

Electricité de France

**ETUDE ECOLOGIQUE  
SITE DE GRAVELINES  
RAPPORT FINAL**

VOLUME IV

**TRAITEMENT MATHEMATIQUE**



**Centre National pour l'Exploitation des Océans  
Centre Oceanologique de Bretagne**

Juillet 76



## AVANT - PROPOS

La présente étude, effectuée par le Département Scientifique du Centre Océanologique de Bretagne, constitue un complément au rapport écologique du site de Gravelines réalisé par l'Unité Littoral du COB et l'Institut de Biologie Maritime et Régional de Wimereux.

Les personnes ayant participé à ce travail sont :

CHARDY Pierre,  
de la SALLE Patrice,  
DERRIEN Elizabeth,  
JEZEQUEL Michelle,  
LAUREC Alain.



## SOMMAIRE

---

*INTRODUCTION* ..... P. 1

### *CHAPITRE I : HYDROBIOLOGIE*

#### I. ANALYSES GENERALES

- 1. Première analyse générale ..... P. 4
- 2. Deuxième analyse générale ..... P. 6

#### II. ANALYSES PARTICULIERES

- 1. 9 - 10 mai ..... P. 6
- 2. 20 mai ..... P. 7
- 3. 1 juin ..... P. 7
- 4. 2 juillet ..... P. 8
- 5. 30 août ..... P. 8
- 6. 6 octobre ..... P. 9

III. RESUME ..... P. 9

### *CHAPITRE II : PHYTOPLANCTON*

#### I. ETUDES GENERALES

- 1. Introduction ..... P. 11
- 2. Résultats ..... P. 11

#### II. ANALYSES PARTICULIERES

- 1. 10 mai ..... P. 13
- 2. 2 juillet ..... P. 13
- 3. 30 août ..... P. 14
- 4. 2 octobre ..... P. 14

III. RESUME ..... P. 14

### *CHAPITRE III : ZOOPLANCTON*

#### I. ETUDES GENERALES

- 1. Introduction ..... P. 16



2. Prélèvements centrés et réduits .....	P. 16
3. Espèces centrées et réduites .....	P. 18
II. ANALYSES PARTICULIERES	
1. 2 - 9 février .....	P. 19
2. 1 juin .....	P. 19
3. 30 août .....	P. 20
4. 15 décembre .....	P. 20
III. RESUME .....	P. 21

*CHAPITRE IV : RELATIONS PHYTOPLANCTON - HYDROBIOLOGIE*

1. Méthode d'analyse .....	P. 22
2. Résultats .....	P. 22

*CHAPITRE V : RELATIONS ZOOPLANCTON - HYDROBIOLOGIE*

1. Méthode d'analyse .....	P. 24
2. Résultats .....	P. 24

*CHAPITRE VI : RELATIONS PHYTOPLANCTON - ZOOPLANCTON*

1. Méthode d'analyse .....	P. 26
2. Résultats .....	P. 26

*CONCLUSION GENERALE*

1. Hydrobiologie .....	P. 28
2. Phytoplancton .....	P. 29
3. Zooplancton .....	P. 30
4. Liaisons entre l'hydrobiologie et le plancton .....	P. 30

*ANNEXE I*

1. Tableau de contingence .....	P. 32
2. Détermination des classes .....	P. 32







## INTRODUCTION

Dans le cadre des études écologiques de "projet" (1) EDF, l'exploitation mathématique des données a pour objectif immédiat :

- d'optimiser l'échantillonnage par une meilleure connaissance de la variabilité dans le temps et dans l'espace des phénomènes étudiés,
- de résumer une information volumineuse et multidimensionnelle par une structure simple traduisant les caractéristiques écologiques essentielles du site :
- de dégager les paramètres et les espèces responsables de la structure mise en évidence dans la perspective du suivi écologique.

Ces préoccupations ont pour but de préciser l'état écologique du milieu dans la zone qui subira l'influence de la centrale. A moyen terme, la comparaison des états successifs de l'écosystème, avant et après la mise en service de la centrale, doit permettre de dégager les principes évolutifs d'un écosystème marin côtier soumis aux influences des rejets thermiques.

Au terme d'une année d'étude sur le site de Gravelines, un rapport écologique très complet a été effectué par l'Unité Littoral du COB ; la synthèse mathématique proposée dans ce texte s'articule directement sur ces travaux.

### Methodologie

La définition de l'état de référence d'un site comportant deux années d'étude, la première année est plus particulièrement consacrée à la description qualitative et quantitative du milieu. Le traitement mathématique envisagé relève donc, dans une première étape, de l'analyse descriptive ; néanmoins une approche explicative au niveau des relations entre les principaux constituants de l'écosystème est également abordée.

Les méthodes mathématiques classiquement utilisées pour décrire l'état d'un écosystème font appel à l'outil très général de la "typologie" ou re-

(1) Etat de référence écologique avant l'implantation d'une centrale nucléaire.

connaissance des formes. Les techniques mises en oeuvre dans ce domaine sont extrêmement nombreuses et relèvent de trois grandes approches : ordination, partition et hiérarchies. Leur but commun est de résumer un ensemble multivarié par une structure simple en mettant l'accent soit sur les continuités (ordination) soit sur les discontinuités (partitions, hiérarchies) entre variables. En raison de leur aptitude à mettre en évidence des "gradients" les techniques d'ordination connaissent actuellement un succès notable en écologie et seront principalement employées dans cette étude. Cependant, lorsque le nombre d'observations sera plus important, au terme de la deuxième année d'étude ou dans le cadre des comparaisons de plusieurs sites, il sera nécessaire d'envisager des algorithmes de partition (type nuées dynamiques) dont l'efficacité est plus grande pour un nombre de points élevé.

L'"ordination" des écologistes relève en fait de l'analyse d'inertie, dont les récentes diversifications font quelques fois oublier les principes anciens dont elles s'inspirent. Le principe général est de résumer des relations entre points par un espace de dimension réduite à quelques axes (axes d'inertie). Les points en question peuvent être des espèces, des prélèvements, des paramètres physico-chimiques. Les méthodes d'inertie classiques telles que l'Analyse en Composantes Principales (HOTTELING, 1933), l'Analyse des Correspondances (CORDIER, 1965), l'Analyse des Coordonnées Principales (GOWER, 1966) peuvent être considérées comme autant de variantes de l'Analyse Générale définie par LE BART et FENELON, 1973. Les différences apparaissent au niveau de trois options :

- choix de la distance,
- choix des masses attribuées aux points,
- choix de l'emplacement de l'origine.

La signification écologique de ces options, déjà développée par CHARDY, GLEMAREC, LAUREC (1976) ne sera pas reprise en détail dans ce rapport. Cependant, il est important de rappeler que conformément aux objectifs de cette étude on s'intéressera principalement :

1. aux affinités faunistiques entre les prélèvements de manière à synthétiser les variations spatio-temporelles du milieu au cours d'un cycle annuel,
2. au rôle fonctionnel des espèces, davantage qu'à leur rôle indicateur, ce qui implique une analyse résolument quantitative.

Ces objectifs nous ont conduits à utiliser dans la majorité des cas une distance euclidienne entre prélèvements réduits et centrés afin de laisser aux espèces abondantes leur poids dans l'analyse tout en atténuant les différences de densité entre prélèvements imputables pour une grande part aux biais de l'échantillonnage. En effet, la variabilité observée dans l'analyse ne reflète pas uniquement les fluctuations d'une communauté d'espèces, elle reflète également les variations systématiques caractéristiques des méthodes de capture. Par ailleurs, les effectifs des espèces sont transformés par la fonction logarithmique  $y = \log(x + 1)$  (1) dans le but d'éliminer la part de variation due à la surdispersion des individus accusant de façon trop excessive les différences entre les forts effectifs. La combinaison de ces options correspond donc à l'analyse en Composantes Principales d'une matrice de corrélation entre prélèvements dont les effectifs ont subi une transformation logarithmique. Cette technique d'inertie sera appliquée, dans une première partie du rapport, aux données de l'hydrobiologie, du phytoplancton et du zooplancton. On fera régulièrement appel à la dualité "variables-observations" (2) pour éclairer et interpréter les structures obtenues.

Les relations entre hydrobiologie et phytoplancton puis phytoplancton et zooplancton sont étudiées dans la seconde partie du rapport. Pour mener à bien cette approche globale, un tableau de contingence, bâti sur l'intersection des ensembles considérés a été traité par l'Analyse des Correspondances. Le principe du codage des variables et l'incidence des options inhérentes à l'Analyse des Correspondances seront repris plus en détail dans le chapitre consacré à cette étude.

Il importe de noter que les techniques de traitement mathématique proposées dans ce rapport ne reposent sur aucune hypothèse restrictive quant aux distributions de fréquences des variables considérées.

(1) Prendre  $y = \log(x + 1)$  au lieu de  $y = \log x$  permet d'éviter l'ambiguïté du cas où l'effectif est nul.

(2) Représentation dans le même système d'axes d'inertie des espèces et des prélèvements.

C H A P I T R E I

HYDROBIOLOGIE

I. ANALYSES GENERALES

1. Première analyse générale (fig. 1)

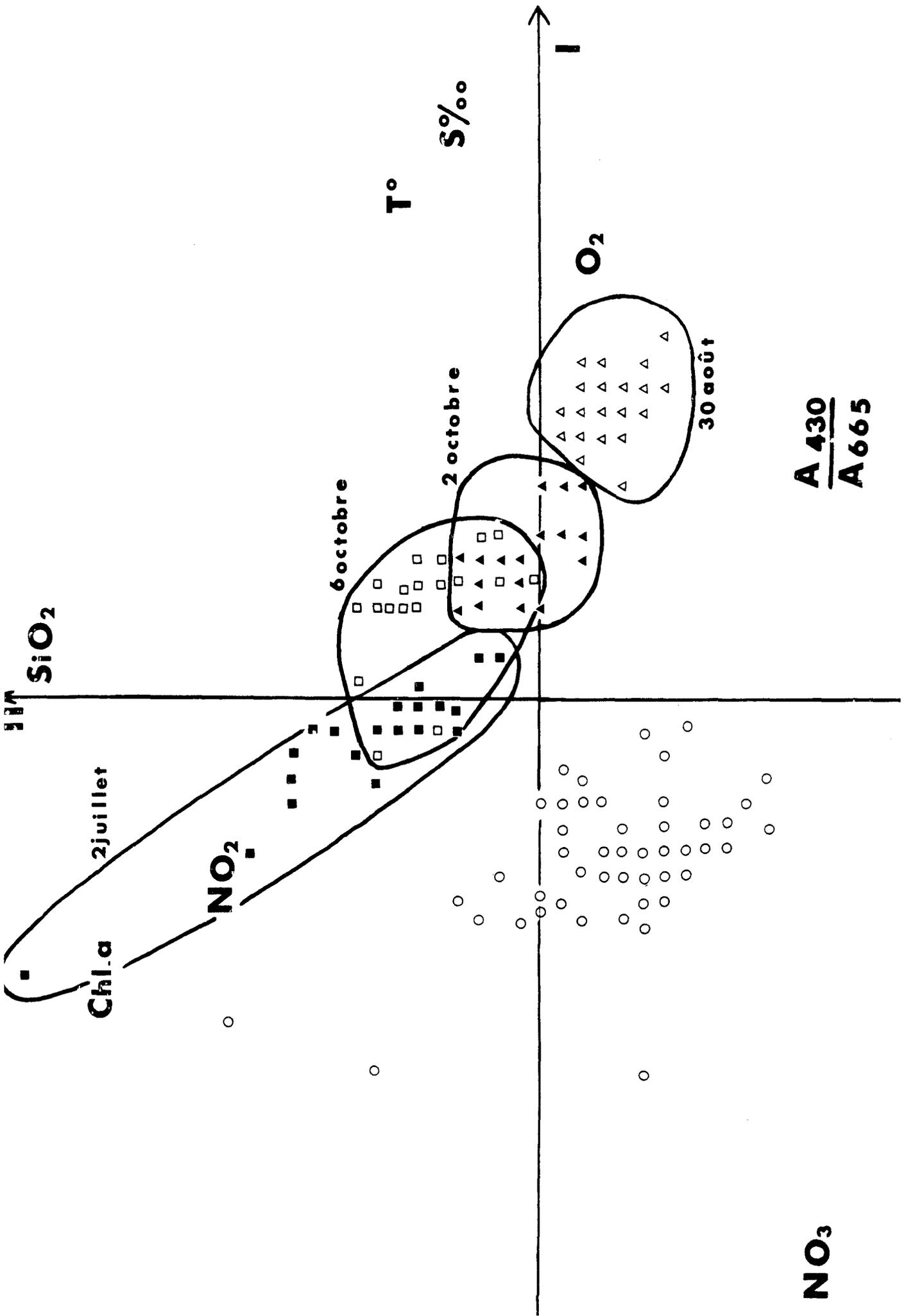
- Pour une première étude générale de l'hydrobiologie de Gravelines, les campagnes retenues sont : 8 mars, 13 - 19 avril, 10 mai, 20 mai, 1 juin, 2 juillet, 30 août, 2 octobre et 6 octobre. Chacune d'elles comprend une vingtaine de prélèvements sauf celles du 8 mars et des 13 et 19 avril qui n'en ont respectivement que 4 et 3. Les campagnes des 2 et 9 février ne sont pas prises en considération en raison de l'information trop hétérogène et trop pauvre qu'elles apportent.

- Examinons le plan défini par les deux premiers axes (fig. 1). Celui-ci rend compte de 46 % de l'inertie de l'ensemble des points et l'on peut considérer qu'il fournit à lui seul, une part d'explication très satisfaisante de la situation hydrobiologique du site pour la période considérée.

Deux groupes se séparent nettement : le premier composé des campagnes du 2 juillet, du 30 août, du 2 et du 6 octobre, le second comportant les missions du 8 mars, du 13 - 19 avril, des 10 et 20 mai et du 1 juin. L'été et l'automne se distinguent de la fin de l'hiver et du printemps d'une façon très marquée. A l'intérieur de chacun des groupes, la distribution des points est très différente : la période "juillet - octobre" fait apparaître une séparation assez nette des campagnes entre elles tandis que la période "mars - juin" est représentée par un agglomérat de points ne permettant pas de reconnaître les missions distinctement. Les variations entre campagnes ne sont donc appréciables qu'à partir de juillet et avant cette date, il apparaît une certaine stabilité des conditions hydrobiologiques globalement (1).

- Quels sont les facteurs qui déterminent la distinction des deux périodes hydrobiologiques ?

(1) On peut s'étonner de constater dans le premier ensemble une distinction relativement importante entre le 2 et le 6 octobre. Cela provient du fait que la stratégie d'échantillonnage n'a pas été la même dans les deux cas : le 2 octobre, on a prélevé au seau et en surface tandis que le 6, des bouteilles ont été utilisées et en profondeur.



**A 430**  
**A 665**

Fig. 1 : Hydrobiologie. Variations annuelles  
Répartition des points prélevements et des variables dans le plan  
I I de l'analyse d'inertie générale.

principalement la température, la salinité et les nitrates qui contribuent respectivement à 23 %, 27 % et 22 % de l'inertie du premier axe. En ce qui concerne les variations à l'intérieur du premier groupe, l'influence de la température et de la salinité est importante : ces deux paramètres atteignent leur maximum en août et la situation, début octobre, tend à redevvenir ce qu'elle était en juillet, les eaux accusant un refroidissement et une légère dessalure. D'autre part, les nitrates décroissent de juillet à août et reprennent des valeurs un peu plus élevées en octobre. Les relations inverses observées entre nitrates, d'une part, et température-salinité d'autre part, traduisent le fait général que la teneur en nitrates est plus importante dans les eaux froides et moins salées, liée principalement aux apports de l'Aa. Il faut également souligner l'importance de la chlorophylle et des silicates, contribuant respectivement à 19 % et 28 % de l'inertie de l'axe II ; ces variables sont donc responsables, en grande partie, des variations été-automne. Un fort taux de chlorophylle et de silicates en juillet s'accompagne d'une valeur minimale pour l'indice de diversité pigmentaire alors que le 30 août, chlorophylle et silicates sont peu abondants et l'indice pigmentaire assez élevé. Début octobre, ces variables prennent des valeurs intermédiaires entre ces extrêmes. La chlorophylle a se trouve aussi inversement liée avec l'oxygène. En effet, le 2 juillet, la présence d'une masse importante d'espèces phytoplanctoniques (le bloom est fin mai) contribue à accroître la teneur en chlorophylle du milieu. Ces espèces ne produisent plus d'oxygène mais au contraire, en consomment par la respiration (Production < Respiration) : d'où la pauvreté en oxygène. En revanche, le 30 août, période de fort développement des Chaetoceros, la photosynthèse est active et la production d'oxygène importante (Production > Respiration).

- En ce qui concerne les variations intra-campagne, remarquons l'homogénéité des prélèvements du 30 août et l'hétérogénéité de ceux du 2 juillet. Les conditions extrêmes pour nombre de variables : température, salinité, nitrates, chlorophylle, indice pigmentaire, oxygène ... à la fin du mois d'août font que la campagne correspondante est bien caractérisée et la dispersion spatiale entre prélèvements faible. En revanche, début juillet, période durant laquelle l'évolution de ces paramètres est rapide, une différenciation s'établit car, en certains points du site, les valeurs enregistrées pour une même variable sont parfois difficilement comparables.

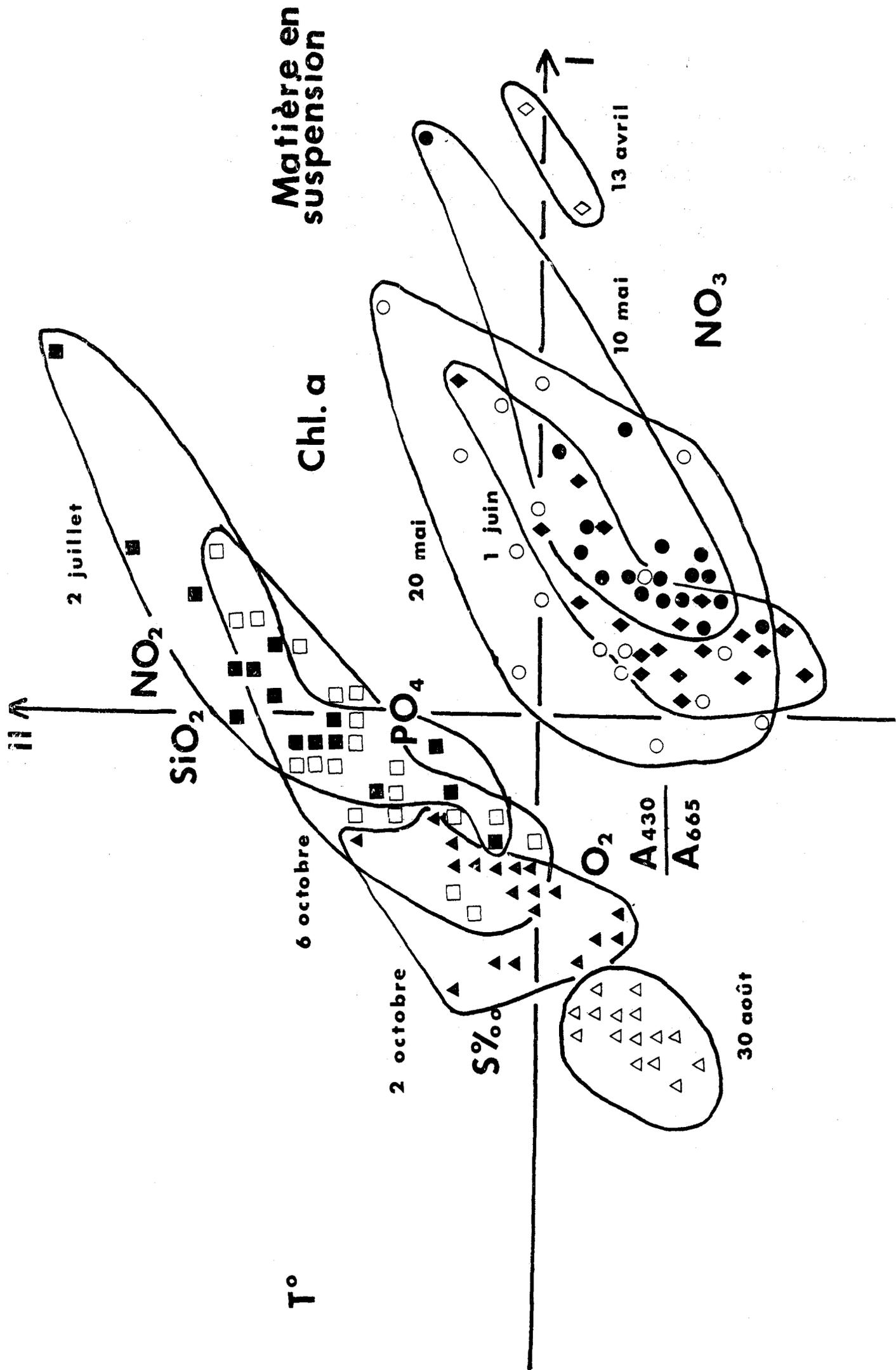


Fig. 4 : Hydrobiologie. Variations annuelles.

Répartition des points - prélèvements, et des variables dans le plan

I - II de l'analyse d'inertie avec pondération des prélèvements.

A la suite de cette analyse générale, quelques études réalisées au niveau de chaque campagne seront exposées et permettront de mettre en évidence, s'il y a lieu, des variations spatiales ou de niveaux établies en divers points du site pour ces mêmes paramètres. Avant d'y parvenir, remarquons que le fait de ne point obtenir de variations inter et intra-campagnes pour le deuxième groupe peut résulter de ce que les campagnes comprenant beaucoup de prélèvements "écrasent" de leurs variations celles qui en ont moins. Aussi avons nous effectué une seconde analyse en attribuant des poids différents aux prélèvements de façon à compenser ce biais.

## 2. Deuxième analyse générale (fig. 2)

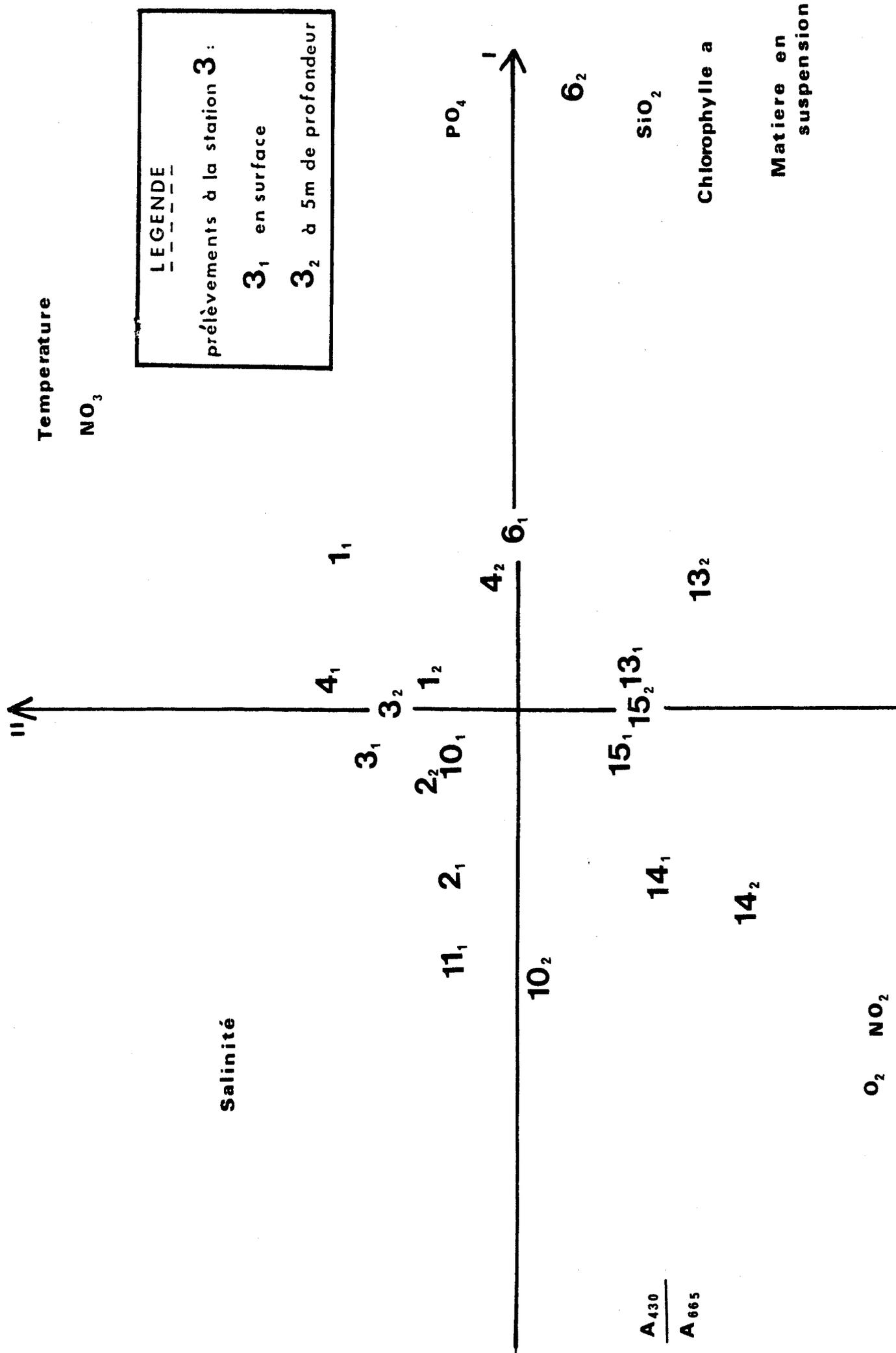
Chaque prélèvement est affecté d'un poids égal à l'inverse du nombre de prélèvements composant la campagne dans laquelle il se trouve (ex. : pour une campagne comprenant 15 prélèvements, chacun d'entre eux sera muni du poids 1/15). Ainsi redonne-t-on plus d'importance aux missions comptant peu de stations tout en limitant celle des missions très complètes.

Le plan I - II (fig. 2) exprime 50 % de l'inertie totale de l'ensemble des points. La part d'explication correspondante est légèrement meilleure que précédemment. La séparation en deux groupes est exactement la même que celle trouvée auparavant : d'une part les campagnes des 2 juillet, 30 août, 2 et 6 octobre, d'autre part toutes les autres. Dans le premier groupe les missions se différencient assez bien les une des autres, dans le second toutes sont encore mélangées. La structure générale n'est donc pas affectée par une pondération différente des prélèvements. Les variables les plus contributives sont la température, les nitrates et la matière en suspension sur le premier axe et nitrites, silicates et chlorophylle a sur le deuxième. On n'enregistre donc pas non plus de modifications importantes pour la structure duale de celle des prélèvements i.e. celle engendrée par les variables hydrobiologiques.

## II. ANALYSES PARTICULIERES

### 1. 9 - 10 mai (fig. 3 et 4)

Cette campagne a été réalisée en deux jours : le 9 mai ont été mesurées les stations 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10 et 11, le 10 mai les stations 7, 8,



A 430  
 A 665

fig. 3 : Hydrobiologie l'campagne du 10 mai 1975  
 Répartition des points - prélèvements et des variables dans le plan  
 I - II de l'analyse d'inertie.

5, 12, 13, 14 et 15. (Les stations 7, 8, 9 et 12 n'ont pas été prises en compte dans l'analyse faute de données suffisamment complètes).

