteris helgolandicus* qui sont des annélides holoplanctoniques).

La figure V.jb des variations saisonnières du nombre total moyen de larves d'annélides montre qu'ils sont présents toute l'année, le maximum, pas très fortement marqué, se trouve en mars 1977, en avril 1978 ; il correspond plus précisément au maximum des larves de *Lanice conchilega* et aussi de *Nephtydés*.

La figure V.jb montre, en pourcentage, l'importance des principales espèces qui sont à FLAMANVILLE : *Lanice conchilega*, *Nephtys sp.* et *Spio sp.* ; ces deux dernières espèces restent les plus originales en ce qui concerne ce site où elles sont plus abondantes qu'en Manche Orientale.

Les larves de *Lanice conchilega* sont retenues comme intéressantes car elles sont présentes et abondantes toute l'année sur tous les sites (dans le plancton) ; l'adulte, on le sait, peuple, à tous niveaux, de grandes étendues de fond de sables, et constitue une part de la nourriture des poissons.

### c) Cnidaires

On distingue quatorze espèces d'hydroméduses et des larves scyphozoaires ("ephyrula").

Le tableau (page 157) donne les périodes de présence pour l'ensemble de ces animaux :

- hydroméduses : nous ne retiendrons que *Phialidium hemisphaericum* parce qu'elle est la plus abondante et *Hybocodon prolifer* pour l'intérêt qu'elle présente vu les conditions précises de température dans lesquelles on la rencontre toujours,

- *Hybocodon prolifer* (figure V.1) :

cette petite hydroméduse de taille inférieure au millimètre est présente dans toute la Manche, sa répartition géographique s'étend depuis les bords de l'Atlantique et jusque dans les zones arctiques. Il se trouve que son cycle saisonnier est précisément délimité dans le temps, en fonction de la température de l'eau. Elle peut vivre dans les eaux glacées (KRAMP, 1927). En Manche, on la trouve dès le mois de janvier ; elle prolifère très intensément par bourgeonnement asexué lorsque la température se situe entre 9° et 11°, puis se reproduit de façon sexuée par oeufs et actinules (AURICH, 1957 - BODO, 1963 et 1969). Ensuite on remarque la brusque diminution puis la complète disparition de cette espèce alors que l'eau dépasse 13° - 14° ; ceci se situe à la fin de mai ou au début de juin, en Manche.

ESPECES	MOIS (1976)						MOIS (1977)						
	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	
<i>Aphroditidés</i>	+		+	x +	x	x +	x +	x +	x		x +	x +	x
<i>Néréidés</i>			x	x			x	x					
<i>Phyllodoce sp.</i>											+	+	
<i>Nephtys sp.</i>								+	x	x +	x +	+	
<i>Scololepis ciliata</i>	+	+	+	+	x +	x +	x	x +	x +	x +	x +	x +	+
<i>Scolopsis fuliginosa</i>			+	x +	+	x +	x +	x +	x +	x +	x +	x +	+
<i>Scololepis girardi</i>	+			+								+	
<i>Nerine sp.</i>	x	+	+	+	+	x +	+	+	x +	+	+	+	+
<i>Spio. sp.</i>	+	+	x +	x +	x +	x +					x +	x +	x +
<i>Spiophanes sp.</i>									x				
<i>Polydora ciliata</i>		x +	x					+	+	+	x +		
<i>Polydora caeca</i>			+									+	
<i>Polydora flava</i>												+	
<i>Polydora pulchra</i>			+	+					x	+			
<i>Pigospio sp.</i>								+				+	
<i>Lanice conchilega</i>	x +	x +	x +	+	+		x	x +	x +	x +	x +	x +	x +
<i>Autolytus prolifer</i>	x +	x +	x +	x +	x +	x +	x +	x +	x	+	x +	x +	x +
<i>Tomopteris helgolandica</i>	x +	x +	x +										x
<i>Sarsia eximia</i>	x +	+	+									x +	x +
<i>Sarsia gemmifera</i>	x	x +	x +	+		+					+		x +
<i>Sarsia prolifera</i>	x +	+	+									x +	x +
<i>Dipurena halterata</i>	x +	+											+
<i>Zanclaea sessilis</i>	+	x	+									x	+
<i>Corimorpha nutans</i>	x												+
<i>Hybocodon prolifer</i>							+	+	x +	x +	x +	x +	x +
<i>Phialidium hemisphaericum</i>	x +	x +	x +	x +	x +	+				x	x +	x +	x +
<i>Obelia sp.</i>	x +	+	x +	x				+	x	x +	x +	x +	x +
<i>Orthopyxis integra</i>		x	x										
<i>Eucheilota miculata</i>					x +	x							
<i>Phialella quadrata</i>												x	
<i>Eutima gracilis</i>				+		+							+
<i>Liriope tetraphylla</i>				+									

LEGENDE : x = 1er cycle

+ = 2ème cycle

#### MEROPLANCTON

=====

1) Tableau récapitulatif des périodes de présence de larves d'annélides et de cnidaires

Le comportement saisonnier ainsi résumé correspond à une abondante série d'observations faites sur le zooplancton en Manche (GRAVELINES, PALUEL, PENLY), ainsi qu'à des études faites à ROSCOFF (BODO, 1963), et dans les mers nordiques (KRAMP, 1927).

- *Phialidium hemisphaericum* : c'est la plus abondante ; elle est présente dans le plancton, surtout de juillet à octobre. Cependant, les effectifs sont assez faibles par rapport à ce qui était observé à ROSCOFF (BODO, 1963) ; ils sont surtout très irréguliers, ainsi on en récolte de quelques dizaines à 400 individus/10 m<sup>3</sup> dans différents replicats d'une même station. Nous pensons que le filet de maille de 200 $\mu$  est trop fin pour de telles espèces qui atteignent jusqu'à 1 cm et certainement l'évitent.

Les hydroméduses ont deux intérêts : comme prédateurs de nombreux crustacés et comme animaux capables de peuplement intense des substrats par leur hydraires qui, en tant qu'arbucules, peuvent obstruer des canalisations.

Disons quelques mots enfin sur les larves "ephyrula" de scyphozoaires que l'on rencontre en hiver : jamais plus de 2 à 5 individus/10 m<sup>3</sup> au mois de décembre. En ce qui concerne les scyphozoaires adultes, nous les rencontrons rarement au cours des missions, seulement en été 1976 un très large "banc" de *Rhizostomas* s'étendant depuis le site de FLAMANVILLE jusqu'à CARTERET.

#### d) Diverses larves du méroplancton

##### d1) Larves et oeufs de Téléostéens

Nous présentons les figures V.hd et V.he des variations saisonnières du nombre moyen d'oeufs d'une part, d'alevins d'autre part. Nous ne déterminons pas les alevins (voir I.S.T.P.M.). On voit que les pointes ont surtout lieu au printemps, de mars à juin. Ce pic principal de printemps correspond, d'après les observations de nos collègues (I.S.T.P.M.), à des soléidés.

d2) Larves de mollusques

On compte dans le plancton de FLAMANVILLE des larves de gastéropodes et des bivalves, en quantité très inférieure. Les variations saisonnières du nombre de ces larves sont nettement en "dents de scies", ce qui correspond à des pontes fréquentes et irrégulières de nombreuses espèces : pontes souvent conditionnées par des changements brutaux de la température de l'air qui agit sur les animaux découverts à basse mer (c'est surtout le cas des littorines et des patelles).

d3) Larves de bryozoaires

Ce sont de petites larves présentes toute l'année dans les échantillons. On remarque deux périodes où ils sont plus abondants : avril et août. Les effectifs sont de l'ordre de quelques dizaines jusqu'à 260/10 m<sup>3</sup> en avril 1978. Ces larves peuvent être issues de très nombreux bryozoaires d'espèces différentes. Ces bryozoaires sont importants au même titre que les hydraires, car ils colonisent très vite des substrats durs et peuvent se fixer dans des tuyauteries.

d4) Larves d'ascidies

Il s'agit de petites larves en forme de têtard ; elles sont présentes de juin à décembre à raison de 10 à 40/10 m<sup>3</sup>, avec un maximum en septembre (jusqu'à 100/10 m<sup>3</sup>). Le seul intérêt de ces larves est, comme pour les bryozoaires, le fait qu'il se fixent, pour donner naissance à des ascidies soit coloniales, soit isolées, mais également très "encombrantes" sur les substrats durs.

Des expériences menées à PENLY, cette année, concernant la fixation des larves sur des collecteurs, nous donneront des renseignements plus intéressants sur les espèces "actives" à se fixer et rapides à coloniser le substrat.

d5) Larves d'échinodermes

Nous ne ferons ici qu'une rapide mention de ces larves très peu abondantes ; il s'agit seulement, en été, de larves d'ophiures. On sait l'importance de celles-ci par contre sur un site, tel celui de GRAVELINES.

Du point de vue des variations spatiales nous avons pu comparer, pour le méroplancton, les variations saisonnières au point hors-tache et au point médian, et également les points de la radiale entre eux, puis les résultats des radiales faites à haute et basse mer ; on ne note pratiquement pas de différence quand on considère le méroplancton global ; dans le détail, on note quelques points précis, par exemple les larves de *Lanice conchilega* fig.V-hc jusqu'à deux fois plus abondantes à la côte et au point B qu'au large, en 1978, mais aucune différence en 1977 ; nauplii de Cirripèdes, toujours légèrement plus importants à la côte, alevins de téléostéens de même, au moment du maximum de mai ; enfin, nette prédominance des effectifs de *Pisidia longicornis* au point hors-tache par rapport au point B, (notamment en 1977) figure V-k.c. Nous donnons en annexe une série de courbes faites à l'ordinateur, permettant ces diverses comparaisons.

### CONCLUSION

On compte dans le méroplancton de FLAMANVILLE une quarantaine de taxons (espèces, genres, familles ou groupes) appartenant aux cnidaires, crustacés, annélides, etc.

Les larves de crustacés sont les plus nombreuses en particulier celles des cirripèdes.

Il faut retenir du cycle général du méroplancton une phase d'abondance de février à octobre ; on note, chronologiquement, l'émission de nauplii de cirripèdes (balanes) au début de février, puis, en juillet le maximum de larves de *Pisidia longicornis* (porcellanes) suivi de celui des larves d'*Upogebia deltaura*.

On retiendra pour les annélides seulement trois types de larves, dont *Nephtys* qui semble particulariser ce site.

Enfin, on retiendra la présence, en mai de l'hydroméduse *Hybocodon proliifer* (cnidaires) et l'intérêt qu'elle présente du fait de ses relations avec la température.

Nous insistons ici sur la bonne reproductibilité des cycles de variations du méroplancton.

Enfin nous essayons de comparer les résultats des études du benthos et les notres, et des relations peuvent être établies en ce qui concerne les cirripèdes : ainsi, l'espèce *Balanus balanoides*, la plus abondante sur la région, se reproduit en hiver et c'est précisément au moment où l'on enregistre le plus fort pic pour les larves "nauplius" dans le zooplancton.

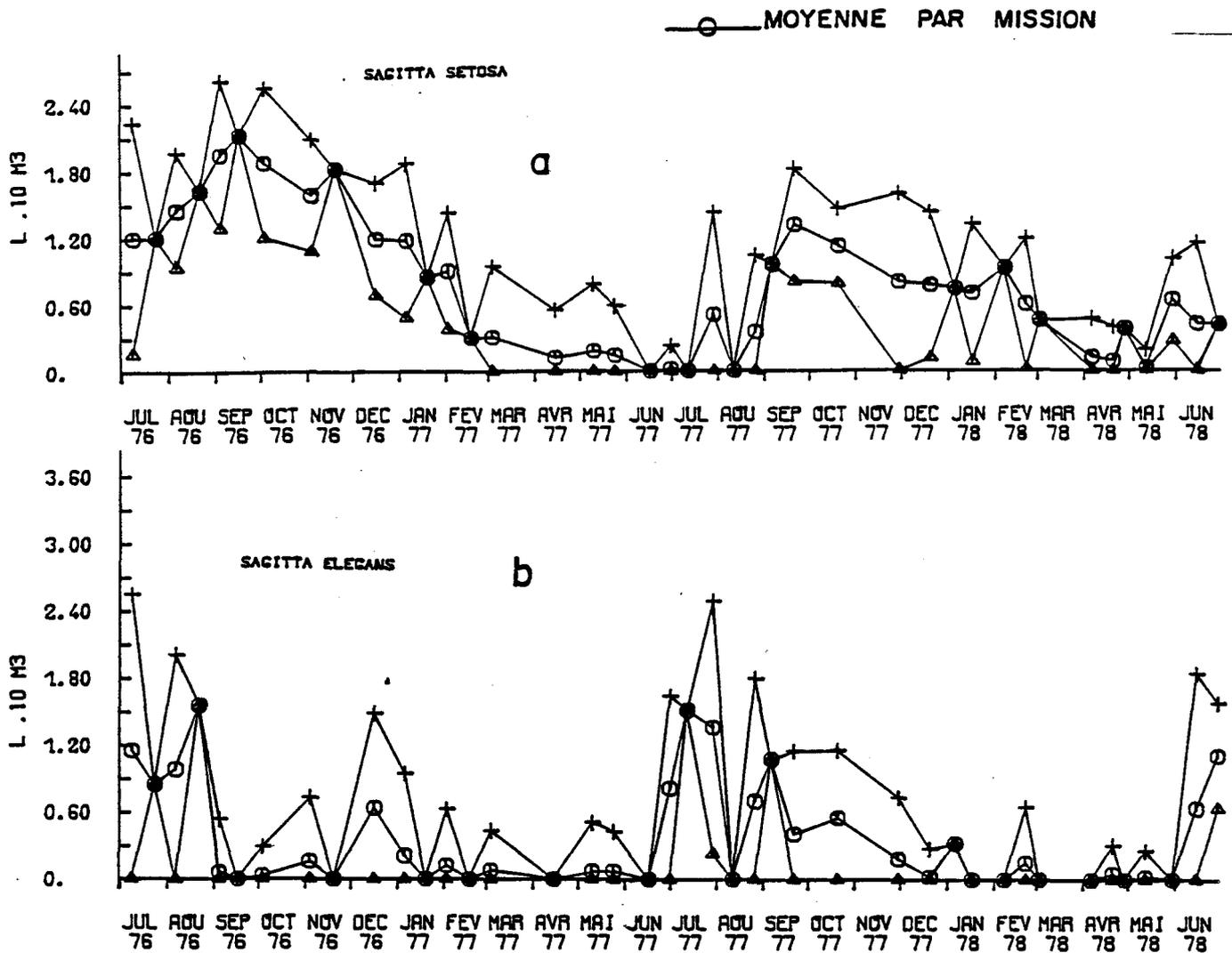
Nous nous devons d'insister sur la "fragilité" du méroplancton, pour la plus grande part "plancton de larves", qui assurent la pérennité des animaux côtiers et benthiques entre autre et le repeuplement.

## 2. Chaetognathes (figure V.m)

Ils sont présents dans le plancton pendant toute l'année ; il s'agit de *Sagitta setosa* et *Sagitta elegans*. Leur comportement saisonnier est connu pour être dépendant, pour chaque espèce, de conditions hydrologique différentes : *Sagitta setosa* est absente au moment où *Sagitta elegans* domine, *Sagitta setosa* "affectionne" en effet des eaux de salinité égale ou inférieure à 35 ‰ et de températures "tièdes". *Sagitta elegans* se situe plutôt dans des eaux de salinité plus fortes, associées aux températures froides du printemps et du début de l'été.

- *Sagitta setosa* est l'espèce la plus abondante : la courbe des variations saisonnières montre un maximum à la fin de l'été. Il est suivi d'une baisse assez régulière du nombre d'individus jusqu'à la fin de l'hiver ; les effectifs qui dépassent 100/10 m<sup>3</sup> sont très nettement supérieurs lors du premier cycle, année où l'été fut particulièrement chaud.

# Chaetognathes variations saisonnières

Fig V<sub>m</sub>

On peut penser que les individus murs se rapprochent de la zone côtière pour venir s'y reproduire. Nous entendons par zone côtière toute la région couverte par notre radiale "A - B - C", car, entre les points A et C et entre B et D on ne peut déceler de différence, ni dans le nombre (figure V.m) ni dans la taille des *Sagitta setosa*.

- *Sagitta elegans* : le maximum d'individus se situe en été, entre juin et août on enregistre la présence d'adultes matures et aussi de très jeunes ; les effectifs sont toujours inférieurs à ceux de *Sagitta setosa*. Les *Sagitta elegans* sont réparties de façon assez homogène dans la zone étudiée et comme pour l'autre espèce, les comparaisons (figure V.m) des variations saisonnières entre différents points ne donne rien de spectaculaire.

Il nous a été possible de rechercher la corrélation qu'il pouvait y avoir pour *Sagitta setosa* entre le nombre d'individus et la température de l'eau. On trouve un coefficient de corrélation égal à +0,65 (vérifié significatif à 97 %).

### 3 . Les Copépodes

#### a) Rappel de quelques généralités

Les copépodes constituent le groupe principal du plancton permanent ou holoplancton. L'holoplancton est constitué d'organismes dont tout le cycle biologique se déroule sous forme planctonique. Cette fraction du plancton est constamment sous la dépendance des conditions hydrologiques, et sous celle des pollutions diverses et des modifications du milieu. Aussi l'holoplancton va-t-il "intégrer" les changements qui peuvent se produire dans l'environnement tout au long du cycle annuel, contrairement aux larves du plancton qui sont très dépendantes des conditions momentanées du milieu. Dans le cas où les organismes holoplanctoniques se multiplient à un rythme rapide (par exemple certains copépodes présentent cinq générations par an), des modifications se manifestent dans le métabolisme et la physiologie des individus qui pourraient avoir un effet "cumulatif" d'une génération à l'autre.

Il n'est pas toujours facile de déceler les effets nocifs de certains facteurs sur les organismes. Par exemple, pour l'observation des récoltes de zooplancton, il n'est pas toujours possible de déceler la diminution de la production secondaire dans une région étudiée. En effet, le phénomène peut être masqué pendant un certain temps par le renouvellement constant du stock, et l'apport de populations zooplanctoniques liées à l'apport favorisé par l'arrivée de masses d'eau d'origine plus ou moins lointaine. Il est donc difficile de distinguer pour une zone donnée la quantité de plancton produit sur place (reproduction locale) de la quantité de plancton produite ailleurs et véhiculée par les masses d'eau. L'estimation de la biomasse totale du plancton à un instant donné, sur une aire donnée, est relativement aisée à connaître ;

ce qui l'est beaucoup moins c'est l'estimation de la production secondaire qui dépend de la dynamique de toutes les espèces présentes et qui se définit comme "la production de la matière organique réalisée par les organismes hétérotrophes tirant leur énergie finale de la production primaire" (BOUGIS, 1974). La dynamique de l'ensemble de l'écosystème va dépendre du nombre de générations de chaque espèce, de sa fertilité par unité de temps (l'année par exemple). La fertilité pourra être évaluée par le nombre d'oeufs pondus ou d'embryons produits par chaque femelle. La dynamique de chaque espèce dépendra aussi de la durée de vie de l'espèce et du pouvoir de prédation de chaque espèce sur les autres. La dynamique de trois copépodes *Temora longicornis*, *Acartia clausi* et *Centropages hamatus* a été étudiée sur le site de FLAMANVILLE pendant deux années. On a tenté de mettre en évidence les relations entre la production de ces espèces et quelques facteurs caractéristiques du milieu.

b) Pourcentage des copépodes dans les récoltes

On a déjà montré plus haut que les copépodes représentent un pourcentage important du plancton sauf aux mois de février et mars, au moment de l'émission des larves de cirripèdes. Si on considère maintenant, non plus le pourcentage des espèces dans la totalité du plancton, mais chaque espèce de copépodes à l'intérieur du groupe des copépodes, on peut suivre la succession des espèces de copépodes récoltées selon la saison beaucoup plus nettement que par l'examen des pourcentages calculés par rapport au plancton total ; huit espèces de copépodes ont été retenues comme particulièrement représentatives de FLAMANVILLE (figure : Vo).

*Pseudocalanus minutus* : espèce très importante à FLAMANVILLE toute l'année et atteignant 70 % des copépodes récoltés au mois de février.

*Parapontella brevicornis* : espèce peu abondante mais jugée intéressante par son caractère saisonnier : de juin à septembre, donc estivale.

Temora longicornis : cette espèce si abondante en Manche Orientale où elle atteint 85 % des copépodes (en avril ou mai à PALUEL, de mars à mai à GRAVELINES) atteint à FLAMANVILLE 38 % - 35 % environ des copépodes en juin et juillet 1977, 40 % en juin 1978, mais ne dépasse pas 18 % en été 1976. Elle disparaît pratiquement des récoltes entre novembre et février.

Centropages hamatus : il est présent à FLAMANVILLE de façon beaucoup plus constante que *Temora longicornis*. Le maximum de dominance est atteint en juillet (44 % en 1976 ; 32 % en 1977) mais est généralement supérieur à 10 % entre les mois de mars et d'octobre.

Acartia "clausi" :<sup>\*</sup> cette espèce représente 50 à 55 % des copépodes entre les mois d'août et de septembre. Sa présence est permanente sur le site et son abondance n'est jamais nulle.

Euterpina acutifrons : relativement négligeable à FLAMANVILLE, cette espèce ne dépasse pas 10 % en septembre 1976 et 20 % en mars 1978. De plus, les deux cycles ne sont pas identiques.

Calanus helgolandicus : sa présence n'est qu'occasionnelle dans les récoltes. Il faut remarquer que les types de filets utilisés ne sont pas adaptés au prélèvement de cette espèce de grande taille, aussi l'estimation du nombre est-il "par défaut".

Paracalanus parvus : espèce importante, elle représente 50 % des copépodes en novembre 1976 et seulement moins de 20 % en novembre 1977.

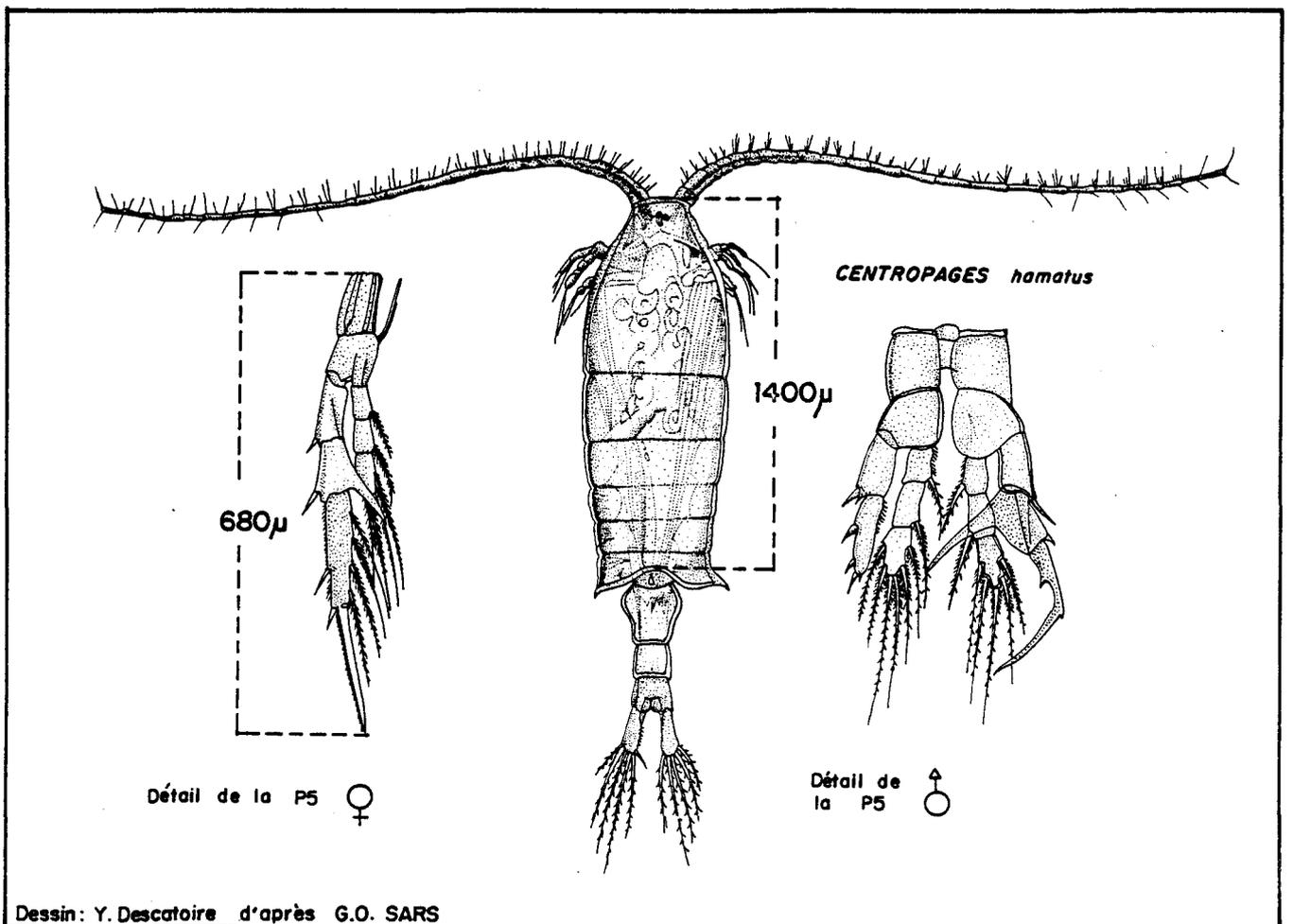
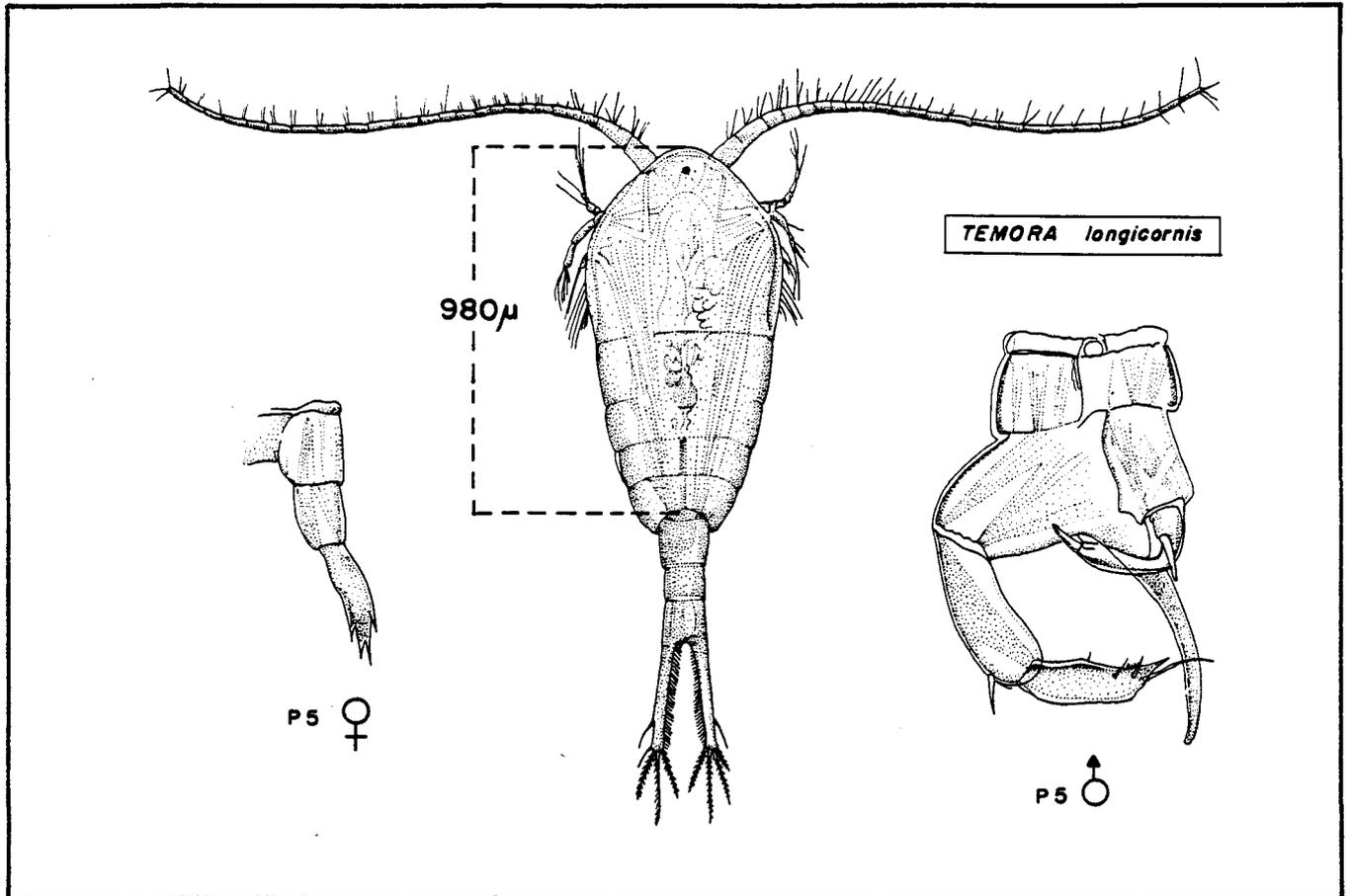
c) Indice de diversité des copépodes (Fig. V.19)

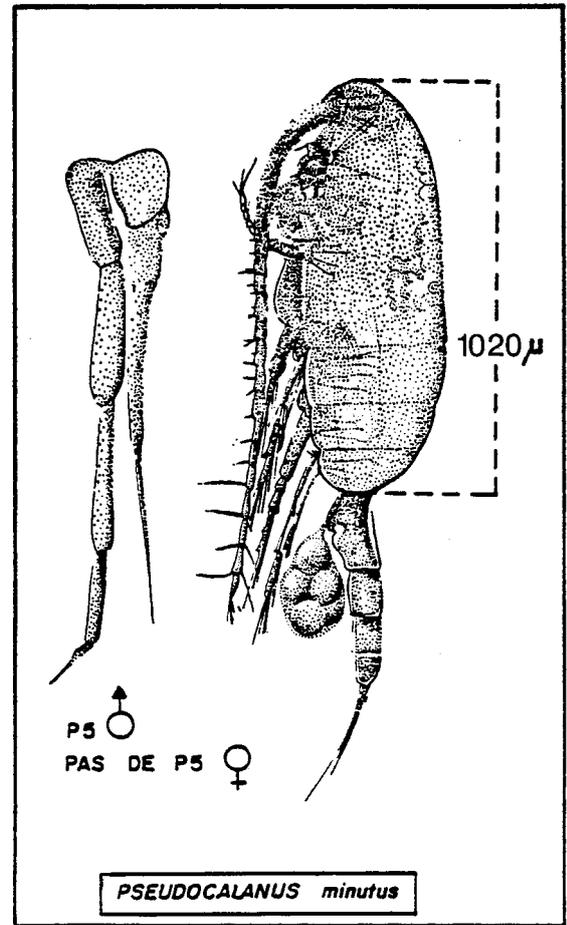
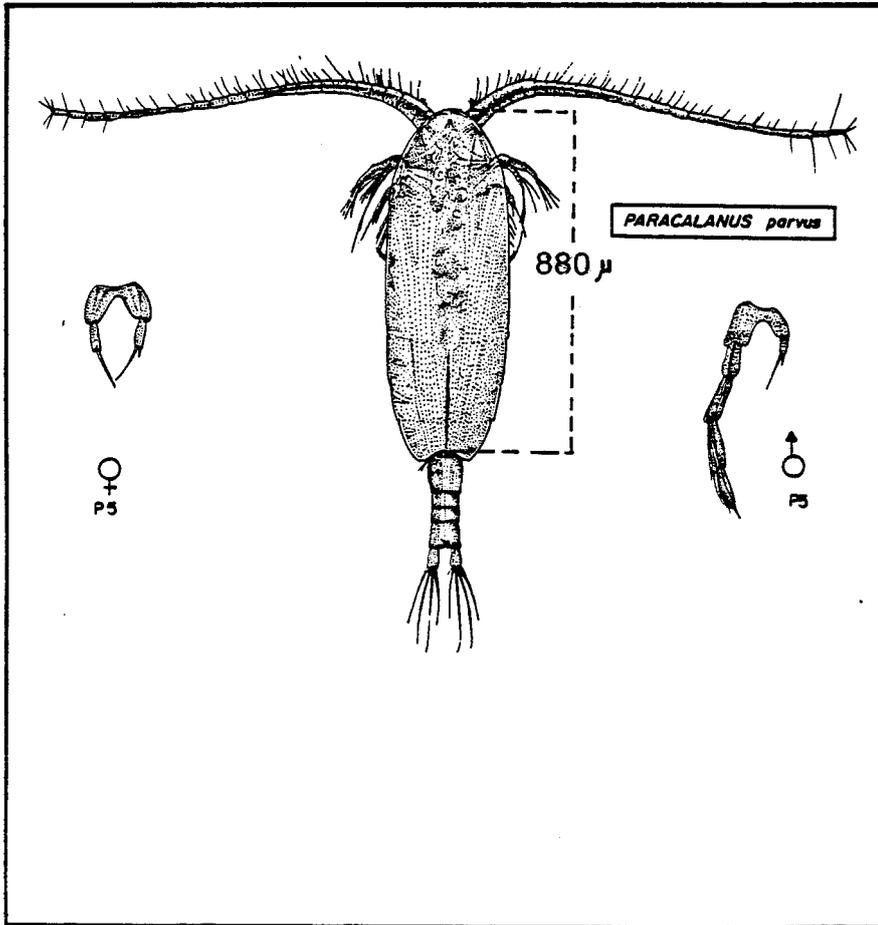
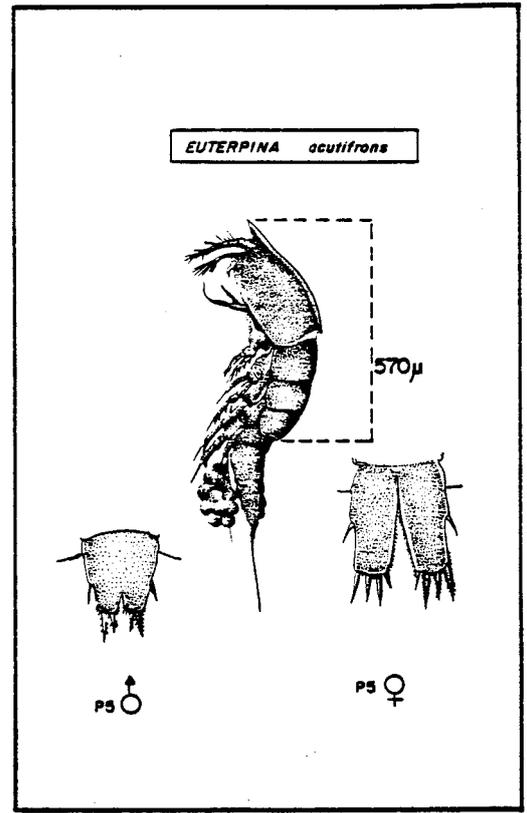
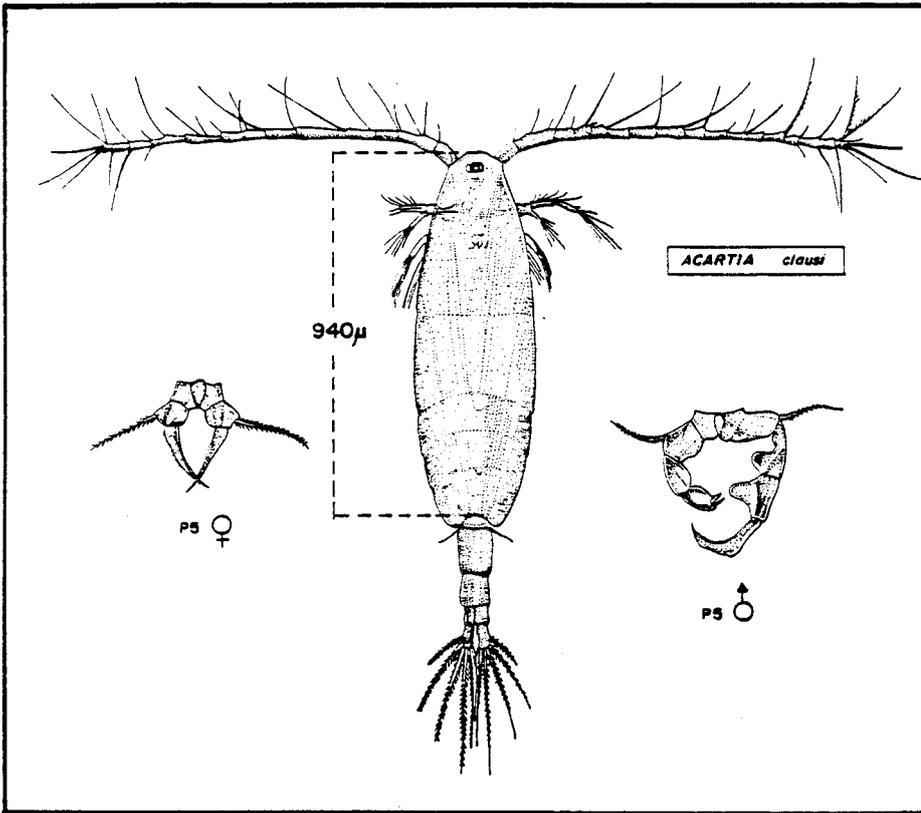
VARIATIONS SAISONNIERES : l'indice de diversité des copépodes varie saisonnièrement et la courbe de variations présente la même allure générale que la courbe de variation de l'indice de diversité du plancton total (figure V.15) avec des amplitudes annuelles beaucoup moins fortes. On observe toujours un minimum de l'indice en février ou mars et un maximum en septembre. L'indice de diversité du

---

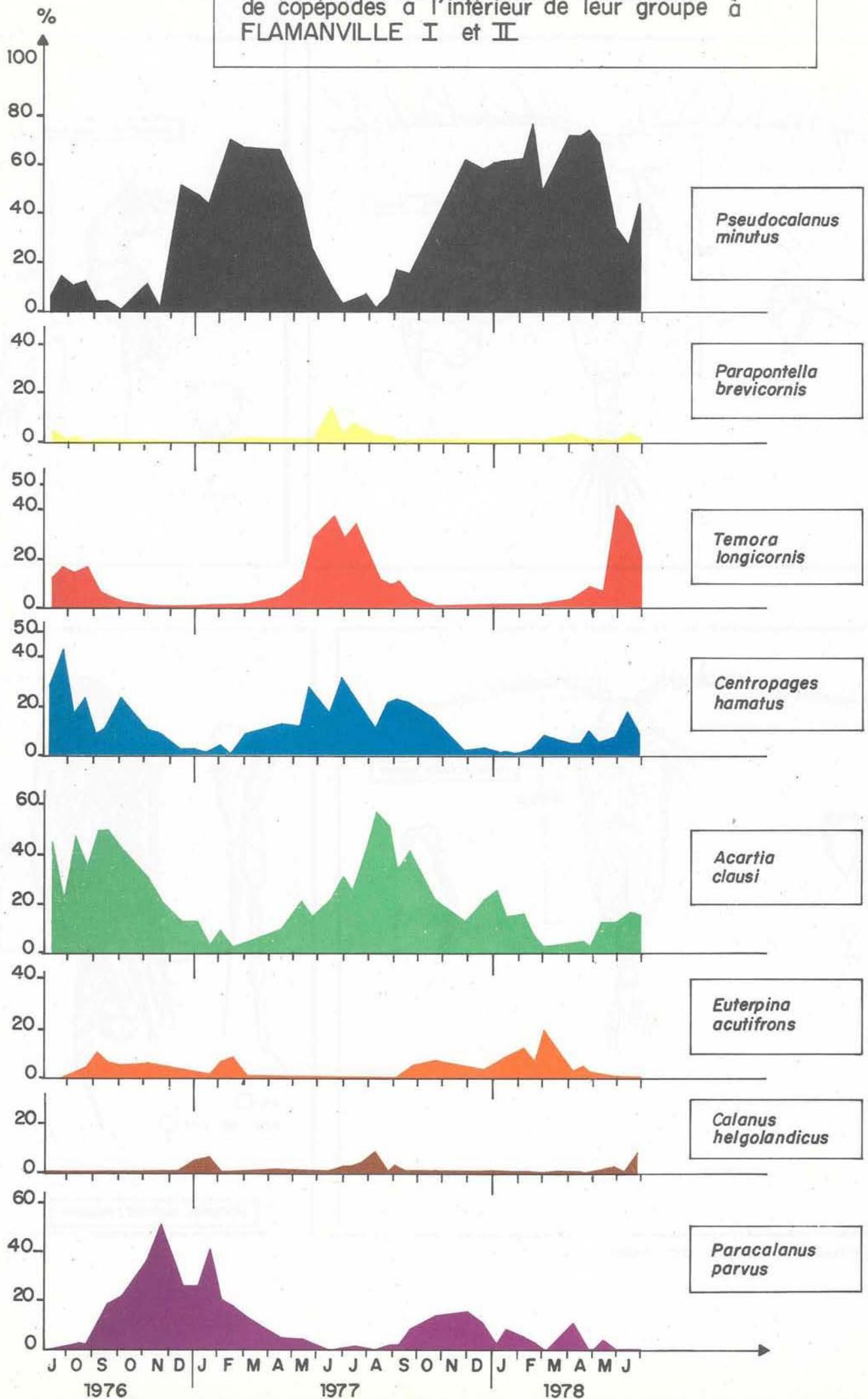
\* Remarque : Il est possible que d'autres espèces du type *A. margalefi* aient été confondues avec *A. clausi*, au cours du comptage sous lampe binoculaire. Pour être certain de la détermination il faudrait déterminer un certain nombre d'individus sous microscope.

