

Electricité de France

**ETUDE ECOLOGIQUE
SITE DE PALUEL
RAPPORT FINAL**

VOLUME III

TRAITEMENT MATHÉMATIQUE



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

DECEMBRE 1976

ELECTRICITE de FRANCE

ÉTUDE ÉCOLOGIQUE DU SITE DE PALUEL

RAPPORT FINAL

VOLUME III

- TRAITEMENT MATHÉMATIQUE -

CENTRE NATIONAL POUR L'EXPLOITATION DES OCÉANS

CENTRE OCÉANOLOGIQUE DE BRETAGNE

DÉCEMBRE 1976

AVANT - PROPOS

=====

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

Les personnes ayant participé à ce travail sont :

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

SOMMAIRE

INTRODUCTION p. 1

CHAPITRE I : HYDROBIOLOGIE

I. ANALYSES GENERALES

- 1. Introduction p. 4
- 2. Première étude générale p. 4
- 3. Deuxième étude générale p. 6
- 4. Analyse de la période estivale p. 7

II. ANALYSES PARTICULIERES

- 1. Introduction p. 7
- 2. 15 mai p. 8
- 3. 5-6 juin p. 8
- 4. 8-9 juillet p. 8
- 5. 3-4 septembre p. 9
- 6. 8-9 octobre p. 9

III. CONCLUSION p. 10

CHAPITRE II : PHYTOPLANCTON

I. ANALYSE GENERALE

- 1. Introduction p. 11
- 2. Analyse générale p. 11

II. ANALYSES PARTICULIERES

- 1. Introduction p. 12
- 2. 28-29 avril p. 13
- 3. 5-6 juin p. 13
- 4. 8-9 juillet p. 13
- 5. 8-9 octobre p. 13

III. CONCLUSION p. 14

CHAPITRE III : ZOOPLANCTON

I. ETUDE GENERALE

- 1. Introduction p. 15
- 2. Etude du cycle annuel p. 15

II. ETUDES PARTICULIERES

- 1. 28 avril p. 16
- 2. 5 juin p. 16
- 3. 8 juillet p. 17
- 4. 3 septembre p. 17
- 5. 8 octobre p. 17

III. CONCLUSION p. 18

CHAPITRE IV : RELATIONS HYDROBIOLOGIE - PLANCTON

I. HYDROBIOLOGIE - PHYTOPLANCTON

- 1. Introduction p. 19
- 2. Résultats p. 19

II. HYDROBIOLOGIE - ZOOPLANCTON

- 1. Introduction p. 20
- 2. Résultats p. 20

III. ZOOPLANCTON - PHYTOPLANCTON

- 1. Introduction p. 21
- 2. Résultats p. 21

CHAPITRE V : CONCLUSION GENERALE

- 1. Hydrobiologie p. 22
- 2. Phytoplancton p. 22
- 3. Zooplancton p. 23
- 4. Liaisons entre l'hydrobiologie et le plancton p. 24

ANNEXES :

- Annexe 1 p. 25
- Annexe 2 - Analyse des correspondances p. 27

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 Paluel, 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.

Méthodologie

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 mathématiquement 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.

CHAPITRE I

- HYDROBIOLOGIE -

CHAPITRE I

=====

HYDROBIOLOGIE

I. Analyses générales

1°) Introduction

Les prélèvements concernant l'hydrobiologie sont répartis en dix campagnes effectuées aux dates suivantes : 27-28 février, 11 mars, 28-29 avril, 15 mai, 5-6 juin, 8-9 juillet, 27 août, 3-4 septembre, 8-9 octobre et 6 novembre.

Les variables mesurées sont au nombre de douze : température, salinité, oxygène dissous, pH, matière en suspension, chlorophylle a, phaeopigments, indice pigmentaire A430/A665, nitrites, nitrates, phosphates et silicates. Cependant, trois d'entre elles n'ont pas été mesurées dans toutes les campagnes : les nitrites et les silicates sont absents en février et la matière en suspension n'est pas déterminée en novembre.

Aussi, dans une première analyse considèrera-t-on toutes les campagnes avec uniquement neuf variables et dans une deuxième étude, tous les paramètres mais seulement huit campagnes.

Les variables sont centrées et réduites afin d'homogénéiser les échelles de mesures exprimées dans des unités différentes selon les paramètres.

2°) Première étude générale (Fig. 1)

Le plan I-II (Fig. 1) de cette première analyse générale extrait 60 % de l'inertie totale de l'ensemble des observations. Il fournit donc à lui seul, une explication très satisfaisante du cycle annuel hydrobiologique considéré. Celui-ci présente trois caractéristiques principales : tout d'abord, la période automne-hiver (octobre, novembre, février et mars) représentée par des campagnes groupées traduisant une certaine stabilité des conditions hydrobiologiques ; puis la période printanière (avril, mai, juin) caractérisée par une évolution très marquée du milieu ; enfin, la période d'été où les campagnes de juillet, août et septembre forment un ensemble homogène (témoignant d'une nouvelle période de stabilité).

- Les principaux facteurs déterminant ce cycle hydrobiologique sont la température et la salinité qui contribuent respectivement à 15 % et 25 % de l'inertie

du premier axe. Les plus hautes valeurs de ces deux paramètres sont atteintes en juillet, août et début septembre. On pourrait s'attendre à trouver au pôle négatif de l'axe I les mois de février et mars durant lesquels la température est la plus basse de l'année. Il n'en est rien car les valeurs de salinité observées pendant cette période sont élevées (comparables à celles relevées aux mois de mai et juin), ce qui explique la position de ces campagnes sur le plan factoriel. En revanche, la place extrême de la mission des 28 et 29 avril sur le premier axe correspond à un minimum de salinité et surtout au maximum de chlorophylle a et du taux d'oxygène. En effet, opposées à la température et à la salinité se trouvent l'oxygène et la chlorophylle qui contribuent respectivement à 14 % et 13 % de l'inertie du premier axe. Fin avril est l'époque du bloom phytoplanctonique où la photosynthèse est active. Ces deux paramètres décroissent rapidement en mai et juin quand se développe le zooplancton et les valeurs les plus basses sont enregistrées en juillet et plus généralement pendant l'été.

La période relativement courte (fin avril-début mai) durant laquelle la rapidité de la croissance des températures et des salinités n'a d'égale que celle de la décroissance de l'oxygène et de la chlorophylle est bien caractérisée par la nette distinction des trois campagnes correspondantes (séparées seulement d'une quinzaine de jours).

L'essentiel de la variation hydrobiologique du milieu s'effectue en un peu plus d'un mois avant d'atteindre une situation relativement stable en été. On constate la même stabilité du milieu vis-à-vis de ces paramètres en hiver, période caractérisée par des variables dont l'essentiel de la variation se trouve le long de l'axe II.

- L'axe II, en effet, met en évidence, dans les valeurs positives la période automne-hiver composée des campagnes des 8 et 9 octobre, du 6 novembre, des 27 et 28 février et du 11 mars. Les variables les plus contributives à cet axe sont les phosphates, les nitrates et le pH qui représentent respectivement 36 %, 26 % et 16 % de la variation totale le long du deuxième axe. Le maximum des sels nutritifs est atteint en mars pour décroître rapidement en avril et mai où ils atteignent leur minimum. Cela est lié directement au développement du phytoplancton qui épuise très vite le milieu. Les réserves se reconstituent en été et augmentent à nouveau de façon sensible au début de l'hiver (octobre, novembre). Quant au pH, il suit un comportement exactement inverse à celui des sels minéraux. Faible en hiver, il atteint ses plus fortes valeurs en mai-juin pour diminuer de nouveau en été. Il croît cependant en automne et au début de l'hiver (octobre-novembre), fait que l'on peut relever en appréciant la position de la campagne du 6 novembre sur l'axe II.

- Quant aux phéopigments et à l'indice pigmentaire, sans être de première importance dans l'évolution du milieu, ils peuvent constituer un complément d'information utile, notamment sur le phytoplancton. Ils contribuent respectivement à 5 % et 10 % de l'inertie de l'axe I. Atteignant leur maximum en été (particulièrement en juillet et août) et leur minimum fin avril-début mai, ils se trouvent directement opposés à l'oxygène et à la chlorophylle. En avril-mai où ces derniers sont maximum, le phytoplancton est jeune, abondant et la photosynthèse intense : l'indice pigmentaire est faible et les phéopigments minimum. En revanche, en été, les valeurs fortes de ceux-ci indiquent que la population phytoplanctonique est vieille et dégénérée et la photosynthèse peu active.

3°) Deuxième étude générale (Fig. 2)

Cette deuxième analyse du cycle hydrobiologique annuel prend en compte toutes les variables mesurées, i.e. celles analysées précédemment auxquelles sont jointes la matière en suspension, les nitrites et les silicates. En revanche, les campagnes des 27 et 28 février et du 6 novembre, où subsistaient des valeurs manquantes relatives à ces trois derniers paramètres, ont été retirées.

Le pourcentage d'inertie extrait par le plan I-II (Fig. 2) est de 60 %. Celui-ci reste donc inchangé par rapport à la première analyse, bien qu'un plus grand nombre de variables ait été pris en compte. Le cycle hydrobiologique reste identique au précédent en ce sens que l'on peut déterminer trois périodes principales : tout d'abord la saison automne-hiver (octobre-mars) avec ses campagnes différenciées, puis les mois d'avril, mai et juin très distincts les uns des autres, enfin la période estivale (juillet-août-septembre) où les missions sont mélangées. Ce sont exactement les trois caractéristiques principales du cycle annuel défini dans l'étude précédente. Les variables les plus contributives à l'inertie de l'axe I sont d'une part la salinité (19 %) et d'autre part les nitrates (16 %), la chlorophylle a (13 %) et l'oxygène (11 %). Le long de l'axe II, on trouve les sels nutritifs (silicates (21 %), nitrites (14 %), phosphates (13 %)) et la température (13 %). Une rotation autour de l'origine, dans le plan I-II, de toutes les campagnes affecte ainsi les contributions des variables selon les deux premiers axes par rapport à la précédente analyse. Cependant, leur position implique des interprétations absolument identiques. Les nouvelles variables introduites (matière en suspension, nitrites, silicates) se placent près des campagnes d'octobre et mars, mois où les teneurs en sels nutritifs sont les plus élevées et la matière en suspension la plus abondante. La saison automne-hiver est ainsi davantage caractérisée que précédemment.

Du point de vue de sa composition physico-chimique, l'étude de l'évolution du milieu n'a pas permis de distinguer les campagnes correspondant à la période esti-

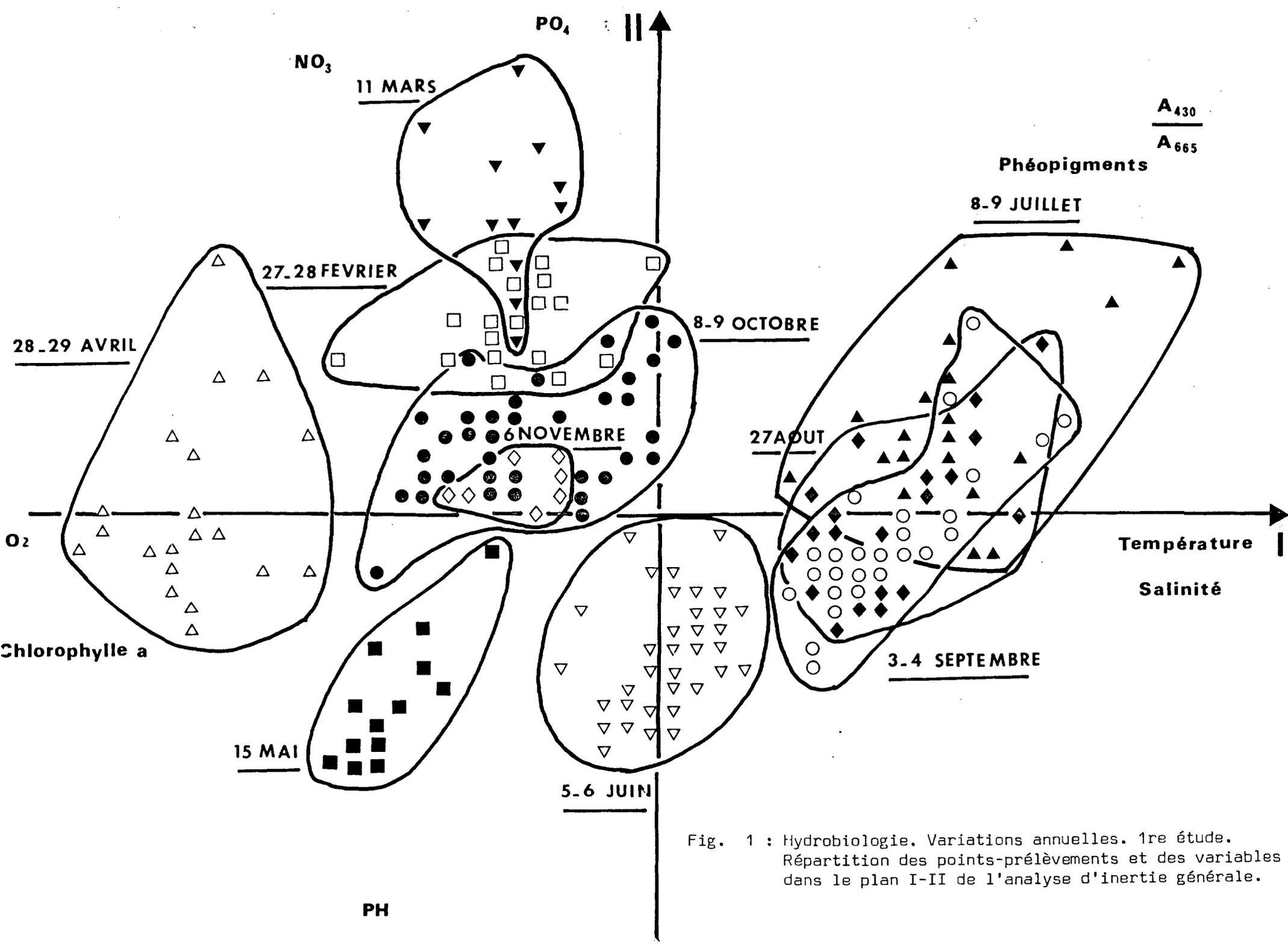


Fig. 1 : Hydrobiologie. Variations annuelles. 1re étude.
 Répartition des points-prélèvements et des variables
 dans le plan I-II de l'analyse d'inertie générale.

vale (juillet-août-septembre). Nous allons donc considérer ces seules missions et les analyser à part pour déceler éventuellement des différences significatives qui pourraient exister entre elles.

4°) Analyse de la période estivale (Fig. 3)

Le premier résultat apparaissant sur le plan I-II (Fig. 3) est la séparation des prélèvements en trois groupes correspondant exactement aux trois campagnes incluses dans l'analyse. Le premier axe sépare la mission des 8 et 9 juillet de celles d'août et septembre et le deuxième axe distingue ces deux dernières entre elles.

Selon le premier axe, les facteurs les plus contributifs sont la température (27 %), les nitrates (22 %) et l'oxygène (16 %). Ils prennent des valeurs plus élevées en août et septembre qu'en juillet. Les nitrites et les silicates sont également plus abondants. Quant à la distinction entre la mission du 27 août et celle du 4 septembre, elle est principalement attribuable à la matière en suspension (20 %) et aux silicates (16 %). Ces variables prennent des valeurs plus élevées fin août que début septembre. Le pH (16 %) contribue aussi à cette séparation mais avec une variation inverse de celles des deux premières variables : il est plus fort en septembre qu'en août.

Distantes seulement d'une semaine ces deux campagnes sont très différenciées. Il serait sans doute hasardeux de n'attribuer cette distinction qu'aux modifications dans le temps des caractères hydrobiologiques du milieu. En fait, la localisation des prélèvements est différente entre le 27 août et le 4 septembre et une variation spatiale, toujours possible, vient compliquer l'interprétation de l'analyse.

II. Analyses particulières

1°) Introduction

Les analyses des campagnes individuelles visent à dégager d'éventuelles structures spatiales, plus ou moins fortes selon les saisons, qu'aucune analyse globale ne peut faire apparaître.

Toutes les campagnes ont été analysées mais les résultats ne sont pas tous exposés. En effet, certaines d'entre elles -particulièrement celles d'hiver- ne présentent pas de caractéristiques intéressantes telles que : gradient côte-large, stratification verticale, distinction Est-Ouest, etc...

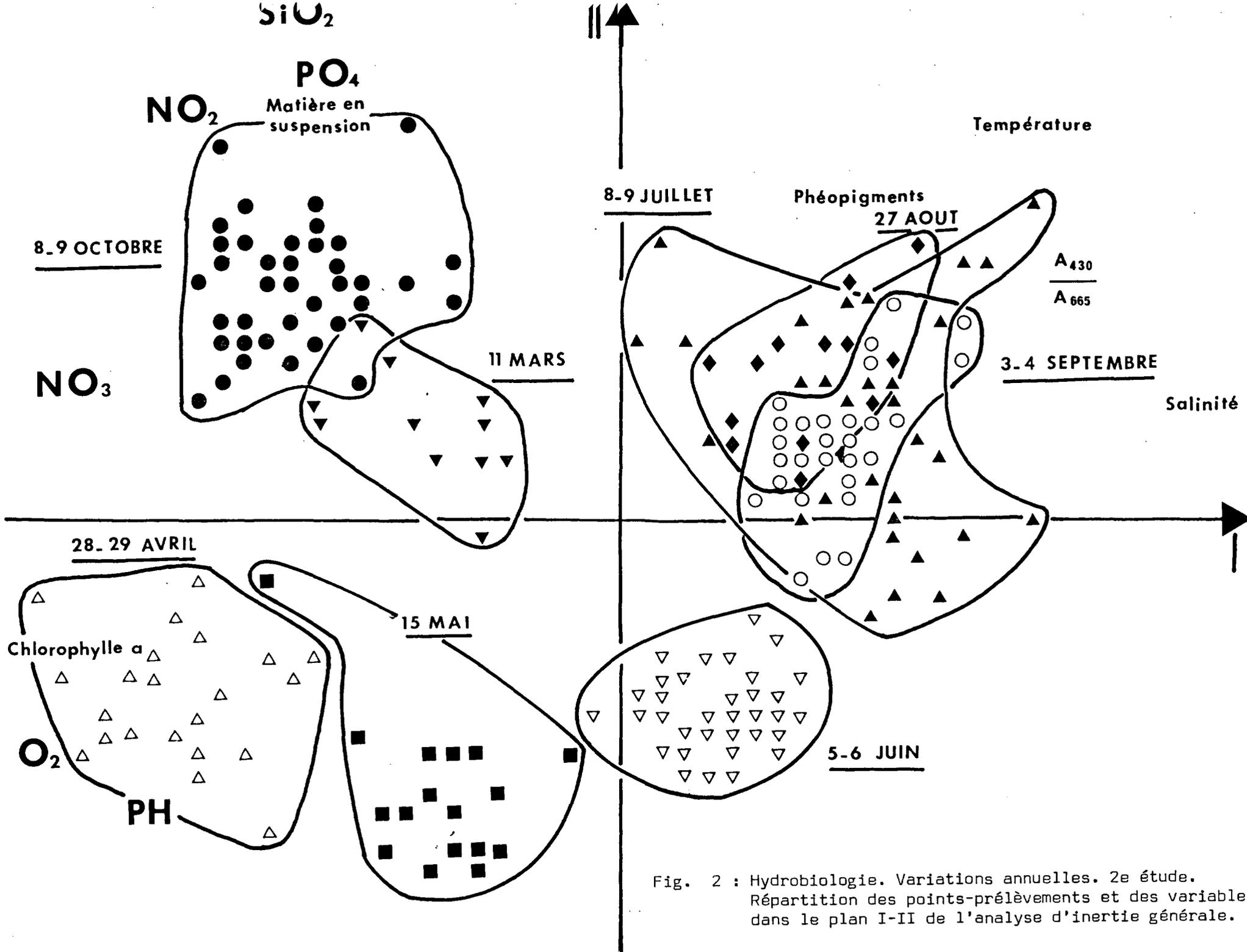


Fig. 2 : Hydrobiologie. Variations annuelles. 2e étude.
 Répartition des points-prélèvements et des variables
 dans le plan I-II de l'analyse d'inertie générale.

2°) 15 mai (Fig. 4, 5, 6)

L'ensemble des stations peut être divisé en trois groupes selon l'axe I (Fig. 4 et 5) : le premier -vers le pôle positif- composé des points 3 et 15, le second des points 5, 7, 10 et 12 (zone du débouché de la Durdent) et le troisième ne comprenant que la station 2 et le niveau profond de la station 10. La température et les sels nutritifs (nitrates, silicates) -dont les valeurs sont élevées en 3 et 15- sont opposés à la salinité, plus forte en 2 et 10 (stations du large). Le deuxième axe sépare l'ensemble des prélèvements en deux parties (Fig. 4 et 6) : d'une part, les points 2, 3, 7 et 10, d'autre part les stations 5, 12 et 15. Cette dernière, proche de la côte, est caractérisée par des valeurs plus élevées de matières en suspension, de pH et de chlorophylle a que dans la zone des points 2, 3, 7 et 10, plus au large ou plus éloignée de l'arrivée des eaux douces.

3°) 5-6 juin (Fig. 7, 8)

La caractéristique principale apparaissant le long de l'axe I est la séparation existant entre les prélèvements du 5 juin et ceux du 6 juin (Fig. 7). Deux domaines bien distincts ont été échantillonnés (Fig. 8) : le 5 juin la partie Est du site (1, 2, 3, 4, 5) et la radiale (10, 11, 12, 13, 14, 15), le 6 juin, l'embouchure de la Durdent (6, 7, 8, 9) et la partie Ouest du site (16, 17, 18, 19). Cette distinction est liée principalement à l'opposition température-salinité ; la première zone est plus salée mais plus froide tandis que la seconde, plus chaude est moins salée. Le deuxième axe met en évidence les stations 6 et 9, placées à l'embouchure de la Durdent : elles se caractérisent par de fortes teneurs en chlorophylle et en matières en suspension. Cette analyse mettant en présence des secteurs différents échantillonnés à 1 jour d'intervalle ne permet pas d'attribuer à la répartition spatiale seule la structure observée. En raison de l'opposition très accusée entre les prélèvements du 5 et du 6 juin, il est vraisemblable que le temps ait agi comme source de variations à l'échelle de la zone étudiée.

4°) 8-9 juillet (Fig. 9, 10, 11)

Le premier axe (Fig. 9) partage le site en trois parties bien distinctes : la zone Est (16, 17, 18, 19), l'embouchure de la Durdent (6, 9, 13, 14) et le reste des autres stations i.e. la zone Ouest (1, 2, 3, 4, 5, 7, 8) et la radiale (10, 11, 12) (Visualisation Fig. 10). Cette distinction est liée principalement à l'opposition température-salinité, l'embouchure de la Durdent étant plus chaude et plus riche en nitrates tandis que la zone Est est plus salée. Les autres stations se placent toutes de la même façon entre ces deux extrêmes. En revanche, elles se distinguent selon l'axe II (Fig. 9) : les prélèvements de surface mettent en évidence un gradient côte-

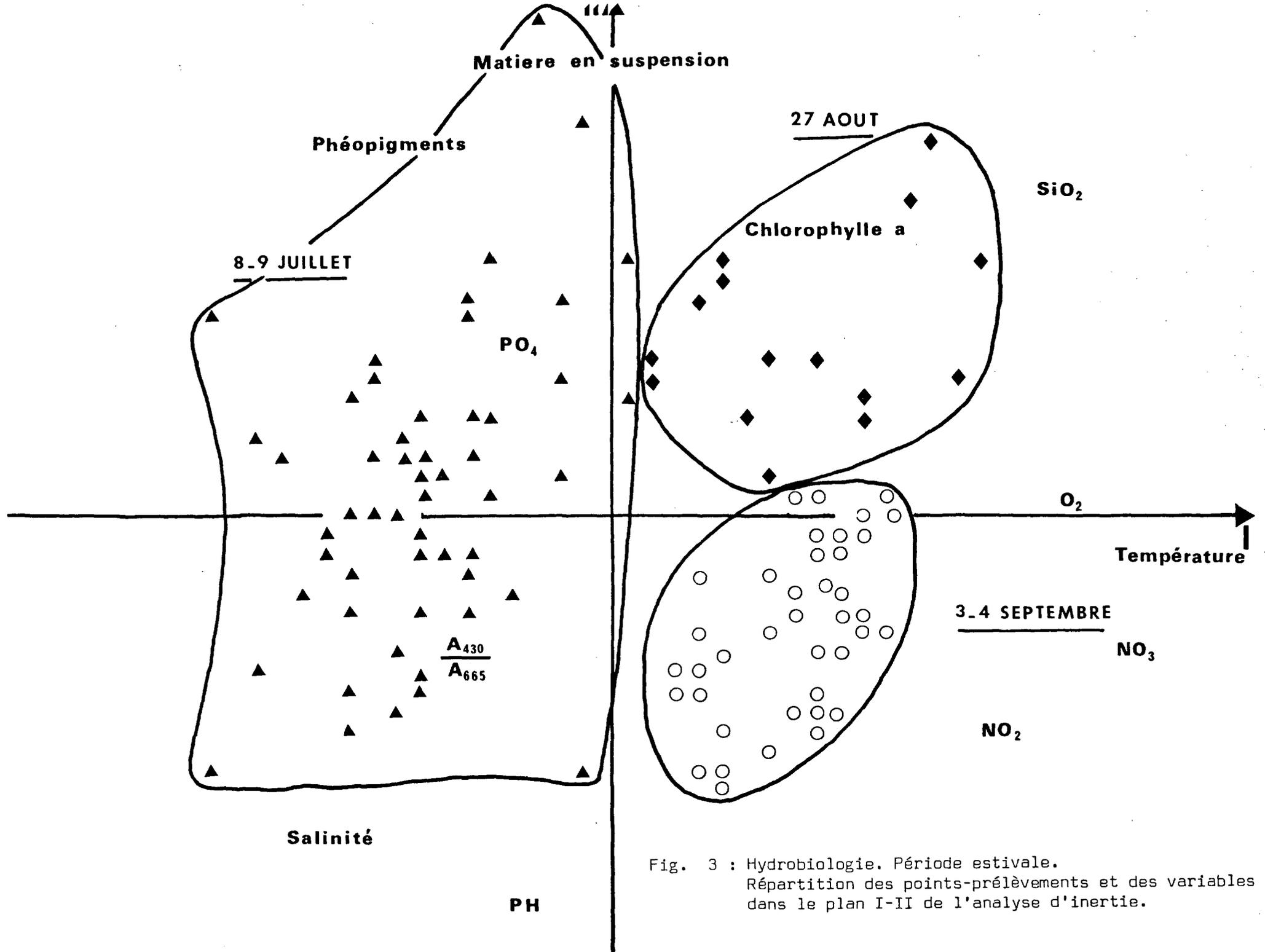


Fig. 3 : Hydrobiologie. Période estivale.
 Répartition des points-prélèvements et des variables
 dans le plan I-II de l'analyse d'inertie.

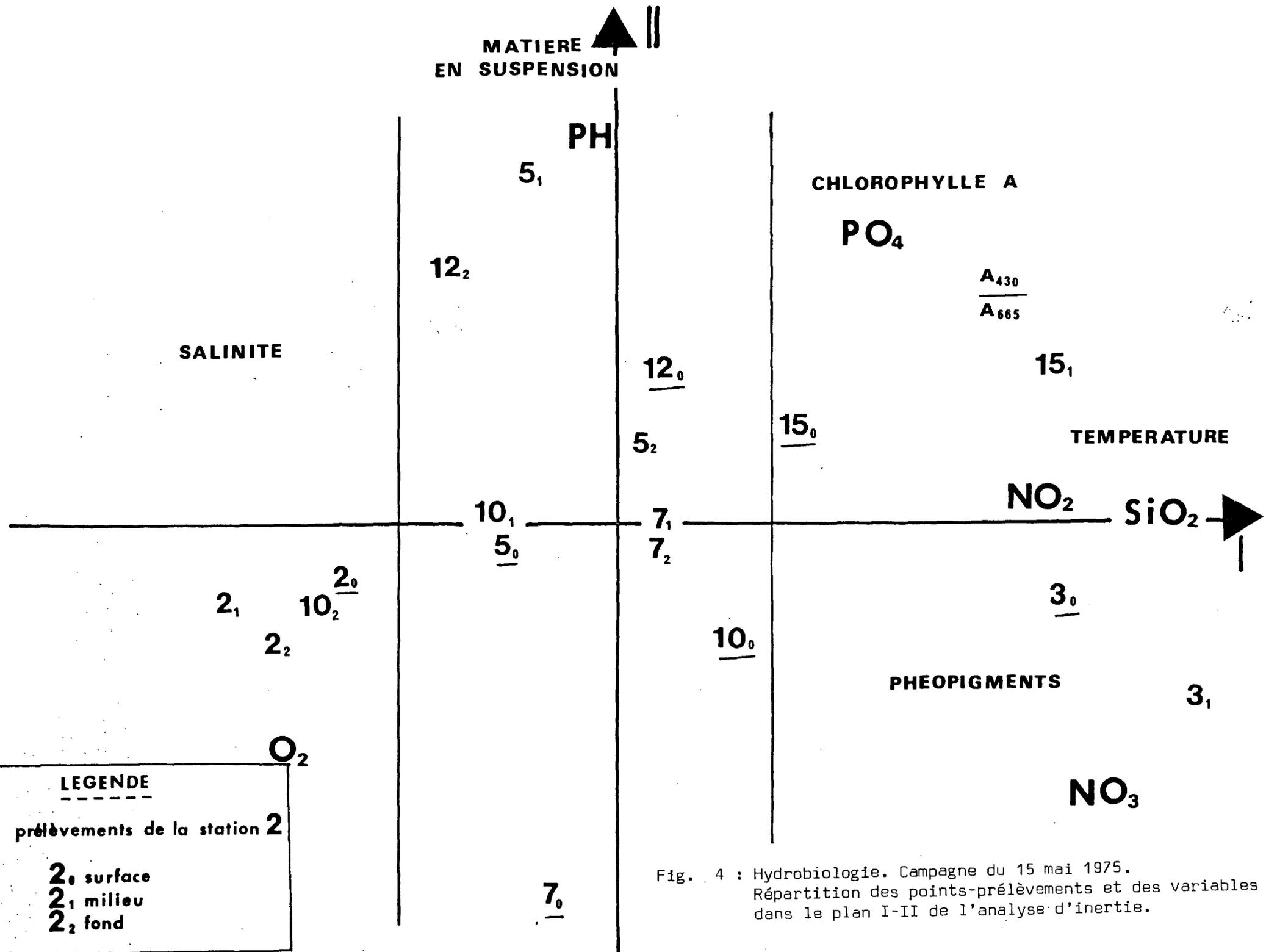


Fig. 4 : Hydrobiologie. Campagne du 15 mai 1975.
Répartition des points-prélèvements et des variables dans le plan I-II de l'analyse d'inertie.

