

Electricité de France

ETUDE ECOLOGIQUE DE PROJET

SITE DE FLAMANVILLE

1^{er} CYCLE

TRAITEMENTS MATHÉMATIQUES



Centre National pour l'Exploitation des Océans
Unité Littoral
OCTOBRE 1977

A V A N T - P R O P O S

— La présente étude, effectuée par le Département Scientifique du Centre Océanologique de Bretagne, constitue un complément au rapport écologique du site de Flamanville, réalisé par l'Unité Littoral du C.O.B. —

Les personnes ayant participé à ce travail sont :

- CHARDY Pierre
- DERRIEN Elizabeth
- JEZEQUEL Michelle
- LAUREC Alain
- DE LA SALLE Patrice

S O M M A I R E

CHAPITRE I : Hydrobiologie

I. ANALYSES GENERALES	
1. Introduction	1
2. Première analyse générale	1
3. Deuxième analyse générale	4
II. ANALYSES PARTICULIERES	
1. Introduction	6
2. Juillet 1976	6
3. Novembre 1976	7
4. Janvier 1977	7
5. Avril 1977	7
III. CONCLUSION	8

CHAPITRE II : Phytoplancton

1. Introduction	9
2. Prélèvements centrés réduits	9
3. Espèces centrées réduites	11
4. Conclusion	13

CHAPITRE III : Zooplancton

I. ANALYSE GENERALE	
1. Introduction	15
2. Prélèvements centrés réduits	16
3. Espèces centrées réduites	17
II. ANALYSES PARTICULIERES	
1. Introduction	18
2. Etudes particulières du méroplancton	18

III. ETUDE DES COPEPODITES

- 1. Introduction 20
- 2. Espèces centrées réduites 20

IV. CONCLUSION 22

CHAPITRE IV : Relations hydrobiologie - plancton

- 1. Introduction 23
- 2. Hydrobiologie - phytoplancton 24
- 3. Hydrobiologie - zooplancton 25
- 4. Phytoplancton - zooplancton 26

CHAPITRE V : Conclusion générale

- 1. Hydrobiologie 28
- 2. Phytoplancton 29
- 3. Zooplancton 30
- 4. Relations hydrobiologie - plancton 30

* ANNEXE 32

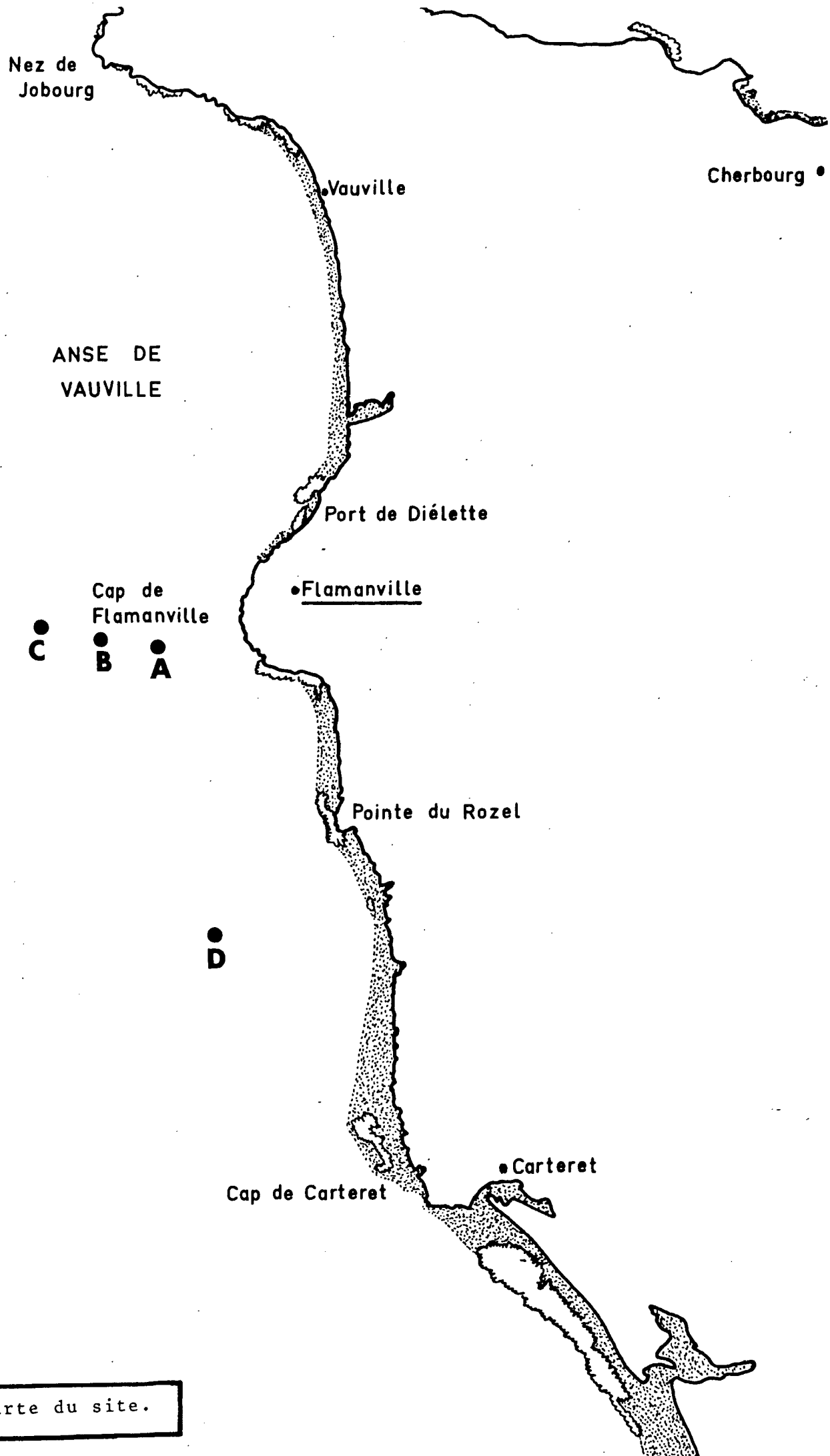


Fig. 1 : Carte du site.

C H A P I T R E I

HYDROBIOLOGIE

I. ANALYSES GENERALES

1. Introduction

L'étude d'un premier cycle annuel hydrobiologique sur le site de Flamanville a été réalisée à partir de dix neuf campagnes effectuées de juillet 76 à juin 77. Douze d'entre elles sont dites "lourdes" et correspondent aux dates suivantes : 8 juillet 76, 6 août, 4 septembre, 3 octobre, 3 novembre, 16 décembre, 5 janvier 77, 2 février, 3 mars, 14 avril, 10 mai et 24 mai. Sept campagnes ne comportent qu'un seul prélèvement : celles des 23 juillet 76, 21 août, 16 septembre, 19 novembre, 19 janvier 77, 17 février et 16 juin. Cependant, certaines variables n'ayant pas été mesurées lors de ces missions dites "légères", celles-ci n'ont pas été prises en compte dans l'analyse.

Une première analyse générale groupe les dix premières campagnes (en mai, les sels nutritifs n'ont pas été mesurés) et met en évidence les variations annuelles de neuf paramètres : température, salinité, oxygène, nitrates (NO_3), nitrites (NO_2), phosphates (PO_4), silicates (SiO_2), chlorophylle et phéopigments. Une deuxième étude du cycle annuel hydrobiologique comprend toutes les campagnes mais seulement cinq variables : température, salinité, oxygène, chlorophylle et phéopigments.

2. Première analyse générale (fig. 2, 3)

En raison de leur hétérogénéité, les neuf variables ont été centrées et réduites. Seuls, les centres de gravité des prélèvements (correspondant aux quatre points de mesure A, B, C, D du site, cf. fig. 1) ont été représentés sur les graphiques, par souci de clarté dans l'expression des résultats.

Les premier et deuxième axes de l'analyse en composantes principales ainsi réalisée extraient respectivement 29.8 % et 17.7 % de l'inertie totale de l'ensemble des prélèvements (fig. 2). Les campagnes se répartissent en trois groupes distincts suivant l'axe I: tout d'abord, au pôle négatif du premier axe, les missions de juillet à octobre 76, puis à l'autre extrémité de l'axe I, les campagnes de décembre 76 à mars 77, enfin opposées sur l'axe II, les mois de novembre 76 et avril 77.

Cette distinction (le long de l'axe I) est due essentiellement aux deux variables température et nitrates (NO_3) dont les contributions au premier axe sont respectivement 30.8 % et 31.3 % : les températures élevées sont caractéristiques de la période d'été - particulièrement chaude en 1976 - i.e. de juillet à octobre 76, tandis que les teneurs maximales en nitrates sont relevées en hiver : décembre 76 - mars 77. Les mois de novembre 76 et d'avril 77 occupent des positions intermédiaires par rapport au premier axe. En revanche, ceux-ci sont nettement séparés le long de l'axe II ; celà est dû principalement, d'une part, aux nitrites (contribution à l'inertie du deuxième axe : 29.6 %), très abondants au mois de novembre 76, et d'autre part, à l'oxygène (19.1 %) et à la chlorophylle (16.6 %), maximum en avril 77.

Le cycle annuel hydrobiologique s'établit donc ainsi : durant la saison chaude (juillet - octobre 76), la chlorophylle diminue progressivement de juillet à octobre et les taux d'oxygène dissous sont faibles (les phénomènes physiques - chaleur, évaporation - et biologiques - respiration, diminution de la photosynthèse - en sont responsables). En novembre, période de transition, on constate une augmentation des phéopigments (dégradation de la chlorophylle) et les teneurs en nitrites sont les plus importantes de l'année. Lors de la saison froide, il se produit un accroissement général des sels nutritifs (phosphates, silicates et particulièrement nitrates) puis une stabilisation des conditions hydrologiques durant quatre mois (décembre 76 - mars 77). Enfin, la séparation très accentuée entre les campagnes de mars et d'avril, et due à l'augmentation de l'oxygène dissous et de la chlorophylle, traduit l'existence du bloom phytoplanctonique qui a lieu précisément au mois d'avril.

Pour conclure cette première analyse générale, on peut noter l'homogénéité des prélèvements d'une même campagne : les centres de gravité correspondant aux points de mesure - pour une même mission - ne sont pas très éloignés les uns des autres. En particulier, le point D - en dehors de la future tache thermique - n'est pas plus différent des points de la radiale (A, B et C) que ceux-ci ne le sont entre eux (sauf peut être en janvier 1977). Bien entendu, cette remarque n'a de valeur qu'à l'échelle du cycle annuel étudié pour Flamanville ; néanmoins cela confirme l'importance des variations temporelles par rapport aux variations spatiales.

Analyse générale des rangs (fig. 3). Il a semblé intéressant de procéder à une autre analyse générale des données hydrobiologiques en codant les variables de la façon suivante : pour un paramètre donné, les observations sont rangées par ordre de grandeur décroissant ; on remplace alors la valeur mesurée de ce paramètre pour la *i*.ème observation par le rang qu'elle occupe dans la suite des *n* observations. Une analyse en composantes principales est effectuée sur ces nouvelles données.

Les deux premiers axes de cette analyse extraient respectivement 36.2 % et 17.8 % de l'inertie totale. Les variables les plus contributives à l'inertie de l'axe I sont, d'une part la température (19.6 %) et d'autre part, les sels nutritifs : nitrates (25.7 %), phosphates (16.1 %) et silicates (15.4 %). Le deuxième axe oppose l'oxygène (contribution à l'inertie de l'axe II : 30.6 %) aux phéopigments (21.7 %) et aux nitrites (14 %). Les grands traits du cycle annuel sont conservés. Seules quelques légères modifications apparaissent sur le plan I.II : ainsi, en période estivale, les mois de septembre et octobre 76 se détachent de juillet et août 76 ; de même pour la mission de décembre 76 par rapport aux autres campagnes d'hiver. Cela provient du fait que, en remplaçant les valeurs brutes par leurs rangs, on augmente les variances inter-campagnes (1). Ces décalages de certaines campagnes conduisent alors à des compléments d'information sur le cycle hydrobiologique : ainsi, la température apparaît plus élevée - en été -

(1) En effet, deux observations pourront toujours avoir des valeurs aussi voisines que l'on veut pour une variable donnée, elles n'en auront pas moins des rangs différents.

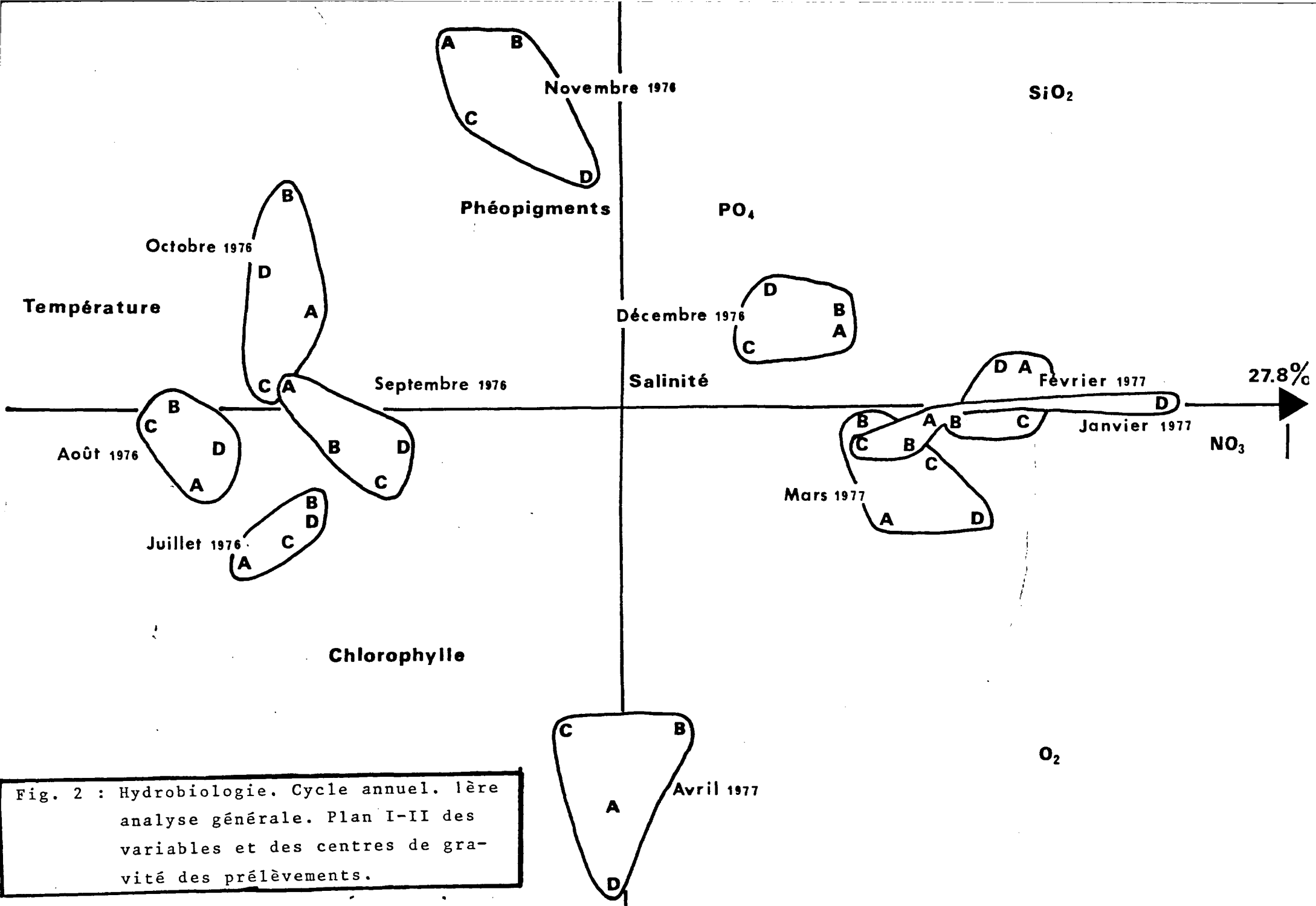


Fig. 2 : Hydrobiologie. Cycle annuel. 1ère analyse générale. Plan I-II des variables et des centres de gravité des prélèvements.

durant les mois de septembre et octobre 76 qu'en juillet et août, les eaux de novembre sont sensiblement plus salées que pendant le reste de l'année et l'augmentation des sels nutritifs - en saison froide - (notamment NO_2 , SiO_2 et PO_4) a lieu principalement au mois de décembre.