FIGURE V.n1 - PRINCIPAUX COPEPODES A FLAMANVILLE





Pourcentage de dominance des principales espèces de copépodes à l'intérieur de leur groupe à FLAMANVILLE I et II



zooplancton total n'est pas un bon indice car il prend en compte les différents taxons déterminés à des degrés de précision variés. Il est préférable de n'utiliser que des indices de diversité spécifique : indice de diversité spécifique des copépodes par exemple.

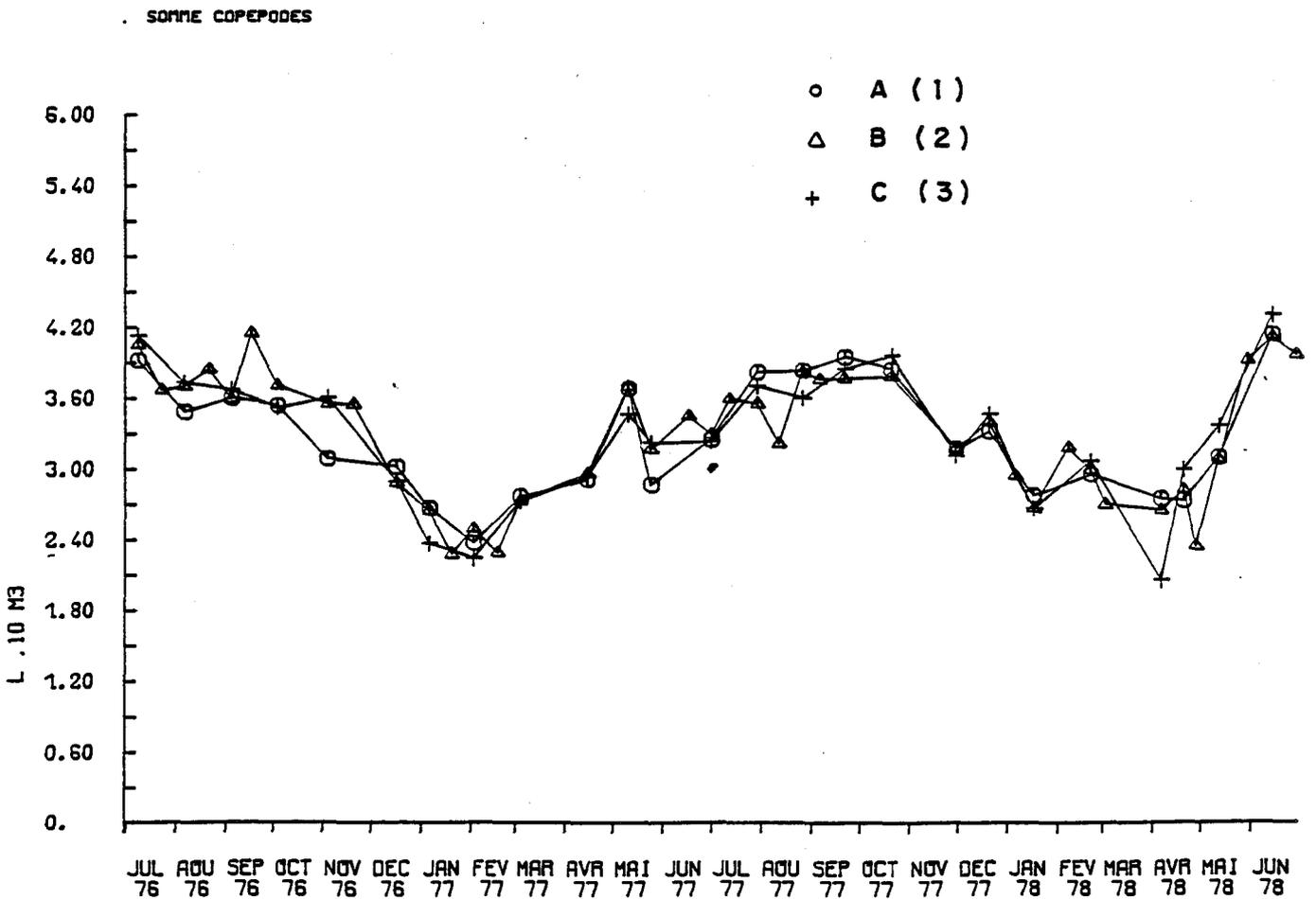
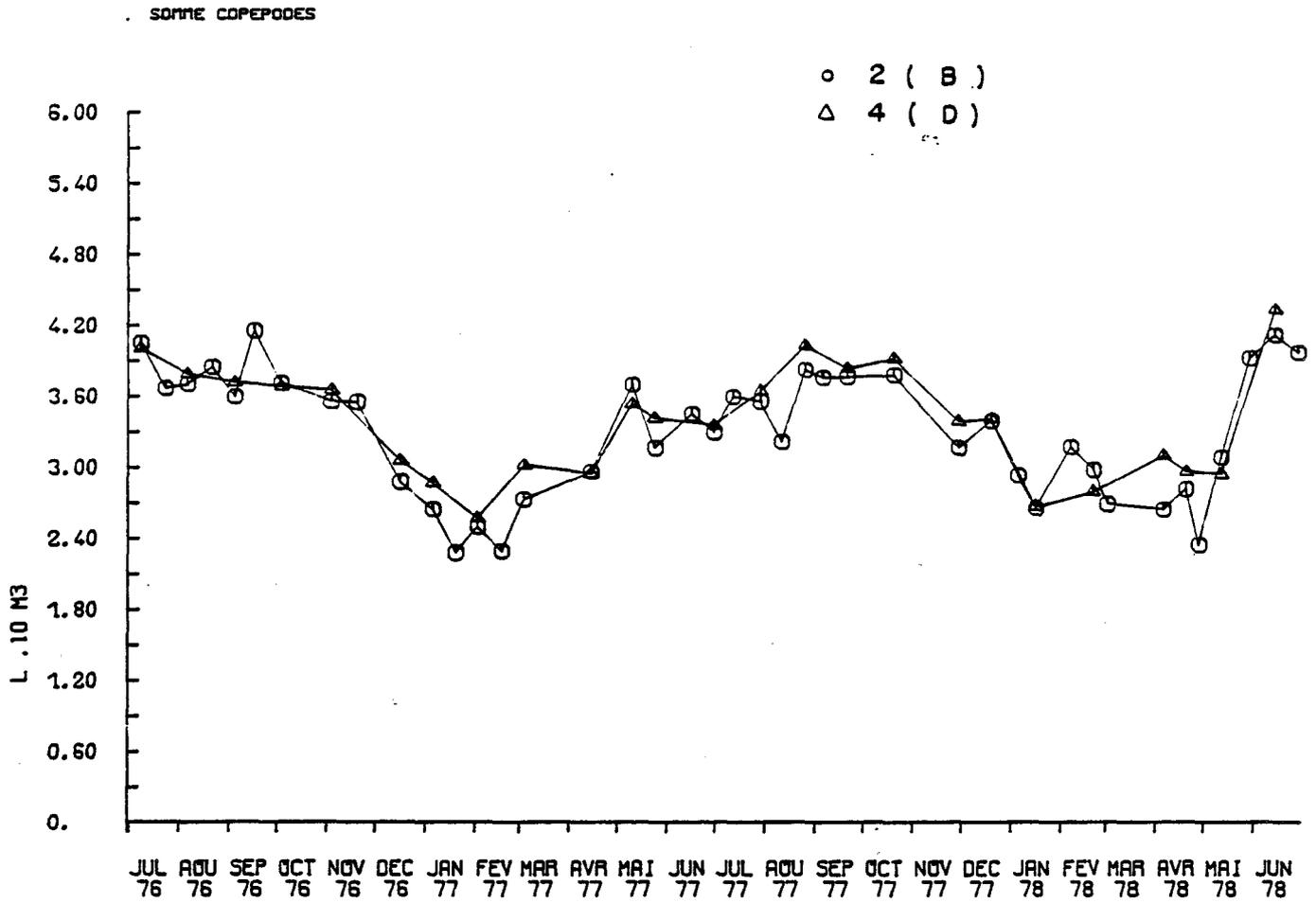
VARIATIONS SPATIALES : les variations, aux différents points, sont assez proches. On remarque que la diversité est souvent plus faible au point côtier A (1) qu'au point médian B (2). De plus, si l'on compare l'amplitude des variations aux points B et D, on remarque que l'amplitude au point B est plus grande qu'au point D. Ce résultat s'explique mal par l'hydrologie qui semble au contraire au point D, plus "côtier" que le point B. On s'attendait à trouver une diversité plus fluctuante au point D, ce qui n'est pas le cas. Les facteurs qui agissent sur la diversité du plancton ne semblent pas être les facteurs hydrologiques (t° en particulier).

d) Variations temporelles d'abondance - reproduction des principales espèces - Relations entre le métabolisme et les facteurs hydrobiologiques

d1) Variations quantitatives du nombre total de copépodes et leurs relations avec la température et la quantité de nourriture

- Variations saisonnières et spatiales : la période hivernale (janvier et février) correspond au minimum d'abondance (fig. V. (une centaine d'individus par 10 m<sup>3</sup>), le maximum se situe en septembre avec environ 15.000 à 20.000 individus par 10 m<sup>3</sup>. Les variations aux différents points sont très semblables dans leurs caractères d'ensemble. Le caractère côtier du point A se manifeste par la plus grande amplitude : annuelle des abondances au point A qu'au point C (figure V.20). De plus, une comparaison des variations aux points B et D montre à la station D une plus grande abondance qu'au point B à certaines époques mais une moins grande abondance à d'autres. On peut se demander dans quelle mesure les différences entre stations sont significatives ou non. Afin de comparer les points A et C entre eux d'une part, et les points B et D entre eux d'autre part, le coefficient de corrélation entre l'abondance des copépodes en un point

VARIATIONS SAISONNIERES DES COPEPODES



et l'abondance en un autre point a été calculé. On obtient pour la somme des copépodes :

. entre les points A et C : 34 couples de valeurs  
 $r = + 0,77$  (significatif à 99 %)

. entre les points B et D : 39 couples de valeurs  
 $r = + 0,81$  (significatif à 99 %)

Il semble que globalement, pour deux années de prélèvements, il n'y ait pas de différence significative entre les stations de la côte et du large d'une part, et entre les stations B et D d'autre part, bien que des gradients puissent être constatés au cours de certaines missions, mais de façon non permanente d'une mission à l'autre.

- Corrélations entre le nombre de copépodes et la température, la chlorophylle et la matière en suspension

. Corrélation nombre de copépodes et température : pour l'ensemble des résultats, soit 226 couples de mesures simultanées (C = nombre de copépodes et T = température moyenne sur la colonne d'eau, le coefficient de corrélation a été calculé on obtient pour :  $n = 226$   
 $r = + 0,66$  (significatif à 99 %)

. Corrélation nombre de copépodes/matière en suspension : de même, pour l'ensemble des résultats l'abondance du total des copépodes a été corrélée avec la quantité de matière en suspension. On obtient pour 188 couples de valeurs simultanées :  
 $n = 188$   
 $r = + 0,47$  (significatif à 99 %).

CORRELATIONS ENTRE LE NOMBRE D'INDIVIDUS  
ET LES PARAMETRES T°, CHLa, MES

=====

Paramètres Taxons	T°			CHLa			MES		
	r	n	signif.	r	n	signif.	r	n	signif.
Somme Copépodes	+0,66	226	**	+0,06	224	ns	+0,47	188	**
<i>Paracalanus parvus</i>	+0,44	226	**	0,08	224	ns	+0,26	188	**
<i>Acartia clausi</i>	+0,62	226	**	0,00	224	ns	+0,35	188	**
<i>Euterpina acutifrons</i>	+0,47	226	**	-0,08	224	ns	+0,22	188	*
<i>Parapontella brevicornis</i>	+0,66	225	**	—	—	—	—	—	—
<i>Pseudocalanus minutus</i>	-0,045	225	ns	—	—	—	—	—	—

Remarque : Le seul copépode qui ne montre aucune corrélation significative entre l'abondance et la température est *Pseudocalanus* dont l'abondance oscille autour d'une valeur moyenne tout au cours de l'année.

Légende :

ns	non significatif
*	significatif à 95 %
**	significatif à 99 %

- . Corrélations nombre de copépodes et chlorophylle : la quantité de chlorophylle représente assez grossièrement la quantité de phytoplancton disponible, donc de nourriture puisque la plus grande partie des copépodes côtiers est herbivore :

- 1) Si on calcule le coefficient de corrélation entre l'abondance des copépodes et la quantité de chlorophylle pour 224 couples de mesures simultanées on n'obtient pas de coefficient significatif ( $r = + 0,06$ ) pour les deux années de mesures (40 missions) juillet 1976 juin 1978.
- 2) Pour des périodes plus courtes (six mois de mesures) on peut obtenir des coefficients de corrélations plus élevés à certaines époques de l'année, par exemple pour la période juillet 1976. décembre 1976 et juillet 1977 - décembre 1977. On obtient respectivement :  
 pour la première année d'étude :  $r = + 0,56$   
 pour la deuxième année d'étude :  $r = + 0,55$ ,  
 coefficients très supérieurs aux résultats précédents, mais non significatifs pour le nombre de couples testés. Alors que pour la période de janvier 1977 - juillet 1977 ont obtient un coefficient de 0,88 significatif à 99 %.
- 3) Des résultats plus intéressants sont obtenus si au lieu de prendre des valeurs simultanées d'abondance de copépodes et de chlorophylle, on retient les valeurs moyennes des copépodes à une mission donnée et les valeurs moyennes de la quantité de chlorophylle a la  $n^{\text{ème}}$  mission précédente. On appellera ce type de corrélation une corrélation décalée :

$$N \text{ copépodes } (t_n) = f(\text{chl}a) (t_{n-n'})$$

#### RESULTATS OBTENUS :

- 3.1) le décalage peut être nul (0), on obtient les résultats exposés plus haut,

3.2) Le décalage peut être la quinzaine. On obtient par exemple, pour la période de deux années, en utilisant des valeurs moyennes par missions :

- nombre de mesures totales : 24
- nombre de mesures par série : 6
- nombre de décalage : 18

Décalages	0	1	2	3	4
Coefficients de corrélations	+0,63	-0,58	+0,73	-0,74	+0,37

Le meilleur coefficient est obtenu pour un décalage égal à 2, donc deux quinzaines ou 1 mois. La meilleure corrélation positive pour deux années se note donc pour les couples de valeurs : nombre des copépodes et quantité de chlorophylle au mois précédent. On remarque qu'un coefficient de corrélation positif alterne avec un coefficient de corrélation négatif est - 0,74 correspondant à 1 mois et demi. On peut penser que les corrélations positives indiquent l'augmentation du nombre de copépodes consécutives à l'augmentation de la quantité de chlorophylle tandis que les corrélations négatives pourrait avoir comme signification la diminution consécutive de la chlorophylle par action trophique des copépodes sur le phytoplancton.

4) On voit donc que pour l'ensemble des deux années d'étude le meilleur décalage est le mois.

Si au lieu de retenir toutes les valeurs sur deux années on retient les deux périodes plus courtes déjà citées précédemment (paragraphe 2) juillet 1976 - décembre 1976, pour la première année et juillet 1977 - décembre 1977 pour la deuxième année, les résultats sont meilleurs :

- décalage : 1 mois : 1ère année  $r = + 0,94^{**}$  (significatif à 99 %)
- décalage : 1 mois : 2ème année  $r = + 0,81^{**}$  (significatif à 99 %)

Si on augmente le décalage dans le temps de façon de plus en plus importante, on obtient à nouveau des corrélations faibles.

EN RESUME

Période considérée pour les valeurs de chlorophylle	Décalage entre la valeur de la chlorophylle et la quantité de copépodes (c)	r coefficient de corrélation	degré de signific.
I . Juillet 76- Décembre 76	0 mois	+ 0,55	ns
	1 mois	+0,94	* *
	2 mois	+0,83	*
	3 mois	+0,67	ns
II . Juillet 77-Décembre 77	0 mois	+0,56	ns
	1 mois	+0,81	*..*
	2 mois	+0,69	ns
	3 mois	+0,34	ns
III. Janvier 77-JUILLET 77	0 mois	+0,88	* *
	1 mois	+0,18	ns
	2 mois	+0,58	ns
	3 mois	+0,53	ns

Légende :    ns            non significatif  
                 \*            significatif à 95 %  
                 \* \*        significatif à 99 %

### Conclusion pour la période juillet 1976 - juin 1978

En conclusion, la quantité de copépodes est corrélée positivement avec la température ( $r = + 0,66$ ), c'est-à-dire qu'il y a un seul maximum annuel d'abondance de la totalité des copépodes. Ce maximum est estival et le minimum hivernal. La quantité de copépodes est d'une part liée ( $r = + 0,47$ ) à la matière en suspension et d'autre part elle ne présente pas de corrélation ( $r = + 0,06$ ) avec la chlorophylle présente au même instant, mais à celle présente au mois précédent ( $r = + 0,73$ ). Le fait qu'il y ait une bonne corrélation entre la chlorophylle et la quantité de matière en suspension au même instant ( $r = + 0,40$  pour 188 couples de valeurs) peut nous amener à nous interroger sur la nature de la matière en suspension. Elle contient certainement beaucoup de chlorophylle mais sans doute aussi des copépodes et des matières détritiques. On sait que la matière en suspension est d'autant plus abondante que le coefficient de marée est plus important. Il est possible que par fort coefficient de marée plus de copépodes soit recueillis également dans le filet, soit que la remise en suspension des animaux proches du fond se fasse mieux, soit que les individus évitent moins le filet par fort courant. Cette question n'est pas éclaircie à ce jour.

#### d2) Variations quantitatives des principales espèces de copépodes

##### a) Variations saisonnières et spatiales

##### - Variations saisonnières (figure V.q)

*Pseudocalanus minutus* : c'est une espèce qui est très abondante en Manche Occidentale. A GRAVELINES et à PALUEL en Manche Orientale, cette espèce est abondante mais à une période bien déterminée de l'année. A GRAVELINES, le maximum se produit en juin (avec un maximum de plus de 20000 individus par 10 m<sup>3</sup>) tandis que le minimum est proche de zéro le 6 octobre. A PALUEL un seul maximum également au mois d'avril ou de mai

avec moins de 10000 individus par 10 m<sup>3</sup>, le minimum au mois d'octobre presque nul également. A FLAMANVILLE les fluctuations sont de moins grande amplitude avec des maxima de 2000 individus pour 10 m<sup>3</sup> et des minima d'environ 200 individus, jamais nuls. On peut penser que les grandes fluctuations sur le site de GRAVELINES sont en relation avec les forts écarts thermiques annuels ( $Dt = 16^\circ$  pour l'année) alors qu'à FLAMANVILLE, si le maximum d'abondance est moins élevé, la production ne s'arrête pratiquement pas tout au long de l'année (les  $Dt = 10^\circ$ ). Cette espèce est très abondante dans les eaux froides, aussi est-il normal de la trouver en plus grande quantité à GRAVELINES qu'à FLAMANVILLE au printemps. Cependant, les températures estivales à GRAVELINES étant très élevées ( $21^\circ$  parfois) cette espèce semble très mal résister aux fortes températures de l'été tandis qu'elle se reproduit très bien aux mois d'août, septembre et octobre à FLAMANVILLE. L'intérêt principal de cette espèce, dans le cadre du travail actuel, est donc sa grande sensibilité aux écarts thermiques et sa disparition aux températures élevées. D'après certains auteurs (CARTER, 1965) *Pseudocalanus minutus* est une espèce qui peut supporter des conditions subarctiques. Cependant, des élevages ont montré que cette espèce atteindrait sa température létale à  $20^\circ$  (ANRAKU, 1964) a bien montré que l'espèce était bien adaptée aux températures basses : le  $Q_{10} = 1,33$  en hiver alors qu'il passe à 3,72 en août. La reproduction en laboratoire et l'influence des facteurs température et quantité de nourriture ont été étudiées en particulier par URRY (1965), CORKETT (1968), CORKETT et Mac LAREN (1969).

*Temora longicornis* : cette espèce présente à FLAMANVILLE un maximum annuel bien prononcé de juin à août et un minimum d'abondance en janvier et février. Le maximum ne dépasse guère 3000 à 5000 individus pour 10 m<sup>3</sup> à FLAMANVILLE alors qu'elle atteint presque 100.000 individus en juin à PALUEL et dépasse 100000 (parfois (300.000) pour 10 m<sup>3</sup> à GRAVELINES en mai, juin ou juillet selon les années.

Le minimum annuel en janvier et février peut être nul, alors qu'à GRAVELINES l'espèce ne disparaît jamais et reste pendant les deux tiers de l'année au-dessus de 1000 individus par 10 m<sup>3</sup>. La reproduction de *Temora* a été étudiée à FLAMANVILLE comme à GRAVELINES et à PALUEL afin de mieux comprendre l'impact des variations de températures annuelles sur le développement de l'espèce (voir plus loin l'étude des juvéniles ou copépodites).

*Isias clavipes* : c'est une espèce estivale essentiellement déjà bien connue comme espèce côtière de la Manche Occidentale (LE FEVRE-LEHOERFF, 1972). Son maximum d'abondance est en août ou début septembre au moment du maximum thermique annuel et elle disparaît entre novembre et avril.

*Parapontella brevicornis* : à FLAMANVILLE cette espèce est fréquente alors qu'elle est pratiquement inexistante en Manche Orientale, à GRAVELINES et à PALUEL. Le maximum d'abondance annuel se situe en juin ou en juillet avec un effectif proche de 1000 individus par 10 m<sup>3</sup> (juillet 1976, juin 1978). Le minimum hivernal se situe en janvier et février. Cette espèce est bien corrélée avec la température (voir tableau ci-après). Pour deux années d'étude on obtient avec 225 couples de valeurs (abondance de *Parapontella* - température) :  $r = + 0,655$  (significatif à 99 %).

*Acartia clausi* : espèce à très large distribution géographique en Mer Noire (PETIPA, 1959) comme en Méditerranée (GAUDY, 1971-1972) et en Manche Occidentale (RAZOULS, 1963). C'est une espèce très côtière eurytherme et euryhaline (JEFFRIES, 1967). A FLAMANVILLE, le maximum se situe entre le mois de juillet et septembre où elle atteint 10000 individus par 10 m<sup>3</sup>. Les abondances maximales à FLAMANVILLE sont du même ordre de grandeur qu'à PALUEL et GRAVELINES mais atteintes plus tardivement dans la saison juillet en Manche Orientale, septembre à FLAMANVILLE. Les minima en février 1977 et avril 1978 ne descendent pas en-dessous de 100 individus par 10 m<sup>3</sup>.

Centropages hamatus : la variation d'abondance de *Centropages hamatus* est tout à fait parallèle à celle de *Acartia clausi* avec un même maximum en septembre ou octobre. Tandis qu'à GRAVELINES on atteint un maximum annuel de  $10^5$  individus/10 m<sup>3</sup> en juin et un maximum moins important de  $10^3$  individus/10 m<sup>3</sup> en octobre. A PALUEL nous n'avons que très peu de *Centropages hamatus* avec deux maxima équivalents de  $10^3$  individus/10m<sup>3</sup> en juin d'une part, et en octobre d'autre part. A FLAMANVILLE une variation plus régulière se produit avec des oscillations de valeurs élevées entre mai et octobre et un maximum de 5000 à 6000 individus/10 m<sup>3</sup> en septembre-octobre.

Centropages typicus : c'est une espèce d'origine atlantique et plus fréquente au large qu'à la côte. Elle atteint son maximum (200 à 500 individus/ 10 m<sup>3</sup>) au moment de l'influence prépondérante de la pénétration des eaux du large en Manche en août et septembre.

Calanus helgolandicus : les variations quantitatives de cette espèce sont proches de la précédente. Elle est beaucoup plus abondante à FLAMANVILLE qu'en Manche Orientale, avec un maximum en août-septembre (500 individus/10 m<sup>3</sup>) et une bonne abondance en mars-avril (100 à 200 individus/10 m<sup>3</sup>). A PALUEL, les effectifs ne dépassent guère 30 individus par 10 m<sup>3</sup> en août.

Paracalanus parvus : espèce à maximum automnal en octobre-novembre, du même ordre de grandeur que celui observé sur d'autres sites (2000 à 3000 individus/10 m<sup>3</sup>) et un maximum moins élevé en mars-avril (moins de 1000 individus/10 m<sup>3</sup>). Il est très abondant dans les stations très côtières, beaucoup plus qu'un copépode morphologiquement proche mais écologiquement différent : *Pseudocalanus minutus*, plus fréquent au large.

Euterpina acutifrons : très proche de *Paracalanus* quant à sa variation saisonnière, il est abondant à l'automne, en septembre et octobre (1000 individus/10 m<sup>3</sup>). Cette espèce présente une distribution géographique vaste et son cycle de développement a été étudié à la fois

en Mer Méditerranée (BERNARD, 1963, EL MAGHRABY, 1964), en Angleterre (HACQ, 1972). Elle est abondante en Côte d'Ivoire (BINET, 1977). C'est une espèce dont la reproduction peut se faire entre 8° et 25°. Des élevages (HACQ, 1972 ; NEUNES et PANGOLINI, 1965) ont montré que la ponte est fortement stimulée quand la température s'élève au-dessus de 16° jusqu'à 20°. La température létale serait de 30°. Le temps de maturation des femelles varie de huit jours à 1 jour quand la température passe de 10 à 20 degrés, la durée d'une génération variant de 53 jours à 10 degrés à 8 jours à 20 degrés.

A FLAMANVILLE où la température estivale ne dépasse guère 17° cette espèce "thermophile" est moins favorisée qu'à GRAVELINES, région plus "nordique" mais où les températures côtières estivales atteignent et dépassent parfois 20°. Les valeurs les plus élevées à FLAMANVILLE ne dépassent pas 1000 individu 10m<sup>3</sup>.

Oncaea : les deux cycles d'étude ne permettent pas de conclure car ils ne sont pas du tout semblables. L'espèce est pratiquement absente entre mai et juillet.

Acartia discaudata : c'est une espèce liée aux eaux plus ou moins saumâtres ; elle est présente à FLAMANVILLE aux périodes de pluies d'octobre à décembre et en février-mars.