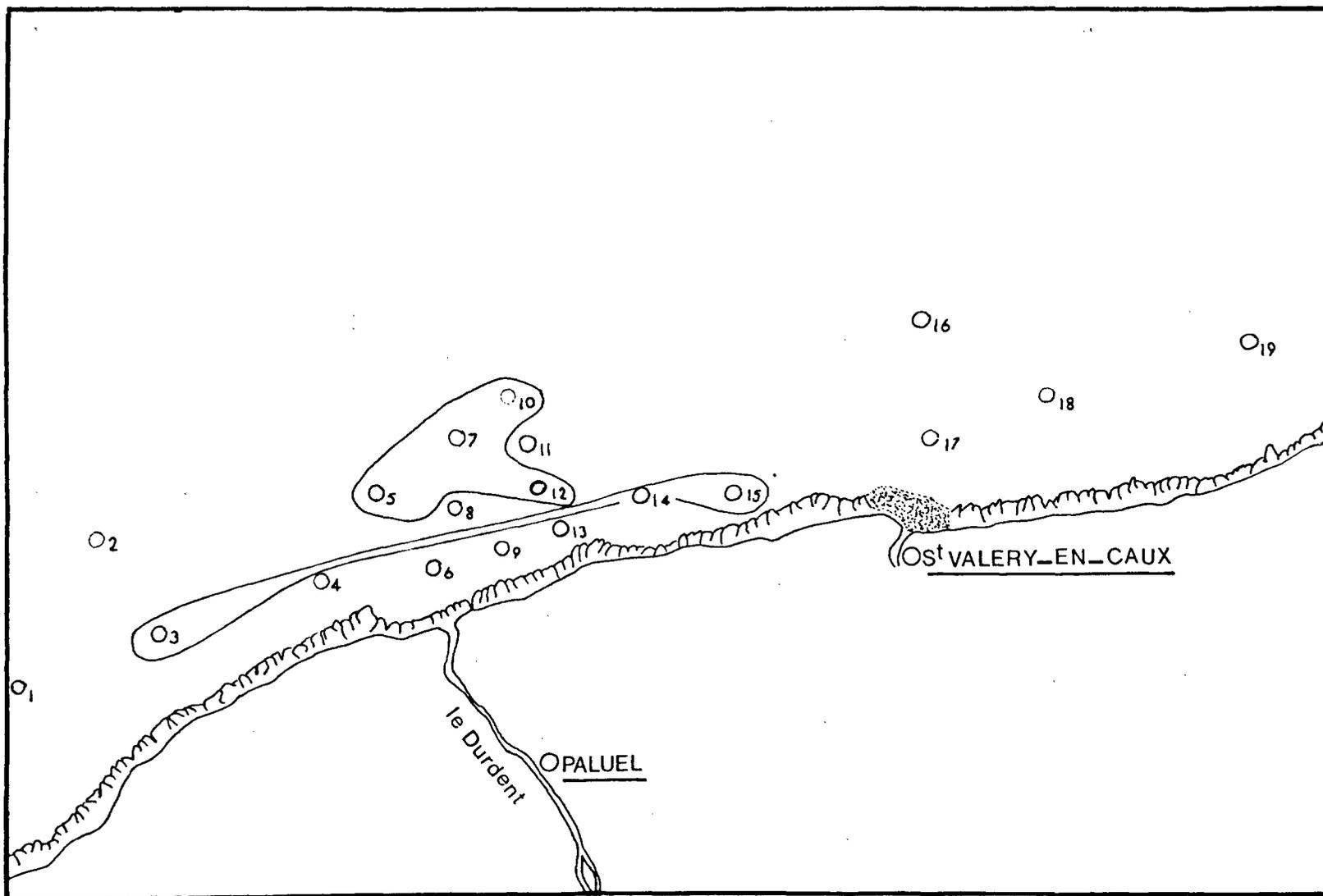


Fig. 5 : Hydrobiologie. Campagne du 15 mai 1975.
 Structure spatiale des prélèvements par
 rapport à l'axe I.

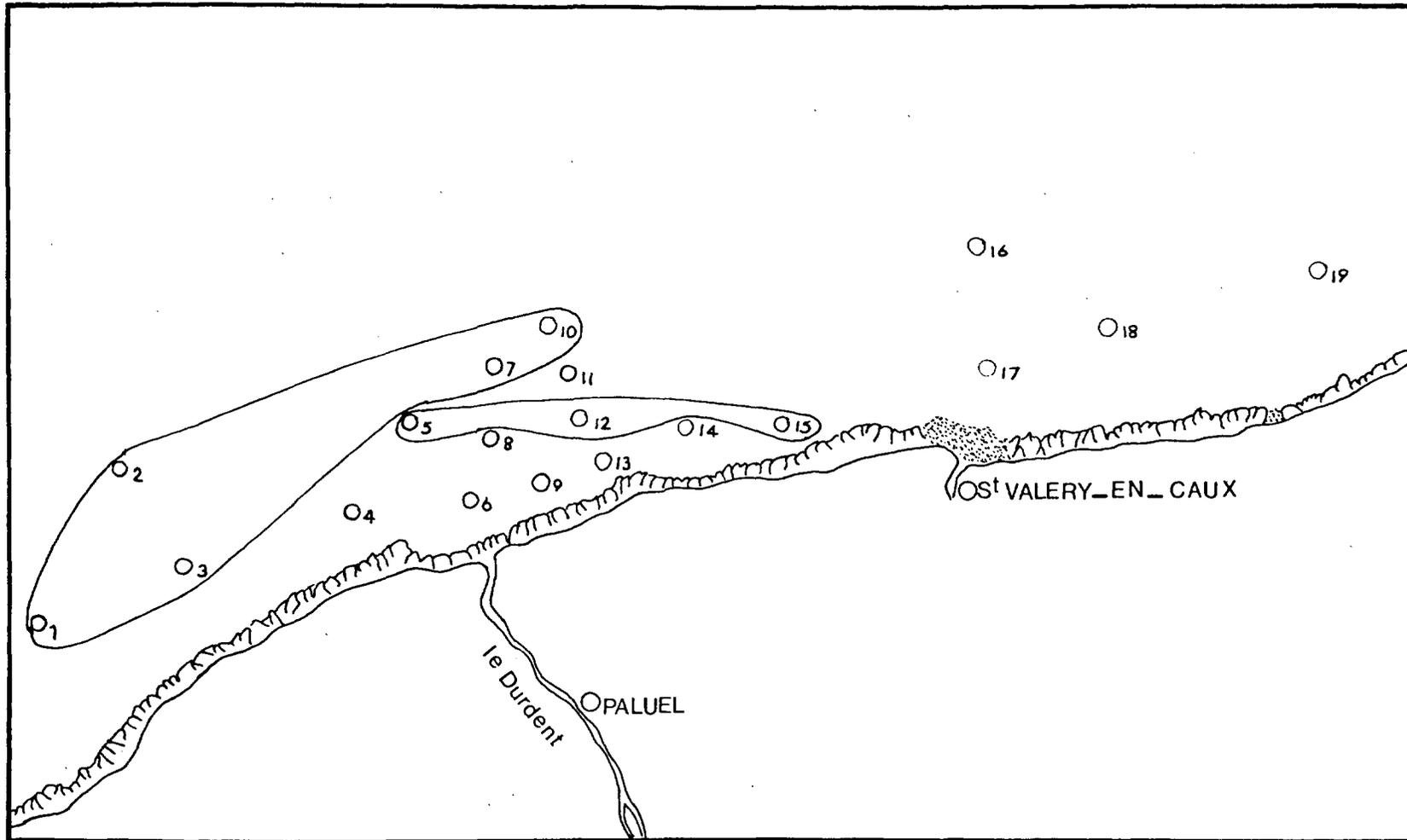


Fig. 6 : Hydrobiologie. Campagne du 15 mai 1975.
Structure spatiale des prélèvements par
rapport à l'axe II.

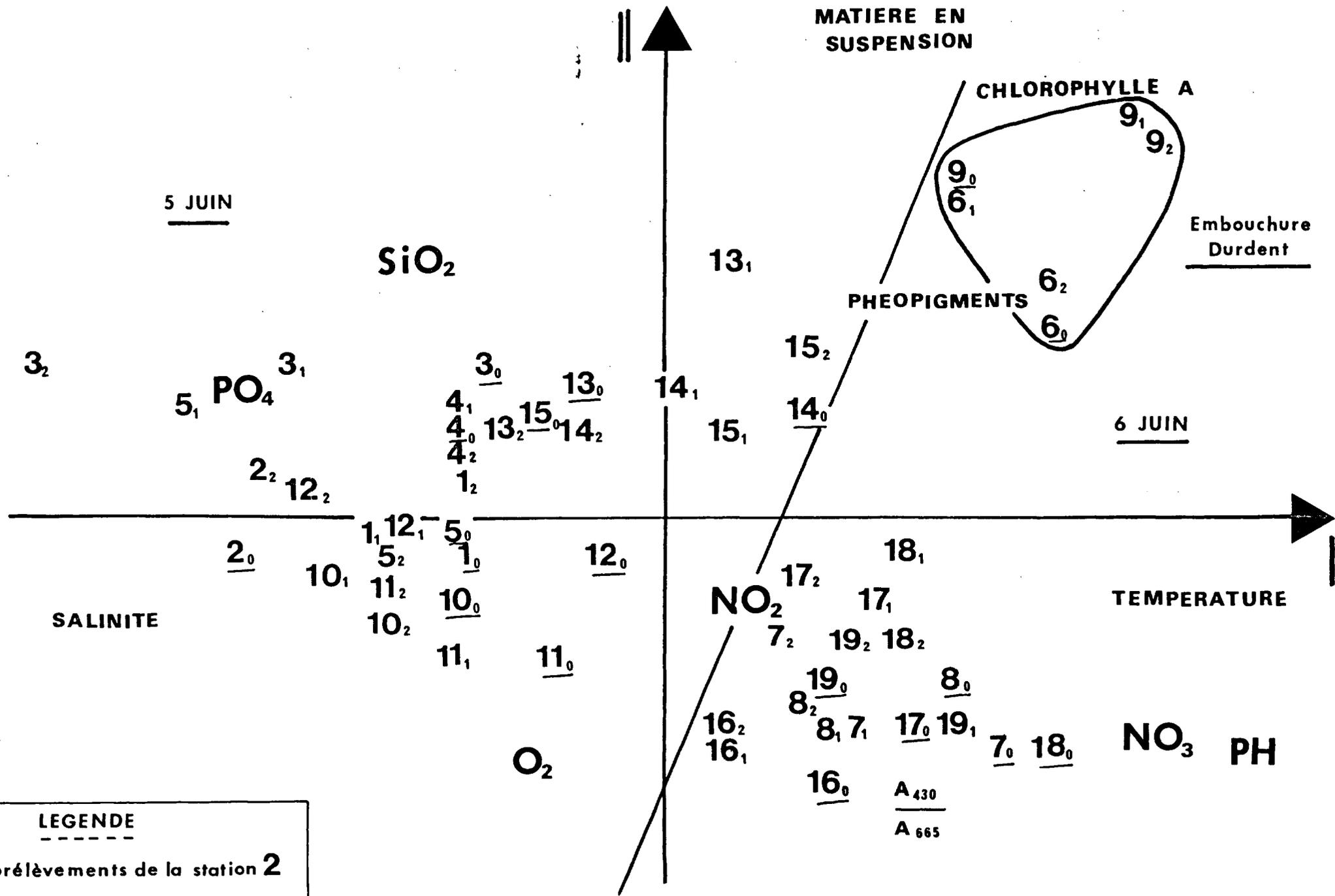


Fig. 7 : Hydrobiologie. Campagne du 5-6 juin 1975. Répartition des points-prélèvements et des variables dans le plan I-II de l'analyse d'inertie.

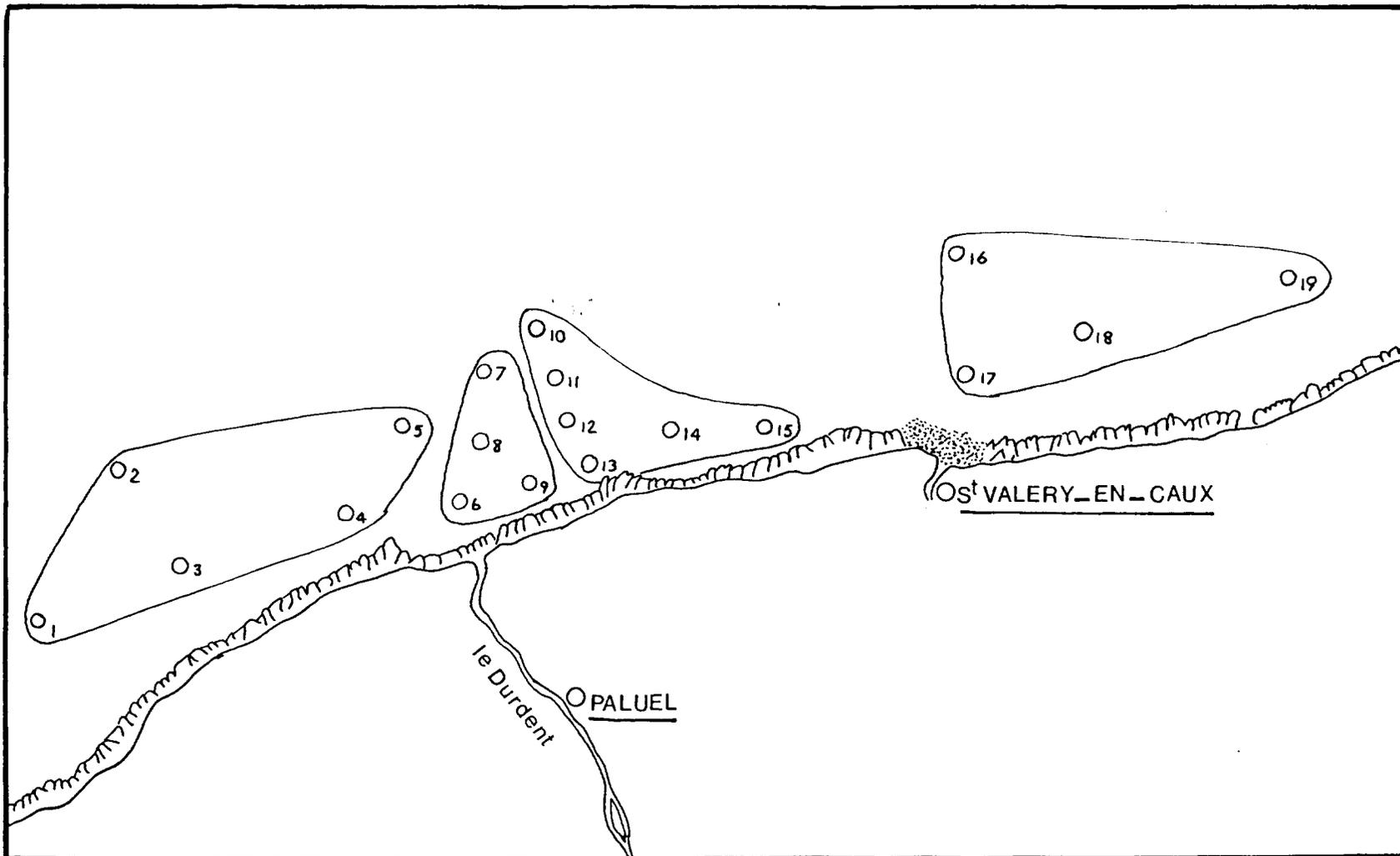
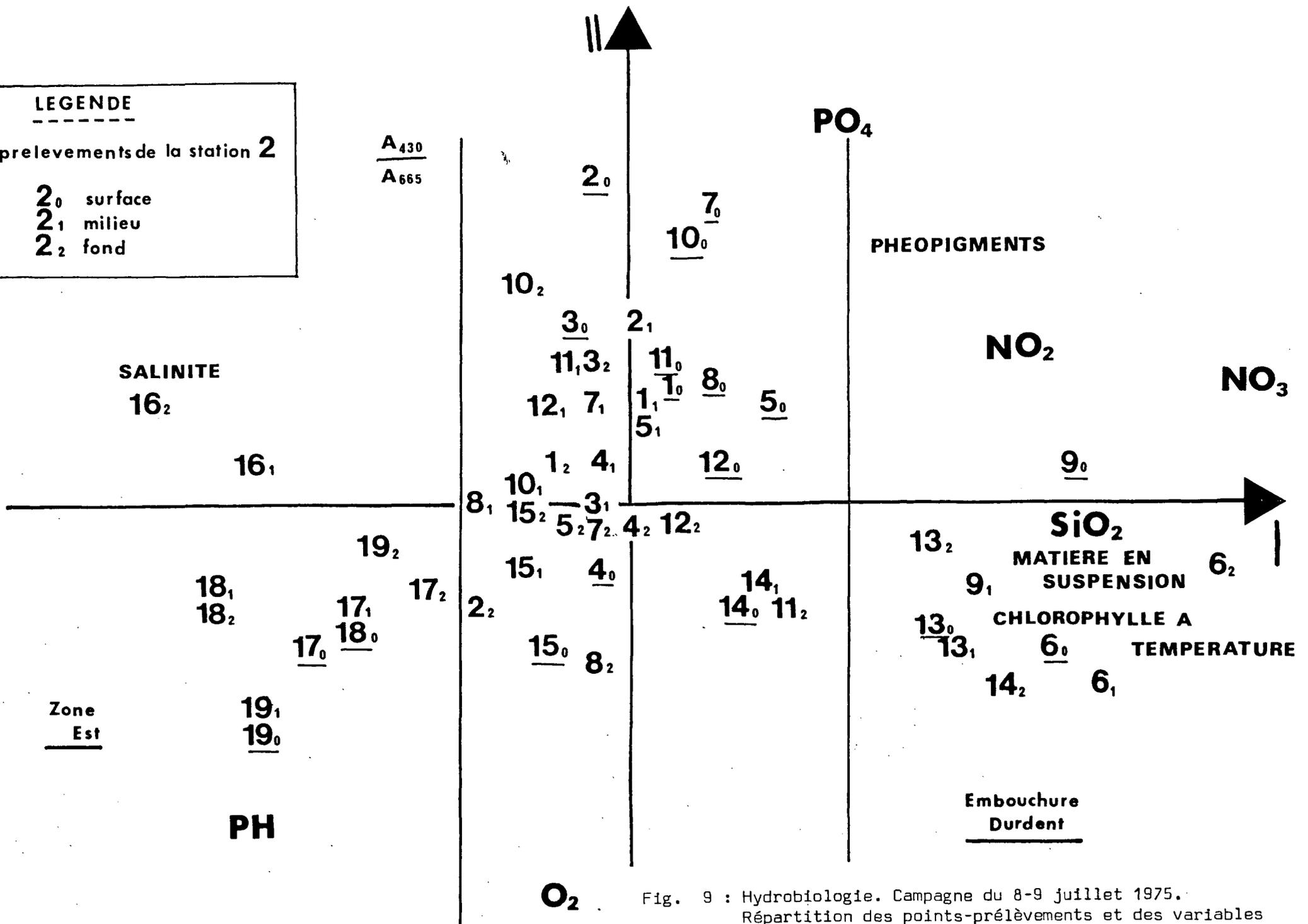


Fig. 8 : Hydrobiologie. Campagne du 5-6 juin 1975.
 Structure spatiale des prélèvements par
 rapport à l'axe I.

LEGENDE

prelevements de la station 2

- 2₀** surface
- 2₁** milieu
- 2₂** fond



O₂ Fig. 9 : Hydrobiologie. Campagne du 8-9 juillet 1975.
Répartition des points-prélèvements et des variables dans le plan I-II de l'analyse d'inertie.

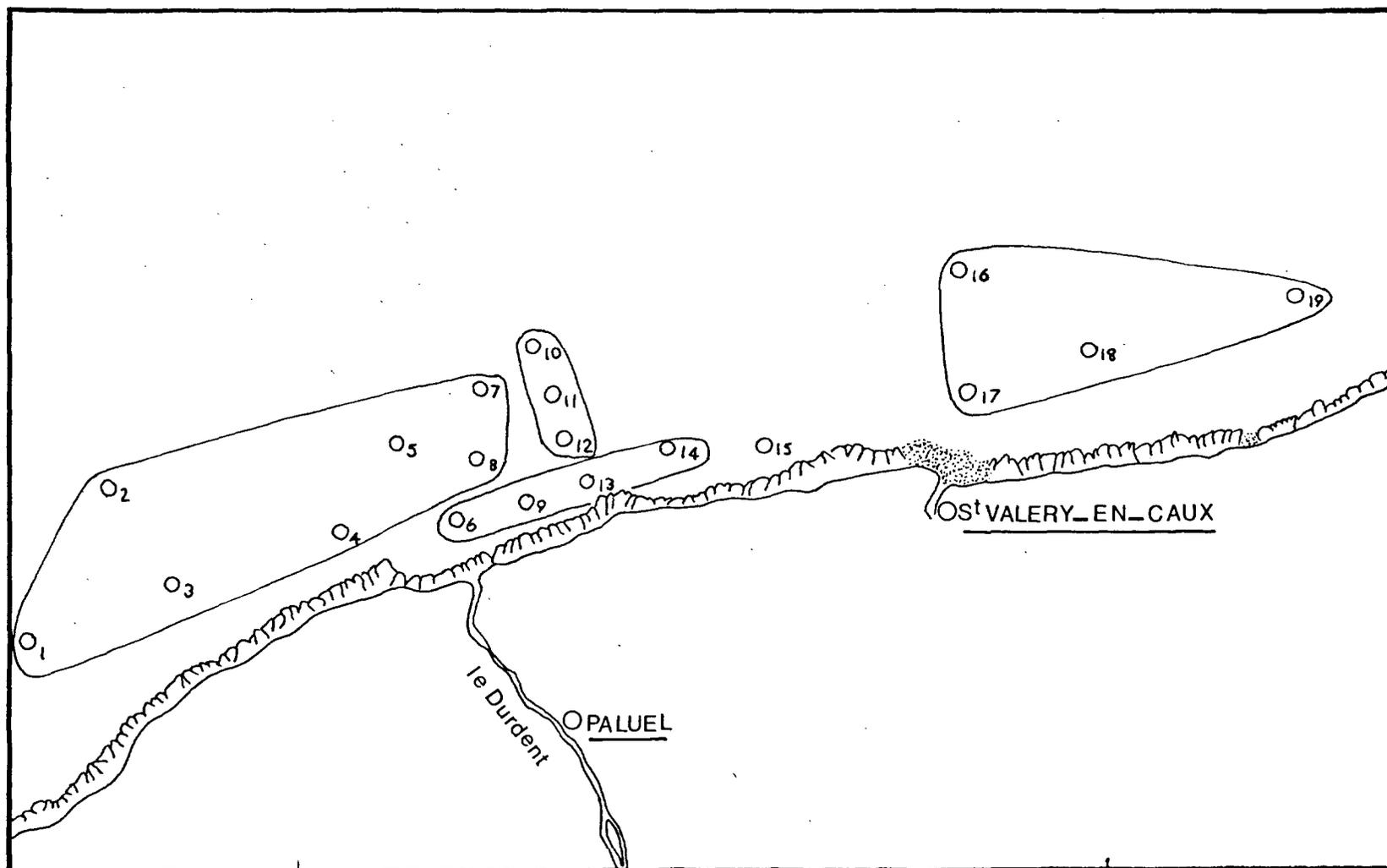


Fig. 10 : Hydrobiologie. Campagne du 8-9 juillet 1975.
 Structure spatiale des prélèvements par rapport
 à l'axe I.

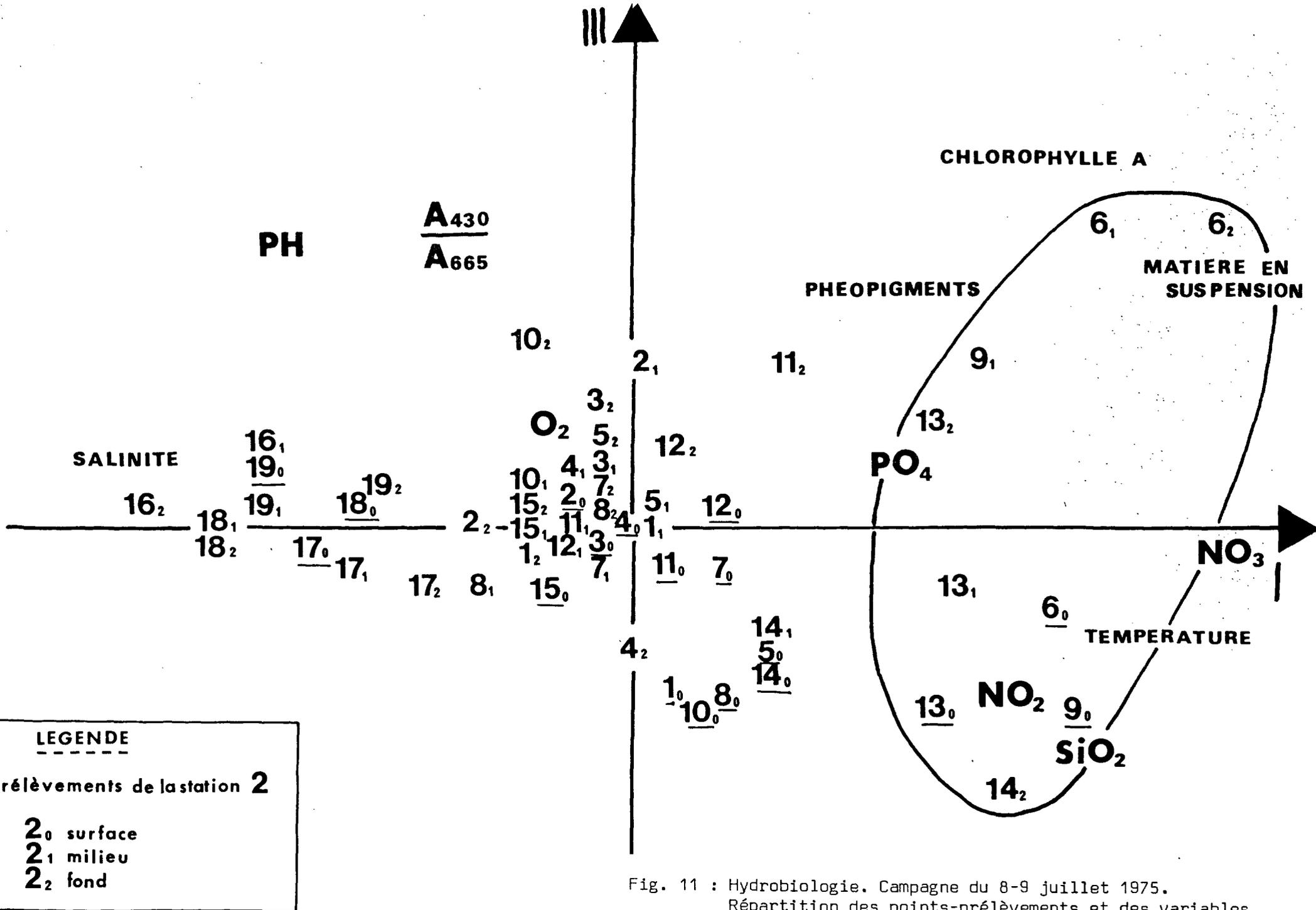


Fig. 11 : Hydrobiologie. Campagne du 8-9 juillet 1975.
 Répartition des points-prélèvements et des variables dans le plan I-III.

LEGENDE

prélèvements de la station 2

2₀ surface
 2₁ milieu
 2₂ fond

large influencé principalement d'un côté par l'oxygène, plus abondant à la côte (stations 4 et 15), et de l'autre, par les phosphates et l'indice pigmentaire qui prennent des valeurs plus élevées au large (points 2, 7 et 10). Les autres niveaux ne présentent pas une telle distinction. L'axe III (Fig. 11) révèle une stratification verticale à l'embouchure de la Durdent, due particulièrement à la chlorophylle, aux phéopigments et à la matière en suspension. Ces paramètres prennent des valeurs plus élevées aux niveaux intermédiaires et en profondeur qu'en surface.

5°) 3-4 septembre (Fig. 12, 13, 14)

Trois groupes de prélèvements apparaissent le long du premier axe (Fig. 12) : tout d'abord l'embouchure de la Durdent (5, 6, 8 et 9), puis le groupe des stations 13, 14, 17, 18 et 19, enfin la zone du large (7, 10 et 16) (Visualisation Fig. 13). Les facteurs les plus contributifs à cette distinction sont d'une part, la chlorophylle et la matière en suspension, plus importantes à l'embouchure de la rivière, d'autre part la salinité et l'indice pigmentaire qui prennent des valeurs plus élevées au large. L'axe II (Fig. 12) discrimine les stations du deuxième groupe, représentant la zone Est ; les nitrates et les silicates engendrent cette dispersion, étant plus abondants aux stations proches de la côte et de l'embouchure (13, 14, 17) qu'aux points 18 et 19, les plus éloignés à l'Est du site échantillonné.

Le troisième axe (Fig. 14) caractérise la zone Est et au large (10, 16, 17, 18 et 19) par des valeurs de pH élevées, mais aussi par une température plus basse et une moins grande richesse en phosphates.