3. Deuxième analyse générale (fig. 4, 5)

La deuxième étude du cycle annuel hydrobiologique de Flamanville porte sur les douze campagnes lourdes effectuées de juillet 76 à juin 77. Les cinq variables prises en compte (température, salinité, oxygène, chlorophylle et phéopigments) sont centrées et réduites.

Les pourcentages d'inertie extraite par les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales sont respectivement 54.4 % et 23.6 % (fig. 4). L'axe I oppose la salinité (contribution à l'inertie de cet axe : 22.3 %) à l'oxygène (23.8 %), à la chlorophylle (29.4 %) et aux phéopigments (20.4 %). Ces trois paramètres caractérisent essentiellement les deux campagnes de mai : leurs valeurs importantes enregistrées durant ce mois traduisent l'importance du bloom des espèces phytoplanctoniques dont le développement s'est accéléré à partir du mois d'avril. Cette évolution s'accompagne d'une baisse de la salinité, comme en témoigne la position de cette variable au pôle négatif du premier axe. L'axe II divise les campagnes en deux groupes et cette distinction est principalement engendrée par la température (contribution à l'inertie de cet axe : 67.1 %) : le premier groupe rassemble les campagnes de juillet à novembre 76 - durant lesquelles les eaux sont plus chaudes -, tandis que le second correspond à la période plus froide : décembre 76 - mai 77 (1).

Une analyse des rangs effectuée sur ces données conduit sensiblement aux mêmes résultats (fig. 5). Le premier axe (44.4 % de l'inertie totale) oppose la salinité (contribution à l'inertie de cet axe : 32.3 %) à la chlorophylle (32.9 %) ; il met en évi-

(1) Cette séparation en deux paquets est due également - mais de façon plus atténuée - à l'oxygène dissous. Celui-ci, en effet, se trouve opposé à la température le long de l'axe II mais ne contribue à l'inertie de celui-ci que pour 14 % .

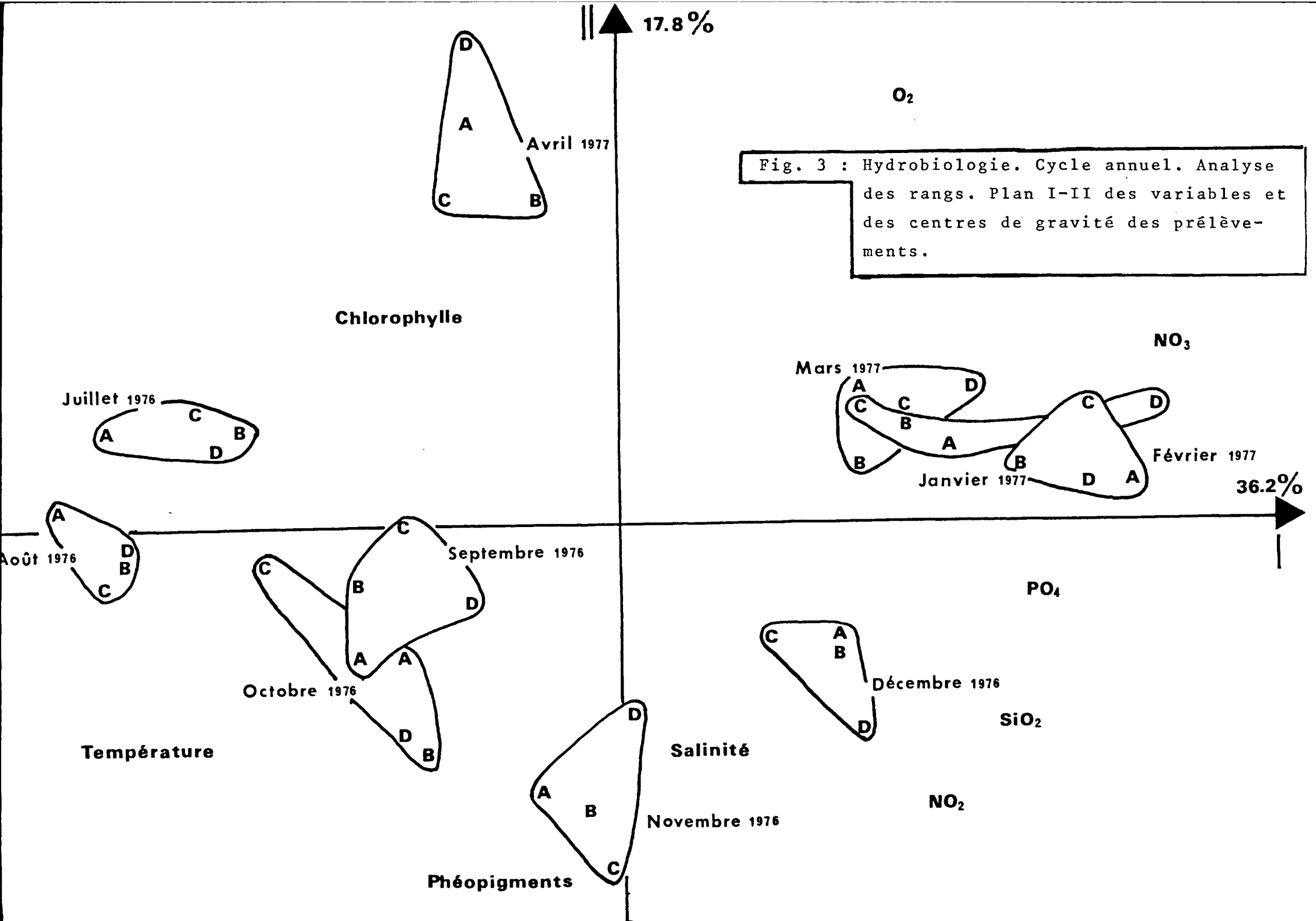


Fig. 3 : Hydrobiologie. Cycle annuel. Analyse des rangs. Plan I-II des variables et des centres de gravité des prélèvements.

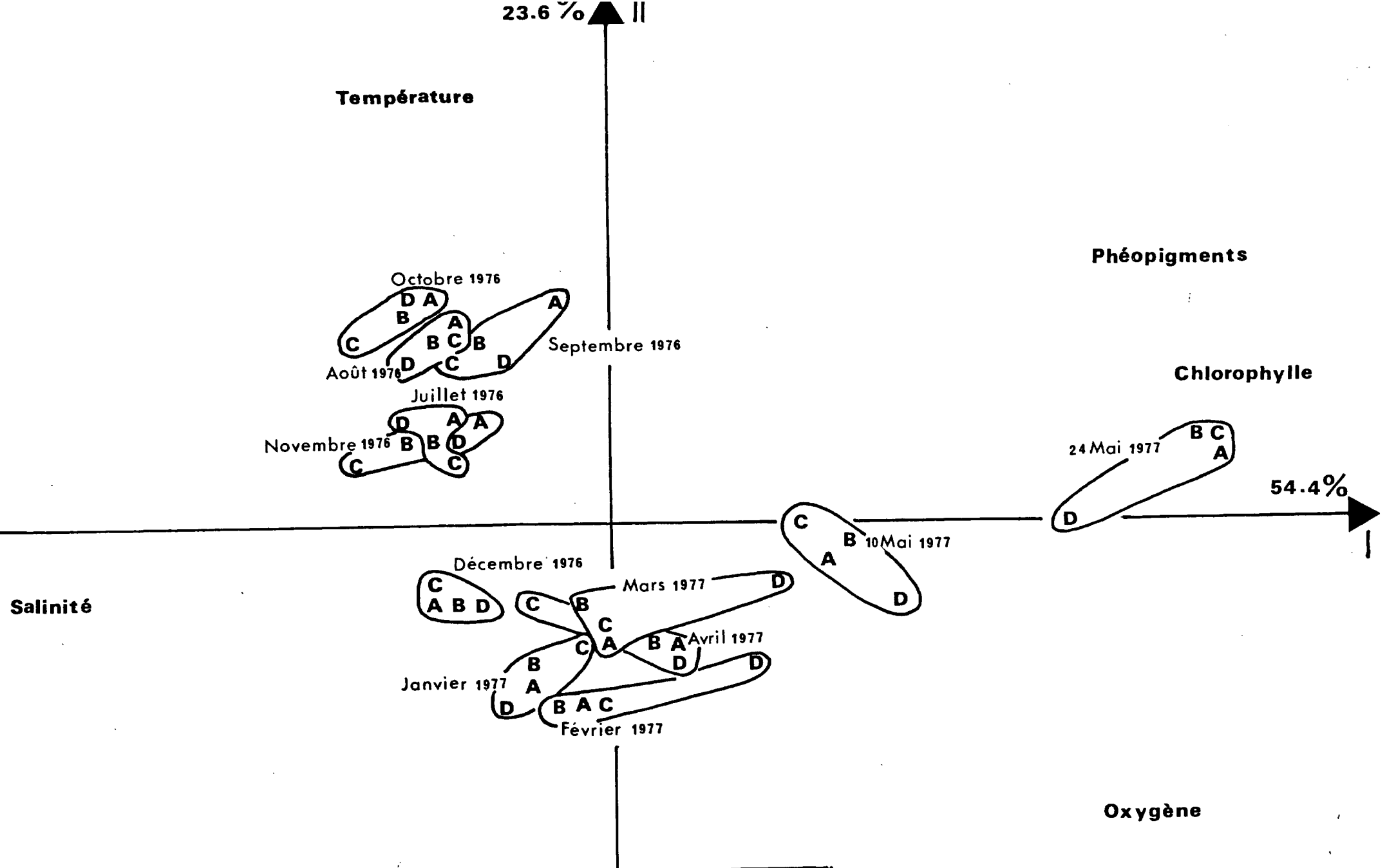


Fig. 4 : Hydrobiologie. Cycle annuel. 2ème analyse générale. Plan I-II des variables et des centres de gravité des prélèvements.

dence les deux campagnes de mai, qui sont donc caractérisées par de fortes teneurs en chlorophylle et de faibles salinités (1). L'axe II (28.7 % de l'inertie totale) sépare les campagnes en deux groupes en opposant température (contribution à l'inertie de cet axe : 60 %) et oxygène (24.9 %) : les mois de décembre et de mai sont intermédiaires entre les deux groupes.

Ces deux analyses présentent un cycle hydrobiologique qui n'offre pas la même régularité que celui apparaissant lors de la première analyse générale. Ce fait ne résulte pas tant de l'introduction des deux campagnes de mai (qui pourtant déterminent pratiquement à elles seules le premier axe de l'analyse) que du faible nombre de variables retenues pour cette analyse. En particulier, l'absence du paramètre NO_3 , essentiel pour caractériser la saison froide, doit être considérée comme une perte notable d'information. Il suffit pour le voir, de comparer ce plan I.II à celui obtenu avec l'étude des dix premières campagnes (donc sans les campagnes de mai) et des cinq variables déjà analysées (2) : température, salinité, oxygène, chlorophylle et phéopigments. Le premier axe extrait 34.5 % de l'inertie totale et oppose température (contribution à l'inertie de cet axe : 44.5 %) et oxygène (38.8 %). Les campagnes sont réparties, le long de cet axe, en deux groupes qui correspondent exactement aux ensembles trouvés le long du deuxième axe de l'analyse précédente. Chlorophylle et salinité s'opposent sur l'axe II, lequel extrait 27.2 % de l'inertie totale. La disposition des campagnes sur ce plan I.II se révèle ainsi être tout-à-fait semblable à celle obtenue précédemment ; seule la nature des deux premiers axes diffère de l'une à l'autre analyse. Cette deuxième analyse permet de mettre en évidence de façon spectaculaire la floraison printanière de mai, point fort du cycle hydrobiologique (fig. 4 bis).

(1) Les campagnes de mai apparaissent, sur ce plan, plus proches l'une de l'autre que dans la précédente analyse car, bien que les valeurs de chlorophylle soient assez différentes de l'une à l'autre, elles n'en sont pas moins les plus élevées de tout le cycle annuel ; elles occupent donc les premiers rangs dans la liste des valeurs de la chlorophylle et, de ce fait, s'en trouvent rapprochées.

(2) Cf. figure 4 bis.

II. ANALYSES PARTICULIERES

1.- Introduction

Après l'étude générale du cycle annuel hydrobiologique du site de Flamanville, quelques analyses particulières ont été effectuées afin de mettre en évidence d'éventuelles caractéristiques du milieu, propres à une période de l'année bien déterminée. Les campagnes de juillet 76 (représentative de la saison chaude), et de janvier 77 (représentative de la saison froide) ont été successivement étudiées ainsi que celles de novembre 76 et avril 77 qui se distinguaient particulièrement des autres missions. Les neuf variables de la première analyse générale ont été reprises ici, centrées et réduites.