Figure V.q 1

VARIATIONS SAISONNIERES DES DIFFERENTES ESPECES DE COPEPODES  
AUX POINTS 1-2-3

Légende o 1  
Δ 2  
+ 3

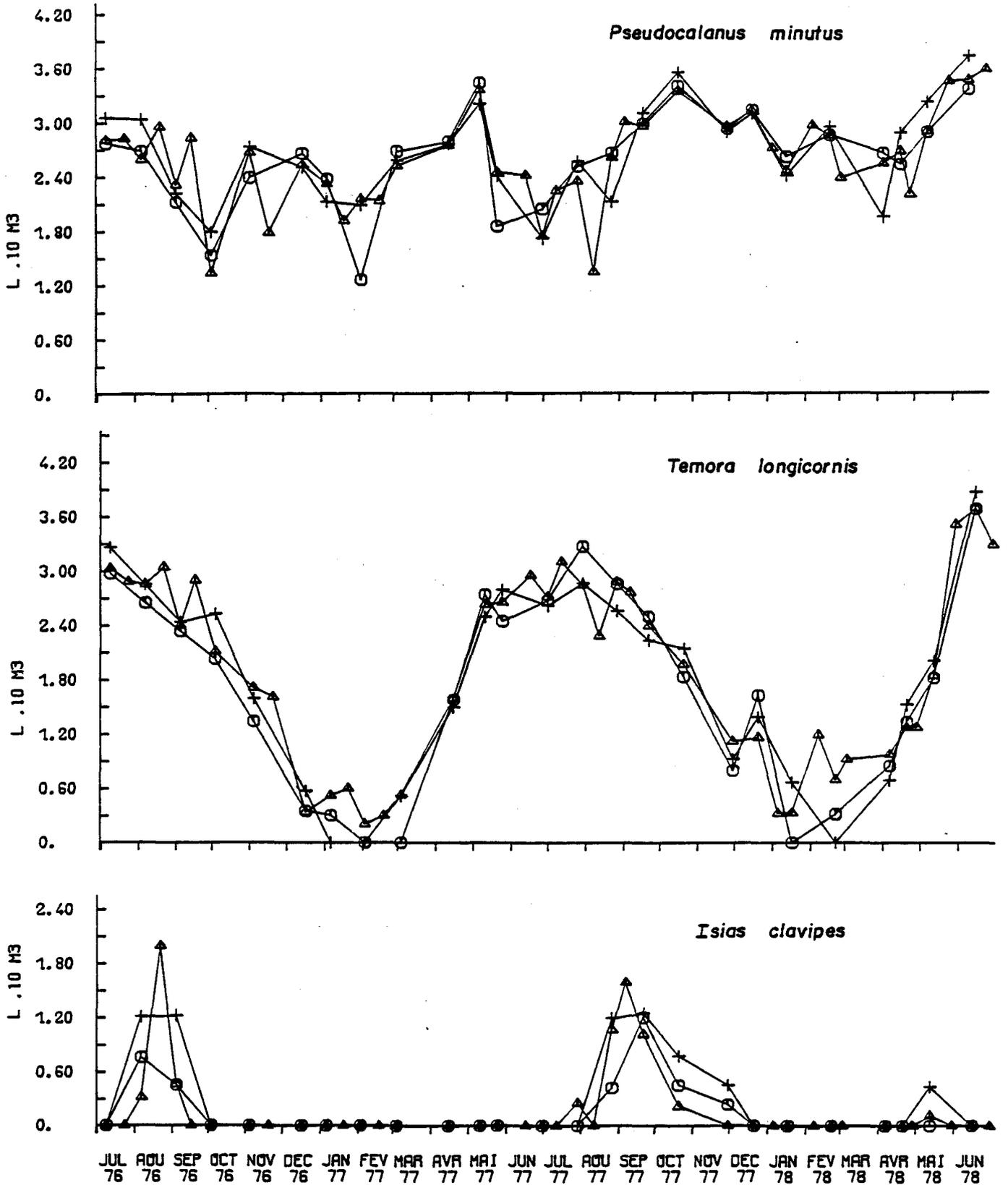
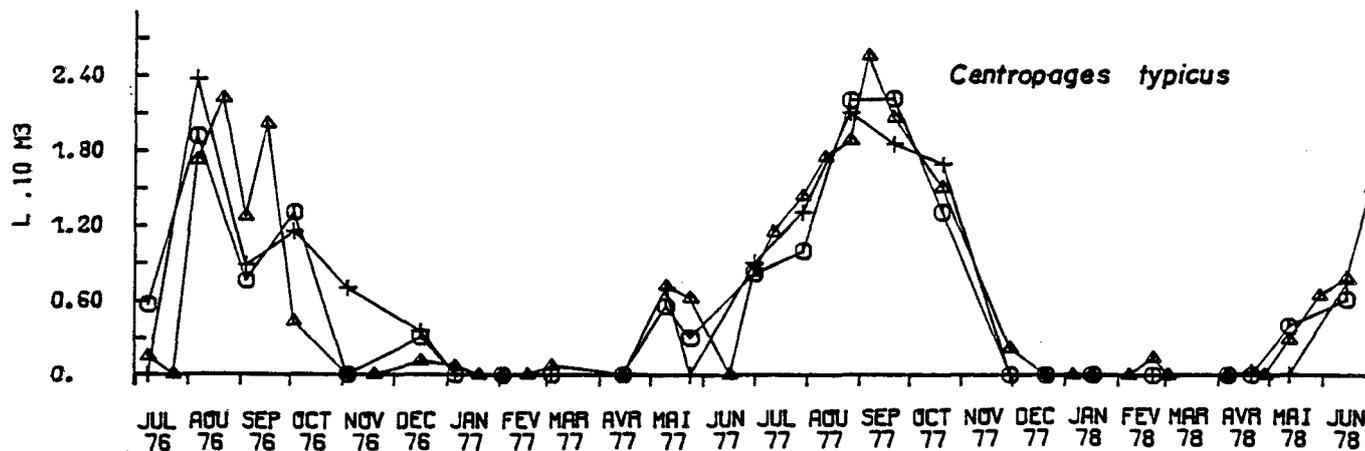
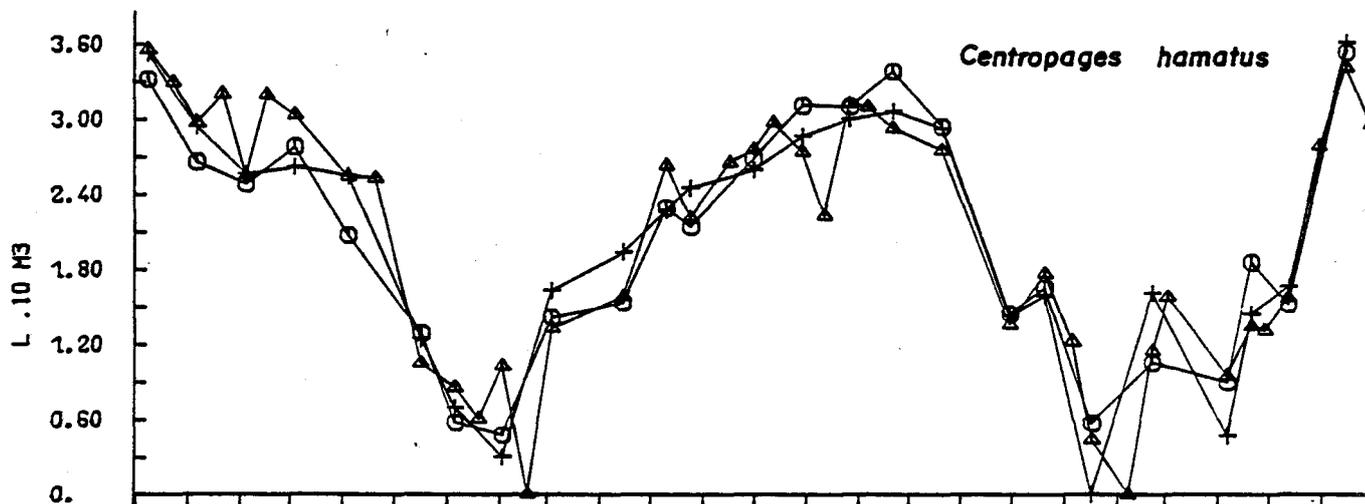
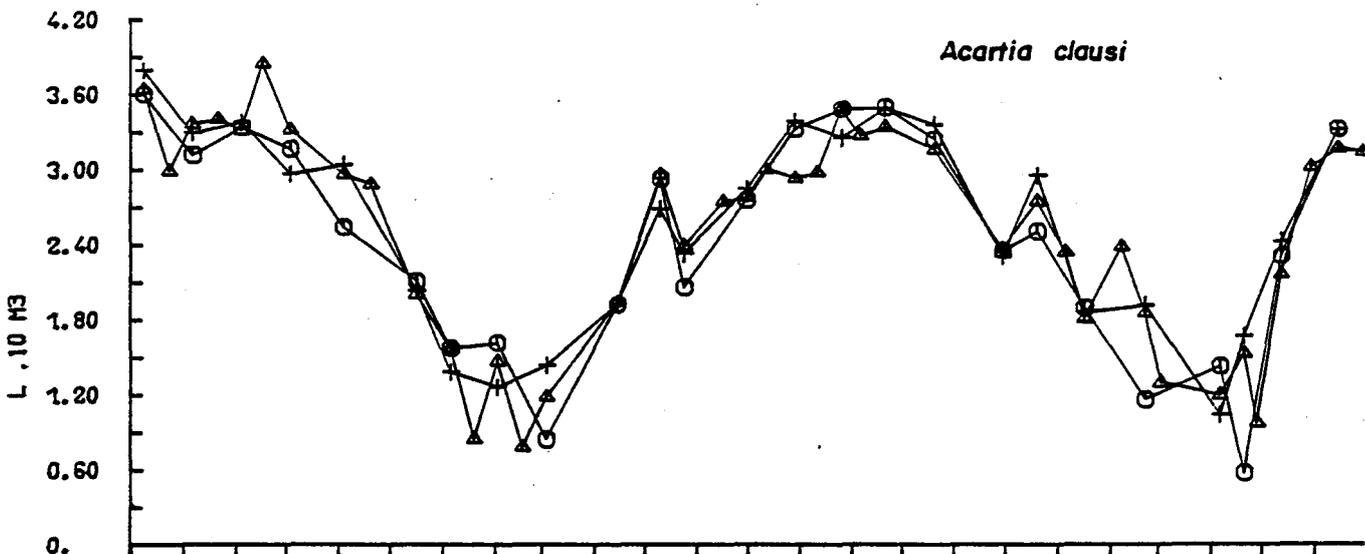
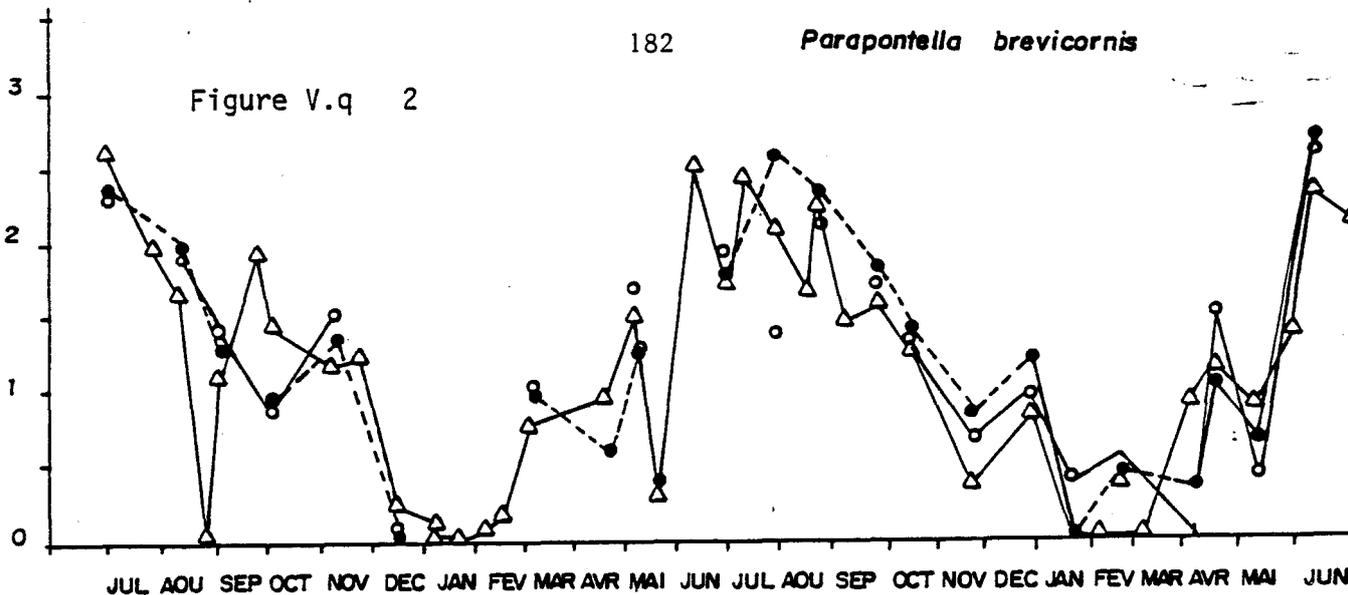
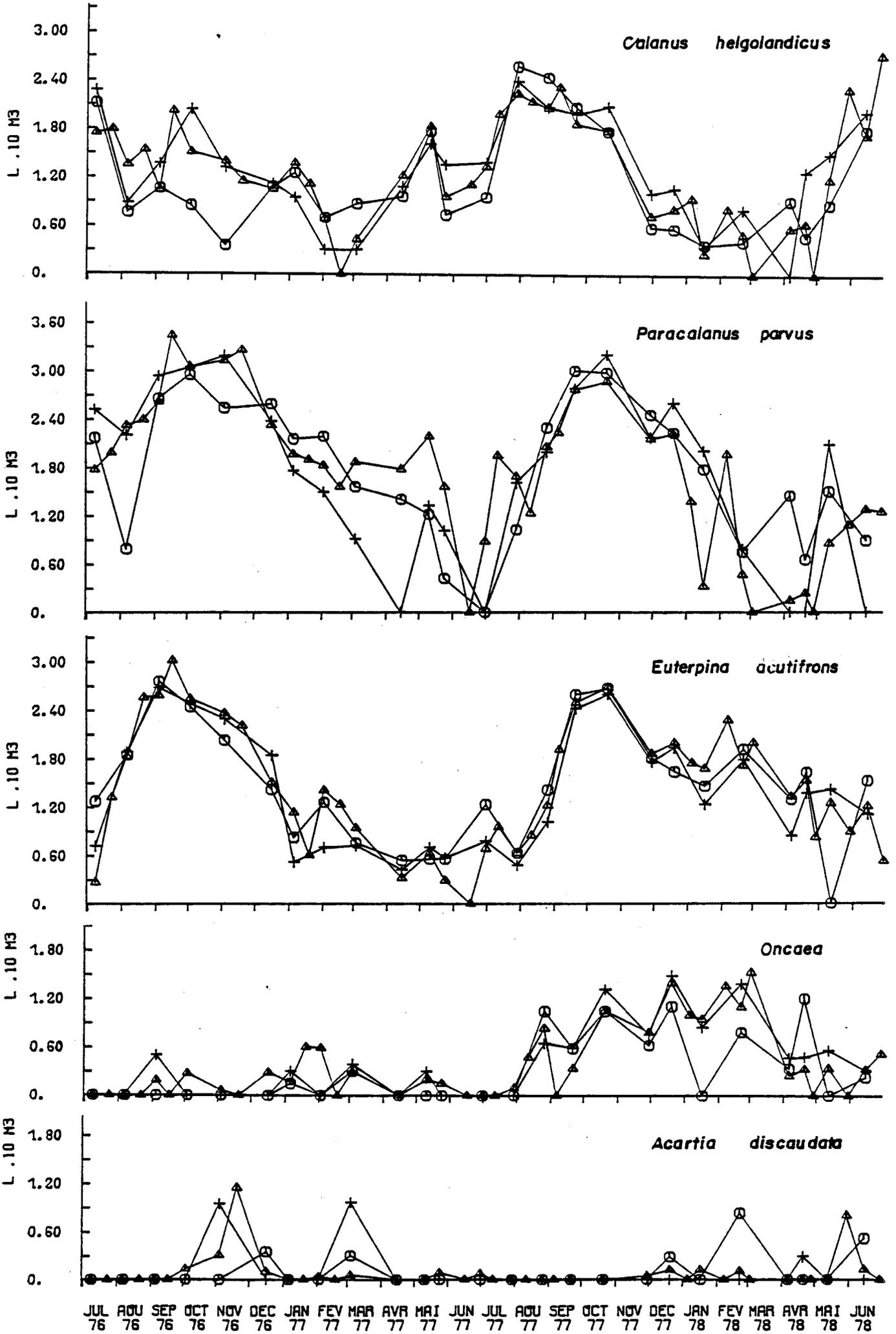


Figure V.q 2





Conclusion pour l'ensemble des courbes de variations saisonnières :  
 si l'on examine l'ensemble des courbes de variations saisonnières des copépodes, on peut mettre en évidence quelques résultats généraux :

- le maximum annuel d'abondance se produit pour chaque espèce plus ou moins tôt au cours de l'année, selon son affinité spécifique pour les eaux froides ou chaudes,
- on remarque que pour beaucoup d'espèces l'abondance est liée à l'augmentation de la température estivale et qu'il y a très souvent un seul maximum annuel et non des variations d'abondance rapides et de forte amplitude comme celles observées en Manche Orientale. Une seule exception, *Pseudocalanus minutus* qui, à FLAMANVILLE, présente des valeurs estivales et hivernales très proches, autour d'une valeur moyenne annuelle.

- Variations spatiales (figure V.q et V.20)

Les variations ont été étudiées aux différents points. Sur les figures on a représenté d'une part les courbes pour les points A, B et C et d'autre part pour les points B et D. Une interprétation n'est pas aisée car les différences observées entre les points ne sont pas stables au cours du temps. On observe des abondances très proches aux différents points de la radiale pour de nombreuses espèces. De même, les différences d'abondance entre les points B et D ne sont pas stables au cours du temps, et les gradients peuvent s'inverser entre deux missions. Quelques résultats ont été obtenus. Il semble, au premier examen des courbes pour les différents points, que les espèces *Pseudocalanus minutus*, *Centropages typicus*, *Oncaea* sont très souvent plus abondantes au large qu'à la côte, ce qui est le cas contraire pour *Acartia clausi*, *Parapontella brevicornis* et *Paracalanus parvus*. La comparaison des valeurs en B et D montre une plus grande abondance au point B qu'au point D pour *Pseudocalanus minutus*, *Centropages typicus* et *Euterpina acutifrons* dans une moindre mesure. Au contraire, *Acartia clausi*, *Parapontella brevicornis*, *Paracalanus parvus* et *Isias clavipes* présentent une plus grande abondance au

Corrélations entre les abondances des espèces aux points 1 (A) et 3 (C) d'une part,  
et 2(B) et 4 (D) d'autre part.

=====

Espèces	r(1/3)	degré de signif.	Nombre d'observat.	r 2/4	degré de signif.	nombre d'observat.
<i>Pseudocalanus minutus</i>	+0,66	* *	34	+0,66	* *	39
<i>Paracalanus parvus</i>	+0,64	* *	34	+0,60	* *	39
<i>Temora longicornis</i>	+0,84	* *	34	+0,73	* *	39
<i>Centropages hamatus</i>	+0,86	* *	34	+0,62	* *	39
<i>Parapontella brevicornis</i>	+0,72	* *	34	+0,81	* *	39
<i>Acartia clausi</i>	+0,83	* *	34	+0,88	* *	39

On constate que si au cours de certaines missions des gradients d'abondance sont observés les gradients ne sont pas stables au cours de l'année et sur deux années d'observations les abondances ne sont pas significativement différentes entre les points A et C, et entre les points B et D.

Légende : ns non significatif  
\* significatif à 95 %  
\*\* significatif à 99 %

point D qu'au point B, *Isias clavipes* étant une espèce liée aux eaux saumâtres. Sa plus grande abondance au point D confirme bien le caractère côtier de la stations D (voir résultats hydrologiques).

d3) Dynamique de population de trois espèces de copépodes : *Temora longicornis*,  
*Acartia clausi* et *Centropages hamatus*

La dynamique d'un écosystème n'est pas facile à cerner dans sa totalité. Il n'existe pas de méthode unique pour aborder le problème de la production pélagique globale et du renouvellement des populations dans leur totalité. La dynamique de trois espèces choisies dans cet écosystème ne prétend pas résumer les caractéristiques de l'ensemble. D'autres études plus globales doivent être menées parallèlement. Trois espèces de copépodes ont été étudiées pendant les deux années d'étude pour déterminer leur taux de renouvellement, le nombre de générations par an, leur vitesse de croissance. Des corrélations ont pu être établies entre les croissances des individus et différents facteurs du milieu : température et chlorophylle.

Les copépodes sont des crustacés qui présentent en général plusieurs générations par an. Chaque génération peut être définie comme un ensemble d'individus nés en même temps (DAJOZ, 1974) ou issue d'une même période de ponte (BINET, 1977).

Les copépodes émettent leurs oeufs libres dans l'eau. De l'oeuf fécondé il sort un "nauplius". La croissance se fait par mue. Le nauplius mue en "metanauplius" puis en "copépodite". Quand le crustacé mue d'un stade larvaire au suivant son ancienne carapace est rejetée et une nouvelle est formée. Des transformations profondes s'opèrent entre deux mues : la taille, la forme, le nombre d'appendices, le nombre de segments des appendices, etc. se modifient. La croissance est discontinue. Chaque nouveau stade larvaire ou "copépo présente des appendices nouveaux et l'animal n'est complet que lorsqu'il a atteint le stade adulte. Dans l'étude présente, les stades les plus jeunes n'ont pas été étudiés pour des raisons techniques évidentes. Les oeufs et les nauplii sont très petits

et demanderaient une récolte spéciale et un tri par échantillon de très longue durée ne rentrant pas dans le cadre du programme actuel d'étude. Les plus jeunes stades étudiés ici sont les copépodites 1 appelés  $C_1$ . Il existe cinq stades larvaires copépodites désignés  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  et  $C_5$ . Après le stade  $C_5$  la mue suivante donne l'adulte appelé  $C_6$ . Dans cette étude le sexe n'est pas distingué pour les copépodites de  $C_1$  à  $C_5$ . Par contre, pour les adultes  $C_6$  les mâles et les femelles ont été distingués ( $C_6 \text{ ♀}$  et  $C_6 \text{ ♂}$ ). Pour estimer le nombre de générations par an, il existe plusieurs méthodes d'études. Les auteurs ayant déjà étudiés les successions de générations de certaines espèces ont mis au point ces méthodes. Citons les travaux de GAUDY (1972), RAZOULS (1972) et BINET (1977).

En résumé, les principales méthodes utilisées pour définir les successions de générations se classent ainsi (BINET, 1977) :

- 1) Méthode des maxima numériques de la population totale.
- 2) Evolution de la composition en stades copepodites.
- 3) Méthode de la distribution des longueurs. Pour un même "stade" (juvénile ou adulte), il existe plusieurs modes. Chaque mode doit correspondre à une génération.
- 4) Evolution du sex-ratio au cours de l'année. Le sex-ratio, c'est-à-dire le rapport existant entre le nombre de mâles et de femelles présents ensemble, varie selon les phases du cycle de reproduction.

- 1) Méthode des maxima numériques de la population totale (figure  $V_{q1}$  et  $V_{q2}$ ) : au chapitre précédent, les principaux caractères de l'évolution saisonnière de la population totale a été mis en évidence. On a déjà fait remarquer que *Temora longicornis* présentait un maximum annuel bien marqué pendant une période courte de juin à août et un minimum en janvier et février. Pour l'espèce *Centropages hamatus* le maximum annuel est atteint, en octobre ou en septembre, selon l'année étudiée, avec des abondances importantes entre mai et octobre. Quant à *Acartia clausi*, cette espèce atteint son maximum en septembre, mais les valeurs atteintes en juillet et août sont déjà élevées et le restent pendant tout l'été.

2) L'évolution en stades copépodites (figures V.21 à V.26 et V.r) :

les 40 missions ont été analysées. Aux missions "lourdes", mensuelles, dix échantillons ont été examinés, cinq pour la station D et cinq pour la station B. Aux missions "légères" intermédiaires espacées d'une quinzaine par rapport aux missions "lourdes", un seul échantillon est analysé. Aussi, l'interprétation que l'on peut faire des résultats obtenus est-elle fonction de la précision des mesures (mesure unique ou moyenne de dix mesures).

a) *Temora longicornis* : depuis le 8 juillet 1976 jusqu'au 29 juin 1978, les principaux résultats montrent que les deux années ne sont pas identiques mais très proches pour la reproduction de *Temora longicornis* (figure V.21, V.r1, V.24).

Le 8 juillet 1976, la population totale est abondante et composée essentiellement d'adultes.

Une reproduction est observée le 23 juillet avec de nombreux  $C_1$ .

Une autre production de  $C_1$  est observée le 21 août puis une autre le 16 septembre où le pourcentage des  $C_1$  atteint 15 %. A partir du 3 octobre, il y a peu de  $C_1$  et l'abondance de tous les stades diminue progressivement et irrégulièrement jusqu'au 19 janvier 1977 où le nombre de *Temora* dans les échantillons est si faible que les pourcentages ne peuvent plus être calculés.

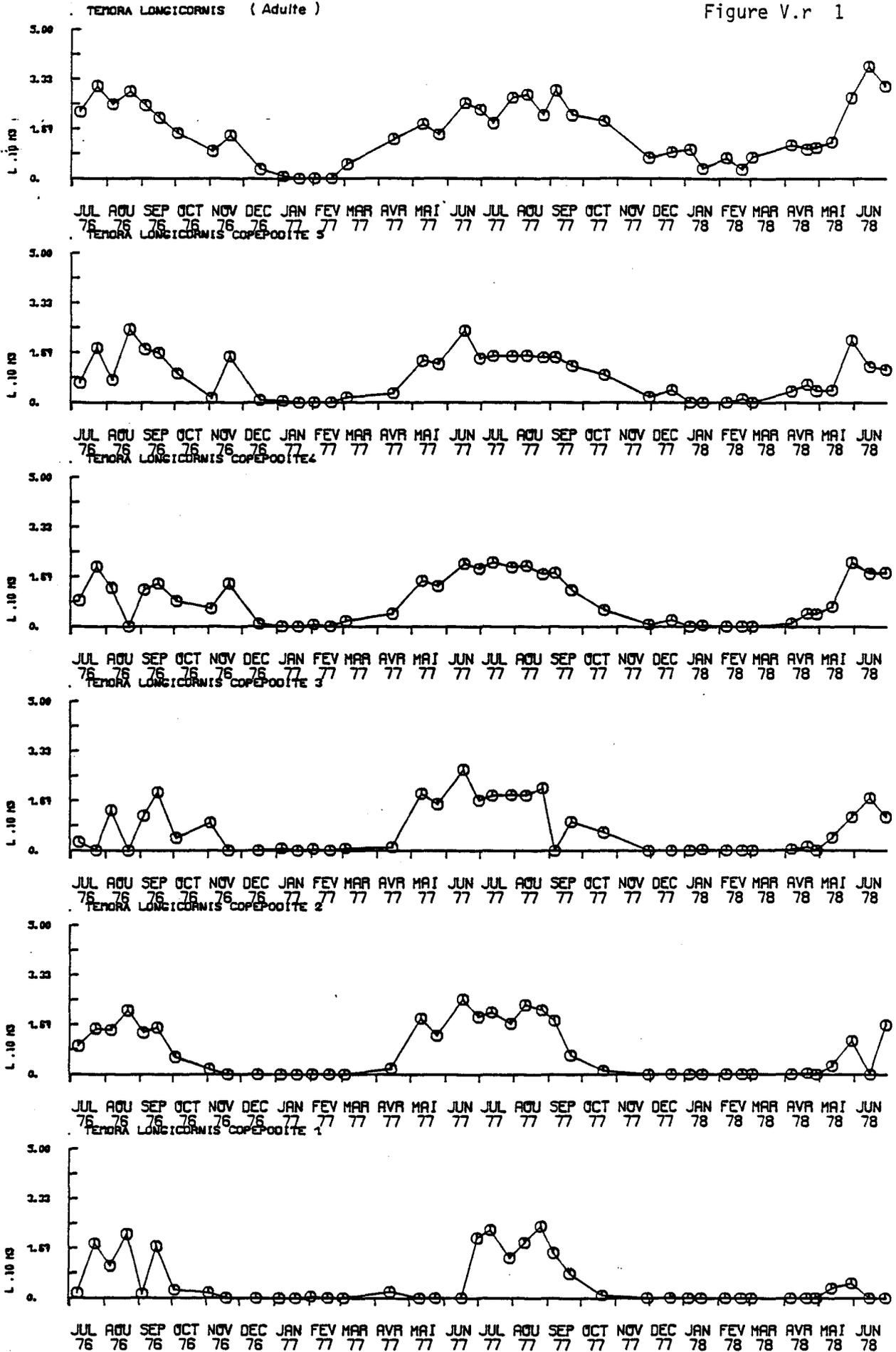
Le 2 février 1977 une très légère production de  $C_1$  est observée au point D (et pas au point B). Les nombres d'individus sur lesquels on effectue des pourcentages à cette époque ne sont pas précisés. On appellera cette très faible reproduction " $R_1$ ".

Les résultats exposés ici ne seront illustrés que par un petit nombre de figures qui montreront des exemples d'exploitation pour quelques missions. L'ensemble des figures ne peut être inclus dans ce rapport, ce qui serait trop lourd en particulier pour les histogrammes représentant pour chaque échantillon la composition en stades copépodites (histogrammes réalisés sur 230 échantillons pour trois espèces soit 700 histogrammes pour deux années). Les histogrammes fournis ici concernent des moyennes par point et des moyennes par mission.

# FLAMANVILLE

Moyenne

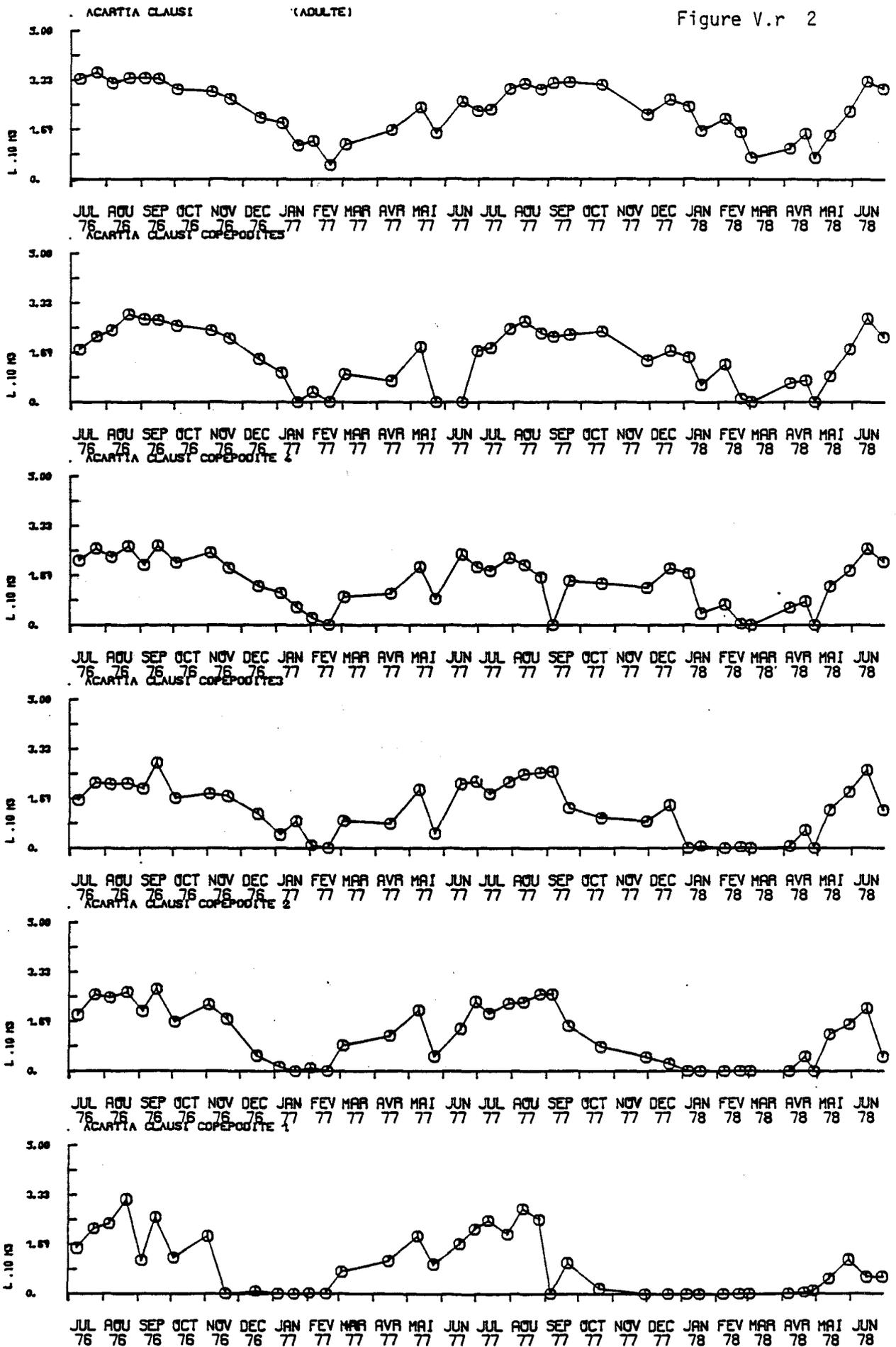
Figure V.r 1



# FLAMANVILLE

Moyenne

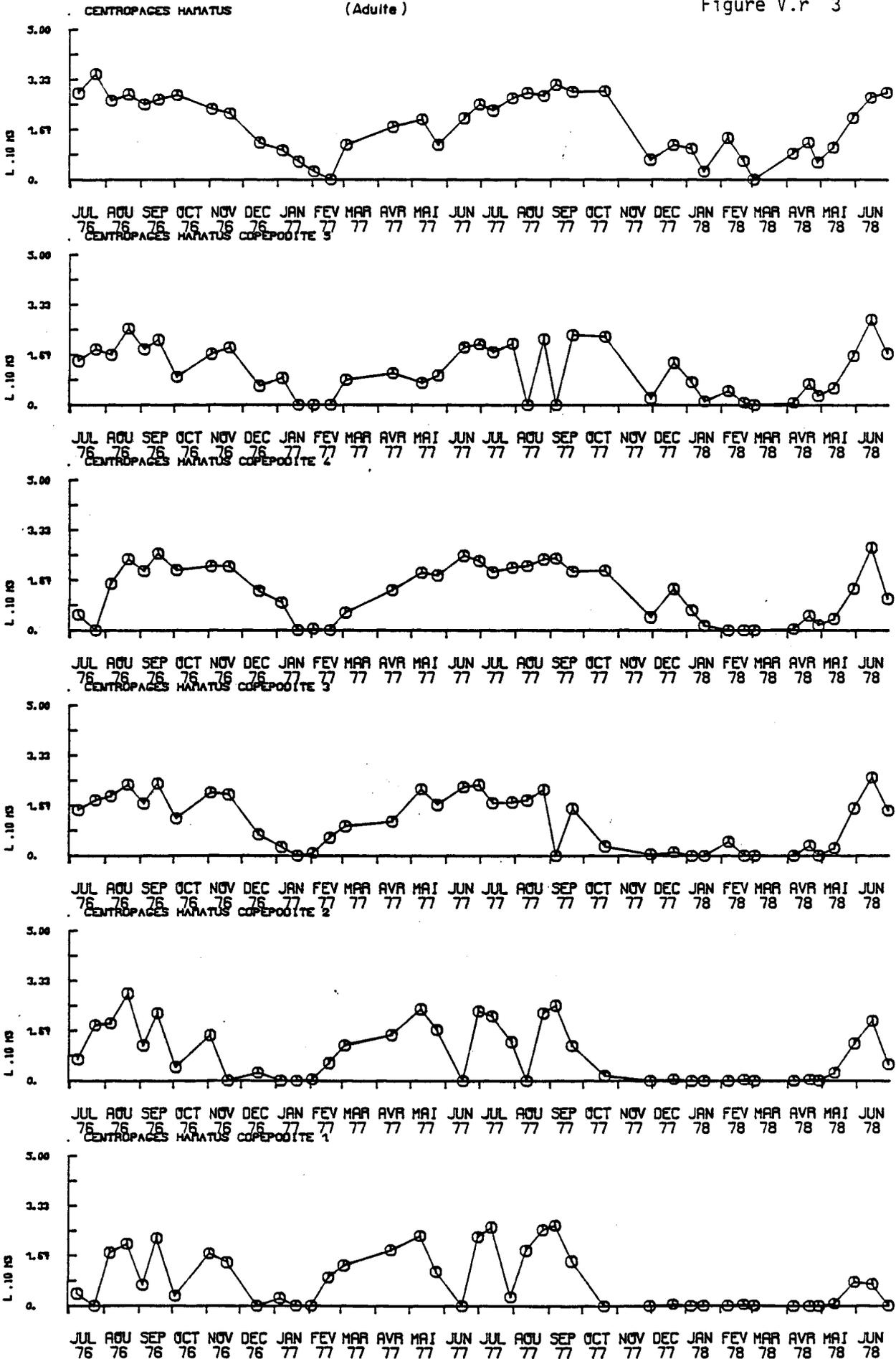
Figure V.r 2



# FLAMANVILLE

Moyenne

Figure V.r 3



La première reproduction importante de l'année 1977 est observée le 14 avril 1977 ("R<sub>2</sub>"). Il y a à la fois beaucoup d'adultes C<sub>6</sub> et C<sub>1</sub> (pourcentage variant entre 0 et 22 % selon les échantillons).

Le 10 mai on observe beaucoup de C<sub>2</sub> et de C<sub>3</sub>.

Fin mai et début juin les stades agés augmentent.

La reproduction importante suivante est observée le 30 juin (appelée "R<sub>3</sub>"). tous les stades sont abondants.

Jusqu'au 12 juillet la reproduction continue et le nombre des C<sub>1</sub> produits est important. Il est probable que pendant cette période (30 juin - 12 juillet) plusieurs générations de femelles adultes échelonnent leurs pontes pendant une quinzaine de jours.

La période suivante de ponte importante est appelée "R<sub>4</sub>". Elle s'observe à partir du 26 août, avec une forte production de C<sub>1</sub>. Cette période de production de jeunes s'étend jusqu'au 6 septembre 1977, où tous les stades copépodites et les adultes sont très nombreux.

Le 21 septembre le nombre de jeunes produits diminue très vite. Du 20 octobre 1977 au 20 avril 1978, aucune reproduction n'est observée. Le nombre des individus dans les récoltes est tellement faible que, comme l'hiver précédent, les pourcentages effectués présentent une grande variabilité d'un échantillon à l'autre.

Pour le début de l'année 1978 la première reproduction importante se produit du 12 mai au 30 mai ; en juin, aucune reproduction n'est observée.

Résumé : les deux années sont légèrement différentes, mais l'ensemble des observations permet de conclure à un cycle "moyen" :

- 1) une reproduction précoce très faible "R<sub>1</sub>" début février 1977 et pas observée en 1978. L'intervalles de temps entre les missions ne nous a pas permis de mettre en évidence la première reproduction de l'année 1978.

- 2) une reproduction "R<sub>2</sub>" importante : le 14 avril 1977 et du 12 au 30 mai 1978,
- 3) une reproduction "R<sub>3</sub>" importante le 23 juillet 1976 et du 30 juin au 12 juillet 1977,
- 4) une reproduction "R<sub>4</sub>" du 21 août au 16 septembre 1976  
ou deux ("R<sub>4</sub>" + "R<sub>5</sub>") du 26 août au 21 septembre 1977

En conclusion, on peut dire que la période de reproduction de *Temora* est très limitée dans le temps à FLAMANVILLE et que toutes les reproductions des différentes générations s'effectuent en début mai et à la mi-septembre (ce résultat est très différent de ceux observés à GRAVELINES où les grandes périodes de reproduction s'étendent de février à novembre).

Mois Années	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1976							23 ↓ R3	21 - 16 ↓ R4			?	
1977		↓ R1		14 ↓ R2		30 - 12 ↓ R3		26 - 21 ↓ R4				
1978		?			12 - 30 ↓ R2							

- b) *Centropages hamatus* : tandis que l'on vient de constater qu'à FLAMANVILLE la période de reproduction de *Temora* est courte, au contraire *Centropages hamatus* présente des périodes de reproduction (figures V.23, V.26) variables selon les années entre janvier et novembre.

Pour l'année 1976, trois périodes en fin de cycle annuel en août 1976, en septembre 1976 et en novembre 1976.

Pour l'année 1977, les reproductions sont plus précoces au cours de l'année ; une première reproduction, très faible, a lieu le 5 janvier 1977 ( $R_1$ ), puis le 17 février ( $R_2$ ), ensuite durant la période du 14 avril au 10 mai ( $R_3$ ), ensuite entre le 30 juin et le 12 juillet ( $R_4$ ), puis, enfin du 26 août au 6 septembre ( $R_5$ ). Aucune reproduction n'est constatée jusqu'au 21 février 1978 ( $R_1'$ ?) ; la période de reproduction s'étend ensuite du 12 mai au 15 juin, représentant une longue période de reproduction. On constate donc que les années 1976, 1977 et 1978 étant très différentes du point de vue climatique, il est difficile d'établir des périodes précises de reproduction de *Centropages hamatus* pour une année "moyenne"

comme on a pu le faire pour *Temora longicornis*. On peut penser cependant qu'il y a environ cinq périodes de reproduction (cette conclusion demande une étude plus approfondie des données acquises, ce qui sera fait ultérieurement), et ces périodes de reproduction différent d'une année à l'autre selon les conditions climatiques. Deux remarques peuvent être faites : l'année 1976 était particulièrement chaude et une reproduction de l'espèce en novembre 1976 est certainement due aux températures élevées en automne. De plus, on peut remarquer que le printemps 1978, particulièrement froid, a provoqué un retard des reproductions printanières en 1978, d'où la complexité pour dégager un cycle "moyen".

Résumé des résultats déjà obtenus

Mois Années	Janv.	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.
<b>1976</b>								6 ↓ R3	16 ↓ R4		3 ↓ R5
<b>1977</b>	↓ R1	17 ↓ R2		14 ↓ R3			30—12 ↓ R4	26—6 ↓ R5			
<b>1978</b>		↓ R1			↓ R2						

c) *Acartia clausi* : comme l'espèce précédente, *Acartia clausi* présente des périodes de reproduction très décalées dans le temps selon l'année, et les variations climatiques d'une année à l'autre semblent agir fortement sur les périodes de reproduction que se trouvent "décalées" selon les années. L'étude détaillée des périodes de ponte a été faite pour *Acartia clausi* comme pour les deux espèces précédentes résumera plus rapidement les résultats pour ne pas trop alourdir l'exposé (figures V.22, V.25, V.r?).

Mois Années	Janv.	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.
1976							8 ↓ R3	— ↓ R4			↓ R5
1977			3 ↓ R1	14 ↓ R2		16 ↓ R3	12 ↓ R4	11—26 ↓ R5			
1978					26— ↓ R1						

### 3) Méthode de la distribution des longueurs

. Introduction : depuis longtemps on sait que les fonctions métaboliques et en particulier la croissance, sont stimulées par l'augmentation de température. Une espèce donnée d'un sexe donné sera d'autant plus grande si elle a grandi dans une mer à température basse. Les copépodes grandissent à chaque mue. Les copépodes des mers septentrionales sont plus grands que ceux des mers chaudes. Les études de variations de taille des adultes en fonction des températures ambiantes ont été entreprises depuis le début du siècle. GRAN (1902) fut le premier à constater ce phénomène en NORVEGE. Les mêmes résultats ont été signalés en Mer du Nord par ADLER et JESPERSEN (1920) pour *Temora longicornis* et *Pseudocalanus*. C'est RAZOULS et GUINNESS (1973) qui nous rappellent cet historique préliminaire à l'étude des variations dimensionnelles de *Temora stylifera* et *Centropages typicus* en Méditerranée. DEEVEY (1960) a montré que la longueur de *Centropages typicus* dépend de deux facteurs : la température et le facteur trophique. Selon DEEVEY (1960) ce sont les facteurs température et nourriture qui influencent les variations de taille. Ses études montrent les effets relatifs des deux facteurs. En résumé, pour cet auteur, la longueur dépend d'autant plus de la température que l'écart thermique annuel  $\Delta t$  est plus important. La température joue un moindre rôle si ce  $\Delta t$  est faible ; alors, le facteur nourriture (représenté par le phytoplancton présent) joue un rôle important pendant le développement. HARRIS P. et G.A. PAFFENHOFFER (1976) ont insisté également sur l'action de la concentration en nourriture sur le développement des individus et leur croissance (exemple sur *Temora longicornis*). D'autre part, Moraitou APOSTOLOPOULOU (1975), étudiant les longueurs de trois copépodes, conclue que la longueur est fonction de trois facteurs :

- la température,
- la densité en nourriture ou phytoplancton,
- la densité des individus.