6°) 8-9 octobre (Fig. 15, 16)

Les quinze premières stations ont été échantillonnées et le premier axe les partage en deux groupes (Fig. 15) : le premier composé des points 3, 6, 9, 13, 14 et 15, le second des autres stations (Visualisation Fig. 16). Les facteurs contribuant le plus à cette distinction sont d'une part la salinité (22 % de l'inertie du premier axe) et d'autre part la chlorophylle a (17 %), le pH (14 %) et la température (13 %). Ainsi, les stations 3, 6, 9, 13, 14 et 15, les plus proches de la côte, correspondent à une masse d'eau plus salée, plus froide et pauvre en chlorophylle à l'inverse de celles du large. On peut également y noter des valeurs plus élevées de la matière en suspension et de l'indice pigmentaire $\frac{A430}{A665}$. L'influence de la Durdent n'est donc pas décelable à proximité de la côte. Le deuxième axe est celui des sels nutritifs ; silicates, nitrates et nitrites contribuent respectivement à 29 %, 21 % et 19 % de l'inertie de cet axe. Ils partagent chacun des deux groupes de stations en deux parties. Dans le premier, il apparaît une distinction entre les points 3 et 13 et les points 6, 9, 14 et 15 : ceux-ci sont plus riches

LEGENDE

 prélèvements de la station 5

5₀ surface
 5₁ milieu
 5₂ fond

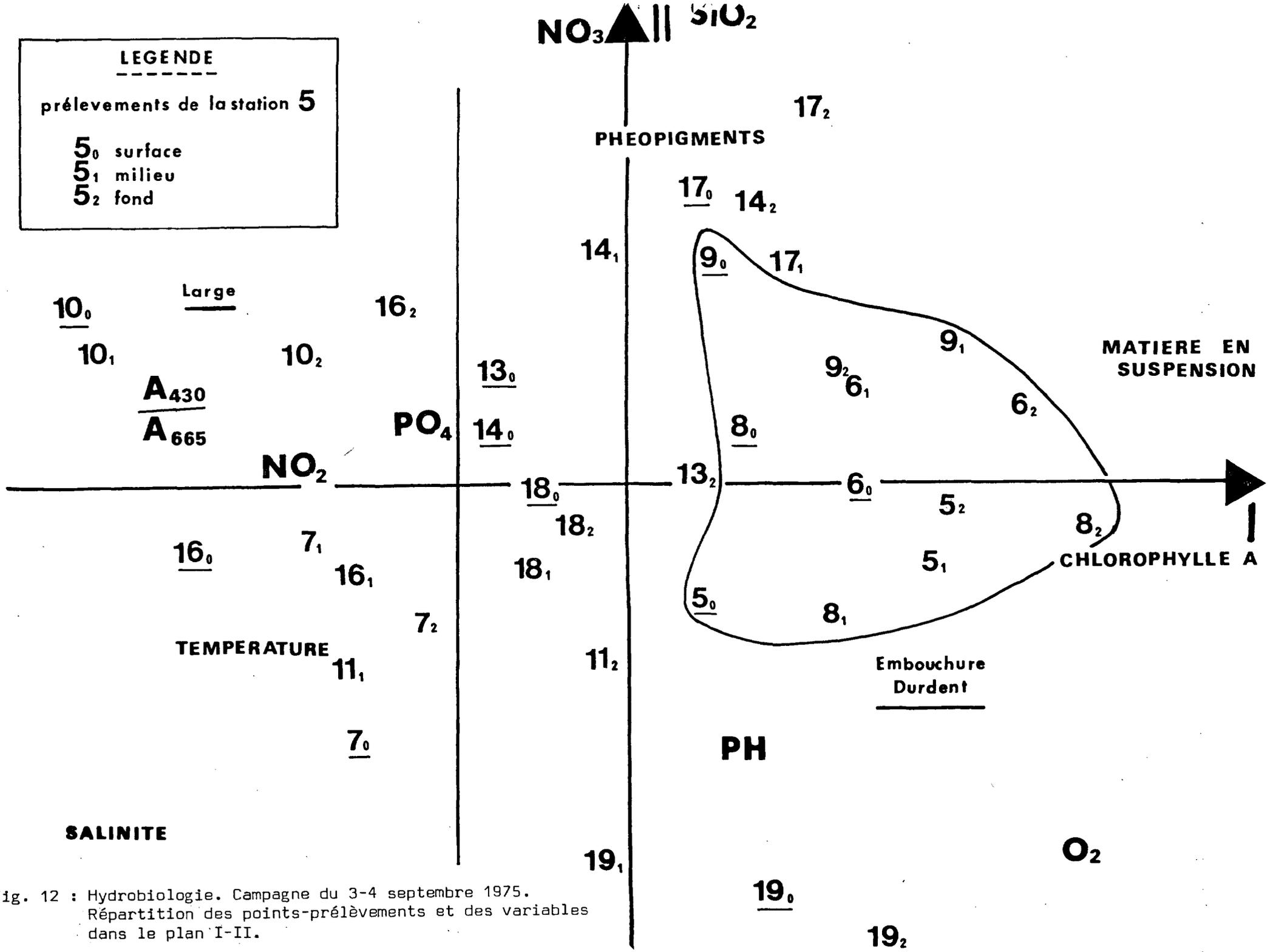


Fig. 12 : Hydrobiologie. Campagne du 3-4 septembre 1975.
 Répartition des points-prélèvements et des variables dans le plan I-II.

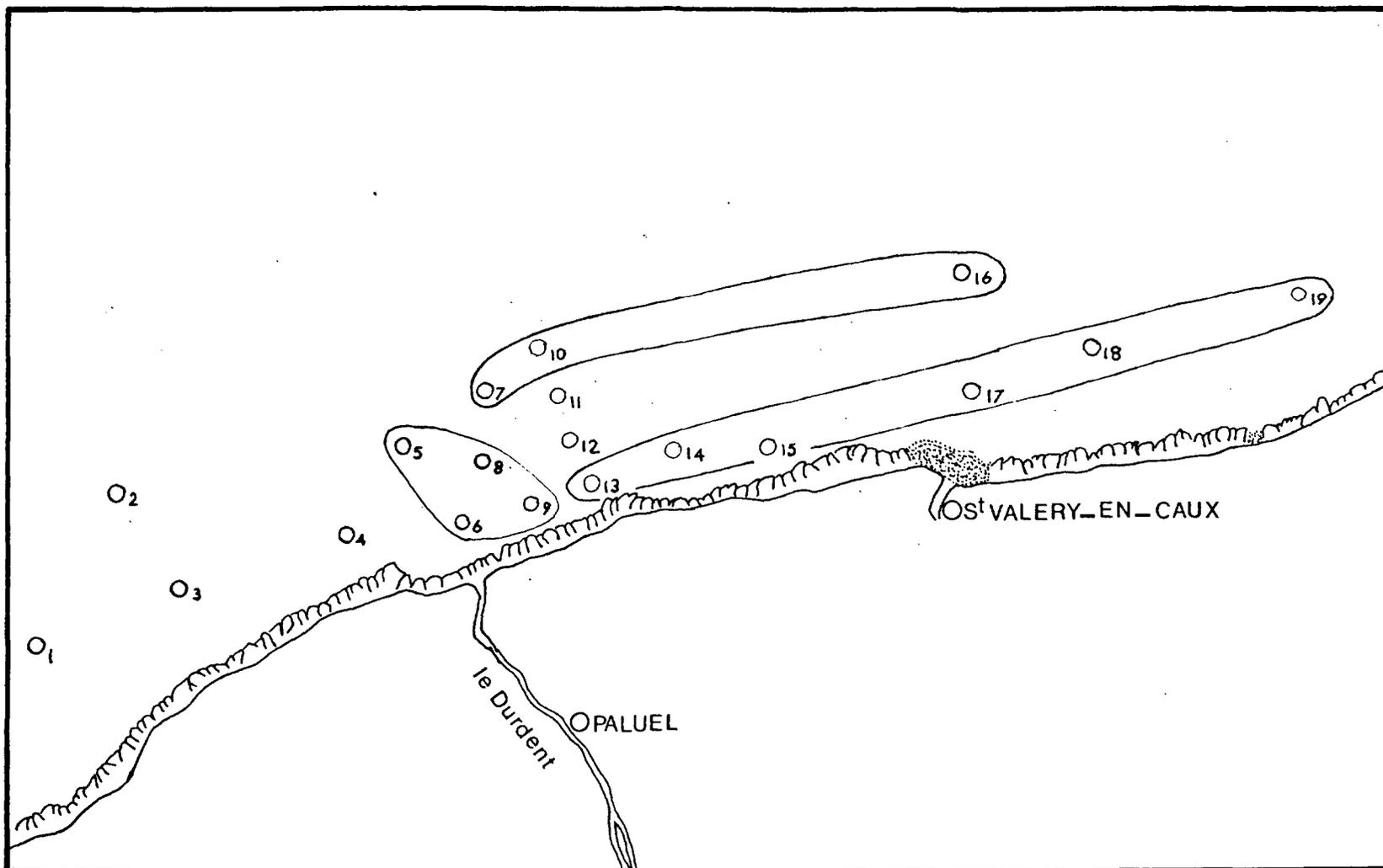


Fig. 13 : Hydrobiologie. Campagne du 3-4 septembre 1975.
 Structure spatiale des prélèvements par rapport
 à l'axe I.



TEMPERATURE

PO₄

NO₂

PHEOPIGMENTS

SiO₂

MATIERE EN
SUSPENSION

CHLOROPHYLLE A

O₂

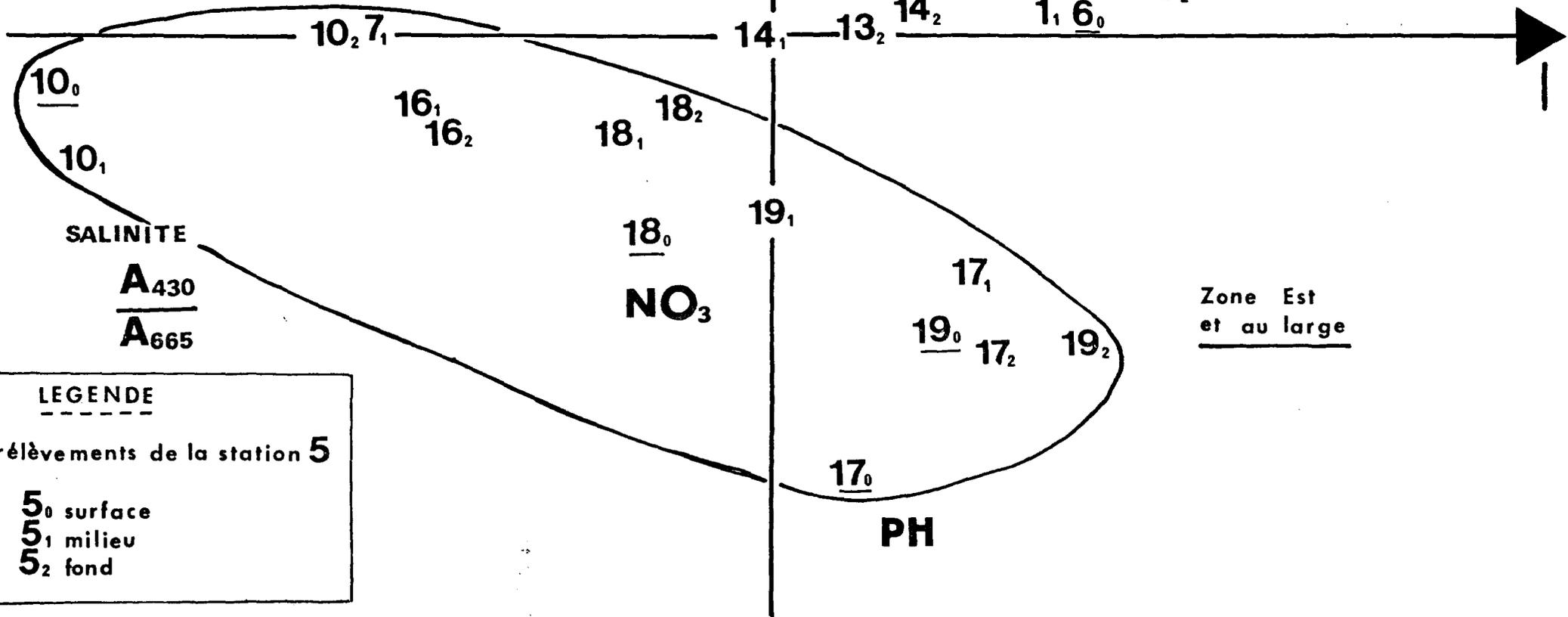


Fig. 14 : Hydrobiologie. Campagne du 3-4 septembre 1975.
Répartition des points-prélèvements et des variables
dans le plan I-III.

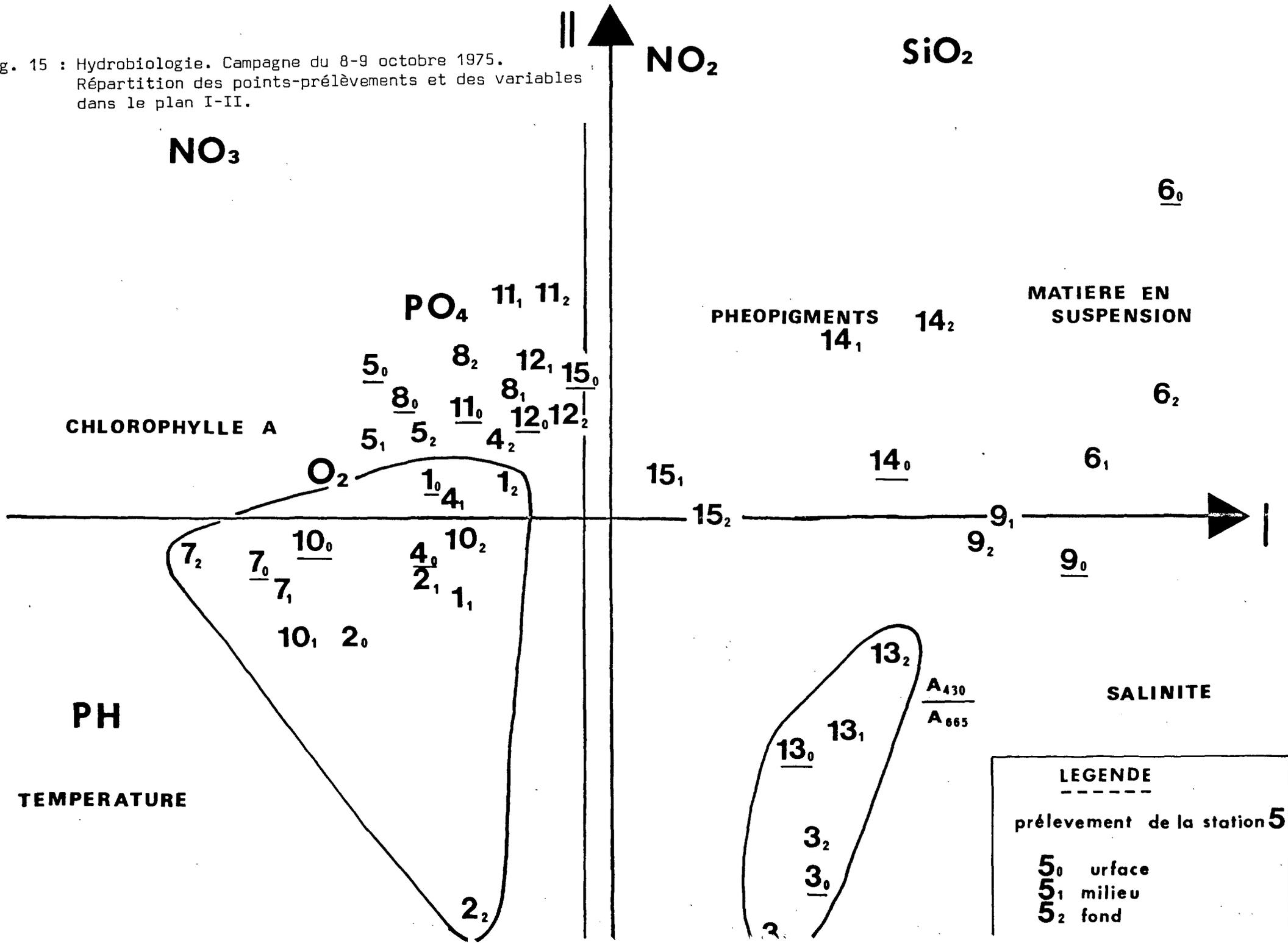
LEGENDE

prélèvements de la station 5

- 5₀ surface
- 5₁ milieu
- 5₂ fond

Zone Est
et au large

Fig. 15 : Hydrobiologie. Campagne du 8-9 octobre 1975.
Répartition des points-prélèvements et des variables dans le plan I-II.



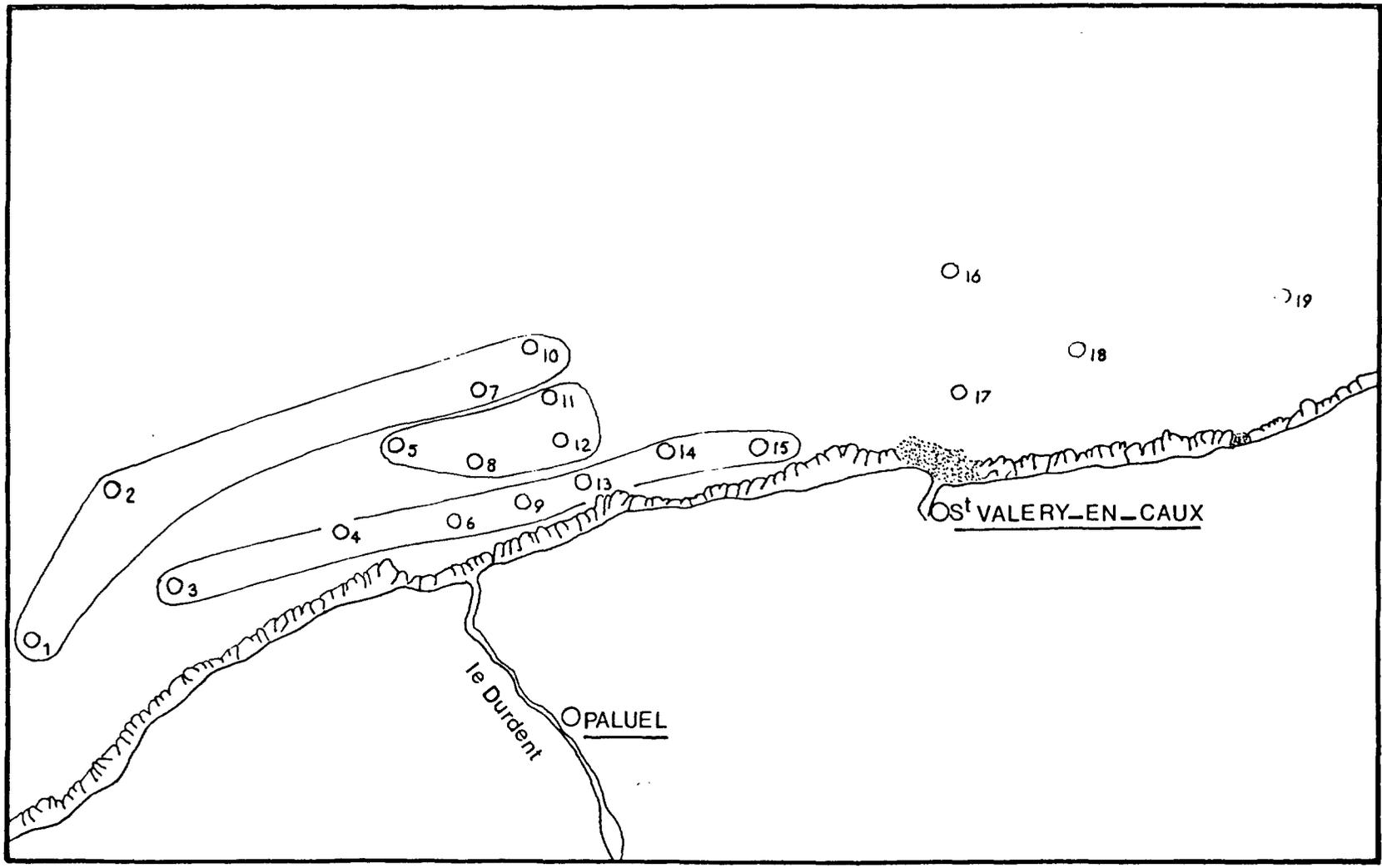


Fig. 16 : Hydrobiologie. Campagne du 8-9 octobre 1975.
 Structure spatiale des prélèvements par rapport à l'axe I.

en sels nutritifs que ceux-là. Dans le deuxième groupe, une séparation est établie entre les points très au large 1, 2, 7 et 10 et ceux plus près de la côte 5, 8, 11 et 12 : les stations du large sont plus pauvres en sels nutritifs que les autres. L'existence de ces groupements est due en grande partie aux courants qui balaient le site et au fait que certaines stations ont été échantillonnées pendant le flot et d'autres pendant le jusant. Enfin, il est à noter qu'aucune stratification verticale n'est mise en évidence et qu'il apparaît même une bonne homogénéité entre les niveaux.

III. Conclusion

La structure hydrobiologique du site de Paluel est déterminée par la division du cycle annuel en trois périodes :

- la période automne-hiver (octobre, novembre, février, mars) durant laquelle les conditions évoluent peu. Elle est caractérisée par un enrichissement en sels nutritifs. Les paramètres température (basses valeurs) et salinité (moyennes valeurs) sont peu modifiés.

- la période du printemps (avril, mai, juin) marquée par une rapide évolution du milieu. Elle est caractérisée en avril par un maximum de la teneur en oxygène et en chlorophylle (photosynthèse active).

- la période d'été (juillet, août, septembre) où les conditions hydrodynamiques sont homogènes : température et salinité élevées, oxygène et chlorophylle faibles (photosynthèse peu active).

Le maximum des variations du cycle hydrobiologique s'observe entre avril et juillet : les modifications enregistrées sont principalement dues au complexe température-salinité (fortes valeurs en juillet) opposé à la combinaison oxygène-chlorophylle (fortes valeurs en avril).

L'examen particulier des campagnes ne révèle pas de gradient côte-large prononcé. Une seule distinction peut être faite à propos de la zone de l'embouchure de la Durdent : celle-ci reste toujours caractérisée par des paramètres de nature phytoplanctonique (fortes teneurs en chlorophylle et en matières en suspension, indice pigmentaire faible). Aucune stratification verticale ne peut être mise en évidence de façon précise à toutes les campagnes.

CHAPITRE I I

- PHYTOPLANCTON -

CHAPITRE II

=====

PHYTOPLANCTON

I. Analyse générale

1°) Introduction

Neuf campagnes ont été choisies pour l'étude du phytoplancton : 27-28 février, 11 mars, 28-29 avril, 15 mai, 5-6 juin, 8-9 juillet, 26-27 août, 3-4 septembre, 8-9 octobre. D'autre part, les 41 espèces les plus abondantes ont été retenues, conformément aux objectifs quantitatifs de cette étude. Une transformation des effectifs par la fonction $\text{Log}(x + 1)$ a été effectuée préalablement à toute analyse pour atténuer les écarts d'abondance trop importants dus à la surdispersion des cellules. En outre, les prélèvements ont été centrés afin de minimiser les biais dus à l'échantillonnage.

2°) Analyse générale (Fig. 17, 18, 19, 20)

Le plan I-II extrait 55 % de l'inertie totale de l'ensemble des points-prélèvements. Il fournit ainsi une bonne explication de l'évolution du phytoplancton au cours d'un cycle annuel.

- Le premier axe (Fig. 17) oppose les campagnes d'avril et juin au reste des autres missions. Ces deux campagnes sont caractérisées par un très fort développement phytoplanctonique, dû principalement à *Skeletonema costatum*, *Asterionella japonica*, *Nitzschia seriata* et *Thalassiosira rotula*. Ces espèces contribuent respectivement à 20 %, 15 %, 13 % et 17 % de l'inertie de l'axe I. Deux autres espèces de *Thalassiosira* sont également présentes avec un fort effectif lors de ces deux blooms : *Thalassiosira spp.* et *Thalassiosira nordenskioldii* mais avec, cependant, une moins grande abondance que les précédentes. Ces deux dates (28-29 avril et 5-6 juin) représentent donc deux pics d'abondance très marqués dans l'évolution annuelle de la population phytoplanctonique.

- Les autres campagnes s'ordonnent selon le deuxième axe (Fig. 17) qui oppose les sorties du 15 mai et des 8 et 9 juillet. Entre ces deux extrêmes se trouvent les missions d'hiver (27-28 février, 11 mars) et d'automne (26-27 août, 3-4 septembre, 8-9 octobre) formant deux groupes distincts. Les espèces contribuant le plus à cette variation sont d'une part *Rhizosolenia delicatula* (16 % de l'inertie de l'axe II), *Chaetoceros debile* (14 %), *Nitzschia closterium* (13 %), *Leptocylindrus danicus* (9 %) et *Paralia sulcata* (8 %) abondantes en juillet, d'autre part *Nitzschia*

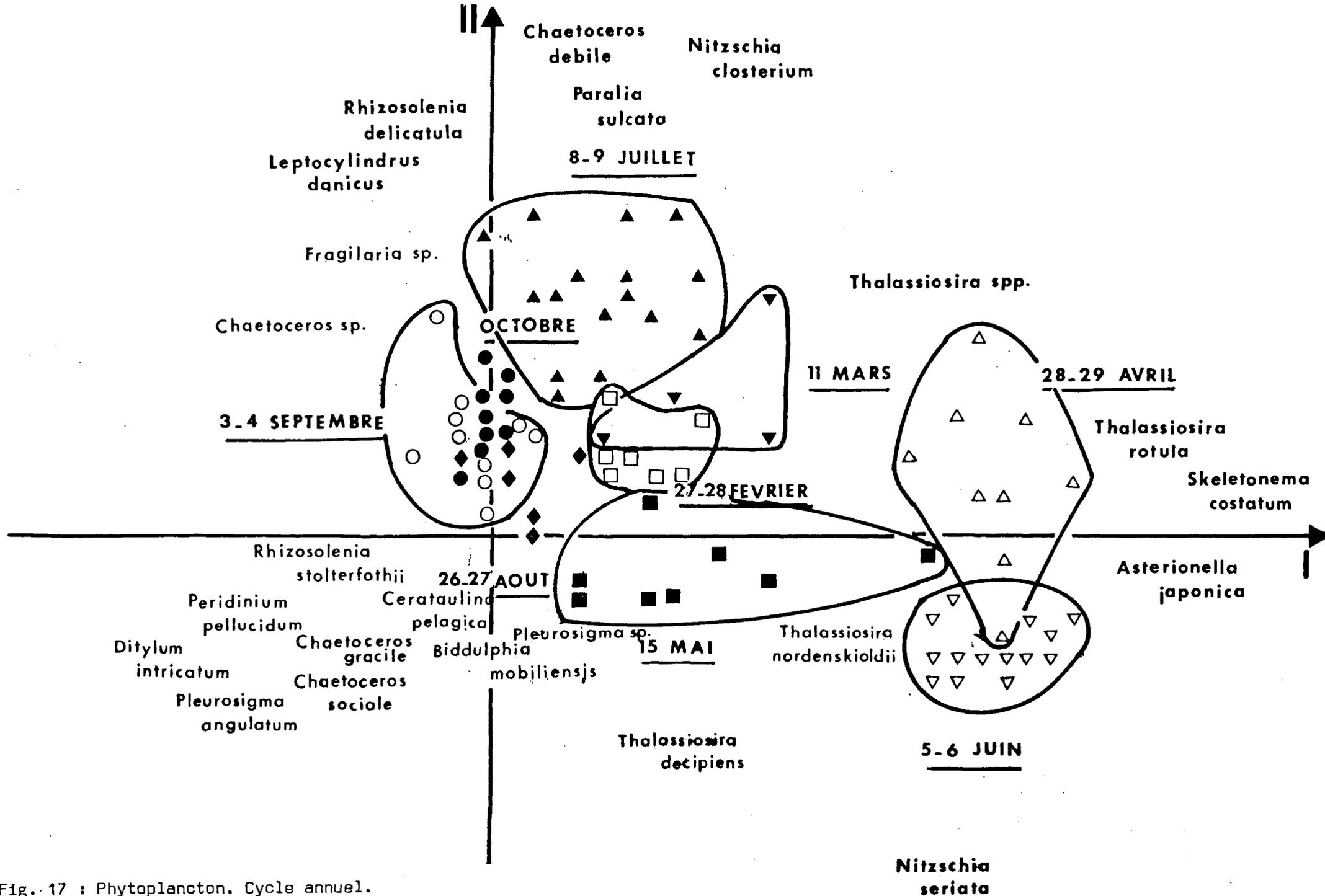


Fig. 17 : Phytoplancton. Cycle annuel.
 Répartition des points-prélèvements et des espèces
 dans le plan I-II de l'analyse d'inertie générale.

seriata (12 %) prédominante les 5-6 juin (avec *Thalassiosira decipiens*) et le 15 mai. Cette dernière campagne semble accuser une plus grande pauvreté faunistique que celles des 28-29 avril et 5-6 juin qui n'en sont séparées que d'une quinzaine de jours. Cela provient de ce que les *Phaeocystis*, très abondants le 15 mai, n'ont été comptés que très approximativement et n'interviennent donc pas dans l'analyse. En fait, le bloom des *Phaeocystis* en mai est peut-être le point le plus marquant du cycle phytoplanctonique.

- Le troisième axe (Fig. 18) fait ressortir la campagne des 28 et 29 avril. Contribuant à 29 % de l'inertie de cet axe, *Thalassiosira nordenskioldii* est caractéristique de cette campagne. Cette espèce est, en effet, très abondante à cette date et ne subsiste qu'avec un faible effectif durant les autres périodes de l'année. *Chaetoceros debile*, *Asterionella japonica* et *Skeletonema costatum* apparaissent aussi comme des espèces abondantes mais non prédominantes.