Le plan engendré par les deux premiers axes (fig. 3) rend compte d'une opposition entre les prélèvements effectués le 9 mai et ceux effectués le 10. Il serait hasardeux de n'y voir qu'une modification hydrobiologique du milieu d'une journée à l'autre plutôt qu'une différence intrinsèque entre les eaux situées à l'ouest du port (stations 1, 2, 3, 4, 5, 10 et même 11) et celles placées à l'est (stations 13, 14, 15). Cela illustre bien le problème posé par l'interaction temps-espace dans l'étude des masses d'eau. La température, les nitrates et la matière en suspension rendent compte de 64 % de l'inertie sur l'axe II et l'on peut attribuer à ces facteurs l'essentiel de la variation entre les deux secteurs. A l'intérieur de chacun des groupes, l'axe I sépare les stations du large de celles de la côte : celles-ci comptent davantage de matière en suspension, de chlorophylle et de silicates tandis que celles-là enregistrent des valeurs élevées de l'indice pigmentaire. Quant à l'axe III (fig. 4), il oppose la surface au niveau de profondeur 5 m ; cela est dû principalement aux nitrites, phosphates, phaeopigments et à la salinité. Cependant, il est à remarquer que si, pour les stations 1, 2, 4, la surface est plus riche en sels nutritifs et moins salée qu'à 5 m, il n'y a pas de différence notable pour les stations 5 et 10 tandis qu'en 13, 14 et 15 le gradient s'inverse : l'eau est moins salée à 5 m de profondeur qu'en surface et compte plus de nitrites, phosphates et phaeopigments.

## 2. 20 mai (fig. 5 et 6)

L'axe I (fig. 5) sépare les stations 1, 4, 5, 6, 8 et 9 situées à la côte des stations 2, 3, 10 et 11 placées plutôt au large, ces dernières étant moins abondantes en matière en suspension et en chlorophylle et moins riches en sels nutritifs (nitrites, phosphates, silicates) que les premières. Nous observons sur l'axe III (fig. 6) une stratification par niveaux, la surface plus chaude est plus riche en nitrates tandis qu'à 5 m de profondeur l'indice de diversité pigmentaire présente des valeurs élevées.

## 3. 1 juin (fig. 7 et 8)

Les variations les plus importantes que l'on enregistre lors de cette campagne sont celles concernant la profondeur (plan I-II : fig. 7).

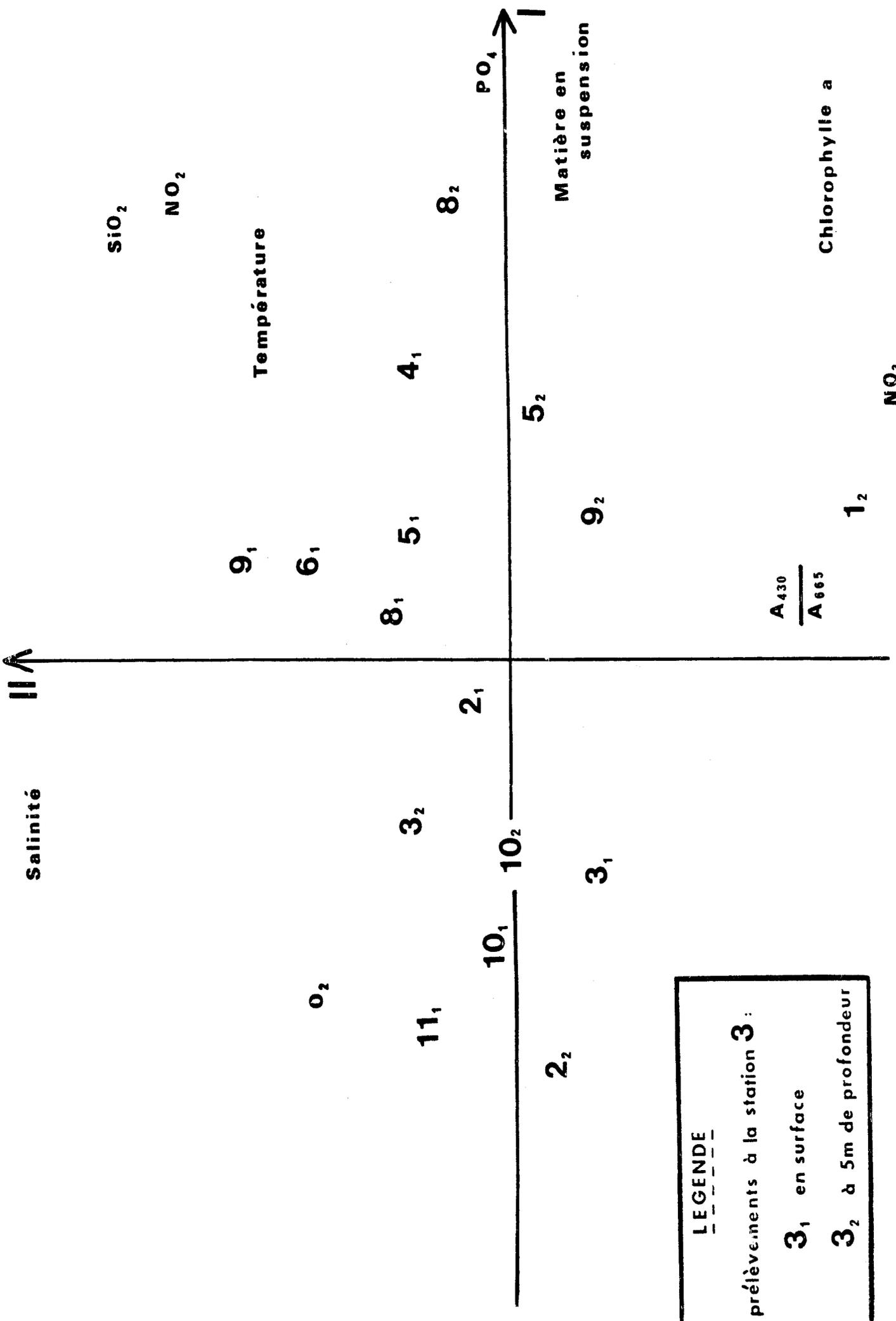
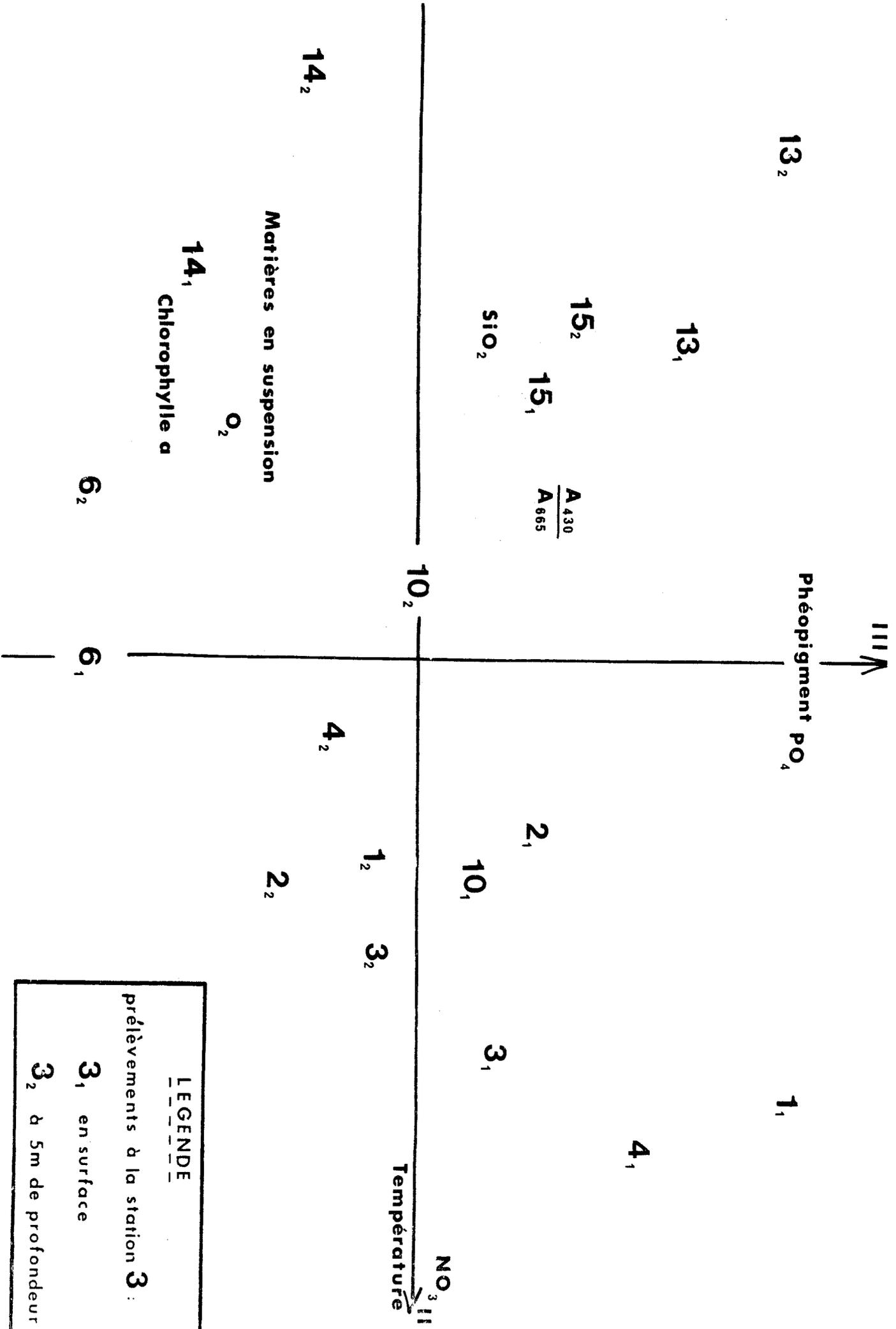


Fig. 5 : Hydrobiologie - Campagne du 20 mai 1975

Répartition des points - prélèvements et des variables dans le plan



**LEGENDE**  
 prélèvements à la station 3 :  
 3<sub>1</sub> en surface  
 3<sub>2</sub> à 5m de profondeur

Fig. 4 : Hydrobiologie - Campagne du 10 mai 1975  
 Répartition des points prélèvements et des variables dans le plan  
 II - III de l'analyse d'inertie.

III

A 430

A 665

Matière en suspension

5<sub>2</sub>

Chlorophylle a

9<sub>2</sub>

2<sub>2</sub>

10<sub>2</sub>

3<sub>2</sub>

1<sub>2</sub>

2<sub>11</sub>

9<sub>1</sub>

Pheopigment

1<sub>1</sub>

5<sub>1</sub>

PO<sub>4</sub>

3<sub>1</sub>

4<sub>1</sub>

10<sub>1</sub>

8<sub>1</sub>

6<sub>1</sub>

9<sub>1</sub>

O<sub>2</sub>

NO<sub>2</sub>

Salinite

SiO<sub>2</sub>

II

LEGENDE

prélèvements à la station 3 :

3<sub>1</sub> en surface

3<sub>2</sub> à 5m de profondeur

Temperature

NO<sub>3</sub>

Fig. 6 : Hydrobiologie - Campagne du 20 mai 1975

Répartition des points - prélèvements, et des variables dans le plan

II - III de l'analyse d'inertie.

La surface est plus chaude que le niveau 5 m cependant que celui-ci est plus riche en phaéopigments; matière en suspension et chlorophylle a ; seules les stations 2 et 14 ont un gradient inverse.

L'oxygène, les phosphates et l'indice pigmentaire ont une contribution respective de 40 %, 26 % et 13 % à l'inertie de l'axe III (fig. 8). Des facteurs séparent la surface du niveau 5 m différemment suivant les stations : les points 1, 2, 4, 7 et 9 présentent une surface moins oxygénée que la profondeur 5 m mais plus riche en phosphates alors qu'en 10, 11, 13 et 14, c'est exactement l'inverse. Nous observons donc une stratification par niveaux différente selon que les eaux se trouvent à l'ouest du port ou à l'est.

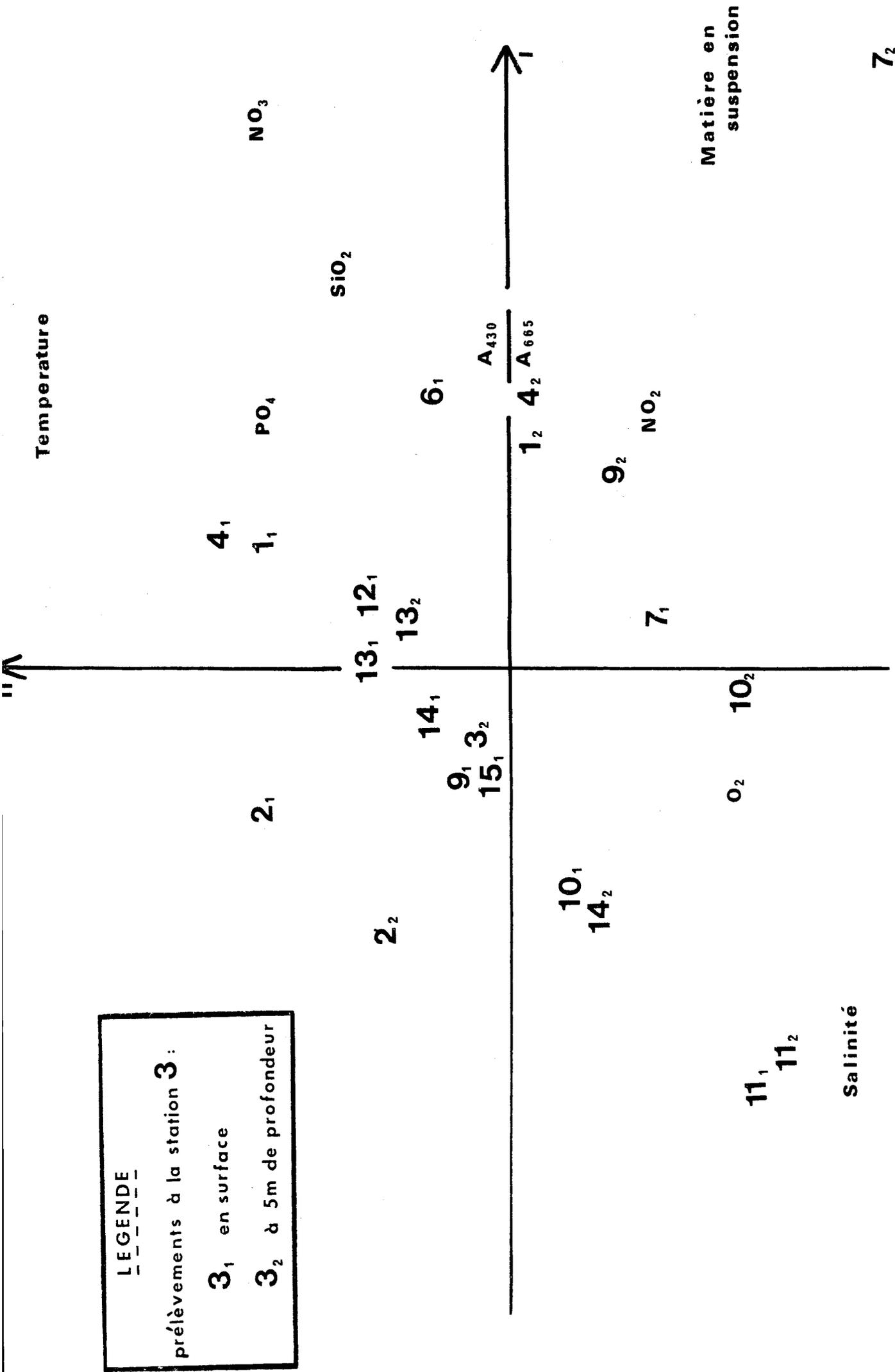
#### 4. 2 juillet (fig. 9 et 10)

Une partition est-ouest est mise en évidence selon le premier axe (fig. 9), isolant les points 2, 3, 4, 6, 8 et 9 des points 12, 13 et 15 (abstraction faite du point 11 qui présente en surface une salinité très élevée). Cela est dû essentiellement à la salinité, aux matières en suspension et aux nitrites.

Quant à la température et aux phosphates, ils séparent la surface du niveau de profondeur 5 m (axe III, fig. 10).

#### 5. 30 août (fig. 11 et 12)

Pour cette campagne, on observe un gradient côte-large très prononcé le long de l'axe I (fig. 11) : sur la partie droite de l'axe les stations 3, 6, 7 et 8, les plus à la côte (les points 1, 4 et 5 n'ont pas été pris en compte), au milieu les stations 2, 9, 10, 12, 13 et 15 et enfin, à gauche, les points les plus au large 11 et 14. Responsables de cette distinction très nette : d'une part la température et la chlorophylle qui, élevées à la côte vont en décroissant vers le large, d'autre part la salinité et l'indice de diversité pigmentaire qui décroissent du large vers la côte. Sur l'axe II, oxygène et matière en suspension se trouvent opposés aux nitrites et prennent des valeurs élevées à la surface des stations 6, 8, 12 et 15. Ce phénomène est sans doute dû à deux causes bien distinctes : d'une part l'approvisionnement en oxygène et en matière en suspension par l'Aa aux points 6 et 8, d'autre part l'influence des eaux du port en 12 et 15. Il est à remarquer que ces points sont situés respectivement à l'est de l'Aa et du port et que la tendance gé-



**LEGENDE**

prélèvements à la station **3** :

**3<sub>1</sub>** en surface

**3<sub>2</sub>** à 5m de profondeur

Fig. 2 : Hydrobiologie - Campagne du 1 juin 1975.

Répartition des points prélèvements et des variables dans le plan I - II de l'analyse d'inertie.

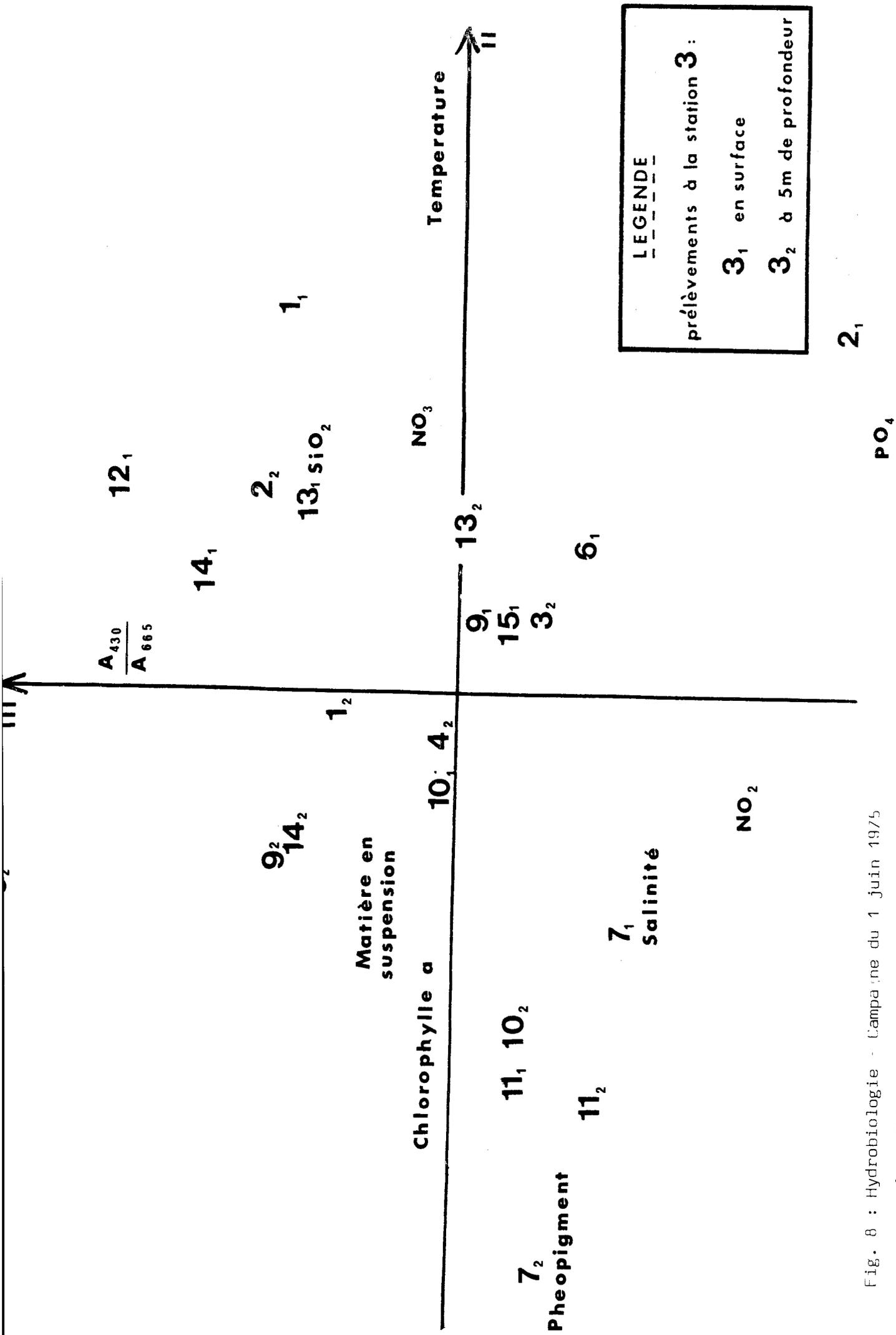


Fig. 8 : Hydrobiologie - Campagne du 1 juin 1975  
 Répartition des points - prélèvements et des variables dans le plan  
 II - III de l'analyse d'inertie.

$\frac{A_{430}}{A_{665}}$

II

**LEGENDE**  
prélèvements à la station 3 :  
3<sub>1</sub> en surface  
3<sub>2</sub> à 5m de profondeur

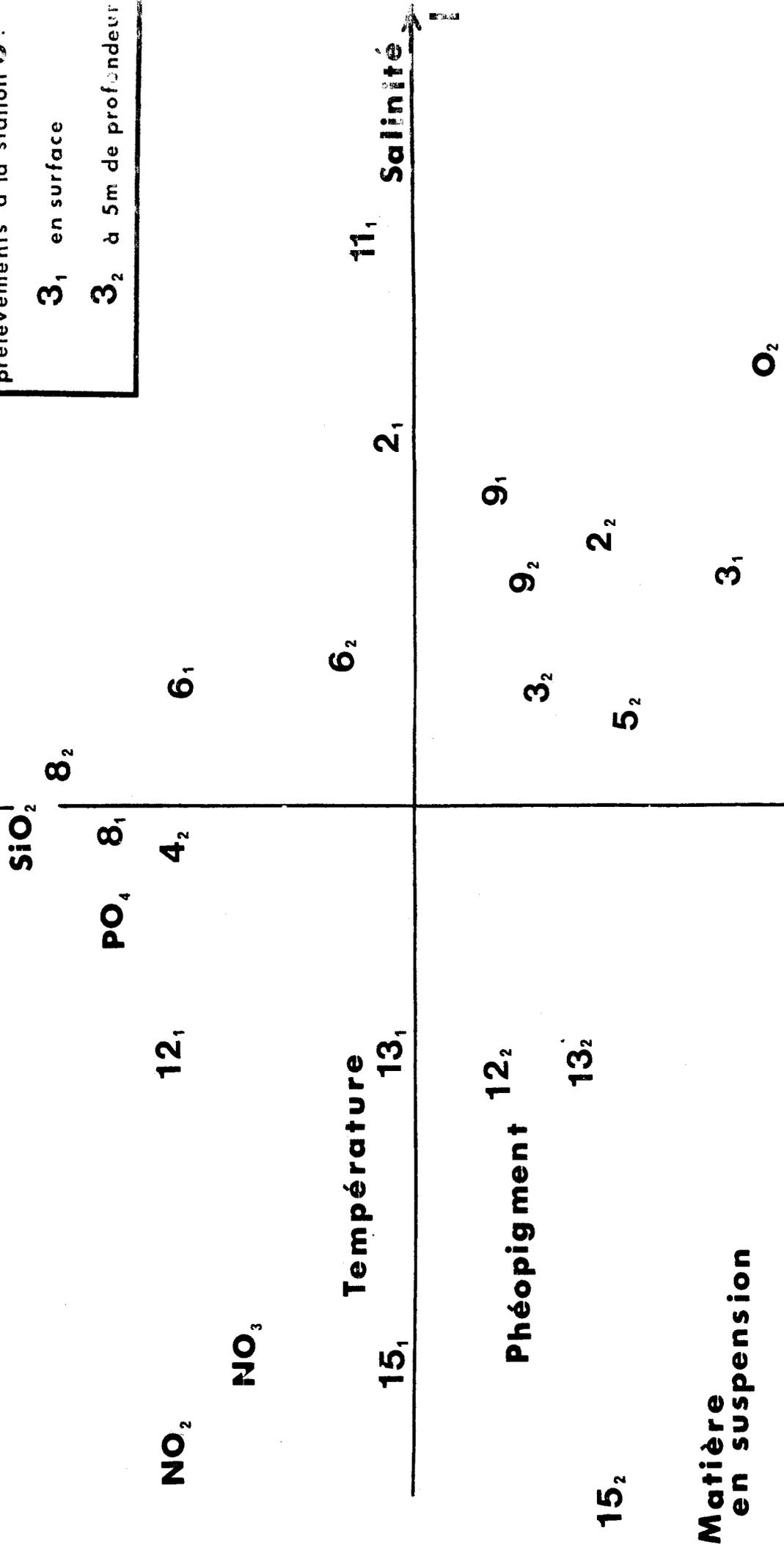


Fig. 3 : Hydrobiologie - Campagne du 2 juillet 1974

Répartition des points : prélèvements et des variables dans le plan  
I - II de l'analyse d'inertie.