La longueur croît quand la température diminue, quand l'abondance du phytoplancton augmente et quand le nombre d'individus diminue. L'action des deux derniers facteurs sont liés indirectement car on sait que lorsque le nombre d'individus augmente, le broutage (grazing) fait diminuer l'abondance en phytoplancton et indirectement la longueur diminue.

Il faut rappeler les travaux de Mac LAREN et de ses nombreux collaborateurs sur les copépodes. Mac LAREN, dès 1965 montre les relations entre les tailles des individus, leur vitesse de développement et leur fécondité avec la température. Ce sont des paramètres de la productivité. Il applique sur l'espèce *Pseudocalanus minutus* les fonctions générales de BELERHADEK (1957) :

$$V \text{ ou } S = a (T - \alpha)^b$$

(taux de fonction métabolique)

T étant la température. Ce qui est intéressant c'est que d'après Mac LAREN (1969) le coefficient  $\alpha$  serait un indicateur de "l'adaptation" à la température et dépend de l'environnement. Des études ultérieures de LOCH et Mac LAREN (1970) montrent que si  $\mu$  désigne la longueur du céphalothorax d'un copépode (exemple : *Pseudocalanus*) on peut définir une fonction de la forme :

$$\mu \text{ (céphalothorax)} = a (T - \alpha)^b$$

T étant la température  
a,  $\alpha$ , b des constantes.

Tous ces résultats sont repris et approfondis dans l'ouvrage récent de Mac LAREN (1978) consacré à la monographie complète de *Pseudocalanus*.

- Etude des longueurs des céphalothorax de trois espèces de copépodes à FLAMANVILLE : *Temora longicornis*, *Centropages hamatus*, *Acartia clausi* : les différents stades juvéniles C<sub>1</sub> à C<sub>5</sub> et les adultes mâles et femelles ont été mesurés. Seule la mesure du céphalothorax a été retenue comme paramètre à suivre, la longueur totale et la largeur n'ont pas

n'ont pas été mesurés (par manque de temps). Les résultats sont exprimés en  $\mu$  et la précision de la mesure est de  $\pm 10 \mu$

#### Variations des longueurs des cephalothorax des trois espèces

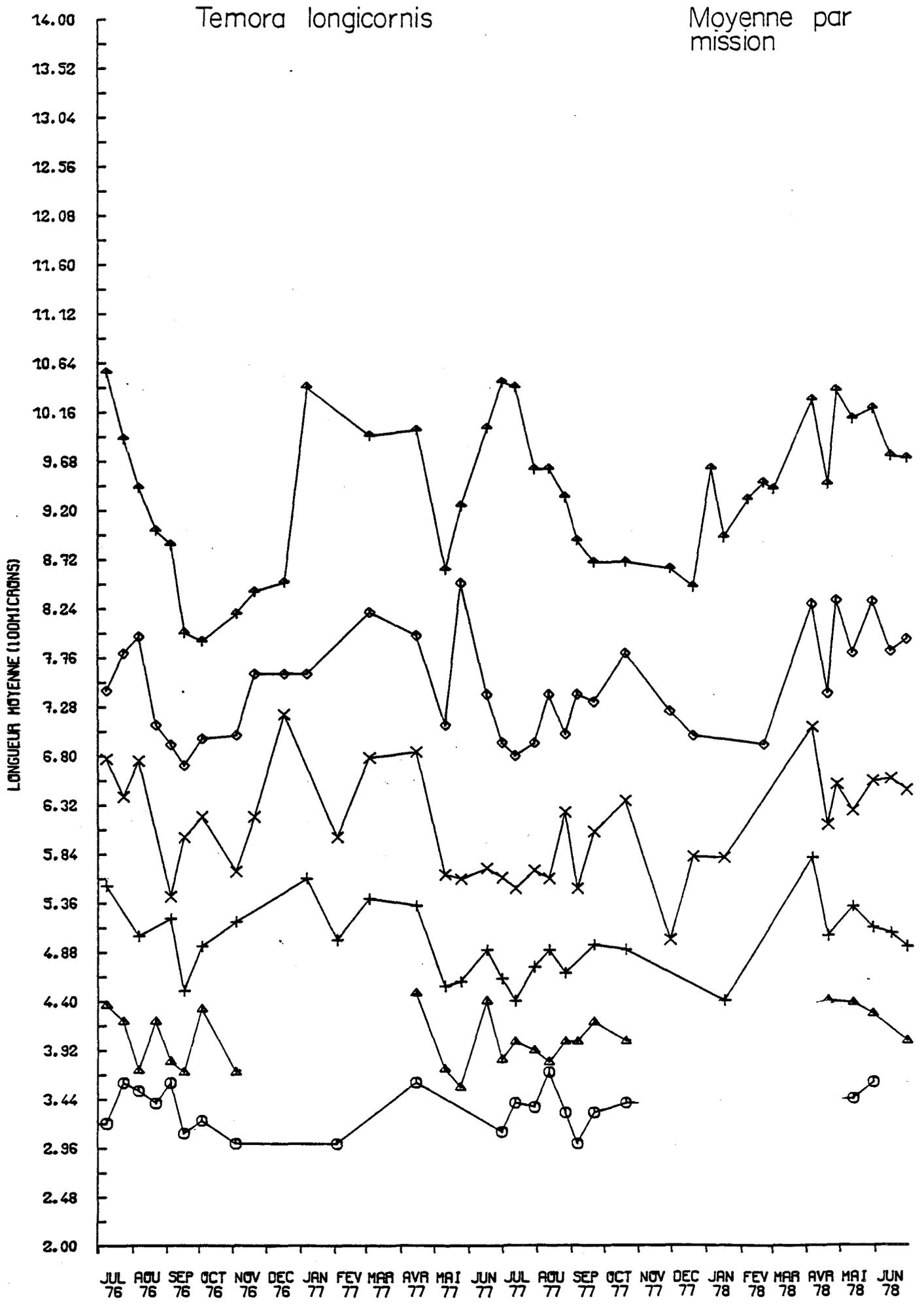
(figures V.s1, V.s2, V.s3, V. 27, V. 28, V.29)

On remarque que si on mesure les longueurs des céphalothorax des individus des générations nées en mars et qu'on les compare à celles des individus de même stade (juvénile ou adulte) d'une autre génération par exemple, nés en septembre, les longueurs des individus de mars sont plus grands en moyenne que les individus de septembre pour un stade donné. A chaque mission, trente à soixante individus sont mesurés pour chaque espèce dans chaque échantillon, nombre variable selon la saison et l'abondance. Aux missions "lourdes" dix échantillons étant examinés, il y a environ 300 à 600 individus de chaque espèce mesurés, moitié au point B moitié au point D. Pour chaque stade mesuré, on a calculé les moyennes de longueurs par mission et les moyennes en chaque point 2 et 4. Un autre traitement, qui n'est pas exposé ici, concerne l'exploitation de l'ensemble des mesures sur chaque échantillon et permet de distinguer les "modes" (plusieurs modes pouvant correspondre pour une date donnée à plusieurs générations d'adultes par exemple). Sur les figures sont représentées les variations saisonnières des longueurs moyennes par mission des individus mesurés (par stade). Remarquons :

- l'amplitude annuelle des variations est d'autant plus grande que le stade est plus âgé. Pour les adultes la courbe présente la moyenne des  $C_{6^0}$  et  $C_{6^+}$ . Quand on trace les courbes distinctes pour les mâles et les femelles (pas représentées ici), on voit clairement que les femelles sont en moyenne nettement plus grandes que les mâles,
- les plus grandes longueurs sont rencontrées surtout de janvier à mai et les plus faibles de septembre à novembre,

# FLAMANVILLE

Figure V.s 1'

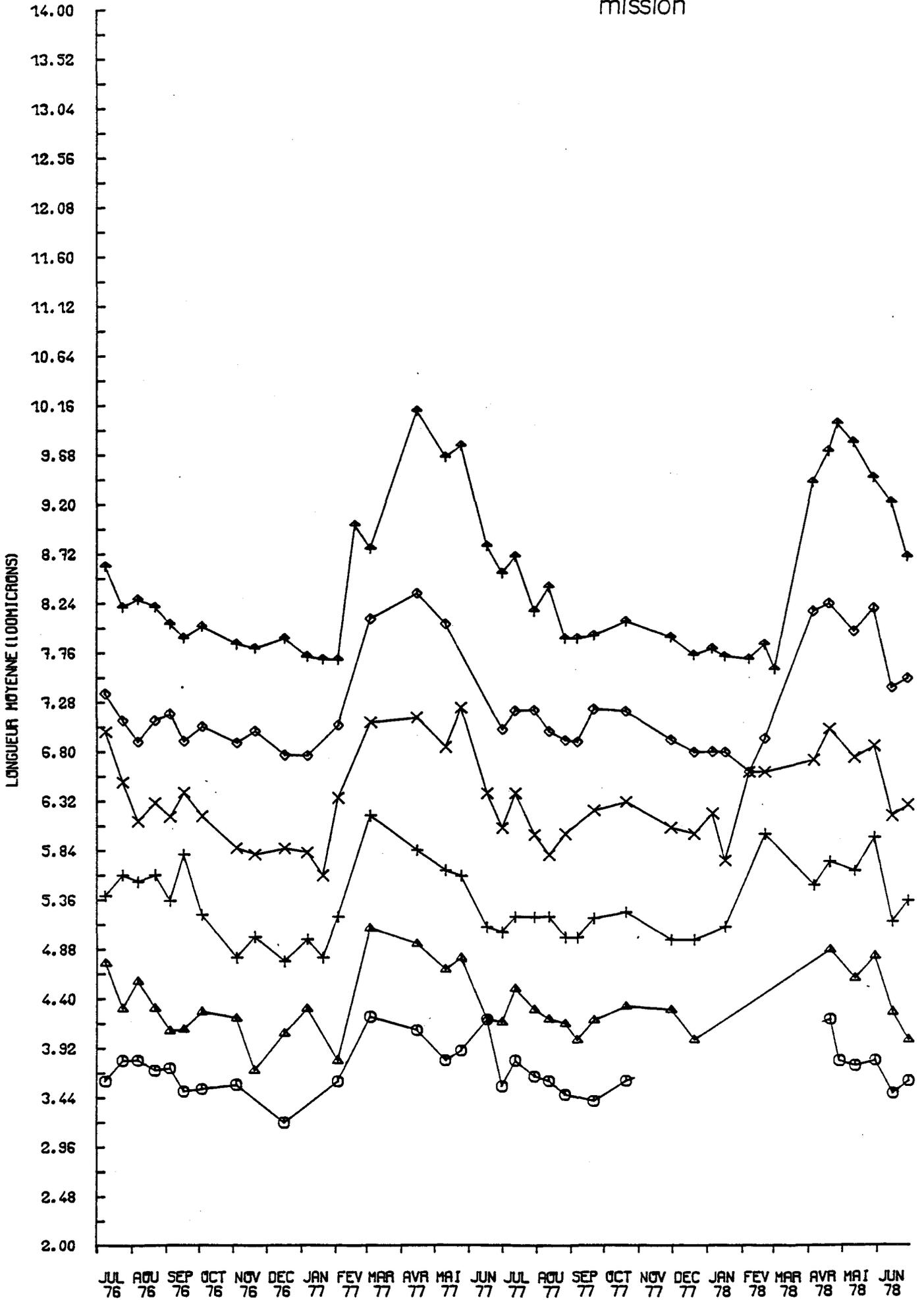


# FLAMANVILLE

Figure V.s 2

Acartia clausi

Moyenne par mission

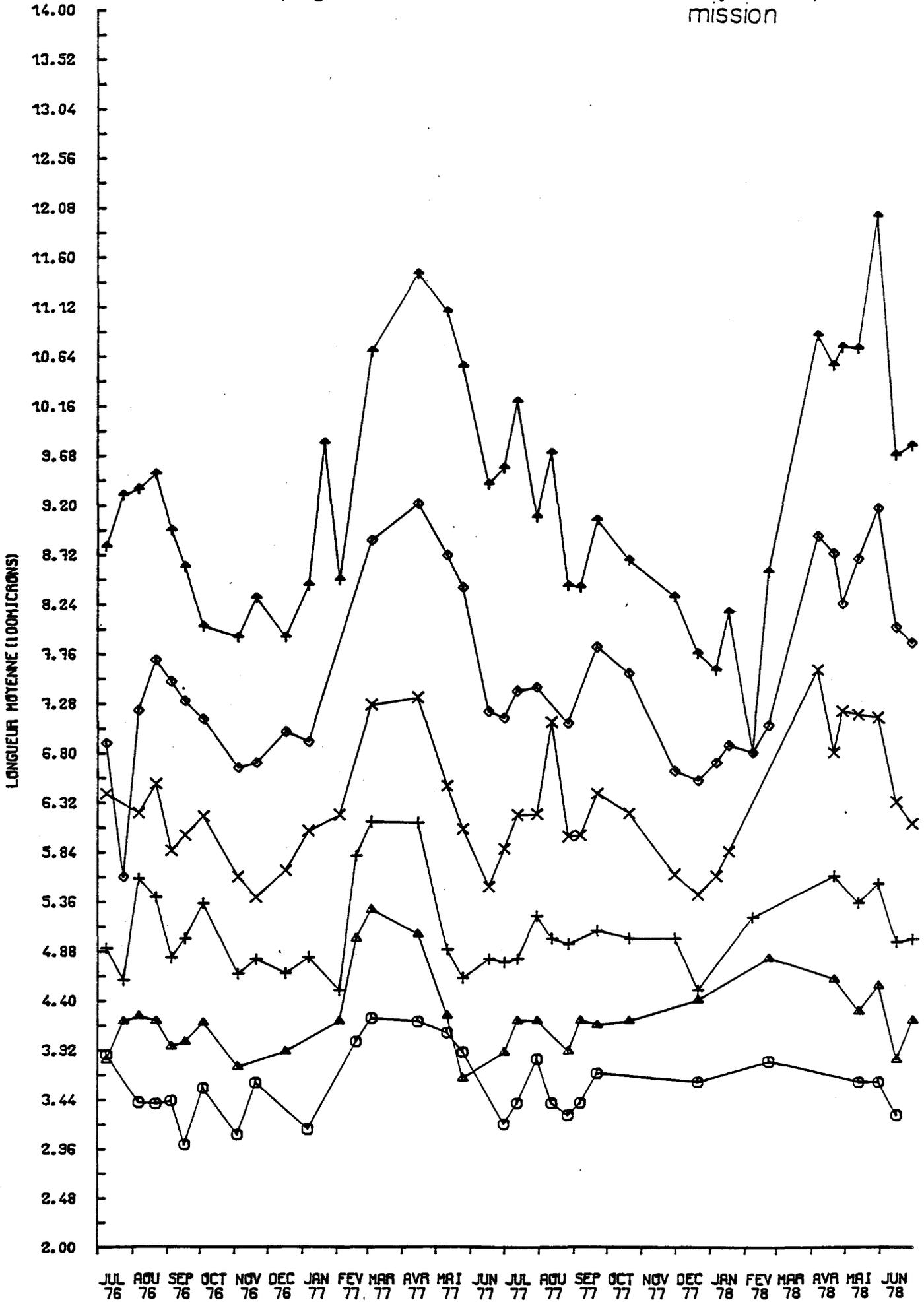


# FLAMANVILLE

Figure V.s 3

Centropages hamatus

Moyenne par mission



- l'amplitude des variations annuelles est telle que la plus grande longueur d'un stade peut être plus élevée que la plus petite longueur du stade suivant, et même approcher la plus petite longueur de deux stades plus âgés (exemple : *Centropages hamatus*). Un C<sub>4</sub> de mars est plus grand qu'un C<sub>5</sub> de novembre et presque aussi grand qu'un C<sub>6</sub>. Les longueurs des individus ne peuvent, en aucun cas, être des critères de détermination de stade ni de détermination d'espèces,
- pour *Temora longicornis* l'amplitude des variations annuelles pour un adulte femelle peut être de 300 μ, pour un mâle, de 300 μ également. Pour *Centropages hamatus* l'amplitude annuelle peut atteindre 480 μ pour la femelle et 350 μ pour les mâles. *Acartia clausi* varie avec une amplitude de 300 μ pour les femelles et 240 μ pour les mâles,
- d'une façon générale, les différents maxima observés sur les courbes C<sub>n</sub> correspondent aux arrivées de générations nouvelles. En comparant les résultats obtenus par les variations rapides des longueurs moyennes, on retrouve des résultats proches de ceux obtenus au chapitre précédent : évolution de la composition en stades copépodites et évolution quantitative de la population totale. Plusieurs facteurs conditionnent la croissance des individus et la taille de l'adulte. Sur les sites de GRAVELINES et de PALUEL (voir Rapport C.N.E.X.O. 2<sup>ème</sup> année d'Etude de PALUEL, 1978) on a mis en évidence l'influence considérable des variations des températures sur les tailles des individus. Pour l'étude de FLAMANVILLE le phénomène est plus complexe et l'action de deux facteurs a été étudiée simultanément.

Relations entre la longueur, la température et la chlorophylle -  
corrélations simples et multiples (figures V.t, V.u, V.30, V.31, V.32)

Les coefficients de corrélations entre la longueur du céphalothorax et la température d'une part, la quantité de chlorophylle d'autre part, ont été calculées pour les trois espèces *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Temora longicornis* (voir tableau page suivante).

## Relation entre la longueur du céphalothorax et la température

Légende

▽ Point 2

x Point 4

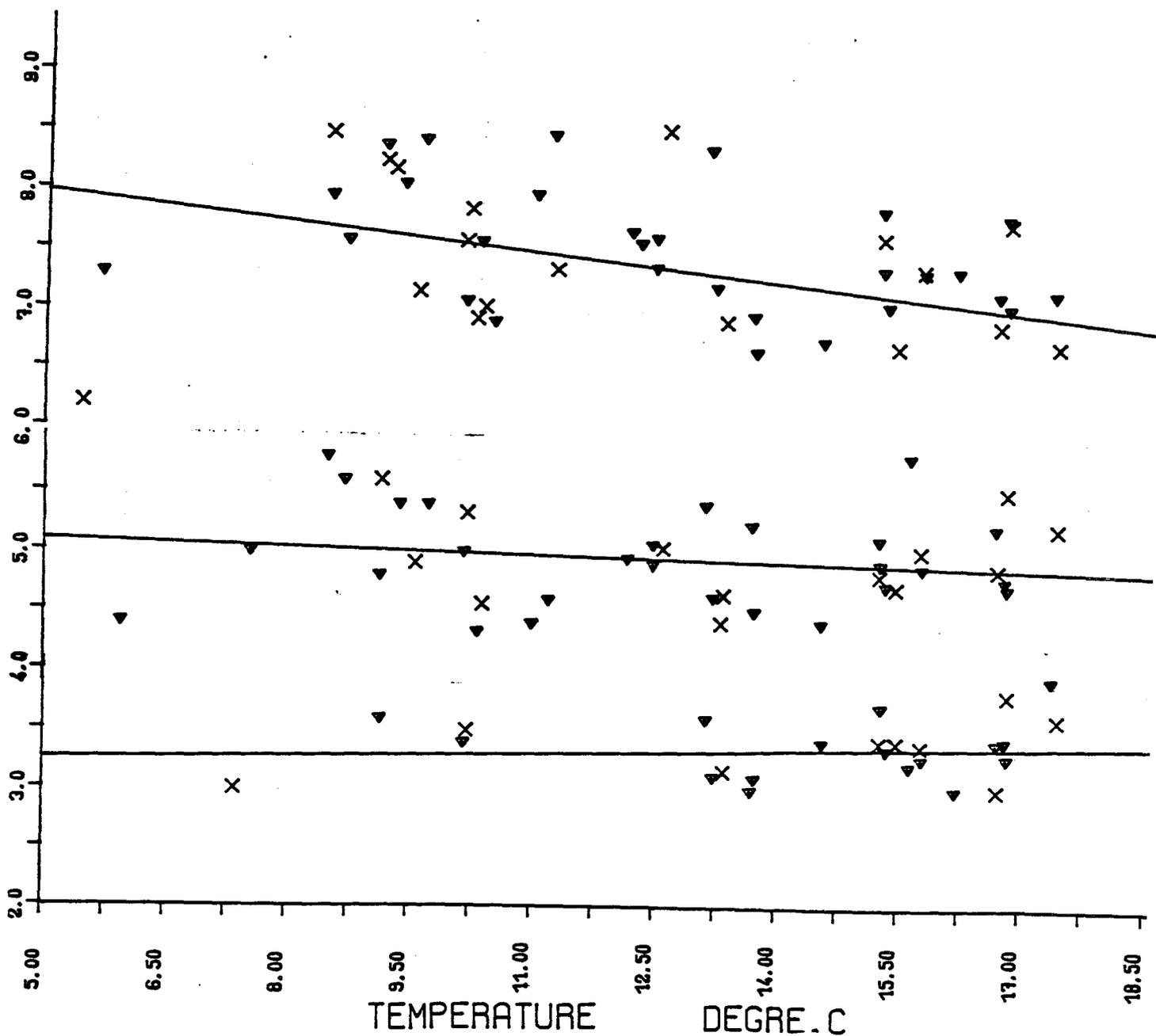
*Temora longicornis*

$$C_1 \quad X = AT + B \quad A = 0.106 \quad R = 0.009 \quad B = 3.206 \quad \text{NBRE PTS}$$

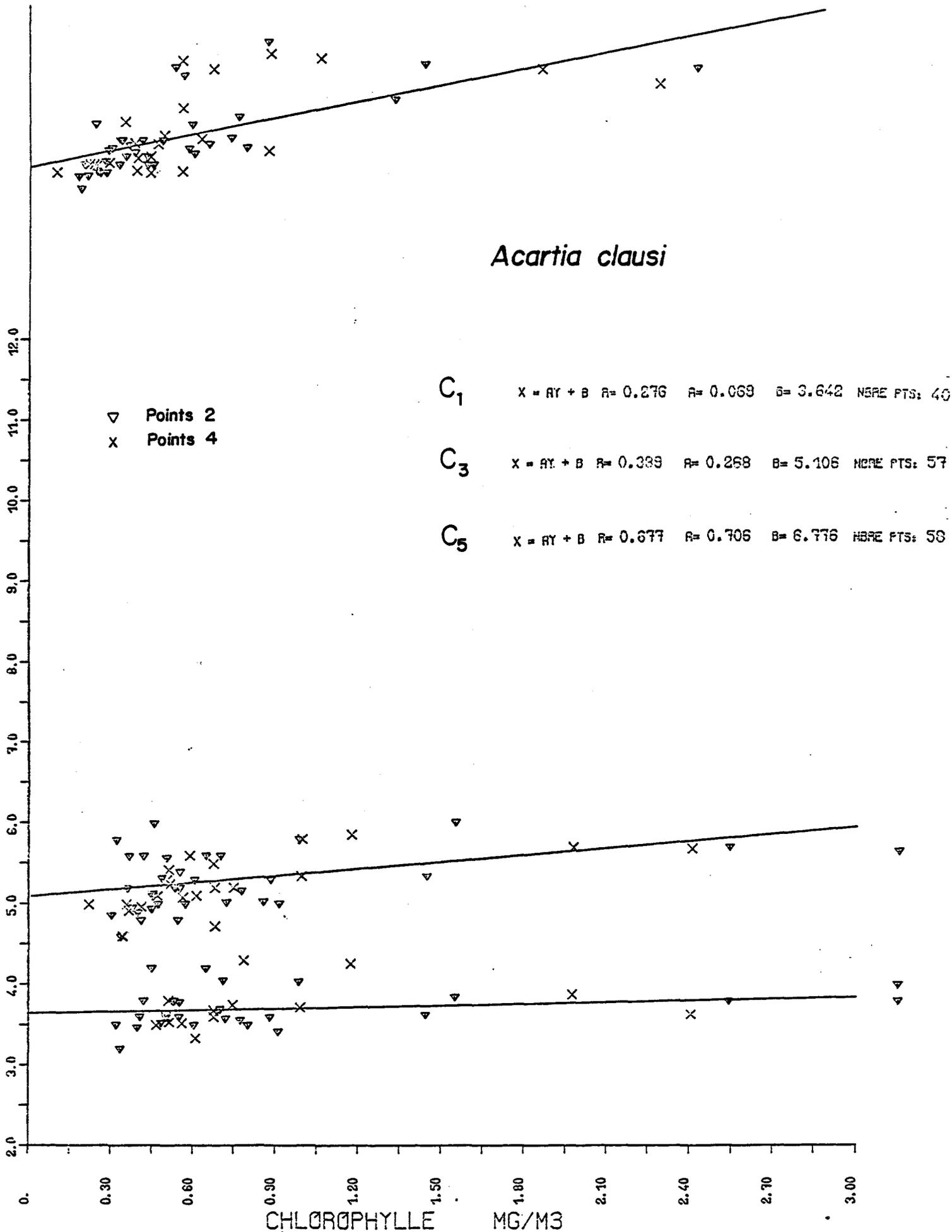
$$C_3 \quad X = AT + B \quad A = -0.145 \quad R = -0.020 \quad B = 5.189 \quad \text{NBRE PTS}$$

$$C_5 \quad X = AT + B \quad A = -0.295 \quad R = -0.076 \quad B = 8.352 \quad \text{NBRE PTS}$$

Longueur (1/100mm)



Relation entre la longueur du céphalothorax et la chlorophylle a



Corrélations entre la longueur des céphalothorax de trois copépodes  
et les deux paramètres température et quantité de chlorophylle.

=====

Longueur du céphalothorax des espèces		Coeff. de corrélati on avec la températu- re	Nombre d'obser- vations	degré de signi.	Coeff. de corréla- tion avec la chloro- phyllé	Nombre d'obser- vations	degré de signific.
<i>Acartia clausi</i>	C <sub>1</sub>	-0,45	37	* *	+0,32	39	*
	C <sub>2</sub>	-0,13	48	ns	+0,44	50	* *
	C <sub>3</sub>	-0,21	54	ns	+0,39	56	* *
	C <sub>4</sub>	-0,20	56	ns	+0,38	59	* *
	C <sub>5</sub>	-0,21	55	ns	+0,68	58	* *
	Adulte C <sub>6</sub>	-0,14	61	ns	+0,55	64	* *
<i>Centropages hamatus</i>	C <sub>1</sub>	-0,43	37	* *	+0,29	38	ns
	C <sub>2</sub>	-0,43	42	* *	-0,20	44	ns
	C <sub>3</sub>	-0,19	48	ns	-0,04	50	ns
	C <sub>4</sub>	-0,23	53	ns	+0,12	55	ns
	C <sub>5</sub>	-0,17	52	ns	+0,57	55	* *
	Adulte C <sub>6</sub>	-0,14	59	ns	+0,54	62	* *
<i>Temora longicornis</i>	C <sub>1</sub>	+0,11	24	ns	+0,27	26	ns
	C <sub>2</sub>	-0,11	32	ns	-0,21	34	ns
	C <sub>3</sub>	-0,15	40	ns	-0,21	40	*
	C <sub>4</sub>	-0,29	48	*	-0,19	49	ns
	C <sub>5</sub>	-0,30	48	*	+0,19	50	ns
	Adulte C <sub>6</sub>	-0,30	55	*	+0,44	58	* *

Légende :      ns non significatif  
                  \*    significatif à 95 %  
                  \* \* significatif à 99 %

Ces résultats sont très différents de ceux que j'ai pu obtenir sur d'autres sites actuellement en cours d'étude en Manche Orientale : PALUEL et GRAVELINES, où des corrélations très fortes étaient obtenues entre les variations des longueurs et celles des températures pour *Temora longicornis* essentiellement et également de *Centropages hamatus*, mais pas pour *Acartia clausi*, ce qui permettait de penser que la sensibilité des espèces aux variations de température sont différentes et que l'adaptabilité à de nouvelles conditions du milieu pourrait être une "caractéristique spécifique" (Mac LAREN, 1970).

Alors qu'à GRAVELINES un coefficient de corrélation de - 0,89 était trouvé entre les longueurs des femelles ovigères de *Temora longicornis* et la température à PALUEL,  $r = - 0,75$  et à FLAMANVILLE seulement - 0,17. Les différents calculs ont montré que les variations de la température seule ne jouaient pratiquement de rôle que dans les variations des longueurs des individus. Au contraire les corrélations peuvent être très élevées avec la quantité de chlorophylle du milieu et on voit très nettement le rôle de la nutrition dans la taille des individus particulièrement pour l'espèce *Acartia clausi*.

De plus, une regression multilinéaire du type

$$L_{\mu} (C_n) = a f (t^{\circ}) + b f (chl.a) + C$$

pour tous les stades des trois espèces.

Pour *Temora longicornis*, le rôle de la température et de la chlorophylle ont été mis en évidence respectivement et simultanément : on obtient pour les adultes par exemple :

$$L_{\mu} C_6 = - 7,16 (t^{\circ}C) + 42,8 (chl.a) + 998\mu$$

$\downarrow$   
significatif

$\downarrow$   
significatif

Au contraire, pour l'espèce *Acartia clausi*, la régression multilinéaire montre que seule la corrélation avec la chlorophylle est significative et que la température ne joue pas de rôle

$$L_{\mu} C_6 = 2,93 [t^{\circ}] + 51,2 [\text{chl.}a] + 838\mu$$

Afin de mieux voir l'effet de la température et celle de la chlorophylle sur la croissance des adultes, des corrélations du type "corrélations décalées" (voir plus haut) entre les longueurs et les valeurs des différents facteurs aux missions précédentes sont en cours d'études et peuvent apporter des informations plus approfondies sur le décalage temporel qui existe entre l'action d'un facteur du milieu et son effet : ici la croissance et la taille des individus observés quelques semaines plus tard.

#### e) Conclusion

Au cours des deux années d'étude de projet sur le site de FLAMANVILLE, les caractéristiques générales de la biologie des copépodes ont été décrits. Les variations quantitatives saisonnières sont en conformité avec les données bibliographiques relatives à la Manche Occidentale (DIGBY, 1950, RAZOULS, 1963, LE FEVRE-LEHOERFF, 1972) Aussi, les données acquises si elles ne sont pas nouvelles dans leurs généralités permettent de préciser pour le site de FLAMANVILLE des valeurs quantitatives plus précises pour chaque espèce étudiée. De plus, un travail entièrement nouveau pour la région a été entrepris et une étude de dynamique de population de trois espèces de copépodes : *Temora longicornis*, *Acartia clausi* et *Centropages hamatus* a apporté des informations intéressantes sur la reproduction des espèces et leur croissance.

Les copépodes représentent une part importante de la production secondaire pélagique non par la biomasse de chaque individu, mais par la biomasse du plus grand nombre d'individus qui constituent les populations. De plus, le fait que ces crustacés se reproduisent en moyenne 4 à 5 fois dans l'année est un élément essentiel dans le renouvellement du stock d'herbivores (la plupart des copépodes côtiers le sont), nourriture des prédateurs pélagiques et benthiques (en

particulier les poissons). On peut les qualifier de "nourriture permanente".

Au cours de cette étude nous avons remarqué que relativement peu d'espèces constituaient l'ensemble de la population. Les variations d'abondances saisonnières, au cours des deux années d'études, possèdent des caractéristiques communes et très semblables.

Pour trois espèces une dynamique de population a permis de mettre en évidence les relations étroites qui existent entre la physiologie et la morphologie d'un organisme et les facteurs du milieu, en particulier les vitesses de croissance et de reproduction s'accroissent quand la température augmente et quand la quantité de nourriture disponible augmente.

Il a été mis en évidence que les populations qui effectuent leur développement en hiver (températures basses) donnent des individus de plus grande taille que les individus qui effectuent leur développement aux températures estivales élevées. Mais à FLAMANVILLE, un autre phénomène beaucoup plus complexe a été constaté. Il a été démontré que les individus qui grandissent sont très dépendants de la quantité de nourriture disponible. Des corrélations existent entre la longueur des stades copépodites et des adultes, et la quantité de chlorophylle (qui est en relation plus ou moins directe avec la quantité de phytoplancton). Ces corrélations, calculées entre les longueurs des individus et les facteurs du milieu, soit température, soit quantité de chlorophylle, diffèrent selon les espèces étudiées, par exemple *Acartia clausi* est l'espèce dont la croissance semble la mieux reliée à la disponibilité en nourriture phytoplanctonique, tandis que *Centropages hamatus* et *Temora longicornis* sont plus dépendants de la température que *Acartia clausi*. Les corrélations dépendent également du site étudié et les résultats obtenus sur le site de FLAMANVILLE diffèrent beaucoup de ceux obtenus pour les sites de GRAVELINES et PALUEL (Rapports C.N.E.X.O. 2<sup>ème</sup> année de GRAVELINES 1978, 2<sup>ème</sup> année de PALUEL 1978).

Toutes ces remarques montrent la complexité pour l'évaluation de la production annuelle qui dépend :

- du nombre d'espèces qui existent,
- du nombre de générations de chaque espèce,
- de l'abondance de la population,
- du poids de chaque population - le poids variant approximativement comme le cube de la longueur.

Afin de mieux comprendre les relations trophiques de l'écosystème étudié des corrélations du type "corrélations décalées" ont été calculées. Il s'agit de corréler une série de valeurs d'un paramètre pour des missions données à une autre série de valeurs d'un deuxième paramètres aux missions précédentes (le décalage temporel pouvant être de 15 jours, 1 mois, etc.). Il a été démontré que l'abondance des copépodes varie en fonction de la quantité de phytoplancton présente au mois précédent, si on calcule cette corrélation sur deux années d'étude. De plus, les décalages sont différents en hiver et en été. Ce type de travail permettra de mieux comprendre dans l'avenir le "temps de réaction" des prédateurs (ici les copépodes) sur les variations d'abondance que peuvent affecter les proies (ici phytoplancton).

#### 4. Les Mysidacées

Ce groupe de crustacés est très rare à FLAMANVILLE. L'espèce la plus abondante est *Gastrosaccus sanctus* avec un maximum d'abondance entre les mois de septembre et de janvier. Les autres espèces répertoriées sur le site sont *Mesopodopsis slabberi*, *Gastrosaccus spinifer*, *Schistomysis ornata*. Les effectifs ne dépassent jamais 10 individus pour 10 m<sup>3</sup>.

### 5. Les Appendiculaires : *Oikopleura dioica*

*Oikopleura dioica* présente un maximum d'abondance en mai et des valeurs élevées en juillet-août 1976 et en septembre 1977. Le pourcentage des appendiculaires peut atteindre 20 à 40 % des effectifs à certaines époques bien particulières et courtes. Le minimum annuel se situe en janvier et février (figure V.v). La variation spatiale est importante également mais irrégulière. Si on examine les courbes de variations saisonnières aux différents points, on remarque que l'abondance est tantôt plus forte au point B tantôt au point D, etc. Le gradient n'est pas mis en évidence. Une meilleure interprétation de la répartition de cette espèce est obtenue par le calcul des corrélations du nombre d'individus avec différents facteurs du milieu par exemple la température, la quantité de chlorophylle et la quantité de matière en suspension (figure V.33).