Sur les graphiques figurent tous les prélèvements effectués aux trois niveaux, ainsi que l'heure à laquelle ils ont été réalisés. Les stations sont numérotées de 1 à 4 et l'ordre de passage de 1 à 6 ; ainsi, 204 représente le quatrième passage à la station 2.

2. Juillet 1976 (fig. 6)

Le plan I.II extrait $31.2 \% + 21.2 \% = 52.4 \%$ de l'inertie totale de l'ensemble des prélèvements. Le long du premier axe, température, salinité, phosphates et silicates sont opposées à l'oxygène. Ce dernier paramètre caractérise plutôt les stations échantillonnées en début d'après-midi : 102 (12h30), 205 (13h05) et 302 (13h50) ; les masses d'eau semblent aussi un peu plus froides et légèrement moins salées ; ce trait est commun aux trois points de la radiale. Le premier axe met en évidence les mouvements des masses d'eau au cours d'une journée : ainsi le déplacement - sur le plan I.II - (selon l'axe I) de la station 2 témoigne d'une variation permanente du milieu quant à ses caractéristiques hydrobiologiques (température, salinité, oxygène) ; de même, la position - sur l'axe I - de la station 4 (mesures faites à 2h50) proche de celle de la station 2 où l'échantillonnage a été réalisé à 6h15, conduit à penser que, durant trois heures et demi, les courants ont déplacé une certaine masse d'eau de la station "hors tache thermique" au point médian de la radiale. Le deuxième axe oppose nitrates et phosphates à la chlorophylle et aux phéopigments. On

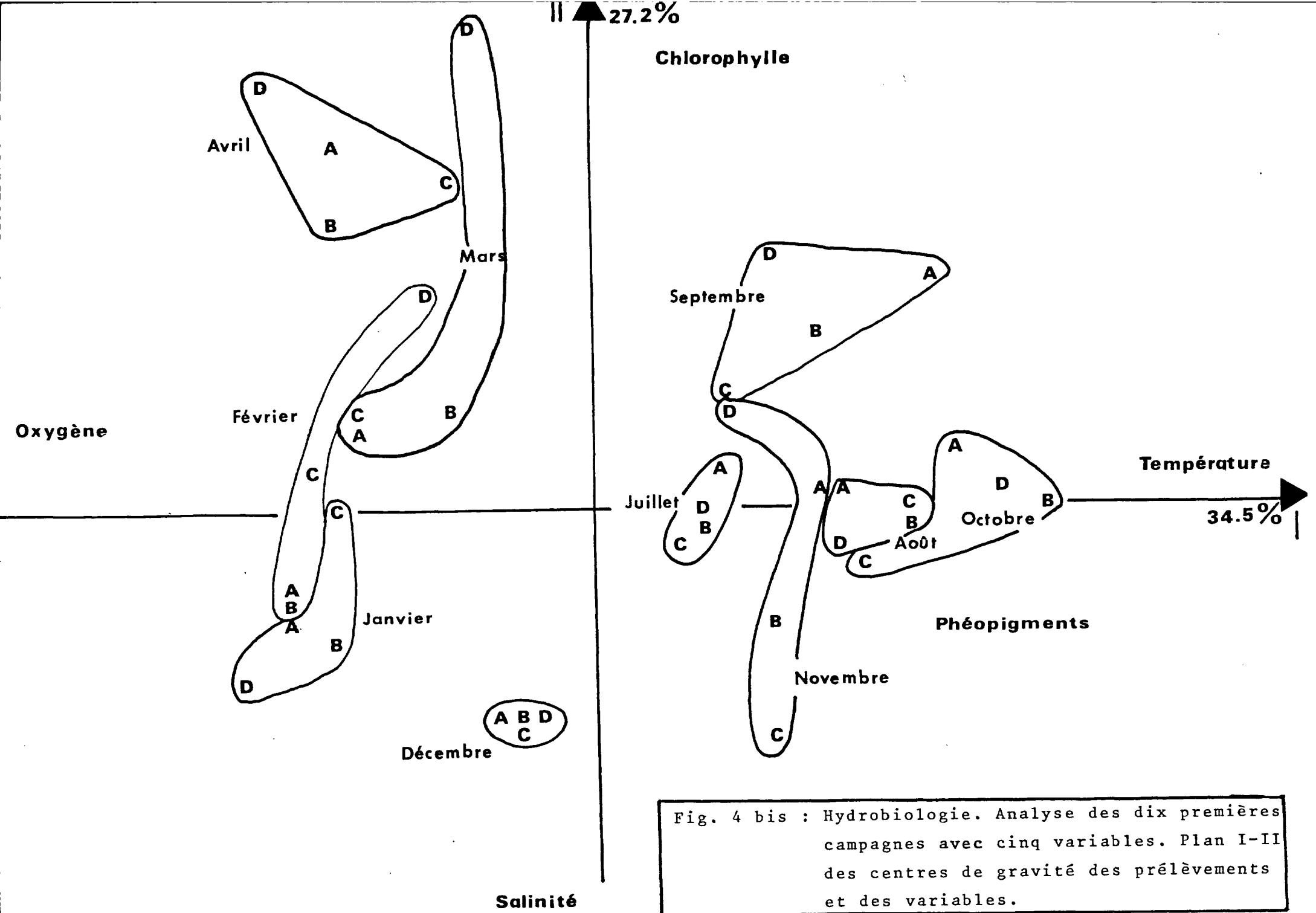


Fig. 4 bis : Hydrobiologie. Analyse des dix premières campagnes avec cinq variables. Plan I-II des centres de gravité des prélèvements et des variables.

enregistre, par rapport à ces paramètres, de grandes variations entre les niveaux d'une même station sauf pour les points de la radiale, échantillonnés l'après-midi ; ces variations sont, cependant, désordonnées et aucun gradient fond-surface ne peut être mis en évidence.

3. Novembre 1976 (fig. 7)

La température contribue à 36.6 % de l'inertie du premier axe, la chlorophylle et les silicates qui lui sont opposées, pour 24.4 % et 29.5 % . L'axe I isole la station 4 (hors de la tache thermique) qui a été échantillonnée la première, à 5h30 du matin. Elle se caractérise par des eaux plus froides mais plus riches en silicates et chlorophylle que les points de la radiale. Les autres stations s'alignent le long du deuxième axe sans structure particulière.

4. Janvier 1977 (fig. 8)

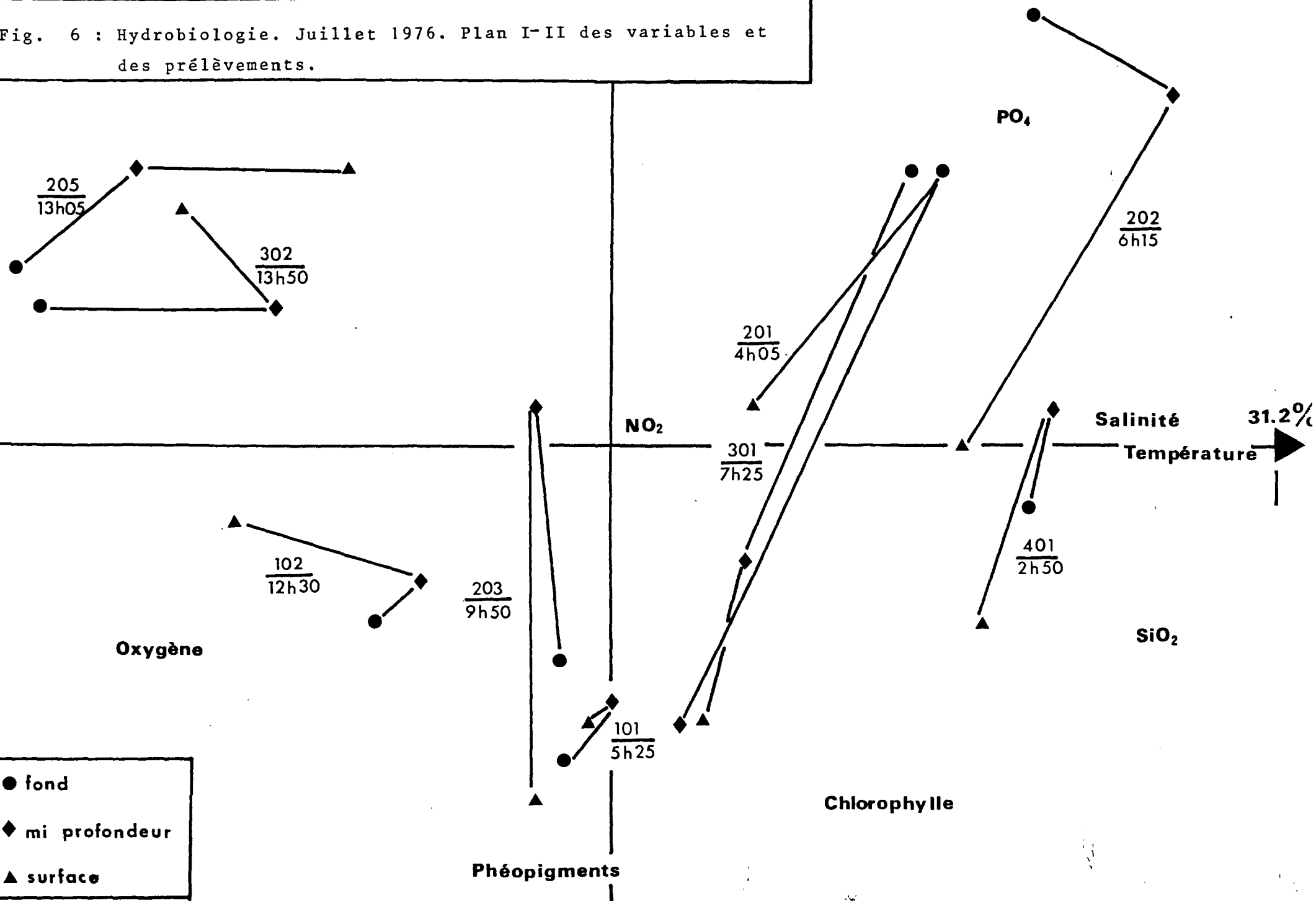
Le premier axe est celui des sels nutritifs : d'un côté, les nitrates et les phosphates, de l'autre les nitrites avec les phéopigments. On constate de grandes variations entre les niveaux mais sans aucun ordre. Le milieu semble particulièrement bien brassé : aucun gradient côte-large ou fond-surface n'apparaît. Selon le deuxième axe, on observe les variations de salinité (contribution à l'inertie de l'axe II : 41.8 %), de chlorophylle et de silicates. On peut remarquer que tous les niveaux fond ont approximativement la même salinité, à part celui de la station 101.

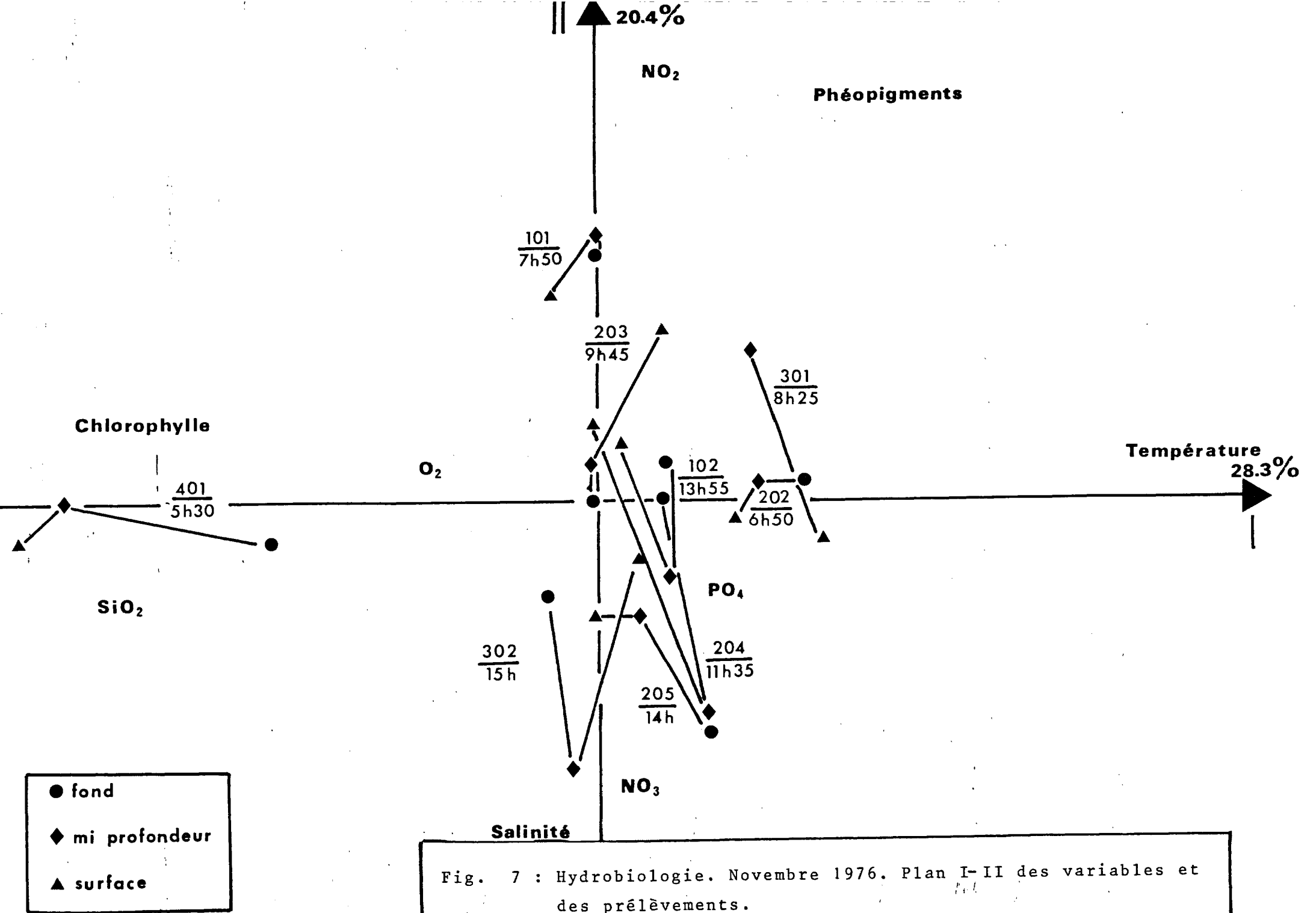
5. Avril 1977 (fig. 9)

Une dizaine de prélèvements manque pour obtenir une bonne image de la mission d'avril. Cependant, il apparaît que le premier axe est celui des nitrates, phosphates et nitrites (contributions respectives à l'inertie de l'axe I : 24.7 %, 23.7 %, 14.3 %). Les teneurs en sels nutritifs sont très diverses suivant les niveaux : les plus grandes différences sont notées aux stations 3 et 4. Le long de l'axe II, salinité, ammonium et phéopigments sont opposés à la chlorophylle : celle-ci semble être plus abondante à la station 1, la plus proche de la côte (mais ce n'est vrai que pour les prélèvements du matin). Il n'existe pas de différence notable entre les prélèvements effectués aux divers points du site.