### Chlorophylle a

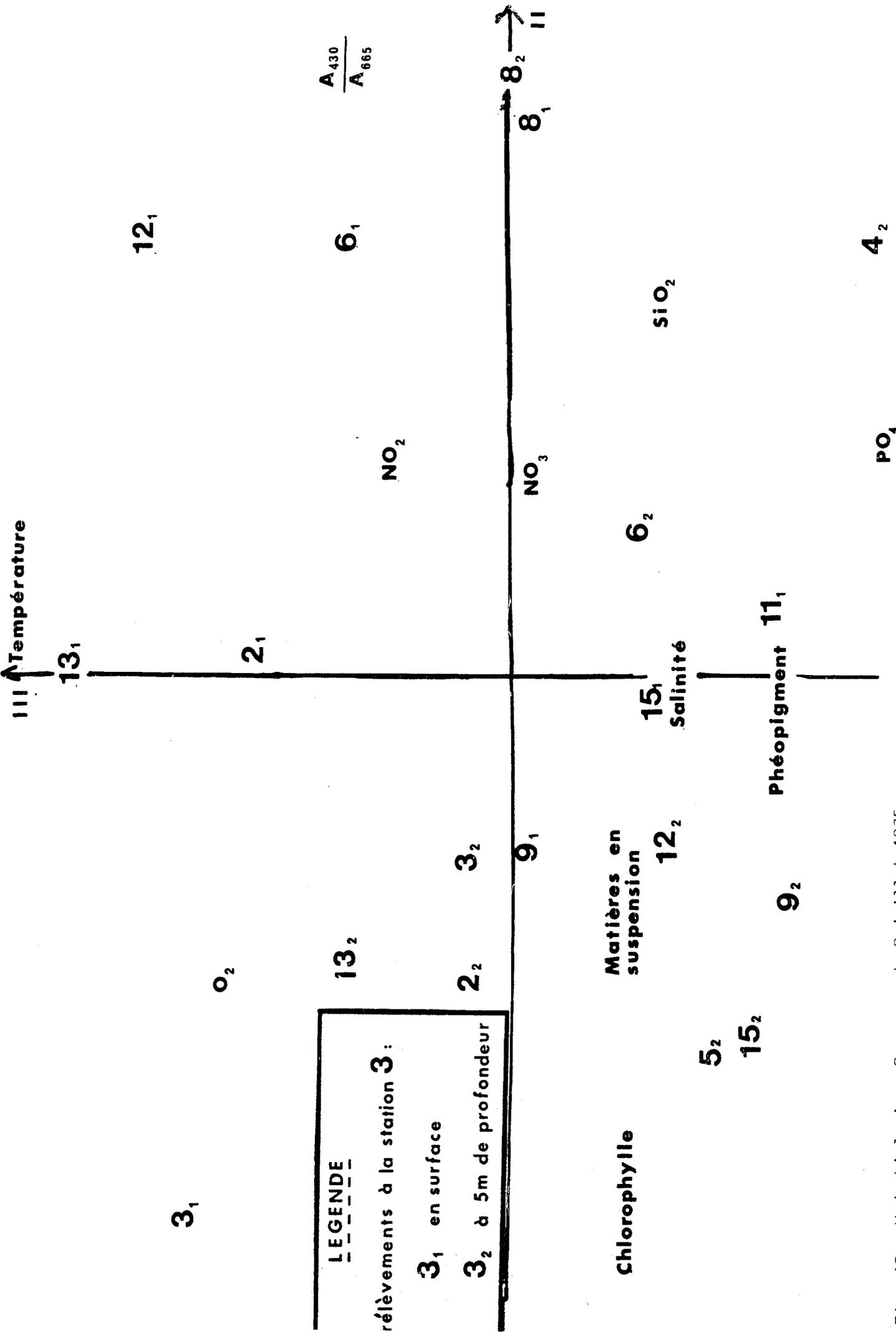
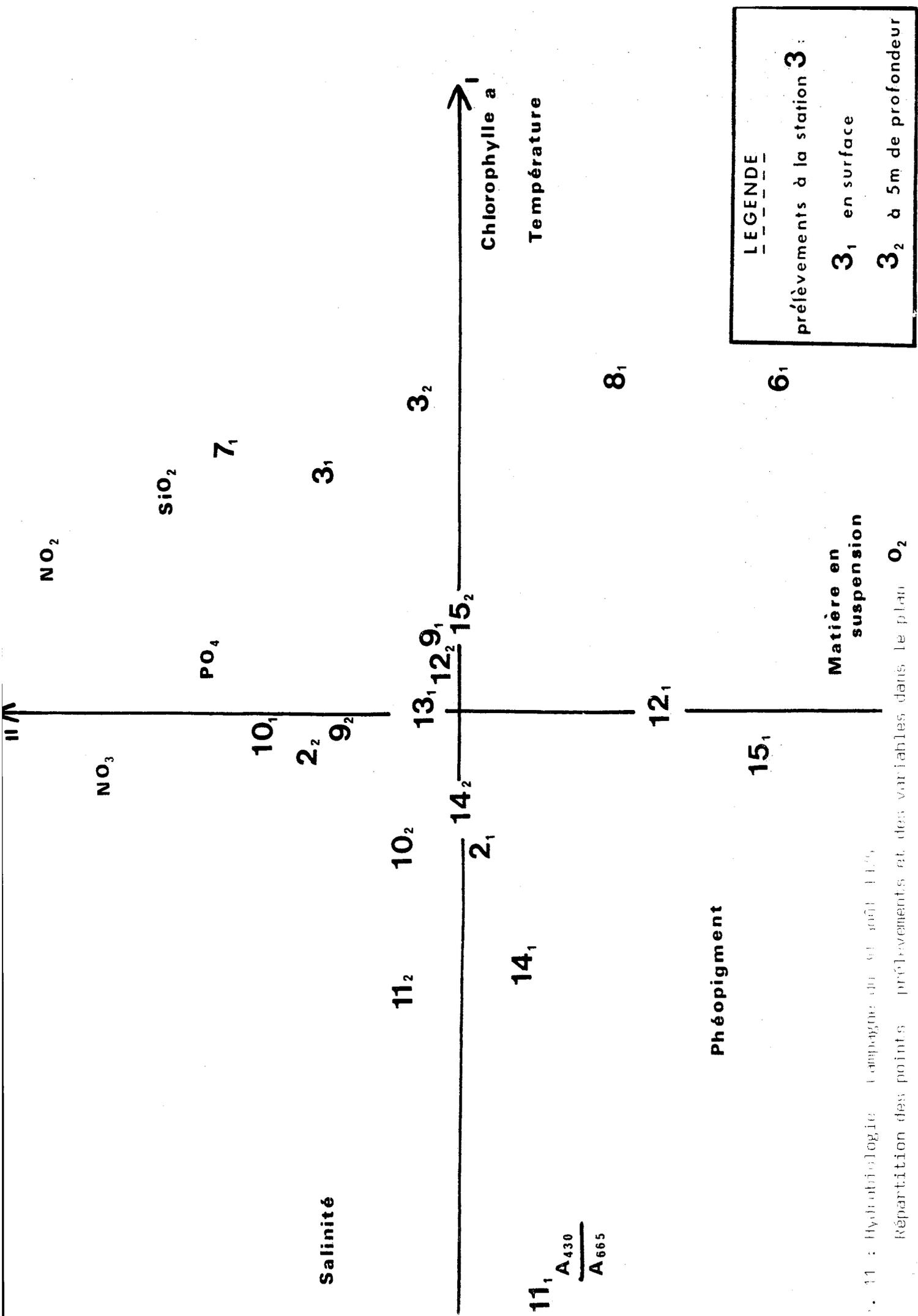


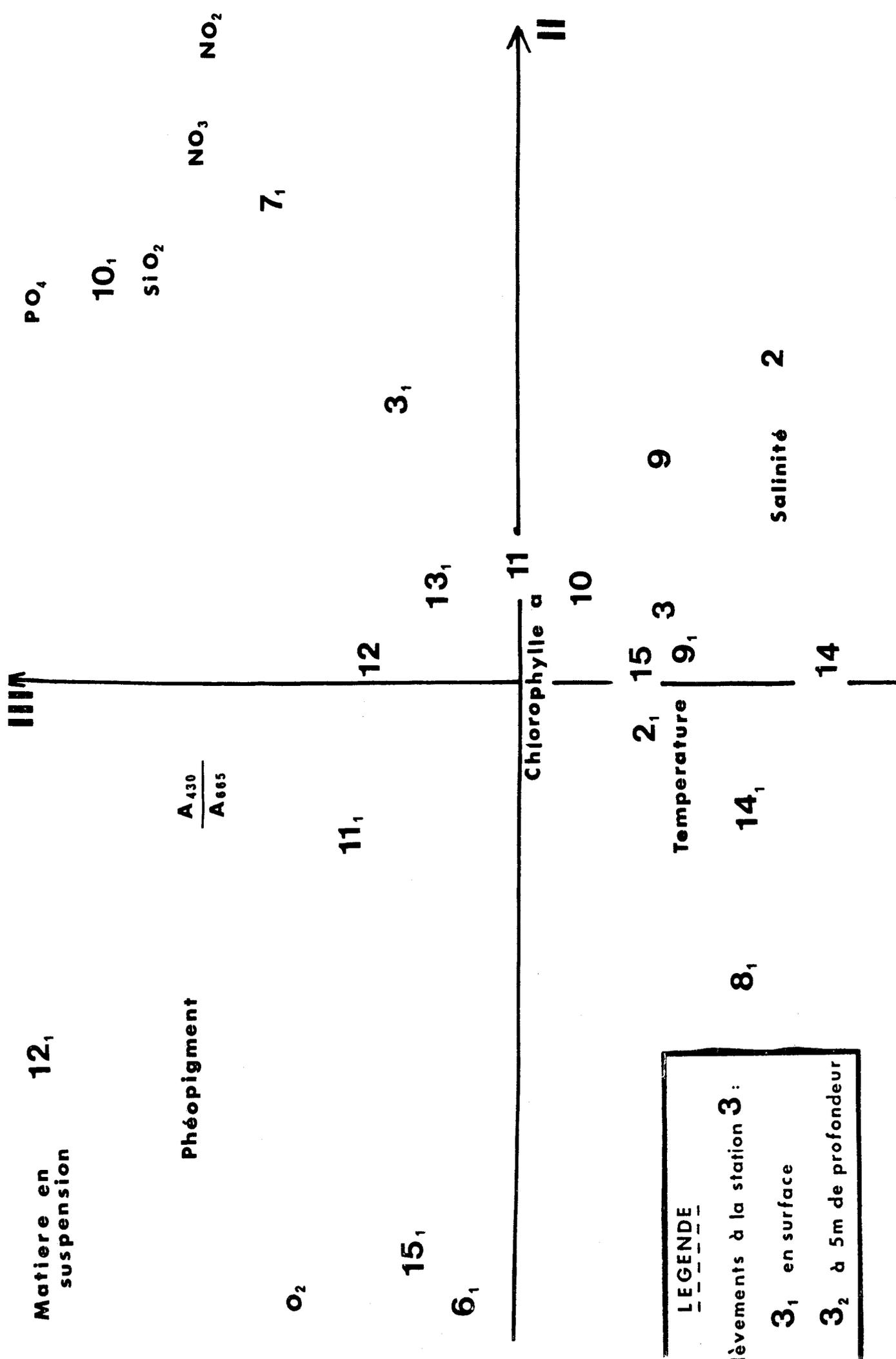
Fig. 10 : Hydrobiologie - Campagne du 2 juillet 1975  
 Répartition des points - prélèvements et des variables dans le plan  
 II - III de l'analyse d'inertie.



**LEGENDE**  
 prélèvements à la station **3** :  
**3<sub>1</sub>** en surface  
**3<sub>2</sub>** à 5m de profondeur

Fig. 11 : Hydrobiologie - Campagne de mai-août 1974  
 Répartition des points - prélèvements et des variables dans le plan O<sub>2</sub>  
 I - II de l'analyse d'inertie.

11<sub>1</sub>, A<sub>430</sub>  
 A<sub>665</sub>



**LEGENDE**  
 Prélèvements à la station 3 :  
 3<sub>1</sub> en surface  
 3<sub>2</sub> à 5m de profondeur

Fig. 12 : Hydrobiologie Campagne du 30 août 1975  
 Répartition des points prélèvements et des variables dans le plan  
 II III de l'analyse d'inertie.

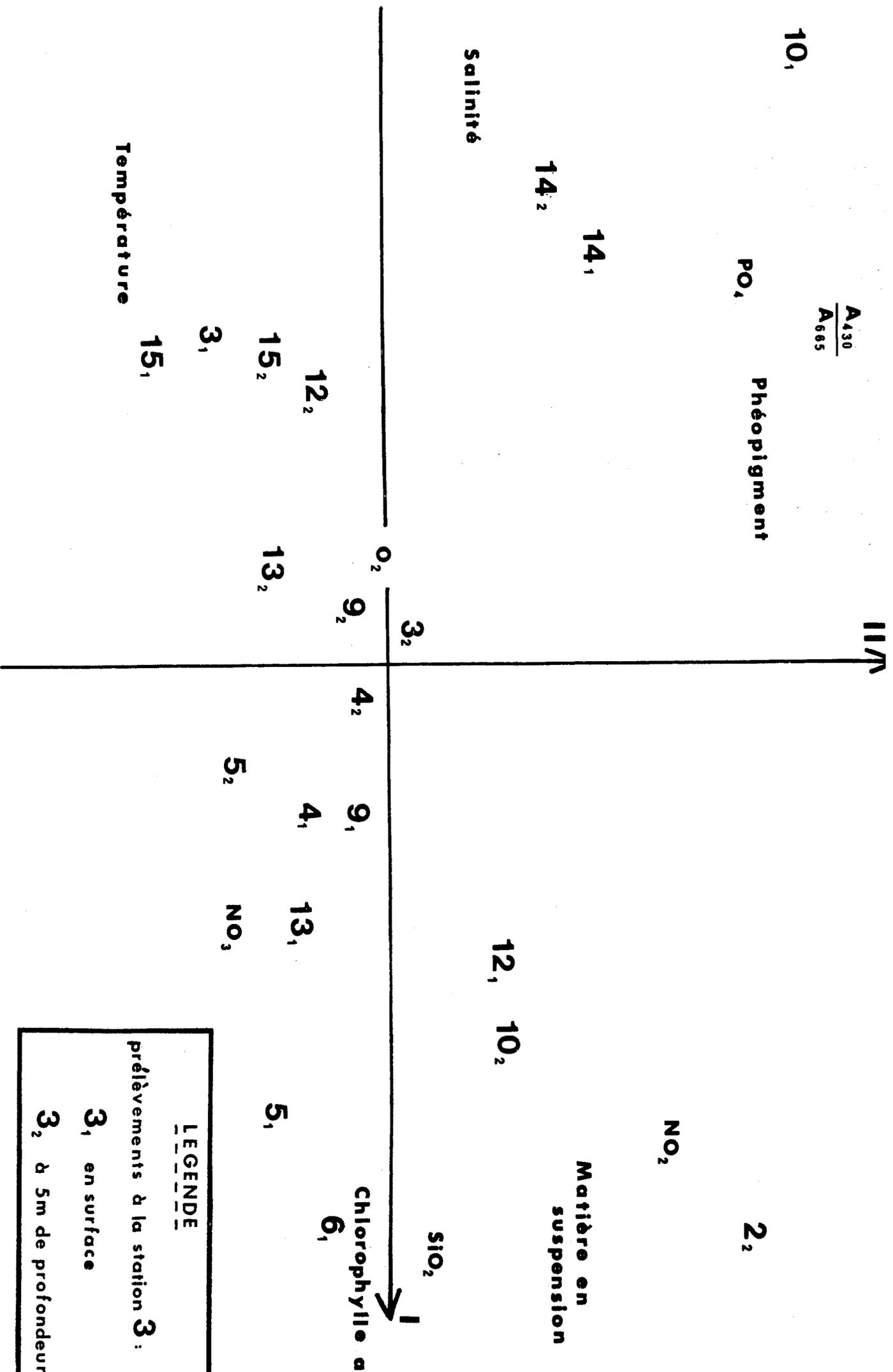


Fig. 13 : Hydrobiologie Campagne du 6 octobre 1975

Répartition des points - prélèvements et des variables dans le plan I - II de l'analyse d'inertie.

nérale des courants de marée contribue à influencer davantage ces stations que les autres. L'axe III (fig. 12) présente, une fois encore, une stratification verticale due principalement aux matières en suspension et aux sels nutritifs.

#### 6. 6 octobre (fig. 13)

Considérant seulement les prélèvements de surface, on peut mettre en évidence le long du premier axe (fig. 13) un gradient côte-large : d'abord les stations 5 et 6, puis 4, 9, 12 et 13, au delà 3 et 15, enfin les points 10 et 14 les plus au large. La salinité (17 % de l'inertie de l'axe I) décroît de la côte vers le large tandis que la matière en suspension, la chlorophylle et les silicates (respectivement 13 %, 15 % et 17 % de l'inertie de l'axe I) croissent de la côte vers le large. A 5 m de profondeur, rien n'apparaît d'une façon aussi nette.

### III. RESUME

La structure hydrobiologique du site de Gravelines est caractérisée par la division du cycle annuel en 2 périodes :

- une période de grande stabilité de février à juin pendant laquelle les conditions hydrobiologiques sont homogènes dans le temps (saison froide),
- une période à forte variabilité hydrobiologique de juillet à octobre (saison chaude).

L'existence de ces deux "saisons hydrobiologiques" est principalement due aux facteurs "température et salinité" qui atteignent leur maximum en août, (fig. 31 du rapport écologique) et aux nitrates, caractéristiques de la saison froide et liés aux apports d'eau douce de l'Aa.

Les paramètres responsables des fortes variations enregistrées durant la saison "chaude" outre la température et la salinité, sont de nature phyto-planctonique (chlorophylle a, indice de diversité pigmentaire). Les plus grandes modifications de structure sont observées entre les campagnes du 2 juillet et celle du 30 août. L'examen des proximités entre campagnes durant la saison "chaude" suggère l'existence d'un cycle estival.

Le fait fondamental de l'étude des relations entre paramètres sur la durée du cycle annuel est l'existence d'une relation inverse entre nitrates d'une part et salinité - température d'autre part, relation liée aux apports de l'Aa.

Les variations spatiales de la structure hydrobiologique mises en évidence campagne par campagne témoignent d'un gradient côte-large très instable, influencé par les eaux de l'Aa et de l'avant-port de Dunkerque. Cette structure fait apparaître l'existence d'une lentille d'eau piégée entre l'Aa et l'avant-port, dont la forme et l'étendue sont variables selon les campagnes: notons que les conditions hydrodynamiques sont peu favorables à la dilution dans cette zone. L'analyse met également en évidence un gradient vertical plus ou moins net selon les campagnes. L'ensemble des variations spatiales ne représente qu'une faible part de la variance totale du phénomène.

PHYTOPLANKTON

I. ETUDE GENERALE

1. Introduction

- Pour cette analyse générale, neuf campagnes sur dix ont été retenues : 17 novembre 1974, 2 - 9 février 1975, 13 - 19 avril, 10 mai, 20 mai, 1 juin, 2 juillet, 29 - 30 août, 2 octobre. La campagne du 29 septembre 1974 a été éliminée en raison de la pauvreté de ses mesures.

- D'autre part, les espèces peu représentées durant l'année -dont le nombre est important- n'ont pas été considérées ; en effet, dans la perspective d'une étude quantitative, l'information apportée par celles-ci sur le cycle du phytoplancton a été jugée négligeable. Aussi, seules les 28 espèces les plus abondantes -représentant entre 85 et 95 % du nombre total de cellules par prélèvement- ont été retenues pour cette étude.

- Les données brutes ont été transformées par la fonction  $\log(x+1)$  de façon à diminuer les effets dus à la surdispersion. De plus, les prélèvements ont été centrés et non réduits afin d'atténuer la variabilité intracampagne (i.e. éviter les décalages systématiques de densité dus aux biais d'échantillonnage) et de maintenir les effets de poussée saisonnière (bloom).

2. Résultats

- Le premier axe (fig. 14) oppose deux campagnes : celle du 10 mai et celle du 30 août. Entre ces deux extrêmes se placent les autres missions. Les espèces contribuant le plus à l'axe I (fig. 15) sont les *Chaetoceros* : *Total Chaetoceros*, *Chaetoceros curvisetum*, *Chaetoceros spp.* et autres *Chaetoceros* expliquent 51 % de la variance selon ce premier axe. Leur maximum d'abondance se situe les 29 et 30 août (fig. 72 du rapport écologique). Elles sont pratiquement inexistantes durant les mois précédents et apparaissent brusquement à la fin août. Elles sont encore présentes début octobre mais en plus petit nombre. Le genre *Chaetoceros* est donc caractéristique de cette période de l'année. Avec les *Chaetoceros*, signalons la présence des *Tha-*

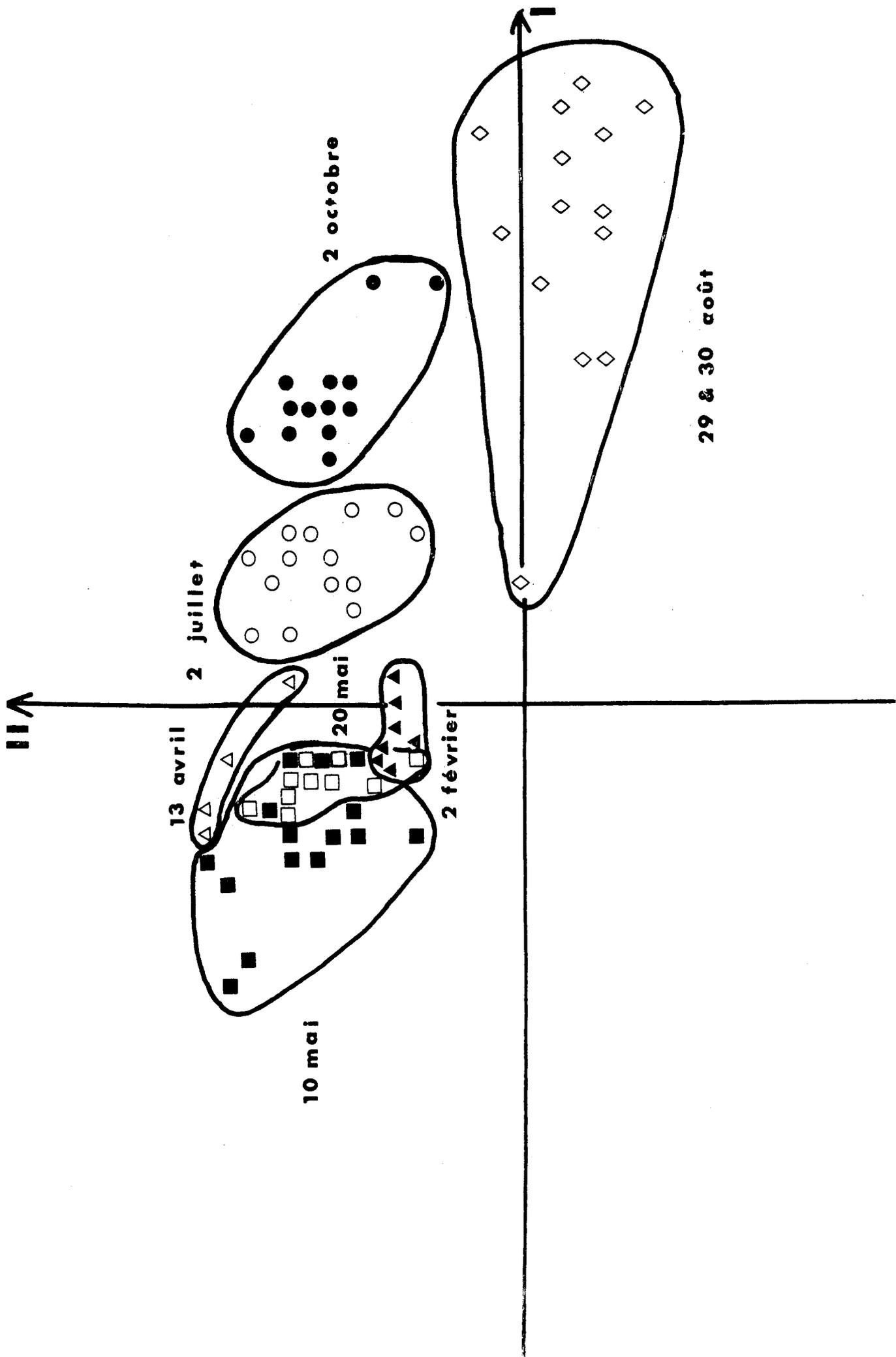


Fig. 14 : Phytoplancton Cycle annuel  
 Répartition des points - prélèvements dans le plan I - II de l'analyse d'inertie générale.

*Thalassiosira* (*Total Thalassiosira* a une contribution de 6 % sur l'axe 1) mais ils sont moins abondants que les *Chaetoceros*.

A l'opposé du 30 août sur l'axe I, se trouve la campagne du 10 mai. C'est la période du bloom printanier dû essentiellement à la poussée de *Fragilaria* sp., *Asterionella japonica*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia seriata*, *Nitzschia closterium* et *Thalassionema nitzschioides*. Ces espèces ont, en outre la propriété d'être pratiquement absentes à la fin août, c'est pourquoi elles sont les plus contributives à l'axe II qui sépare le 30 août des autres campagnes (56 % de l'inertie du 2ème axe pour ces six espèces). A l'opposé de ces dernières le long de l'axe II, se trouvent des espèces qui apparaissent uniquement en août tout en étant moins abondantes que les *Chaetoceros* : ainsi les *Rhizosolenia* (*Rhizosolenia schrubsolei*, *Rhizosolenia stolterfothii*, *Rhizosolenia delicatula*), *Cerataulina pelagica*, *Leptocylindrus danicus* et *Thalassiosira nordenskioldii*.

Donc, sur ce premier plan, apparaissent deux faits principaux : d'une part, en mai, développement important d'un grand nombre d'espèces dont principalement *Fragilaria* sp. *Asterionella japonica* et le genre *Nitzschia* ; d'autre part, apparition fin août du genre *Chaetoceros* accompagné de deux genres moins abondants : les *Rhizosolenia* et les *Thalassiosira*.

Examinons maintenant les autres axes de cette analyse :

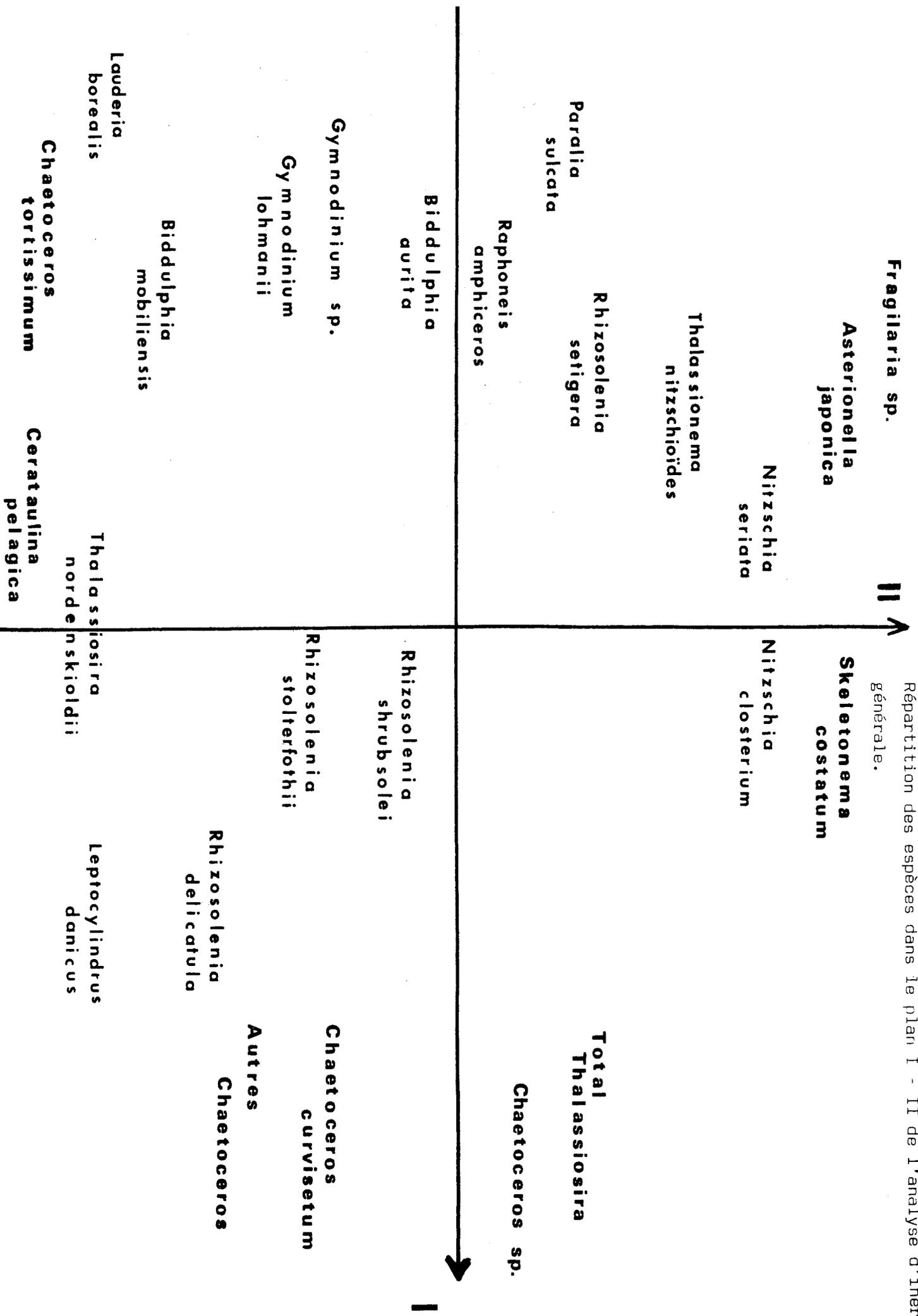
L'axe III (fig. 16) isole la campagne du 2 octobre des autres missions. Cela permet de remarquer la présence de *Navicula* sp. dont l'abondance est maximale en cette période de l'année, des *Biddulphia* (*Biddulphia aurita* et *Biddulphia mabiliensis*) ainsi que de *Chaetoceros curvisetum* qui reste encore important. En revanche, tous les *Rhizosolenia* ont pratiquement disparu, et ce, un mois après avoir atteint leur maximum.