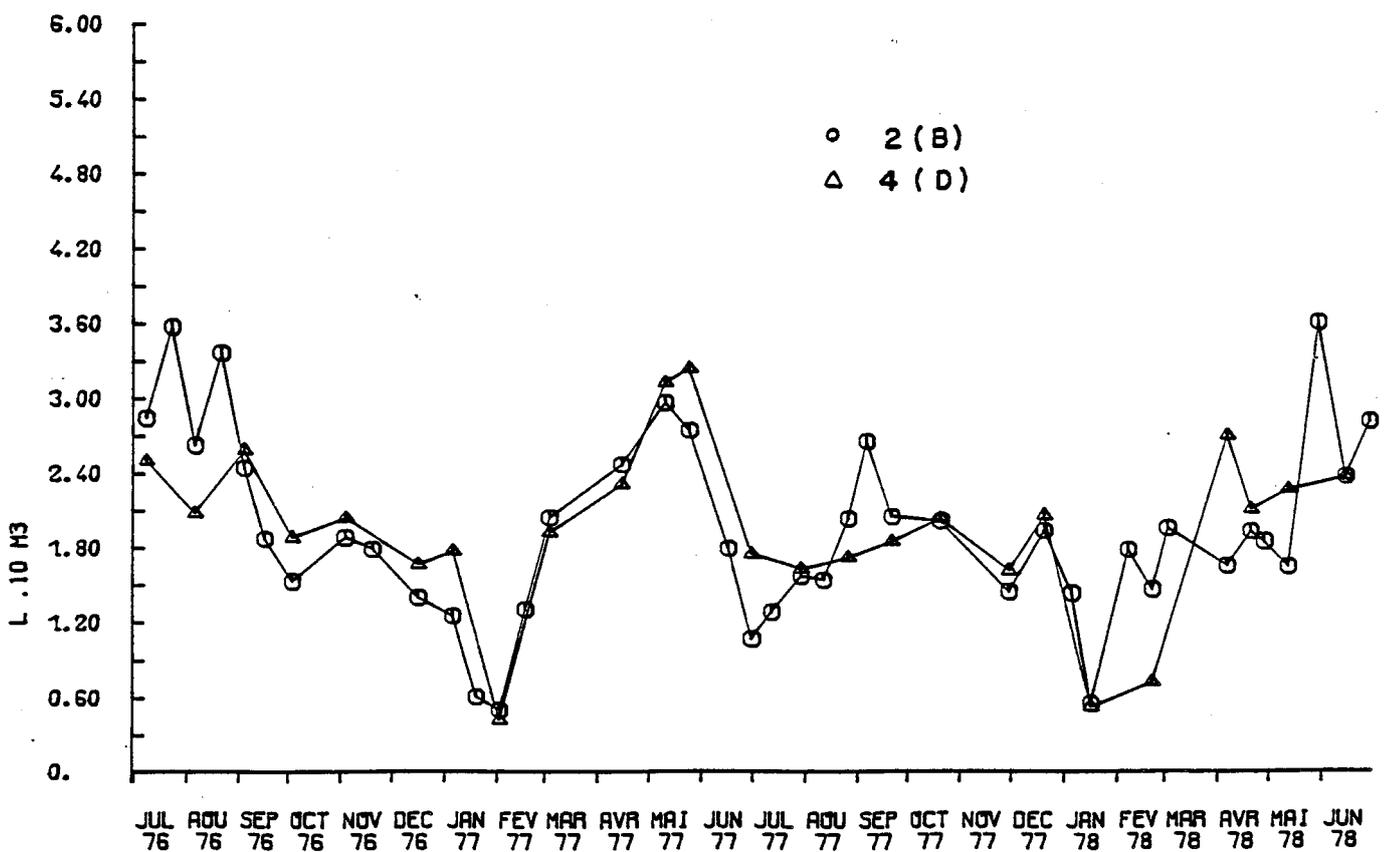
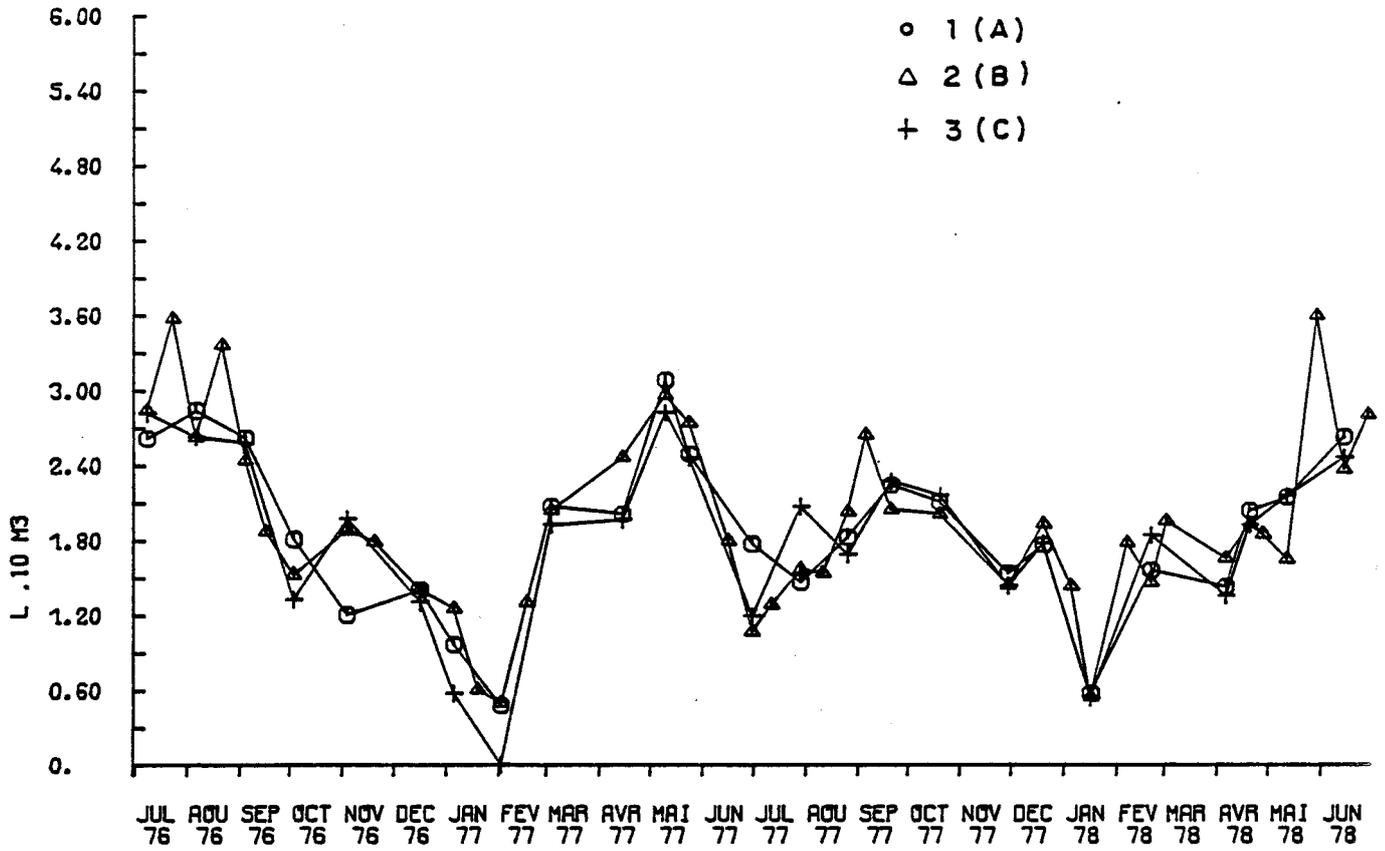
On a calculé d'une part la corrélation entre les nombres moyens par mission et les paramètres ci-dessus et d'autre part les corrélations entre les nombres en un point et les nombres en un autre pour une mission donnée :

#### Résultats :

	t°	Chl.a	M.E.S.
Nombre moyen/10m3 par mission de <i>Oikopleura dioica</i>	r = + 0,33 n = 226	r = + 0,38 n = 224	r = + 0,31 N = 188

Significatif à 99 %.

VARIATIONS SAISONNIERES DE *Oikopleura dioica*



On déduit qu'il existe une bonne corrélation entre le nombre d'*Oikopleura* et la température, une bonne corrélation aussi avec la matière en suspension et la quantité de chlorophylle. Cette espèce réagit très rapidement à l'augmentation de la température du milieu et à l'augmentation de nourriture végétale disponible. Ces résultats rejoignent ceux déjà obtenus en d'autres régions : Rivière de MORLAIX (G. LE FEVRE-LEHOERFF, 1972), GRAVELINES (Rapport C.N.E.X.O. en année 1978).

a) Corrélations

- nombre au point (1) et nombre au point (3)  
A C

- nombre au point (2) et nombre au point (4)  
B D

a) 1/3            r = + 0,69  
                         n = 34

b) 2/4            r = + 0,73  
                         n = 39

Les résultats montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les stations et que les différences d'abondance observées aux différentes stations et missions ne dépendent pas directement du lieu géographique de la récolte, mais indirectement par les variations des autres facteurs du milieu existants à cet instant : température, quantité de chlorophylle, matière en suspension.

## CONCLUSION

---

Au cours des deux années d'étude de projet sur le site de Flamanville, l'étude quantitative et qualitative du zooplancton a permis de mettre en évidence les traits caractéristiques suivants.

La biomasse du zooplancton montre une bonne correspondance avec le nombre total des individus zooplanctoniques. Les variations quantitatives saisonnières de la biomasse sont beaucoup plus marquées que les variations quantitatives spatiales. La biomasse moyenne annuelle est de  $16 \text{ mg/m}^3$ . Elle présente un maximum au printemps avec des valeurs de  $23 \text{ mg/m}^3$  en mai 1977 et  $40 \text{ mg/m}^3$  en juin 1978. La valeur du rapport carbone organique et azote organique ou C/N est égale à 4,78 en moyenne.

La valeur de la diversité spécifique est relativement stable au cours des saisons, mais la composition faunistique varie. Il existe une succession dans l'apparition des espèces. La diversité est plus faible à la côte qu'au large et plus faible l'hiver que l'été.

Les espèces qui caractérisent ce site forment un stock commun, stable et reproductible d'une année sur l'autre. Ce sont les copépodes *Pseudocalanus minutus*, *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Temora longicornis*, *Paracalanus parvus*, *Parapontella brevicornis*, *Calanus helgolandicus*, les appendiculaires *Oikopleura dioica*, les chaetognathes *Sagitta setosa* et *Sagitta elegans*, les larves de crustacés cirripèdes *Balanus balanoides* et décapodes *Pisidia longicornis* et les larves d'annelides *Nephtys*.

Du point de vue de leur distribution les espèces ne présentent pas de gradient d'abondance marqué et constant entre la côte et le large ; Cependant les larves de cirripèdes, de l'annelide *Lanice conchilega* et des copépodes *Acartia clausi*, *Parapontella brevicornis* et *Paracalanus parvus* sont souvent plus abondants à la côte qu'au large tandis que les espèces *Pseudocalanus minutus*, *centropages typicus* et *oncaea sp.* présentent un gradient inverse.

La comparaison des points hors tache " D " et médian de la radiale "B" ne montre pas de différences notables.

On peut remarquer cependant que les larves de *Pisidia longicornis* sont souvent plus abondants aux points D qu'au point B, de même que les copépodes *Parapontella brevicornis*, *Isias clavipes*, *Acartia clausi* et inversement pour *Pseudocalanus minutus* et *centropages typicus*.

Du point de vue des variations quantitatives saisonnières, on observe à Flamanville une très bonne corrélation positive entre l'abondance de la majorité des espèces et l'augmentation de la température, en particulier pour les copépodes on remarque un seul maximum annuel d'abondance qui se produit pour chaque espèce plus ou moins tôt, au cours de l'année selon son affinité spécifique pour les eaux chaudes ou froides, mais pour beaucoup d'espèces l'abondance est liée à l'augmentation de la température estivale. Pour l'ensemble des copépodes, le nombre de copépodes et la température sont reliés par une relation positive (avec un degré de signification de 99 %). Il se produit donc à Flamanville un seul maximum annuel estival de copépodes (ce qui est différent des sites de Manche orientale). Dans les conditions hydrologiques, actuellement existantes, on peut conclure que le maximum estival de température (17 °) favorise l'augmentation du nombre de copépodes. Dans le cas où une augmentation supplémentaire de température serait consécutive à la mise en fonctionnement de la centrale, devant le site rien ne permet d'affirmer que les conclusions seraient identiques.

En effet, à Gravelines où les températures estivales atteignent des valeurs plus élevées (20 à 21°), les fortes températures apparaissent plutôt comme défavorables aux organismes et le maximum annuel de production apparaît plus tôt dans l'année (Mai-Juin).

Une bonne régularité du cycle annuel a été observée et les deux années d'étude, bien que légèrement différentes, montrent une certaine reproductibilité. Il a été possible d'établir un certain calendrier des espèces présentes.

Janvier : Mois très pauvre avec présence de *Pseudocalanus minutus*  
Février et : Larves des cirripèdes, *Balanus balanoides*  
Mars Larves de *Nephtys* et de spionidés  
 Copépodes *Pseudocalanus minutus*

<u>Avril</u>	:	Larves de cirripèdes <i>Pseudocalanus minutus</i>
<u>Mai-Juin</u>	:	Larves "cyphonautes" de Bryozoaires <i>Pseudocalanus minutus</i> <i>Temora longicornis</i> <i>Centropages hamatus</i> <i>Acartia clausi</i> <i>Oikopleura dioica</i>
<u>Juillet et</u>	:	Larves de <i>Pisidia longicornis</i>
<u>Août</u>	:	Larves de <i>Upogebia deltaura</i> et de brachyoures <i>Centropages hamatus</i> et <i>Centropages typicus</i> <i>Parapontella brevicornis</i>
<u>Fin Août -</u>	:	<i>Acartia clausi</i>
<u>Septembre</u>	:	<i>Centropages hamatus</i> <i>Oikopleura dioica</i>
<u>Octobre -</u>	:	<i>Sagitta setosa</i>
<u>Novembre</u>	:	<i>Paracalanus parvus</i> <i>Acartia clausi</i> <i>Euterpina acutifrons</i>

On note la prédominance des herbivores dans la première phase du cycle et en deuxième phase la prédominance des carnivores, dont les chaetognathes, qui jouent un rôle essentiel dans le cycle trophique et peuvent représenter une biomasse importante.

L'influence des paramètres hydrobiologiques température, chlorophylle et matière en suspension a été étudiée. Il a été démontré que les générations qui effectuent leur développement en hiver aux basses températures ont des tailles plus grandes à l'état adulte que les générations qui grandissent en été. L'influence de la quantité de nourriture disponible sur la taille des copépodes a été mise en évidence. Les espèces réagissent différemment aux conditions d'environnement ; par exemple, *Acartia clausi* est l'espèce dont la croissance semble la mieux liée à la disponibilité en nourriture, tandis que *Centropages hamatus* et *Temora longicornis* sont plus dépendants de la température.

L'évaluation de la production secondaire pélagique dépend simultanément :

- du nombre d'espèces qui existent
- de la fertilité de chaque espèce
- de l'abondance de chaque population
- du poids de chaque individu.

Afin de mieux comprendre le temps de réaction des prédateurs sur les proies par exemple herbivores et phytoplancton des corrélations dites "corrélations décalées" ont permis de mettre en évidence par exemple que l'abondance des copépodes dépend de celle du phytoplancton le mois précédent. Des relations ont également montré que l'abondance des appendiculaires est liée à la quantité de matière en suspension.

Le site de Flamanville apparaît, du point de vue de la production secondaire pélagique, comme un site présentant une certaine stabilité au cours du temps et homogène du point de vue de la distribution des organismes. La diversité est relativement élevée et une bonne stabilité caractérise le milieu dans les conditions actuelles avant la mise en fonctionnement de la Centrale.



## ANNEXE : SURVEILLANCE DE FLAMANVILLE

=====

A la suite de l'étude de projet sur le site de Flamanville, le programme de surveillance a été défini. Une liste type d'espèces caractéristiques à suivre a été établie. Les critères de sélection sont l'abondance d'une part et le caractère saisonnier lié aux caractéristiques hydrologiques d'autre part ;

CNIDAIRES	<i>Phialidium hemisphaericum</i> <i>Hybocodom prolifer</i>
CTENAIRES	<i>Pleurobrachia pileus</i> <i>Beroe cucumis</i>
CHAETOGNATHES	<i>Sagitta setosa</i> <i>Sagitta elegans</i>
ANNELIDES	<i>Nephtys</i> sp. <i>Spio</i> sp. <i>Lanice conchilega</i> <i>Polydora ciliata</i>
COPEPODES	<i>Calanus helgolandicus</i> <i>Paracalanus parvus</i> <i>Pseudocalanus minutus</i> <i>Temora longicornis</i> <i>Metridia lucens</i> <i>Centropages typicus</i> <i>Centropages hamatus</i> <i>Isias clavipes</i> <i>Anomalocera patersoni</i> <i>Labidocera wollastoni</i> <i>Parapontella brevicornis</i> <i>Acartia clausi</i> <i>Acartia discaudata</i> <i>Oithona helgolandica</i> <i>Euterpina acutifrons</i> <i>Oncaea</i> sp.
LARVES DE CRUSTACES	Larves de <i>Pisidia longicornis</i> Larves de <i>Upogebia deltaura</i> Larves de <i>Pinnotheres</i> Larves de divers Brachyours Larves de Crangonidés
AUTRES LARVES	Larves "Cyphonautes" de Bryozaires Larves de Gastéropodes

APPENDICULAIRES

*Oikopleura dioica*

TELEOSTEENS

Oeufs  
Alevins et larves

CHAPITRE VI



TRAITEMENTS MATHÉMATIQUES

par P. de LA SALLE



INTRODUCTION

Le traitement des données au moyen des analyses multivariées prend en compte l'ensemble des paramètres mesurés et la totalité des prélèvements recueillis. Il a pour objectifs, d'une part, de résumer l'information volumineuse et multidimensionnelle obtenue par une structure simple traduisant les caractéristiques écologiques essentielles du site, d'autre part, de dégager les paramètres responsables de cette structure. L'approche envisagée est principalement descriptive bien que des tentatives d'explication puissent être avancées dans certains cas.

Les différentes méthodes mises en oeuvre au cours de cette étude relèvent de l'analyse en composantes principales, avec des variantes imposées soit au niveau des variables (centrage, réduction), soit au niveau des observations (transformation logarithmique). Ces analyses d'inertie permettent de dégager d'une façon claire les grands traits de la structure hydrobiologique du milieu et, pour la partie planctonique, de mettre en évidence les affinités floristiques ou faunistiques entre les prélèvements et le rôle fonctionnel des espèces.

Pour chaque grand thème d'étude, hydrobiologie, phytoplancton et zooplancton, nous procédons en trois étapes :

- tout d'abord, nous analysons quelques campagnes séparément ; le but de ces analyses est de faire apparaître, si elles existent, des structures spatiales (gradients côte-large ou fond-surface) ou temporelles (cycle de marée) à l'échelle d'une journée
- puis, nous considérons les 22 campagnes de la deuxième année d'étude (juin 77 - juin 78) ; nous pouvons ainsi mettre en relief les principales périodes d'évolution et de stabilité du cycle annuel et faire ressortir les paramètres générateurs de ces variations, c'est-à-dire responsables des sources de variations extraites au sens de l'analyse,
- enfin, nous réunissons les 19 missions de la première année aux 22 précédentes ; par l'analyse globale de ces deux années d'étude, nous tentons de comparer les deux cycles annuels afin de bien caractériser les ressemblances et les divergences dans l'évolution du milieu, d'une année à l'autre.

## A - HYDROBIOLOGIE

### I. Introduction.

Pour étudier l'état hydrobiologique du site, nous avons considéré onze variables : température, salinité, oxygène, nitrates, nitrites, ammonium, phosphates, silicates, matières en suspension, chlorophylle et phéopigments. Celles-ci ont été mesurées en chacune des 22 campagnes effectuées du 30 juin 77 au 29 juin 78. Le nombre total de prélèvements est de 326. Cependant, pour un certain nombre d'entre eux, il est apparu des absences de mesures concernant quelques paramètres hydrobiologiques ; en conséquence, ils ont été retirés de l'analyse.

Conformément au plan général d'étude, les variations du milieu sur le plan hydrobiologique seront d'abord analysées au niveau d'une campagne, puis selon la deuxième année d'étude (juin 77 - juin 78), enfin au cours des deux premières années réunies (juillet 76 - juin 78).

### II. Variations au niveau d'une campagne.

Un certain nombre de campagnes ont été étudiées séparément, afin de mettre en évidence d'éventuelles structures spatiales ou temporelles au cours d'une journée. Seules les missions présentant un résultat sur le premier plan factoriel sont exposées. Les onze variables hydrobiologiques sont centrées et réduites.

#### 1. Mission du 30 juin 1977.

Le premier axe de l'analyse (fig. 1) met en évidence une répartition des stations de prélèvements conditionnée par le temps. En effet, à gauche, on trouve le point  $D_0$ , échantillonné à 6 h 30, au milieu, les points  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  et  $C_1$  dont l'heure de passage varie entre 7 h 45 et 12 h 45, enfin à droite les points  $A_2$ ,  $B_4$  et  $C_2$  (14 h 40 - 15 h 25). Cette disposition est engendrée principalement par quatre paramètres : d'une part, l'ammonium et les phéopigments (contributions respectives à l'inertie de l'axe I : 15.2 % et 12.5 %) qui sont plus abondants au point hors zone  $D_0$ , d'autre part, la chlorophylle et l'oxygène (contributions respectives : 22.6 % et 19.8 %) qui, à l'inverse, prennent des valeurs plus élevées l'après-midi. L'analyse révèle ainsi que les masses d'eau évoluant sur le site au cours d'une journée

ne sont pas homogènes (en particulier, ici, elles se différencient selon des paramètres de nature phytoplanctonique), les stations se ressemblant le plus étant échantillonnées au moment des étales de courant (par exemple,  $A_1 - B_1 - C_1$  à l'étalement de courant de flot et  $A_2 - B_4 - C_2$  à l'étalement de courant de jusant). Les axes suivants se révèlent ininterprétables en terme de structure simple.

### 2. Mission du 21 septembre 1977.

Il apparaît sur le plan factoriel engendré par les deux premiers axes (fig. 2) un gradient fond-surface, selon une direction oblique ; celui-ci est bien mis en évidence en toutes les stations. Les prélèvements de fond situés du côté positif de l'axe I, sont caractérisés par des valeurs plus élevées en nitrates, silicates et phéopigments (contribution totale à l'inertie de l'axe I : 52.4 %) ; à l'inverse, les prélèvements de surface semblent légèrement plus riches en nitrites (contributions respectives aux inerties des axes I et II : 7 % et 24.2 %) et plus pauvres en matières en suspension (contribution à l'inertie de l'axe II : 17.9 %). Les stations sont peu distinctes les unes des autres ; en particulier, on ne trouve pas de cycle de marée au point médian de la radiale ni de différence entre le point hors zone et les autres stations.

### 3. Mission du 21 février 1978.

Comme pour la campagne du 30 juin 1977, l'axe I est un axe des temps (fig. 3) : au pôle négatif, on trouve la station  $D_0$ , échantillonnée à 7 h du matin, au milieu, les points  $A_1$ ,  $B_0$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  et  $C_1$ , mesurés entre 8 h 05 et 12 h 30, et à l'extrémité positive, les prélèvements effectués l'après-midi,  $A_2$ ,  $B_4$ ,  $C_2$  (entre 14 h 50 et 15 h 40). Cette répartition des stations est déterminée, d'un côté, par la température et la salinité (contributions respectives à l'inertie de l'axe I : 15.2 % et 15.8 %), qui prennent des valeurs plus élevées dans la masse d'eau échantillonnée l'après-midi, de l'autre, par l'oxygène, les nitrates, silicates et matières en suspension (somme des contributions à l'inertie de l'axe I : 51.2 %) qui, en revanche, sont plus abondants le matin. On retrouve, le fait qu'au cours d'une journée, on prélève dans des masses d'eau différentes, les stations les plus proches les unes des autres étant celles qui correspondent aux étales (de flot en  $A_1 - B_1 - C_1$ , de jusant en  $A_2 - B_4 - C_2$ ).

Le premier axe met également en évidence un gradient fond-surface, apparaissant en toutes stations, sauf au point D ; les niveaux surface sont ainsi plus chauds et plus salés tandis qu'au fond, on trouve davantage d'oxygène, de sels nutritifs (nitrates, silicates) et de matières en suspension.

Le deuxième axe met en relief la station  $C_1$ , où l'on enregistre des teneurs plus élevées en phosphates (contribution à l'inertie de l'axe II : 37.8 %) ; à l'inverse, on remarque des valeurs plus faibles de chlorophylle et de phéopigments (contributions respectives : 15.8 % et 21.8 %).

#### 4. Mission du 12 mai 1978.

Le premier axe correspond à un gradient fond-surface (fig. 4). Celui-ci est engendré principalement par les phosphates, les nitrites, la chlorophylle et la salinité (somme des contributions à l'inertie de l'axe I : 76.5 %) ; ces variables prennent des valeurs plus élevées au fond qu'en surface.

Le deuxième axe partage les stations selon l'heure de passage ; ainsi, du côté négatif, on trouve le point  $B_3$  (8 h 00), au milieu les points  $A_2$  et  $C_2$  (9 h 00 - 9 h 45) puis  $B_1$ ,  $C_1$  et  $D_0$  (11 h 45 - 14 h 00), enfin au pôle positif le point  $A_1$  (14 h 30). Cette répartition est attribuable, d'une part, à la température (contribution à l'inertie de l'axe II : 33.7 %), plus élevée l'après-midi, d'autre part, aux sels nutritifs, nitrates, silicates, ammonium (somme des contributions : 40.9 %), plus abondants dans les prélèvements du matin.

#### 5. Mission du 15 juin 1978.

De même que dans les précédentes campagnes, la caractéristique principale du milieu, révélée par le premier plan factoriel, est le regroupement des prélèvements en fonction du temps (fig. 5). Ainsi, à l'extrémité positive de l'axe I, on trouve les stations  $A_1$  et  $D_0$  (1 h 35 - 3 h 30), au milieu les stations  $B_1$ ,  $B_2$  et  $C_1$  (3 h 50 - 6 h 35), enfin du côté négatif, les stations  $A_2$ ,  $B_3$ ,  $B_4$  et  $C_2$  (8 h 50 - 10 h 55). Les principaux paramètres responsables de cette structure sont d'une part, la température et les phéopigments (contributions respectives à l'inertie de l'axe I : 27 % et 19.9 %) qui ont des valeurs plus élevées dans les prélèvements du matin, d'autre part l'ammonium (contribution : 21.6 %) dont les teneurs sont plus fortes à la fin de la campagne.

Le deuxième axe est engendré par les nitrites, nitrates et phosphates (somme des contributions à l'inertie de l'axe II : 84.6 %) qui sont plus abondants en certains niveaux fond (en particulier ceux des stations  $A_2$ ,  $B_1$  et  $C_2$ ) ; mais ce gradient fond-surface n'est pas permanent.

### III. Analyse de la deuxième année (juin 77 - juin 78).

#### 1. Introduction.

Parmi les 22 campagnes que compte la deuxième année d'étude, 9 sont dites "légères" et ne comportent qu'un seul prélèvement. Il s'avère que, lors de ces campagnes, des paramètres n'ont pas été mesurés ; par suite de ces absences de mesure, les campagnes légères n'ont pas été intégrées dans l'analyse. D'autres prélèvements ne contenaient pas de valeur pour quelques-unes des onze variables ; ils ont été également retirés. L'analyse ne porte donc que sur 273 prélèvements ; les variables hydrobiologiques sont réduites et centrées.

#### 2. Analyse.

Le plan I-II extrait  $25.1 \% + 22.3 \% = 47.4 \%$  de l'inertie totale. Il présente le cycle annuel hydrobiologique, du 30 juin 1977 au 15 juin 1978 (fig. VI.a).

Globalement, on distingue trois grandes périodes : la période d'été (juin-septembre), la période d'hiver (novembre-février) et la période printanière (avril-mai). Les deux saisons, estivale et hivernale, s'opposent selon un axe température-nitrates, tandis que les mois d'avril et mai sont caractérisés par des paramètres de nature phytoplanctonique : oxygène, chlorophylle et phéopigments. A partir de ces seules variables hydrobiologiques, on peut donc mettre en évidence les trois grands moments de l'évolution du site, au cours de l'année. Examinons maintenant plus en détail les différentes phases de cette évolution.

La première mission a eu lieu le 30 juin 1977. Les campagnes d'été (juin-juillet-août-septembre) sont toutes situées dans le troisième quadrant du plan factoriel. La température augmente régulièrement pour atteindre un maximum ( $16^{\circ}5$ ) en août ; elle caractérise parfaitement cette époque de l'année (contribution à l'inertie de l'axe I : 26.5 %). Les nitrates, qui lui sont opposés (contribution à l'inertie de l'axe I : 10.7 %), sont minimum durant toute la saison d'été, ainsi que l'oxygène (contribution : 28.5 %). En octobre, la température diminue légèrement, l'oxygène atteint sa valeur la plus basse de l'année (5.44 ml/l) tandis que les nitrites enregistrent une forte concentration dans le milieu (0.60  $\mu\text{atg/l}$ ). D'octobre à novembre, la situation évolue rapidement (cela est illustré par la distance séparant ces deux campagnes sur le plan I-II) : la température chute de  $3^{\circ}6$  et, à l'inverse, les nitrates augmentent de 30 % ; on remarque également une augmentation des concen-

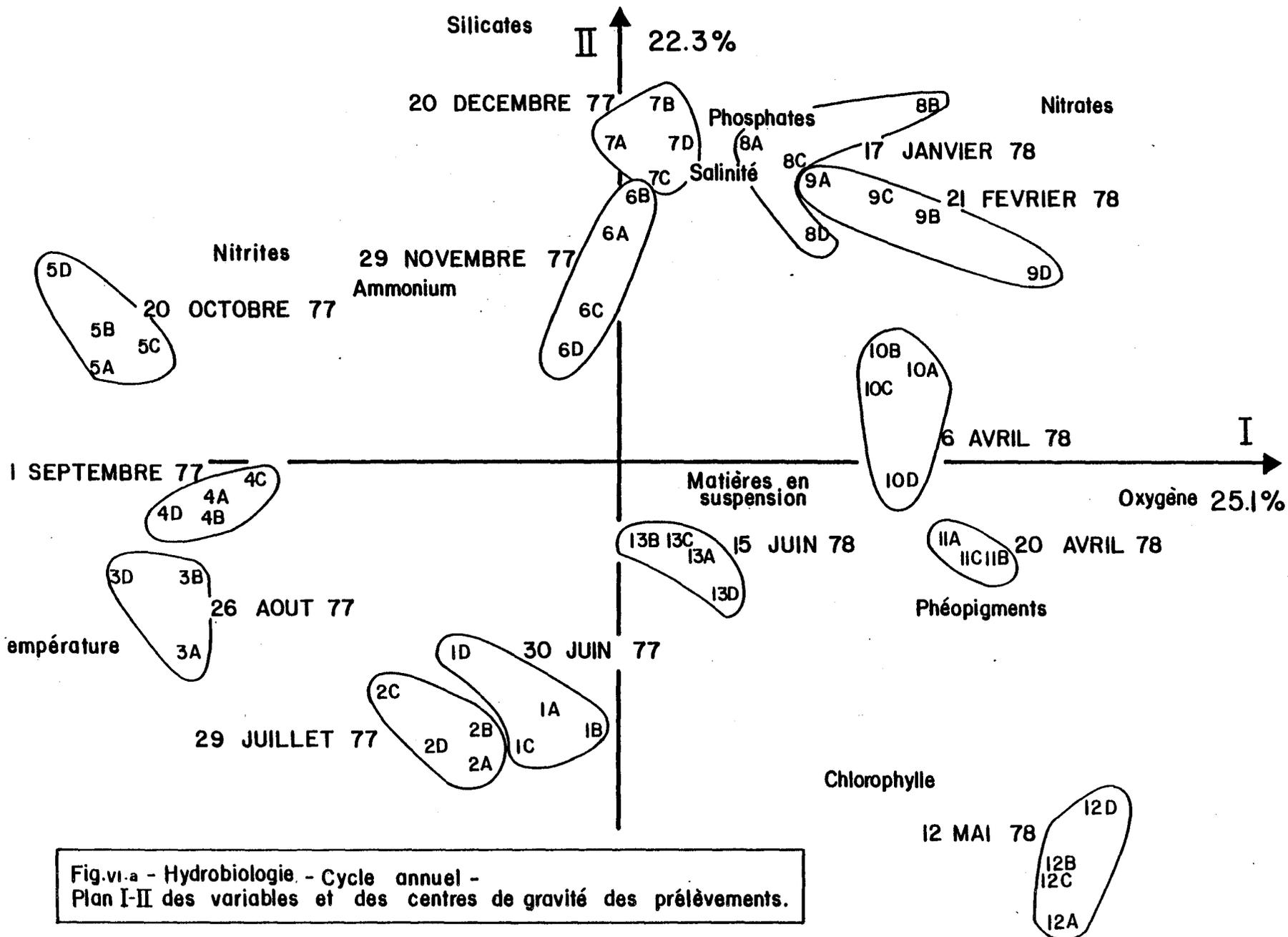


Fig.vi.a - Hydrobiologie. - Cycle annuel -  
Plan I-II des variables et des centres de gravité des prélèvements.

trations de silicates et de phosphates, ainsi que de l'oxygène dissous. Durant tout l'hiver (novembre-février), le milieu reste stable du point de vue hydrobiologique (les campagnes sont très proches les unes des autres sur le plan factoriel) : fortes teneurs en sels nutritifs, particulièrement phosphates et nitrates, et des valeurs de salinité un peu plus élevées que durant le reste de l'année. L'évolution du site apparaît ensuite selon l'axe II : elle est gouvernée principalement par la chlorophylle (contribution à l'inertie de l'axe II : 16.9 %) qui s'oppose aux sels nutritifs (nitrates, phosphates, silicates ; somme des contributions à l'inertie de l'axe II : 56.6 %). Le deuxième axe met ainsi en évidence l'apparition du bloom phytoplanctonique (en mai), se traduisant par une augmentation de la chlorophylle (0.72 mg/m<sup>3</sup> le 6 avril, 0.84 mg/m<sup>3</sup> le 20 avril, 2.19 mg/m<sup>3</sup> le 12 mai), laquelle s'accompagne d'une baisse sensible des sels nutritifs (par exemple, pour les silicates : 2.19 µatg/l le 6 avril, 1.38 µatg/l le 20 avril, 0.92 µatg/l le 12 mai). Un mois après, le 15 juin 1978, la chlorophylle a fortement diminué (0.37 mg/m<sup>3</sup>), par suite du bloom zooplanctonique qui se développe juste après celui du phytoplancton ; en revanche, la température augmente, et la campagne vient se placer à proximité de celle du 30 juin 1977, confirmant par là que la variation hydrobiologique du milieu au cours d'une année s'effectue bien selon un cycle, qui "boucle" de façon très satisfaisante.

#### IV. Comparaison des deux cycles annuels.

##### 1. Introduction.

Les deux années d'étude de Flamanville comprennent 41 campagnes. Les moyennes des onze variables ont été calculées pour chacune de ces campagnes. Cependant, pour un certain nombre de missions - en particulier, au début de la première année -, il y a eu de nombreuses valeurs manquantes ; une partie d'entre elles a pu être estimée par approximations linéaires, le reste n'étant pas retenu pour l'analyse. De plus, l'ammonium n'ayant été mesuré qu'un nombre insuffisant de fois a dû être éliminé.

L'étude des deux cycles annuels hydrobiologiques porte donc sur 30 campagnes, réalisées entre le 4 septembre 1976 et le 15 juin 1978, et dix variables hydrobiologiques ; celles-ci sont centrées et réduites.

##### 2. Analyse.

Les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales extraient 30.8 % + 25.4 % = 56.2 % de l'inertie totale (fig.VI.b). Le premier axe marque l'opposition entre, d'un côté, la température et la chlorophylle (contributions respecti-

ves à l'inertie de l'axe I : 14.7 % et 15.6 %) et, de l'autre, les sels nutritifs : nitrates, phosphates et silicates (somme des contributions à l'inertie de l'axe I : 53.7 %). Le premier axe met ainsi en évidence, au pôle positif, la période hivernale (16 décembre 1976 - 17 février 1977, 29 novembre 1977 - 2 mars 1978), caractérisée par de fortes concentrations en sels nutritifs et de faibles valeurs pour la température et la chlorophylle. Les deux saisons froides apparaissent tout-à-fait ressemblantes d'une année à l'autre, et sont relativement homogènes.

Le deuxième axe oppose la chlorophylle (contribution à l'inertie de l'axe II : 10.7 %) à la température (contribution : 17.9 %). A l'extrémité positive de l'axe II, on trouve les périodes d'abondance floristique ; en 1977 comme en 1978, on remarque que le bloom phytoplanctonique se produit au mois de mai. La chlorophylle est maximale (1.45 mg/m<sup>3</sup> le 10 mai 77, 2.19 mg/m<sup>3</sup> le 12 mai 78) ainsi que les phéopigments (0.57 mg/m<sup>3</sup> le 10 mai 77, 0.50 mg/m<sup>3</sup> le 12 mai 78), ce qui tend à montrer que l'on a échantillonné le milieu alors que le développement du phytoplancton était déjà bien avancé. On observe ainsi une répétition du même phénomène à la même époque, d'une année à l'autre, tant du point de vue quantitatif que du point de vue de la soudaineté d'apparition (il n'est qu'à constater les distances séparant, sur le plan factoriel, d'une part, les campagnes d'avril et mai, d'autre part, celles de mai et juin pour chacune des deux années). A l'opposé, sur l'axe II, on trouve la saison chaude : septembre-octobre 76, août-septembre 77 ; les maxima de température observés sur l'ensemble des missions comptées dans cette analyse sont : 17°4 le 4 septembre 76 et 16°5 le 21 août 77. Le léger décalage enregistré entre ces deux dates tient au fait que l'été de l'année 1976 a été exceptionnellement chaud ; par suite, le maximum de température a été atteint plus tardivement dans l'année. Le plan I-II présente donc les deux cycles annuels hydrobiologiques en faisant ressortir les trois grandes périodes du cycle : la saison hivernale, l'époque du bloom phytoplanctonique et la saison chaude ; l'analyse les fait apparaître comme très ressemblantes d'une année à l'autre.