NO₃ 21.2%

Fig. 6 : Hydrobiologie. Juillet 1976. Plan I-II des variables et des prélèvements.





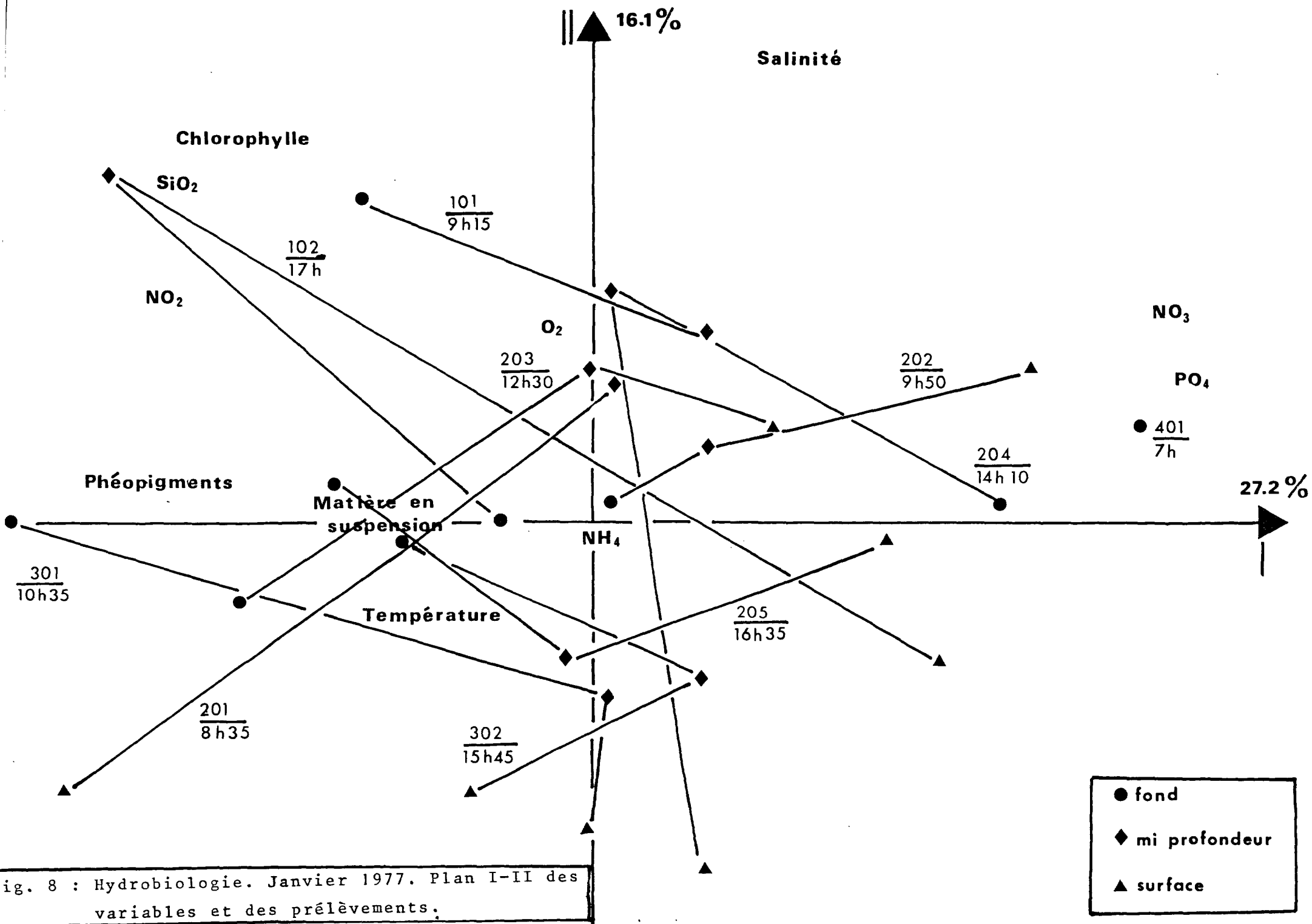


fig. 8 : Hydrobiologie. Janvier 1977. Plan I-II des variables et des prélèvements.

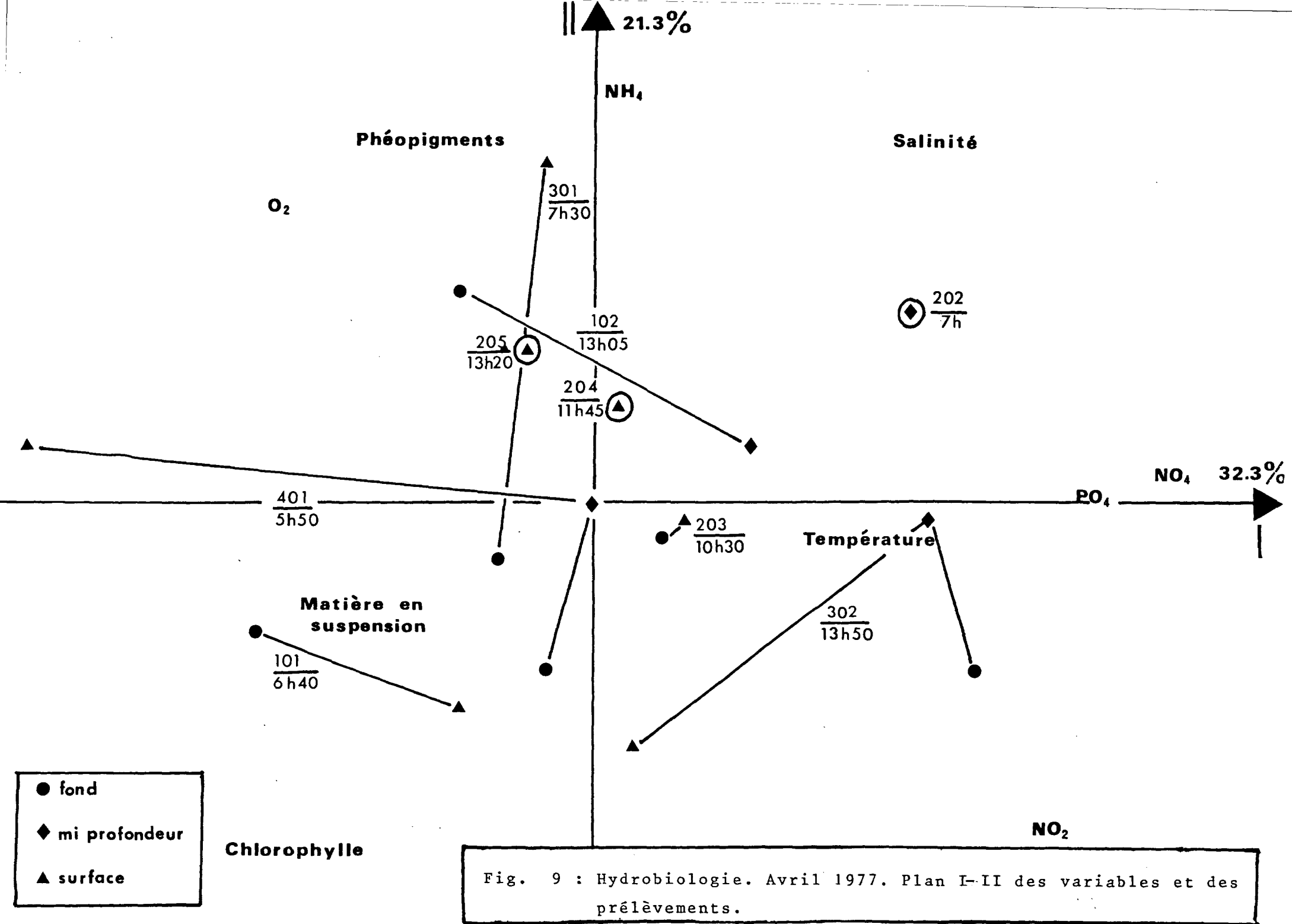
III. CONCLUSIONS SUR L'HYDROBIOLOGIE DU SITE

L'analyse globale du cycle annuel hydrobiologique fait apparaître l'existence d'une saison chaude de juillet à octobre et d'une saison froide de décembre à mars, toutes deux bien individualisées, au cours desquelles les conditions du milieu restent relativement stables. L'enrichissement en chlorophylle durant le mois de mai caractérise la poussée phytoplanctonique printanière étudiée dans le chapitre suivant. L'essentiel du cycle est gouverné par les paramètres (température, nitrates, chlorophylle), tandis que les variations saisonnières de salinité demeurent secondaires contrairement aux sites de Paluel et de Gravelines où l'hydrobiologie est commandée en grande partie par les arrivées d'eau douce.

Les analyses particulières de quelques unes des campagnes les plus représentatives du cycle soulignent :

- l'absence de stratification verticale et de gradient côte-large (site bien brassé)
- l'existence de variations temporelles au cours d'un cycle complet de marée due au déplacement des masses d'eau
- la faible importance des variations hydrobiologiques entre la radiale au droit du site et la station "hors zone" (rarement individualisée de façon claire).

En définitive, contrairement aux sites de Paluel et de Gravelines, le site de Flamanville ne présente pas, au niveau des paramètres hydrobiologiques, de structures spatiales reconnaissables : l'absence d'arrivée d'eau douce et l'importance de l'hydrodynamisme local en constituent l'explication raisonnable.



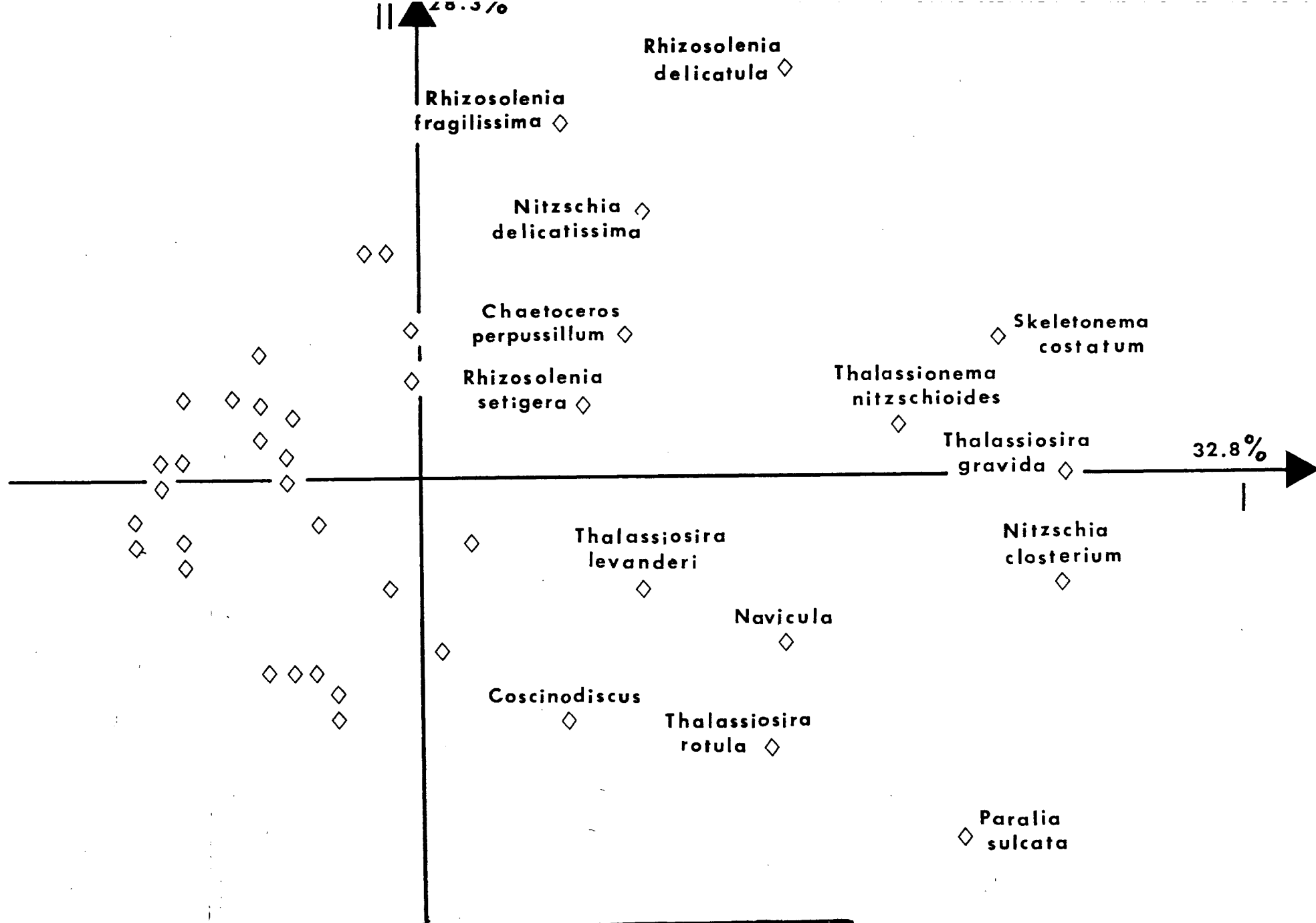


Fig. 10 : Phytoplancton. Prélèvements centrés et réduits. Plan I-II des espèces.

C H A P I T R E I I

PHYTOPLANCTON

1. Introduction

L'analyse générale du phytoplancton est effectuée à partir des dix neuf campagnes (douze sont dites "lourdes" et comportent plusieurs prélèvements aux points A, B, C, D, et sept "légères" correspondant à un seul prélèvement à la station B, point médian de la radiale) qui ont été réalisées entre les mois de juillet 76 et juin 77. 108 espèces ont été répertoriées (cf. rapport écologique) mais un grand nombre d'entre elles ont un effectif très faible et n'apparaissent que très rarement au cours de l'année (1). Bien que participant à la définition de l'état de référence du milieu, elles n'apportent pas une information suffisante pour l'analyse du cycle annuel phytoplanctonique ; elles ont donc été éliminées de l'étude. 48 espèces ont été retenues et leurs effectifs ont été transformés par la fonction $\text{Log}(x + 1)$ de façon à diminuer les effets dus à la surdispersion.