L'axe IV (fig. 17) fait ressortir la campagne du 2 juillet. *Fragilaria* sp. et *Skeletonema costatum*, apparues fortement en mai, ne sont plus très abondantes, tandis que les *Rhizosolenia* commencent à poindre (il semble cependant que l'on n'ait point réussi à trouver de *Rhizosolenia stolterfothii*).

L'axe V (fig. 18), quant à lui, enregistre le fait que, le 20 mai, à la station 1, il y a eu une grande abondance de *Paralia Sulcata*. Le prélèvement correspondant explique à lui seul 12 % de l'inertie de cet axe.

Fig. 15 : Phytoplankton - Cycle annuel

Répartition des espèces dans le plan I - II de l'analyse d'inertie générale.



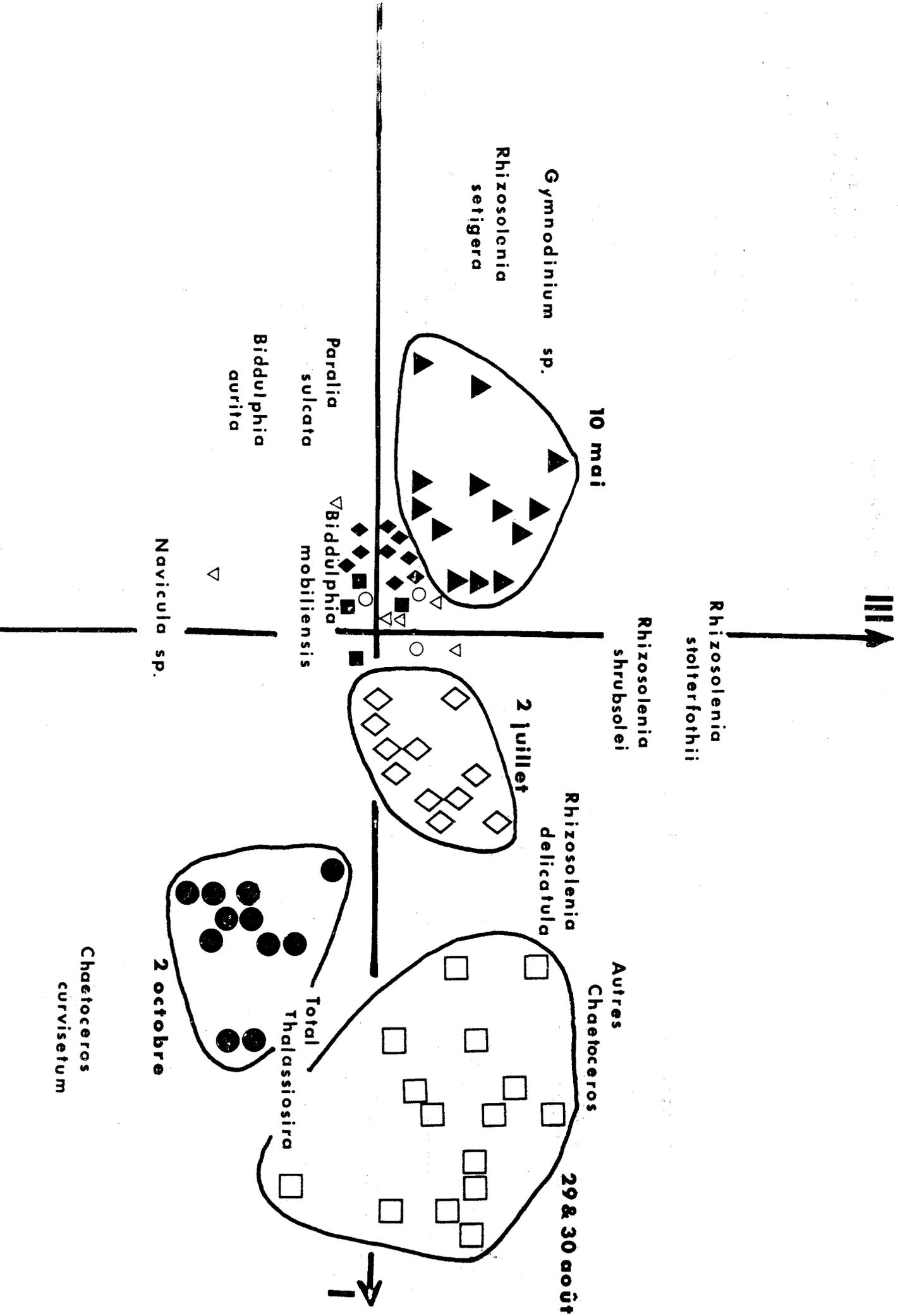
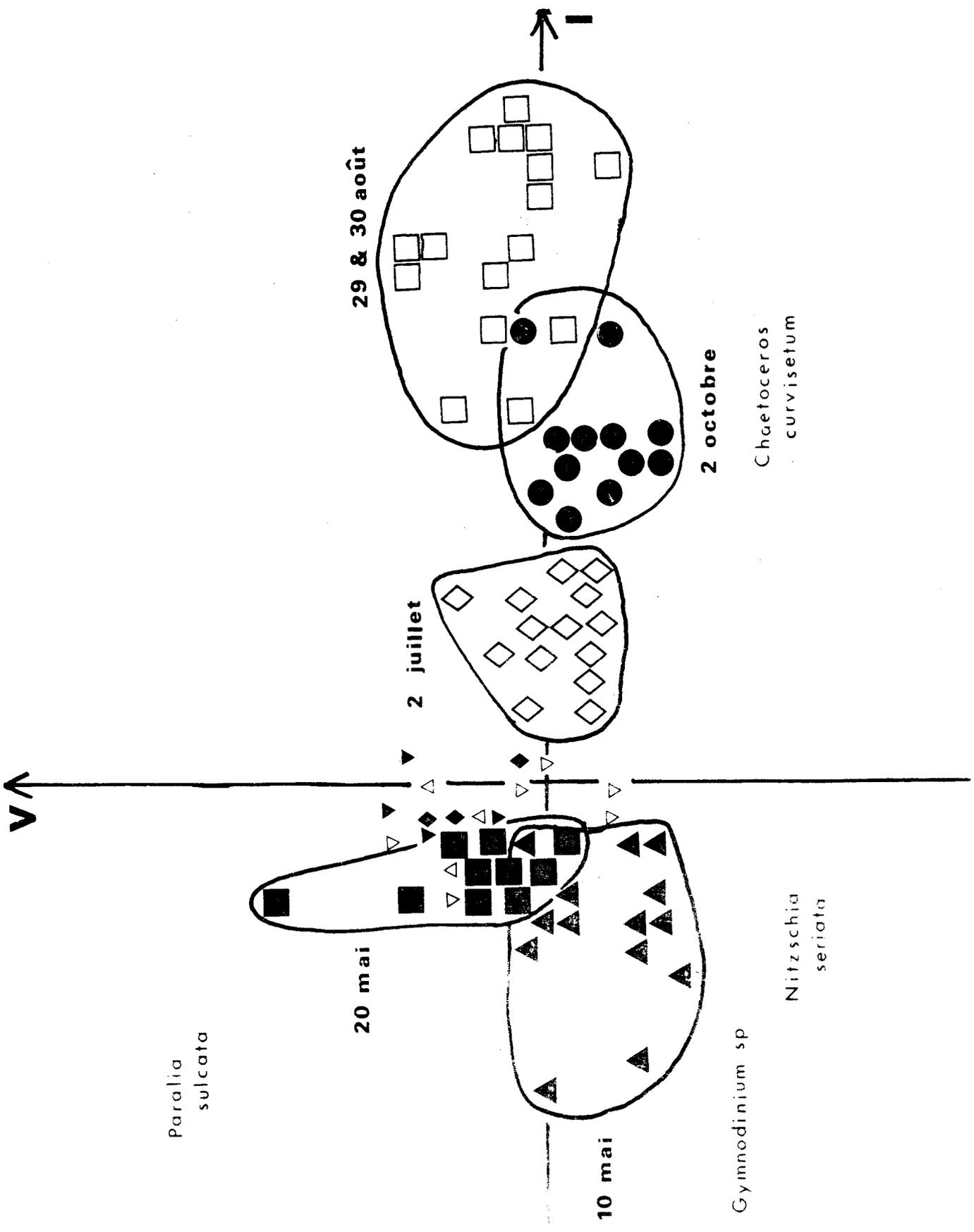


Fig. 16 : Phytoplancton cycle annuel

Répartition des points prélèvements et des espèces dans le plan

I - III de l'analyse générale.



Répartition spatio-temporelle de quatre espèces de diatomées dans le plan vertical (VA) et horizontal (VAH) d'un échantillon de surface de la mer de Chine méridionale. Les dates indiquées correspondent aux dates de prélèvement des échantillons.

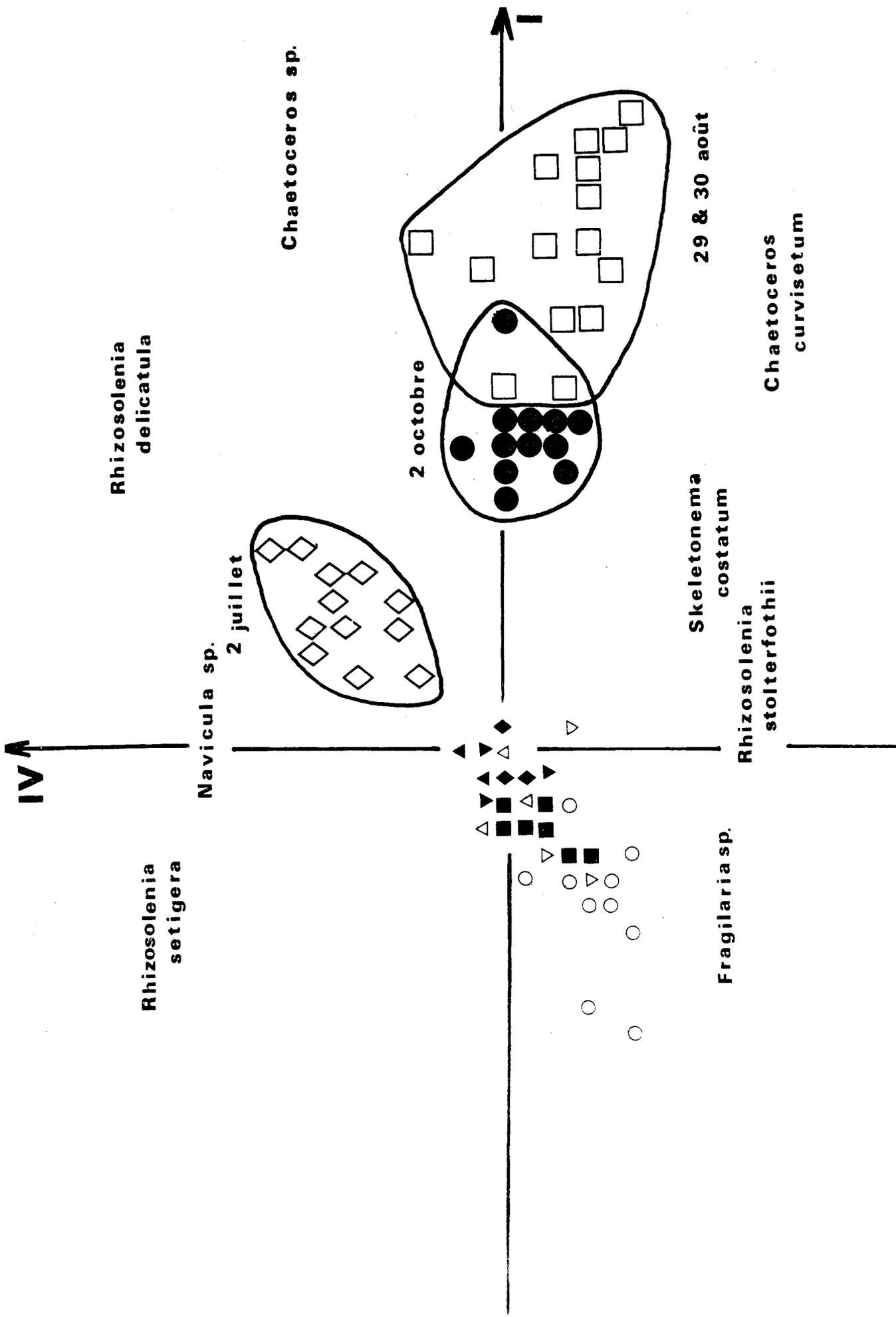


Fig. 10. — Phytoplancton d'un cycle annuel : répartition des différents phénotypes et des espèces dans le plan IV-I (à l'échelle de l'axe horizontal).

III

*Skeletonema  
costatum*

6

*Asterionella  
japonica*

*Thalassionema  
nitzschioides*

9

5

4

12

7

15

8

13

1

*Gymnodinium* sp.

2

14

10

3

*Nitzschia  
seriata*

*Fragilaria* sp.

11

Fig. 11 : Phytoplankton - campagne du 10 mai 1974

Répartition des points - prélèvements et des espèces dans le plan

II - III de l'analyse d'inertie.

## II. ANALYSES PARTICULIERES

- Les dates des campagnes étudiées dans la suite sont choisies en fonction de la qualité et de la quantité des données s'y rapportant. Il n'y a donc pas toujours correspondance entre celles-ci et les missions exploitées dans la partie hydrobiologie.

- D'une façon générale, le premier axe issu de ces analyses n'est pas discriminant (axe trivial). Il représente l'information commune à tous les prélèvements de la campagne considérée et traduit l'importance du contingent d'espèces présentes dans toutes les stations. Le fort pourcentage d'inertie du premier axe (entre 70 et 90 %) quantifie la notion d'homogénéité spatiale du phytoplancton.

Les structures étudiées sont donc celles apparaissant sur le plan II - III.

### 1. 10 mai (fig. 19)

La structure spatiale définie dans le plan II - III (fig. 19) fait apparaître selon l'axe II, deux groupes de stations : 4, 5, 7, 8, 9, 12, 13 et 15 d'une part, 1, 2, 3, 10, 11 et 14 d'autre part. Cette distinction reflète l'existence d'un gradient côte-large visualisé sur la figure 19 bis. On remarque que la station 6 (individualisée par l'axe III) est caractérisée par l'espèce *Skeletonema costatum*. Cette structure met en évidence l'affinité côtière des espèces *Fragilaria sp.* et *Skeletonema costatum* et l'affinité néritique de *Gymnodinium sp.* et *Nitzschia seriata*. Notons que ces espèces sont celles qui contribuent le plus à la distinction de la campagne du 10 mai dans le cycle annuel (fig. 15), période du bloom printanier.

Cette analyse suggère l'existence d'un bloom dont la localisation, au moins au début, est liée au gradient côte-large selon les espèces.

### 2. 2 juillet (fig. 20)

La campagne du 2 juillet est située chronologiquement entre les deux poussées phytoplanctoniques du cycle.

Selon l'axe II (fig. 20), trois groupes de stations sont individualisés (fig. 20 bis). Au pôle positif, les points 1, 3, 4 et 5 situés à l'embouchure de l'Aa, et subissant les apports d'eau douce ; cette zone est caractérisée par *Asterionella japonica*. Un deuxième groupe comprend les stations 6, 8, 9 et 10, identifiant la masse d'eau située entre la côte et la digue ouest du port et qui présente des caractéristiques hydrobiologiques très particulières ; on y trouve des espèces comme *Skeletonema costatum*, *Nitzschia closterium* et *Rhizosolenia setigera* dont les effectifs diminuent à cette époque de l'année. Il en est de même de *Fragilaria sp*, présente uniquement au point 15. Enfin, le troisième ensemble est constitué des stations 2, 7, 11, 13 et 14 qui, à part le point 7, sont considérées comme étant au large. On peut y remarquer le début du développement des *Chaetoceros*.

### 3. 30 août (fig. 21)

La campagne du 30 août correspond au bloom des *Rhizosolenia* et surtout des *Chaetoceros*. Ces deux groupes se placent géographiquement d'une façon différente (fig. 21 bis) : le premier se situe sur le contours extérieur de la zone étudiée (points 11, 14 et 15) ; le deuxième, beaucoup plus abondant, est réparti dans les autres stations. Telle est la distinction montrée par l'axe II (fig. 21).

L'axe III partage les *Chaetoceros* en deux espèces principales : l'une, *Chaetoceros curvisetum*, abondante à la côte (station 3, 4, 5, 6 et 8), l'autre, *Chaetoceros spp.*, située un peu plus au large (station 7, 9, 10 et 13).

### 4. 2 octobre (fig. 22)

Plus qu'une nette distinction entre la côte et le large, on retrouve encore ici une séparation géographique à trois niveaux (fig. 22 bis) : tout d'abord, la partie ouest et à la côte du site (stations 1, 2, 3, 4, 5, 6 et 8) où l'on retrouve *Chaetoceros curvisetum* ; puis une zone intermédiaire composée des points 7, 9, 12 et 13, influencée certainement par le port et comprenant des *Chaetoceros*, des *Thalassiosira* et *Skeletonema costatum* ; enfin, la partie est et au large avec les stations 10, 11, 14 et 15 où l'on remarque principalement la présence de *Chaetoceros sp*.

## III. RESUME

En résumé, le cycle annuel du Phytoplancton est caractérisé par

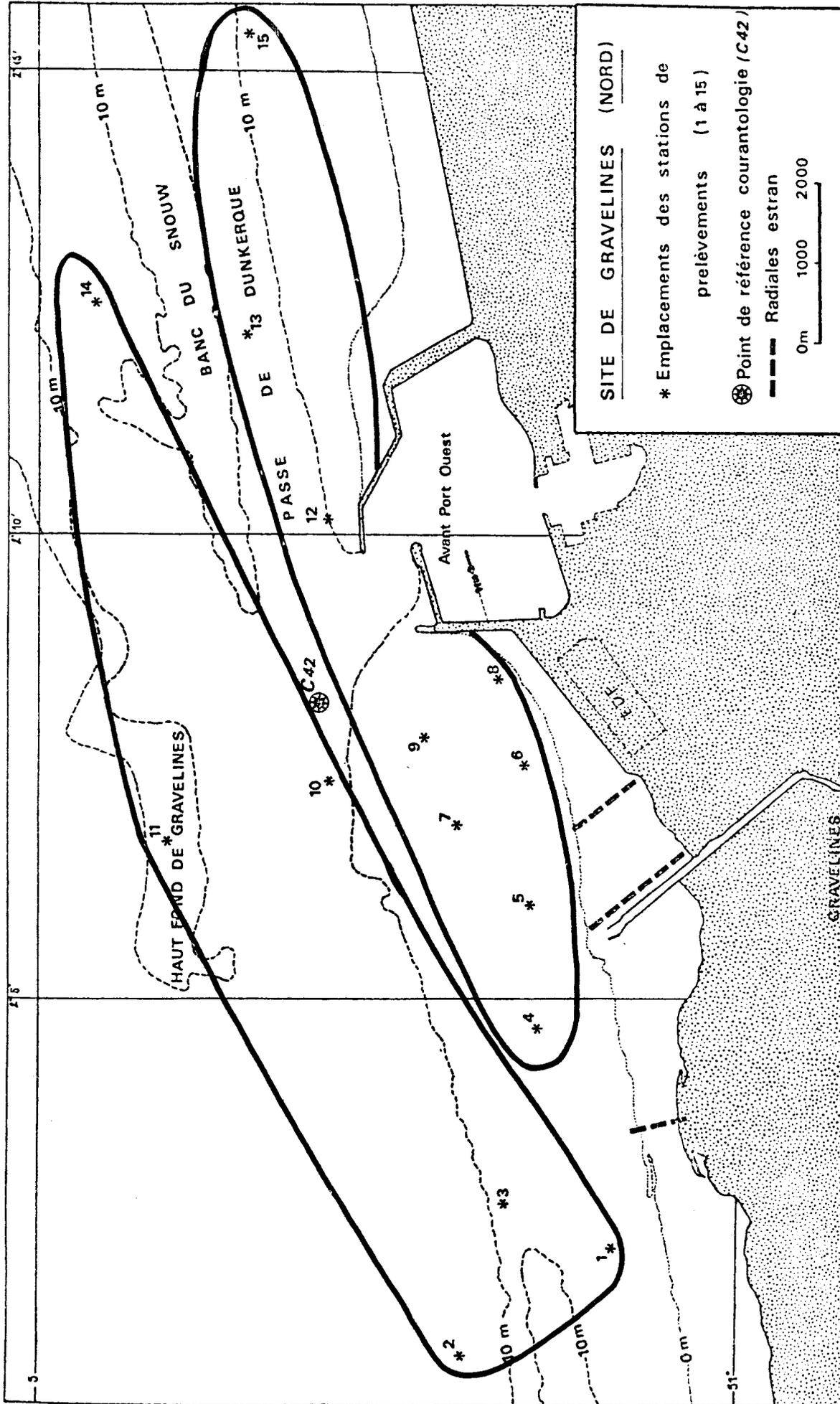


Fig. 19 bis : Phytoplancton - Campagne du 10 mai 1975  
 Distribution spatiale des espèces phytoplanctoniques mise en évidence sur le plan II III de l'analyse d'inertie.



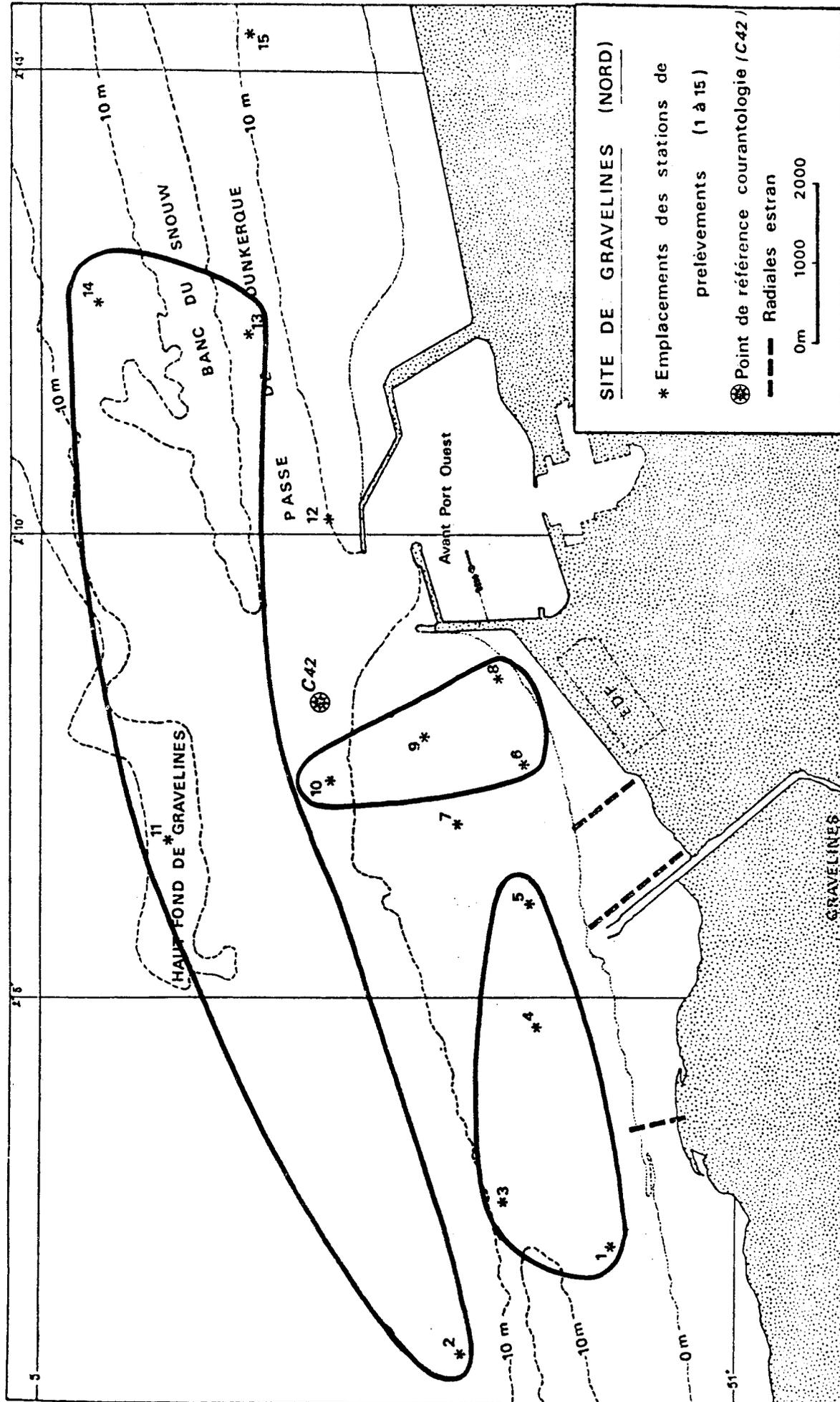


Fig. 20 bis : Phytoplancton (campagne du 1<sup>er</sup> juillet 1975)  
 Distribution spatiale des espèces phytoplanctoniques mise en évidence sur le plan II (III de l'analyse d'inertie).