- Le quatrième axe (Fig. 19) met en évidence la campagne des 8 et 9 juillet. Elle est essentiellement caractérisée par *Leptocylindrus danicus* (contribuant à 23 % de l'inertie de l'axe IV). Cette espèce est très abondante à cette date et n'apparaît que faiblement dans les autres périodes de l'année. En revanche, c'est l'époque où *Paralia sulcata* (24 % de l'inertie de l'axe IV) enregistre le plus faible effectif. On constate donc que les principales espèces contributives des axes III et IV sont pratiquement exclusives d'une seule période de l'année.

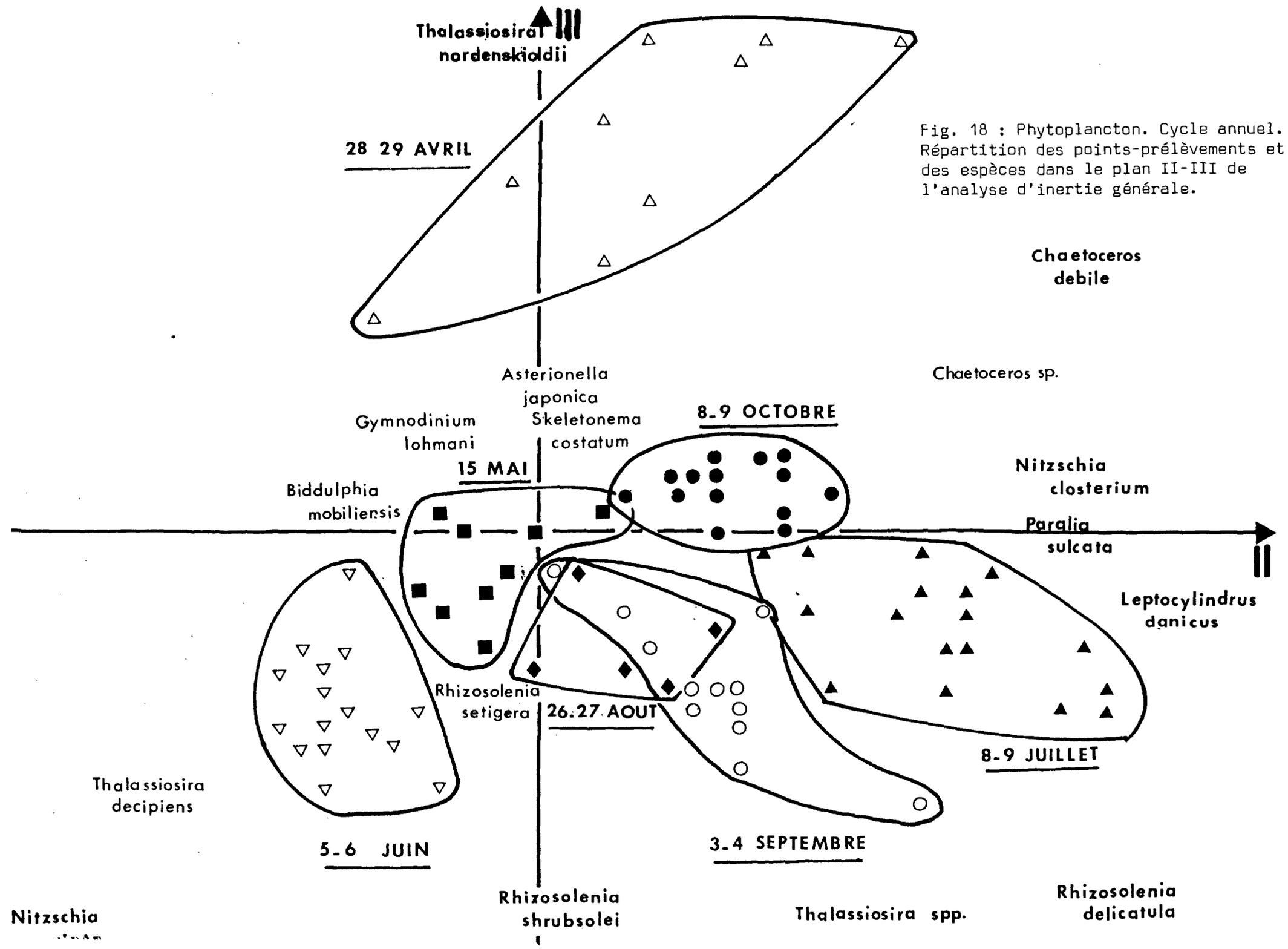
- Les campagnes d'hiver (27-28 février, 11 mars) se distinguent le long du cinquième axe (Fig. 20). C'est la période d'abondance principalement de *Nitzschia closterium*, *Fragilaria sp.* et *Paralia sulcata*. Ces espèces contribuent respectivement à 15 %, 9 % et 9 % de l'inertie de l'axe V.

II. Analyses particulières

1°) Introduction

Seules quatre campagnes ont été soumises à une analyse particulière en raison du nombre suffisant de prélèvements qu'elles contiennent. Aucune variation entre niveaux de profondeur ne pourra être mise en évidence car tous les prélèvements ont été réalisés en surface. Ces prélèvements sont centrés et réduits. Les espèces les plus abondantes sont alors révélées par le premier axe (dit trivial) ; elles ne sont pas reprises ici car elles ont déjà été mises en évidence dans l'étude générale. Seules les variations spatiales sont étudiées sur le plan II-III.

Fig. 18 : Phytoplancton. Cycle annuel. Répartition des points-prélèvements et des espèces dans le plan II-III de l'analyse d'inertie générale.



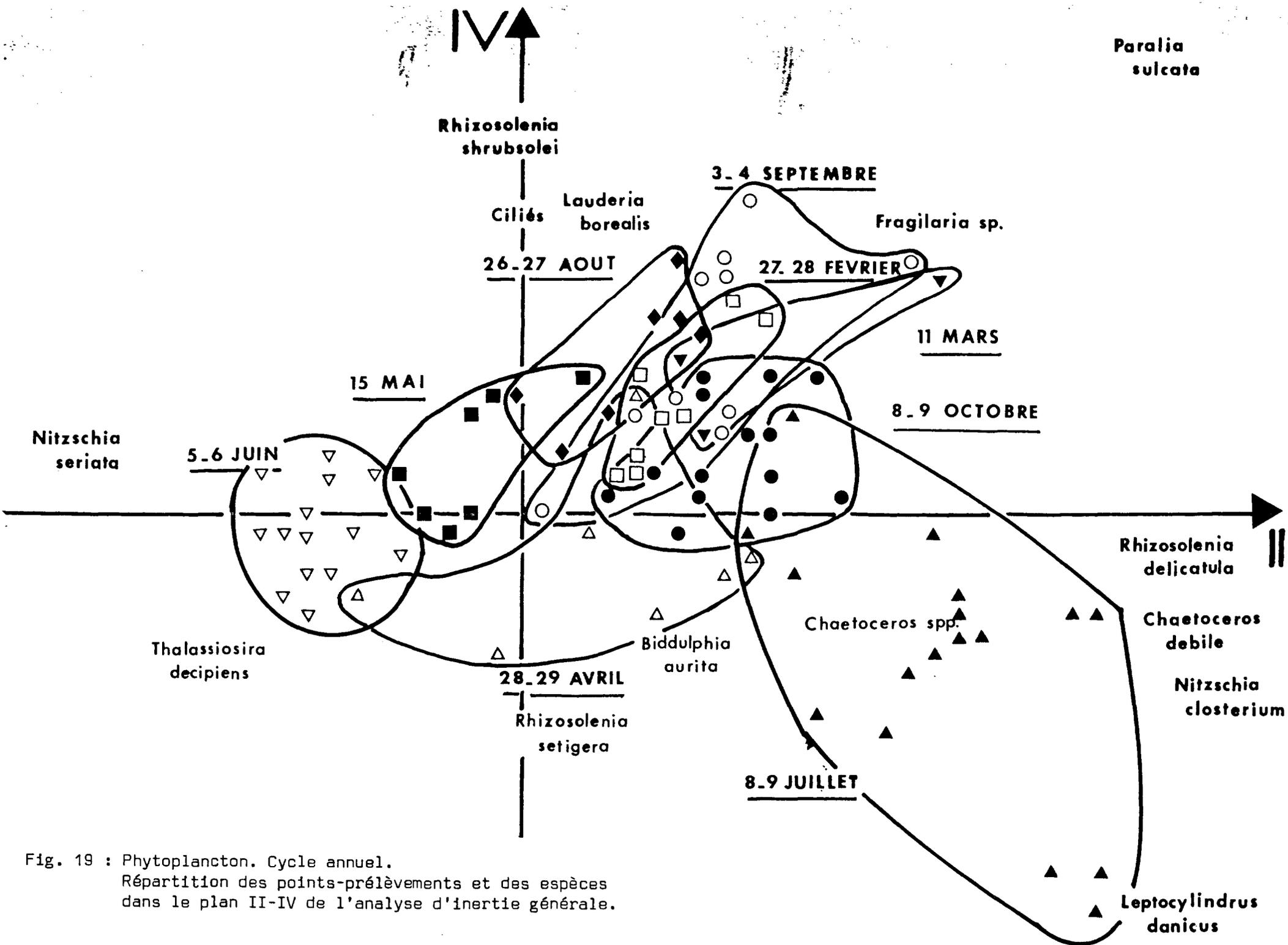


Fig. 19 : Phytoplancton. Cycle annuel.
 Répartition des points-prélèvements et des espèces
 dans le plan II-IV de l'analyse d'inertie générale.

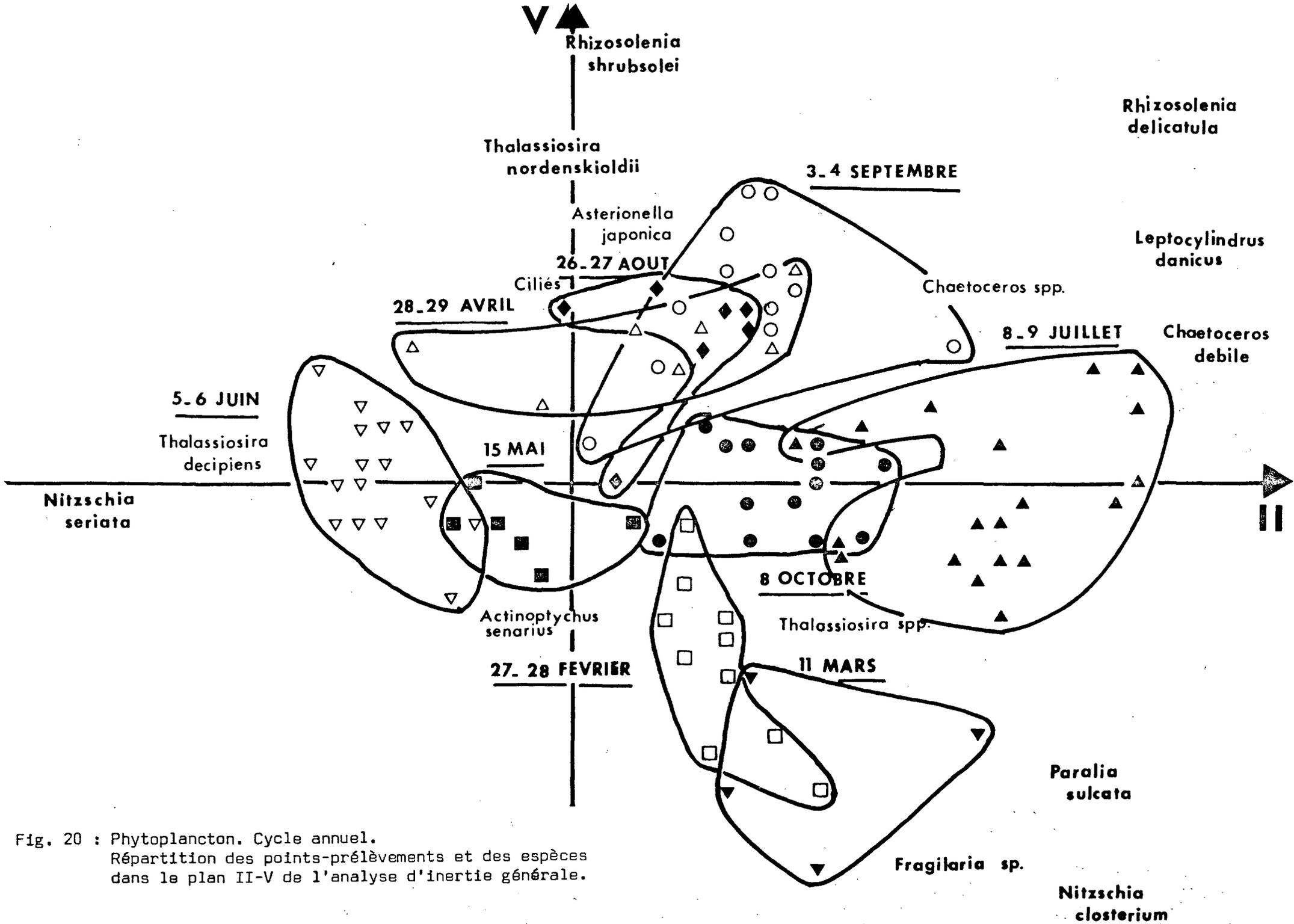


Fig. 20 : Phytoplancton. Cycle annuel.
 Répartition des points-prélèvements et des espèces
 dans le plan II-V de l'analyse d'inertie générale.

2°) 28-29 avril (Fig. 21)

C'est l'époque du premier bloom phytoplanctonique. L'embouchure de la Durdent (stations 5, 6 et 8) est caractérisée par la présence de *Nitzschia seriata*, de *Thalassiosira spp.* et de *Biddulphia mobiliensis*. *Chaetoceros debile* est plus abondant au large (point 7) tandis que *Paralia sulcata*, *Fragilaria sp.* et *Chaetoceros spp.* apparaissent préférentiellement près de la côte (station 15).

3°) 5-6 juin (Fig. 22, 23, 24)

Le deuxième axe (Fig. 22) fait apparaître un gradient côte-large en divisant les prélèvements en trois groupes : le premier composé des stations 6, 9, 13, 14 et 15, le second comprenant les points 1, 3, 4, 8, 12, 17 et 18, le troisième, les points 2, 5, 7, 10, 11, 16 et 19 (Visualisation Fig. 23). Cela est du principalement à *Thalassiosira nordenskioldii* et *Pleurosigma sp.*, abondants à la côte et à *Nitzschia seriata* et aux Dinoflagellés mieux représentés au large. Une autre partition du site est mise en évidence le long du troisième axe : d'un côté les points 3, 4, 6 et 9 où l'on trouve particulièrement *Fragilaria sp.*, *Navicula sp.* et *Thalassiosira spp.*, de l'autre les stations 10, 11, 12, 13, 14 et 15 caractérisées par la présence de *Thalassiosira hyalina* (Visualisation Fig. 24). On peut noter que les différentes espèces du même genre *Thalassiosira* ne se comportent pas toutes de la même façon et révèlent des préférences soit côtières soit néritiques.

4°) 8-9 juillet (Fig. 25, 26)

Le plan II-III (Fig. 25) met en évidence une répartition des prélèvements en deux groupes selon un axe parallèle approximativement à la deuxième bissectrice des axes. Le premier se compose des stations 1, 2, 3, 7, 11, 16, 17, 18 et 19 et caractérise la zone néritique. Le second se divise lui-même en deux parties, l'une comprenant les points 6, 9, 13, 14 et 15, à la côte et à l'embouchure de la Durdent, l'autre correspondant aux stations 4, 5, 8 et 12, zone intermédiaire entre la côte et le large (Visualisation Fig. 26). Les espèces les plus abondantes au large sont principalement *Paralia sulcata*, *Nitzschia closterium*, *Leptocylindrus danicus* et *Thalassiosira rotula*. A l'embouchure de la Durdent et dans les stations proches de la côte, on trouve notamment *Thalassiosira spp.* et *Skeletonema costatum*, et dans la zone intermédiaire *Fragilaria sp.*, *Chaetoceros debile* et *Biddulphia aurita*.

5°) 8-9 octobre (Fig. 27, 28)

Une parallèle à la première bissectrice des axes partage le plan II-III

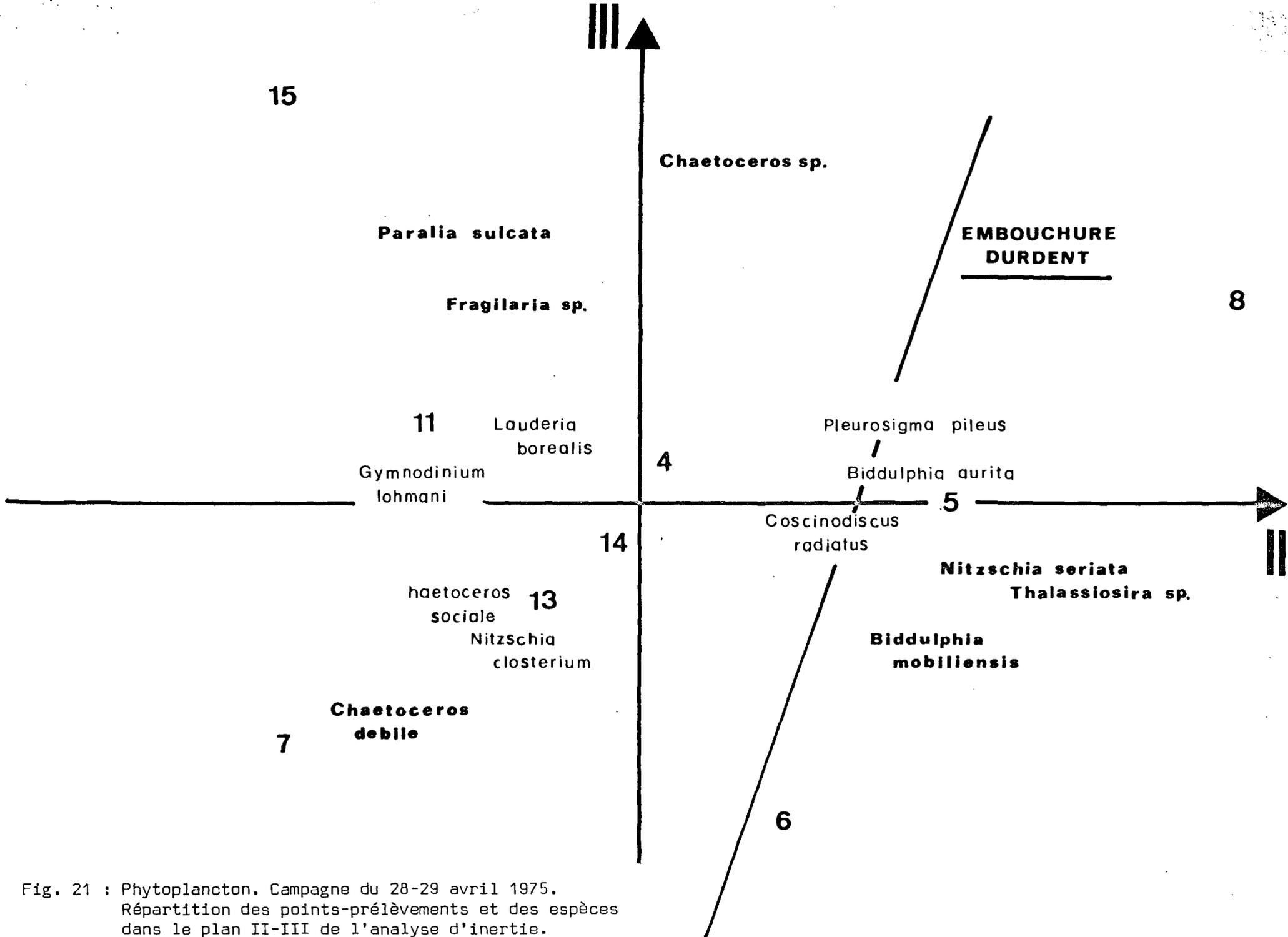


Fig. 21 : Phytoplancton. Campagne du 28-29 avril 1975.
 Répartition des points-prélèvements et des espèces
 dans le plan II-III de l'analyse d'inertie.

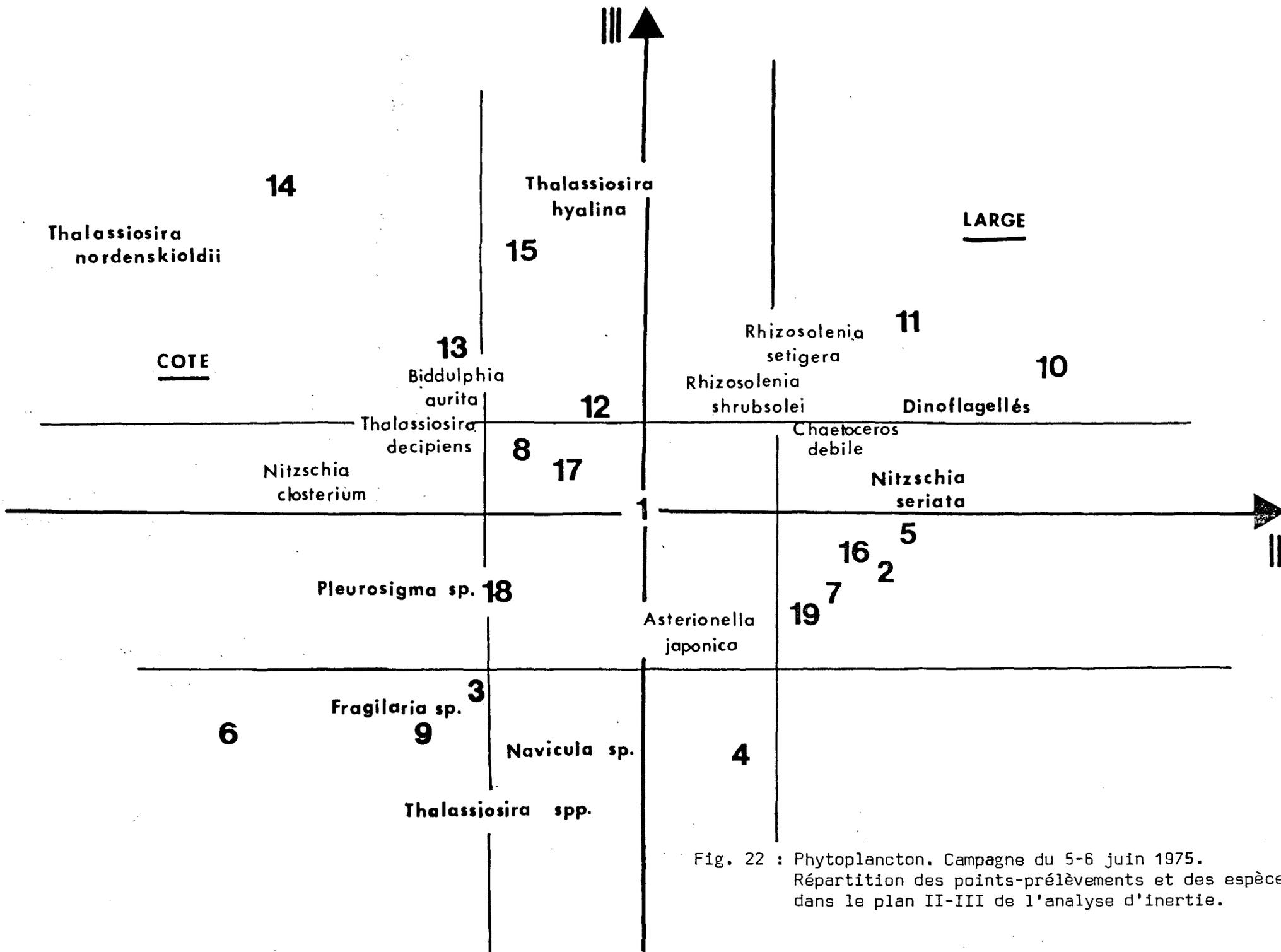


Fig. 22 : Phytoplancton. Campagne du 5-6 juin 1975.
Répartition des points-prélèvements et des espèces
dans le plan II-III de l'analyse d'inertie.

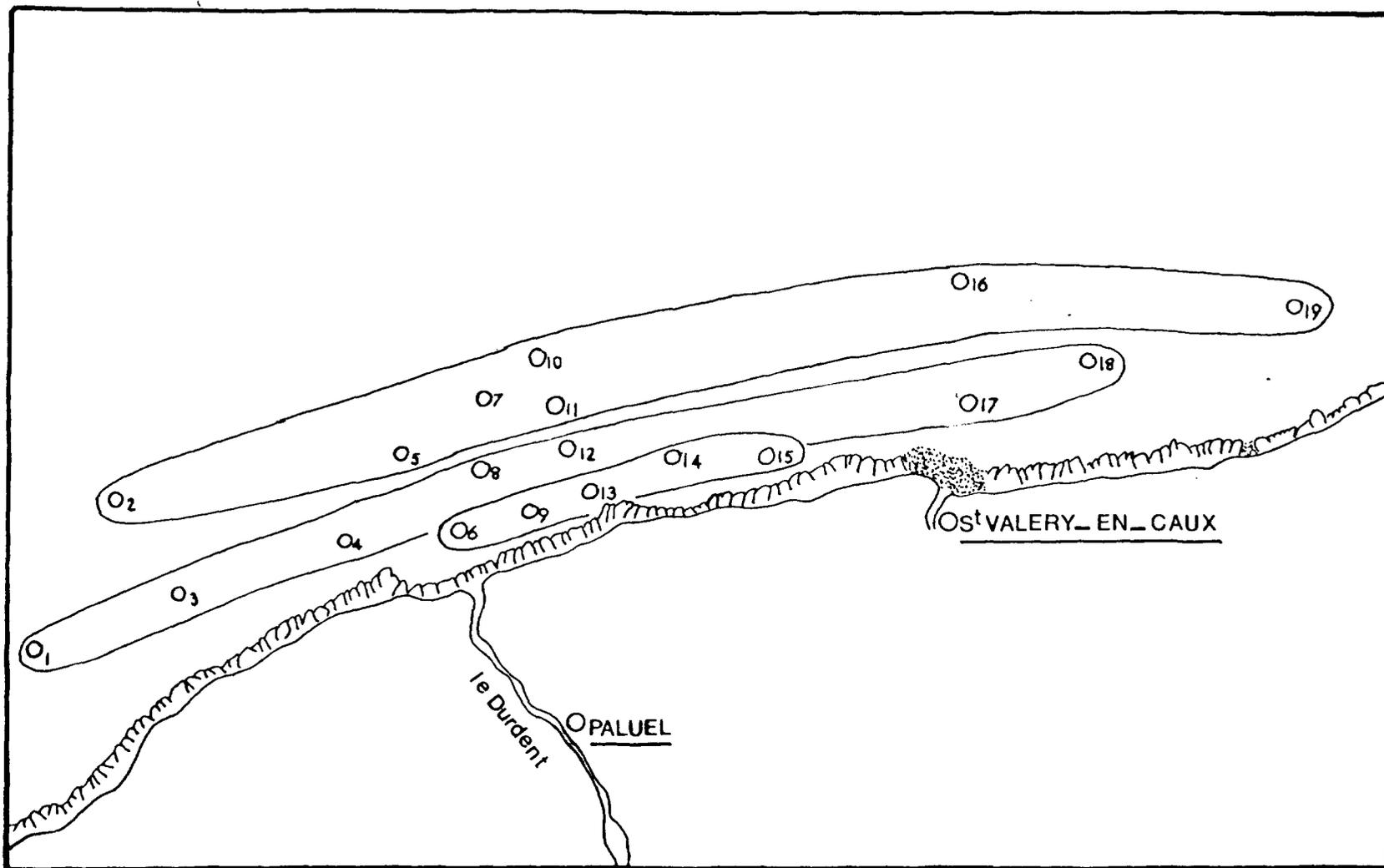


Fig. 23 : Phytoplancton. Campagne du 5-6 juin 1975.
 Structure spatiale des prélèvements par rapport
 à l'axe II.