Une première analyse est effectuée sur des prélèvements centrés et réduits afin de diminuer la variabilité intra-campagne i.e. d'éviter d'introduire les biais d'échantillonnage. Dans une deuxième étude, les espèces sont réduites et centrées : elles apparaissent ainsi comme des indicateurs de la période où la densité de leurs effectifs est la plus importante.

2. Prélèvements centrés et réduits (fig. 10-13)

Le premier axe de l'analyse est un axe d'abondance. Les espèces dont les effectifs sont les plus importants au cours de

(1) Une moyenne d'effectif par campagne a été calculée pour chaque espèce. Toutes celles qui n'apparaissaient pas plus de quatre ou cinq fois parmi les dix neuf campagnes et avec un effectif inférieur à dix individus par unité de volume (dl) ont été jugées peu représentatives.

l'année sont situées à l'extrémité positive de cet axe (fig. 10). Ce sont principalement : *Nitzschia closterium*, *Thalassiosira gravida*, *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum*, *Thalassionema nitzschioides*, puis dans une moindre mesure, *Navicula*, *Thalassiosira rotula*, *Rhizosolenia delicatula*, *Thalassiosira levanderi* (somme des contributions de ces espèces à l'inertie de l'axe I : 62 %). Les centres de gravité des prélèvements, en chaque point, pour chaque campagne (1), sont tous situés dans la partie positive de l'axe I (fig. 11). Cela signifie que, sur la base de ces principales espèces, le site conserve approximativement la même composition floristique tout au long de l'année. Cette notion d'invariance des peuplements phytoplanctoniques peut être quantifiée à l'aide du pourcentage d'inertie exprimé par le premier axe : 32.8 % . La part de stabilité de la composante phytoplanctonique révélée par le premier axe de l'analyse n'est pas prépondérante car son taux d'inertie est proche de celui de l'axe II (28.3 %).

La figure 12 permet de visualiser les points forts du cycle annuel. Notons que les variations inter-stations sont négligeables par rapport aux variations inter-campagnes, le point "hors zone" D présentant sensiblement les mêmes caractéristiques floristiques que les points A, B et C de la radiale à une saison donnée. Les trois périodes définies dans le rapport écologique apparaissent ici très clairement. Cependant, la coupure la plus marquée (mise en évidence par l'axe II) se situe entre la période hivernale (novembre 76 - mars 77) et la période estivale (mai 77 - juillet - septembre 76). Les mois d'avril et d'octobre peuvent être considérés comme des étapes de transition entre ces deux pôles saisonniers.

Les espèces représentant la saison froide (fig. 13) sont : *Paralia sulcata*, *Bacillaria paxillifer*, *Plagiogramma*, *Coscinodiscus*, *Gyrosigma*, *Nitzschia sp. 1*, *Navicula pelagica*. Cette période

(1) Ils figurent seuls sur les graphiques plans : une campagne lourde est ainsi symbolisée par quatre points, chacun représentant les prélèvements effectués en l'une des quatre stations du site (fig. 1) ; une campagne légère ne comprend qu'un point, correspondant au prélèvement réalisé à la station médiane de la radiale.

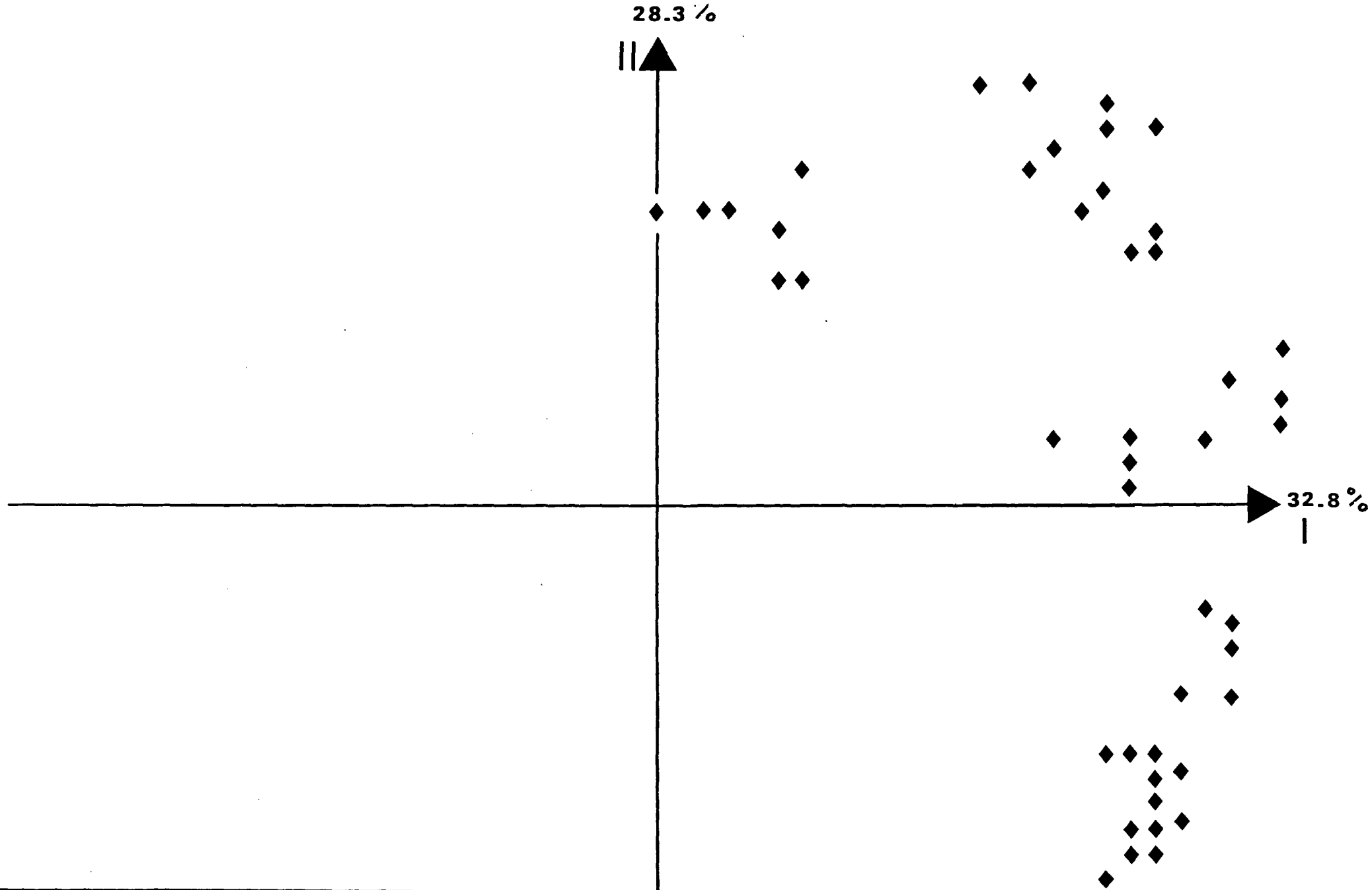


Fig. 11 : Phytoplancton. Prélèvements centrés et réduits. Plan I-II des centres de gravité des prélèvements.

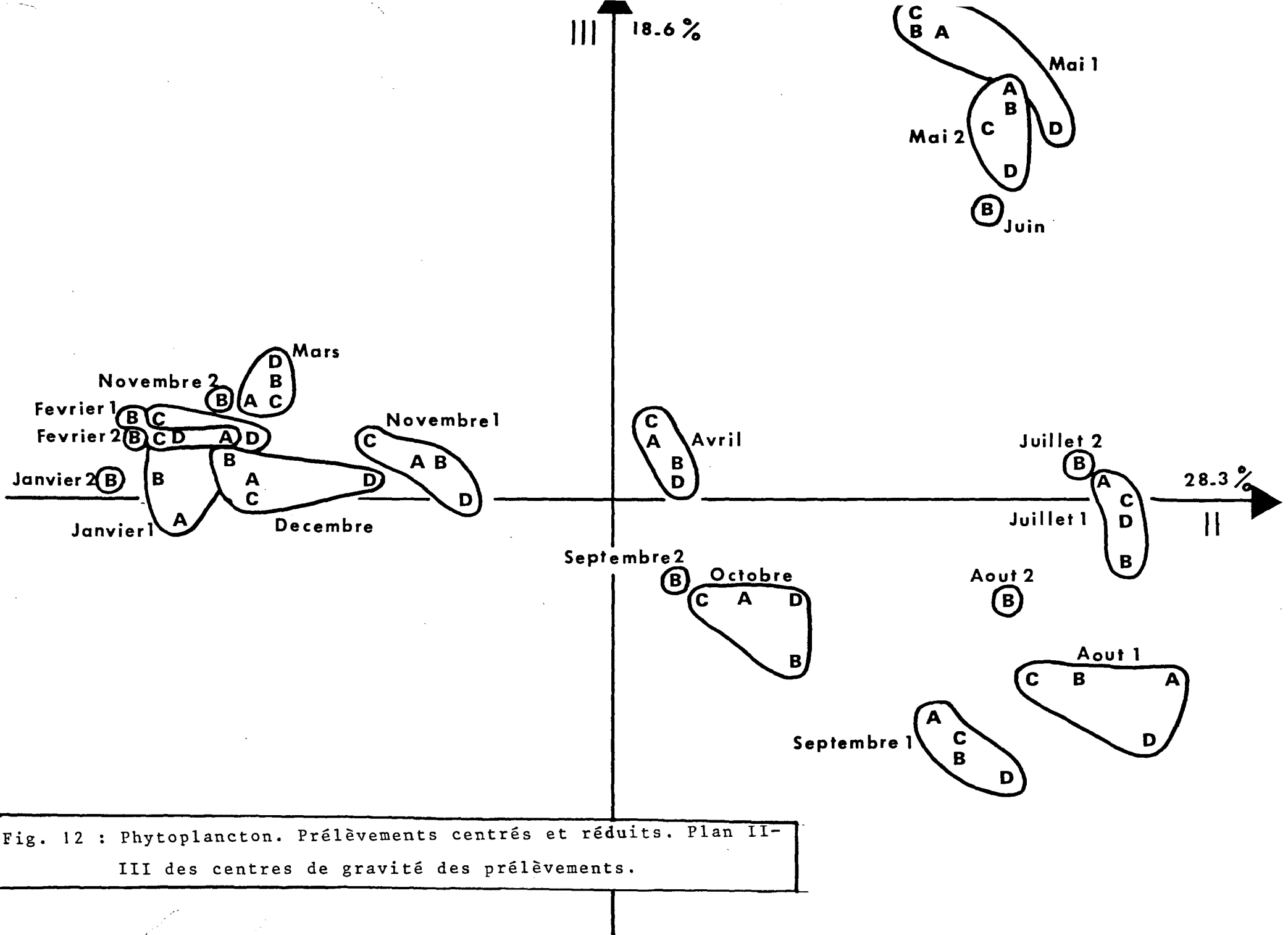


Fig. 12 : Phytoplancton. Prélèvements centrés et réduits. Plan II-III des centres de gravité des prélèvements.

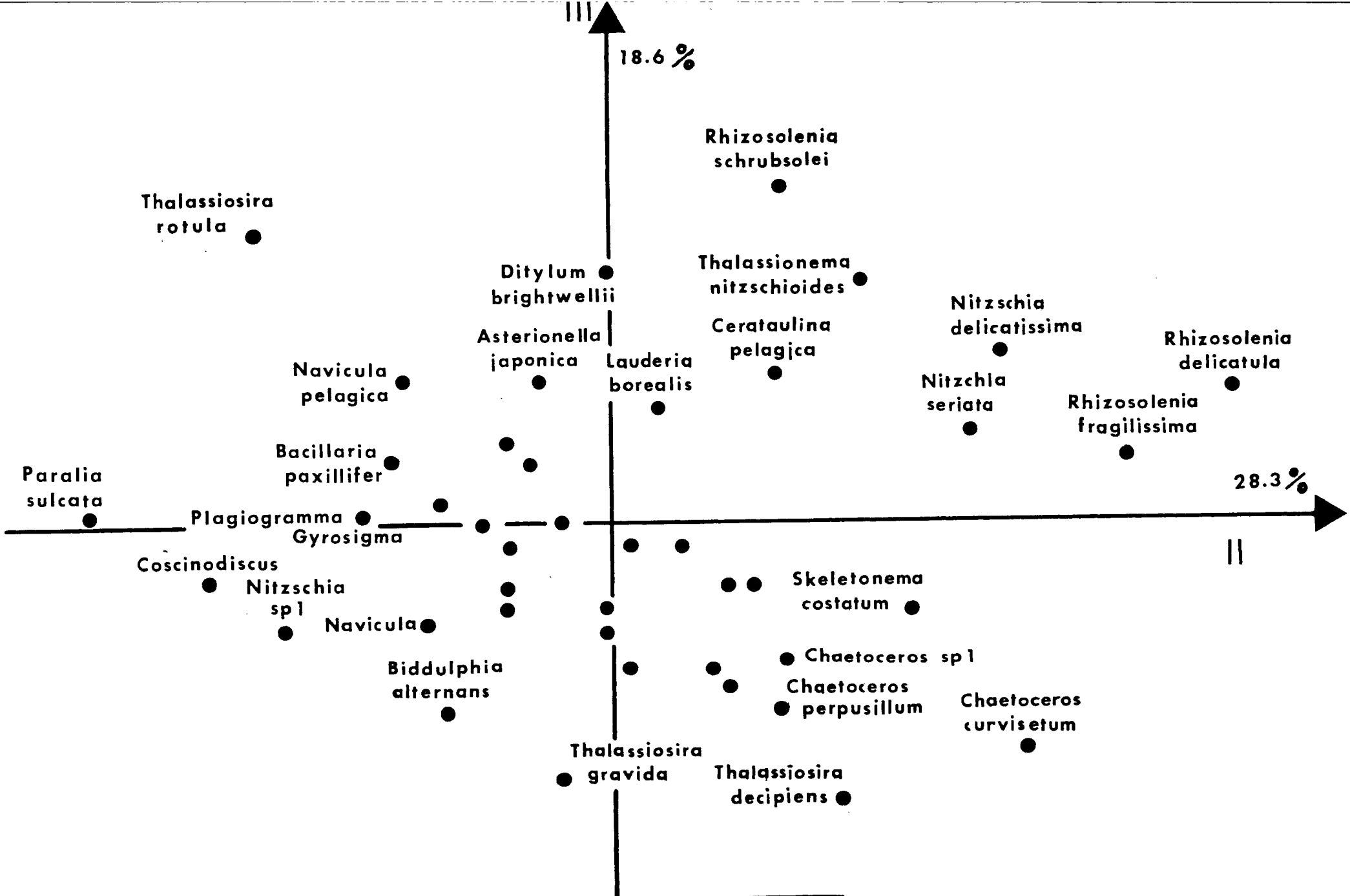


Fig. 13 : Phytoplancton. Prélèvements centrés et réduits. Plan II-III des espèces.