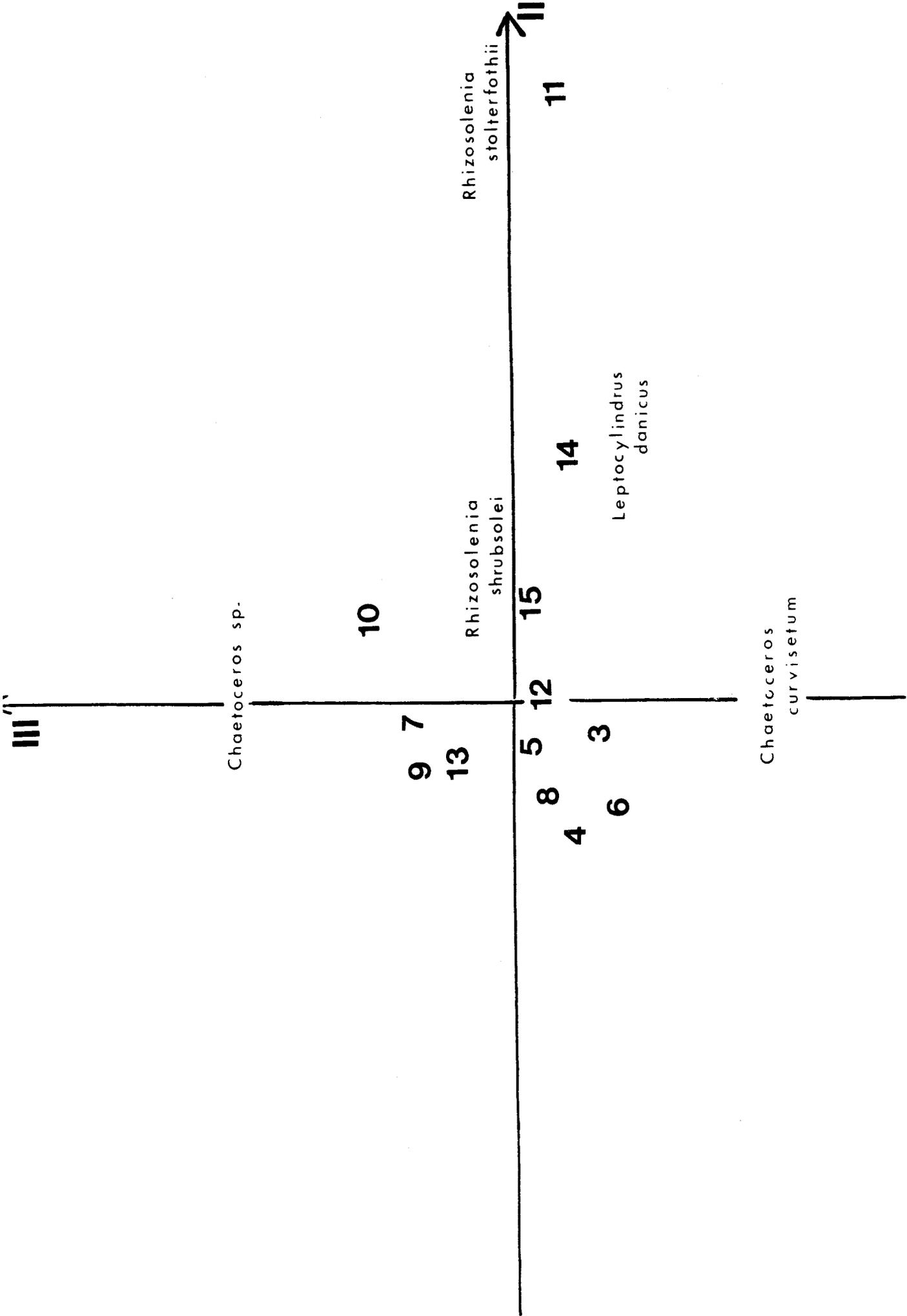


Fig. 1 : phytoplancton - campagne du 30 août 1970  
 répartition des points - prélèvements et des espèces dans le plan  
 II - III de l'analyse d'inertie.

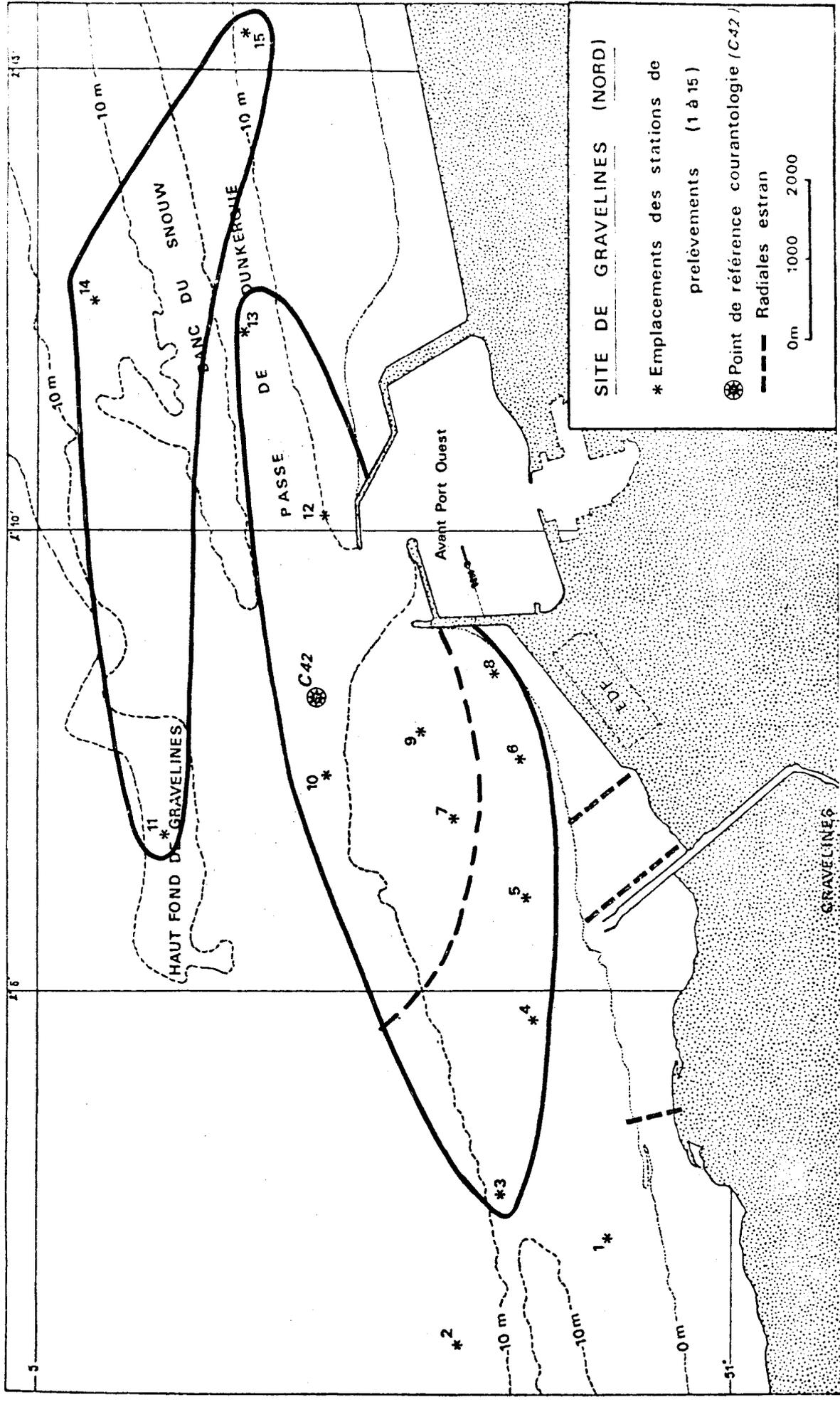


Fig. 21 bis : Phytoplancton : campagne du 30 août 1975  
 Distribution spatiale des espèces phytoplanctoniques mise en évidence sur le plan II III de l'analyse d'inertie.

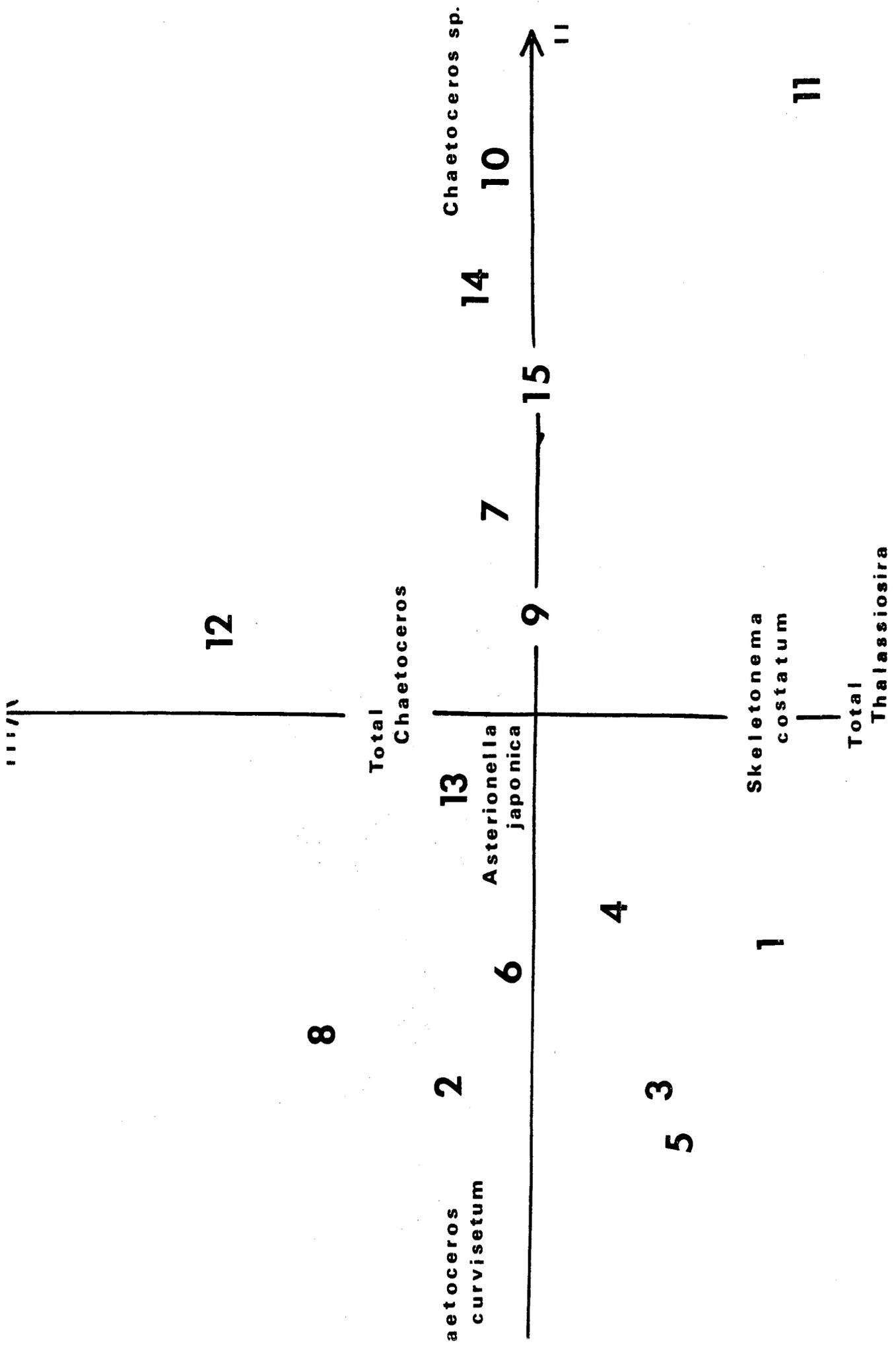


fig. 2) : Phytoplancton - Campagne du 7 octobre 1974.  
 Répartition des points - prélèvements et des espèces dans le plan  
 II - III de l'analyse d'inertie.

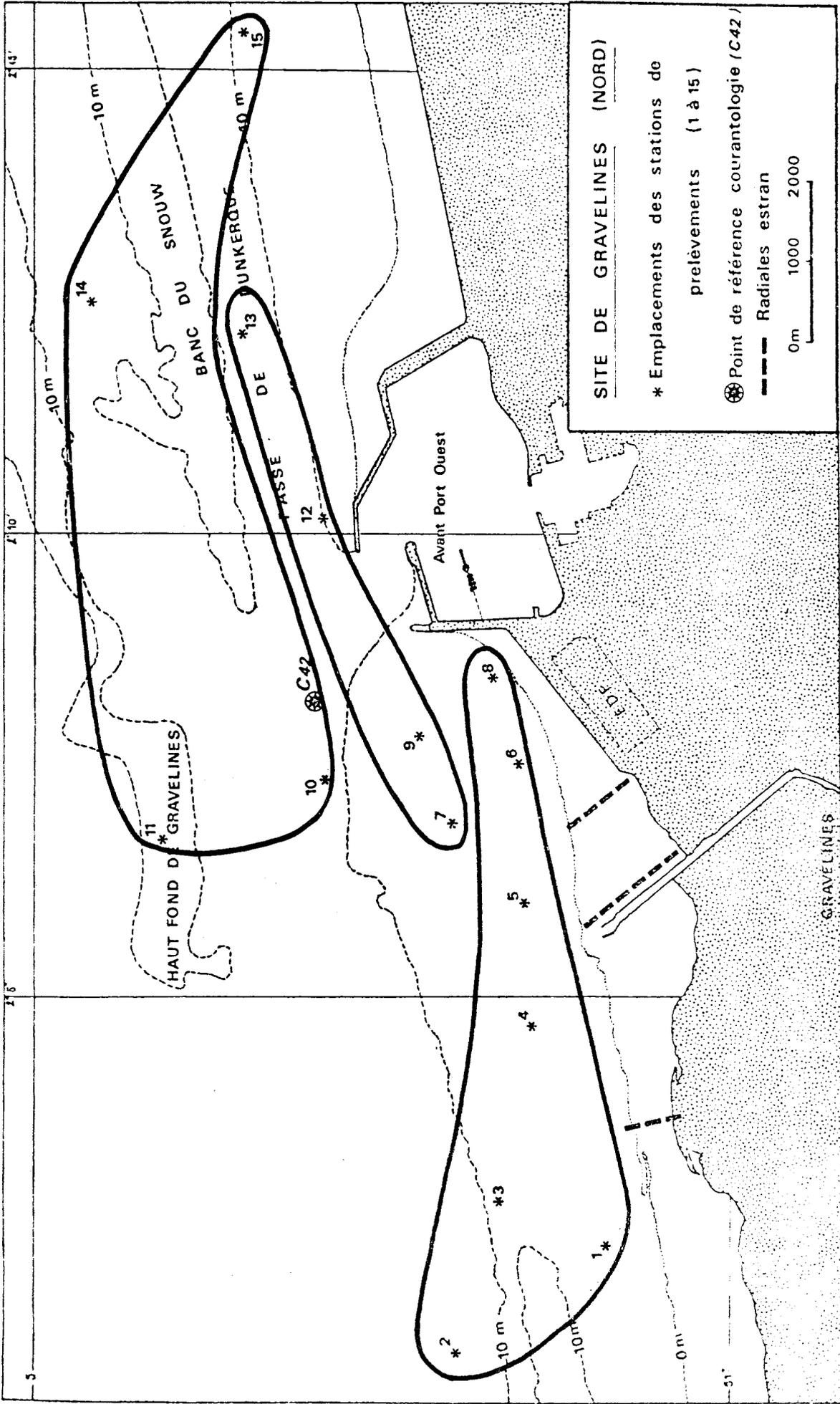


Fig. 2 bis : Phytoplancton - Campagne du 2 octobre 1972.  
 Distribution spatiale des espèces phytoplanctoniques mesurées en  
 différents points de l'étang de l'Est de l'analyse d'inertie.

deux traits essentiels :

1. le bloom de mai essentiellement dû à une poussée de *Fragilaria* et d' *Asterionella*,

2. le bloom de la fin août dû aux *Chaetoceros* et pour une moindre part aux *Rhizosolenia*.

Vis à vis de ces deux pôles saisonniers, il est possible de situer les autres espèces dont le pic d'abondance est décalé par rapport au schéma de base. Ainsi, le genre *Nitzschia* précède quelque peu le bloom de mai (abondant en avril) ; *Skeletonema costatum*, également caractéristique en mai accuse une poussée en octobre.

Il importe de noter que le bloom printanier ne coïncide pas avec des modifications hydrobiologiques caractéristiques (voir précédent chapitre, fig. 1). Le phénomène n'est pas directement reliable aux facteurs physico-chimiques pris en compte dans l'analyse, qui par ailleurs ne fait pas intervenir le rôle essentiel de l'éclairement dans la multiplication des cellules phytoplanctoniques.

D'autre part, l'absence d'information sur le comptage des Phaeocystis, constituant essentiel du Phytoplancton, affaiblit la portée de cette synthèse.

L'étude campagne par campagne de la distribution spatiale du phytoplancton, met en évidence une structure, non permanente dans le temps, responsable d'une faible part de la variation totale du phénomène. La tendance générale révèle l'existence d'un gradient côte-large combiné avec les effets de l'Aa et de l'avant-port de Dunkerque, conformément à la structure hydrobiologique. Cette répartition traduit les affinités côtières ou néritiques de certaines espèces et suggère même l'existence de blooms localisés, au début, à la côte ou au large.

ZOOPLANCTON

I. ETUDE GENERALE

1. Introduction

Pour l'analyse globale du cycle annuel du zooplancton, deux approches différentes ont été tentées afin d'apprécier complètement les résultats. En effet, une analyse, de par les hypothèses imposées aux espèces et aux prélèvements, peut masquer certaines variations quand une autre les met clairement en évidence et inversement.

La première étude impose des prélèvements centrés et réduits : cela permet d'éviter des variations trop aléatoires dues aux biais d'échantillonnage (p. ex. un éventuel défaut de fonctionnement du flux-mètre). En revanche, les espèces gardent leur variabilité et les effets d'abondance ne sont point affectés. Dans la deuxième étude, les espèces seront réduites et centrées : les distinctions entre prélèvements seront conservées et les espèces se comporteront comme des indicateurs de la période où elles apparaissent sans tenir compte de leur abondance relative par rapport aux autres.

En outre, avant tout traitement, les données brutes sont transformées à l'aide de la fonction  $\log (x+1)$  afin de réduire les variations trop importantes dans les grandes abondances.

2. Prélèvements centrés et réduits

- Considérons tout d'abord le premier axe (fig. 23 et 24).

Bien qu'il soit taxé de trivial, il n'en apporte pas moins une certaine information sur le cycle planctonique. En effet, les prélèvements sont tous situés d'un même côté de l'axe et cela est dû principalement aux espèces très abondantes : *Calanoïdes*, *Harpacticoïdes*, *Cyplopoïdes* et autres Copépodes. Or, si l'on considère qu'un site est défini par deux choses : d'une part, les espèces présentes toute l'année avec un fort effectif et dont la densité peut atteindre en certaines périodes des valeurs très élevées, d'autre part les variations saisonnières dues aux alternances d'espèces plus ou moins abondantes, l'axe I définit essentiellement la première caractéristique du site. Il repré-

présente la part d'invariance du cycle considéré et peut être différent d'un site à un autre. Le pourcentage d'inertie qu'il extrait -ici 65 %- quantifie cette notion de stabilité dans le temps des peuplements zooplanctoniques. On peut donc déjà avancer que la structure de l'écosystème étudié se modifie moins que ne pourraient le laisser penser les apparitions et disparitions de certaines espèces, phénomènes épisodiques révélés par les axes suivants de l'analyse.

- L'examen du plan II - III (fig. 25) démontre l'existence d'un cycle saisonnier régulier où les mois se succèdent dans l'ordre chronologique. On peut déjà remarquer que les mois d'hiver se détachent les uns des autres d'une façon très nette alors qu'en ce qui concerne l'hydrobiologie et le phytoplancton, les campagnes étaient très mélangées et donc le milieu assez stable (il faut cependant souligner que pour ces deux études, les données relatives à cette période de l'année étaient très réduites, d'où la difficulté de dégager des variations propres à cette saison). La dispersion des prélèvements à l'intérieur d'une même campagne varie dans l'année : les missions d'hiver (15 décembre, 2 - 9 février, 8 mars) sont homogènes, puis en avril et mai, la dispersion augmente. L'hétérogénéité diminue en juin et redevient importante en août. Le 6 octobre, les prélèvements sont un peu plus rapprochés puis vient de nouveau l'hiver.

L'axe II oppose l'automne et l'hiver au printemps et à l'été et d'une façon plus particulière décembre à juin, mois où l'on enregistre respectivement les plus petit et plus grand nombres d'individus dans toutes les stations. On peut noter d'ailleurs, que la grande abondance du zooplancton le 1er juin fait directement suite au bloom phytoplanctonique enregistré le 10 mai précédent. L'axe III reflète l'influence de la température en opposant février à août, mois où les eaux sont respectivement les plus froides et les plus chaudes. A ce sujet, on remarque que le mois d'avril ne se place pas exactement dans la continuité de mars ; il semble que ce soit dû au refroidissement des eaux subi à cette époque et qui tend à déplacer cette campagne du côté des mois d'hiver.

- Quelles sont les espèces indicatrices de ce cycle saisonnier ? (Fig. 27). En hiver, on trouve principalement des larves de *Cerinula* et des *Nephtys*. Au printemps, c'est l'apparition de *Polychètes* (*Térebellidés*, *Polydora ciliata*, *Spiophanes bombyx*, *Magellona papillicornis*, *Nerine sp*) et d'*Echyrodermes* tels les *Stelleridés*. D'autres Annelides sont présents en été comme

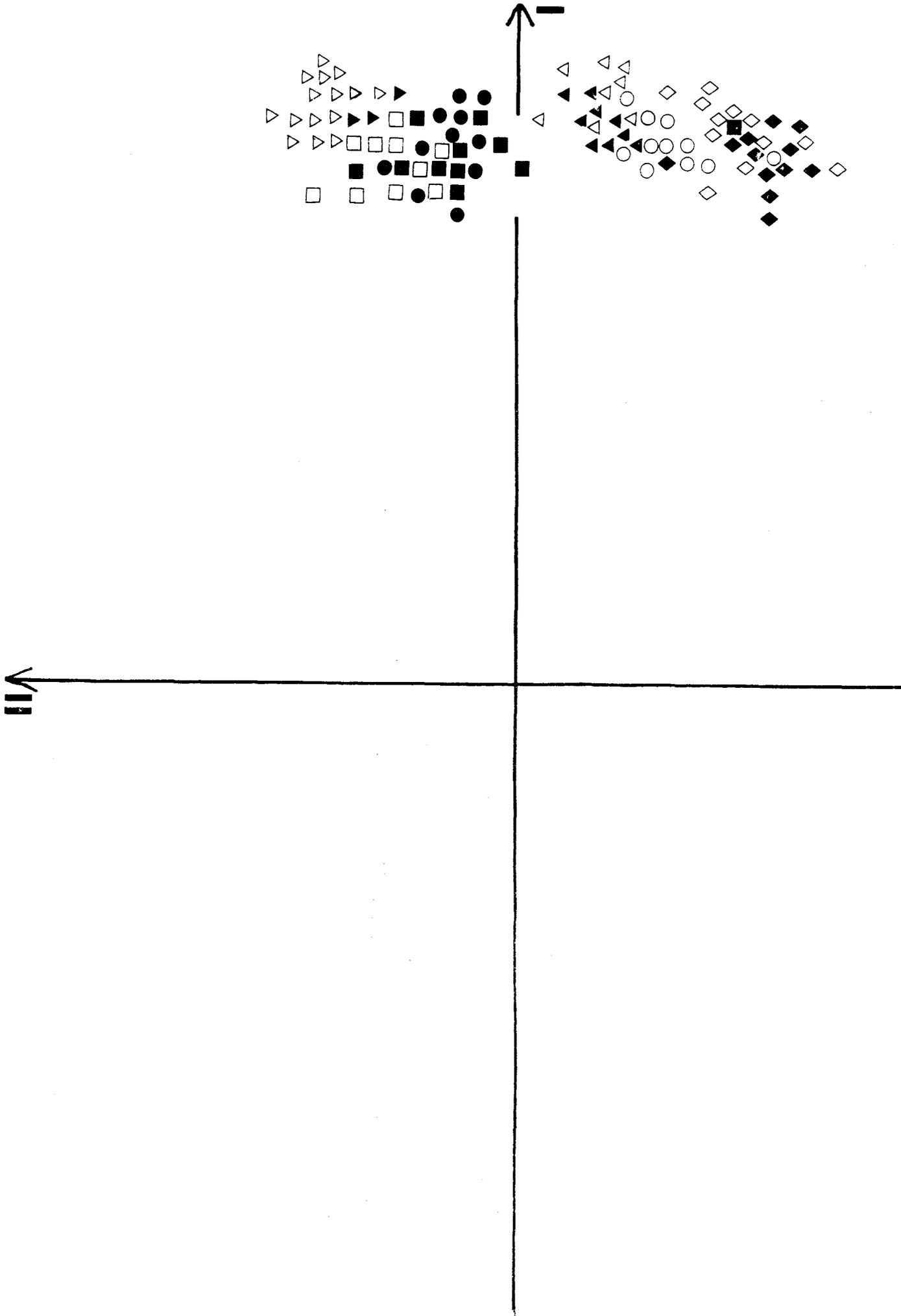


Fig. 3. Comparison of the results of the analysis of the data obtained from the study of the structure of the polymer chains. The points are arranged in a regular pattern, which is characteristic of a crystalline structure.

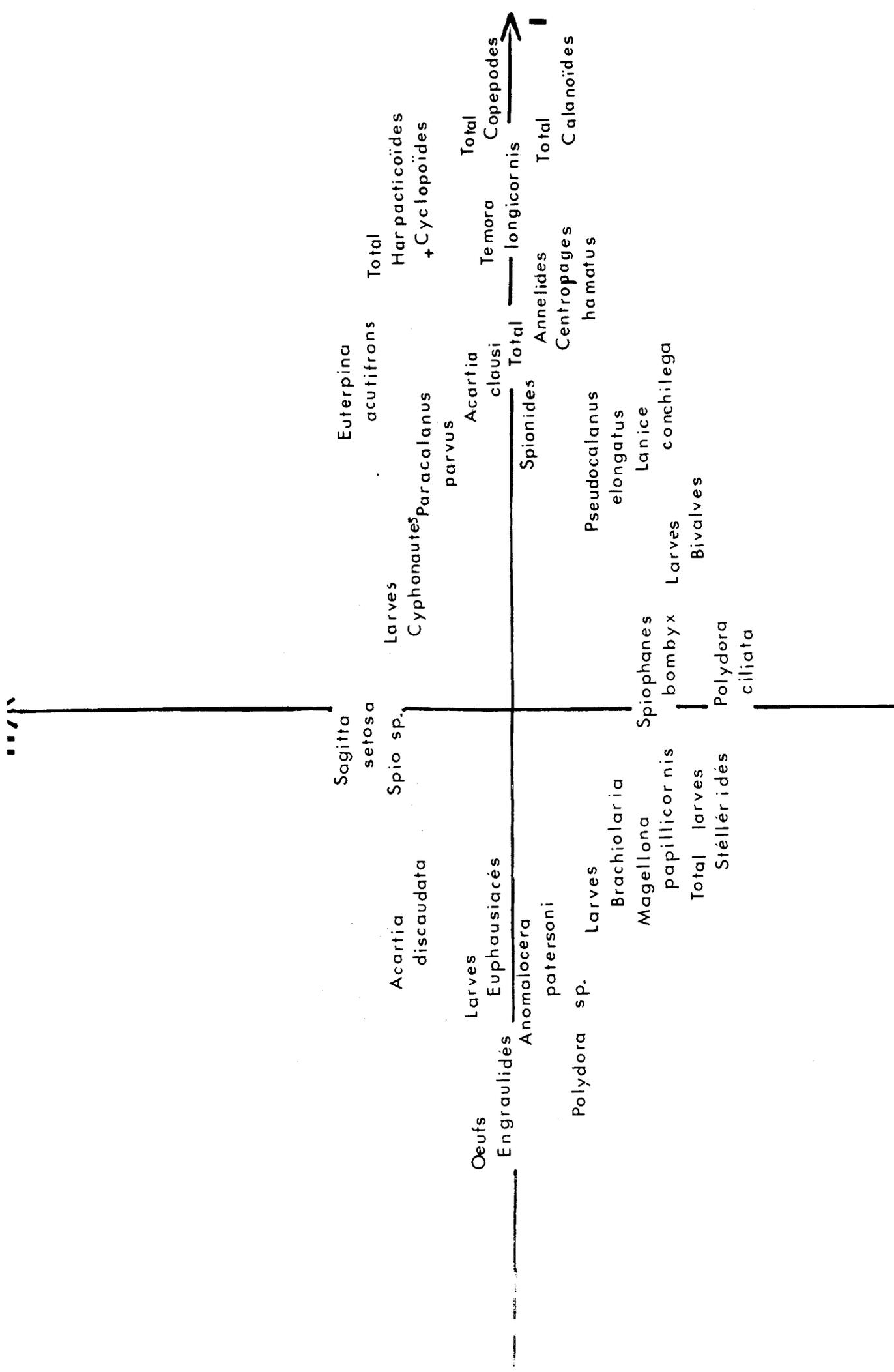


Fig. 14 : Zooplankton - Cycle annuel  
répartition des espèces dans le plan I - Et de l'analyse d'inertie  
généralisée avec prélèvements centrés et réduits.