Il n'en est pas de même, en revanche, pour les périodes de transition ; ainsi, du début mars à la mi-mai, si l'évolution générale est semblable d'une année à l'autre, il n'en apparaît pas moins quelques différences : une teneur en nitrates plus faible le 3 mars 77 (7.84 µatg/l) que le 2 mars 78 (13.0 µatg/l), des températures plus élevées en 1977 qu'en 1978 (10°0 le 3 mars 77 et 7°6 le 2 mars 78, 9°2 le 14 avril 77 et 8°5 le 6 avril 78) ; à l'inverse, on note des valeurs légèrement plus faibles d'oxygène dissous en avril 77 (6.57 ml/l) qu'en avril 78 (6.92 ml/l). En ce qui concerne la saison automnale, on constate une diminution de la température et une augmentation des sels nutritifs avec, cependant, un certain décalage dû à

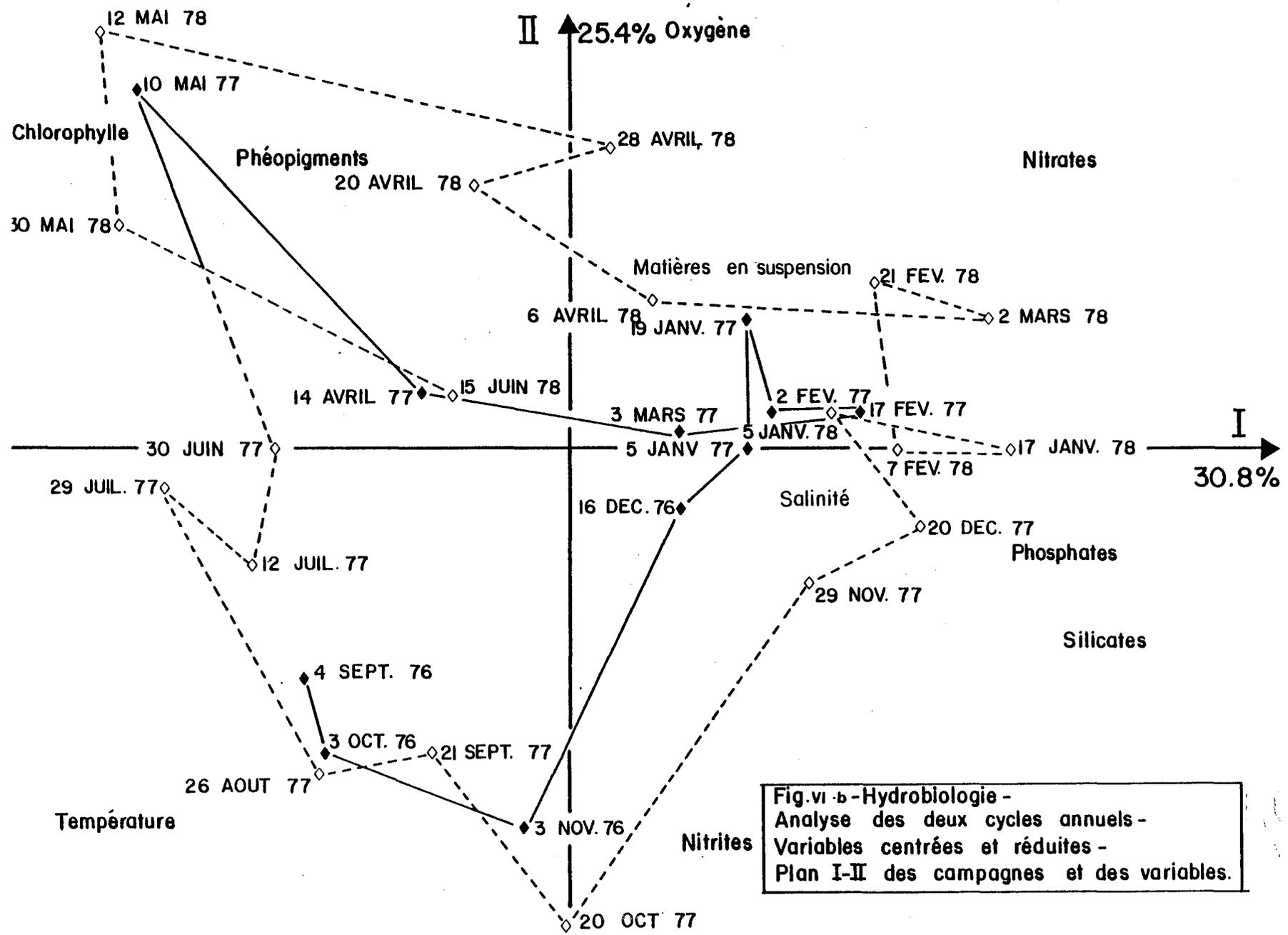


Fig.vi.b-Hydrobiologie -  
 Analyse des deux cycles annuels -  
 Variables centrées et réduites -  
 Plan I-II des campagnes et des variables.

l'été particulièrement chaud de 1976 : température plus élevée et teneurs en phosphates et silicates moins fortes d'octobre à décembre 76 que d'octobre à décembre 77.

Le troisième axe (fig. 6) extrait 13.4 % de l'inertie totale. Il sépare les deux cycles annuels : le premier (4 septembre 76 - 10 mai 77) du côté positif, le second (30 juin 77 - 15 juin 78) du côté négatif. Cela est dû principalement à la salinité (contribution à l'inertie de l'axe III : 45.2 %), plus forte la première année que la deuxième. A l'inverse, les matières en suspension (contribution : 31.8 % et les phosphates (14.2 %) sont moins abondants, d'une façon générale, en 1976-77 qu'en 1977-78.

#### V. Conclusion.

Au niveau d'une campagne, les seules variations que l'on peut mettre en évidence sont dues à l'heure de prélèvement (les stations se regroupent selon l'heure de passage au cours de la mission) ou à un gradient fond-surface ; ces sources de variations ne sont cependant pas permanentes. Il n'apparaît ni gradient côte-large globalement ni cycle de marée au point médian de la radiale, et le point hors zone ne se différencie des autres stations que par l'heure à laquelle il a été échantillonné.

L'évolution du milieu au cours d'une année est cyclique et peut être décomposée en trois grandes périodes : la saison hivernale (novembre-février), la période printanière (avril-mai), la saison estivale (juin-septembre). Celles-ci sont caractérisées respectivement par les nitrates, les paramètres de nature phytoplanctonique (oxygène, chlorophylle), la température.

La comparaison des deux cycles annuels montre une bonne ressemblance entre ces trois périodes principales, deux à deux (elles constituent de ce fait les trois temps forts d'un cycle annuel "type"). Malgré quelques différences enregistrées au cours des périodes de transition, la situation hydrobiologique apparaît ainsi comme bien reproductible d'une année à l'autre.

B - PHYTOPLANCTONI. Introduction.

L'ensemble des 22 campagnes correspondant à la deuxième année d'étude du phytoplancton comprend 207 prélèvements. Au cours de cette deuxième année, 87 espèces ont été déterminées, dont certaines sont très peu abondantes. Seules les espèces les mieux représentées tout au long de l'année ont été retenues pour l'analyse ; celles-ci sont au nombre de 46 et figurent dans la liste de la page 231.

De même que dans le cas de l'hydrobiologie, nous envisageons l'analyse du phytoplancton selon trois niveaux différents : tout d'abord au niveau d'une campagne, puis selon la deuxième année d'étude, enfin au cours des deux cycles annuels réunis.

II. Variations au niveau d'une campagne.

Afin de mettre en évidence d'éventuelles structures spatiales ou temporelles à l'échelle d'une journée, nous avons étudié six campagnes séparément : juin, septembre, décembre 1977, avril, mai, juin 1978. Seules sont présentées celles qui offrent un résultat interprétable (figs. 7 à 12).

Les prélèvements sont centrés et réduits, ce qui permet de conserver aux espèces leur caractère d'abondance. Les effectifs sont transformés par la fonction  $\log(x + 1)$ .

Le premier axe de toutes ces analyses met en évidence les espèces les plus abondantes sur tout le site. Par rapport à ces quelques espèces, les prélèvements ont approximativement la même composition floristique ; ils sont ainsi tous groupés au pôle positif de l'axe I. Le pourcentage d'inertie extrait par le premier axe est compris entre 75 % et 86 %, ce qui montre que cette caractéristique est prépondérante dans l'étude générale du milieu. Les variations spatiales ou temporelles ne figurent que sur le plan II-III de l'analyse et apparaissent ainsi comme relativement secondaires par rapport au gradient représenté par l'axe I.

1. Mission du 30 juin 1977.

Le deuxième axe de l'analyse correspond à un axe des temps (fig. 7) ; en effet, on trouve du côté négatif les points échantillonnés entre 6 h 20 et 9 h 15

LISTE DES ESPECES RETENUES POUR L'ANALYSE  
DE LA DEUXIEME ANNEE D'ETUDE DU PHYTOPLANCTON

1. *Asterionella japonica*
2. *Bacillaria paxillifer*
3. *Biddulphia alternans*
4. Cellules indéterminées
5. *Cerataulina pelagica*
6. *Chaetoceros*
7. *Chaetoceros curvisetum*
8. *Chaetoceros danicum*
9. *Chaetoceros* sp.1
10. *Chaetoceros gracile*
11. *Chaetoceros perpusillum*
12. *Chaetoceros sociale*
13. *Coscinodiscus*
14. *Dictyocha speculum*
15. Dinoflagellés
16. *Ditylum brightwellii*
17. *Eucampia zodiacus*
18. *Euglene*
19. *Gymnodinium*
20. *Gymnodinium lohmani*
21. *Gyrodinium*
22. *Lauderia borealis*
23. *Leptocylindrus danicus*
24. *Leptocylindrus minimus*
25. *Minuscula bipes*
26. *Navicula*
27. *Navicula pelagica*
28. *Nitzschia closterium*
29. *Nitzschia delicatissima*
30. *Nitzschia* sp.1
31. *Nitzschia seriata*
32. *Paralia sulcata*
33. *Peridinium*
34. *Prorocentrum micans*
35. *Rhizosolenia faerensis*
36. *Rhizosolenia delicatula*
37. *Rhizosolenia fragilissima*
38. *Rhizosolenia shrubsolei*
39. *Rhizosolenia stolterfothii*
40. *Skeletonema costatum*
41. *Thalassionema nitzschioides*
42. *Thalassiosira decipiens*
43. *Thalassiosira gravida*
44. *Thalassiosira levarderi*
45. *Thalassiosira rotula*
46. *Thalassiosira subtilis*

(A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>1</sub>, D<sub>0</sub>), au milieu les prélèvements effectués à 11 h 05 (B<sub>2</sub>) et 12 h 45 (B<sub>3</sub>), à l'extrémité positive les stations de l'après-midi A<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>, C<sub>2</sub> (entre 14 h 40 et 15 h 25). Les espèces les plus contributives à la définition de cet axe sont (fig. 8) : *Skeletonema costatum* (contribution à l'inertie de l'axe II : 48.5 %), *Thalassiosira rotula* (contribution : 10.4 %), *Nitzschia delicatissima* (contribution : 13 %). Les deux premières espèces ont un effectif plus élevé dans les masses d'eau échantillonnées l'après-midi tandis que la troisième est mieux représentée dans les prélèvements réalisés le matin. De même qu'en hydrobiologie, l'analyse met parfaitement en relief le mouvement des masses d'eau sur le site ; celles-ci ont des compositions spécifiques différentes mais qui varient continûment tout au long de la journée (celà est bien mis en évidence par la succession des différentes stations le long de l'axe I, celui-ci regroupant les points réalisés aux étales de courant : A<sub>1</sub> - B<sub>1</sub> - C<sub>1</sub> (étale de flot) et A<sub>2</sub> - B<sub>4</sub> - C<sub>2</sub> (étale de jusant)).

Il est intéressant de constater que, dans l'analyse hydrobiologique de la même campagne, la première caractéristique du milieu (mise en évidence par l'axe I) est précisément ce gradient temporel (cf. fig. 1) ; il fait apparaître les prélèvements du matin comme plus riches en ammonium et en phéopigments et, à l'opposé, ceux de l'après-midi, avec des teneurs en chlorophylle et en oxygène dissous plus élevées. Sans induire de ces résultats des relations de cause en effet, on peut cependant remarquer la concomitance de ces variations entre paramètres hydrobiologiques et phytoplanctoniques.

## 2. Mission du 20 avril 1978.

Le deuxième axe de l'analyse correspond à un gradient fond-surface (fig. 9) les prélèvements de surface se situant du côté négatif. Celà est dû essentiellement aux *Thalassiosira* (*Th. subtilis*, *Th. levanderi*, *Th. decipiens*) qui contribuent à 55 % de l'inertie de l'axe II (fig. 10) ; ces espèces apparaissent plutôt abondantes vers le fond.

Le troisième axe met en évidence la station B<sub>4</sub>, échantillonnée la dernière de la journée (14 h 30) (fig. 11). On y remarque la présence plus spécialement de *Navicula pelagica* et de *Nitzschia delicatissima* (contributions respectives : 19.6 % et 19.5 %) et l'absence de *Chaetoceros*, de *Thalassiosira rotula* et *Thalassionema nitzschioides* (contributions : 8.1 %, 6.3 % et 6.7 %) (fig. 10).

### 3. Mission du 12 mai 1978.

Le deuxième axe sépare l'ensemble des prélèvements en deux groupes (fig. 13) : du côté positif, ceux réalisés le matin (entre 8 h et 9 h 45), du côté négatif, ceux effectués en début d'après-midi (de 11 h 45 à 14 h 30). A cette distinction, correspond sur le plan dual (fig. 12) une répartition de certaines espèces aux deux extrémités de l'axe II : du côté positif, on trouve *Navicula pelagica*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia delicatissima* et des cellules indéterminées (contribution totale à l'inertie de l'axe II : 39.2 %) et, à l'opposé, *Chaetoceros sociale*, *Chaetoceros*, *Bacillaria paxillifer* (contribution totale : 24.7 %).

L'analyse hydrobiologique de cette campagne met également en évidence, sur l'axe II, un gradient temporel (cf. fig. 4) engendré, d'un côté par la température, plus élevée l'après-midi, de l'autre par les sels nutritifs qui enregistrent de plus fortes teneurs dans les prélèvements du matin. On peut ainsi tenter de relier les évolutions de différentes espèces du phytoplancton aux variations de certains paramètres hydrobiologiques.

L'axe III isole les prélèvements effectués à la station médiane de la radiale, B<sub>1</sub> (13 h 00) et B<sub>3</sub> (8 h 00) (fig. 11). On note, en cette station, la présence plus particulière de *Thalassiosira levanderi* (contribution à l'inertie de l'axe III : 42.8 %) et de *Thalassiosira decipiens* (contribution : 8.2 %) ; en revanche, on y observe très peu de cellules de *Paralia sulcata* (contribution : 24.1 %).

### III. Analyse de la deuxième année (juin 77 - juin 78).

#### 1. Introduction.

Pour l'étude de la deuxième année, les 207 prélèvements ont été intégrés dans l'analyse ; ils correspondent aux 22 campagnes réalisées du 30 juin 1977 au 15 juin 1978. Les effectifs des 46 espèces les plus importantes sont transformés par la fonction  $\log(x + 1)$  de façon à diminuer les effets dus à la surdispersion.

Une première analyse est effectuée avec des prélèvements centrés et réduits cela permet d'atténuer les différences de densité entre les campagnes et évite ainsi d'introduire des biais d'échantillonnage. Dans une deuxième étude, les espèces sont centrées et réduites ; on met alors en évidence les périodes de bloom phytoplanctonique et celles où les espèces sont les plus abondantes.

## 2. Analyse des prélèvements centrés et réduits.

Le premier axe de l'analyse extrait 43.7 % de l'inertie totale. Il présente, au pôle positif, les espèces qui sont le plus régulièrement abondantes au cours de l'année (fig. 13) : *Skeletonema costatum*, *Nitzschia closterium*, *Thalassiosira gravida*, *Thalassionema nitzschioides*, *Paralia sulcata* et *Navicula* ; ces six espèces contribuent à 63.7 % de l'inertie du premier axe. On trouve d'autres espèces mais moins constantes dans le temps : *Navicula pelagica*, *Thalassiosira rotula*, *Thalassiosira levanderi*, *Rhizosolenia delicatula*. Si nous comparons ce résultat à celui obtenu lors de la première année d'étude, nous remarquons qu'ils sont très semblables. En effet, le coefficient de corrélation calculé entre les premières composantes principales de chacune des deux analyses est égal à 0.904 ; cela signifie que le contingent des espèces phytoplanctoniques les plus représentatives ne s'est pas modifié d'une année à l'autre. Tous les prélèvements sont groupés au pôle positif de l'axe I (fig. 14), ce qui montre que l'abondance de ces principales espèces est permanente durant toute l'année.

Les deuxième et troisième axes extraient respectivement 15.3 % et 7.0 % de l'inertie totale de l'ensemble des observations. Ils présentent le cycle annuel phytoplanctonique, du 30 juin 77 au 15 juin 78 (fig.VI.c)(\*) . Celui-ci est assez régulier, avec cependant deux périodes d'évolution rapide : de juin à juillet 77 et de mars à mai 78, et une période de stagnation planctonique : de novembre 77 à début février 78. Ce cycle ne boucle pas de manière parfaite, néanmoins, la distance séparant la campagne du 30 juin 77 de celle du 29 juin 78 n'est pas très importante (\*\*). Du point de vue des espèces (fig.VI.d), l'axe II met en évidence l'espèce *Rhizosolenia delicatula* au pôle positif (contribution à l'inertie de l'axe II : 28.6 %) ; elle est très abondante au mois de juin 77 (4400 cell./100 ml) et correspond à 59 % de l'effectif total trouvé durant cette campagne. Le long de l'axe II, on trouve d'autres espèces contributives : *Nitzschia seriata* (contribution : 11.7 %), *Rhizosolenia stolterfothii* (7.3 %) qui, avec *Leptocylindrus danicus* et *Rhizosolenia fragilissima* sont abondantes surtout en juillet et août 77. A l'opposé sur l'axe II, on

---

(\*) Les graphiques plans des campagnes représentent l'ensemble des centres de gravité des prélèvements effectués aux différentes stations du site (A, B, C, D). Le nombre qui accompagne chacune de ces lettres est le numéro d'ordre de la campagne dans le cycle annuel.

(\*\*) Nous ne tirerons généralement des conclusions qu'à partir des positions des campagnes lourdes sur les plans factoriels. En effet, les campagnes légères ne comprenant qu'un ou deux prélèvements et connaissant l'hétérogénéité existant entre les prélèvements d'une même campagne, nous ne pouvons attribuer qu'une confiance très limitée à leurs projections sur les différents systèmes d'axes.

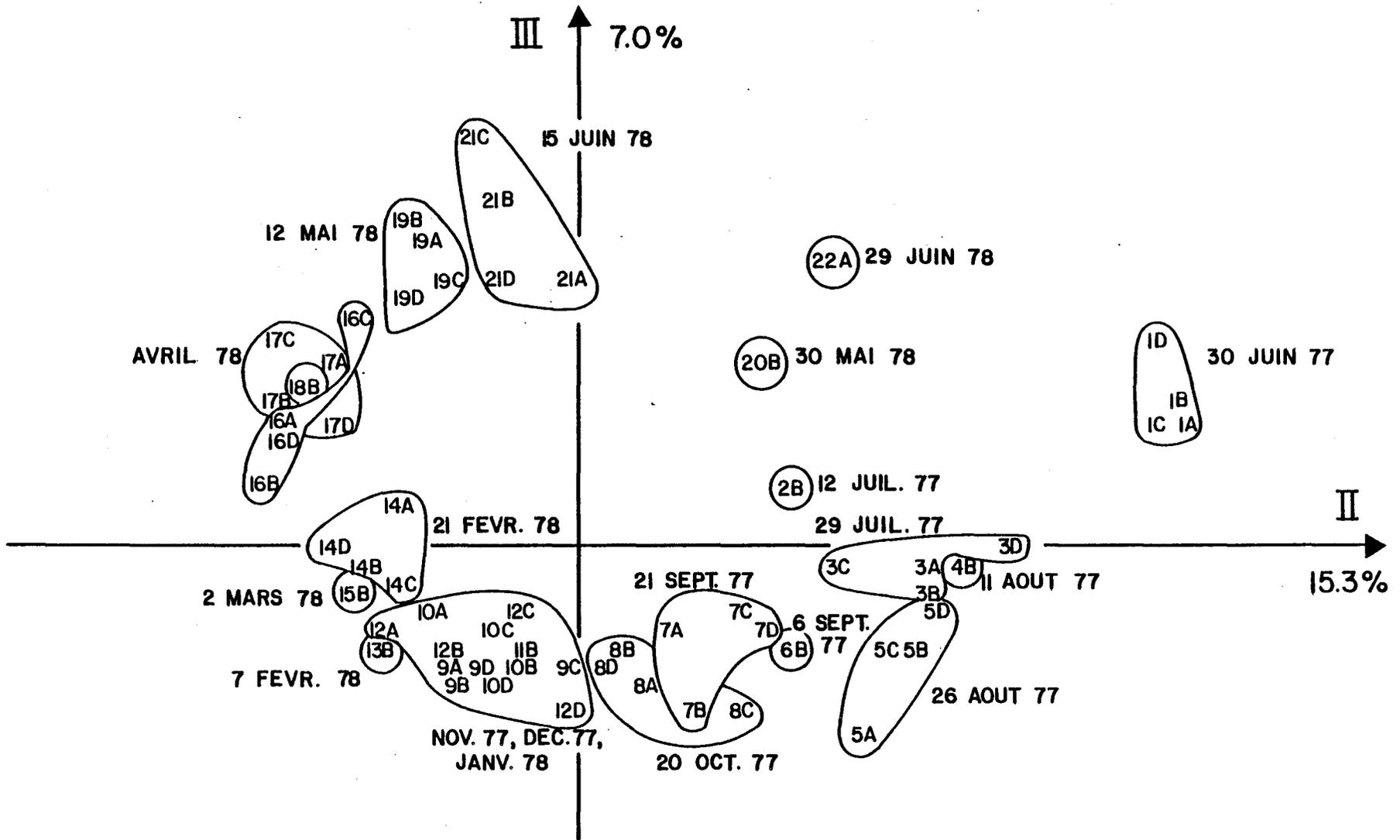


Fig. VI-c - Phytoplankton - Cycle annuel -  
 Prélèvements centrés et réduits -  
 Plan II-III des centres de gravité des prélèvements.

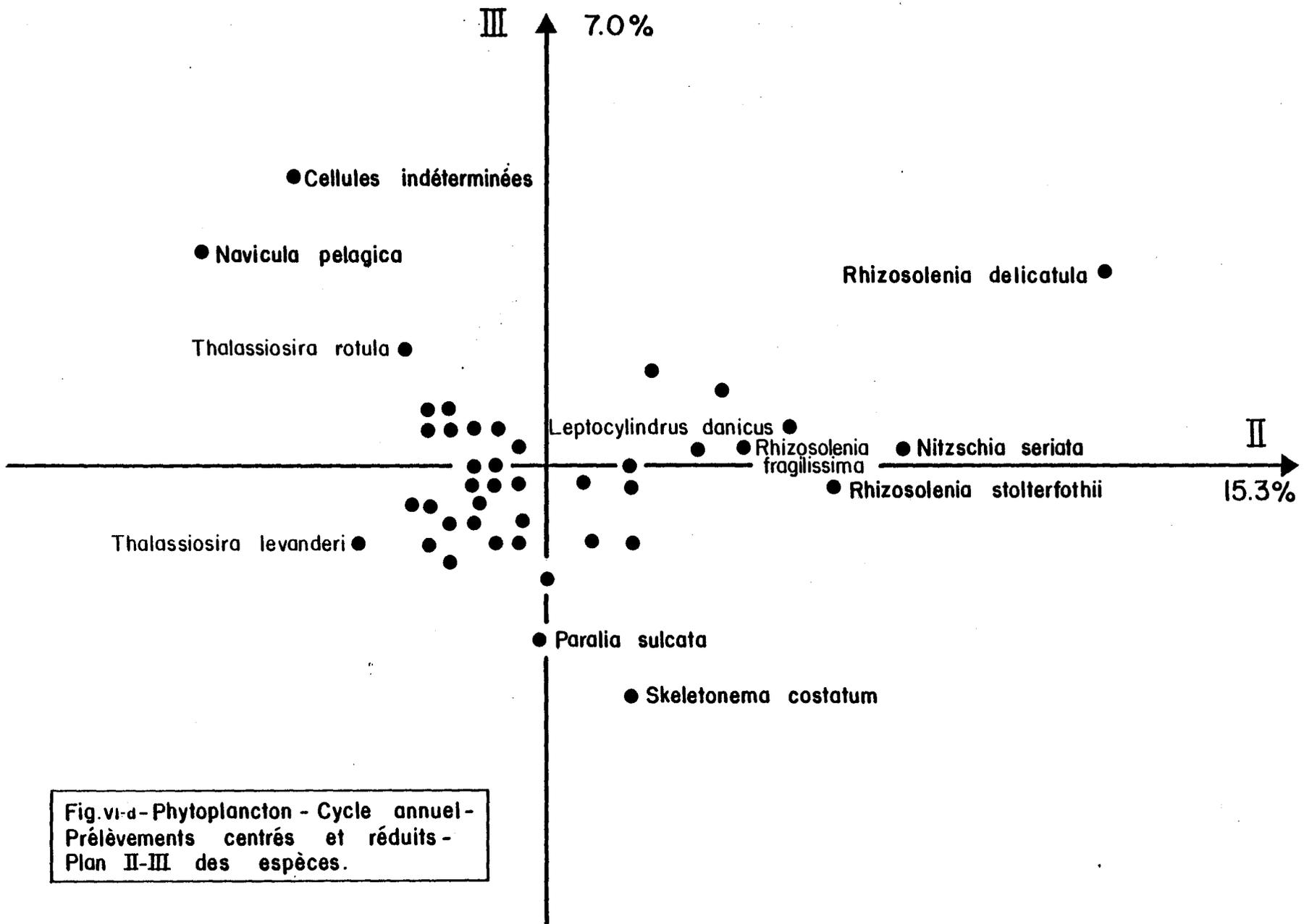


Fig.vi-d- Phytoplancton - Cycle annuel -  
Prélèvements centrés et réduits -  
Plan II-III des espèces.

trouve l'espèce *Navicula pelagica* (contribution : 11 %), très abondante en avril : elle constitue à elle seule 45 % de l'effectif total trouvé lors de la campagne du 28 avril ; il apparaît également en avril-mai 78, un important développement de diverses cellules phytoplanctoniques qui n'ont pu être déterminées.

L'axe III présente au pôle négatif deux espèces : *Skeletonema costatum* et *Paralia sulcata* (somme des contributions : 21.3 %) qui, bien qu'abondantes durant presque toute l'année, sont cependant absentes en juin 78.

Le quatrième axe extrait 4.4 % de l'inertie totale. Il présente à son extrémité négative (fig. 16) les campagnes d'hiver (de novembre 77 à début mars 78) ainsi que les missions d'avril et juin 78. On remarque l'espèce *Paralia sulcata* (contribution à l'inertie de l'axe IV : 14.9 %) surtout abondante en février : en moyenne 390 cell./100 ml de novembre à début février contre 230 cell./100 ml durant le reste de l'année (fig. 20). A l'opposé sur l'axe IV, il apparaît l'espèce *Thalassiosira gravida* (contribution : 11.2 %) ; c'est une espèce présente tout au long de l'année sur le site, mais avec de faibles effectifs durant la saison d'hiver (en moyenne 110 cell./100 ml de novembre à début mars et 750 cell./100 ml durant le reste de l'année) ; d'autre part, elle n'a pas été trouvée en juin 77, ce qui motive sa position sur l'axe IV.

### 3. Analyse des espèces centrées et réduites.

Le premier axe de l'analyse extrait 18.1 % de l'inertie totale. Il oppose (fig. 17) les mois d'été de 1977 (fin juin, juillet et août) à ceux du printemps 78 (avril et mai). A l'intérieur de chacun de ces deux groupes, l'axe II (pourcentage d'inertie extrait : 12.7 %) sépare la campagne de juin des autres missions d'été, et distingue nettement les deux missions d'avril l'une de l'autre et de celle de mai. Ces deux périodes de l'année sont celles durant lesquelles l'expansion floristique est la plus importante ; on compte 13 100 cell./100 ml fin juillet 77, 10 800 et 10 200 cell./100 ml aux deux missions d'août tandis qu'au printemps, le maximum de densité est atteint le 12 mai avec 12 600 cell./100 ml.

L'axe II est un axe d'abondance ; en effet, les campagnes s'ordonnent le long de cet axe selon le nombre total de cellules qui y ont été comptées, les plus riches au pôle positif, les plus pauvres du côté négatif. Une seule mission fait cependant exception à la règle : celle du 30 juin 77 qui, bien que comptant en moyenne 7500 cell./100 ml (donc plus qu'en juillet de la même année) se trouve située à l'extrémité négative de l'axe II. Si l'on calcule pour chaque campagne (excepté celle de juin 77) la coordonnée sur l'axe II du centre de gravité de ses pré-

lèvements et si l'on fait correspondre à cette coordonnée le nombre total de cellules comptées lors de cette campagne, on obtient un coefficient de corrélation égal à 0.889 ; ce résultat confirme l'existence du gradient de densité représenté par l'axe II.

En ce qui concerne les espèces (fig. 18), le plan I-II met en évidence un certain nombre de taxons dont le maximum d'abondance est atteint précisément en ces périodes de l'année. Ainsi, en juin 77, on observe un maximum de densité pour des *Leptocylindrus* (*danicus* et *minimus*) et pour *Rhizosolenia shrubsolei* ; en juillet - août 77, il apparaît une augmentation de cellules de *Chaetoceros* (*curvisetum*, sp.1, *perpusillum*). Certaines espèces sont également abondantes en juin, juillet et août 77 : des *Rhizosolenia* (*delicatula*, *fragilissima*, *stolterfothii*), *Eucampia zodiacus*, *Nitzschia seriata* et *Cerataulina pelagica*. A l'autre extrémité de l'axe I, on trouve les espèces indicatrices du printemps 78 : en avril, *Navicula pelagica* (avec un grand nombre de cellules indéterminées), en mai des *Thalassiosira* (*rotula*, *decipiens*), *Navicula* et *Lauderia borealis*. Dans le deuxième quadrant du plan I-II, on trouve des espèces abondantes à la fois durant l'été 77 et le printemps 78 ; ainsi *Thalassiosira gravida* (juillet 77, mai 78), *Thalassionema nitzschioides* (août 77, avril-mai 78), *Chaetoceros* (juillet-août 77, mai 78). Enfin, au centre du plan I-II, on trouve les campagnes de septembre et octobre 77. Elles sont caractérisées par la présence de *Skeletonema costatum* et de *Nitzschia closterium*.

Le troisième axe extrait 9.8 % de l'inertie totale. Il groupe à son extrémité positive (fig. 19) les mois de juin et juillet 77 et ceux de mai et juin 78. Sur le plan dual (fig. 20), on trouve des espèces dont le maximum d'abondance est atteint en l'une ou/et l'autre de ces périodes : *Gymnodinium lohmani* (mai-juin 78), *Lauderia borealis* (mai 78), *Rhizosolenia shrubsolei* (juin 77), *Rhizosolenia delicatula* (juin-juillet 77 et mai-juin 78), *Chaetoceros* (mai 78). A l'opposé, il apparaît quelques espèces qui, au contraire des précédentes, sont faiblement représentées au début de l'été : *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia* sp.1 (somme des contributions à l'inertie de l'axe III : 18 %).

#### IV. Comparaison des deux cycles annuels.

##### 1. Introduction.

L'étude des deux cycles annuels phytoplanktoniques est réalisée à partir des 41 campagnes réalisées entre le 8 juillet 76 et le 29 juin 78. Pour chaque campagne, on a calculé le barycentre des prélèvements ; c'est sur ces "points-moyens"

que porte l'analyse. 53 espèces ont été conservées parmi les plus abondantes durant les deux années (cf. liste page 240). Les effectifs sont transformés par la fonction  $\log(x + 1)$ .

La première analyse est effectuée avec des prélèvements centrés et réduits on peut ainsi mettre en évidence les principales espèces qui conditionnent l'essentiel du cycle phytoplanctonique. Dans une deuxième partie, ce sont les espèces qui sont centrées et réduites ; l'analyse fait alors apparaître les périodes d'expansion floristique les plus importantes de l'année (blooms).

## 2. Analyse des prélèvements centrés et réduits.

Le premier axe de l'analyse extrait 45 % de l'inertie totale. Il présente à son extrémité positive les espèces les plus régulièrement abondantes au cours des deux années (fig. 21) : *Nitzschia closterium*, *Skeletonema costatum*, *Paralia sulcata*, *Thalassionema nitzschioides*, *Thalassiosira gravida*, *Navicula* (contribution totale à l'inertie de l'axe I : 56 %). En moins grande quantité, on trouve également *Thalassiosira rotula*, Dinoflagellés, *Thalassiosira levanderi*, *Navicula pelagica*, *Rhizosolenia delicatula*. Comme ces espèces sont présentes dans le milieu durant pratiquement toute l'année, les campagnes se placent toutes au pôle positif de l'axe I (fig. 22) ; leurs compositions floristiques sont, en effet, très semblables par rapport à ces principales espèces. Le fort pourcentage d'inertie extrait par cet axe montre que cette caractéristique commune aux deux années est importante dans l'étude des deux cycles annuels.

Le plan II-III extrait  $16.8\% + 6.2\% = 23\%$  de l'inertie totale. Il présente l'ensemble des 41 campagnes effectuées entre le 8 juillet 76 et le 29 juin 78. Globalement, les deux cycles annuels varient de la même façon, sans toutefois être toujours très proches l'un de l'autre. Il apparaît, en particulier, un décalage (selon l'axe III) entre les deux cycles, du mois de juillet au mois de mars ; cela provient en grande partie de l'espèce *Navicula pelagica* (contributions respectives aux axes II et III : 7.5 % et 16.3 %) qui, la première année est absente de juillet à février, alors que la deuxième année, elle est permanente dans le milieu (fig. VI.f) à partir du mois de mars, cette disparité diminue.

Au pôle positif de l'axe II, on trouve les campagnes de juillet et août des années 76 et 77 ; celles-ci sont assez bien groupées et sont caractérisées par la présence de *Rhizosolenia delicatula* et *Rhizosolenia fragilissima* (de 1000 à 3000 cell./100 ml) et, pour une moindre part, de *Rhizosolenia stolterfothii* (de 100 à 300 cell./100 ml) (fig. VI.f). Pendant l'été et jusqu'en septembre, deux espèces de *chaetoceros*.

LISTE DES ESPECES RETENUES POUR L'ANALYSE  
DES DEUX ANNEES D'ETUDE DU PHYTOPLANCTON

- |                                    |  |
|------------------------------------|--|
| 1. <i>Actinoptychus senarius</i>   | 28. <i>Leptocylindrus danicus</i>      |
| 2. <i>Asterionella japonica</i>    | 29. <i>Leptocylindrus minimus</i>      |
| 3. <i>Bacillaria paxillifer</i>    | 30. <i>Minuscula bipes</i>             |
| 4. <i>Biddulphia alternans</i>     | 31. <i>Navicula</i>                    |
| 5. <i>Cerataulina pelagica</i>     | 32. <i>Navicula pelagica</i>           |
| 6. <i>Chaetoceros</i>              | 33. <i>Nitzschia closterium</i>        |
| 7. <i>Chaetoceros curvisetum</i>   | 34. <i>Nitzschia delicatissima</i>     |
| 8. <i>Chaetoceros danicum</i>      | 35. <i>Nitzschia sp.1</i>              |
| 9. <i>Chaetoceros debile</i>       | 36. <i>Nitzschia seriata</i>           |
| 10. <i>Chaetoceros sp.1</i>        | 37. <i>Paralia sulcata</i>             |
| 11. <i>Chaetoceros gracile</i>     | 38. <i>Peridinium</i>                  |
| 12. <i>Chaetoceros perpusillum</i> | 39. <i>Prorocentrum micans</i>         |
| 13. <i>Chaetoceros sociale</i>     | 40. <i>Rhizosolenia faerensis</i>      |
| 14. <i>Chrysophyceae</i>           | 41. <i>Rhizosolenia delicatula</i>     |
| 15. <i>Coscinodiscus</i>           | 42. <i>Rhizosolenia fragilissima</i>   |
| 16. <i>Dictyocha speculum</i>      | 43. <i>Rhizosolenia setigera</i>       |
| 17. Dinoflagellés                  | 44. <i>Rhizosolenia shrubsolei</i>     |
| 18. <i>Ditylum brightwellii</i>    | 45. <i>Rhizosolenia stolterfothii</i>  |
| 19. <i>Eucampia zodiacus</i>       | 46. <i>Skeletonema costatum</i>        |
| 20. <i>Euglene</i>                 | 47. <i>Streptotheca tamesis</i>        |
| 21. <i>Guinardia flaccida</i>      | 48. <i>Thalassionema nitzschioides</i> |
| 22. <i>Gymnodinium</i>             | 49. <i>Thalassiosira decipiens</i>     |
| 23. <i>Gymnodinium fusus</i>       | 50. <i>Thalassiosira gravida</i>       |
| 24. <i>Gymnodinium lohmani</i>     | 51. <i>Thalassiosira levanderi</i>     |
| 25. <i>Gyrodinium</i>              | 52. <i>Thalassiosira rotula</i>        |
| 26. <i>Gyrosigma</i>               | 53. <i>Thalassiosira subtilis</i>      |
| 27. <i>Lauderia borealis</i>       |  |

sont également abondantes : *Ch. curvisetum* et *Ch. sp.1* (jusqu'à 900 cell./100 ml). Entre octobre et novembre, il se produit une variation importante des conditions du milieu (témoin la distance séparant ces campagnes sur le plan II-III) ; les effectifs des espèces précédentes chutent brutalement tandis que d'autres taxons apparaissent, mais en plus faible nombre : *Biddulphia alternans*, *Gyrosigma*, *Coscinodiscus* (de 10 à 30 cell./100 ml). Durant la période hivernale (décembre 76 - mars 77, fin novembre 77 - février 78), la situation reste assez stable floristiquement : *Paralia sulcata* est pratiquement permanente dans le milieu mais avec des effectifs légèrement plus élevés en janvier-février (300 cell./100 ml), *Nitzschia sp.1*, *Actinocyclus senarius* et *Bacillaria paxillifer* apparaissent plutôt durant l'hiver mais faiblement (10 à 20 cell./100 ml). A partir du mois de mars, la composition floristique du milieu se modifie rapidement en 1977 jusqu'au mois de mai, tandis qu'en 1978, elle évolue plus régulièrement. En 1977, on remarque en effet un bloom phytoplanctonique en avril qui atteint son maximum début mai, dû principalement à *Rhizosolenia delicatula*, *Nitzschia seriata*, *Nitzschia delicatissima*, *Rhizosolenia shrubsolei*, *Lauderia borealis*, *Asterionella japonica* ; ces espèces passent d'un mois à l'autre, de quelques dizaines à des milliers de cellules pour 100 ml. En revanche, durant la deuxième année d'étude, l'évolution de la population phytoplanctonique entre mars et mai est plus régulière ; le mois d'avril est dominé par *Navicula pelagica* (entre 20 et 30 % de l'effectif total) puis en mai, on trouve *Rhizosolenia delicatula*, *Thalassiosira rotula* et parmi les moins abondantes *Lauderia borealis*, *Asterionella japonica*, *Peridinium*. D'une façon générale, les effectifs enregistrés la deuxième année sont moins élevés que ceux de la première année, ce qui entraîne un moins grand écart entre les campagnes de printemps sur le plan factoriel. De même, les abondances plus faibles en juin 78 qu'en juin 77 pour des espèces importantes telles que *Rhizosolenia delicatula*, *Rhizosolenia fragilissima*, *Nitzschia seriata*, *Nitzschia delicatissima* motivent un certain décalage entre les missions correspondantes sur le plan II-III. Malgré tout, les campagnes du 8 juillet 76, du 30 juin 77 et du 29 juin 78 sont suffisamment proches les unes des autres pour que l'on puisse admettre que les deux cycles annuels "bouclent" bien.