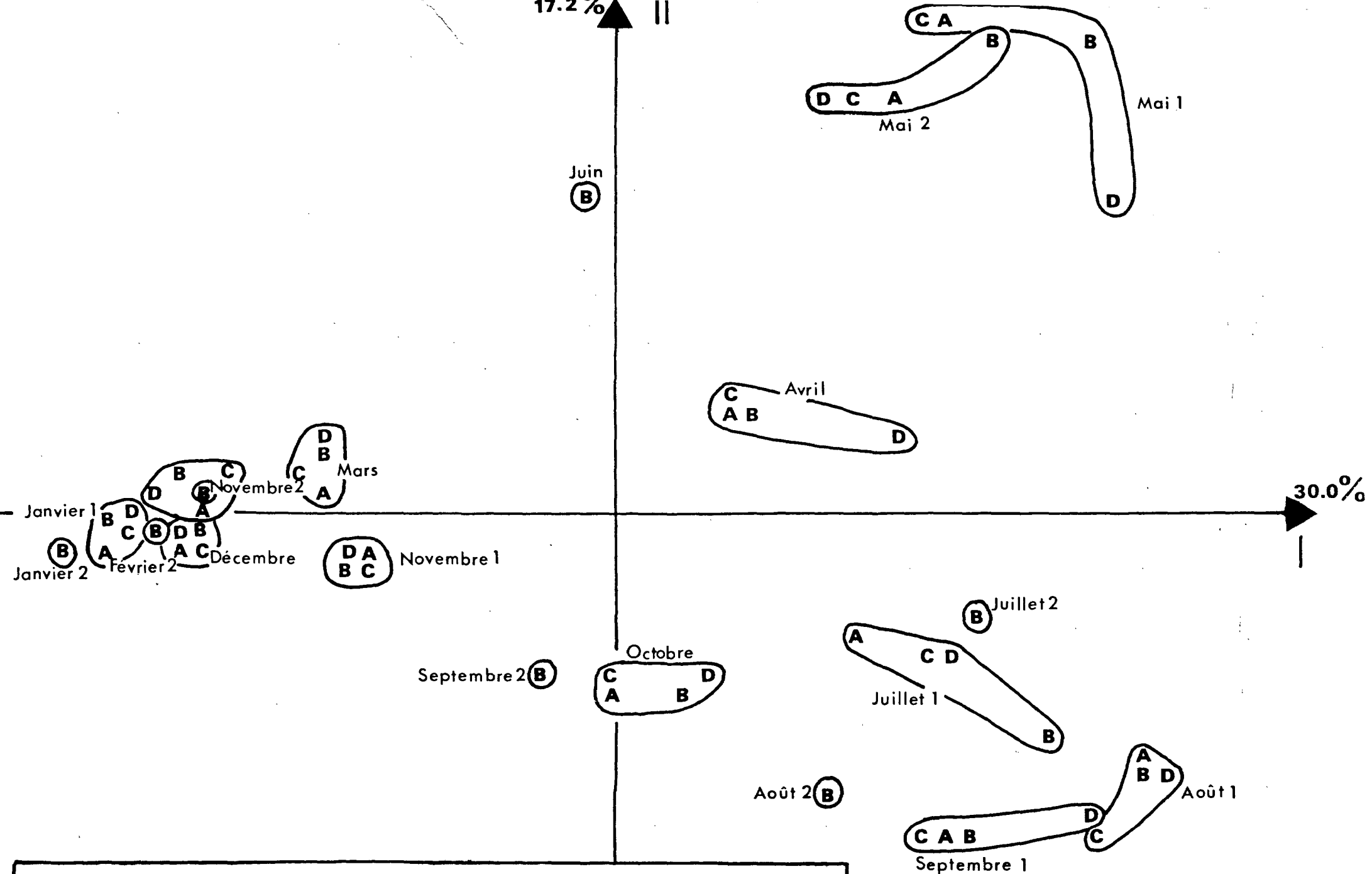


Fig. 14 : Phytoplancton. Espèces réduites et centrées. Plan I-II des centres de gravité des prélèvements.

est caractérisée par une faible densité de cellules phytoplanctoniques (15 000 cellules / litre en moyenne) et des valeurs faibles en pigment (cf. rapport écologique).

L'axe III (pourcentage d'inertie extrait : 18.6 %) partage la saison estivale en deux périodes (fig. 12) :

- mai - juin caractérisée par les espèces *Rhizosolenia schrubsolei*, *Ditylum brightwellii*, *Thalassionema nitzschioides*, *Cerataulina pelagica*, *Asterionella japonica* et *Lauderia borealis* (fig. 13). Il lui correspond un maximum de chlorophylle active et de production primaire (cf. rapport écologique) ainsi qu'un maximum de densité de cellules (200 000 cellules / litre) ; rappelons que le développement intensif de *Phaeocystis* en mai (non dénombrés dans cette étude) y contribue largement.
- juillet - septembre où l'on note l'abondance de *Chaetoceros curvisetum*, *perpusillum*, sp. 1), de *Thalassiosira (gravidata, accipiens)* et de *Skeletonema costatum* (fig. 13). Du point de vue quantitatif, les effectifs restent élevés (140 000 cellules / litre). Cette période correspond à un second pic d'abondance de pigments chlorophylliens mais nettement moins important que le premier.

Cette analyse met ainsi en évidence les temps forts du cycle du phytoplancton avec, en correspondance, les espèces les plus abondantes. Si l'on veut réaliser une étude plus fine de la population phytoplanctonique, il faut essayer de faire apparaître les espèces dont les effectifs sont moins importants mais qui contribuent néanmoins à l'explication du cycle annuel complet. C'est le but de la deuxième analyse où les espèces sont réduites et centrées : les effets d'abondance sont ainsi annulés et les espèces apparaissent comme des indicateurs de la période durant laquelle leur développement est maximum.

3. Espèces centrées et réduites (fig. 14 - 19)

Les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales ainsi réalisée extraient respectivement 30 % et 17.2 % de l'inertie totale de l'ensemble des points-prélèvements. Le cycle annuel des campagnes apparaît très semblable à celui exprimé sur

le plan II-III de l'analyse précédente (fig. 14). De juillet à octobre 76, on remarque la présence d'un grand nombre d'espèces qui n'étaient pas apparues auparavant (fig. 15) (1) : *Chaetoceros* (*debile*, *sociale*, *gracile*, *danicum*), *Prorocentrum micans*, *Nitzschia closterium*, *Euglene*, *Rhizosolenia setigera*, *Dictyocha speculum*, *Navicula* et *Biddulphia alternans*. Quant à la période d'hiver, l'analyse révèle peu d'espèces nouvelles car celles qui apparaissent en cette saison ont de faibles effectifs ; cependant on peut noter la présence d'*Actinoptychus senarius*, de *Chrysophyceae* et de *Thalassiosira rotula*. En mai - juin, *Gymnodinium fusus* et *Guinardia flaccida* sont moins abondantes que les autres espèces correspondant à cette période et qui avaient été mises en évidence précédemment. Enfin, un contingent d'espèces phytoplanctoniques enregistre des effectifs moyens de juillet à septembre 76 et en mai 77 : *Leptocylindrus danicus*, *Rhizosolenia stolterfothii*, *Minuscula bipes*. Le plan I-II révèle ainsi les grands traits du cycle annuel. Les axes suivants de l'analyse isolent des époques particulières de l'année et permettent ainsi d'observer avec plus de précision, l'évolution des peuplements phytoplanctoniques durant ces périodes privilégiées.

Le troisième axe sépare les campagnes d'avril à juin 77 (fig. 16). Il extrait 10.8 % de l'inertie totale de l'ensemble des points-prélèvements. Une espèce admet un pic d'abondance très prononcé en avril : *Thalassiosira rotula* (fig. 17). D'autres espèces sont également abondantes en avril (mais enregistrent aussi de forts effectifs en juillet - août 76, d'où leur position sur le plan II-III) : *Thalassiosira levanderi*, *Nitzschia closterium*, *Chaetoceros perpallidum*, *Dictyocha speculum* ; on peut encore noter la présence de *Plagiogramma* dont les effectifs - bien que moins importants - atteignent leur maximum en avril. Il existe une nette distinction entre les deux campagnes lourdes de mai (celles-ci ne sont pourtant séparées que de quinze jours) : cela dénote la vitesse avec laquelle la composition floristique du milieu se modifie durant cette période printanière. Les espèces les plus abondantes, caractéristiques de la première campagne de mai sont :

(1) Nous ne mentionnons que les espèces qui n'avaient pas été signalées dans l'analyse précédente.

Gymnodinium fusus

Rhizosolenia schrubsolei
Lauderia borealis

Ditylum
brightwellii

Asterionella japonica
Cerataulina pelagica

Navicula
pelagica

Thalassiosira
rotula

Guinardia
flaccida

Bacillaria
paxillifer

Nitzchia delicatissima

Leptocylindrus
danicus

Thalassionema nitzschioides

Plagiogramma

Rhizosolenia
setigera

Nitzchia serjata

Actinoptychus senarius

Rhizosolenia
fragilis

Rhizosolenia
delicatula

Nitzchia sp.1

Dictyocha
speculum

Rhizosolenia setigera

Paralia sulcata

Chaetoceros danicum

Skeletonema costatum
Chaetoceros sp.1

Coscinodiscus

Prorocentrum
micans

Thalassiosira
decipiens

Chaetoceros gracile

Chaetoceros curvisetum

Biddulphia
alternans

Navicula

Chaetoceros
sociale

Chaetoceros debile

Thalassiosira gravida

Fig. 15 : Phytoplankton. Espèces réduites et centrées. Plan I-II des espèces.

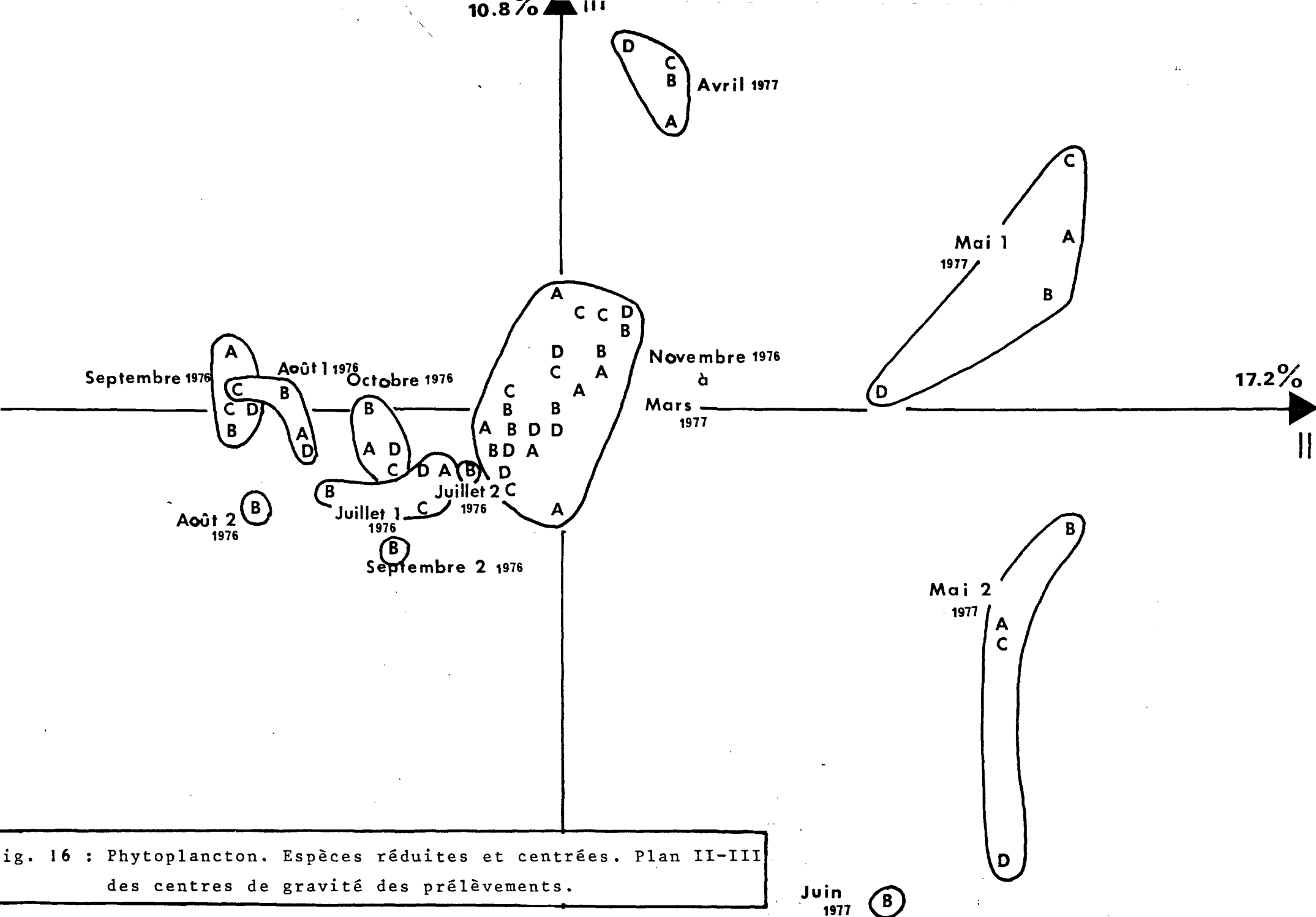


fig. 16 : Phytoplancton. Espèces réduites et centrées. Plan II-III des centres de gravité des prélèvements.