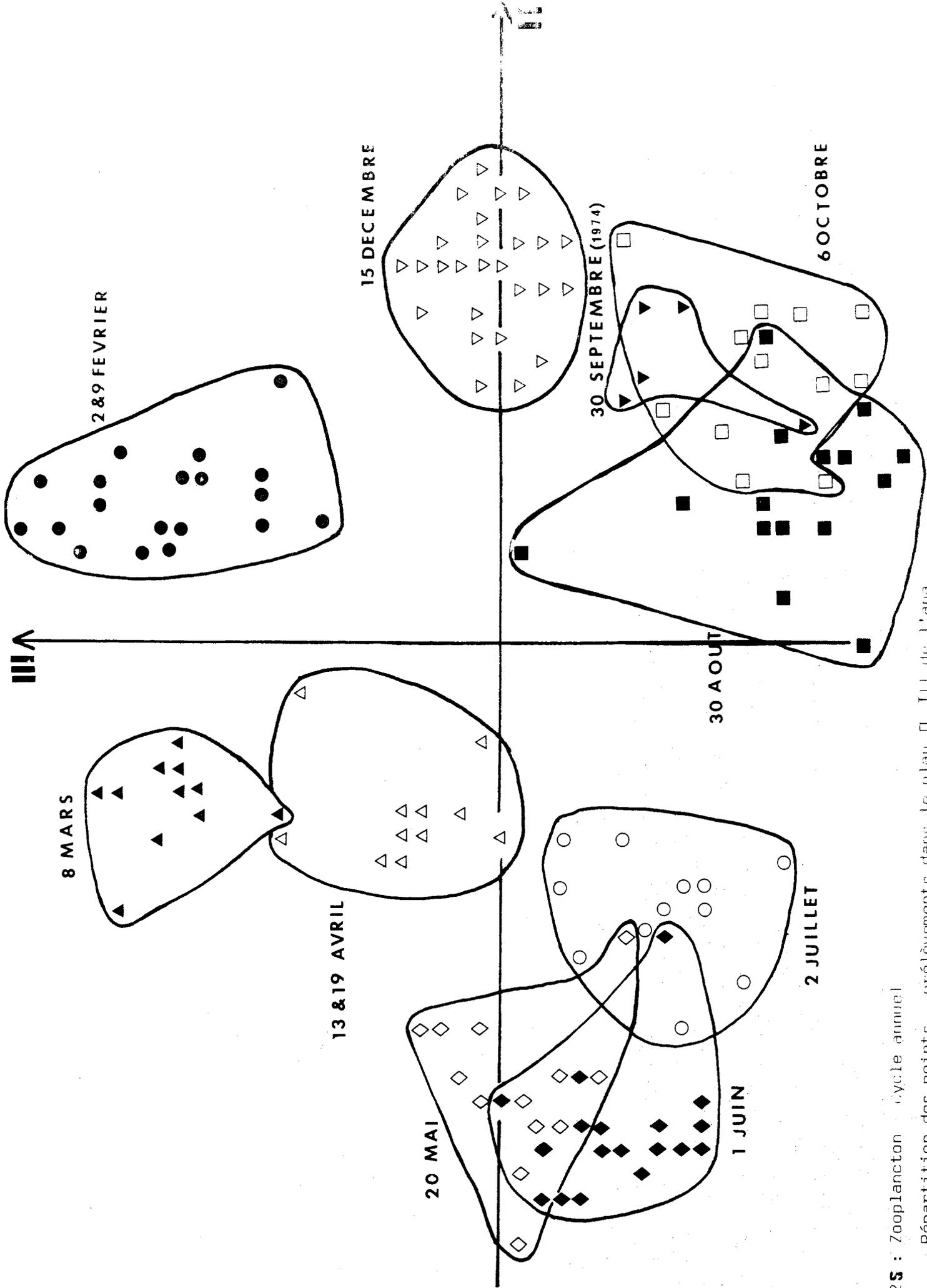


Fig. 2 S : Zooplankton - cycle annuel  
 Répartition des points prélevements dans le plan II de l'axe  
 lyse d'inertie générale avec prélevements centrés et réduits.

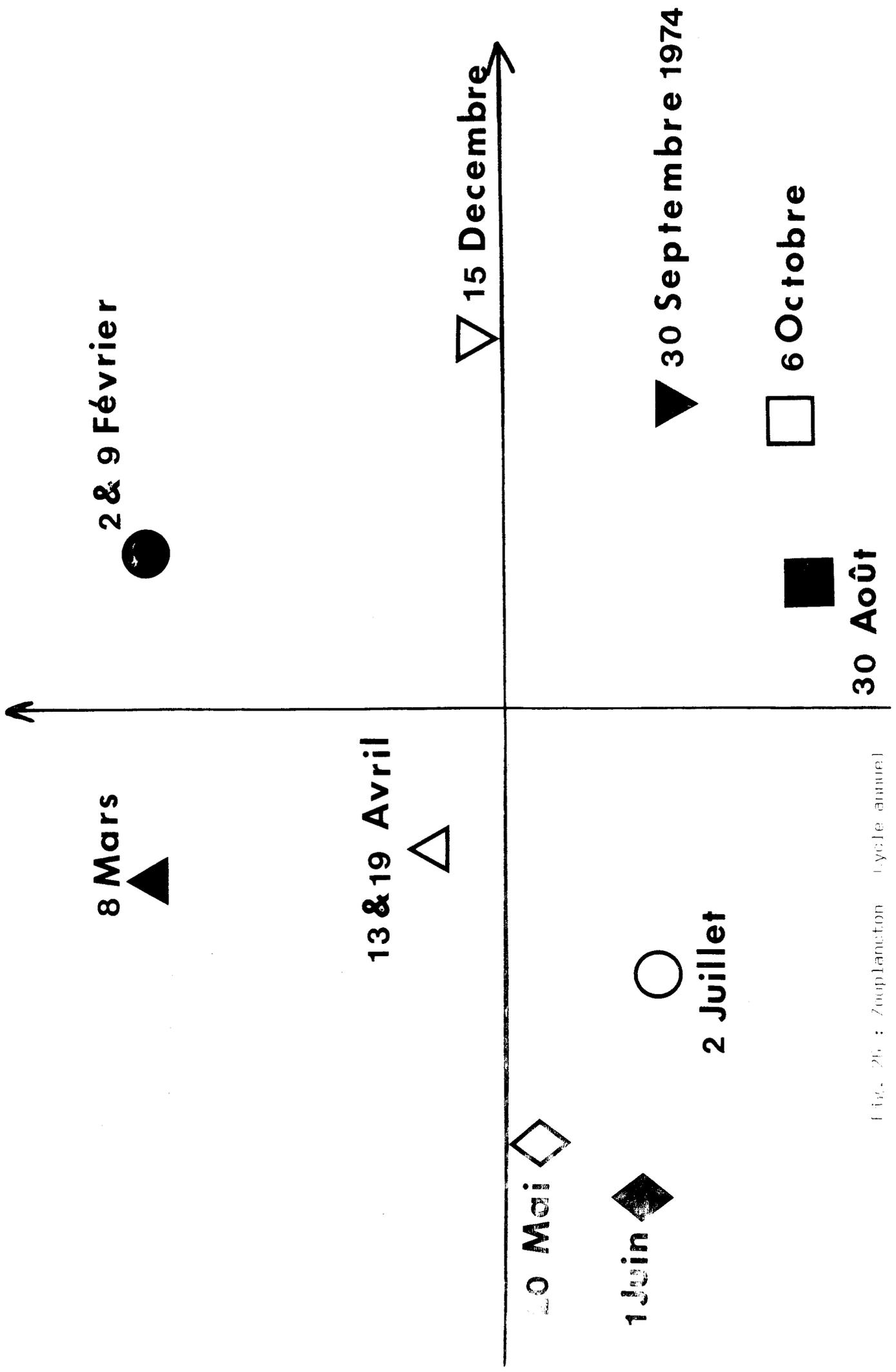


Fig. 2b : Zooplankton - Cycle annuel

Répartition des centres de gravité de chaque campagne dans le plan II - III de l'analyse d'inertie générale avec prélèvements centrés et réduits.

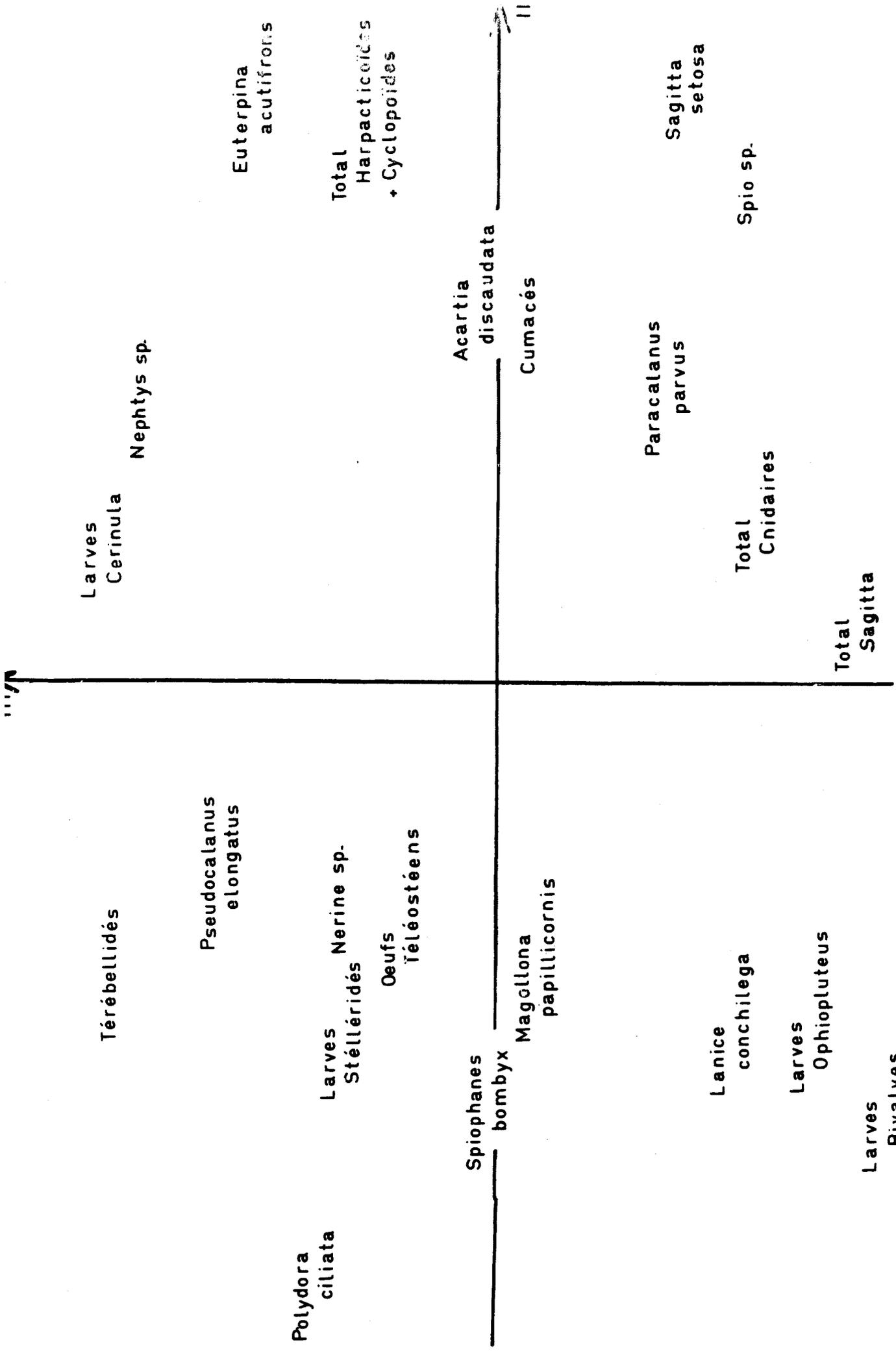


Fig. 27 : coplancton (cycle annuel)

Répartition des espèces dans le plan III - III de l'analyse d'inertie générale, avec prélèvements centrés et réduits.

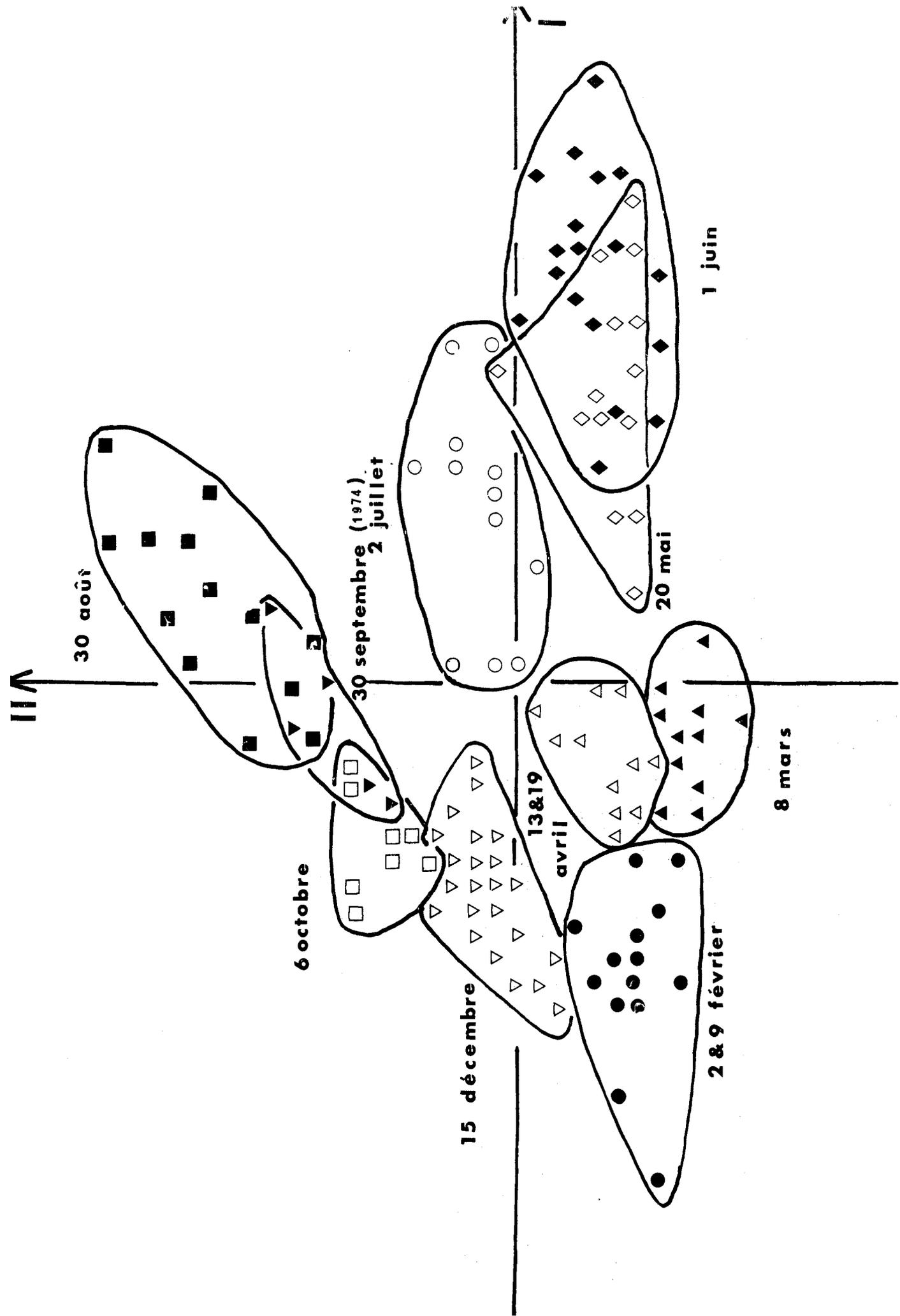


fig. 2B : Zooplancton - cycle annuel

Répartition des points - prélèvements dans le plan I - II de l'ana-  
lyse d'inertie générale avec espèces centrées et réduites.

les *Phyllocoidés* ou *Lanice conchilega* ainsi que des larves de Bivalves et d'*Ophiopluteus*. Fin août, les *Cnidaires* et les *Sagitta* dominant. Cependant, l'espèce *Sagitta setosa* n'arrive qu'en automne de même que les *Spionidés* et les *Cumacés*. Enfin, à l'approche de l'hiver, le Copépode *Euterpina acutifrons*, les *Cyclopoïdes* et les *Harpacticoïdes* sont les principaux éléments de la population zooplanctonique.

### 3. Espèces centrées et réduites

Dans cette analyse, on retrouve sur le plan I - II (fig.28) le cycle du zooplancton obtenu dans la précédente étude : l'axe I sépare les mois d'été des mois d'hiver et l'axe II discrimine, à l'intérieur de la saison chaude les campagnes entre elles. C'est d'ailleurs un trait propre à cette analyse : les mois de la saison froide sont plus groupés que dans la précédente analyse (prélèvements centrés et réduits). En effet, les espèces les plus abondantes (Copépodes et Cirripèdes notamment) étant les plus contributives, la différence de richesse entre les campagnes est plus accusée en été qu'en hiver, d'où cette dispersion hivernale plus faible. A l'intérieur même des campagnes, les prélèvements sont beaucoup moins rapprochés les uns des autres de juin à août que d'octobre à avril.

- Quant aux espèces (fig. 30), ce sont les Copépodes et les Cirripèdes qui constituent principalement le contingent faunistique en juin. S'y ajoutent des larves de Bivalves et des larves d'*Ophiopluteus*. En juillet, apparaissent des larves de *Cyphonautes* et de Décapodes ainsi que le Copépode *Acartia clausi*. Les *Polydora* (*Polydora caeca*, *Polydora pulchra*, *Polydora ligni*, *Polydora sp.*) sont des espèces indicatrices du mois d'août ainsi que les *Cnidaires* dont *Euchelota sp.*. Vers la fin de l'année, on trouve deux Copépodes qui n'étaient présents qu'en faible quantité en juin et qui sont caractéristiques des mois d'octobre et décembre : *Acartia discaudata* et *Euterpina acutifrons*. A ces deux espèces s'ajoutent le Chaetognathe *Sagitta setosa* qui apparaît plutôt en automne (septembre, octobre). En hiver (février, mars, avril) trois espèces seulement apparaissent : les larves de *Cerínula* et les Polychètes *Nephtys sp.* et *Scolelepis ciliata* ; elles constituent de bonnes indicatrices de la saison froide. Enfin, au printemps, c'est le retour principalement des Annélides : *Terebellides* (dont *Lanice conchilega*), *Polydora ciliata* (qui semble donc différent de tous les autres *Polydora* apparaissant en août), *Spiophanes bombyx* et *Magellona papillicornis*. Le Copépode *Pseudocalanus elongatus* ainsi que les Alevins et les oeufs de *Téléostéens* apparaissent aussi à

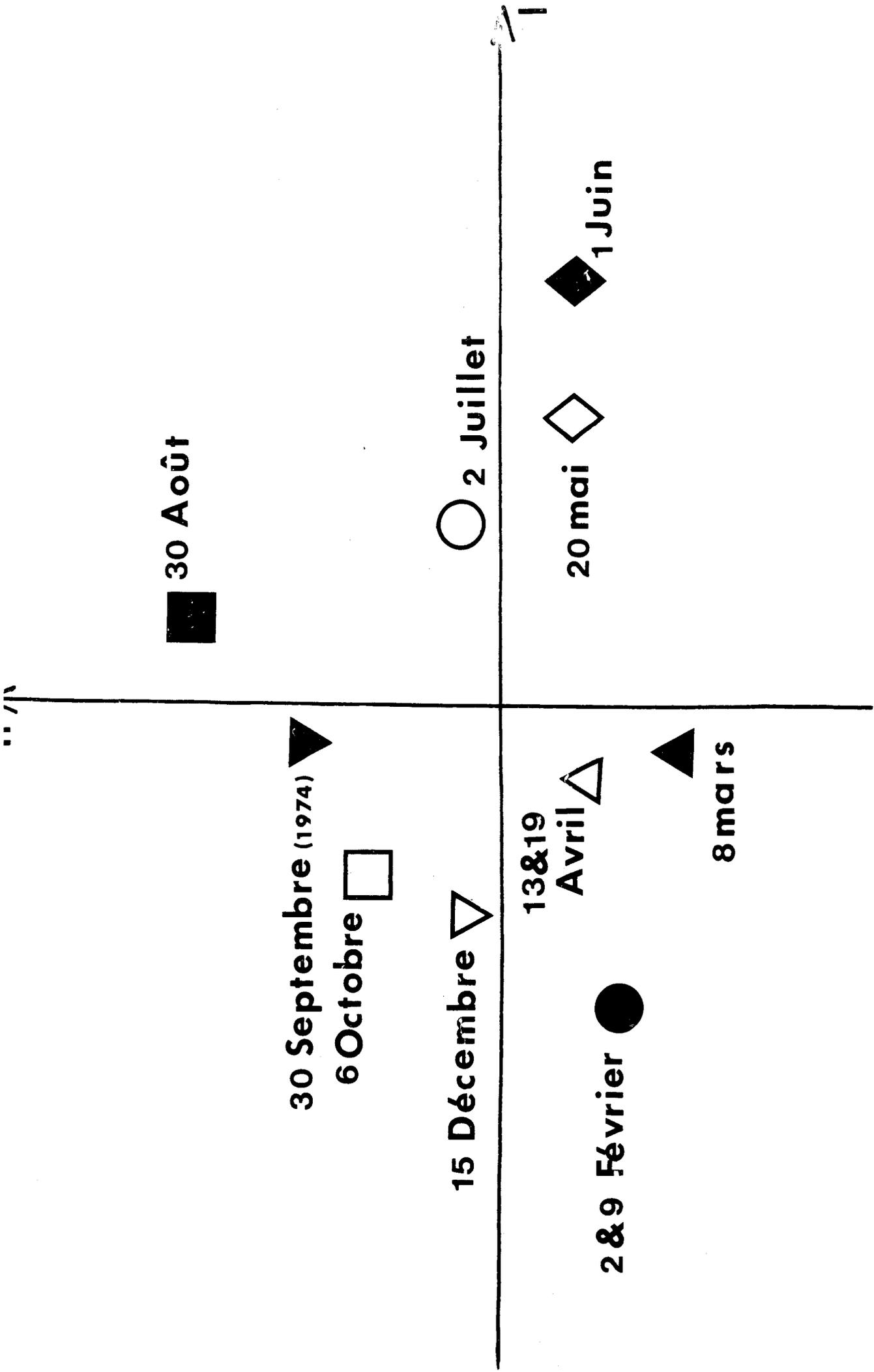


Fig. 29 : Zooplankton Cycle annuel

Répartition des centres de gravité de chaque campagne dans le plan  
 I II de l'analyse d'inertie générale avec espèces centrées et  
 réduites.

III

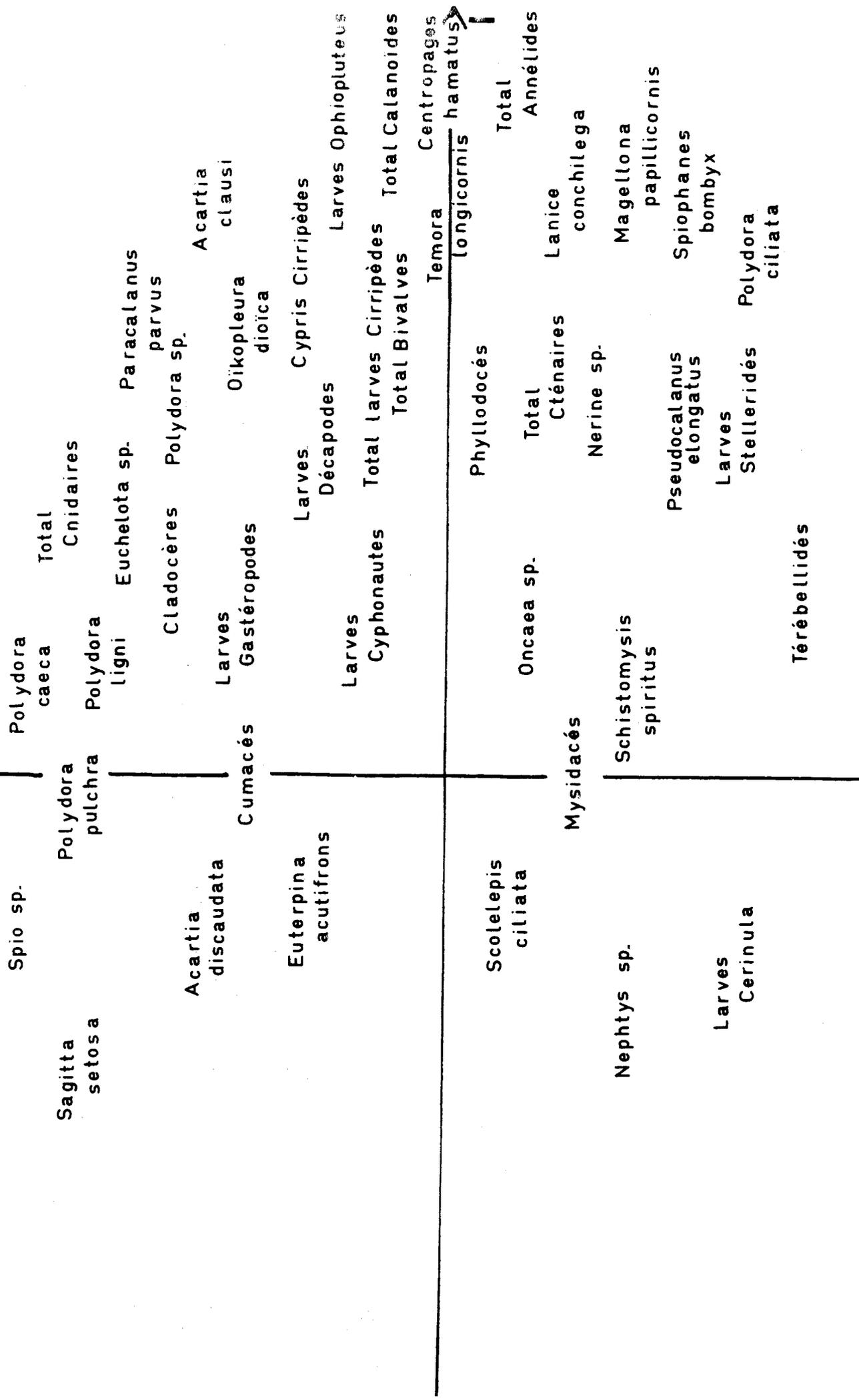


Fig. 30 : Zooplankton - Cycle annuel  
Répartition des espèces dans le plan III de l'analyse d'inertie  
générale avec espèces centrées et réduites.

cette époque de l'année.

## II. ANALYSES PARTICULIERES

### 1. 2 - 9 février (fig. 31)

Cette campagne s'est déroulée en deux fois : le 2 février ont été mesurées les stations 1 à 8, le 9 février les stations 9 à 15.

- Le plan II - III (fig. 31) présente deux groupes de points : l'un comprenant les prélèvements du 2 février, l'autre ceux du 9. Une distinction s'opère donc selon la date. Cependant, le fait d'avoir mesuré dans la première partie de la campagne des stations plutôt à la côte et dans la deuxième partie des points plus au large laisse à penser que le temps n'est pas le seul facteur discriminant ces deux sous-campagnes. Un gradient côte-large peut être mis en évidence ainsi qu'une séparation est-ouest entre les stations : autant de sources de variations qui ne peuvent être différenciées avec précision.