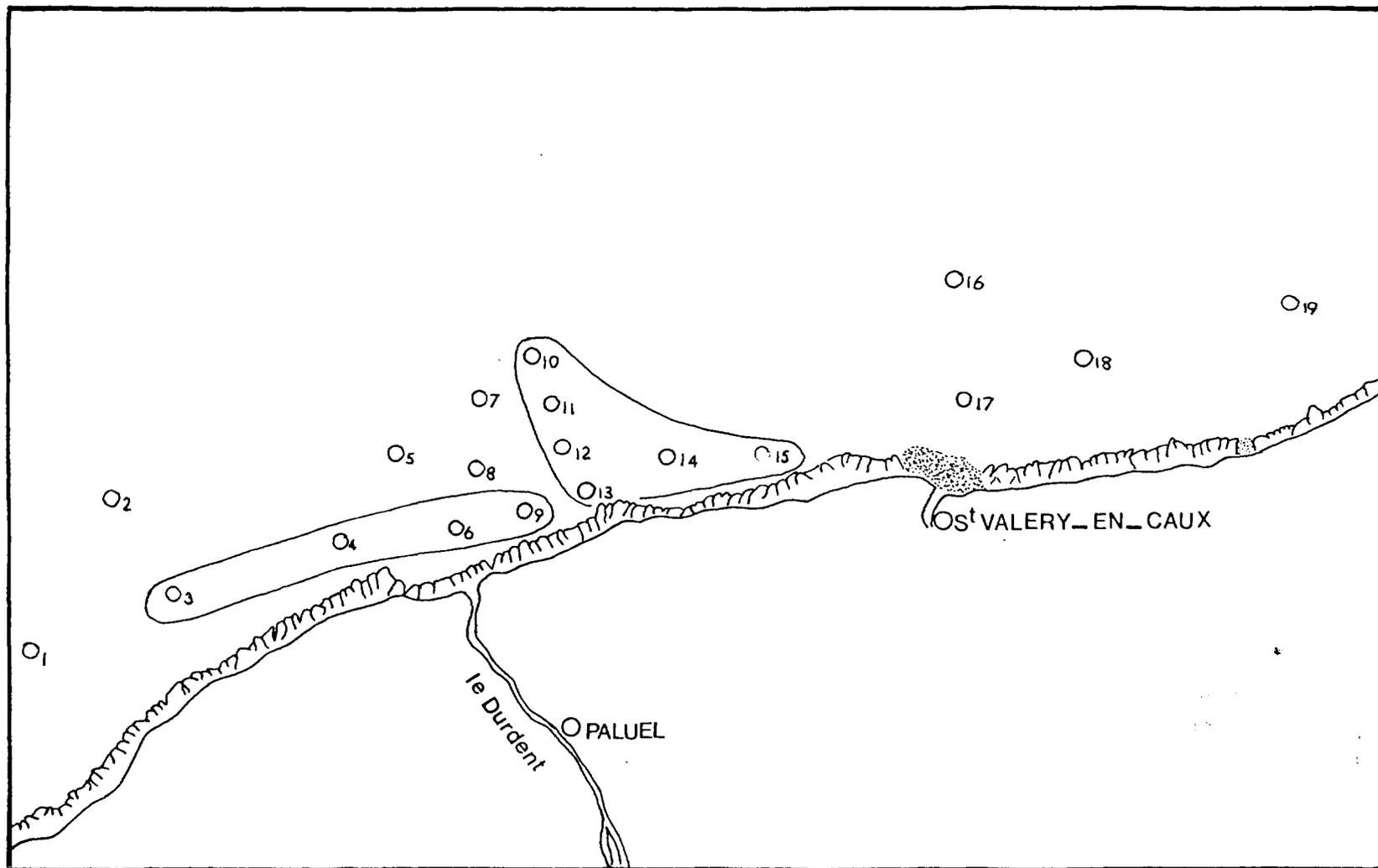
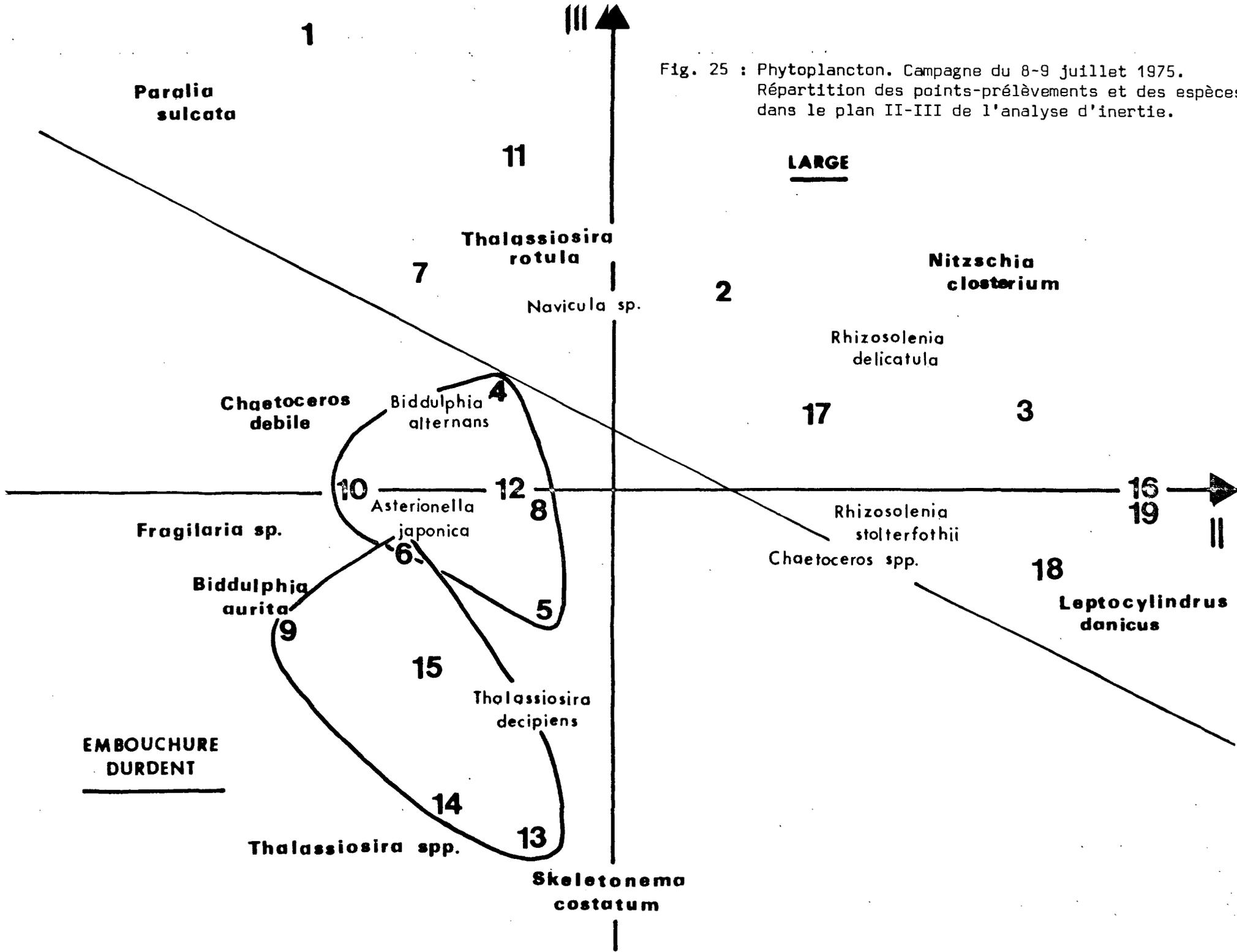


Fig. 24 : Phytoplancton. Campagne du 5-6 juin 1975.
 Structure spatiale des prélèvements par rapport
 à l'axe III.

Fig. 25 : Phytoplancton. Campagne du 8-9 juillet 1975.
Répartition des points-prélèvements et des espèces dans le plan II-III de l'analyse d'inertie.



en deux parties (Fig. 27) : la première comprenant les points 4, 6, 9, 13 et 14 (débouché de la Durdent), la seconde correspondant aux autres stations (Visualisation Fig. 28). L'embouchure de la Durdent et la zone proche de la côte se caractérisent principalement par l'abondance de l'espèce *Paralia sulcata*. On trouve aussi des Dinoflagellés et *Biddulphia aurita* mais avec un effectif moindre. Dans le reste de la zone échantillonnée, prédominent les *Chaeroceros* (*Chaetoceros* spp., *Chaetoceros sociale*, *Chaetoceros debile*, *Chaetoceros gracile*) ainsi que *Fragilaria* sp. et *Thalassionema nitzschioides*.

III. Conclusion

Le cycle annuel phytoplanctonique présente deux caractéristiques principales :

- le bloom d'avril dû principalement à *Thalassiosira nordenskioldii*, *Skeletonema costatum* et *Asterionella japonica*,

- le bloom de juin où prédominent *Nitzschia seriata* et *Thalassiosira decipiens*.

La campagne du 15 mai située entre ces deux blooms est caractérisée par la très grande abondance des *Phaeocystis*. Cela n'apparaît pas dans l'analyse car les comptages relatifs à cette espèce n'ont été que très approximatifs.

En dehors de cette période d'explosion phytoplanctonique, d'autres campagnes comportent elles-aussi des espèces prédominantes : ainsi *Leptocylindrus danicus* les 8 et 9 juillet, *Fragilaria* sp. et *Nitzschia closterium* les 27 et 28 février et le 11 mars. Il s'établit donc, au cours de l'année une succession de différentes espèces, chacune caractérisant la courte période durant laquelle elle est la plus abondante.

L'examen particulier de chaque campagne conduit à des structures spatiales différentes. Celles-ci ont cependant un point commun, en ce sens qu'elles mettent toutes en relief la zone à la côte et proche de l'embouchure de la Durdent d'une façon très caractéristique. Le gradient côte-large n'est pas permanent mais est certainement beaucoup plus marqué par la présence de certaines espèces phytoplanctoniques que par l'examen des paramètres hydrobiologiques mesurés.

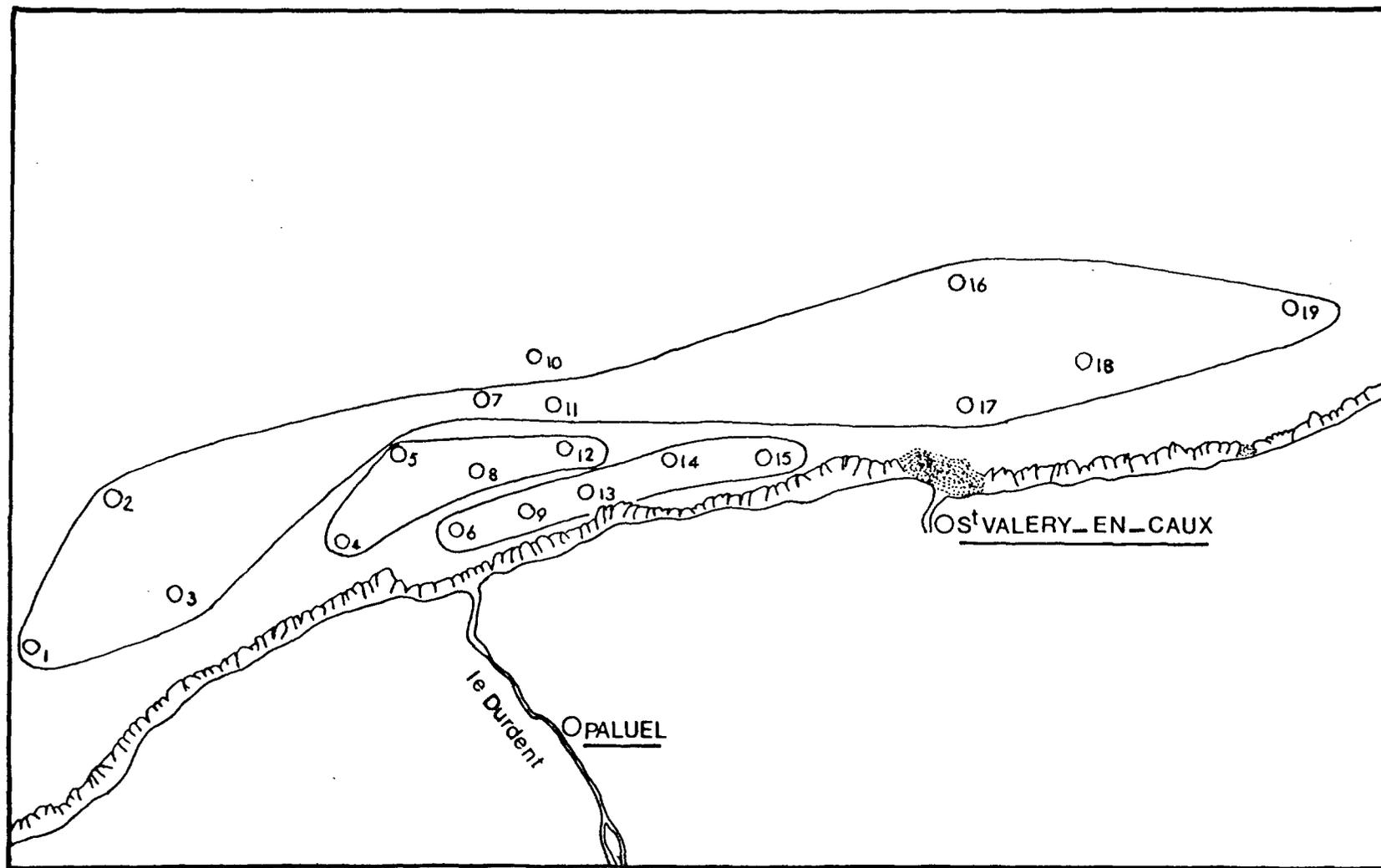


Fig. 26 : Phytoplancton. Campagne du 8-9 juillet 1975.
Structure spatiale des prélèvements.

**Paralia
sulcata**

**EMBOUCHURE
DURDENT**

III

9

4

14

13

Dinoflagellés

1

**Chaetoceros
sociale**

Fragilaria sp.

Biddulphia
aurita

Rhizosolenia
delicatula

Asterionella
japonica

Leptocylindrus
danicus

3

6

Prorocentrum
micans

Nitzschia
closterium

11

7

Ciliés

Peridinium sp.

Chaetoceros
gracile

8

10

15

5

**Thalassiosira
nitzschioides**

Chaetoceros
debile

12

Chaetoceros spp.

II

Fig. 27 : Phytoplancton. Campagne du 8-9 octobre 1975.
Répartition des points-prélèvements et des espèces
dans le plan II-III de l'analyse d'inertie.

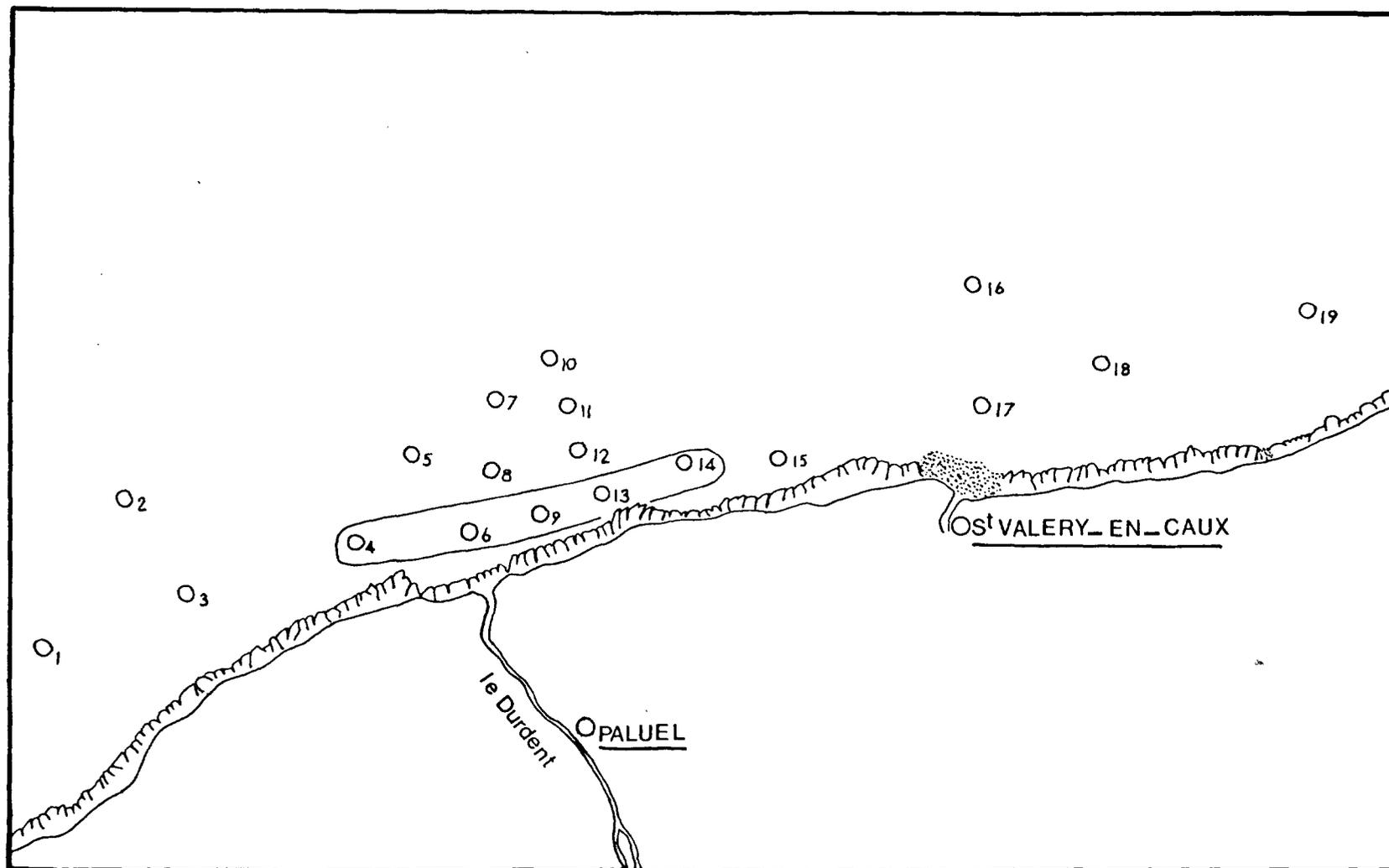


Fig. 28 : Phytoplancton. Campagne du 8-9 octobre 1975.
Structure spatiale des prélèvements.

CHAPITRE III



- ZOOPLANCTON -

CHAPITRE III
=====

ZOOPLANCTON

I. ETUDE GENERALE

1°) Introduction

L'étude du cycle annuel du zooplancton est effectuée à partir de douze campagnes réalisées aux dates suivantes : 27 février 75, 11 mars, 28 avril, 15 mai, 5 juin, 8 juillet, 26 août, 3 septembre, 8 octobre, 6 novembre, 5 décembre et 3 février 76. Les prélèvements sont réduits et centrés de façon à éviter les variations trop aléatoires dues aux biais d'échantillonnage. Les espèces gardent leur variabilité. Les données sont transformées par la fonction $\text{Log}(x + 1)$ afin de réduire les trop grands écarts d'abondance.

2°) Etude du cycle annuel (Fig. 29 - 33)

- Le premier axe de l'analyse groupe tous les prélèvements d'un même côté (Fig. 29). Cela est dû aux espèces les plus abondantes : *Nauplii Cirripèdes*, *Acartia clausi*, *Temora longicornis*, *Euterpina acutifrons* et *Centropages hamatus* dont la somme des contributions à l'inertie de l'axe I est de 64 % (Fig. 30). Cela signifie que, par rapport à ces principales espèces, tous les prélèvements gardent une même composition faunistique dans l'année. Cette stabilité des peuplements est la première caractéristique du site étudié. Le fort pourcentage extrait par le premier axe (57 %) montre que cette notion d'invariance de la population zooplanctonique est prépondérante par rapport aux autres variations dans le temps des différentes espèces.

- Le plan II - III (Fig. 31) révèle l'existence d'un cycle annuel du zooplancton. L'axe II sépare l'ensemble des campagnes en deux parties : la première comprenant celles du 27 février 75, du 11 mars 75 et du 3 février 76, la seconde groupant toutes les autres. La période hivernale est caractérisée par *Polydora ciliata*, *Nauplii Cirripèdes*, *Pseudocalanus elongatus* et *Total Spionidés*. Elles contribuent à 41 % de l'inertie du deuxième axe. En revanche, les espèces abondantes dans toutes les autres campagnes sont principalement *Centropages hamatus*, *Temora longicornis*, les larves de *Gastéropodes* et de *Décapodes*.

- L'axe III (Fig. 31) discrimine les campagnes appartenant au deuxième groupe en opposant la mission du 5 juin à celles d'automne : 8 octobre, 6 novembre, 5 décembre. Celles-ci sont caractérisées par *Paracalanus parvus*, *Sagitta setosa*, *Acartia discaudata* et, en moindre importance, par *Cypris Cirripèdes*, *Acartia clausi* et *Calanus helgolandicus* tandis que celle-là voit se développer des Annélides (dont *Lagis koreni*) et des larves de *Décapodes* (*Porcellanes*, *Brachyours*). Les autres

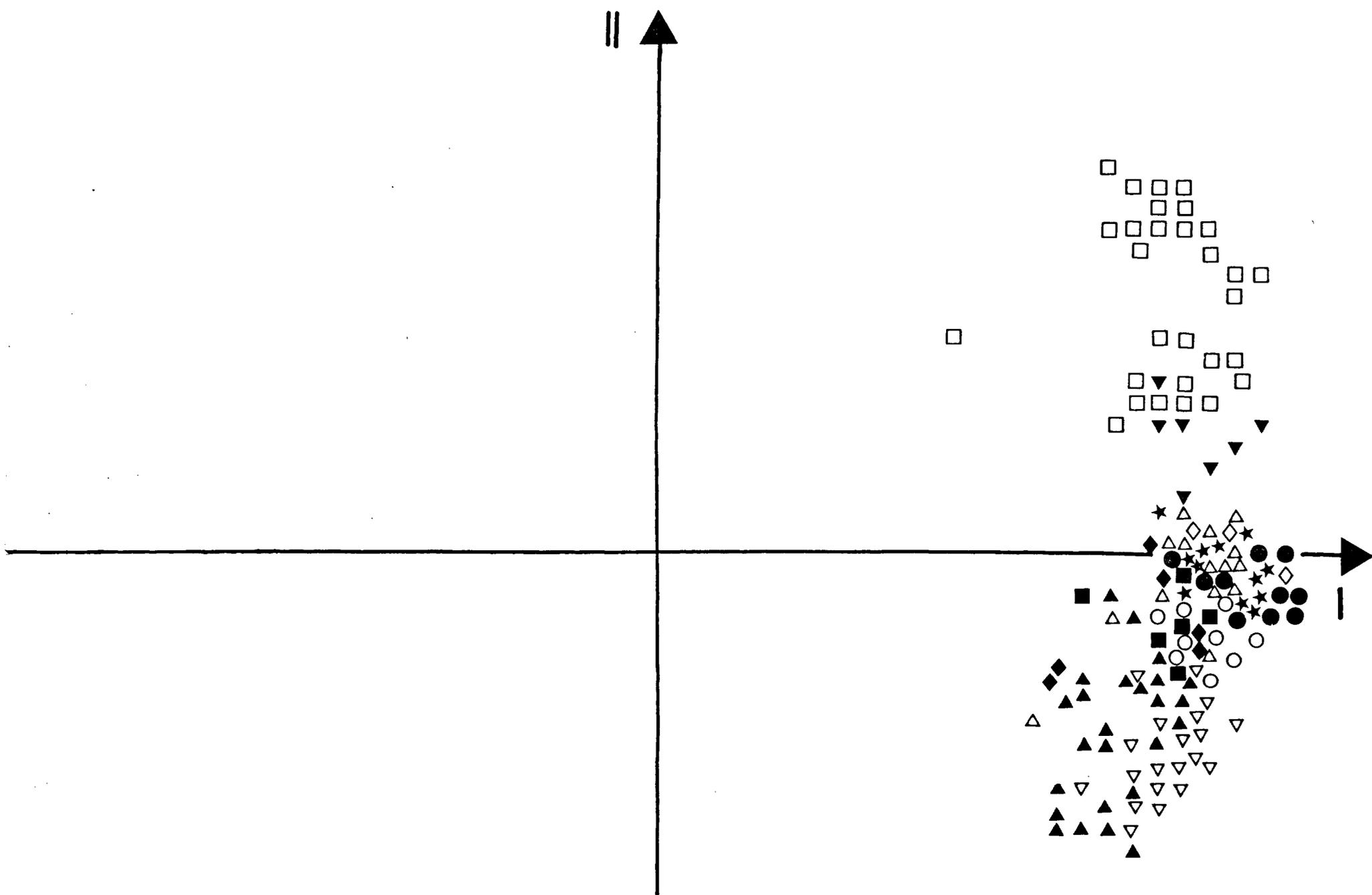


Fig. 29 : Zooplancton. Cycle annuel.
Répartition des points-prélèvements dans le plan I-II de l'analyse d'inertie générale avec prélèvements centrés et réduits.

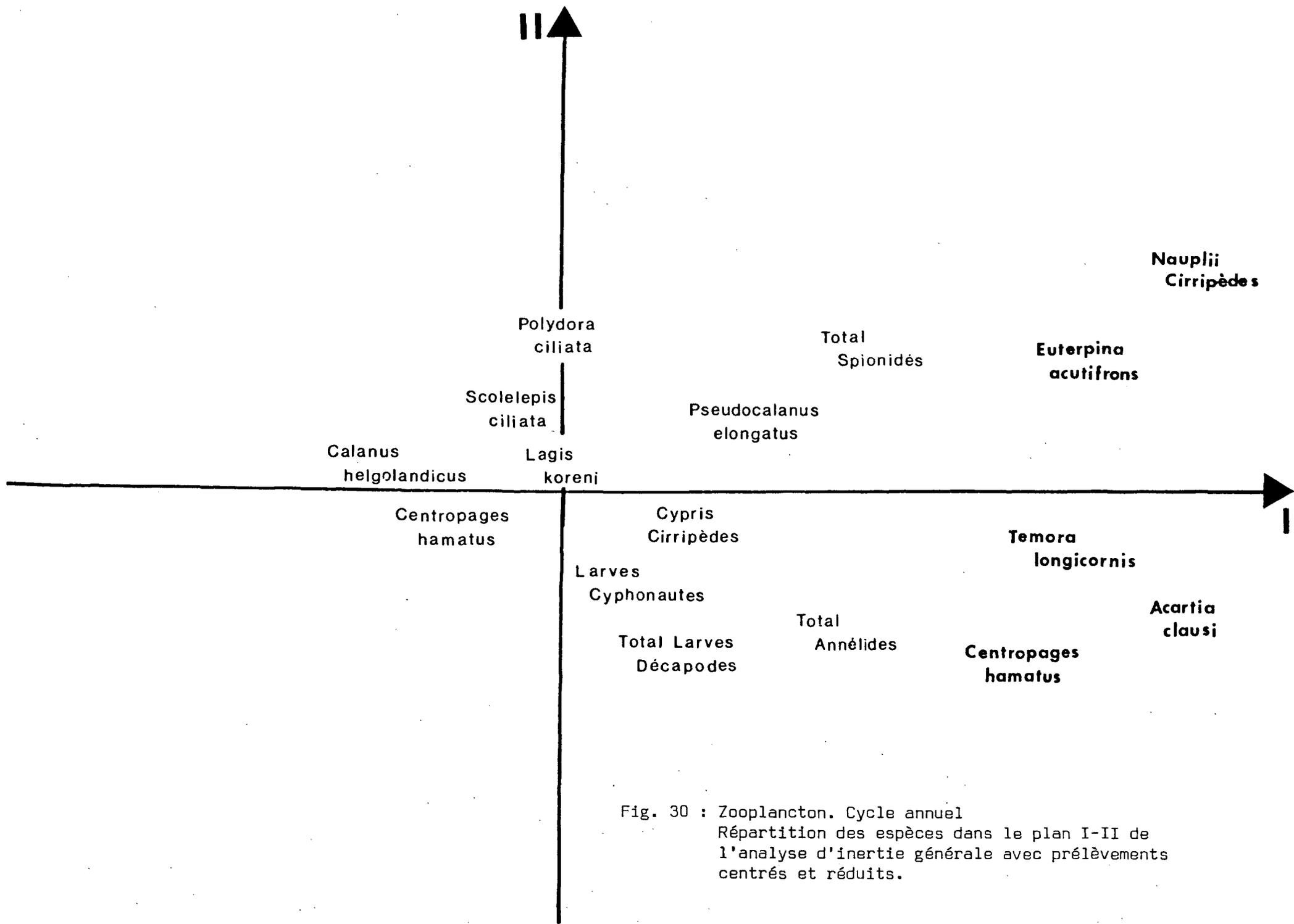


Fig. 30 : Zooplancton. Cycle annuel
 Répartition des espèces dans le plan I-II de
 l'analyse d'inertie générale avec prélèvements
 centrés et réduits.

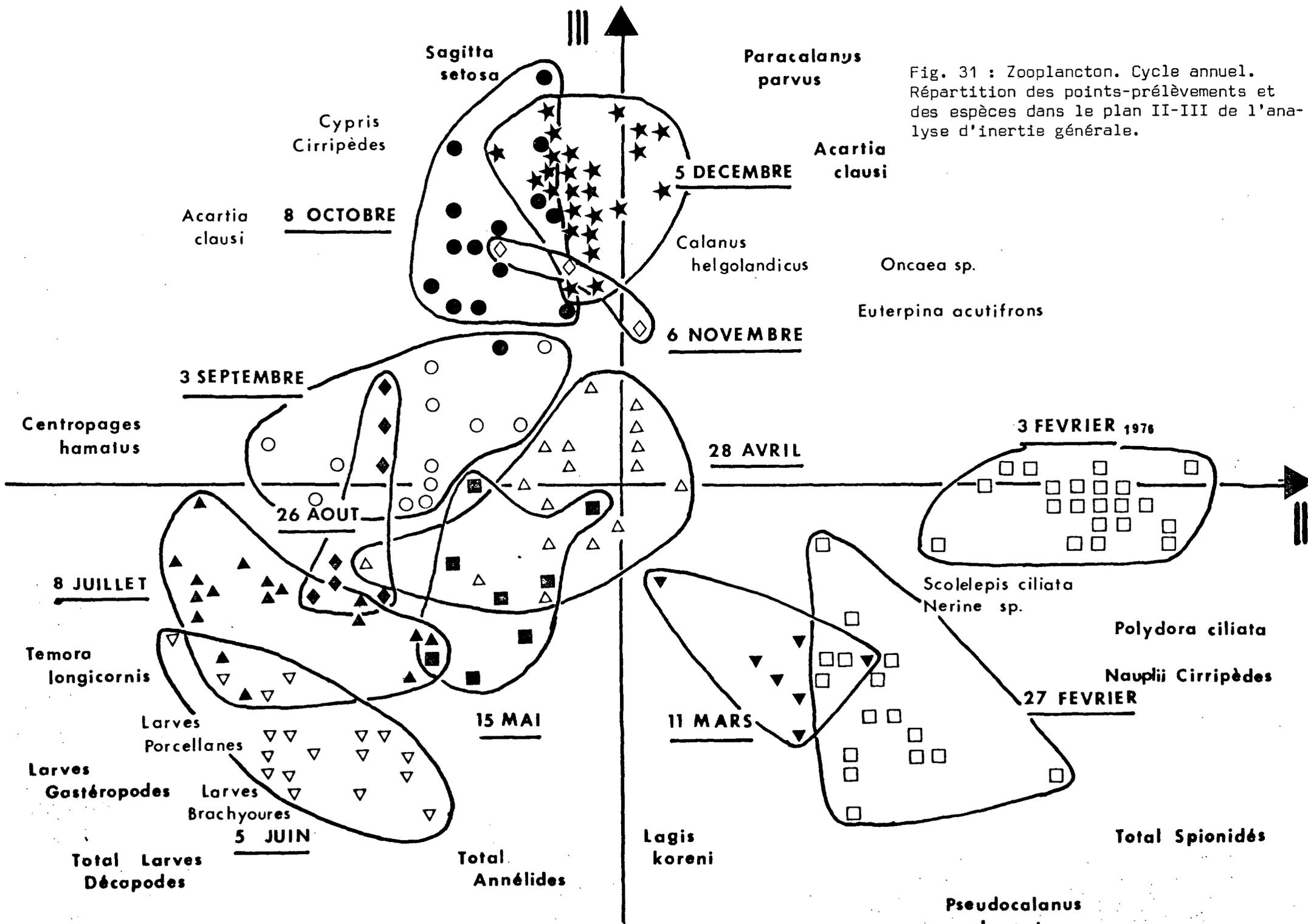


Fig. 31 : Zooplankton. Cycle annuel. Répartition des points-prélèvements et des espèces dans le plan II-III de l'analyse d'inertie générale.

missions (avril, mai, juillet, août, septembre) sont peu différenciables entre elles et seront étudiées sur les axes suivants. On notera enfin, l'abondance moins marquée de *Oncaea sp.*, *Euterpina acutifrons*, *Scoelelepis ciliata* et *Nerine sp.*, en hiver.