Juin 1977 (B)

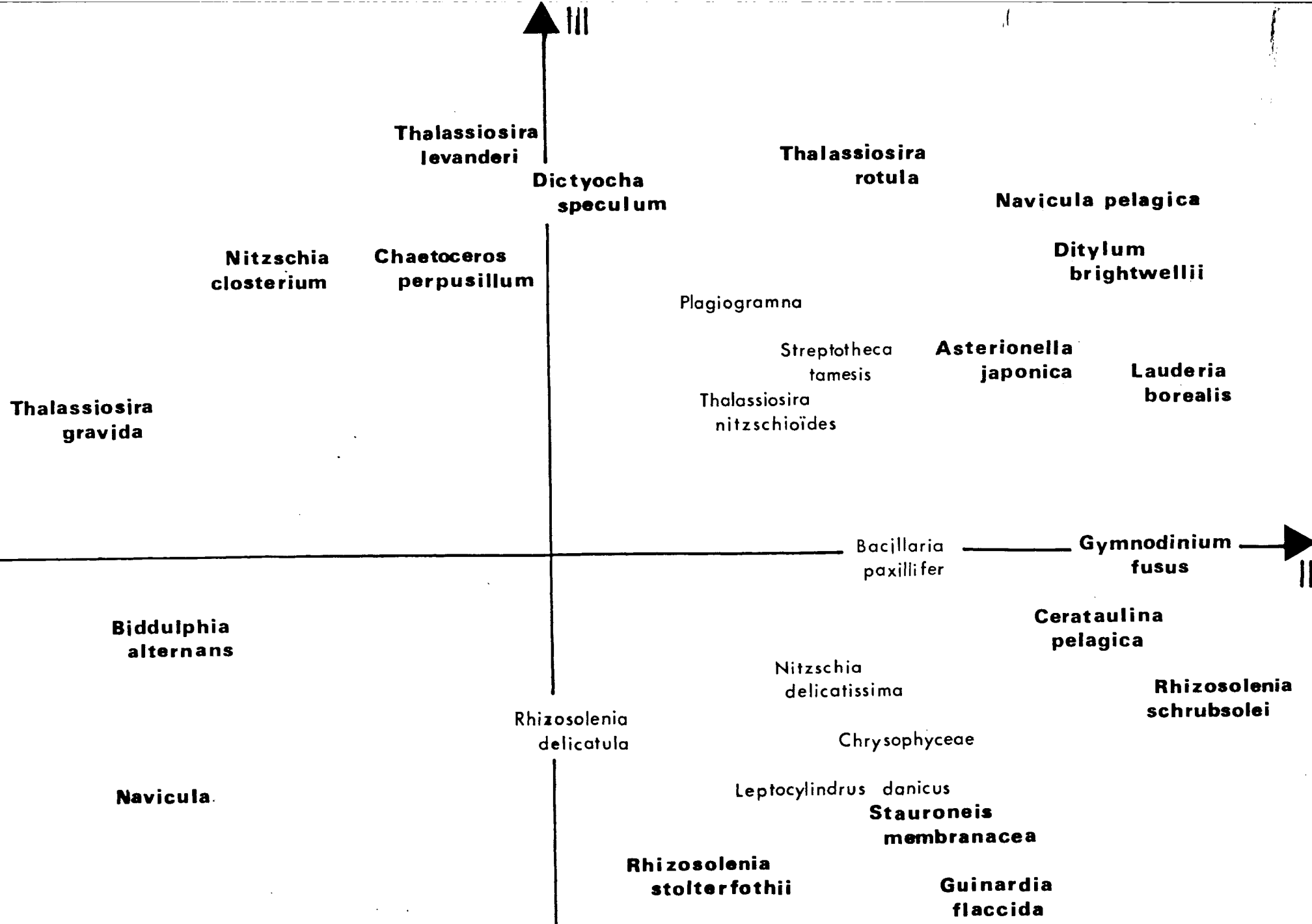


Fig. 17 : Phytoplancton. Espèces réduites et centrées. Plan II-III des espèces.

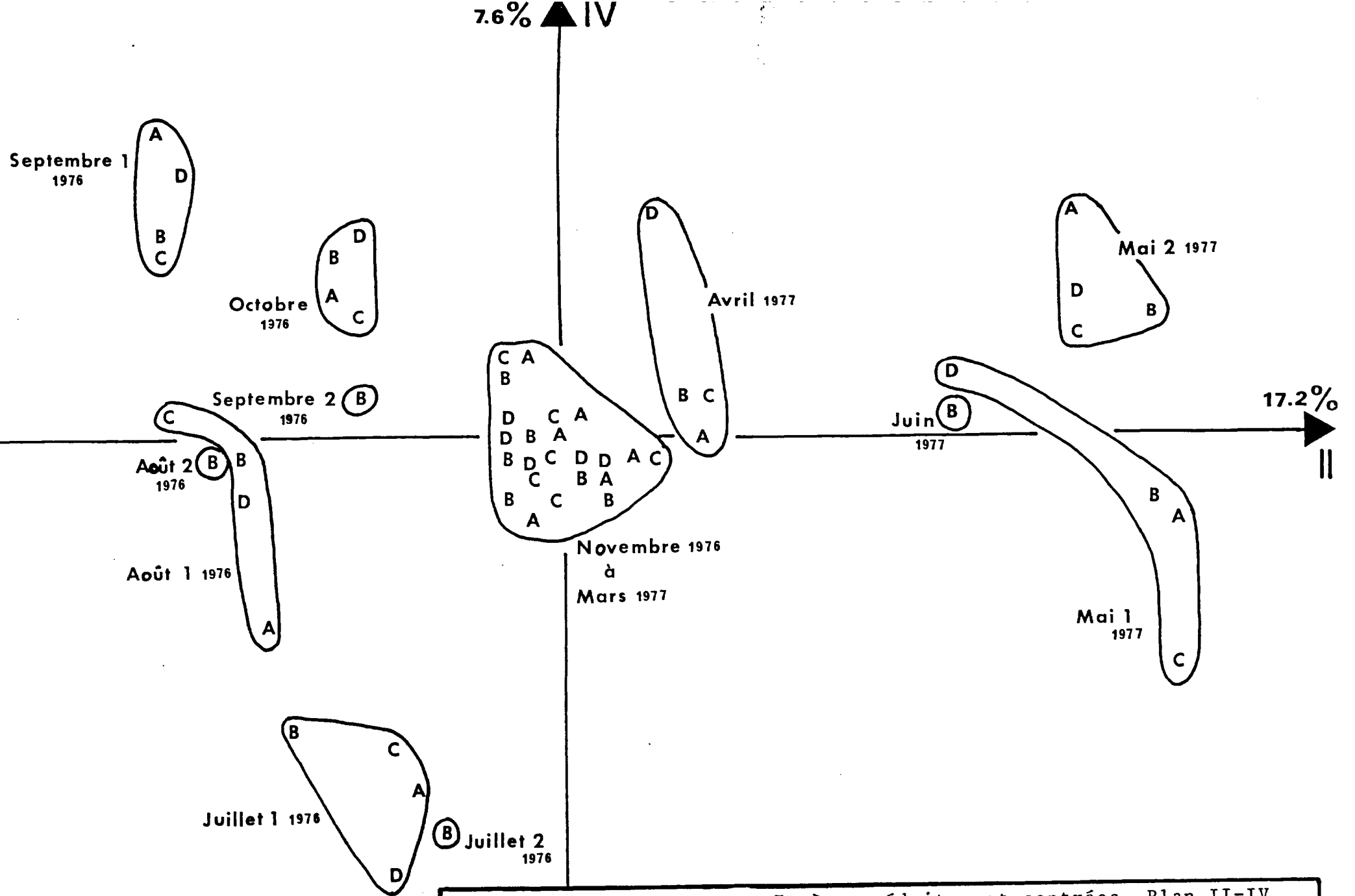


Fig. 18 : Phytoplancton. Espèces réduites et centrées. Plan II-IV des centres de gravité des prélèvements.

Navicula pelagica, *Ditylum brightwellii*, *Asterionella japonica*, *Lauderia borealis* et, avec un effectif moindre : *Streptotheca tamesis* et *Bacillaria paxillifer*. A l'extrémité de l'axe II, on note la présence de *Gymnodinium fusus* et de *Cerataulina pelagica* ; ce sont deux espèces qui sont également abondantes durant les deux campagnes de mai. La dernière campagne de mai est caractérisée principalement par des *Rhizosolenia* (*schrubsolei* et *stolterfothii*), *Stauroneis membranacea*, *Guinardia flaccida* puis par d'autres espèces de densité plus faible : *Rhizosolenia delicatula*, *Leptocylindrus danicus*, *Nitzschia delicatissima* et *Chrysophyceae*.

Le pourcentage d'inertie extrait par le quatrième axe est 7.6 % . Il sépare les campagnes d'été et d'automne : juillet - octobre 76 (fig. 18). Là encore, il est intéressant de remarquer combien la situation évolue d'un mois à l'autre et dans quelle mesure cette succession des espèces dans le temps permet de définir le cycle annuel du phytoplancton à Flamanville. Les espèces les plus abondantes en juillet sont : *Chaetoceros danicum*, *Rhizosolenia setigera*, *Chaetoceros curvisetum*, *Nitzschia closterium* (fig. 19). En août, on trouve surtout des *Chaetoceros* (*perpusillum*, sp.1, *gracile*, *debile*) puis *Thalassiosira gravida* et *Navicula*. La fin de l'été - septembre, octobre - voit l'apparition de *Biddulphia alternans*, *Thalassiosira decipiens*, *Chaetoceros sociale* ainsi que de *Thalassiosira levanderi*, *Euglene*, *Biddulphia aurita* et *Prorocentrum micans*.

4. Conclusion

L'étude du phytoplancton de Flamanville met en évidence deux caractéristiques principales du contingent floristique et de son évolution :

- une part d'invariance des peuplements, déterminée par un petit nombre d'espèces dont la présence, dans le milieu, est permanente tout au long de l'année.
- des variations temporelles bien marquées avec, d'une part, une opposition hiver - été et d'autre part, deux périodes estivales distinctes : mai - juin (maximum de production primaire) et juillet - septembre.

En comparant le cycle annuel phytoplanctonique avec celui déduit de l'étude des variables hydrobiologiques, il apparaît une même distinction entre l'hiver et l'été mais les événements saisonniers sont beaucoup mieux marqués par le cycle des espèces du phytoplancton, en particulier durant la période estivale.

Il existe une bonne homogénéité spatiale : l'analyse, en effet, ne distingue pas le point D hors tache de ceux de la radiale, du moins pas plus qu'elle ne différencie ces derniers entre eux.

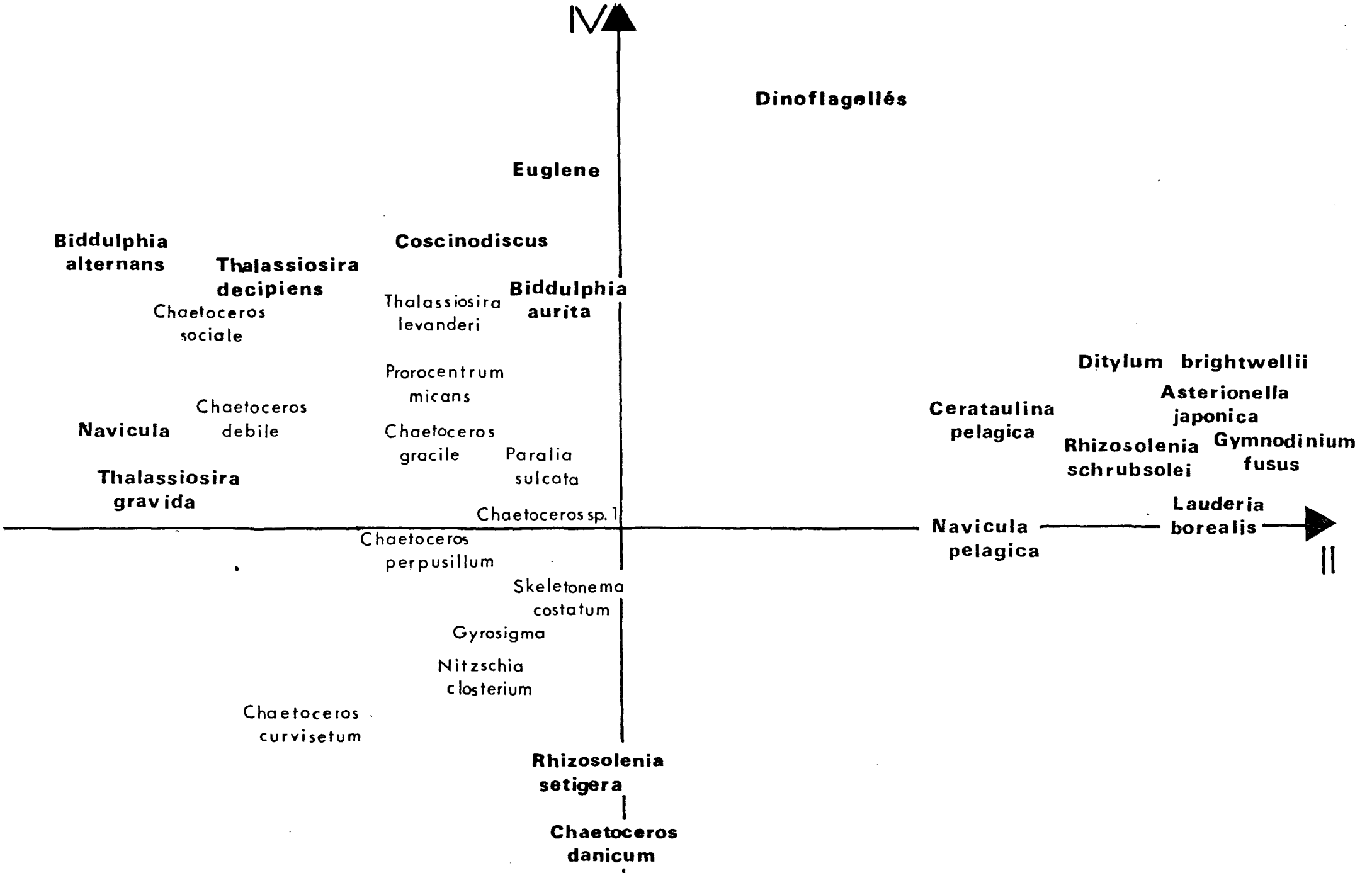


Fig. 19 : Phytoplancton. Espèces réduites et centrées. Plan II-IV des espèces.