Le quatrième axe extrait 5 % de l'inertie totale. Il oppose les mois de mai et juin 77 aux mois de mai et juin 78 (fig. 23). Cette distinction est engendrée (fig. 24), d'un côté par *Thalassiosira decipiens* (contribution à l'inertie de l'axe IV : 11.4 %) et *Thalassiosira gravida* (contribution : 6.1 %), abondantes en mai-juin 78 alors qu'elles étaient faiblement représentées à la même époque en 1977, de l'autre par *Rhizosolenia shrubsolei* (contribution : 7.8 %) et *Rhizosolenia stolterfothii* (contribution : 7.1 %) qui ont un comportement inverse. En revanche, les deux missions d'avril 77 et avril 78 sont très comparables, relativement à ces espèces. L'axe IV met aussi en évidence des points communs entre la pé-

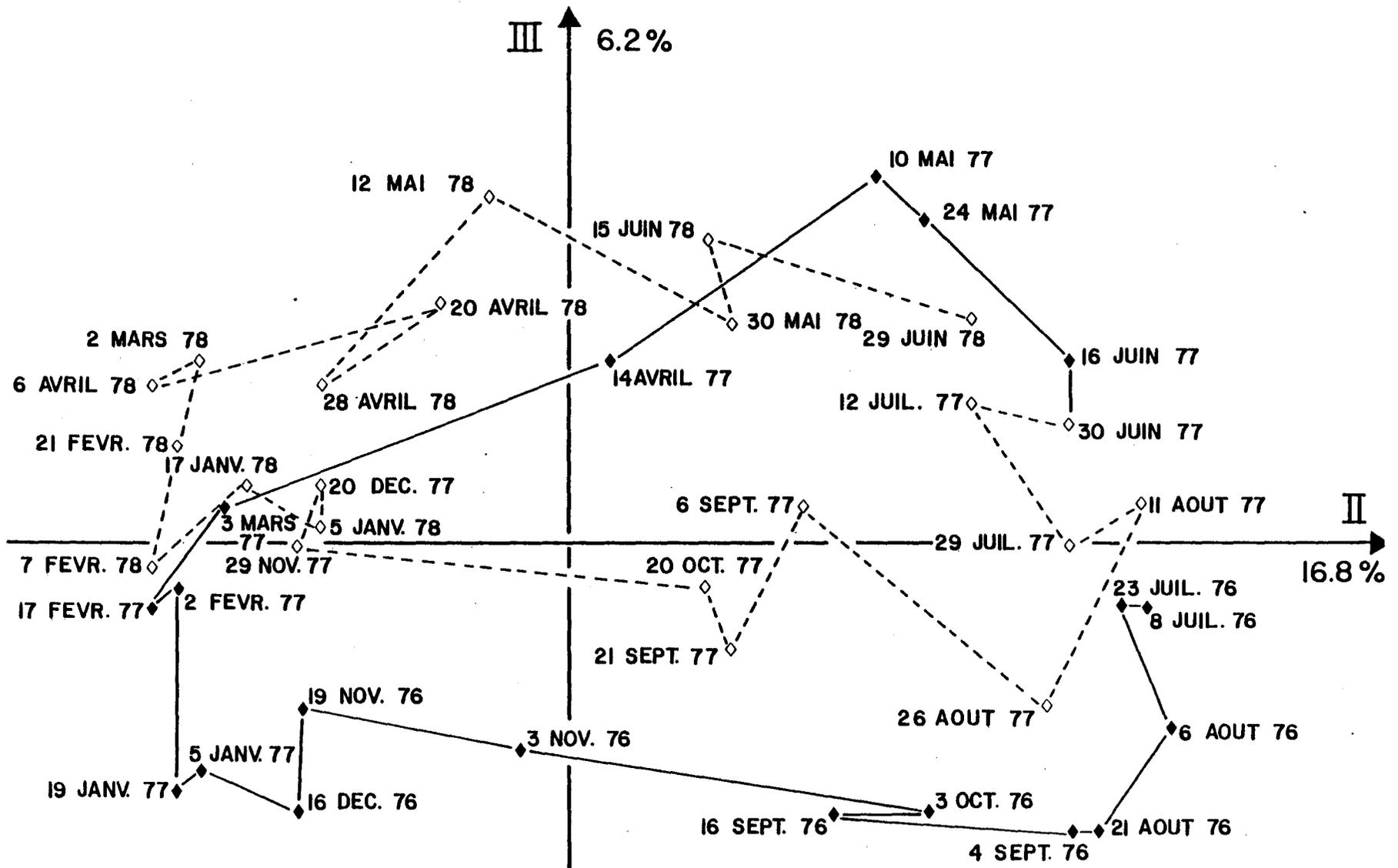


Fig.vie- Phytoplancton - Analyse des deux cycles annuels - Prélèvements centrés et réduits - Plan II-III des campagnes.

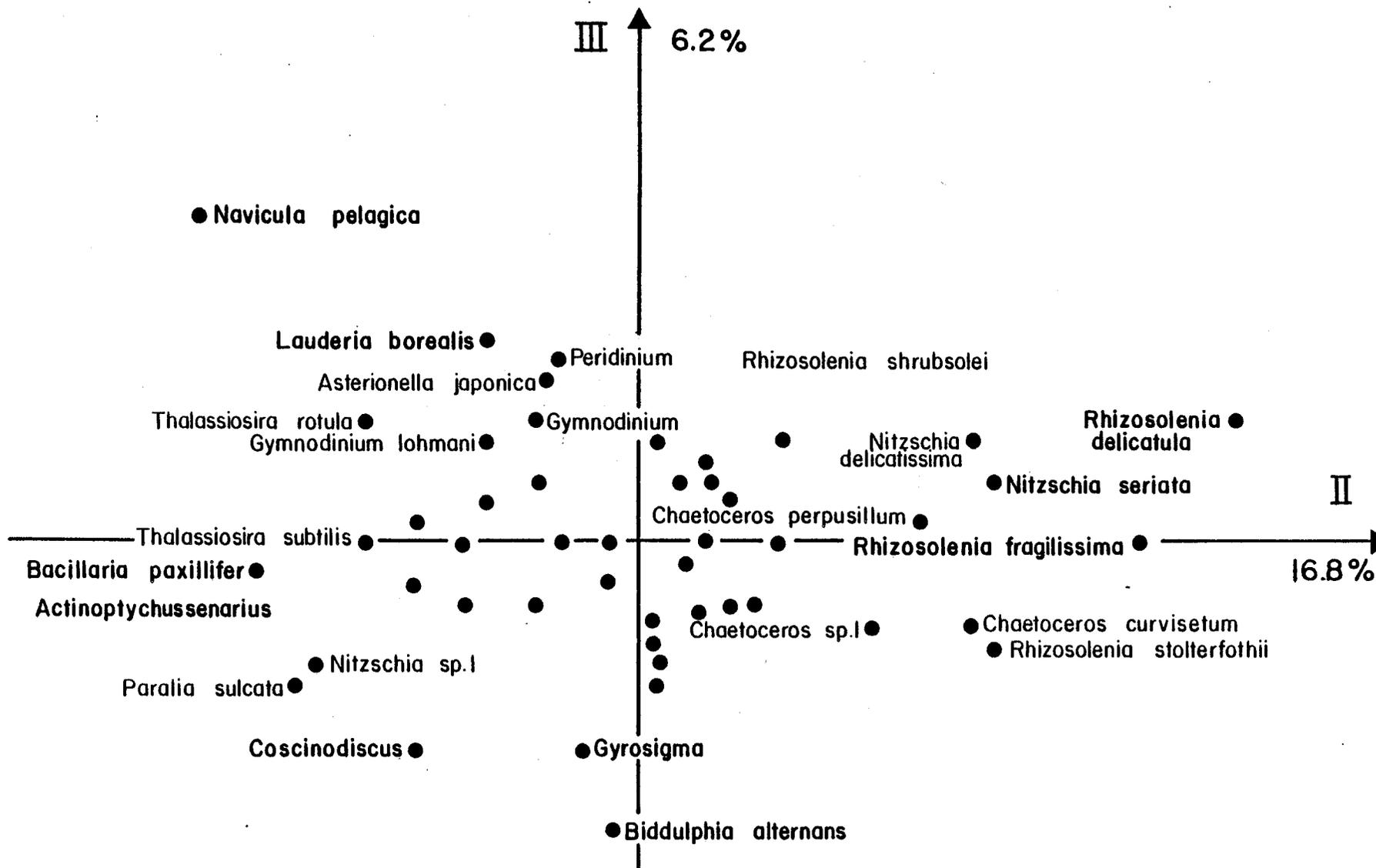


Fig.vi-1 - Phytoplancton - Analyse des deux cycles annuels -  
Prélèvements centrés et réduits -  
Plan II-III des espèces.

riode août-septembre-octobre 76 et avril-mai-juin 78 ; ces points communs sont principalement des *Thalassiosira* (*decipiens*, *gravida*) et des *Chaetoceros* (*socialis*, *curvisetum*, *perpusillum*, *gracile* ; contribution totale à l'inertie de l'axe IV : 19 %). L'axe IV montre ainsi que certaines espèces, parmi les plus représentatives du cycle annuel, n'apparaissent pas toujours aux mêmes périodes, d'une année à l'autre.

### 3. Analyse des espèces centrées et réduites.

Le premier axe de l'analyse en composantes principales extrait 26.1 % de l'inertie totale. Il partage l'ensemble des campagnes en trois groupes (fig. 25) : du côté positif, la saison chaude (juillet-début septembre 76, mai et juillet-août 77), au milieu les périodes de transition : printanière (avril-juin 77, avril-juin 78) et automnale (septembre-octobre 76, septembre-octobre 77), enfin du côté négatif, la saison froide (novembre 76 - mars 77, novembre 77 - avril 78). L'axe I apparaît ainsi comme un axe lié à la température et déterminant un gradient d'abondance floristique. Il semble qu'il y ait chaque année deux périodes d'apparition privilégiées du phytoplancton : l'une en mai (ainsi le 10 mai 77 : 23 000 cell./100 ml, le 12 mai 78 : 13 000 cell./100 ml), l'autre en juillet (ainsi le 8 juillet 76 : 11 000 cell./100 ml, le 29 juillet 77 : 13 000 cell./100 ml). Durant ces périodes, on observe la présence d'un grand nombre d'espèces ; elles apparaissent au pôle positif de l'axe I (fig. 26). On relève principalement des *Rhizosolenia*, des *Chaetoceros*, des *Nitzschia* ainsi que quelques taxons moins abondants, tels *Euglene* (juillet-août), *Cerataulina pelagica* (mai), *Leptocylindrus danicus* (mai), *Minuscula bipes* (juillet). En avril et en septembre (côté positif de l'axe II), on trouve particulièrement des *Thalassiosira* et diverses espèces plus ou moins bien représentées : *Dictyocha speculum* (août), *Ditylum brightwellii* (septembre), *Streptotheca tamesis* (avril-mai), *Navicula pelagica* (avril). La saison hivernale est pauvre floristiquement, et l'on ne relève pas d'autres espèces que celles vues dans le paragraphe précédent.

Le troisième axe extrait 10.9 % de l'inertie totale. Il met en évidence du côté positif (fig. 27) les campagnes d'avril-mai-juin 77 et de mai-juin 78 ; les espèces communes à ces deux périodes sont (fig. 28) : *Lauderia borealis*, *Gymnodinium fusus*, *Rhizosolenia shrubsolei*, *Peridinium* (contribution totale à l'inertie de l'axe III : 31 %). La période de juillet à octobre 76 se distingue des précédentes (côté négatif de l'axe III) par la présence de *Biddulphia alternans* (contribution : 6.5 %) dont les effectifs vont de 50 à 150 cell./100 ml) et qui est caractéristique de cette époque de l'année, et pour une moindre part, à *Eucampia zodiacus*, *Navicula* et *Chaetoceros debile*.

## V. Conclusion.

Au niveau d'une campagne donnée, on ne peut mettre en évidence, globalement ni gradient côte-large, ni cycle de marée au point médian. Seules deux campagnes présentent une répartition des prélèvements ordonnée selon le temps (qui se retrouve d'ailleurs dans les analyses hydrobiologiques des mêmes missions), et une seule fois il apparaît un gradient fond-surface. Ceci témoigne d'une bonne homogénéité spatiale du milieu.

L'étude de la deuxième année de prélèvements fait tout d'abord apparaître un contingent d'espèces régulièrement abondantes au cours de l'année (principalement *Skeletonema costatum*, *Nitzschia closterium*, *Thalassiosira gravida*, *Thalassionema nitzschioides*, *Paralia sulcata*). Puis, elle met en évidence deux périodes d'expansion floristique importante : avril-mai (maximum de 12 600 cell./100 ml) et juillet-août (maximum de 13 100 cell./100 ml). La saison hivernale (novembre-février) est en revanche uniformément pauvre.

La comparaison des deux cycles annuels montre qu'il existe une grande part d'invariance des peuplements, due à quelques espèces dont la présence dans le milieu est permanente durant les deux années (cf. supra). Globalement, les deux cycles annuels varient de la même façon : les saisons estivale (juin-août) et hivernale (novembre-février) se correspondent bien d'une année à l'autre, tandis qu'il apparaît quelques modifications au niveau des périodes intermédiaires ; en particulier, le bloom de printemps de 1978 est plus progressif et moins important que celui de 1977. D'une façon générale, on peut admettre qu'il y a une bonne reproductibilité du cycle phytoplanctonique d'une année à l'autre.

On peut expliquer l'enchaînement des paramètres "phytoplancton-sels nutritifs" : au moment du bloom il y a épuisement des sels nutritifs et accroissement de la biomasse végétale, donc baisse de certains paramètres et accroissement d'autres dans un intervalle de temps très court .

C - ZOOPLANCTONI. Introduction.

L'étude du zooplancton, pour la deuxième année, est réalisée à partir des 22 campagnes effectuées de juin 77 à juin 78 ; celles-ci comprennent 266 prélèvements. 125 espèces ont été recensées mais seules 40 d'entre elles participent à l'analyse en raison de leur fréquence d'apparition dans le milieu et de leur abondance ; elles figurent dans la liste de la page 247).

Dans une première partie, nous tentons de mettre en évidence d'éventuelles structures spatiales ou temporelles au niveau d'une campagne ; puis, nous analysons globalement la deuxième année d'étude à l'aide des 22 missions réalisées ; enfin, nous comparons les deux cycles annuels : juillet 76 - juin 77 et juin 77 - juin 78.

II. Variations au niveau d'une campagne.

Parmi les sept campagnes que nous avons étudiées (juillet, septembre, novembre 77, février, avril, mai, juin 78), seule la mission de septembre 77 ne présentait pas de résultat interprétable, aussi l'avons-nous écartée.

Les effectifs des 40 espèces sont transformés par la fonction  $\log(x + 1)$  ; les prélèvements sont centrés et réduits, ce qui préserve les variations d'abondance des espèces.

Le premier axe de ces analyses met en évidence les espèces les mieux représentées sur le site ; c'est la plus importante caractéristique du milieu (le pourcentage d'inertie extrait varie entre 74 % et 86 %). Tous les prélèvements se situent du même côté de l'axe I ; ils ont donc approximativement la même composition faunistique par rapport à ces principales espèces. Les autres variations du milieu sont révélées par le plan II-III ; elles apparaissent, de ce fait, comme relativement secondaires par rapport au gradient représenté par l'axe I.

1. Mission du 29 juillet 1977.

Le deuxième axe extrait 5.1 % de l'inertie totale ; on peut le considérer comme un axe des temps (fig. 29). En effet, du côté négatif, on trouve la station D<sub>0</sub> échantillonnée à 6 h 45 du matin, au milieu se situent les prélèvements réalisés

LISTE DES ESPECES RETENUES POUR L'ANALYSE  
DE LA DEUXIEME ANNEE D'ETUDE DU ZOOPLANCTON

1. *Acartia clausi*
2. *Amphipodes gammariens*
3. Bivalves (larves)
4. zoe de Brachyours
5. *Calanus helgolandicus*
6. Caridés (larves)
7. *Centropages hamatus*
8. *Centropages typicus*
9. cypris de Cirripèdes
10. nauplii de Cirripèdes
11. *Corycaeus anglicus*
12. Cyclopoïde
13. Cyphonautes (larves)
14. Epicarides (larves)
15. Euphausiacées (larves)
16. *Euterpina acutifrons*
17. Galatheides (larves)
18. Gasteropodes (larves)
19. Harpacticoïdes (larves)
20. *Isias clavipes*
21. *Lanice conchilega*
22. *Obelia*
23. *Oikopleura dioica*
24. *Oithona helgolandica*
25. *Oncaea*
26. *Paracalanus parvus*
27. Paguridés (larves)
28. *Parapontella*
29. *Phialidium hemisphaericum*
30. Pinnotheres (larves)
31. *Pisidia longicornis*
32. *Pleurobrachia pileus*
33. *Pseudocalanus minutus*
34. *Sagitta elegans*
35. *Sagitta setosa*
36. *Scolecopsis fuliginosa*
37. Spionidés (larves)
38. *Spio*
39. *Temora longicornis*
40. *Upogebia deltaura*

entre 8 h 35 et 10 h 00 (stations  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $C_1$ ), enfin, du côté positif, apparaissent les stations de l'après-midi (entre 12 h 20 et 16 h 00) :  $A_2$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ ,  $B_4$  et  $C_2$ . Cette distinction est due pour une grande part (fig. 30) aux larves de Pinnotheres (contribution à l'inertie de l'axe II : 35.2 %), plus abondantes l'après-midi que le matin. A l'inverse, *Isias clavipes*, *Euterpina acutifrons* et les cypris de Cirripèdes (contribution totale : 28.8 %) paraissent plus abondants le matin que l'après-midi.

Dans le deuxième quadrant du plan II-III, on trouve la station hors tache, qui semble ainsi se distinguer des autres points d'échantillonnage ; elle se caractérise par l'absence de Caridés, d'Euphausiacées, d'Amphipodes gammariens et de *Sagitta setosa*. On ne peut cependant affirmer que ceci est dû plus à sa position géographique particulière qu'à l'heure à laquelle on a échantillonné cette station.

L'analyse ne met en évidence aucun gradient côte-large ni cycle de marée. Il faut cependant souligner l'hétérogénéité importante des mesures réalisées en un même point au même moment ; elle ne permet d'accorder qu'une confiance relative aux points qui représentent à eux seuls une station.

## 2. Mission du 29 novembre 1977.

Le deuxième axe extrait 2.7 % de l'inertie totale. Il met en évidence le point hors tache  $D_0$ , du côté négatif (fig. 31). On y enregistre davantage de Cyclopoïdes, d'Euphausiacées, de *Sagitta setosa* et de *Corycaeus anglicus* (contribution totale à l'inertie de l'axe II : 28.3 %) (fig. 32) et, en revanche, moins de larves de Cyphonautes et d'*Oithona helgolandica* (contribution totale : 43.2 %) que dans les autres stations. Cette station a été échantillonnée la première dans la journée (9 h du matin) ; comme précédemment, on ne peut imputer cette distinction plus à sa position géographique qu'à l'heure de passage en ce point.

Le troisième axe (pourcentage d'inertie extrait : 2.5 %) isole la station  $B_3$ , échantillonnée en fin de mission (16 h 05). Celà est dû principalement aux nauplii de Cirripèdes et aux Harpacticoïdes (somme des contributions à l'inertie de l'axe III : 32.9 %), plus particulièrement abondantes en ce point, et à l'inverse, à *Oncaea* (contribution : 31.5 %), faiblement représentée.

## 3. Mission du 21 février 1978.

Le pourcentage d'inertie extrait par le deuxième axe est égal à 5.5 %. Le deuxième axe sépare les prélèvements en deux groupes (fig. 33) : du côté positif, la

station  $D_0$  (échantillonnée à 7 h) puis les prélèvements des points  $A_1, B_1, B_2, C_1$  réalisés entre 7 h et 12 h 30, et du côté négatif, ceux des stations  $A_2, B_4, C_2$  et  $B_0$  qui, mis à part celui de la station  $B_0$ , sont effectués entre 14 h 50 et 15 h 40. Cette répartition correspond, sur le plan dual (fig. 34) à une opposition entre, d'une part *Paracalanus parvus* (contribution à l'inertie de l'axe II : 53.5 %), plus abondante le matin, d'autre part *Oncaea* et *Lanice conchilega* (somme des contributions : 22.7 %), mieux représentées l'après-midi. On constate ainsi une modification dans la composition faunistique des masses d'eau échantillonnées sur le site, qui s'effectue continûment par rapport à quelques espèces seulement. Les différences enregistrées sont importantes entre les deux étales de courant et, à l'inverse, faibles durant chacun de ces étales (proximité sur le plan II-III des points  $A_1, B_1, C_1$  - étable de courant de flot - et des points  $A_2, B_4, C_2$  - étable de courant de jusant -)

L'analyse hydrobiologique de cette campagne met en évidence le même gradient temporel, gouverné, d'un côté par la température et la salinité dont les valeurs vont croissant au cours de la journée, de l'autre par l'oxygène et les sels nutritifs qui diminuent. On peut éventuellement associer les évolutions des trois espèces zooplanctoniques à ces variations hydrobiologiques, mais celà reste encore du domaine de la conjecture.

#### 4. Mission du 20 avril 1978.

Les axes II et III de l'analyse extraient  $5.3 \% + 3.6 \% = 8.9 \%$  de l'inertie totale de l'ensemble des prélèvements. L'axe II est un axe des temps (fig. 35). On trouve, en effet, de l'extrémité positive vers l'extrémité négative : les stations  $D_0$  et  $A_1$  (6 h 50 , 8 h 00), puis les stations  $B_1$  et  $C_1$  (8 h 30 , 9 h 10), les points  $B_2$  et  $A_2$  (11 h 10 , 13 h 10), enfin les points  $C_2$  et  $B_4$  (13 h 45 , 14 h 30). Il est à remarquer que cette variation temporelle s'effectue également selon l'axe III, celui-ci rassemblant du côté positif les prélèvements du début et de la fin de la mission et du côté négatif, ceux du milieu de la journée.

Sur le plan dual des espèces (fig. 36), on note la présence plus importante, tôt le matin (stations  $D_0, A_1$ ) de cypris de Cirripèdes, de *Paracalanus parvus* (contributions à l'inertie de l'axe II : 22.8 % et 25.8 %), puis dans la matinée (stations  $B_1, C_1, B_2$ ) de *Upogebia deltaura*, *Acartia clausi*, *Scolecopsis fuliginosa*, *Obelia* (somme des contributions à l'inertie de l'axe III : 43.5 %), enfin, dans les dernières stations ( $B_4, C_2$ ) de *Calanus helgolandicus* et de larves de Cyphonautes (somme des contributions à l'inertie de l'axe II : 13.7 %). Du point de vue faunistique, les points de prélèvements se distinguent donc plus par l'heure de l'échantillonnage que par leur position géographique.

### 5. Mission du 12 mai 1978.

Le deuxième axe extrait 4.4 % de l'inertie totale. Il isole la station B<sub>1</sub> à son extrémité négative (fig. 37). Cela est dû principalement à *Paracalanus parvus* (contribution à l'inertie de l'axe II : 41.6 %) absente en cette station (fig. 38), et à l'inverse, à *Oithona helgolandica* et *Parapontella* (somme des contributions : 20.6 %), plus abondantes en cette station qu'aux autres.

Le troisième axe (pourcentage d'inertie extrait : 2.7 %) représente un gradient temporel : du côté négatif, les points A<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, C<sub>2</sub> (entre 8 h 00 et 9 h 45), au milieu le point B<sub>1</sub> (13 h 00), du côté positif, les stations A<sub>1</sub> et C<sub>1</sub> (14 h 00, 14 h 30) ainsi que le point D<sub>0</sub> bien qu'échantillonné à 11 h 45. A cette configuration des stations correspond sur le plan dual une opposition entre, d'une part les Harpacticoïdes et les zoe de Brachyours (somme des contributions à l'inertie de l'axe III : 19.9 %), plus abondantes dans les masses d'eau prélevées le matin, d'autre part les Caridés, les Euphausiacés et *Oikopleura dioica* (contribution totale : 31.5 %), davantage présentes à la fin de la mission.

L'analyse hydrobiologique de cette campagne montre également un axe de variations temporelles, dû à l'opposition température - sels nutritifs, ceux-ci étant plus abondants dans les prélèvements du matin tandis que celle-là est plus élevée dans les masses d'eau échantillonnées l'après-midi. Il en est de même pour l'analyse phytoplanctonique qui met en évidence les espèces *Navicula pelagica*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia delicatissima*, plus abondantes le matin, et à l'inverse, *Chaetoceros sociale*, *Chaetoceros*, *Bacillaria paxillifer* mieux représentées l'après-midi.

Seule cette campagne a permis de présenter un axe de variations temporelles dans les trois domaines d'étude : hydrobiologique, phyto et zooplanctonique. Nous pouvons seulement noter les concordances de variations existant entre les différentes espèces et les paramètres hydrobiologiques car il est difficile d'en déduire des relations de cause en effet ; de plus, nous mettons en évidence ici des phénomènes qui sont peut-être spécifiques à cette campagne et n'ont pas de prolongement au niveau d'une année d'observations.

### 6. Mission du 15 juin 1978.

Le pourcentage d'inertie extrait par l'axe II est égal à 5.2 % . Il présente une évolution dans le temps de l'ensemble des prélèvements (fig. 39) : du côté positif, on trouve ceux des stations A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>, D<sub>0</sub> réalisés entre 1 h 30 et 3 h 50, puis

au milieu, ceux des stations B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, C<sub>1</sub> échantillonnés entre 4 h 30 et 8 h 50, enfin sur la partie négative, ceux des stations A<sub>2</sub>, B<sub>4</sub>, C<sub>2</sub> effectués entre 10 h et 11 h. Sur le plan dual des espèces (fig. 40), il correspond à cette variation, une opposition entre, d'une part *Paracalanus parvus*, les *cypris* de Cirripèdes, et les larves de Paguridés (contribution totale à l'inertie de l'axe II : 38.8 %), et d'autre part *Centropages typicus*, *Sagitta elegans*, les Amphipodes gammariens et les larves d'Epicarides (somme des contributions : 28.7 %) ; celles-ci semblent plus abondantes à la fin de la campagne tandis que celles-là le sont davantage dans les premiers prélèvements de la mission. Cet axe des temps est également révélé par l'analyse hydrobiologique, qui met en relief l'augmentation de l'ammonium et la diminution de la température et des phéopigments successivement au cours de la journée. Une fois encore, nous ne pouvons que constater ces concomitances.

Le troisième axe (pourcentage d'inertie extrait : 2.9 %) caractérise la station hors tache (D<sub>0</sub>) par une abondance plus particulière de *cypris* et de *nauplii* de Cirripèdes ainsi que de larves de Caridés (somme des contributions à l'inertie de l'axe III : 29.2 %). Le point D<sub>0</sub> semble se distinguer des autres stations davantage par l'heure à laquelle il a été échantillonné que par sa position géographique.

### III. Analyse de la deuxième année (juin 77 - juin 78).

#### 1. Introduction.

L'analyse de la deuxième année d'étude porte sur 266 prélèvements, répartis en 22 campagnes. Les effectifs des 40 espèces retenues sont transformés par la fonction  $\log(x + 1)$  de façon à réduire les trop grands écarts d'abondance.

Dans une première analyse, les prélèvements sont centrés et réduits, ce qui permet de réduire les biais d'échantillonnage et de conserver aux espèces leur caractère d'abondance. La deuxième analyse est réalisée avec des espèces centrées et réduites ; on peut ainsi mettre en évidence les blooms zooplanctoniques et faire correspondre aux différentes époques de l'année les espèces dont la densité est maximum.

#### 2. Analyse des prélèvements centrés et réduits.

Le premier axe de l'analyse extrait 54.5 % de l'inertie totale. Il est engendré principalement (fig. 41) par *Pseudocalanus minutus*, *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *nauplii* de Cirripèdes, *Temora longicornis* (ces cinq espèces contribuent à 57 % de l'inertie extraite par l'axe I). D'autres espèces apparaissent du côté positif de l'axe I : *Oikopleura dioeca*, *Paracalanus parvus*, *Euterpina acutifrons*, Gas-

teropodes (somme des contributions : 13 %). Ces espèces peuvent être considérées comme les plus régulièrement abondantes au cours de l'année étudiée, les prélèvements se plaçant tous, sur le plan dual I-II, au pôle positif du premier axe (fig. 42). Cet axe I ne diffère pas sensiblement de celui que l'on avait obtenu lors de l'analyse du premier cycle annuel ; en effet, le coefficient de corrélation entre les premières composantes principales des deux analyses est égal à 0.963, ce qui montre que, d'une année à l'autre, les contingents d'espèces les plus importantes ainsi que l'ordre de grandeur de leurs effectifs sont très comparables.

Les deuxième et troisième axes de l'analyse extraient respectivement 12.5 % et 9.4 % de l'inertie totale. Le plan II-III (fig.VI.g) met en évidence le cycle annuel zooplanctonique, du 30 juin 77 au 29 juin 78. Celui-ci présente trois époques de relative stabilité : juin-août, novembre-janvier, mars-mai, séparées par des périodes d'évolution assez rapide. Du 30 juin au début de septembre 77, le milieu varie peu du point de vue faunistique (fig.VI.h) ; il est dominé par des espèces dont les effectifs sont importants : *Temora longicornis* (950 ind./10 m<sup>3</sup> le 29 juillet 77) et *Pisidia longicornis* (310 ind./10 m<sup>3</sup> à la même date) ; et en moins grand nombre, *Parapontella* (200 ind./10 m<sup>3</sup>) et *Upogebia deltaura* (230 ind./10 m<sup>3</sup>). Il apparaît surtout deux Copépodes très bien représentés en été : *Centropages hamatus*, dont les effectifs commencent à croître dès la fin juin (640 ind./10 m<sup>3</sup> le 30 juin) pour atteindre leur maximum en août (830 ind./10 m<sup>3</sup> le 29 juillet, 1700 ind./10 m<sup>3</sup> le 26 août), et *Acartia clausi*, également maximum en août (4000 ind./10 m<sup>3</sup> le 26 août) ; d'autres Copépodes sont présents, mais avec une densité plus faible : *Calanus helgolandicus* (240 ind./10 m<sup>3</sup> le 29 juillet), *Centropages typicus* (360 ind./10 m<sup>3</sup> le 6 septembre).

Du début de septembre à la fin de novembre, le milieu évolue : les effectifs de ces principales espèces diminuent rapidement sauf *Acartia clausi* qui atteint 2700 ind./10 m<sup>3</sup> en septembre (soit 37 % du nombre total d'individus) et 1600 ind./10 m<sup>3</sup> en octobre (21 % du total). En revanche, d'autres espèces voient leurs effectifs augmenter : *Paracalanus parvus* (1000 ind./10 m<sup>3</sup> le 20 octobre), *Euterpina acutifrons* (500 ind./10 m<sup>3</sup> le 20 octobre), *Pseudocalanus minutus* (2500 ind./10 m<sup>3</sup> le 20 octobre) ; durant cet automne, quelques espèces atteignent un maximum de densité : *Sagitta setosa*, Cyclopoïde, *Oncaea*, *Scolecopsis fuliginosa*. Ces dernières sont peu abondantes (15 à 30 ind./10 m<sup>3</sup>) mais n'apparaissent et ne se maintiennent que pendant l'hiver. De la fin novembre 77 à début février 78, le milieu est très stable faunistiquement : *Pseudocalanus minutus* prédomine (de 53 % à 57 % de l'effectif total) avec *Acartia clausi* (de 12 % à 22 % du total). Du début à la fin février 78, il se produit une évolution très rapide (la distance séparant les deux campagnes sur le plan I-II en

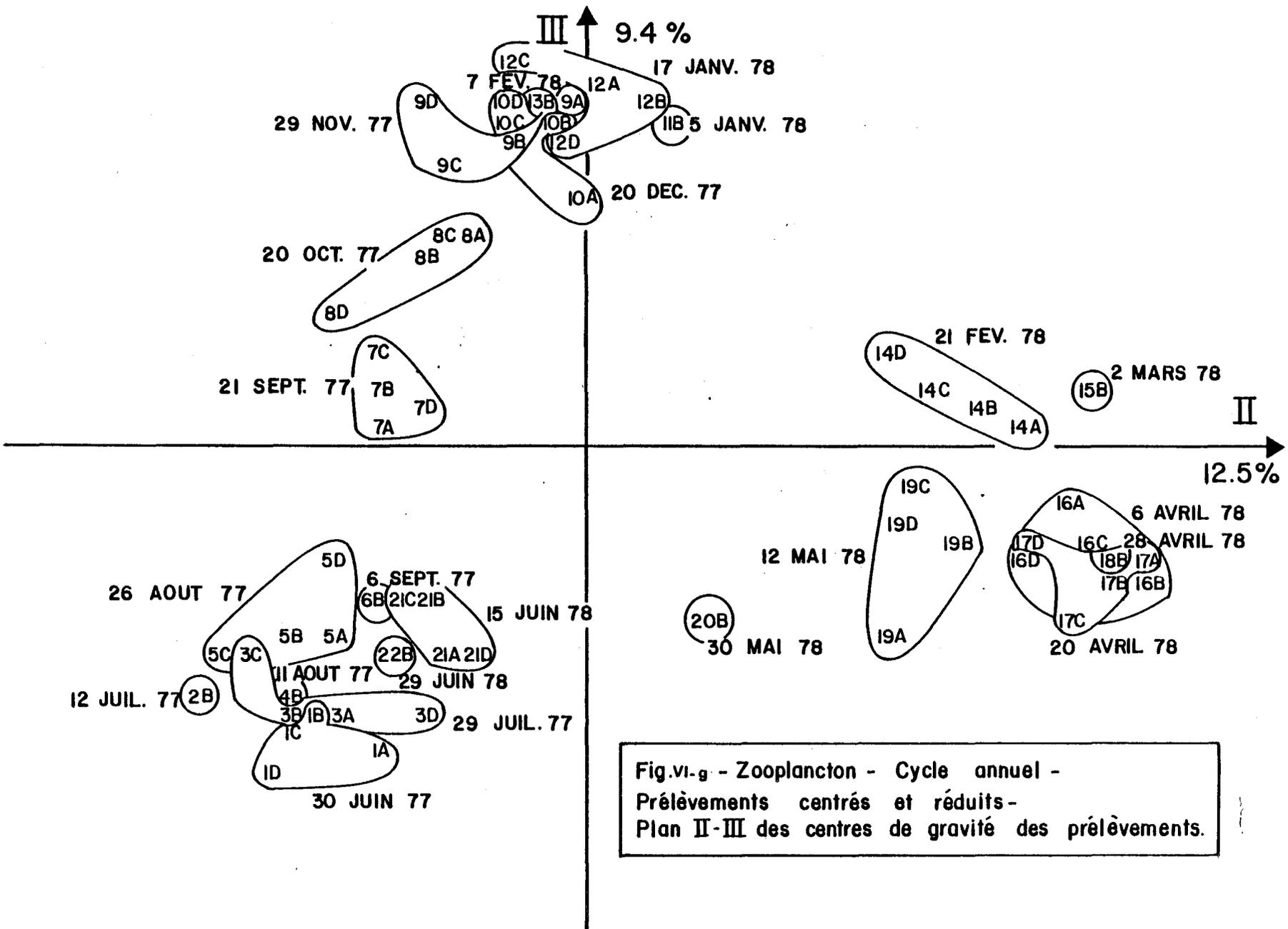


Fig.vi-g - Zooplancton - Cycle annuel -  
 Prélèvements centrés et réduits -  
 Plan II-III des centres de gravité des prélèvements.