- Le quatrième axe (Fig. 32) met en évidence la saison d'été : 8 juillet, 26 août, 3 septembre. On trouve principalement des larves de *Décapodes* (*Porcellanes*, *Brachyoures*) et de *Gastéropodes* ainsi que le copépode *Isias clavipes* et l'annélide *Lanice conchilega*. D'autre part, ce même axe isole la campagne du 3 février 76 des autres missions d'hiver (27 février et 11 mars 75). Celle-là se distingue des autres par une abondance plus marquée d'*Oncaea sp.* tandis que celles-ci enregistrent davantage de *Scoelelepis ciliata* que l'année suivante.

- Le cinquième axe (Fig. 33) fait ressortir la campagne du 28 avril en l'opposant à celle du 15 mai. Fin avril, on voit apparaître les *Cladocères* (dont *Podon leukarti*) et parmi les larves de *Décapodes*, principalement celles de *Brachyoures*. En revanche, les larves de *Cyphonautes* sont plus abondantes en mai ainsi que l'annélide *Lagis koreni* et le cnidaire *Phialidium hemisphaericum*.

II. ETUDES PARTICULIERES

Seules les campagnes présentant une distribution spatiale intéressantes ont été retenues pour l'exposé des résultats. Il s'agit principalement des missions de printemps et d'été parce que, d'une part le nombre de prélèvements est suffisant, et d'autre part, les espèces sont plus abondantes et discriminent mieux les stations. Les prélèvements sont centrés et réduits et les effectifs transformés par la fonction $\text{Log}(x + 1)$.

1°) 28 avril (Fig. 34, 35)

Le plan II - III (Fig. 34) met en évidence les stations 7 et 11 auxquelles est joint le point 4 qui présente les mêmes caractéristiques que les points du large. Les espèces abondantes sont principalement *Paracalanus parvus*, *Cypris Cirripèdes*, *Nauplii Cirripèdes* et les *Peltidés*. Les autres stations (5, 6, 8, 13, 14 et 15) sont plus à la côte (visualisation Fig. 35). Cette zone est placée sous l'influence de la Durdent. On y trouve particulièrement des *Mysidacés* (dont *Schistomysis spiritus*), des *Cladocères* (dont *Podon leukarti*) et un copépode *Oncaea sp.*

2°) 5 juin (Fig. 36, 37)

Trois groupes de stations apparaissent nettement sur le plan II - III (Fig. 36). Le premier, constitué des stations 1, 2, 3, 4 et 5 représente la partie ouest du site. C'est le domaine de *Pseudocalanus elongatus*,

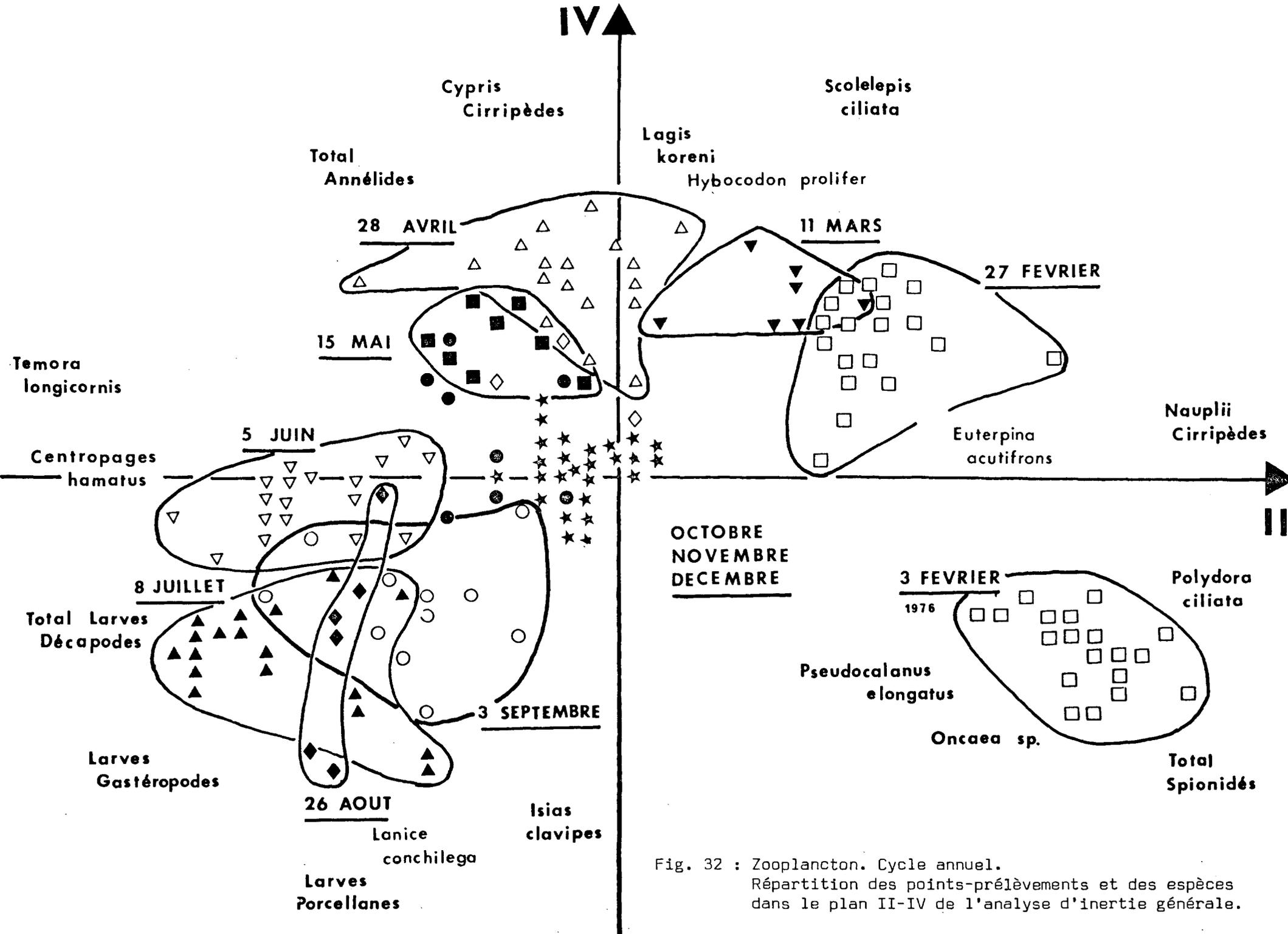


Fig. 32 : Zooplancton. Cycle annuel.
Répartition des points-prélèvements et des espèces dans le plan II-IV de l'analyse d'inertie générale.

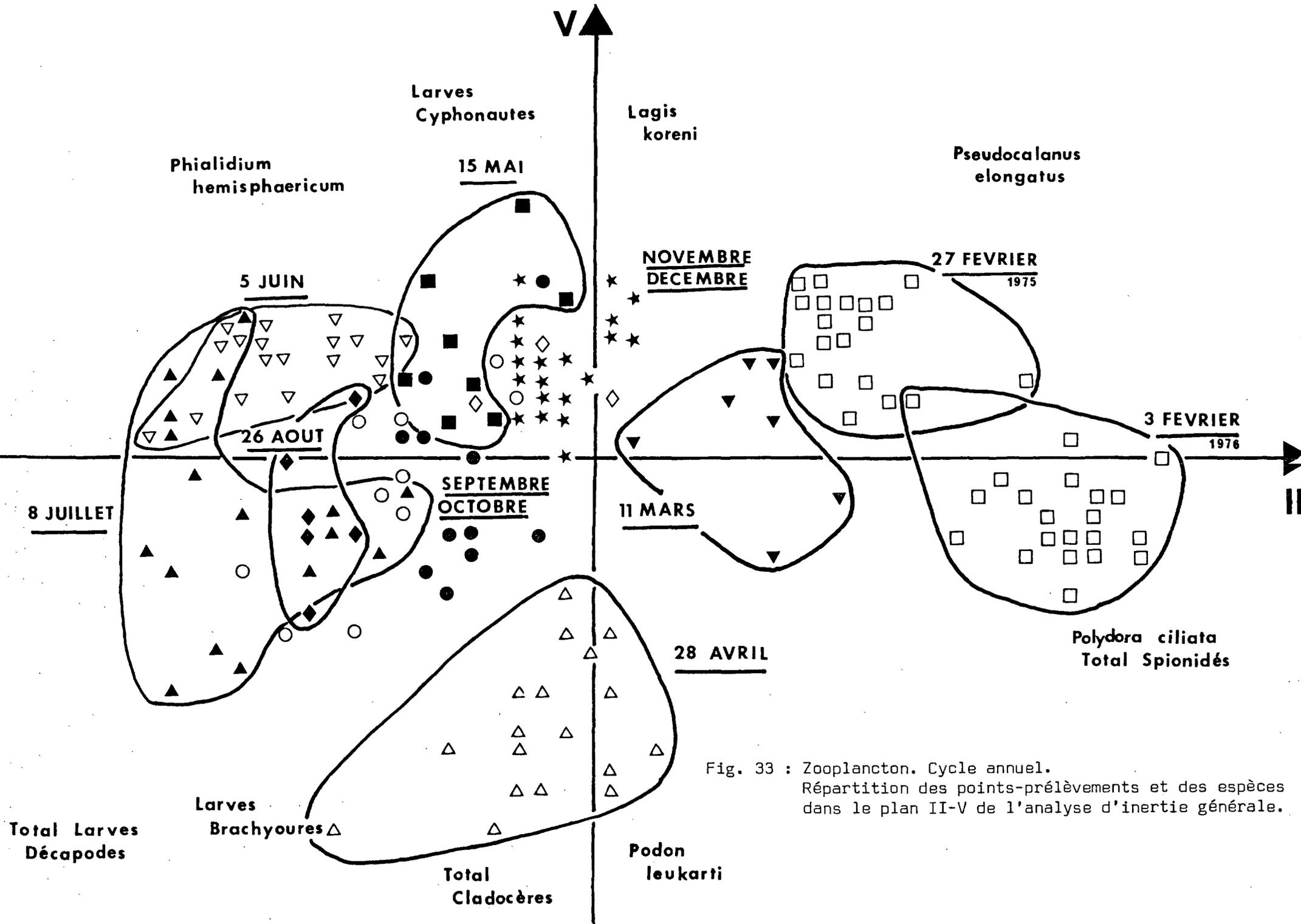


Fig. 33 : Zooplancton. Cycle annuel.
Répartition des points-prélèvements et des espèces dans le plan II-V de l'analyse d'inertie générale.

LEGENDE

 prélèvements de la station 6
 6H horizontal
 6V vertical

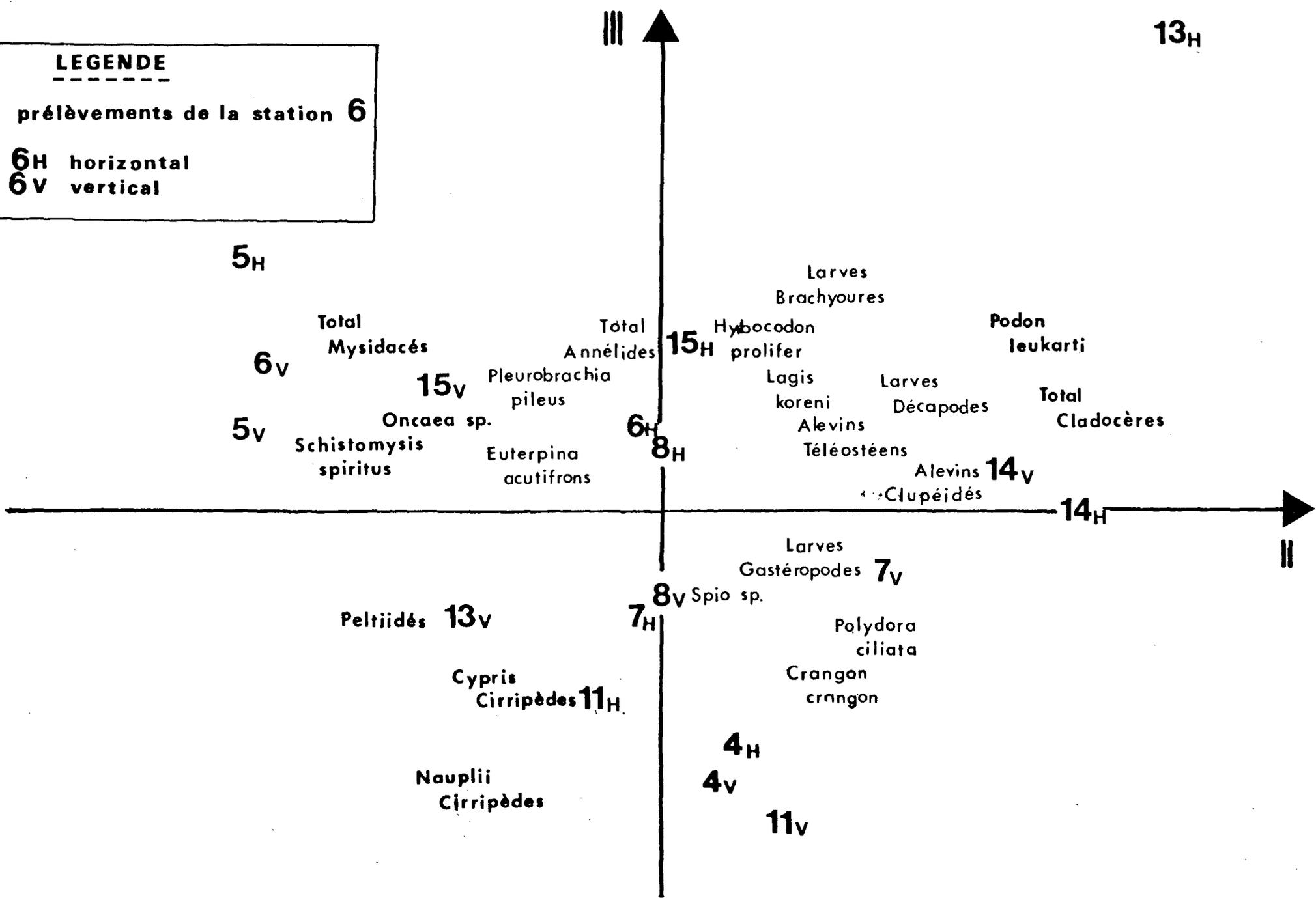


Fig. 34 : Zooplancton. Campagne du 28 avril 1975.
 Répartition des points-prélèvements et des espèces dans le plan II-III de l'analyse d'inertie.

Paracalanus parvus

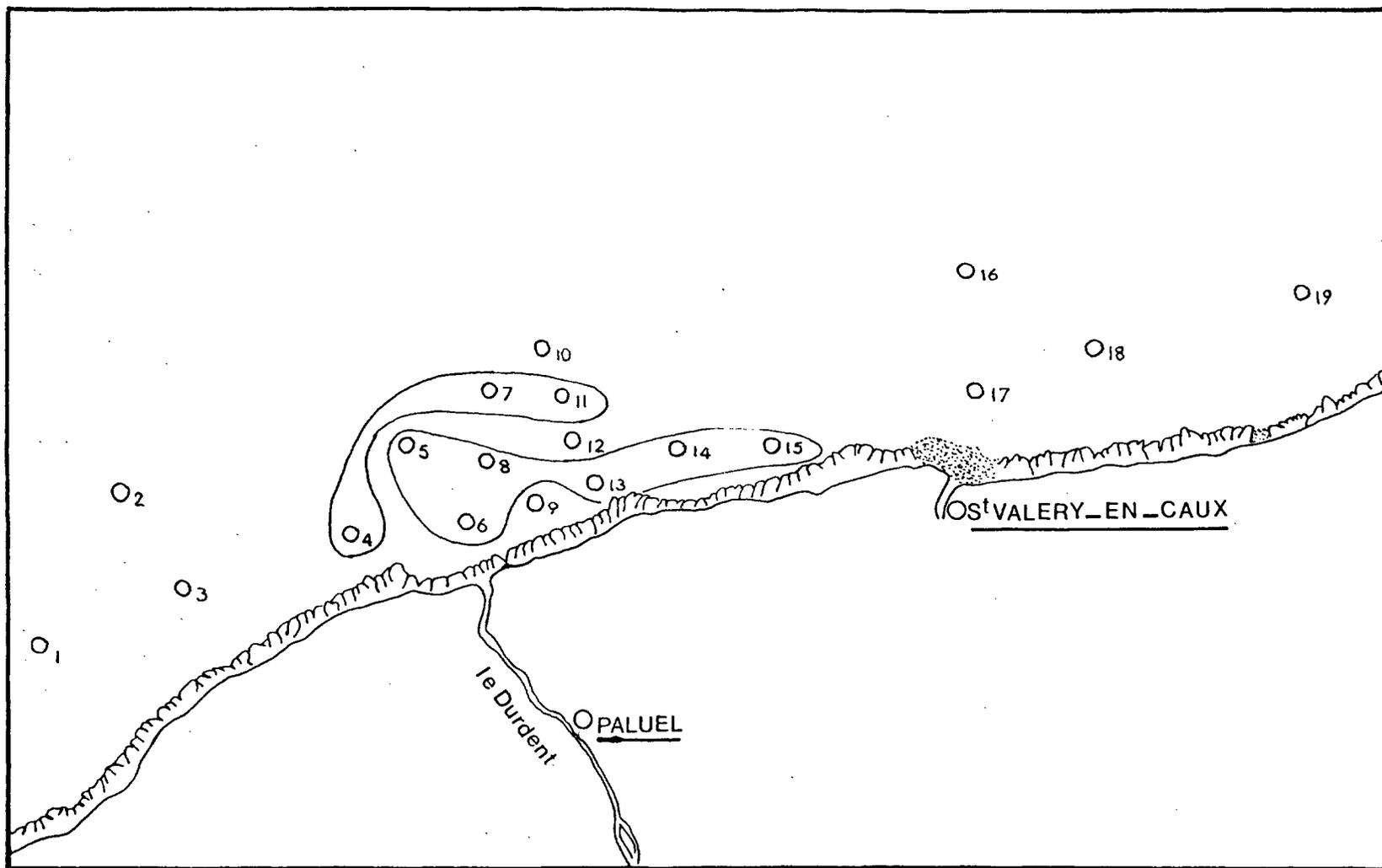


Fig. 35 : Zooplancton. Campagne du 28 avril 1975.
 Structure spatiale des prélèvements par rapport
 à l'axe II.

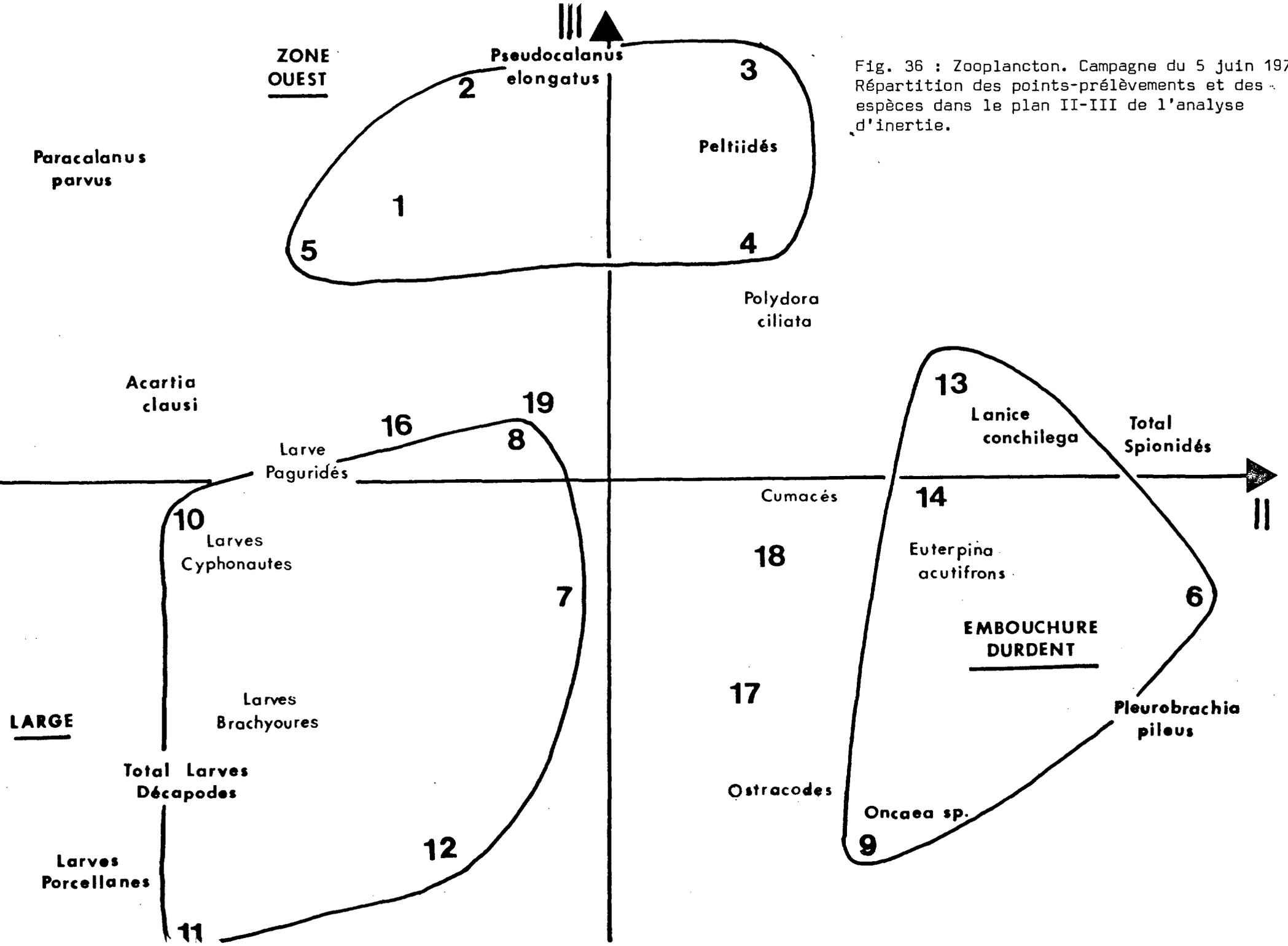


Fig. 36 : Zooplankton. Campagne du 5 juin 1975. Répartition des points-prélèvements et des espèces dans le plan II-III de l'analyse d'inertie.

de *Paracalanus parvus* et des *Peltiidés*. Le second comprend les points 6, 9, 13 et 14. C'est l'embouchure de la Durdent. On y trouve principalement des *Annélides* : *Lagis koreni*, *Lanice conchilega* et les *Spionidés*, deux Copépodes : *Oncaea sp.* et *Euterpina acutifrons* et un Cténaire : *Pleurobrachia pileus*. Le troisième groupe caractérise la zone face au débouché de la Durdent mais plus au large (stations 7, 8, 10, 11, 12) (visualisation Fig. 37). Les espèces les plus abondantes sont des larves : *Porcellanes*, *Decapodes*, *Brachyours*, *Cyphonantes* et *Paguridés*. Enfin, il est à signaler la position des points 16, 17, 18 et 19 : ceux-ci ne forment pas un groupe très distinctif mais semblent ressembler, d'une part aux points de l'embouchure et à la côte pour les stations 17 et 18, d'autre part à ceux du large pour les stations 16 et 19.

3°) 8 juillet (Fig. 38, 39)

L'axe II (Fig. 38) partage l'ensemble des prélèvements en trois parties (Fig. 39). La première, au pôle positif de l'axe, groupe les stations 6, 9, 12, 13 et 14 ; ce sont des points à la côte et au débouché de la Durdent. On y trouve des *Mysidacés* (dont *Schistomysis spiritus*), deux copépodes : *Oncaea sp.* et *Euterpina acutifrons*, des *Ostracodes*, des *Cumacés* et des *Amphipodes*. La deuxième partie comprend les points 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 et 11, elle représente la zone ouest et au large du site. Les espèces principales sont les *Spionidés*, les larves de *Cyphonantes*, les *Longipéidiés* et un Hémicorde : *Oikopleura dioïca*. Enfin, le troisième groupe comprend les stations de la zone Est (15, 16, 17, 18) et la station 10. Les Cirripèdes (*Nauplii* et *Cypris*), les larves de *Paguridés* et de *Porcellanes*, les Cladocères (*Podon leukarti*) et *Paracalanus parvus* en sont les espèces les plus représentatives.

4°) 3 septembre (Fig. 40, 41)

Deux parallèles à la deuxième bissectrice des axes II et III (Fig. 40) partagent le plan en trois zones distinctes (Fig. 41) : la première située au large (points 10, 11 et 16), la seconde comprenant les points du débouché de la Durdent et à la côte (5, 6, 8, 9, 13, 14 et 17), la troisième composée des stations 7, 18 et 19. Les espèces les plus abondantes au large sont les *Cladocères* (dont *Podon leukarti*), les Copépodes *Oncaea sp.*, *Acartia clausi* et *Pseudocalanus elongatus* et l'Hémicorde *Oikopleura dioïca*. Près de la côte et à l'embouchure de la Durdent, on trouve principalement des larves (*Porcellanes*, *Brachyours*, *Décapodes*), des *Annélides* et des *Spionidés*. Enfin, à l'Ouest du site (stations 18 et 19), on observe la présence d'*Harmothoe sp.* et d'*Isias clavipes*.

5°) 8 octobre (Fig. 42, 43)

L'axe II (Fig. 42) différencie les stations du large (1, 2, 5, 7, 10) de celles plus à la côte (4, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15) (visualisation Fig. 43).