- Les espèces qui apparaissent à cette date sont les *Mysidacés* ainsi que *Nephtys sp.* et *Scolepis ciliata* : espèces indicatrices de la saison froide. Elles semblent être localisées plutôt loin de la côte.

Les *Cirripèdes* (*Nauplii* de *Cirripèdes* et larves de *Cirripèdes*) contribuent fortement à l'axe III (30 %) ainsi que la station 1 (les deux prélèvements : surface et fond au point 1 représentent plus de 54 % de l'inertie de l'axe III). On peut donc en déduire que les *Cirripèdes*, absents au point 1 sont essentiellement groupés dans les stations 5, 6, 7 et 8, cette masse d'eau placée entre la digue ouest du port et la côte et qui présente des caractéristiques particulières déjà rencontrées.

### 2. 1 juin (fig. 32)

Rappelons que le 1 juin est la date où les espèces principales du zooplancton sont les plus abondantes de l'année.

Le plan II - III (fig. 32) met en évidence un gradient côte-large. Dans les stations proches de la côte, on trouve des larves de Gastéropodes, de *Cyphonantes* et de *Terebellides*, des *Ctenaires* (*Pleurobrachia Pileus*, *Beroe Cucumis*) ainsi que le Copépode *Oncaea sp.* et le Polychète *Polydora sp.*

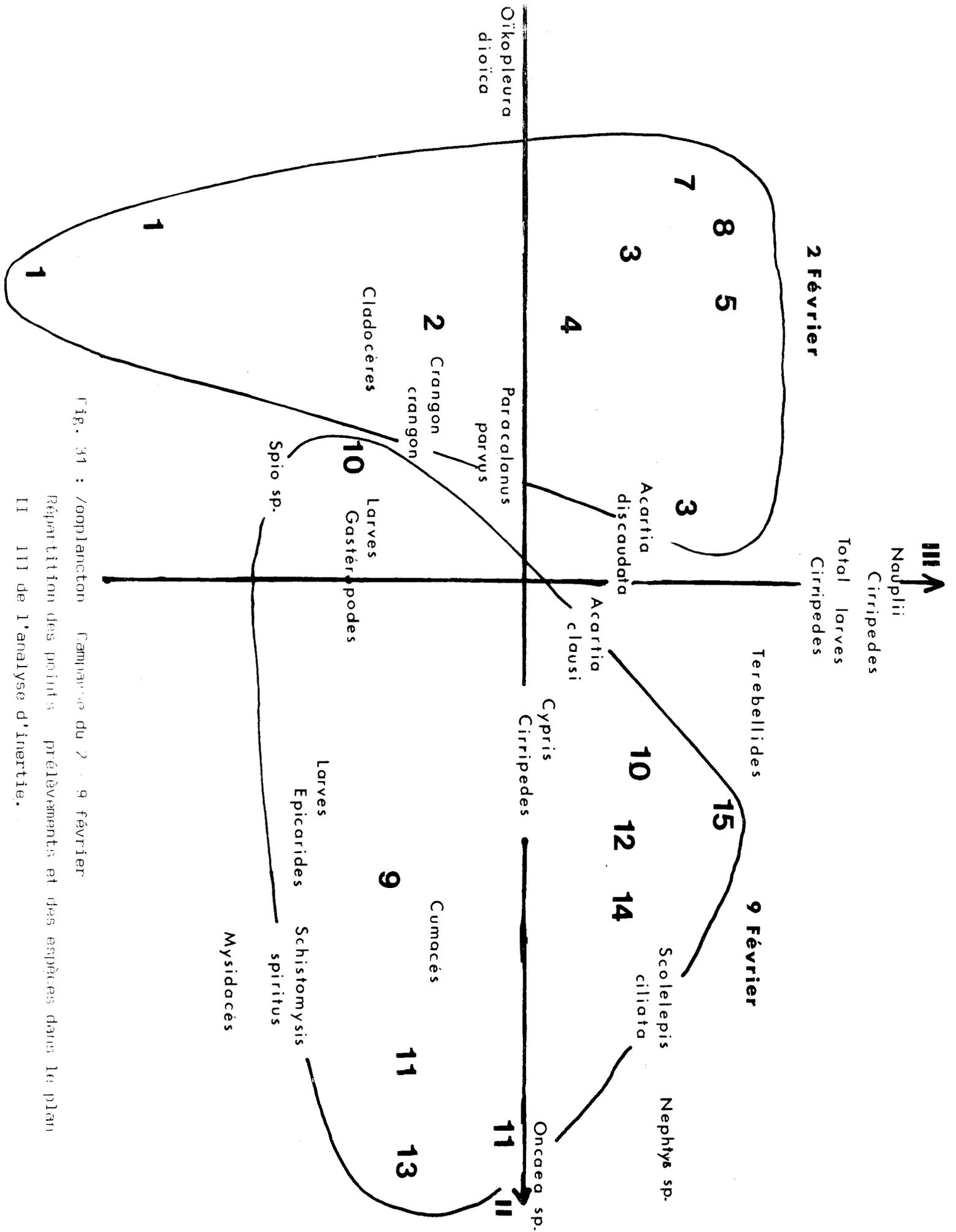


Fig. 31 : Zooplankton Campagne du 2 - 9 février

Répartition des points prélèvements et des espèces dans le plan  
 II III de l'analyse d'inertie.

En revanche, plus au large, on enregistre la présence de nombreuses autres larves : *Brachiolaria*, *Stellerides*, *Brachyourses*, Décapodes ainsi que des Cumacés, *Phyllodocidés*, *Spionides* et *Sagitta*. Un Copépode *Euterpina acutifrons*, peu abondant à cette date contrairement aux autres Copépodes, semble se placer dans la zone d'influence du port. (Stations 9, 10 et 12).

Cette analyse peut suggérer que les espèces ont des affinités locales particulières -côtières ou néritiques- et que leur bloom zooplanctonique ne se produit pas indifféremment en tous points du site considéré.

### 3. 30 août (fig. 33)

La distribution géographique entre la côte et le large n'est pas évidente sur le plan II - III (fig. 33). Tout au plus, peut-on remarquer la présence à la côte du Copépode *Oncaea sp.* (particulièrement à la station 1), des larves de Gastéropodes et d'*Ophiopluteus* ainsi que des *Ctenaires* (*Pleurobrachia pileus*), ces derniers situés plus précisément à la station 8. Dans la zone d'influence de l'Aa, on trouve *Acartia discaudata* et *Cypris* de *Cirripèdes* (stations 4 et 5). En revanche, les *Sagitta* préfèrent des eaux moins côtières (stations 13 et 14), tout comme le Copépode *Pseudocalanus elongatus* et le Polychète *Polydora caeca*.

### 4. 15 décembre (fig. 34 et 35)

Cette campagne diffère des précédentes en ce sens qu'elle a comporté deux radiales de trois points (1, 2, 3 puis 6, 7, 8) et l'étude suivie d'un point fixe (stations 2, 4, 5, 7, 9 et 10). En chaque point il y a eu trois prélèvements et l'on peut apprécier sur le graphique (fig. 34) la dispersion de ces trois coups de filet pour une même station. (Les centres de gravité sont portés sur la fig. 35). Celle-ci semble d'ailleurs augmenter avec le temps.

- Le long du deuxième axe s'inscrit la variation dans le temps du point fixe tandis que les deux radiales s'alignent suivant l'axe III. On constate, qu'au point fixe, la situation évolue de façon très sensible tout en effectuant un cycle défini : à la station 2, il est 9h 30 (1 heure avant la pleine mer) et en 9, il est un peu plus de 15h (étale de courant). Le point 10 s'écarte des autres : il est 16h30 (1 heure avant la basse mer).

Quant aux radiales, la première est effectuée avec un courant de flot, la seconde à l'étale du courant. L'une et l'autre enregistrent une variation côte-large.

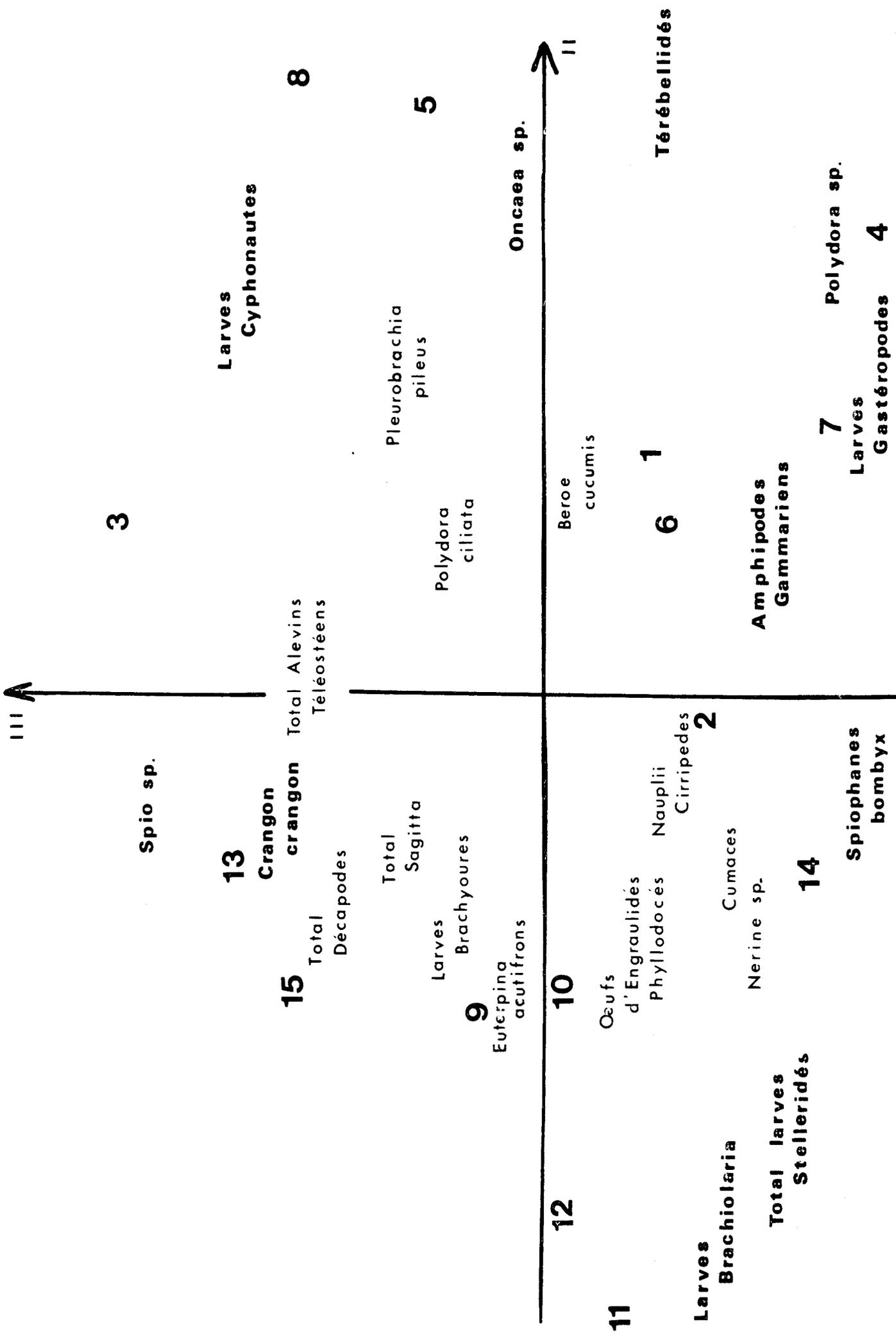


Fig. 32 : Zooplankton Campagne du 1 juin 1975

Répartition des points prélèvements et des espèces dans le plan

II - III de l'analyse d'inertie.

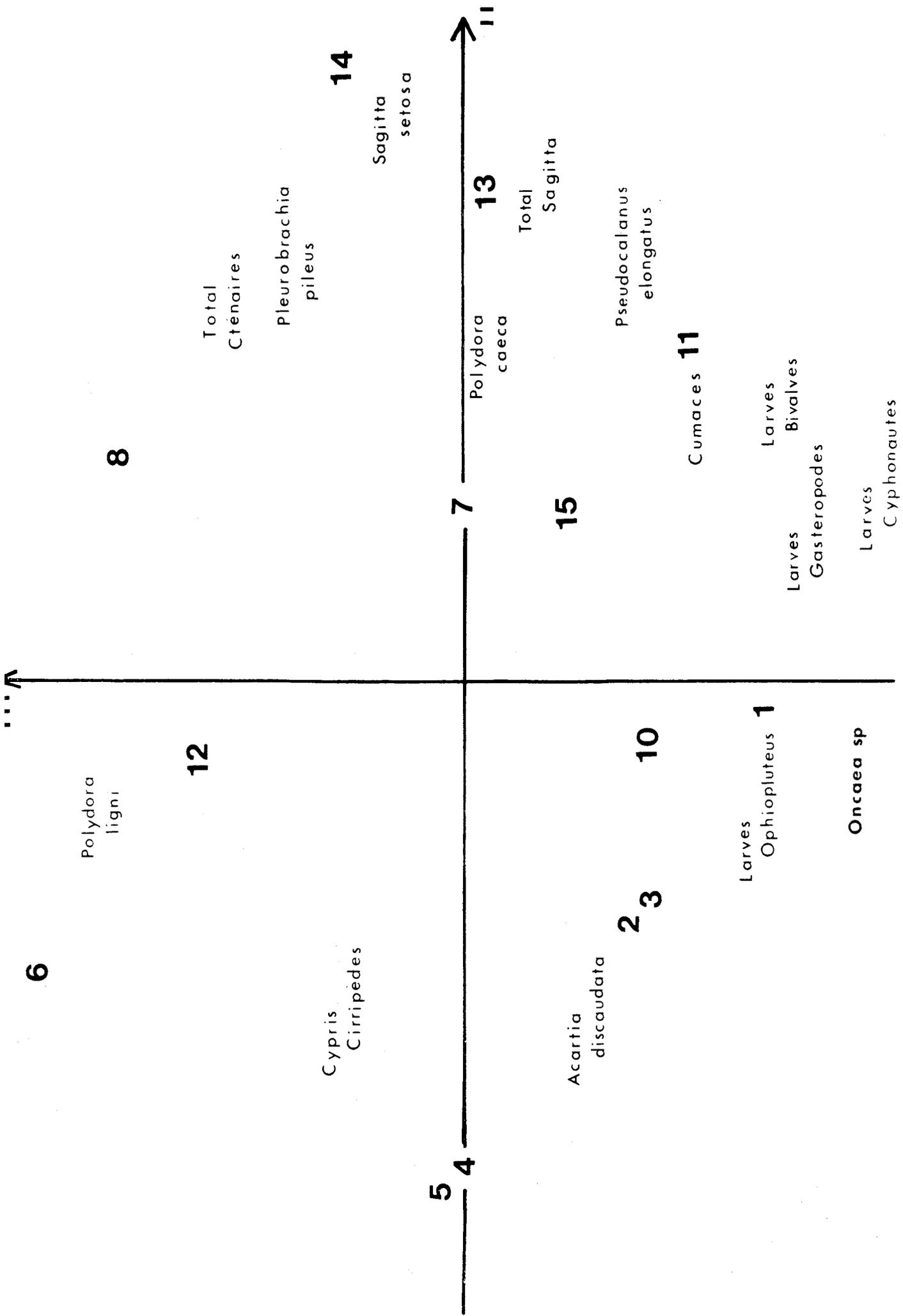


Fig. 12 : Répartition des amphipodes, des cirripés, des polychètes, des naupléiens, des bivalves, des gastéropodes, des cyphonautes, des ophiopluteus et des oncaeaes sur le plan II-III de l'analyse d'ordination.

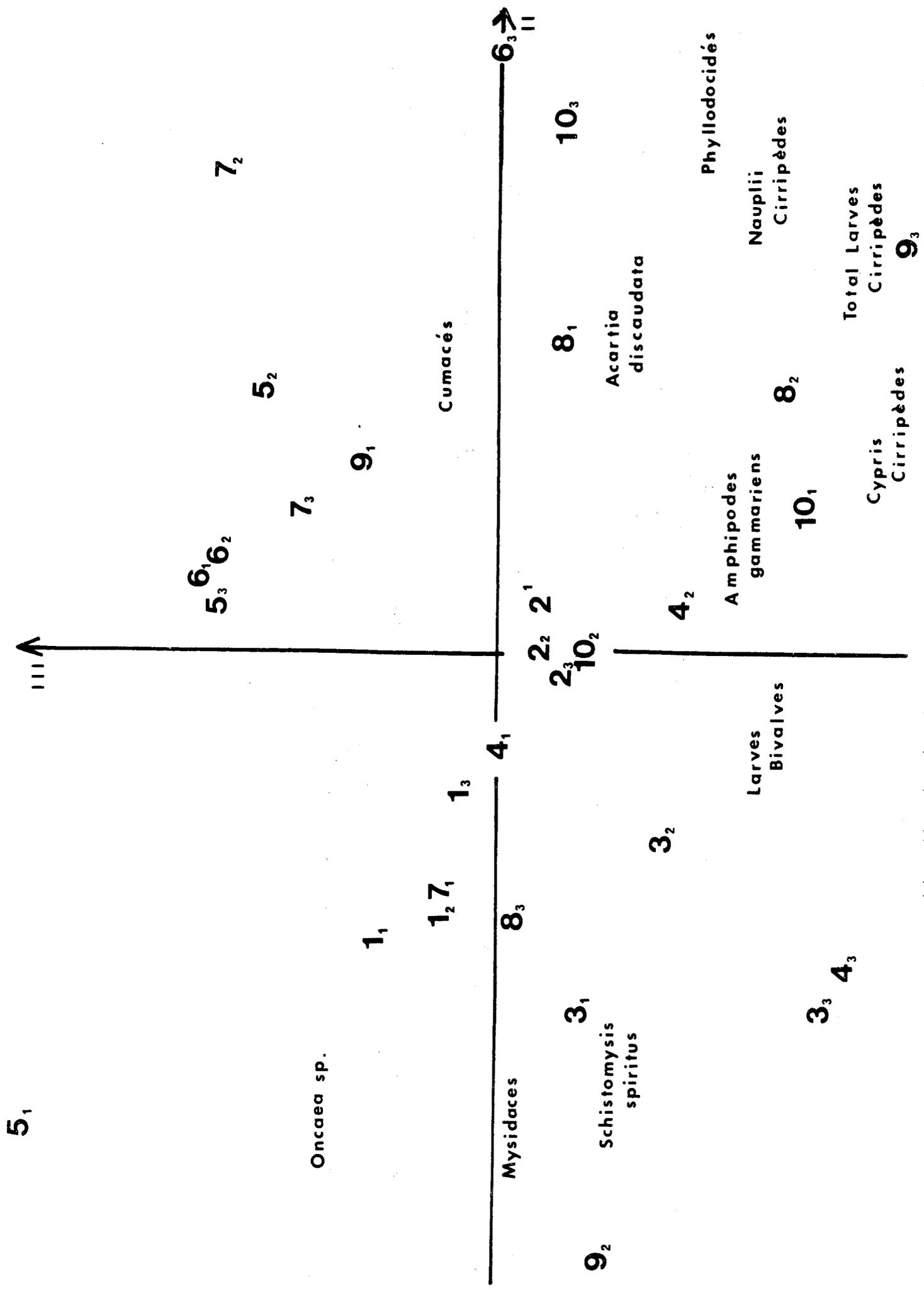


Fig. 14 : Complémentation Campagne de 1971 (décembre 1971)  
 Répartition des points de prélèvements et les espèces dans le plan

*Pseudocalanus elongatus*

- Toutes les espèces présentes semblent se placer plutôt au large sauf *Oncaea sp.*, qui reste caractéristique de la station 1. Les *Mysidacés* sont opposés, sur l'axe II, aux *Cirripèdes*. Elles n'apparaissent donc pas au même moment dans l'évolution de la masse d'eau au point fixe et ne doivent pas se mélanger.

### III. RESUME

En résumé, les peuplements zooplanctoniques de Gravelines sont caractérisés par :

- un contingent faunistique commun à toutes les campagnes, traduisant la part de stabilité du cycle du zooplancton sur le site. Il est essentiellement représenté par des espèces holoplanctoniques parmi lesquelles les Copépodes sont les plus abondants,

- une évolution saisonnière régulière de la composition quantitative et qualitative des peuplements définissant un très beau cycle annuel. Les espèces meroplanctoniques, "les *Sagitta*" et quelques Copépodes sont responsables de ce cycle.

Contrairement aux structures des cycles hydrobiologique et planctonique, le cycle du zooplancton permet d'individualiser les mois d'hiver. Cette évolution permanente durant la saison froide, stable du point de vue hydrobiologique est certainement attribuable à un temps de réponse plus ou moins long des espèces planctoniques aux modifications du milieu.

La structure spatiale apparait sur les analyses effectuées par campagne. Elle permet de dégager des affinités côtières ou néritiques de certaines espèces (ce qui justifie le maintien d'une radiale côte-large dans le programme de la deuxième année). La campagne du 15 décembre effectuée selon le schéma du futur programme permet de mieux séparer les dimensions temps et espace au cours d'un cycle annuel. Néanmoins, la dispersion des replicats (variabilité intra-station) est quelques fois plus forte que la variabilité inter-stations.



Fig. 35 : Zooplankton - Campagne du 15 décembre 1975  
 Répartition des centres de gravité des prélèvements pour chaque station dans le plan II - III de l'analyse d'inertie.

RELATIONS PHYTOPLANCTON - HYDROBIOLOGIE  
=====

1. Méthode d'analyse

Pour cette analyse dont le but est de définir les relations existant entre les espèces du phytoplancton et les paramètres hydrobiologiques du milieu, seules les 18 espèces les plus abondantes ont été retenues.

Les variables hydrologiques sont divisées en trois modalités, regroupant chacune respectivement les valeurs faibles, moyennes ou fortes de la variable en question. Quant aux espèces, la première classe comprend les prélèvements dans lesquels l'effectif de l'espèce considérée est nul, la seconde ceux où elle n'existe qu'avec un faible effectif, et la troisième, ceux où elle est abondante.

Les prélèvements retenus pour cette analyse sont issus des campagnes des 10 mai, 20 mai, 1 juin, 2 juillet, 30 août et 2 octobre.

A l'aide des variables détripées, on construit un tableau de contingence (+) de dimensions 33 x 54 que l'on soumet à une Analyse des Correspondances (++).

2. Résultats

- Le premier résultat à noter est le fort pourcentage d'inertie exprimé sur l'axe I : 59 %. Le deuxième et le troisième axe contribuent respectivement pour 19 % et 12 % à l'inertie totale de l'ensemble des points. Donc, les trois premiers axes rendent compte pratiquement de toute la variation du nuage (90 % de l'inertie totale).

- Les variables hydrologiques les plus contributives à l'axe I (fig. 37) sont : la température (18 %), la salinité (22 %), les nitrates (20 %) et l'oxygène dissous (9 %). Les fortes valeurs de température, salinité et oxygène voisinent avec les faibles teneurs en nitrates et réciproquement. Celles-ci sont situées aux deux extrémités de l'axe I. On retrouve les variables responsables de la structure hydrobiologique définie au chapitre I (fig. 1).

(+) Cf. Annexe I,

(++) Cf. Annexe II.

- Les espèces les plus caractéristiques des eaux chaudes, salées mais dépourvues de nitrates sont principalement les *Chaetoceros* (fig. 36) ; elles sont absentes dans un milieu froid, peu salé, pauvre en oxygène mais riche en nitrates ; dans des conditions intermédiaires, elles sont peu abondantes. Leur développement semble donc étroitement gouverné par ces quatre principaux paramètres hydrobiologiques. D'autres espèces suivent la même évolution : ainsi les *Thalassiosira* et *Leptocylindrus danicus*. En revanche, *Asterionella japonica*, *Fragilaria sp.*, *Nitzschia seriata* et *Raphoneis amphiceros* ont un comportement exactement inverse de celui des *Chaetoceros* : peu abondantes lorsque la température et la salinité sont moyennes, elles sont absentes des eaux chaudes, salées, pauvres en nitrates et atteignent de grands effectifs dans un milieu plus froid, moins salé, pauvre en oxygène mais riche en nitrates.

A l'énoncé de ces deux résultats principaux mis en évidence sur le premier axe, on retrouve la partition entre les deux "blooms" phytoplanktoniques du 10 mai et du 30 août déjà enregistrée lors de l'étude générale du phytoplancton (fig. 14 et 15). Il est intéressant de voir que ces deux périodes de forte expansion de certaines espèces se distinguent très nettement l'une de l'autre par des conditions hydrobiologiques très nettement opposées : d'une part le 10 mai, minimum (+) de la température, de la salinité, de l'oxygène dissous et maximum (+) de nitrates, d'autre part le 30 août, maximum de la température, de la salinité, de l'oxygène dissous et minimum (+) de nitrates.

- Selon l'axe II, les variables les plus contributives sont les silicates (14 %), les valeurs moyennes de température (4 %), salinité (7 %) et nitrates (10 %) et les faibles valeurs de l'indice de diversité pigmentaire (8 %). Le genre *Rhizosolenia* se distingue particulièrement le long de cet axe c'est-à-dire qu'il apparaît dans un milieu dont les caractéristiques hydrobiologiques (température, salinité, nitrates) sont intermédiaires entre les extrêmes définis précédemment (à ces conditions moyennes, il faut cependant ajouter une forte teneur en silicates). Les espèces caractéristiques de ces conditions sont *Rhizosolenia setigera* et *Rhizosolenia delicatula*. En revanche, *Rhizosolenia Stolterfothii* est surtout abondant dans une zone pauvre en silicates.

(+) par rapport à la période de l'année concernée dans cette analyse (cf. 1er paragraphe).