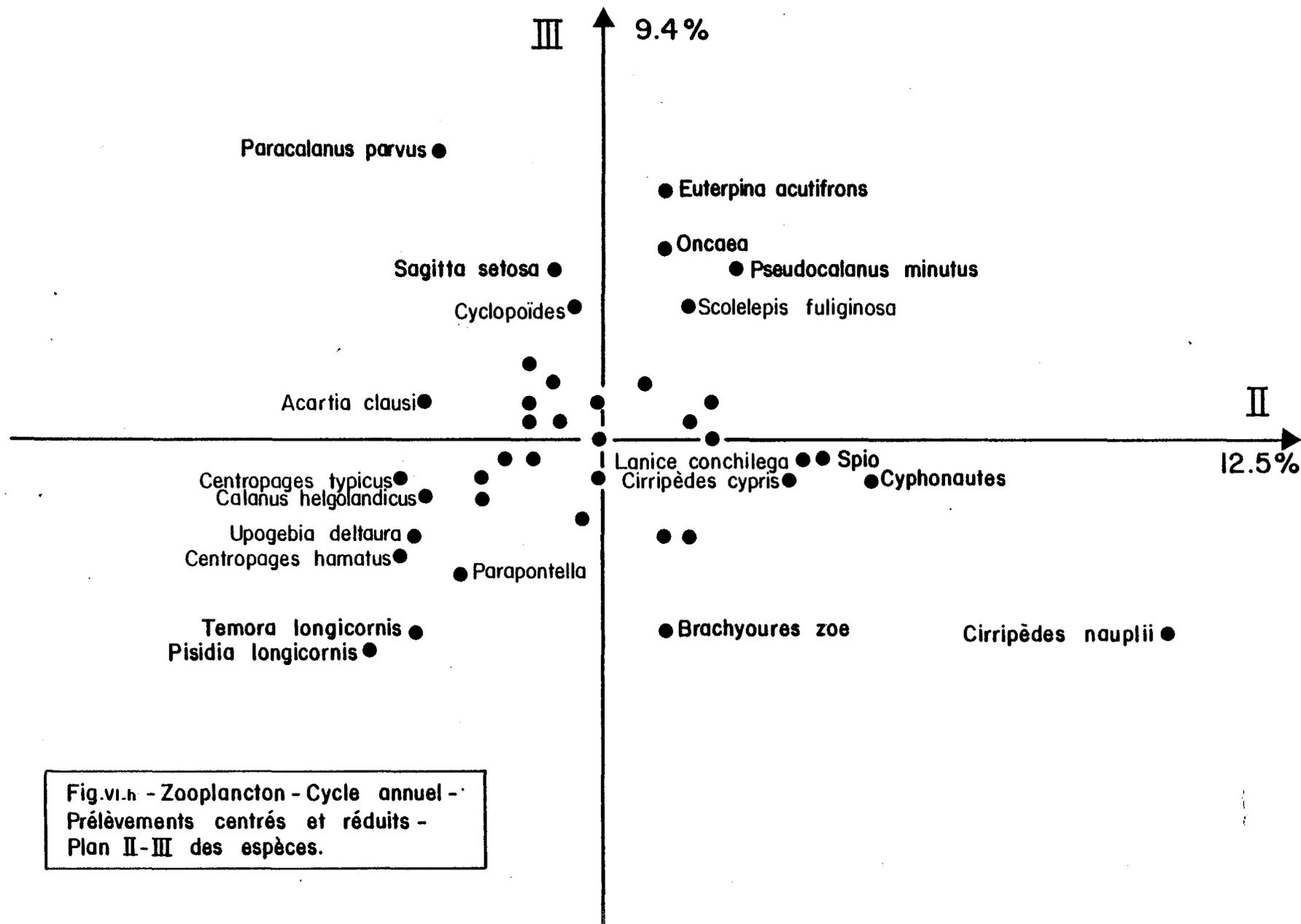


Fig.vi.h - Zooplancton - Cycle annuel -  
Prélèvements centrés et réduits -  
Plan II-III des espèces.

témoigne) : celà est dû, principalement, aux *nauplii* de Cirripèdes qui, inexistantes le 7 février, ont une densité de 5400 ind./10 m<sup>3</sup> le 21 février (81 % de l'effectif total) ; ce bloom se poursuit durant les mois de mars (3000 ind./10 m<sup>3</sup> i.e. 79 % du total) et avril (2500 ind./10 m<sup>3</sup> le 6, 6100 ind./10 m<sup>3</sup> le 20, soit 63 % et 76 % du total), puis diminue en mai (2800 ind./10 m<sup>3</sup> le 12, 2000 ind./10 m<sup>3</sup> le 30, soit 60 % et 13 % du total). Ce facteur dominant conduit à faire se ressembler les campagnes de printemps (fin février - début mai) et les groupe au pôle positif de l'axe I. D'autres espèces sont maximales durant cette période mais en moins grand nombre : larves de Cyphonautes (380 ind./10 m<sup>3</sup> le 28 avril), *Spio* (170 ind./10 m<sup>3</sup> le 6 avril), *cypris* de Cirripèdes (300 ind./10 m<sup>3</sup> le 20 avril), *Lanice conchilega* (40 ind./10 m<sup>3</sup> le 6 avril). De mai à juin 78, on observe de nouveau une modification rapide de la composition faunistique du milieu, due pour une grande part au bloom de *Temora longicornis* : 110 ind./10 m<sup>3</sup> le 12 mai, 3400 ind./10 m<sup>3</sup> le 30 mai, 5500 ind./10 m<sup>3</sup> le 15 juin. Les campagnes de juin 78 se placent dans l'ensemble des missions de l'été 1977, ce qui dénote une bonne régularité du cycle annuel. On retrouve donc en juin 78, les principales espèces abondantes l'année précédente : *Centropages hamatus* (2700 ind./10 m<sup>3</sup>), *Acartia clausi* (2600 ind./10 m<sup>3</sup>), et en moins grand nombre, *Parapontella* (440 ind./10 m<sup>3</sup>), *Calanus helgolandicus* (210 ind./10 m<sup>3</sup>).

Le quatrième axe (pourcentage d'inertie : 3.1 %) met en évidence à son extrémité négative (fig. 43) les campagnes de juin 77 et juin 78 ; elles se trouvent ainsi opposées aux autres missions de l'été 77. Sur le plan dual (fig. 44), on trouve de part et d'autre de l'axe IV, les espèces dont l'abondance est maximale dans l'année précisément à tel ou tel moment de la saison estivale : *Temora longicornis*, *Parapontella*, Galatheides, larves de Cyphonautes en juin 78, *Upogebia deltaura*, zoe de Brachyours, larves de Paguridés et de Pinnotheres, *Pisidia longicornis* en juillet 77, *Centropages typicus* et les *nauplii* de Cirripèdes en septembre 77. Si sur le plan II-III, la saison estivale pouvait apparaître relativement homogène faunistiquement (par rapport aux espèces les plus abondantes), l'axe IV montre en fait, l'existence d'une succession d'espèces qui fait en sorte que le milieu évolue constamment durant toute cette période.

### 3. Analyse des espèces centrées et réduites.

Les deux premiers axes de l'analyse extraient respectivement 24.8 % et 14.3 % de l'inertie totale de l'ensemble des prélèvements. Au pôle positif de l'axe I (fig. 45) se placent les campagnes durant lesquelles les effectifs zooplanctoniques sont les plus importants ; ce sont principalement les missions d'été : juillet-août 77, juin 78. Sur le plan dual (fig. 46), apparaissent en correspondance les espèces dont le maximum d'abondance a lieu lors de cette période ; on remarque que c'est le

cas pour la grande majorité des taxons répertoriés. Mises à part les principales espèces déjà citées, on note : *Sagitta elegans*, *Phialidium hemisphaericum*, les larves d'Euphausiacées, les Amphipodes gammariens. Dans le premier quadrant du plan I-II, on trouve les campagnes de septembre et octobre 77 avec, sur le plan dual, les espèces *Corycaeus anglicus*, *Isias clavipes*, les larves d'Epicarides qui, bien que peu abondantes, n'en sont pas moins caractéristiques de cette période. Dans le deuxième quadrant, se situent les campagnes d'hiver : fin novembre 77 - début février 78 ; rares sont les espèces maximales durant cette saison, lesquelles ont déjà été vues dans la précédente analyse. Le troisième quadrant groupe les campagnes de printemps : fin février - début mai 78 ; les seules espèces indicatrices de cette saison sont très abondantes et donc, ont été citées précédemment ; parmi celles qui le sont moins, on relève les Spionidés (30 ind./10 m<sup>3</sup> le 6 avril).

Le troisième axe extrait 8.9 % de l'inertie totale. Il oppose les campagnes de juin-juillet 77 à celles d'avril-mai-juin 78 (fig. 47). Les espèces qui contribuent le plus à l'inertie de l'axe III (fig. 48) sont : les larves de Cyphonautes (contribution : 9.5 %), *Oikopleura dioica* (8.4 %), *Oithona helgolandica* (7.8 %), les larves de Gasteropodes (6.1 %) et *Pseudocalanus minutus* (14.1 %). Elles n'apparaissent donc pas tout-à-fait à la même époque d'une année à l'autre, contrairement aux espèces plus abondantes qui se reproduisent régulièrement au même moment dans l'année (cf. analyse précédente).

#### 4. Analyse des copépodites.

L'étude qui suit est réalisée uniquement sur les stades copépodites des trois espèces suivantes : *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Temora longicornis*. Ceux-ci n'ont été déterminés qu'à la station médiane de la radiale et au point hors tache. Les 18 espèces considérées (6 stades pour chacun des trois Copépodes) sont centrées et réduites, ce qui laisse aux prélèvements leurs effets d'abondance.

Le premier axe de l'analyse en composantes principales extrait 64.8 % de l'inertie totale. C'est un axe d'abondance (fig. 49) ; il groupe à son extrémité positive les campagnes durant lesquelles les copépodites sont les plus abondants : juin-juillet-août 77, juin 78. A l'inverse, on trouve au pôle négatif les campagnes d'hiver qui sont les plus pauvres en copépodites. On peut d'ailleurs relier la position de chaque campagne sur l'axe I au nombre de copépodites trouvés en ces campagnes en calculant le coefficient de corrélation entre ces deux séries ; on trouve 0.775, ce qui est un résultat tout-à-fait satisfaisant pour cette interprétation de

l'axe I. Sur le plan dual (fig. 50), les copépodites se placent tous au pôle positif du premier axe ; cela signifie qu'ils admettent tous un maximum d'abondance durant la saison estivale, quel que soit l'ordre de grandeur de ce maximum.

Le deuxième axe de l'analyse extrait 10.8 % de l'inertie totale. Il sépare les jeunes stades copépodistes : AC1, CH1, TL1, TL2 des stades plus âgés : AC5, AC6, CH5, CH6, TL6 (fig. 51). Les jeunes stades sont les plus abondants durant l'été (juin-juillet-août 77) (fig. 52) tandis que, la même année, on constate une augmentation des stades plus âgés en octobre et décembre. En 1978 cependant, on ne retrouve pas les mêmes époques d'abondance. En raison de la durée de vie des jeunes stades de copépodites (quelques jours), il est difficile d'en tirer des conclusions définitives.

#### IV. Comparaison des deux cycles annuels.

##### 1. Introduction.

L'étude des deux années de prélèvements zooplanctoniques est réalisée à partir des 41 campagnes qui se sont déroulées du 8 juillet 76 au 29 juin 78. Chacune d'elles est réduite à un seul point, centre de gravité de tous les prélèvements qu'elle comprend.

43 espèces, parmi les plus abondantes, ont été retenues pour cette étude (cf. liste page 258) ; leurs effectifs sont transformés par la fonction  $\log(x + 1)$ .

Dans une première analyse, les "campagnes-prélèvements" sont centrés et réduits, puis ce sont les espèces qui sont centrées et réduites.

##### 2. Analyse des prélèvements centrés et réduits.

Le premier axe de l'analyse en composantes principales extrait 61.4 % de l'inertie totale. Il est engendré par les espèces suivantes (fig. 53) : *Pseudocalanus minutus*, *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Paracalanus parvus*, *Oikopleura dioica*, *Temora longicornis*, *nauplii* de Cirripèdes ; elles contribuent à 65 % de l'inertie de l'axe I. Ces espèces sont les plus régulièrement abondantes du contingent faunistique ; les campagnes sont toutes groupées au pôle positif du premier axe (fig. 54) car, par rapport à ces principaux taxons, leurs compositions faunistiques sont

LISTE DES ESPECES RETENUES POUR L'ANALYSE  
DES DEUX ANNEES D'ETUDE DU ZOOPLANCTON

1. *Acartia clausi*
2. *Amphipodes gammariens*
3. Ascidies
4. *Autolytus prolifer*
5. Bivalves (larves)
6. zoe de Brachyours
7. *Calanus helgolandicus*
8. Caridés (larves)
9. *Centropages hamatus*
10. *Centropages typicus*
11. cypris de Cirripèdes
12. nauplii de Cirripèdes
13. *Corycaeus anglicus*
14. Cyclopoïde
15. Cyphonautes (larves)
16. *Ebalia*
17. Epicarides (larves)
18. Euphausiacées (larves)
19. *Euterpina acutifrons*
20. Galatheides (larves)
21. Gasteropodes (larves)
22. Harpacticoïdes (larves)
23. *Isias clavipes*
24. *Larice conchilega*
25. *Obelia*
26. *Otkopleura dioica*
27. *Oithona helgolandica*
28. *Oncaea*
29. *Paracalanus parvus*
30. Paguridés (larves)
31. *Parapontella*
32. *Phialidium hemisphaericum*
33. Pinnotheres (larves)
34. *Pisidia longicornis*
35. *Pleurobrachia pileus*
36. *Pseudocalanus minutus*
37. *Sagitta elegans*
38. *Sagitta setosa*
39. *Scolecopsis fuliginosa*
40. Spionidés (larves)
41. *Spio*
42. *Temora longicornis*
43. *Upogebia deltaura*



très semblables. Le fort pourcentage d'inertie extrait par cet axe montre que cette caractéristique du zooplancton est prépondérante par rapport aux variations annuelles révélées par les axes suivants de l'analyse.

Le plan II-III extrait  $11.5\% + 8.7\% = 20.2\%$  de l'inertie totale. Il met en évidence les deux cycles annuels 8 juillet 76 - 16 juin 77 et 30 juin 77 - 29 juin 78 (fig.VI.i). D'une façon générale, ils sont très comparables, présentant tous deux, trois "pôles saisonniers" : été (juin-août), hiver (novembre-janvier) et printemps (mars-mai), séparées par des périodes de transition plus ou moins rapide. La première année d'étude commence le 8 juillet 76 ; à l'extrémité positive de l'axe I, on trouve la saison chaude de 1976 (8 juillet - 21 août) et celle de 1977 (30 juin - 6 septembre). Elles sont très voisines et correspondent aux périodes d'abondance de trois principales espèces (fig.VI.j) : *Pisidia longicornis*, *Temora longicornis*, *Upogebia deltaura* (contribution totale à l'inertie de l'axe II : 24 %). Puis vient la saison d'automne (septembre-octobre) durant laquelle il apparaît une évolution de la composition faunistique, assez régulière, et comparable d'une année à l'autre ; c'est l'époque d'apparition principalement d'*Acartia clausi*, très abondante, puis de *Paracalanus parvus*, *Sagitta setosa* et *Euterpina acutifrons* (contribution totale à l'inertie de l'axe III : 31 %). Les missions d'hiver (16 décembre 76 - 2 février 77 et 29 novembre 77 - 7 février 78) sont très groupées ; stabilité et pauvreté faunistiques caractérisent cette période les deux années : 230 ind./10 m<sup>3</sup> en 1976-77, 800 ind./10 m<sup>3</sup> en 1977-78. Le mois de février constitue, en 1977 comme en 1978, une période d'expansion faunistique très importante (on remarque, sur le plan II-III, les distances séparant, d'une part les missions du 2 et du 17 février 77, d'autre part, celles du 7 et du 21 février 78) ; cela est dû principalement aux nauplii de Cirripèdes, dont le bloom est particulièrement important (de 0 à 4500 ind./10 m<sup>3</sup>). D'autres espèces connaissent également un développement subit, bien que moins important : les Cyphonantes, les cypris de Cirripèdes, *Larice conchilega*, *Spio*. Il se produit alors une légère divergence entre les deux cycles annuels : tandis que le bloom des Cirripèdes se poursuit durant tout le mois d'avril en 1978, en revanche, en 1977, il est maximum en mars puis décroît en avril. Les situations redeviennent comparables fin mai (proximité des missions du 24 mai 77 et du 30 mai 78) mais divergent de nouveau en juin : cela est dû pour une grande part à *Temora longicornis*, beaucoup plus abondante en juin 78 (5500 ind./10 m<sup>3</sup>) qu'en juin 77 (900 ind./10 m<sup>3</sup>) ; il en est de même pour *Pseudocalanus minutus* (4400 ind./10 m<sup>3</sup> en juin 78 et 260 ind./10 m<sup>3</sup> en juin 77) ; de ce fait, le double cycle annuel zooplanctonique ne "boucle" pas exactement.

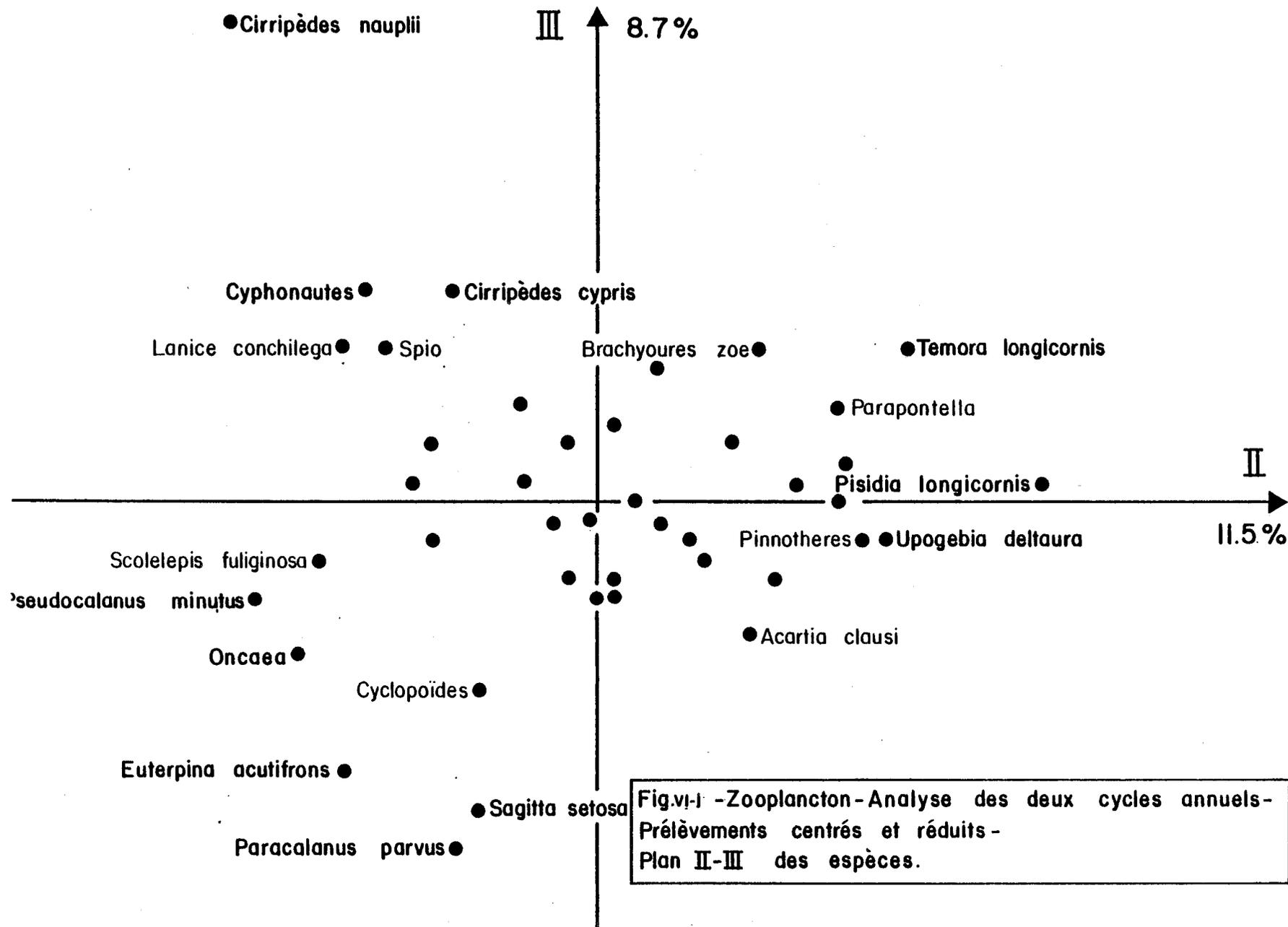


Fig.vj-1 -Zooplancton-Analyse des deux cycles annuels-  
 Prélèvements centrés et réduits -  
 Plan II-III des espèces.

### 3. Analyse des espèces centrées et réduites.

Le premier axe de l'analyse extrait 34.8 % de l'inertie totale. C'est un axe d'abondance : le coefficient de corrélation entre les coordonnées des campagnes sur l'axe I et leurs effectifs faunistiques est égal à 0.753. Les campagnes les plus riches sont à l'extrémité positive et les plus pauvres au pôle négatif (fig. 55) ; ainsi, du côté positif, on trouve les missions d'été (juillet-août 76, juillet-août-septembre 77, juin 78) et, à l'opposé, celles d'hiver (décembre 76 - février 77, fin novembre 77 - début février 78). Entre ces deux extrémités, se situent les saisons de transition : printemps (mars-avril-mai) et automne (septembre-octobre-novembre) durant lesquelles les effectifs vont respectivement en croissant et en décroissant.

Le plan I-II (pourcentage d'inertie extrait : 48.3 %) présente les deux cycles annuels ; ceux-ci apparaissent quelque peu déformés. En particulier, durant certaines périodes où les effectifs planctoniques sont importants (printemps, été), le plan I-II met en évidence une certaine variation entre les campagnes qui n'apparaissait pas dans l'analyse précédente. Cela provient en grande partie de l'hétérogénéité entre les différentes missions : certaines (dites "légères") ne comprennent qu'un seul prélèvement tandis que les autres (dites "lourdes") en comptent une dizaine ou une quinzaine. Il en résulte des différences, parfois importantes, entre les estimations de densité planctonique d'une campagne à l'autre. Comme dans cette analyse, les prélèvements ne sont ni centrés ni réduits, ces différences réapparaissent clairement sur les plans factoriels.

En ce qui concerne les espèces, la majorité d'entre elles se place sur la partie positive de l'axe I (fig. 56) ; cela signifie que leurs maxima d'abondance sont atteints entre les mois de mai et septembre, pour chacune des deux années. Mises à part les principaux taxons déjà énoncés, l'analyse révèle surtout l'existence de nombreuses larves : Euphausiacées, Pinnotheres, Ascidies, Caridés, Galatheides et des espèces peu abondantes : *Otkopleura dioica*, *Obelia*, *Sagitta elegans*, *Parapontella*, Amphipodes gammariens. Durant les périodes de transition, printemps et automne, on retrouve les principales espèces mises en évidence dans les analyses précédentes. En hiver, il n'apparaît aucune espèce très caractéristique, si ce n'est *Scotelepis fuliginosa* et *Oncaea*, lesquelles n'ont cependant que des effectifs très faibles (entre 0 et 20 ind./10 m<sup>3</sup>). En conclusion, on constate que, d'une façon générale, les différentes missions sont très comparables d'une année à l'autre du point de vue quantitatif.

## V. Conclusion.

L'étude des variations spatio-temporelles à l'échelle d'une campagne ne fait apparaître ni gradient côte-large ni cycle de marée au point médian de la radiale. La seule distinction mise en évidence entre les différentes stations est due à l'heure de prélèvement : les stations sont bien ordonnées le long d'un axe par rapport au temps, ce qui signifie que le milieu varie continûment, dans sa composition faunistique, tout au long d'une journée. Pour certaines missions, on peut relier la configuration des prélèvements obtenue à une situation hydrobiologique et/ou phytoplanctonique de même nature, ce qui permet de faire des rapprochements entre les variations des différents paramètres définissant le milieu, sans pour autant en conclure à des relations de cause à effet.

L'analyse de la deuxième année d'étude met tout d'abord en évidence un contingent d'espèces faunistiques permanentes dans le milieu et avec de forts effectifs ; ce sont principalement des Copépodes : *Pseudocalanus minutus*, *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Temora longicornis*. Le cycle annuel est régulier et présente trois périodes bien caractérisées : l'été (juin-août), l'hiver (novembre-janvier) et le printemps (mars-mai). A chaque saison correspondent quelques espèces bien représentées dans le milieu et qui assurent une certaine succession faunistique au cours de l'année.

La comparaison des deux cycles annuels fait apparaître un point commun entre les deux années, constitué par le contingent des quelques espèces les plus importantes de par leurs effectifs et leur présence continue sur le site (cf. supra). D'une façon générale, les deux cycles annuels sont très comparables, présentant tous deux les trois saisons principales : été, hiver et printemps. Tant du point de vue qualitatif que quantitatif, on observe une bonne reproductibilité des variations du zooplancton, d'une année à l'autre.

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





## BIBLIOGRAPHIE FLAMANVILLE

=====

GENERALITES

- I.G.N. : Carte de la France échelle : 1/1 000 000.  
Carte à l'échelle 1/25 000 :  
LES PIEUX XI-10/3-4  
XI-10/7-8  
SURTAINVILLE XI-11/3-4
- O.N.M. : Données inédites de la station de MAUPERTUS-CHERBOURG, et  
du sémaphore de LA HAGUE concernant la période étudiée.
- S.H.O.M. : Courants de marée dans la Manche et sur les côtes françaises  
de l'Atlantique . n° 550 et n° 553.
- S.H.O.M. : Carte marine n° 878.

- ALDER, G. et JESPERSEN, P. , 1920. Variations saisonnières chez quelques copépodes planctoniques marins ; *Meddr. Komm. Danm. Fiskog. Havunders. Série Plankton* , 2 (1) :46.
- ANRAKU, M. , 1964. Influence of the Cap cod canal on the hydrography and the copepods in buzzards bay and cap cod bay, Massachussetts. II. Respiration and Feeding ; *Limnol. Océanogr.* , 9(2) : 195-206.
- AURICH, H., 1957. Verbreitung der Medusen und Actinulae von *Ectopleura dumortieri* und *Hybocodon prolifer* in der Südlichen Nordsee. *Helgoland Wiss. Meeres*, 6 : 207-227.
- BEERS, J.R., 1966. Studies on the chemical composition of the major zooplankton groups in the Sargasso sea off Bermuda. *Limnol. Océanogr.* , 11 : 520-528.
- BEERS, and STEWART, 1969. Microzooplankton and its abundance relative to the zooplankton and other seston components. *Mar. Biol.* 4 : 182-189
- BELEHRÁDEK, J. , 1935. Temperature and living matter protoplasma monograph n° 8 . *Borntraeger Berlin* : 277
- BELEHRÁDEK, J., 1957. Physiological aspects of heat and cold . *A. Rev. Physical.* 19 : 59-82
- BERNARD, M., 1963. Le cycle vital en laboratoire d'un copépode pélagique de Méditerranée *Euterpina acutifrons* claus. *Pelagos Bull. Inst. Océanogr. Alger.* 1 : 35-48
- BINET, D. , 1977 . Contributions à la connaissance du zooplancton néritique ivoirien. Ecologie descriptive et dynamique. *Doctorat d'état es sciences naturelles.* Univ. P. et M. Curie Paris 6 ème.
- BODO, F., 1963 . Variations saisonnières du zooplancton de la région de Roscoff. (Thèse 3ème cycle. Univ. Paris).
- BODO, F., 1969. Etude histologique du développement embryonnaire de trois hydro-méduses (Tubulariidées). *Ann. Embryol. et Morph.* , Vol. II, Fasc. 2 : 157-168.
- BOUCHER, J., RAZOULS, C., et RAZOULS, S., 1974. Composition élémentaire en carbone et azote de *Centropages typicus* et *Temora stylifera*. Analyse des variations en fonction de la physiologie et des conditions écologiques. XIVè assemblée plénière de la CIESM : Monaco 6. 14/12/74.
- BOUGIS, P., 1974. Le phytoplancton 2 tomes. Le zooplancton tome II. *Masson et Cie Edit.*
- BRANDT, K. and APSTEIN, C., 1908. Nordisches plankton T. XIII-XVI Protozoen; et T. XVIII-XXII phytoplancton. *Kiel und Leipzig verlag von lipsius, Tischer.*

- BRUNEL, J., 1962. Le phytoplancton de la Baie des Chaleurs. *Contributions du Ministère de la chasse et des pêches N° 91.*
- CARTER, Y. CH., 1965. The ecology of the calanoid copepod *Pseudocalanus minutus* Kroyer in Tessiercuk coastal meromitic of northern Labrador. *Limnol. Océanogr.* Vol. 10 (3) : 345-353.
- CNEXO, 1977. Etude écologique de projet site de Flamanville. 1er cycle.
- CNEXO, 1977. Etude écologique de projet site de Gravelines. 2ème cycle.
- CNEXO, 1978. Etude écologique. site de Paluel. 2ème cycle.
- CONOVER, R.J., et CORNER, E.D.S., 1968. Respiration and Nitrogen excretion by some marine zooplankton in relation to their life cycle. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 48,49-75.
- CORKETT, C.J., 1968. La reproduction en laboratoire des copépodes *Acartia clausi*, (Giesbrecht), et *Idya furcata* (Baird). *Pelagos Bull. Inst. océanogr. Alger.* 10 : 77-90.
- CORKETT, C.J., and LAREN, I.A.M.C., 1969. Egg production and oil storage by the copepod *Pseudocalanus* in the laboratory. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 3 : 90-105.
- CORKETT, C.J., and LAREN, I.A.M.C., 1978. The biology of *Pseudocalanus*. *Adv. Mar. Biol.* Vol. 15 : 1-231.
- CUPP, 1943. Marine plankton diatoms of the West Coast of North America. *Bull. Scripps Institution of oceanography. Univ. of California* Vol. 5 n° 1 : 1-238
- DAGET, J., 1976. Collection d'écologie !. Les modèles mathématiques en écologie. *Masson edit. Paris.*
- DAJOZ, 1974. Dynamique des populations. *Masson et Cie Ed. Paris* . : 301 .
- 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.* Vol. 17 : 54-86.
- DIGBY, P.S.B., 1950. The biology of the small planktonic copepods off Plymouth. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* Vol 29 : 393-438.
- DOOLEY, M., 1973. Preliminary investigations on phytoplankton from the west coast of Ireland. *Br. Phycol. J.* 8. : 79-94
- DREBES, G., 1974. Marines phytoplankton. *Georg Thieme verlag Stuttgart.*
- EL. MAGHRABY, A.M., 1964. The developmental stages and occurrence of the copepod *Euterpina acutifrons* Dana in the marine environment of Alexandria U.A.R. *Annals and Magazine of natural history*, 7 (76), Série 13 : 223-233
- FRONTIER, S., 1972. Calcul de l'erreur sur un comptage de zooplancton. *J. Mar. Biol. Ecol.* 8 : 121-132.

- FRONTIER, S., 1976. Utilisation des diagrammes rang-fréquence dans l'analyse des écosystèmes. *J. Rech. Oceanogr.* Vol. I n° 3.
- GAUDY, R., 1972. Contribution à la connaissance du cycle biologique des copépodes du golfe de Marseille. 2<sup>e</sup> étude du cycle biologique de quelques espèces caractéristiques. *Tethys*, 4 (1) : 175-242.
- GRALL, J.R., 1972. Recherches quantitatives sur la production primaire du phytoplancton dans les parages de Roscoff. *Thèse Doct. Sci. Nat. Univ. Paris.*
- GRALL, J.R., 1972. Développement "printanier" de la diatomée *Rhizosolenia delicatula* près de Roscoff. *Marine Biology*, 16 : 41-48.
- GRALL, J.R., Exposé de stage Bânuyls/Mer. Numération du phytoplancton.
- GRAN, H.H., 1902. Das plankton des Norwegischen nordmeers. *Rep. Norweg. Fish Invest.*, 2(5) : 1-222.
- HACQ, S.M., 1972. Breeding of *Euterpina acutifrons* an harpacticoid copepod with special reference to dimorphic males. *Marine Biology.*, 15 : 221-235.
- HARRIS, R.P., and PAFFENHOFER, C.A., 1976. Feeding, growth and reproduction of the marine planktonic copepod *Temora longicornis* Müller. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 56 : 675-690.
- HENDEY, 1964. An introductory account of the smaller algae of British coastal Water. Part. V : *Bacillariophyceae*. *Ministry agriculture fisheries and food. Fishery investigation, serv.*
- HOLMES, et, WIDRIG, 1956. The enumeration and collection of marine phytoplankton. *J. Cons. Int. Perm. Explor. Mer*, 22 : 21-32.
- IYANOFF, A., 1971. Propriétés physiques et chimiques de l'eau de mer. Tome 1. *Vuibert. Ed.*
- JEFFRIES, H.P., 1967. Saturation of estuarine zooplankton by congeneric associates in C H LAUFF. *Am. Ass. Adv. Sci.*, 83 : 500-508.
- KENCHINGTON, R.A., 1970. An investigation of the detritus in Menai straits plankton samples. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 50 : 489-498.
- KRAMP, P.L., 1927. The hydromedusae of the Atlantic Ocean and adjacent waters. Dana report n° 46.
- LE BORGNE, R., 1975. Equivalences entre les mesures de Biovolumes, Poids secs, Poids sec sans cendre, Carbone, Azote et Phosphore, du Mesozooplankton de l'Atlantique tropical. *Cah Orstom. Serie oceanogr.*, Vol. XIII, 3, : 179-196.
- LE FEVRE -LEHOERFF, G., 1972. Populations planctoniques d'un estuaire à marée; la rivière de Morlaix - leurs relations avec les conditions hydrologiques. *Thèse de spécialité, Univ. Paris 6*, : 212 p.
- LOCK, A.R., and Mc LAREN, J.A., 1970. The effects of varying and constant temperatures on the size of a marine copepod. *Limnol. oceanogr.*, 15 : 638-640.
- LEBOUR, 1930. Planktonic diatoms of Northern Seas. *London Ray Society.*

- LOVEGROVE, T., 1966. The determination of the dry weight of plankton and the effect of various factors on the values obtained. P. Allen et al., Ltd London. HAROLD barnes ed. *Some contemporary studies in marine Sc.* : 429-467.
- MORAITOU - APOSTOLOPOULOU, 1975. Seasonal variations in length of three copepods in Saronic Bay (Greece). *Boll. Pesca Piscic. Idrobiol.* , 30 (1).
- MOTODA, S., 1959. Devices of sample plankton apparatus. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* , 7 : 73-94.
- NEUNES, H.W., and PANGOLINI, G.F., 1965. Breeding pelagic copepod *Euterpina acutifrons* in the laboratory. *Nature*, 208 : 571-573.
- PAFFENHÖFER, 1976. Feeding, growth and food conversions of the marine planktonic copepod *Calanus helgolandicus* . *Limnol. oceanogr.* , Vol. 21 (1) : 39-50.
- PETIPA, T.S., 1959. Feeding of the copepod *Acartia clausi* Giesbr. *Trudy Sevastopol Biol.* , Sta. 2 : 72-100.
- RAYMONT, J.E.G., and AUSTIN, J., and LINFORD, E., 1967. The biochemical composition of certain oceanic zooplanktonic decapods . *Deep Sea Research*, Vol. 14, : 113-115.
- RAYMONT, and AL. , 1971. Biochemical studies on marine zooplankton : VIII further investigations on *Meganycitiphanes Norqevica* (M Sars). *Deep Sea Research* , 18 : 1167-1178 .
- RAZOULS, C., 1963. Etude qualitative et quantitative des copépodes planctoniques côtiers de Roscoff. *Thèse de 3<sup>e</sup> cycle Fac. Sci. Paris* : 63.
- RAZOULS, C., 1972. Estimation de la production secondaire (copépodes pélagiques) dans une province néritique méditerranéenne (Golfe du Lion). *Thèse de Doctorat d'état es Sciences Naturelles Fac. Sciences Paris VI* : 301.p.
- RAZOULS, et GUINNESS, 1973. Variations annuelles quantitatives de deux espèces dominantes de copépodes planctoniques *Centropages typicus* et *Temora stylifera* de la région de Banyuls : cycle biologique et estimation de la production II: variations dimensionnelles et mesure de croissance . *Cahiers Biologie marine*, 14 : 413-427.
- SCHILLER, 1937. Dinoflagellateae (Peridineae). Teil. 1, Teil. 2. *Série Dr. L. RABENKÖRST'S Kryptogamen flora von Deutschland, osterreich und der Schweiz* ; Leipzig ; Akademische verlagsgesellschaft.
- SEMINA, H.J., 1969. "The size of phytoplankton cells along 174°w in the Pacific Ocean" (en russe). *Okeanologia*, 9 : 479-487. (Engl. Transl.) *Oceanology*, 9 : 391-398.
- SHANNON, C.E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bull. Syst. Techn. J.*, 27 : 379-423.
- THAYER, 1974. Biomass of zooplankton in the Nexport River Estuary and the Influence of Postlarval fishes. *Chesapeake Sci.*, 15(1) : 9-16.
- U.N.E.S.C.O., 1968. Zooplankton sampling. *Monographs on oceanographic methodology*, 2, Unesco Press, Paris, 174 p.

- URRY, D.L., 1965. Observation on the relationship between the food and survival of *Pseudocalanus elongatus* in the laboratory. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, Vol. 45 : 49-58.
- VAN DER SPOEL, 1973. Notes on variation of diatoms and silico flagellates in the South Atlantic Ocean. *Netherland J. Sea. Res.*, 6 : 518-541.
- WIMPENNY, R.S., 1946. The size of diatoms. II further observations on *Rhizosolenia styliiformis* (Brightwell). *Journ. Mar. Biol. Assoc.*, Vol. XXVI.