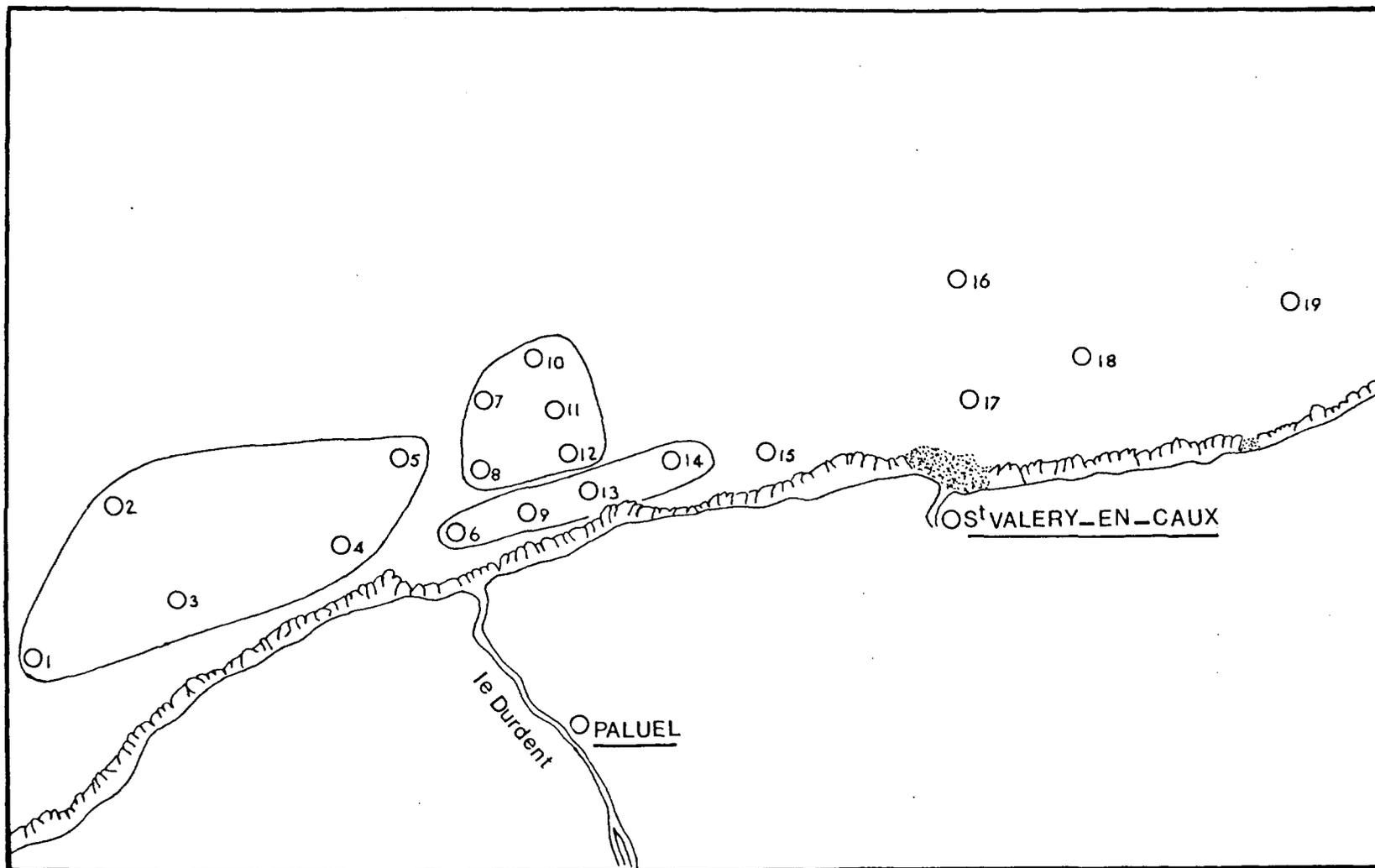
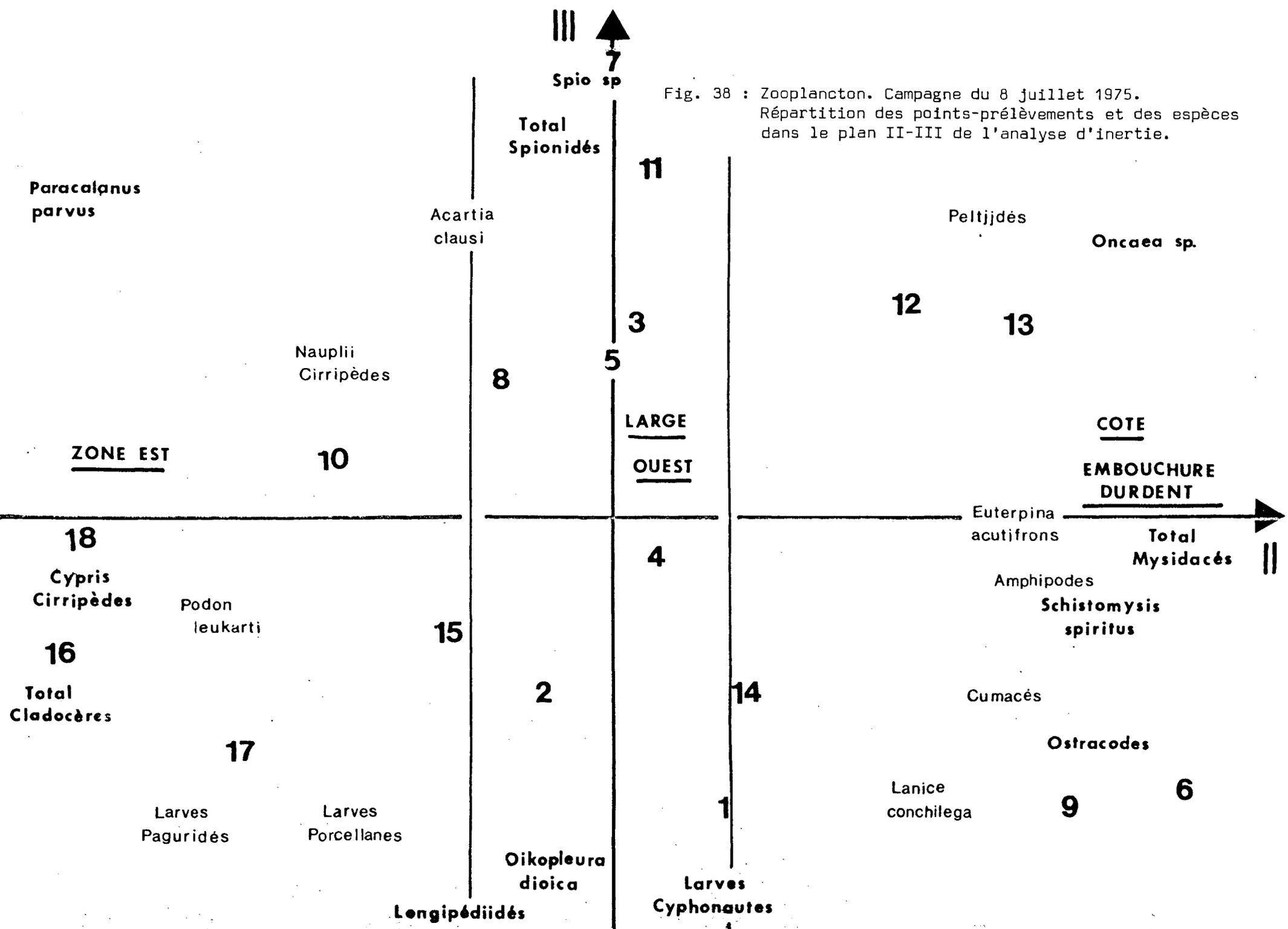


Fig. 37 : Zooplancton. Campagne du 5 juin 1975.
 Structure spatiale des prélèvements par rapport
 au plan II-III.

III ↑
7
Spio sp

Fig. 38 : Zooplancton. Campagne du 8 juillet 1975.
Répartition des points-prélèvements et des espèces dans le plan II-III de l'analyse d'inertie.



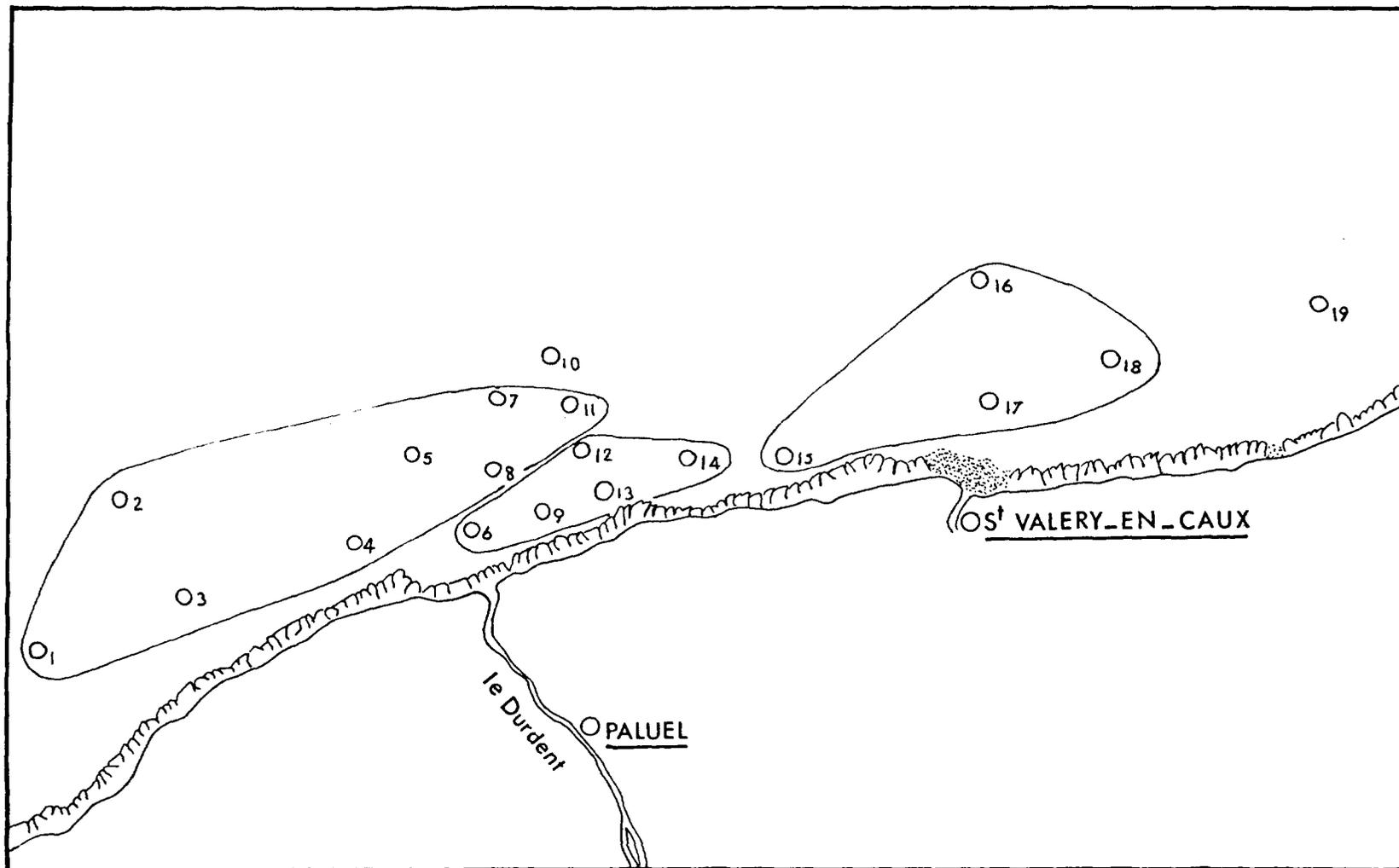


Fig. 39 : Zooplancton. Campagne du 8 juillet 1975.
Structure spatiale des prélèvements par rapport
à l'axe II.

9

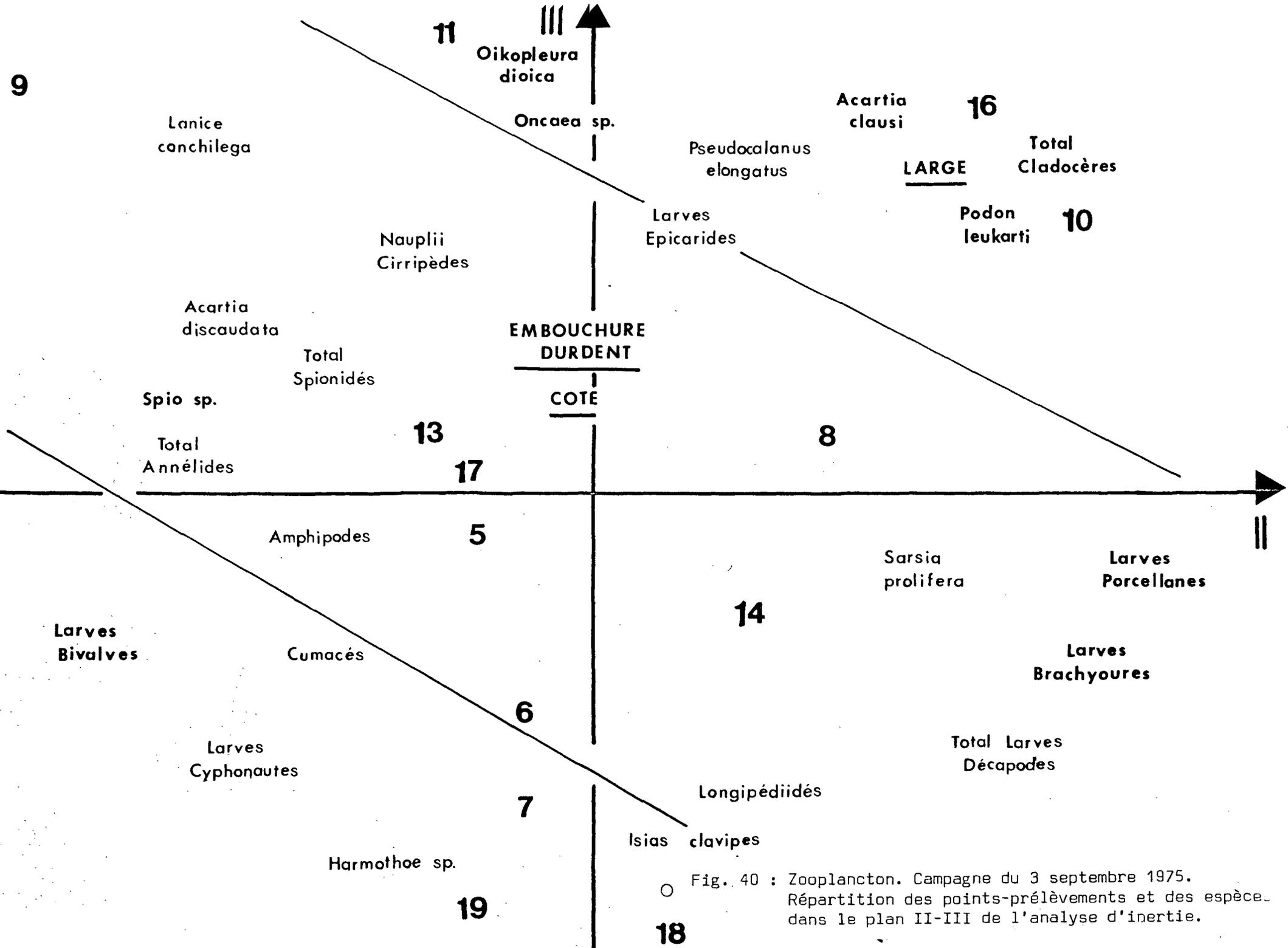


Fig. 40 : Zooplancton. Campagne du 3 septembre 1975. Répartition des points-prélèvements et des espèces dans le plan II-III de l'analyse d'inertie.

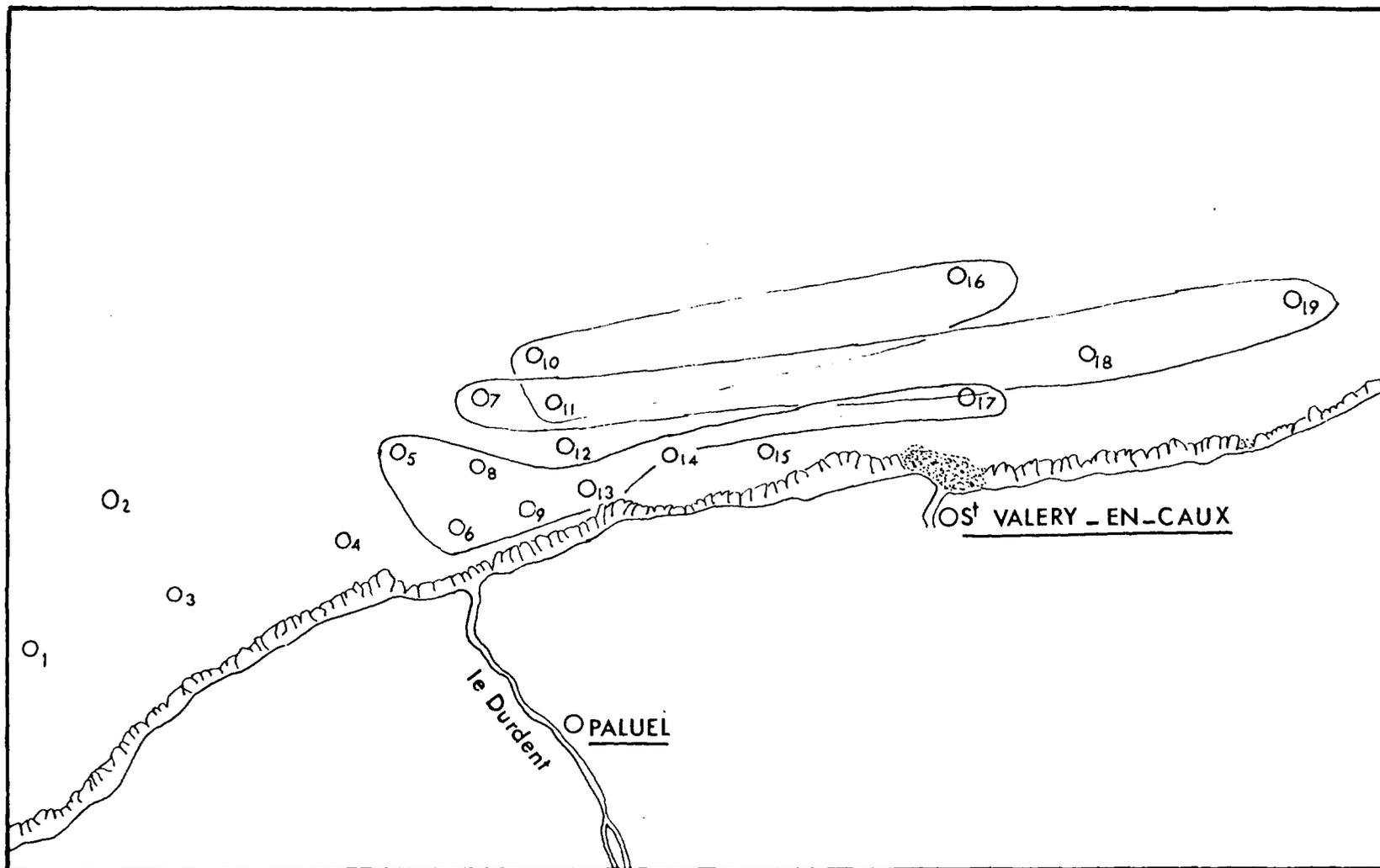


Fig. 41 : Zooplancton. Campagne du 3 septembre 1975.
 Structure spatiale des prélèvements par rapport
 au plan II-III.

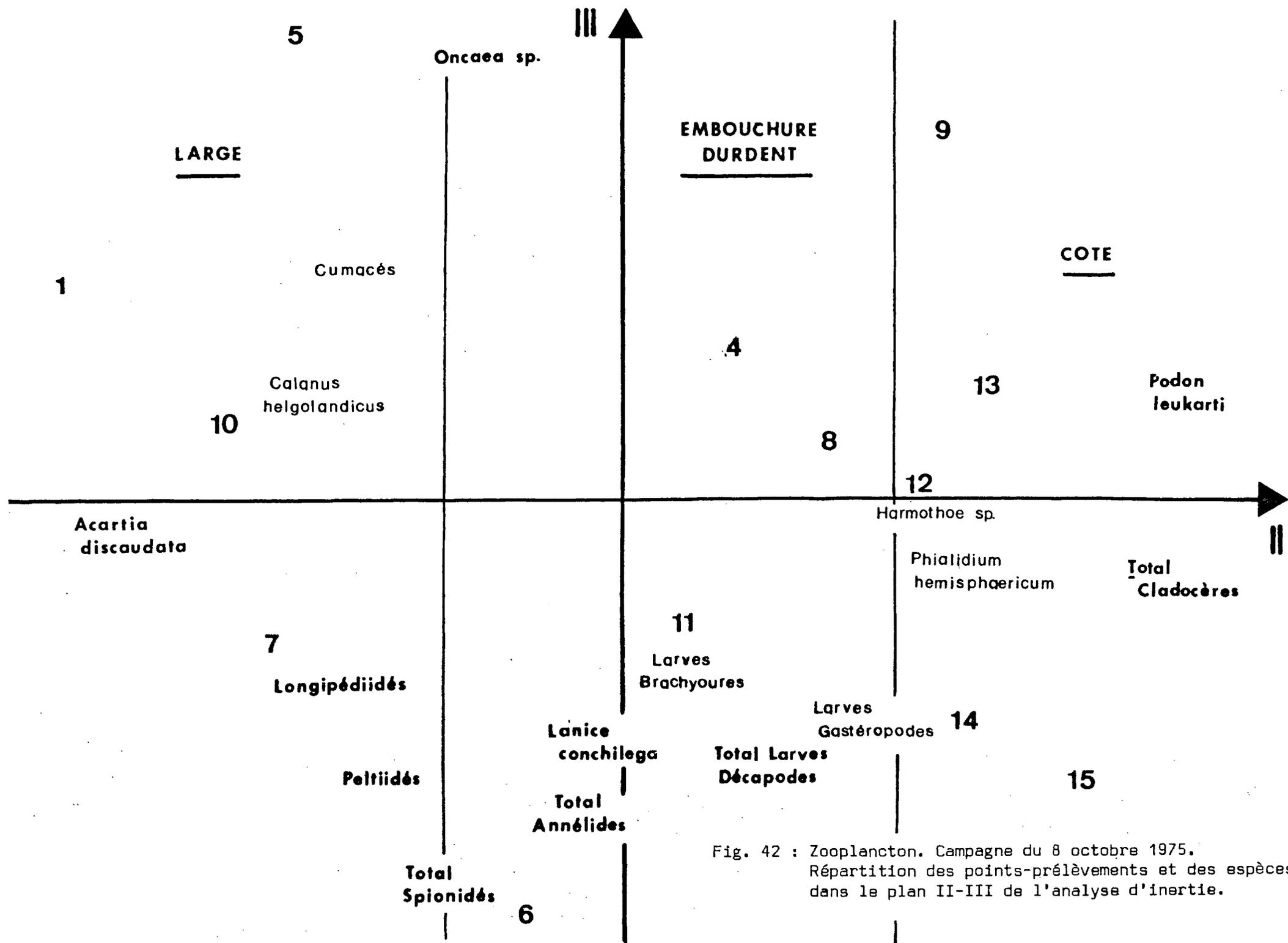


Fig. 42 : Zooplancton. Campagne du 8 octobre 1975.
Répartition des points-prélèvements et des espèces dans le plan II-III de l'analyse d'inertie.

Au large, on trouve plus particulièrement des *Longipédiidés*, des *Peltiidés* et deux copépodes : *Acartia discaudata* et *Oncaea sp.* Le groupe des stations moins néritiques peut se diviser en deux : d'une part celles qui sont situées au débouché de la Durdent (4, 6, 8 et 11) et d'autre part, celles toutes proches de la côte : 9, 12, 13, 14 et 15. L'embouchure de la Durdent présente une grande abondance en *Annélides* (*Spionidés*, *Lanice conchilega*) et en larves : *Décapodes*, *Brachyours*, *Gastéropodes*, tandis qu'à la côte, il y a davantage de *Cladocères* (dont *Podon leukarti*).

III. CONCLUSION

La population zooplanctonique au cours d'une année présente deux caractéristiques principales :

- un contingent d'espèces présentes tout au long du cycle annuel et déterminant la part la plus importante -en nombre- de l'effectif total du zooplancton. Parmi celles-ci, on trouve essentiellement des copépodes.

- une variation annuelle de la composition faunistique du site, liée aux apparitions et disparitions d'espèces saisonnières moins abondantes. On relève, en particulier le rôle des *Annélides*, des *Cirripèdes* et des nombreuses larves.

Le cycle caractérisant l'évolution temporelle des espèces met en évidence la saison d'hiver, très différenciée par rapport aux autres périodes de l'année. En l'absence de toute évolution du site, du point de vue hydro-biologique, sans doute faut-il voir en ce fait la réponse plus ou moins retardée de certaines espèces aux modifications antérieures du milieu.

L'étude de certaines campagnes, prises individuellement, met en relief une structure spatiale faisant ressortir l'embouchure de la Durdent. Certaines espèces sont présentes davantage à la côte qu'au large ou inversement mais ceci n'est pas un fait permanent.

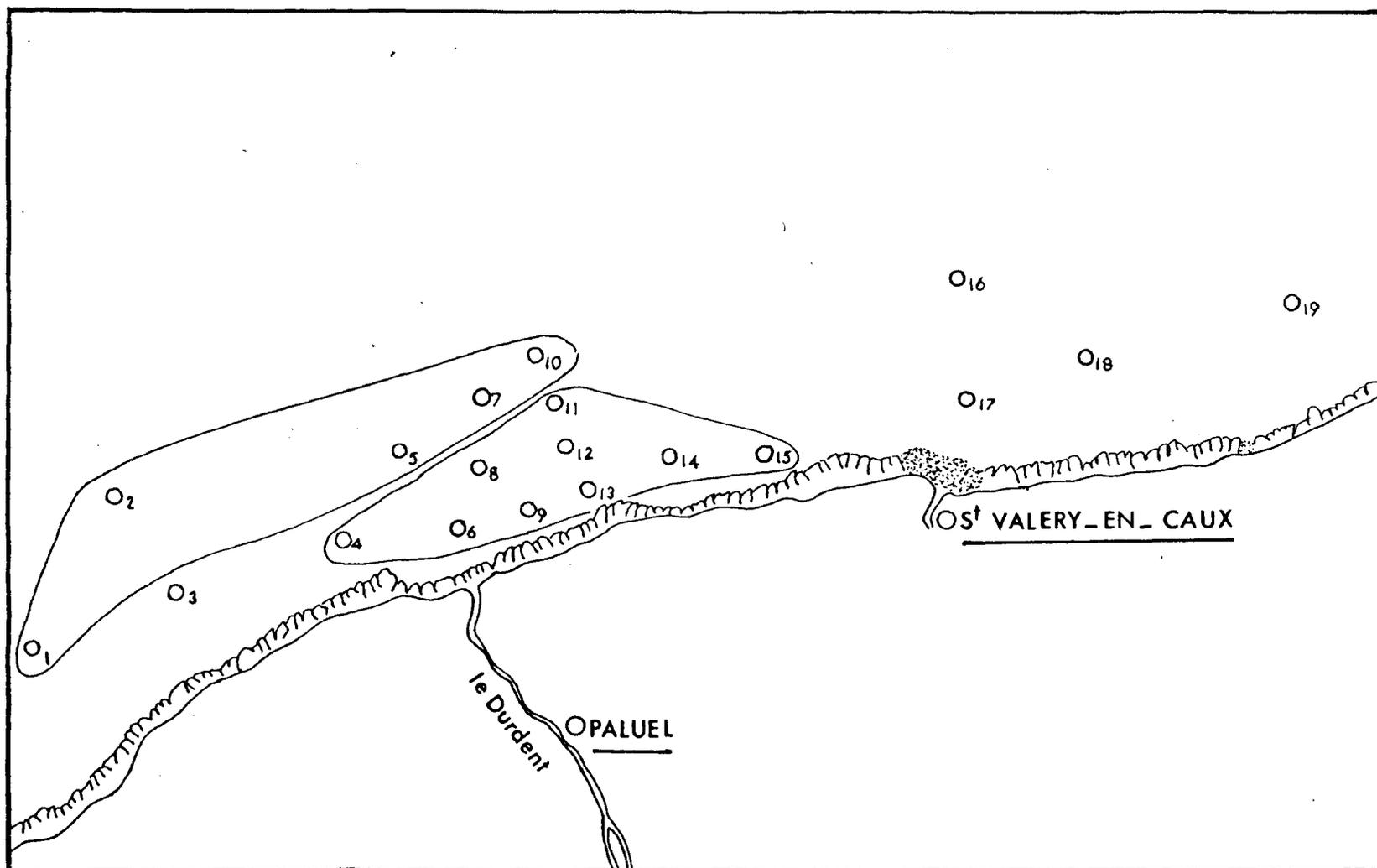


Fig. 43 : Zooplancton. Campagne du 8 octobre 1975.
Structure spatiale des prélèvements par rapport
à l'axe II.

CHAPITRE IV

- RELATIONS HYDROBIOLOGIE - PLANCTON -

CHAPITRE IV

=====

RELATIONS HYDROBIOLOGIE - PLANCTON

I. HYDROBIOLOGIE - PHYTOPLANCTON

1°) Introduction

Le but de cette étude est de décrire les relations existant entre le phytoplancton et les paramètres hydrobiologiques. Chacune des 41 espèces retenues engendre trois classes de prélèvements selon qu'elle est inexistante, peu abondante ou abondante. De même, les 12 variables hydrobiologiques sont divisées en trois modalités correspondant aux valeurs faibles, moyennes ou fortes.

Les campagnes considérées dans cette analyse sont celles du 11 mars, des 28 et 29 avril, du 15 mai, des 5 et 6 juin, des 8 et 9 juillet, du 27 août et des 3 et 4 septembre. A l'aide des variables détripées, on bâtit un tableau de contingence que l'on soumet à une analyse des correspondances.

2°) Résultats (Fig. 44, 45)

Le plan I-II de l'analyse extrait 69 % de l'inertie totale du nuage. Il rend compte, de ce fait, d'une bonne information à propos de la variation d'abondance des espèces phytoplanctoniques par rapport aux paramètres hydrobiologiques.

Le premier axe oppose les valeurs fortes des températures, salinités, phéopigments, silicates et de l'indice pigmentaire aux autres modalités de ces mêmes variables (Fig. 44). Elles sont caractéristiques de la période estivale durant laquelle on note l'abondance de quelques espèces : *Ditylum intricatum*, *Peridinium pellucidum*, *Leptocylindrus danicus*, *Rhizosolenia shrubsolei*, *Lauderia borealis* et *Prorocentrum micans* (Fig. 45). En revanche, sont inexistantes des espèces importantes au printemps : *Asterionella japonica*, *Thalassiosira nordenskioldii*, *Skeletonema costatum*, *Nitzschia seriata* et *Nitzschia closterium*. Les caractères abondants de la plupart des autres espèces se situent à l'autre pôle de l'axe I. Le deuxième axe les sépare en deux groupes : le premier est caractérisé par des valeurs faibles de température et de salinité mais fortes pour l'oxygène, la chlorophylle et les nitrates, le second se distingue par des faibles teneurs en oxygène, chlorophylle et nitrates et des valeurs moyennes de température et de salinité. Le premier groupe représente la période printanière avec ses espèces abondantes : *Biddulphia mobiliensis*, *Coscinodiscus radiatus*, *Gymnodinium lohmani*, *Pleurosigma angulatum*. Trois espèces se distinguent notamment comme étant plutôt de fin d'hiver : *Actinoptychus senarius*, *Rhaphoneis amphiceros*, *Dictyocha speculum* et se placent près des fortes teneurs en nitrates

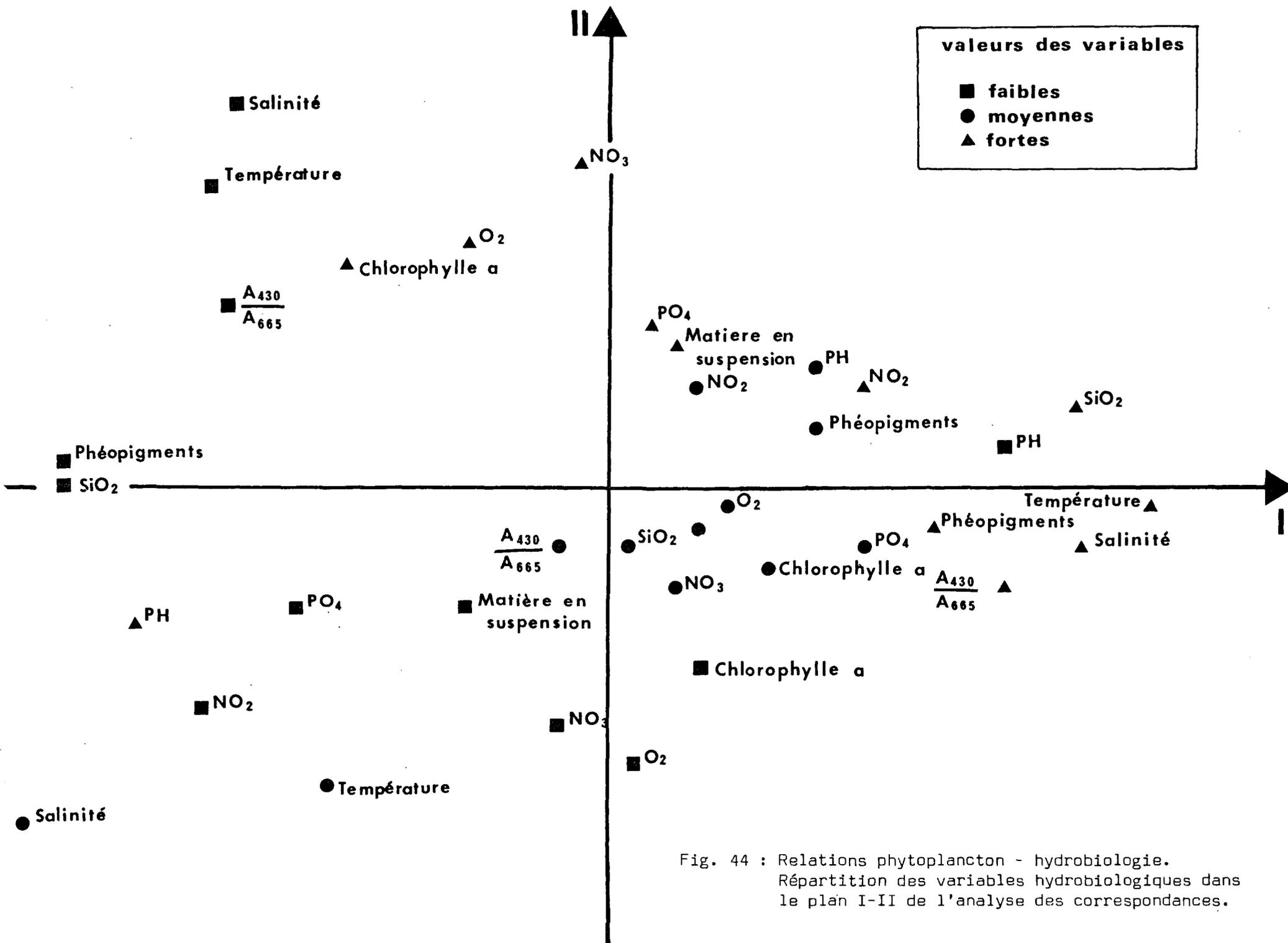


Fig. 44 : Relations phytoplancton - hydrobiologie.
Répartition des variables hydrobiologiques dans
le plan I-II de l'analyse des correspondances.

et en phosphates. Puis vient le groupe des espèces responsables du bloom d'avril : *Thalassiosira nordenskioldii*, *Skeletonema costatum* et *Asterionella japonica*. Enfin, au pôle négatif de l'axe II, on trouve les espèces caractérisant le bloom de juin (température et salinité moyennes) : les *Thalassiosira* (*nitzschioïdes*, *rotula*, *hyalina* et *decipiens*), *Rhizosolenia setigera* et *Nitzschia seriata*.