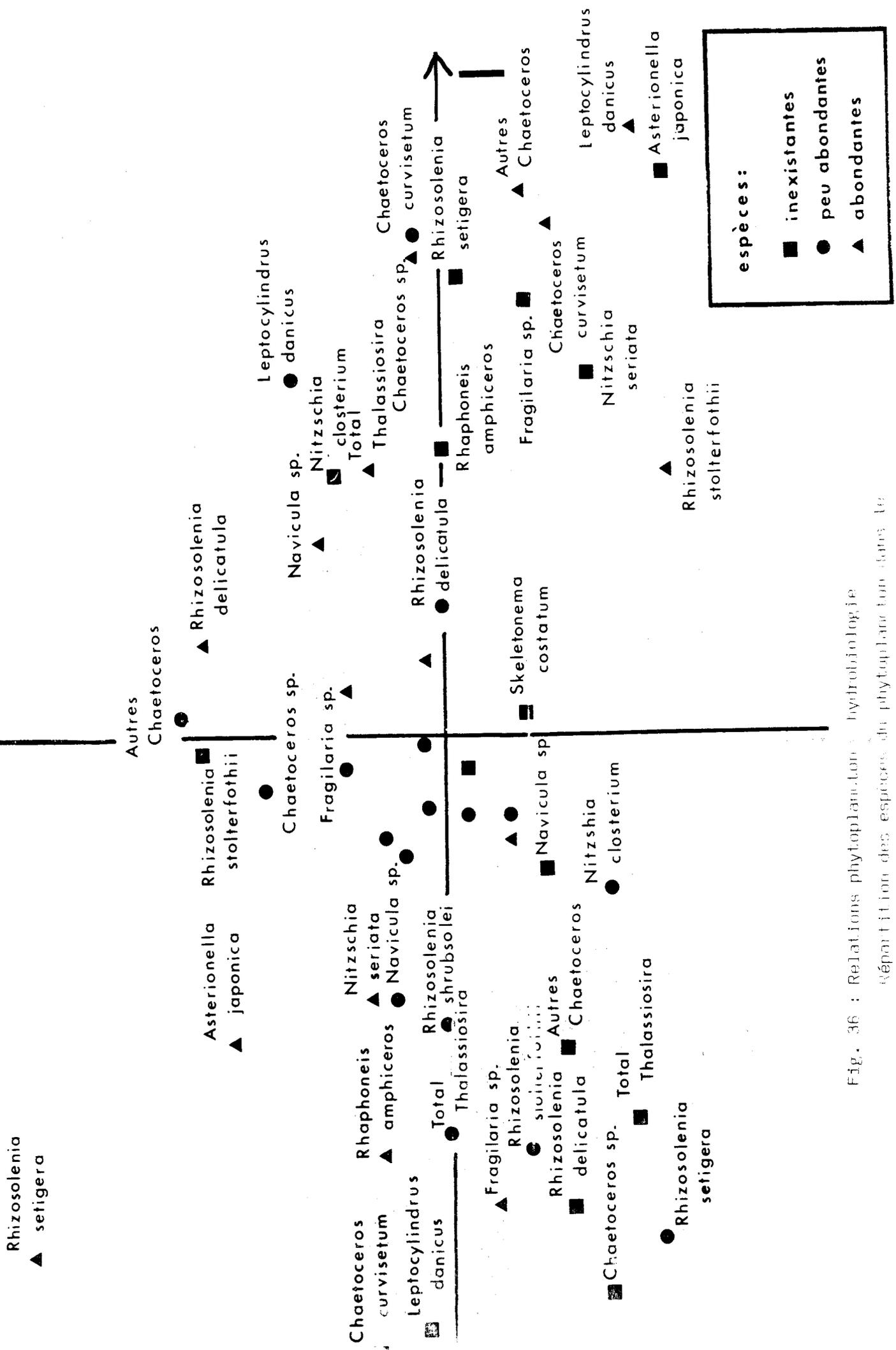


Fig. 36 : Relations phytoplancton - hydrobiologie  
 Répartition des espèces du phytoplancton dans le  
 plan I - II de l'analyse des correspondances.



RELATIONS ZOOPLANCTON - HYDROBIOLOGIE

1. Méthode d'analyse

Comme précédemment, toutes les variables hydrobiologiques ont été conservées et partagées en trois modalités correspondant respectivement aux faibles, moyennes et fortes valeurs de ces paramètres. Pour le zooplancton, 32 espèces ont été retenues et chacune d'elles divisée en trois classes : la première comprenant les prélèvements où elles n'apparaissent pas, la seconde ceux où elle est peu représentée, la troisième ceux où elle est abondante.

Quant aux campagnes, six seulement ont été considérées comme ayant suffisamment de prélèvements pour l'étude envisagée : ce sont les missions des 8 mars, 20 mai, 1 juin, 2 juillet, 30 août et 6 octobre. Une Analyse des Correspondances (+) a été effectuée sur le tableau de contingence construit à partir des variables détripées (++).

2. Résultats

Le premier axe extrait 57 % de l'inertie totale du nuage et le second 15 %. Donc, le plan I - II rend compte de 72 % de la variation totale de l'ensemble des points.

- Les variables hydrobiologiques les plus contributives à l'axe I (fig. 39) sont : la salinité (32 %), les nitrates (25 %), l'oxygène dissous (16 %) et la température (12 %). Conformément à la précédente analyse, les faibles valeurs de la salinité, de la température et de l'oxygène voisinent avec les fortes teneurs en nitrates et réciproquement.

- Un grand nombre d'espèces (fig. 38) sont abondantes dans un milieu peu salé, pauvre en oxygène dissous mais riche en nitrates : particulièrement des larves d'Annelides (*Polydora sp.*, *Nerine sp.*, *Magellona papillicornis*, *Spiophanes bombyx*, *Lanice conchilega* ...), des larves de Bivalves, d'*Ophiopluteus*, de *Brachiolaria* et quelques Copépodes : *Centropages hamatus*, *Pseudocalanus elongatus*, *Temora longicornis*. Elles disparaissent lorsque température et salinité atteignent leur maximum et les nitrates leur minimum. Ce sont toutes des espèces indicatrices du "bloom" zooplanctonique de juin. Quelques es-

(+) Cf. Annexe II,

(++) Cf. Annexe III.

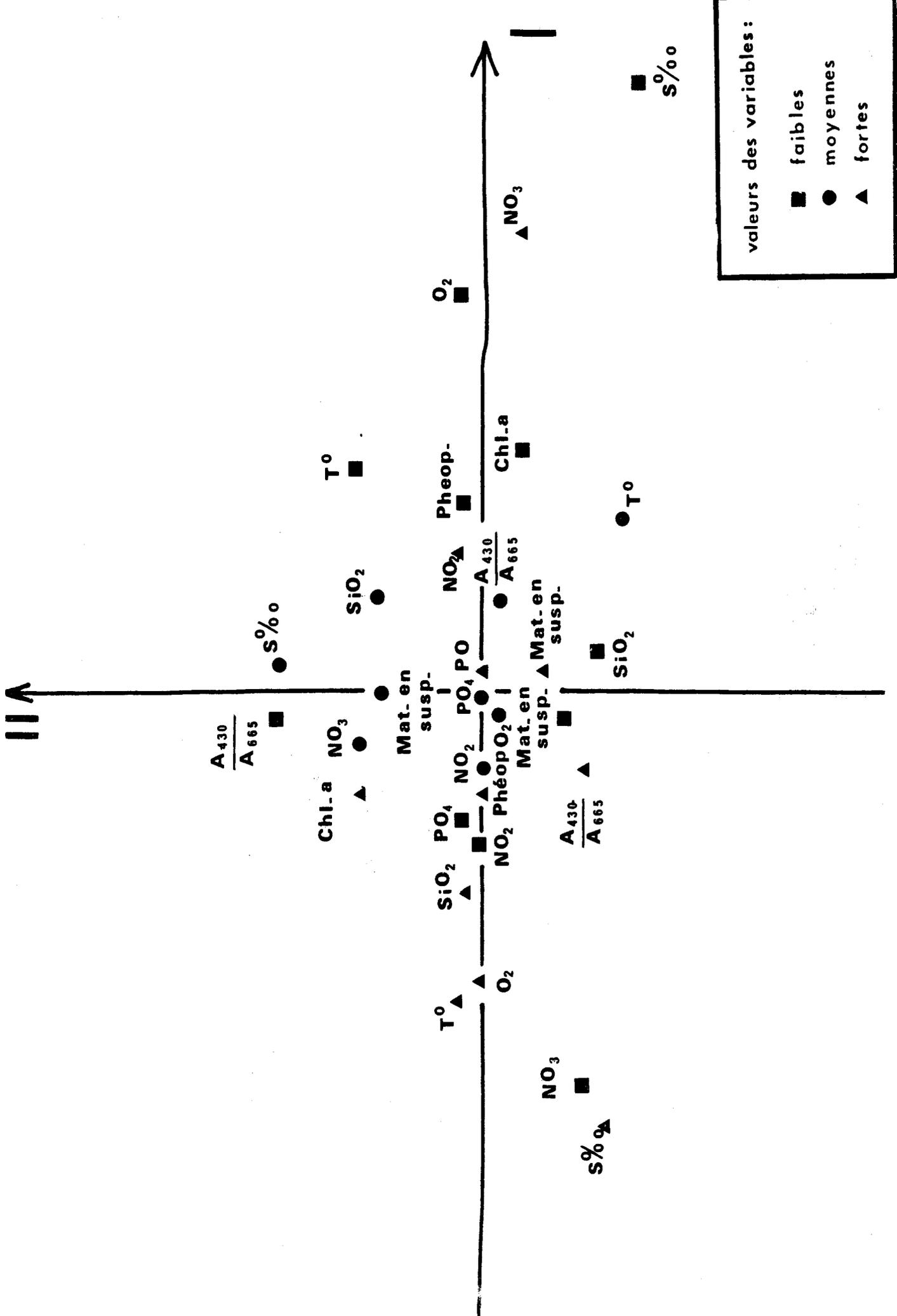
pèces ont une évolution exactement inverse : ainsi *Sagitta setosa*, *Acartia discaudata* et les *Cnidaires*, plus abondantes dans les eaux chaudes, salées, riches en oxygène mais pauvres en nitrates. Elles sont caractéristiques de la saison d'automne.

Par conséquent, le premier axe isole le "bloom" zooplanctonique de juin à un pôle et la période automnale à l'autre pôle.

Les mêmes variables que pour le phytoplancton sont caractéristiques de cette différenciation : température, salinité, oxygène et nitrates avec cependant une prédominance du rôle de la salinité.

L'axe II met en évidence les valeurs moyennes de la salinité et des nitrates associées à des teneurs en chlorophylle élevées et à un indice de diversité pigmentaire minimal (conditions réunies en juillet). Les espèces du bloom zooplanctonique de juin ne sont plus très abondantes alors que les larves de *Nephtys* sont présentes avec un fort effectif. Opposées à ces variables sur le deuxième axe se situent les valeurs élevées de l'indice pigmentaire accompagnées d'une teneur en silicates faible. C'est l'époque d'abondance des larves de Gastéropodes, de *Paracalanus parvus* et d'*Acartia clausi*.





valeurs des variables:

- faibles
- moyennes
- ▲ fortes

Fig. 34 : Relations zooplankton - hydrobiologie  
 Répartition des variables hydrobiologiques dans le plan  
 l'analyse des correspondances.

C H A P I T R E VI

RELATIONS PHYTOPLANCTON - ZOOPLANCTON

1. Méthode d'analyse

Le même système de codage que dans les deux analyses précédentes est envisagée. Les effectifs sont divisés en trois modalités représentant respectivement les caractères absence, faible et grande abondance. Les campagnes retenues pour cette étude sont celles des 2 - 9 février, 13 - 19 avril, 20 mai, 1 juin, 2 juillet, 30 août et 6 octobre.

Le tableau de contingence (+), bâti selon le même principe que dans les deux précédents chapitres, est soumis à une Analyse des Correspondances (++).

2. Résultats

- Les pourcentages d'inertie exprimés par les premier et second axes de l'analyse sont respectivement 51 % et 21 %; le premier plan extrait donc une bonne part de la variation totale du nuage des points (72 %).

- Le premier axe (fig. 40) met en évidence, au pôle positif, la poussée phytoplanctonique du 30 août avec l'apparition massive des *Chaetoceros* et, en moindre importance, des *Rhizosolenia*. Au pôle négatif de ce même axe, les espèces caractéristiques du bloom de mai sont individualisées : *Fragilaria* sp., *Asterionella japonica* et les *Nitzschia*. Encadrées par les deux poussées phytoplanctoniques -déjà dégagées dans les analyses précédentes-, les espèces du zooplancton (fig. 41) se placent le long du premier axe suivant la période durant laquelle elles sont les plus abondantes ; ainsi, vers le bloom de mai, on trouve *Spiophanes bombyx*, *Magellona papillicornis*, des larves de *Brachiolaria*, des oeufs de *Téléostéens* ; puis viennent des espèces apparaissant en grande quantité en juin : larves de *Cyphonautes* *Paracalanus parvus*, *Temora longicornis* ; enfin, avant la poussée des *Chaetoceros*, fin août, on trouve *Spio* sp., *Acartia clausi* et des *Cnidaires*. A l'extrémité de l'axe I, *Sagitta setosa* et *Acartia discaudata* se signalent par leur grande abondance tandis que l'on remarque l'absence de *Terebellides*, de *Pseudocalanus elongatus* et des *Nauplii* de *Cirripèdes* -ces derniers sont pourtant

(+) Cf. Annexe I,

(++) Cf. Annexe II.

abondants toute l'année, c'est pourquoi le caractère absence de l'espèce a cette position extrême sur l'axe- ; cela correspond à la saison automnale. Enfin, au pôle négatif, les forts effectifs de l'espèce phytoplanctonique *Paralia sulcata* et des larves de *Nephtys* se remarquent en fin de saison froide (février - avril), période durant laquelle beaucoup d'espèces zooplanctoniques sont inexistantes à l'exception d'*Acartia discaudata* dont les effectifs restent cependant faibles.

- L'axe II sépare nettement le caractère abondant des espèces du zooplancton des autres modalités. Cela correspond à la période d'été qui voit se développer la plupart des espèces d'une façon importante ; toutefois, quelques unes d'entre elles font exception ; telles les larves de *Nephtys* ou *Sagitta setosa* qui apparaissent soit avant soit après le bloom zooplanctonique et sont localisées du côté positif du deuxième axe.

- En résumé, l'axe I constitue une sorte d'axe des temps le long duquel les espèces phytoplanctoniques et zooplanctoniques apparaissent et disparaissent alternativement tandis que le deuxième axe sépare la saison d'été, à forte biomasse zooplanctonique des autres périodes de l'année prises en compte dans l'analyse.

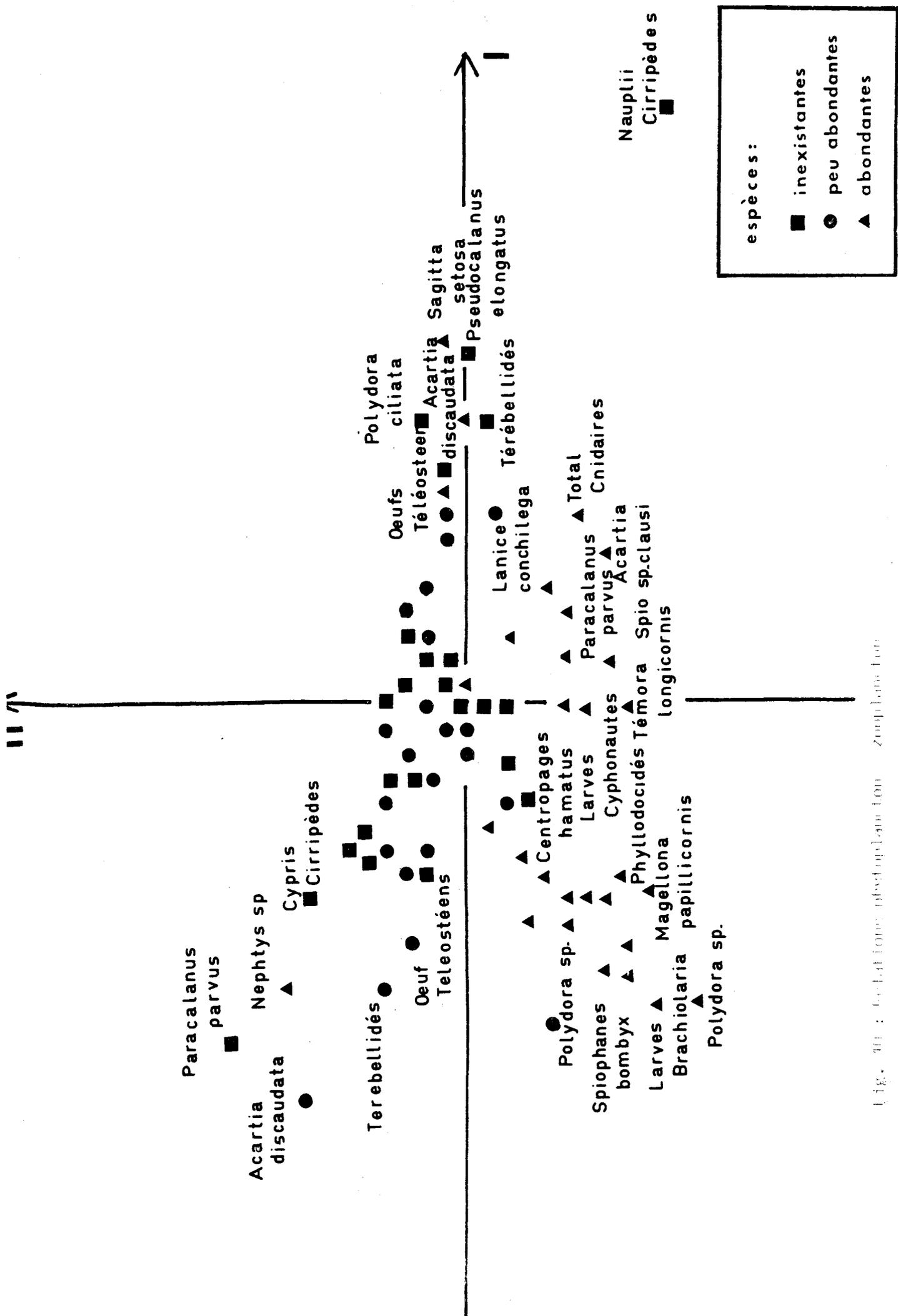


Fig. 40 : Localisation biocéanographique - Zooplankton

et répartition des espèces de zooplankton dans le golfe de Gascogne

Types de communautés



*CONCLUSION GENERALE*

=====

Au terme de cette étude, il est possible de résumer les caractéristiques hydrobiologiques et planctoniques du site de Gravelines à quelques traits essentiels, définissant l'état écologique du milieu durant le cycle annuel considéré.

1. Hydrobiologie

a) La structure hydrobiologique est caractérisée par la séparation du cycle annuel en deux périodes :

- de février à juin, époque où l'on observe une grande stabilité dans le temps du milieu au point de ne pas distinguer de différences notables entre les différentes campagnes (saison froide),

- de juillet à octobre, époque où l'on enregistre une forte variabilité des conditions hydrobiologiques, faisant apparaître une distinction des campagnes entre elles (saison chaude).

L'existence de ces deux "saisons hydrobiologiques" est due principalement, d'une part aux facteurs température et salinité (ceux-ci atteignent leur maximum en août) et d'autre part, aux nitrates, caractéristiques de la saison froide (liés aux apports d'eau douce de l'Aa). La mise en évidence d'une relation inverse (+) entre température, salinité et nitrates est un fait fondamental dans l'étude des liaisons entre paramètres sur la durée du cycle annuel.

b) En ce qui concerne la "saison chaude", les paramètres responsables des fortes variations, outre la température et la salinité, sont de nature phytoplanctonique : chlorophylle a, indice de diversité pigmentaire. Les modifications importantes de structure entre les campagnes du 2 juillet et du 30 août, et le retour à des conditions intermédiaires pour les missions d'octobre, suggèrent l'existence d'un petit cycle, propre à la période estivale.

c) Les variations spatiales de la structure hydrobiologique mises en évidence campagne par campagne témoignent d'un gradient côte-large très instable, influencé par les eaux de l'Aa et de l'avant-port de Dunkerque.

(+) Pour la période prise en compte dans l'analyse i.e. février - Octobre.

Elles font ressortir, en outre, l'existence d'une lentille d'eau coincée entre la côte et la digue ouest du port, dont la forme et les caractéristiques hydrologiques sont variables ; notons que les conditions hydrodynamiques sont peu favorables à la dilution dans cette zone. Enfin, le gradient vertical, plus ou moins net selon les campagnes doit être considéré comme une source de variations peu importante. L'analyse globale établit que les variations spatiales ne représentent qu'une faible part de la variance totale du phénomène, attribuable pour l'essentiel aux variations temporelles durant la saison chaude.

## 2. Phytoplancton

a) Le cycle annuel du phytoplancton est caractérisé par deux traits essentiels :

- le bloom de mai dû essentiellement à une poussée de *Fragilaria* sp. et d'*Asterionella japonica*,

- le bloom de la fin août dû aux *Chaetoceros* et pour une moindre part aux *Rhizosolenia*.

Par rapport à ces deux pôles saisonniers, on peut remarquer d'autres espèces dont l'apparition a lieu soit avant soit après ces deux blooms : ainsi le genre *Nitzschia*, abondant en avril et *Skeletonema costatum* caractéristique du bloom de mai qui accuse une autre poussée en octobre.

- Il importe de noter que le bloom printanier ne coïncide pas avec des modifications hydrobiologiques caractéristiques et n'est pas directement **reliable** aux facteurs physico-chimiques pris en compte dans l'analyse.

Par ailleurs, le fait de n'avoir pas tenu compte de l'éclairement dont le rôle est essentiel dans la multiplication des cellules phytoplanctoniques -et l'absence d'information sur l'abondance des *Phaeocystis*-constituant essentiel du phytoplancton - affaiblissent la portée de ces conclusions.

b) L'étude, campagne par campagne de la distribution spatiale du phytoplancton révèle, d'une façon générale l'existence d'un gradient côte-large, engendré par les influences combinées des eaux de l'Aa et de l'avant-port de Dunkerque. Cette répartition traduit les affinités côtières ou néritiques de certaines espèces et suggère même l'apparition de blooms localisés à la côte ou au large.

### 3. Zooplancton

a) Les peuplements zooplanctoniques de Gravelines peuvent être définis par deux composantes essentielles :

- un contingent faunistique commun à toutes les campagnes, traduisant la part de stabilité du cycle du zooplancton sur le site ; il est essentiellement représenté par des espèces holoplanctoniques parmi lesquelles les Copépodes sont les plus abondants,

- une évolution saisonnière de la composition quantitative et qualitative des peuplements avec un bloom zooplanctonique en juin et définissant un cycle annuel continu et régulier. Les larves méroplanctoniques ainsi que quelques Copépodes sont responsables de ce cycle.

Contrairement aux structures des cycles hydrobiologique et phytoplanctonique, le cycle du zooplancton permet d'individualiser les mois d'hiver. Cette évolution permanente durant la saison froide est certainement attribuable à un temps de réponse plus ou moins long des espèces planctoniques aux modifications du milieu.

b) Les structures spatiales, apparaissant sur les analyses effectuées campagne par campagne, permettent de dégager les affinités côtières ou néritiques de certaines espèces (ce qui justifie le maintien d'une radiale côte-large dans le programme de la seconde année).

La campagne du 15 décembre, effectuée selon le schéma du futur programme, permet de mieux distinguer les variations spatiales des variations temporelles ; néanmoins, la surdispersion des prélèvements répétés en un même point est parfois plus forte que la variabilité inter-stations.

### 4. Liaisons entre l'hydrobiologie et le plancton

a) L'étude des relations croisées entre hydrobiologie, phytoplancton et zooplancton, permet de dégager les principaux paramètres et les principales espèces responsables des conditions d'équilibre du milieu. L'analyse fait apparaître les liens existant entre "température, salinité, nitrates", les deux poussées phytoplanctoniques et le cycle zooplanctonique. Il serait prématuré de tenter de définir la causalité de ces "associations"; néanmoins, l'étude du second cycle annuel permettra d'apprécier leur degré de stabilité et par conséquent leur rôle dans le maintien de l'équilibre de l'écosystème.

b) Par ailleurs, l'ensemble des résultats obtenus sur le premier cycle annuel de Gravelines, justifie largement le nouveau plan d'échantillonnage prévu dans la reconduction du contrat. La nouvelle trame spatio-temporelle, en affinant l'étude des variations dans le temps, permettra de mieux cerner les points forts du cycle (variabilité hydrobiologique durant la "saison chaude", blooms phytoplanctoniques, pics d'abondance estivale du zooplancton). De même une certaine approximation dans les comptages (présence-absence pour le meroplancton, cotation d'abondance pour l'holoplancton) devrait permettre de restituer une information très peu déformée par rapport aux données initiales, comme en témoigne l'analyse des correspondances bâtie uniquement sur trois classes : absent, peu abondant, très abondant. Cette économie pratique, réalisable au niveau de la numération planctonique permet d'envisager un comptage plus fin sur les quelques espèces pondéralement importantes dans le milieu, conformément aux intentions notifiées dans le rapport écologique général.

ANNEXE I

1. Tableau de contingence

Considérons deux groupes de  $p$  et  $q$  caractères dont on veut étudier les inter-relations.

- Soit  $N$  prélèvements dans lesquels sont mesurés tous ces caractères. Chacun d'eux est divisé en trois modalités correspondant respectivement aux faibles, moyennes et fortes valeurs du caractère considéré. Le premier groupe des  $3p$  variables forme les lignes du tableau et le second groupe les  $3q$  colonnes. A l'intersection de la  $i$ ème ligne ( $i = 1..3p$ ) et de la  $j$ ème colonne ( $j = 1..3q$ ), on note  $N_{ij}$  le nombre de prélèvements dans lesquels les modalités  $i$  et  $j$  ont été mesurées ensemble. Le tableau  $3p \times 3q$  ainsi formé est appelé tableau de comptage ou de contingence ou d'occurrence.

2. Détermination des classes

- Les bornes définissant les classes correspondant aux trois modalités d'un caractère sont déterminées au vu de l'histogramme des fréquences ; on procède de telle façon qu'il y ait à peu près le même nombre de prélèvements dans chaque intervalle afin de ne pas privilégier des événements extrêmes et isolés, tels une grande abondance subite d'une espèce ou la chute brutale d'un paramètre. Il en est ainsi pour les variables hydrobiologiques. En revanche, pour le zoo- et le phytoplancton, la première modalité correspond à l'absence de l'espèce considérée, la seconde aux faibles effectifs et la troisième aux grandes abondances.

- Comment déterminer à priori le nombre de modalités pour une variable ?

Il est certain qu'avec peu de classes, on risque de ne point avoir assez d'information tandis qu'un nombre trop vaste peut nuire à la clarté des résultats. L'intérêt de l'analyse des correspondances est que, du fait du principe d'équivalence distributionnelle (+), cette méthode est peu sensible au détail de la partition adoptée. De plus, il faut remarquer qu'à prendre un nombre trop important de classes pour chaque variable, on risque d'infliger au programme de traitement statistique des tailles de mémoire ordina-

(+) Cf. Annexe II, 2.).

Un point aura donc d'autant plus de poids que les  $N_{ij}$  seront grands, ce qui veut dire qu'un caractère sera d'autant plus déterminant dans l'analyse qu'il aura été pris un grand nombre de fois.

c) La distance

Considérons la distance euclidienne entre deux points :

$$d^2(i, i') = \sum_{j=1}^q \left\{ \frac{N_{ij}}{N_{i.}} - \frac{N_{i'j}}{N_{i'.}} \right\}^2$$

Supposons que les effectifs de la colonne  $j_0$  soient très importants, alors le terme :

$$\left\{ \frac{N_{ij_0}}{N_{i.}} - \frac{N_{i'j_0}}{N_{i'.}} \right\}^2$$

sera très grand par rapport aux autres et jouera un rôle excessif dans la détermination des proximités. Aussi, pondèrera-t-on ce terme par  $N_{.j_0}$ , afin d'atténuer cette disparité, d'où la distance adoptée :

$$d^2(i, i') = \sum_{j=1}^q \frac{1}{N_{.j}} \left\{ \frac{N_{ij}}{N_{i.}} - \frac{N_{i'j}}{N_{i'.}} \right\}^2$$

Elle est appelée distance du  $\chi^2$ .

2. Principe d'équivalence distributionnelle

Supposons deux profils de colonnes identiques :

$$\frac{N_{ij}}{N_{.j}} = \frac{N_{i'j'}}{N_{.j'}} \quad i = 1, 2, \dots, p$$

Alors, la distance  $d^2(i, i')$  ne sera pas affectée si l'on remplace les deux points  $\frac{N_{ij}}{N_{.j}}$  et  $\frac{N_{i'j'}}{N_{.j'}}$  (appartenant à  $R^p$ ) par un seul, affecté de la somme des poids attribués à chacun des points :  $N_{.j} + N_{.j'}$ .

Cette propriété importante permet de donner des résultats relativement intrinsèques, i.e. les plus indépendants possibles de l'arbitraire des partitions. En effet, si deux classes sont très voisines, on ne modifie pratiquement pas les résultats en les regroupant sous une seule rubrique.