On retrouve donc le cycle du phytoplancton avec ses deux points forts : le bloom d'avril et le bloom de juin. La plupart des espèces atteignent leur maximum d'abondance entre ces deux époques ; quelques-unes, cependant, sont plus importantes en été. Ces différentes époques sont caractérisées de façon précise par les valeurs des principaux paramètres hydrobiologiques : température, salinité, oxygène, chlorophylle et sels nutritifs. Seule la période hivernale n'apparaît pas, car les espèces sont alors toutes uniformément peu abondantes et aucune distinction nette ne peut se faire à leur sujet.

II. HYDROBIOLOGIE - ZOOPLANCTON

1°) Introduction

De même que précédemment, chaque espèce engendre trois classes de prélèvements selon son abondance. Les variables hydrobiologiques sont divisées en trois modalités correspondant aux valeurs faibles, moyennes ou fortes. Les campagnes retenues sont celles des 27 et 28 février, du 11 mars, des 28 et 29 avril, du 15 mai, des 5-6 juin, des 8 et 9 juillet, des 26 et 27 août, des 3 et 4 septembre et du 6 novembre.

Un tableau de contingence est bâti à partir des variables détripées, et étudié par une analyse des correspondances.

2°) Résultats (Fig. 46, 47)

Le premier plan extrait 67 % de l'inertie totale de l'ensemble des points. L'axe I met en évidence, au pôle positif, la saison d'été : valeurs élevées des températures, salinités, phéopigments et silicates (Fig. 46). C'est la période d'abondance des larves (larves d'*Actinules*, de *Paguridés*, de *Gastéropodes*, d'*Epicarides*, de *Crangon crangon*), de quelques copépodes (*Isias clavipes*, *Calanus helgolandicus*, *Oncaea* sp., *Paracalanus parvus*), des Ostracodes et des Amphipodes. En revanche, *Euterpina acutifrons*, *Acartia clausi* et *Lagis koreni* sont pratiquement inexistantes (Fig. 47).

Le deuxième axe distingue deux époques : la première où la température et la salinité sont moyennes ; les teneurs en sels nutritifs sont faibles ainsi que les phéopigments et la matière en suspension. C'est la période printanière où apparaissent des Cnidaires (*Phialidium hemisphaericum*, *Hybocodon prolifer*), *Pleurobrachia pileus* et *Lagis koreni*. La deuxième époque est celle où les températures et les salinités sont basses et les teneurs en nitrates et phosphates élevées. C'est la période hivernale où apparaissent principalement des Annélides :

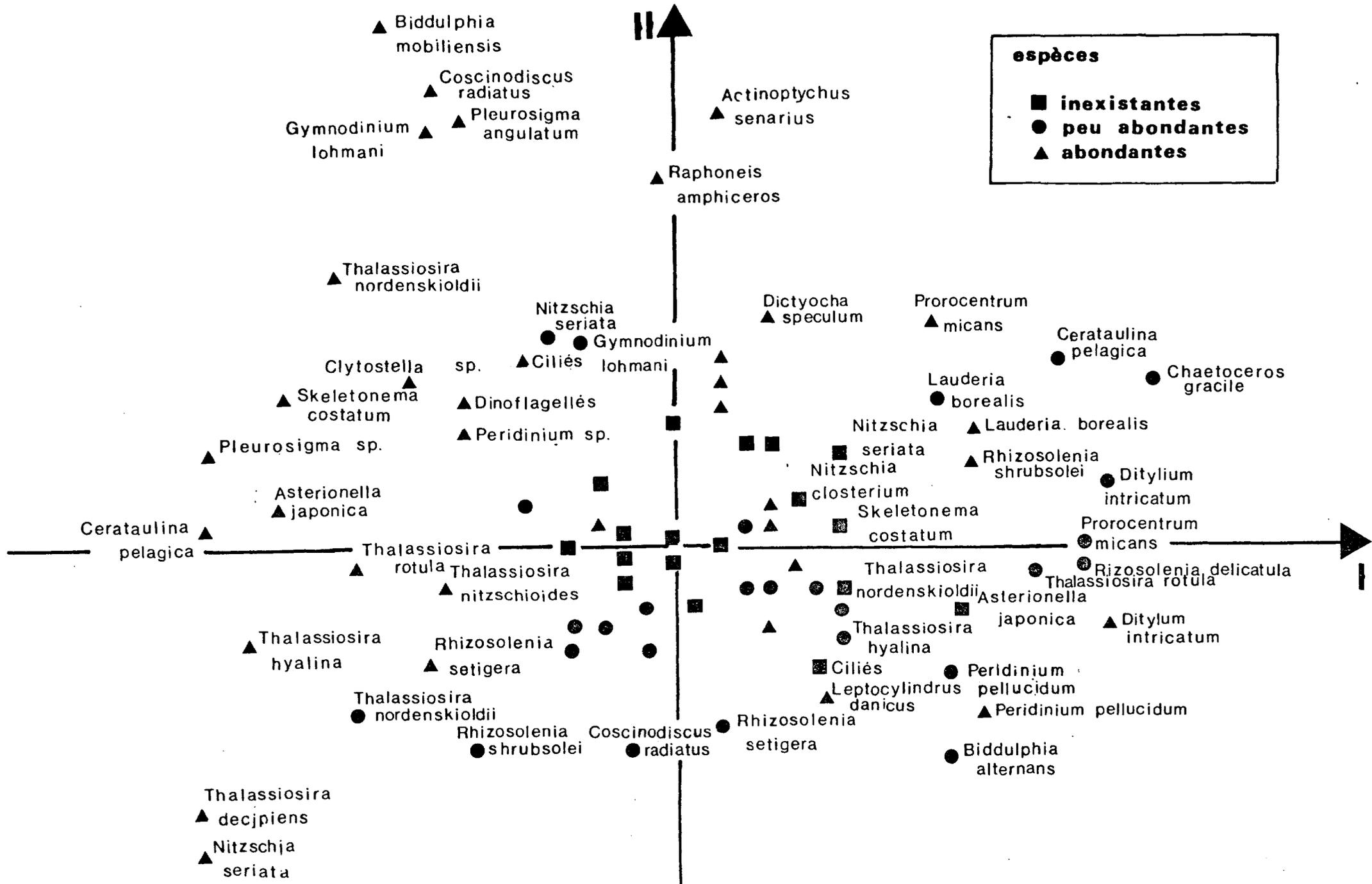


Fig. 45 : Relations phytoplancton - hydrobiologie.
Répartition des espèces du phytoplancton dans le plan I-II de l'analyse des correspondances.

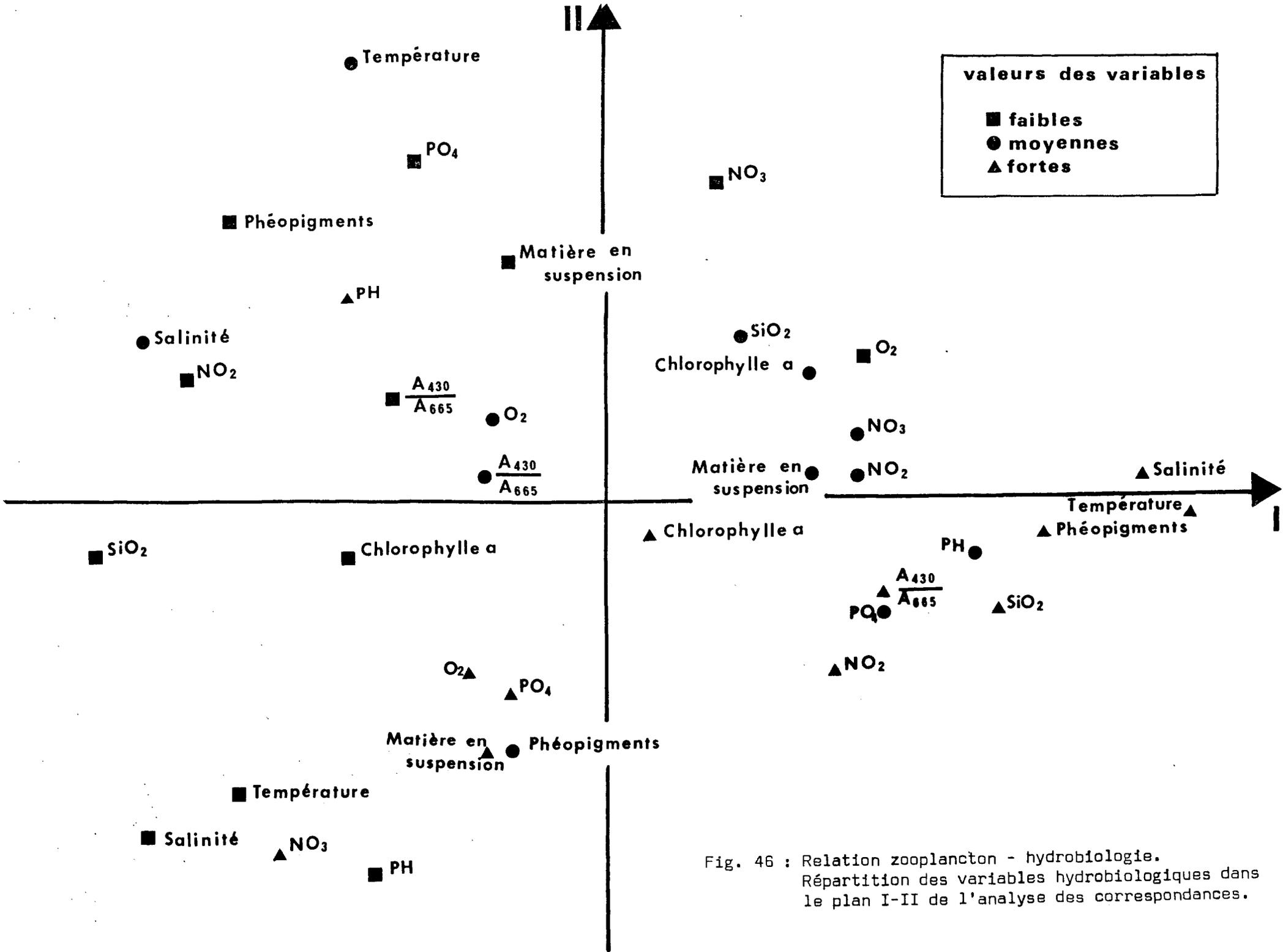


Fig. 46 : Relation zooplancton - hydrobiologie. Répartition des variables hydrobiologiques dans le plan I-II de l'analyse des correspondances.

Nephtys sp., *Scolelepis ciliata*, *Nerine sp.*, *Harmothoe sp.* ainsi que des oeufs de Téléostéens. En revanche, les larves ont disparu : larves de *Porcellanes*, de *Gastéropodes* et de *Bivalves*.

De même que pour le phytoplancton, l'apparition et la disparition des espèces sont très liées aux paramètres température et salinité ainsi qu'aux sels nutritifs.

III. ZOOPLANCTON - PHYTOPLANCTON

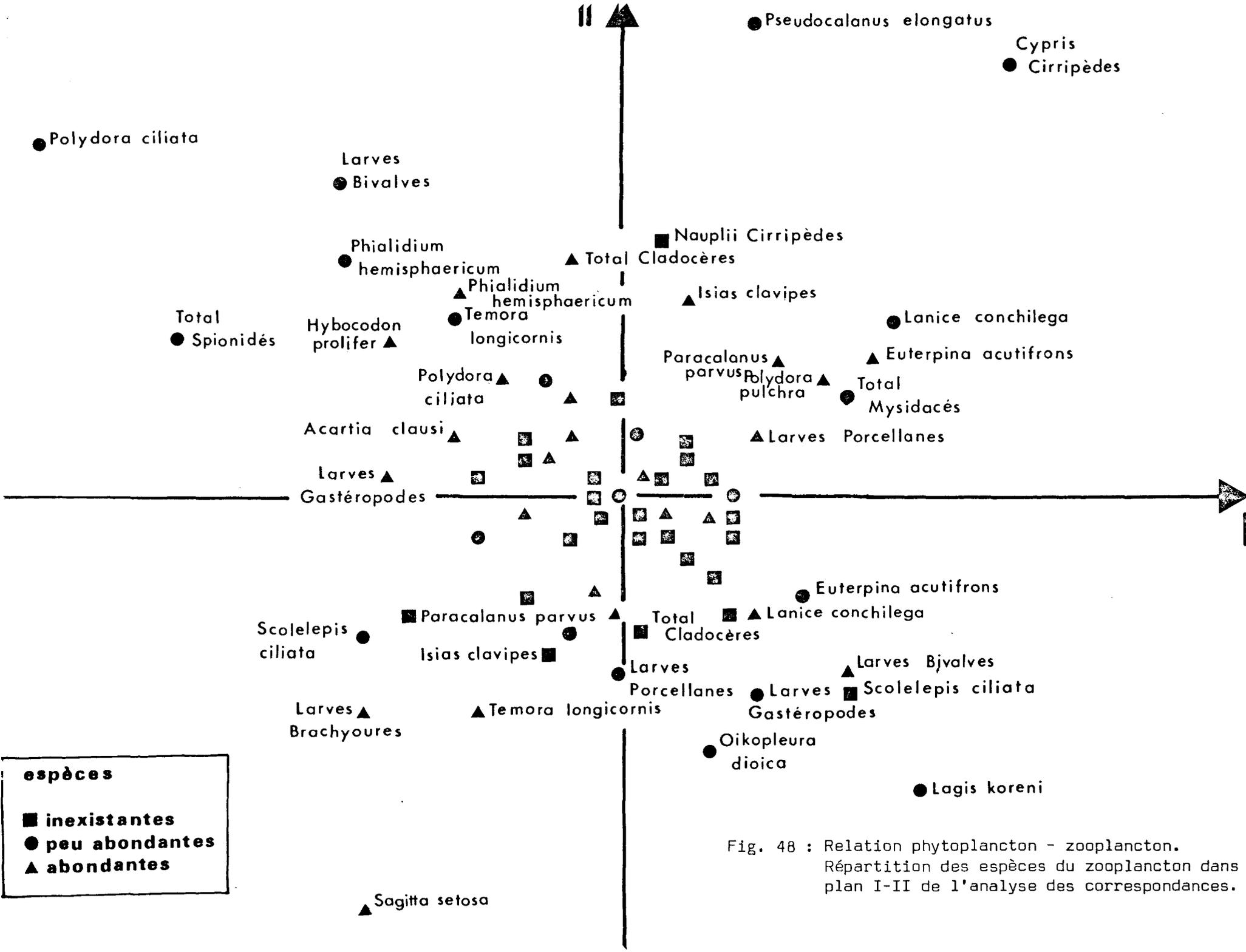
1°) Introduction

Trois classes de prélèvements sont formées pour chaque espèce, comprenant ceux dans lesquels elle est respectivement inexistante, peu abondante ou bien représentée. Un tableau de contingence est construit à partir de ces variables détripées et étudié à l'aide d'une analyse des correspondances.

2°) Résultats (Fig. 48, 49)

Le premier plan extrait 47 % de l'inertie totale du nuage des points. L'ensemble des espèces zooplanctoniques fait ressortir les espèces contribuant au bloom de juin (Fig. 48) : ainsi *Temora longicornis*, *Lanice conchilega*, les larves de *Brachyourses* et de *Bivalves*. En revanche, *Scolelepis ciliata*, *Paracalanus parvus* et les *Cladocères* sont faiblement représentées. Concernant le phytoplancton (Fig. 49), pour cette même période, on remarque l'abondance de *Thalassiosira decipiens* et l'absence de *Chaetoceros sociale* et de *Biddulphia mobiliensis*. En été, beaucoup d'espèces du zooplancton atteignent un fort effectif, particulièrement : *Isias clavipes*, *Euterpina acutifrons*, *Polydora pulchra*, *Paracalanus parvus* et les larves de *Porcellanes*. C'est aussi la période où les *Nauplii* de *Cirripèdes* sont les moins bien représentés. Pour le phytoplancton, grande abondance de *Rhizosolenia delicatula* et de *Rhizosolenia stolterfothii* mais pauvreté en *Thalassiosira rotula*, *Thalassiosira nordenskioldii* et *Asterionella japonica* en fin d'été. Peu d'espèces caractérisent la saison d'hiver : en zooplancton, on trouve *Acartia clausi* et *Polydora ciliata* principalement, tandis qu'en phytoplancton, on remarque surtout *Thalassiosira spp.*, *Lauderia borealis* et *Paralia sulcata*.

On retrouve surtout dans cette analyse la période de mai à octobre qui se distingue par une grande abondance de quelques espèces aussi bien en zooplancton qu'en phytoplancton. Il n'est pas douteux que ces variations sont très liées à l'évolution du milieu du point de vue hydrobiologique, laquelle est très rapide d'avril à juin. Cependant, des interactions entre espèces du phytoplancton et du zooplancton sont aussi responsables de leur succession dans le temps ; mais il est malaisé pour l'instant d'en décrire le processus exact et nous ne pouvons qu'en établir un relevé des principales conséquences apparaissant sur les plans des diverses analyses.



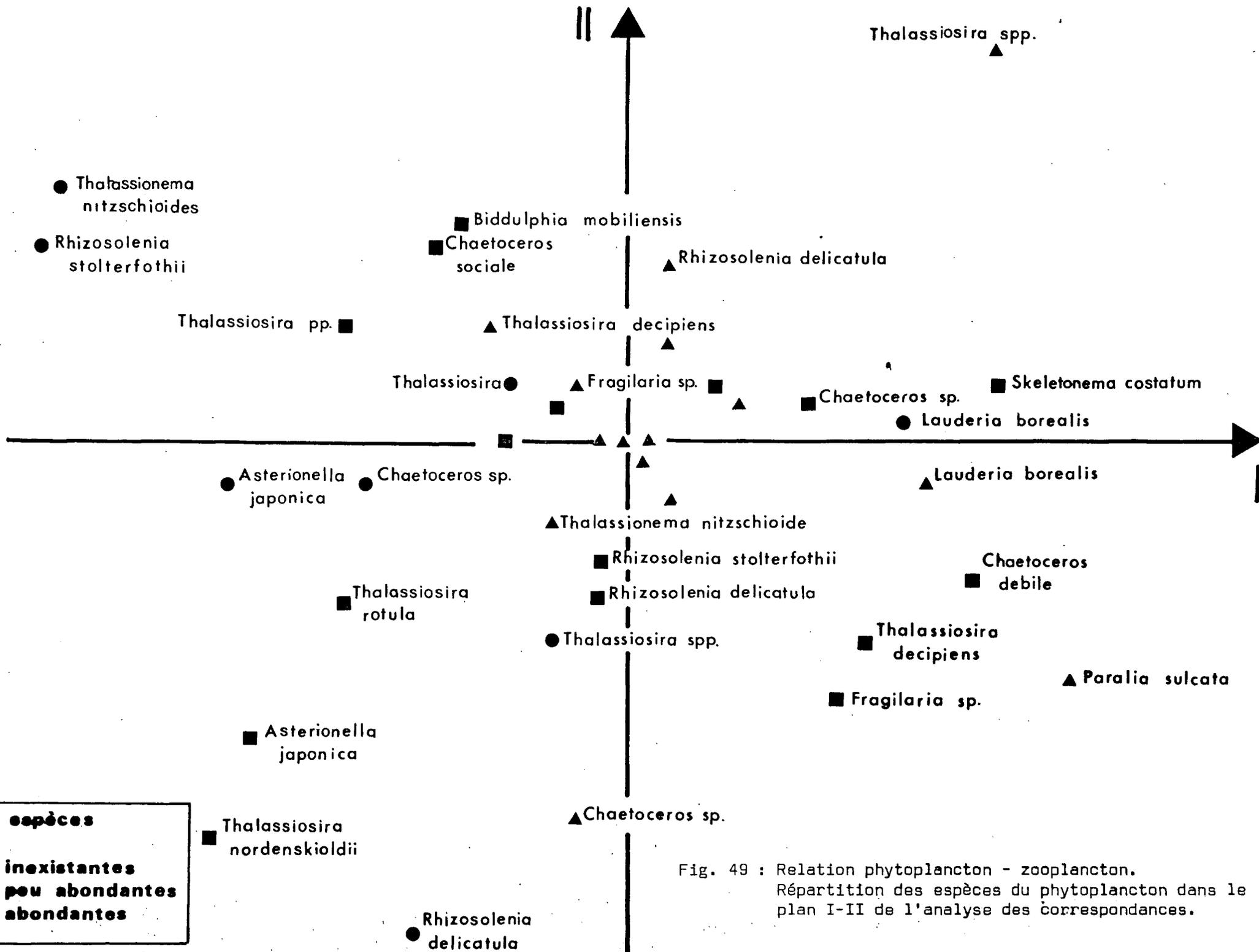


Fig. 49 : Relation phytoplancton - zooplancton.
Répartition des espèces du phytoplancton dans le plan I-II de l'analyse des correspondances.

CHAPITRE V

- CONCLUSION GENERALE -

CHAPITRE V

CONCLUSION GENERALE

=====

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

1°) Hydrobiologie

a) La structure hydrobiologique du site de Paluel est déterminée par la division du cycle annuel en trois périodes principales :

- La période automne-hiver (octobre, novembre, février, mars). Elle est caractérisée par un fort enrichissement en sels nutritifs : nitrates, nitrites, silicates, phosphates. Les autres paramètres évoluent peu, conservant des valeurs faibles (température) ou moyennes (salinité).

- La période du printemps (avril, mai, juin). Elle est marquée par une rapide évolution du milieu due principalement, d'une part, à la température et à la salinité qui augmentent jusqu'en juillet, et d'autre part, à l'oxygène et à la chlorophylle qui, maximum en avril, décroissent rapidement.

- La période d'été (juillet, août, septembre). Les conditions hydrodynamiques y sont homogènes. Les phéopigments et l'indice pigmentaire enregistrent des valeurs élevées.

Ces trois périodes sont très distinctes et chacune d'elles correspond à un maximum de quelques paramètres prépondérants : température, salinité, oxygène, chlorophylle a, sels nutritifs.

b) L'examen particulier de certaines campagnes ne révèle pas de structure spatiale stable dans le temps. Tout au plus, peut-on établir une distinction à propos de la zone de l'embouchure de la Durdent : celle-ci est toujours caractérisée par des paramètres de nature phytoplanctonique : chlorophylle a, matières en suspension, indice pigmentaire.

Aucune stratification verticale ne peut être mise en évidence de façon précise.

2°) Phytoplancton

a) Le cycle annuel phytoplanctonique présente deux caractéristiques principales :

- Le bloom d'avril. Il est dû à trois espèces principales : *Thalassiosira nordenskioldii*, *Skeletonema costatum* et *Asterionella japonica*.

- Le bloom de juin. Deux espèces prédominent : *Nitzschia seriata* et *Thalassiosira decipiens*.

Entre ces deux blooms, la campagne du 15 mai se caractérise par la grande abondance des *Phaeocystis* (L'analyse ne le met pas en évidence car cette espèce n'a pas été retenue, les comptages ayant été très approximatifs).

Il est à remarquer que d'autres campagnes comportent des espèces prédominantes : ainsi *Leptocylindrus danicus* les 8 et 9 juillet, *Fragilaria sp.* et *Nitzschia closterium* les 27 et 28 février et le 11 mars. Ainsi, on note une succession de différentes espèces au cours de l'année, chacune accusant un maximum d'abondance en un moment particulier du cycle complet.

b) Les variations spatiales ne font pas apparaître de structure stable. Seule, l'embouchure de la Durdent est mise en évidence dans les analyses particulières des quelques campagnes retenues. Le gradient côte-large n'est pas permanent mais est certainement beaucoup plus marqué par la présence de certaines espèces phytoplanctoniques que par l'examen des paramètres hydrobiologiques mesurés.

3°) Zooplancton

a) La population zooplanctonique au cours d'une année présente deux caractéristiques principales :

- Un contingent d'espèces présentes tout au long du cycle annuel et déterminant la part la plus importante -en nombre- de l'effectif total du zooplancton. Il est représenté essentiellement par des espèces holoplanctoniques parmi lesquelles les Copépodes sont les plus abondants.

- Une variation annuelle de la composition faunistique du site, liée aux apparitions et disparitions d'espèces saisonnières moins abondantes. Parmi celles-ci, on note, en particulier, le rôle des Annélides, des Cirripèdes et des nombreuses larves.

Contrairement aux structures hydrobiologique et phytoplanctonique, le cycle du zooplancton met en relief une nette différence entre les mois d'hiver. Bien que le milieu soit stable du point de vue hydrobiologique, il se produit une évolution qui peut alors apparaître comme une réponse plus ou moins retardée de certaines espèces aux modifications antérieures du milieu.

b) Les structures spatiales déterminées par l'analyse de quelques campagnes mettent en évidence la zone de l'embouchure de la Durdent. Quelques espèces ont des affinités côtières ou néritiques mais ce fait n'est pas relevé un nombre suffisant de fois pour que l'on puisse affirmer que ces gradients soient permanents.

4°) Liaisons entre l'hydrobiologie et le plancton

L'étude des relations croisées entre hydrobiologie, phytoplancton et zooplancton permet de montrer les points forts des cycles annuels respectifs : blooms d'avril et de juin pour le phytoplancton, période estivale très marquée par l'abondance de larves zooplanctoniques, variations rapides du milieu d'avril à juin en ce qui concerne les paramètres hydrobiologiques. Bien que l'analyse fasse ressortir la concomitance de ces évolutions, il serait prématuré de tenter de définir la causalité de ces associations au terme d'une seule année d'étude du site de Paluel.

- ANNEXES -

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 ième ligne ($j = 1..3p$) et de la jème 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.).

teur et des temps de calcul prohibitifs, étant données les dimensions du tableau à analyser. On choisira donc, dans un premier temps, un nombre de modalités suffisant pour mettre en relief les principaux résultats, quitte à adopter pour une étude ultérieure une autre base qu'aura justement suggérée l'analyse.

ANNEXE II

ANALYSE DES CORRESPONDANCES

1. Définitions

Comme pour toute analyse d'inertie, il faut définir clairement trois notions essentielles :

- le nuage des points à analyser,
- les poids qui leur sont attachés,
- les distances qui les séparent.

a) Le nuage des points

Considérons un tableau de contingence (+) à p lignes et q colonnes, d'élément générique N_{ij} : i = 1-----p, j = 1-----q. Notons :

$$N_{i.} = \sum_{j=1}^q N_{ij} \qquad N_{.j} = \sum_{i=1}^p N_{ij}$$

Dans l'espace à q dimensions R^q, on définit le nuage des p points :

$$\frac{N_{ij}}{N_{i.}} \quad i=1,2---p$$

dont les q coordonnées sont :

$$\frac{N_{i1}}{N_{i.}}, \frac{N_{i2}}{N_{i.}}, \dots, \frac{N_{i,q-1}}{N_{i.}}, \frac{N_{iq}}{N_{i.}}$$

Un point est donc une ligne du tableau, dont les éléments sont tous divisés par la somme des nombres de la ligne considérée. Ce seront, en quelque sorte, des profils qui seront comparés.

b) Les poids

A chaque point $\left\{ \frac{N_{ij}}{N_{i.}} \right\}_{j=1-----q}$ de R^q, on attribue le poids $N_{i.} = \sum_{j=1}^q N_{ij}$.

(+) Cf. Annexe I, 1.).

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 χ^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.