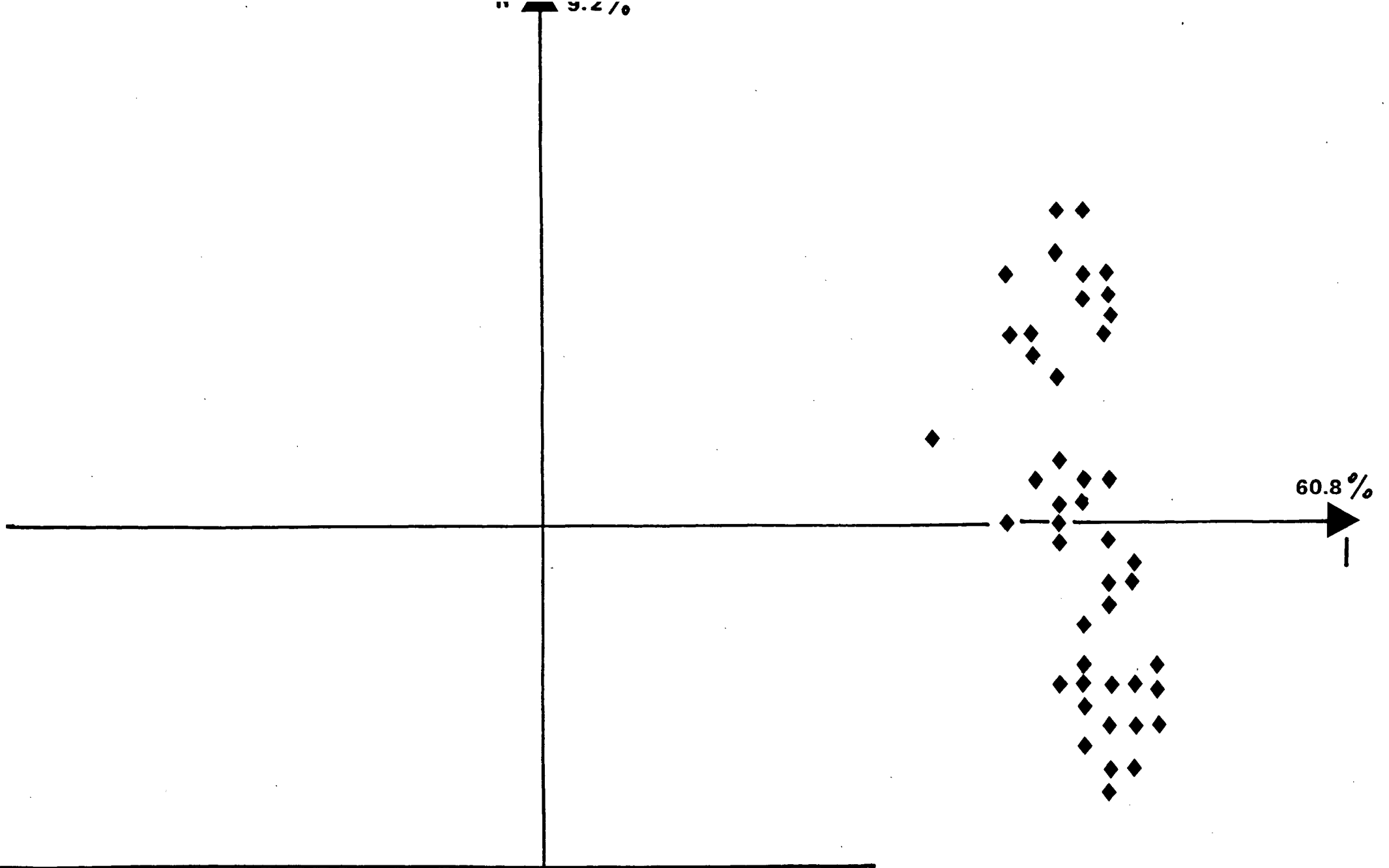


Fig. 20 : Zooplancton. Prélèvements centrés et réduits. Plan I-II
des centres de gravité des prélèvements.

CHAPITRE III

ZOOPLANCTON

I. ANALYSE GENERALE

1. Introduction

L'analyse globale du cycle annuel du zooplancton a été réalisée à partir de dix neuf campagnes (douze "lourdes" et sept "légères") qui se sont déroulées entre juillet 76 et juin 77. Elles regroupent au total 248 prélèvements. 127 espèces ont été dénombrées et pour trois d'entre elles (les copépodes *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Temora longicornis*), les effectifs correspondant à six stades de copépodites ont été comptés. Ceux-ci feront l'objet d'une étude séparée.

Parmi les 127 espèces recensées, il en est un grand nombre dont l'abondance est très faible et l'apparition épisodique. De ce fait, elles n'ont pas été retenues pour l'analyse (1). Celle-ci ne portera donc que sur 52 espèces zooplanctoniques ; leurs effectifs sont transformés par la fonction $\text{Log}(x + 1)$ afin de réduire les trop grands écarts d'abondance.

Conformément au plan adopté dans le précédent chapitre, dans une première analyse, les prélèvements sont centrés et réduits ; ceci permet d'éviter les variations trop aléatoires dues aux biais d'échantillonnage. Les espèces gardent leur variabilité et les effets d'abondance ne sont point affectés. Dans la deuxième étude, les espèces sont réduites et centrées : les différences de

(1) Une moyenne d'abondance par campagne a été calculée pour chaque espèce. Toutes celles qui ne sont présentes que cinq ou six fois (sur les 19 campagnes) par an ou dont les effectifs ne sont pas supérieurs à dix individus par unité de volume (10 m^3) ont été éliminées.

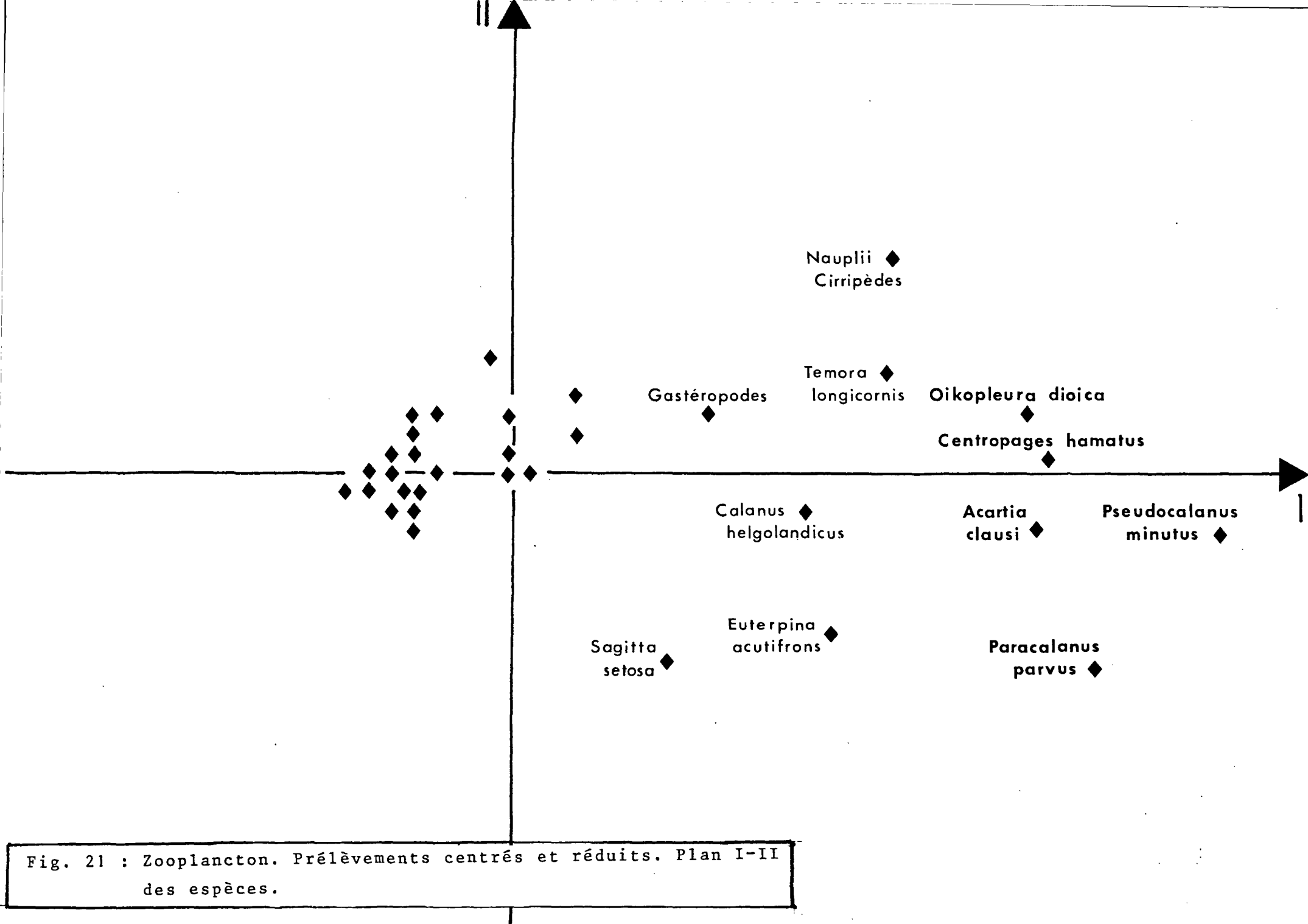
densité entre prélèvements sont maintenues mais les fluctuations d'effectif pour chaque espèce sont minimisées.

2. Prélèvements centrés et réduits (fig. 20 - 23)

Tous les prélèvements sont groupés dans les valeurs positives de l'axe I (fig. 20). La structure duale fait apparaître les espèces qui sont les plus abondantes tout au long de l'année (fig. 21) : *Pseudocalanus minutus*, *Acartia clausi*, *Paracalanus parvus*, *Centropages hamatus*, *Oikopleura dioïca* (ces cinq espèces contribuent, à elles seules, à 64 % de l'inertie du premier axe). D'autres espèces apparaissent moins abondantes : *nauplii* de Cirripèdes, *Temora longicornis*, *Calanus helgolandicus*, *Euterpina acutifrons*, Gastéropodes. Toutes ces espèces constituent un contingent faunistique stable, présent en toutes saisons. Elles déterminent ainsi une première caractéristique du zooplancton de Flamanville et le taux d'inertie important exprimé par le premier axe (60.8 %) montre que la notion de stabilité dans les peuplements zooplanctoniques est prépondérante par rapport aux variations des autres espèces au cours de l'année.

Les axes II et III extraient respectivement 9.2 % et 7.5 % de l'inertie totale de l'ensemble des points prélèvements. Le plan qu'ils engendrent met en évidence la succession des campagnes dans l'ordre dans lequel elles ont été réalisées (1) (fig. 22). Globalement, elles peuvent être réparties en trois groupes : tout d'abord celui des missions de juillet à octobre 76 ; les espèces principalement abondantes à cette époque de l'année sont : *Pisidia longicornis*, *Upogebia deltaura* et *Temora longicornis* (fig. 23). On relève d'autres espèces abondantes en été - et particulièrement en juillet (maximum d'abondance estivale : 15 000 individus / 10 m³, cf. rapport écologique) - : *Parapontella brevicornis*, Pinnothères, *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, Zoe de Brachyours. Le deuxième groupe rassemble les campagnes d'hiver : novembre 76 - février 77 (janvier est le mois le plus pauvre avec

(1) Les campagnes "lourdes" sont représentées par les centres de gravité des prélèvements effectués en chaque station du site (fig. 1) tandis que les missions "légères" ne comprennent qu'un prélèvement réalisé au point médian de la radiale (station B).



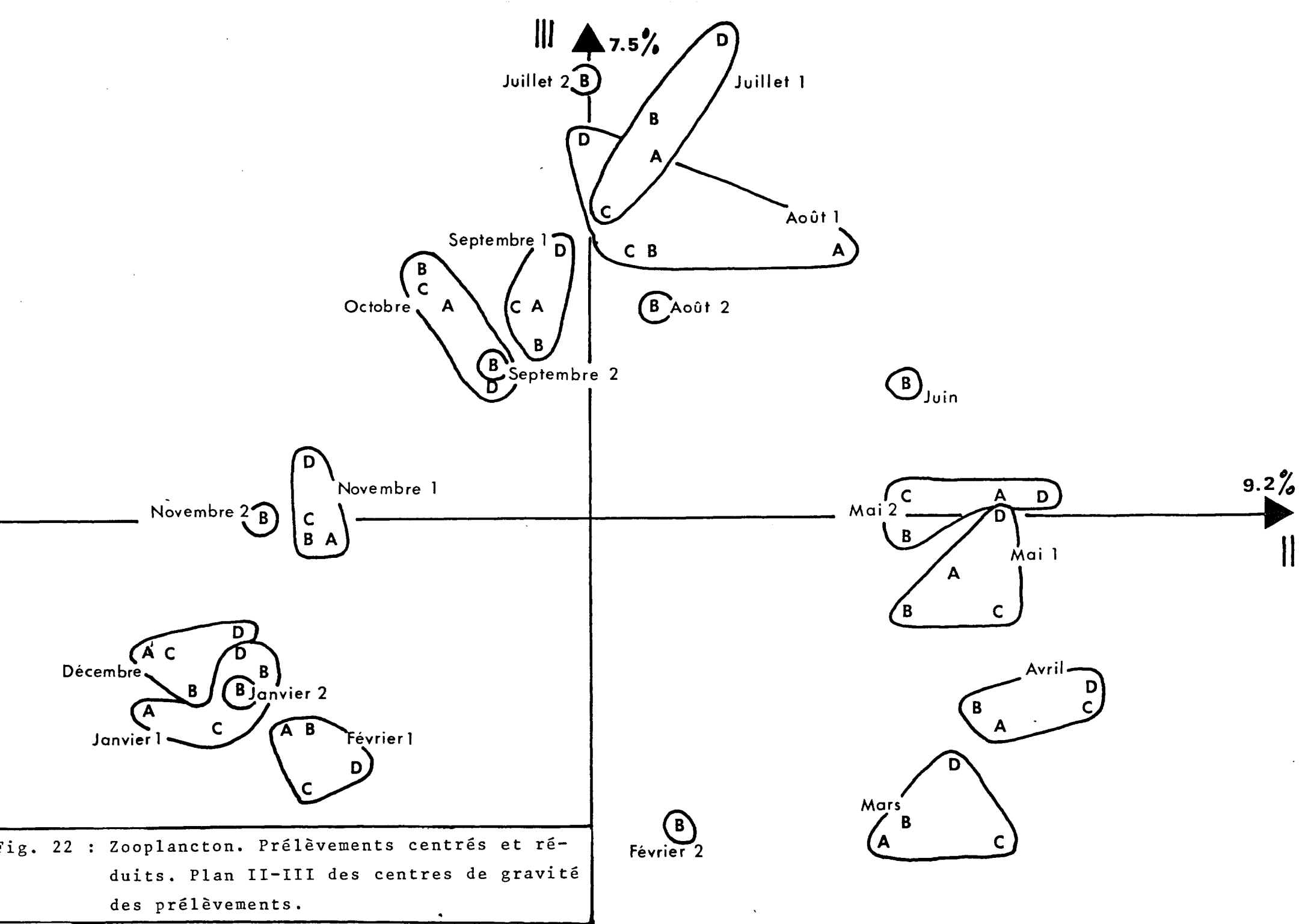


Fig. 22 : Zooplancton. Prélèvements centrés et réduits. Plan II-III des centres de gravité des prélèvements.

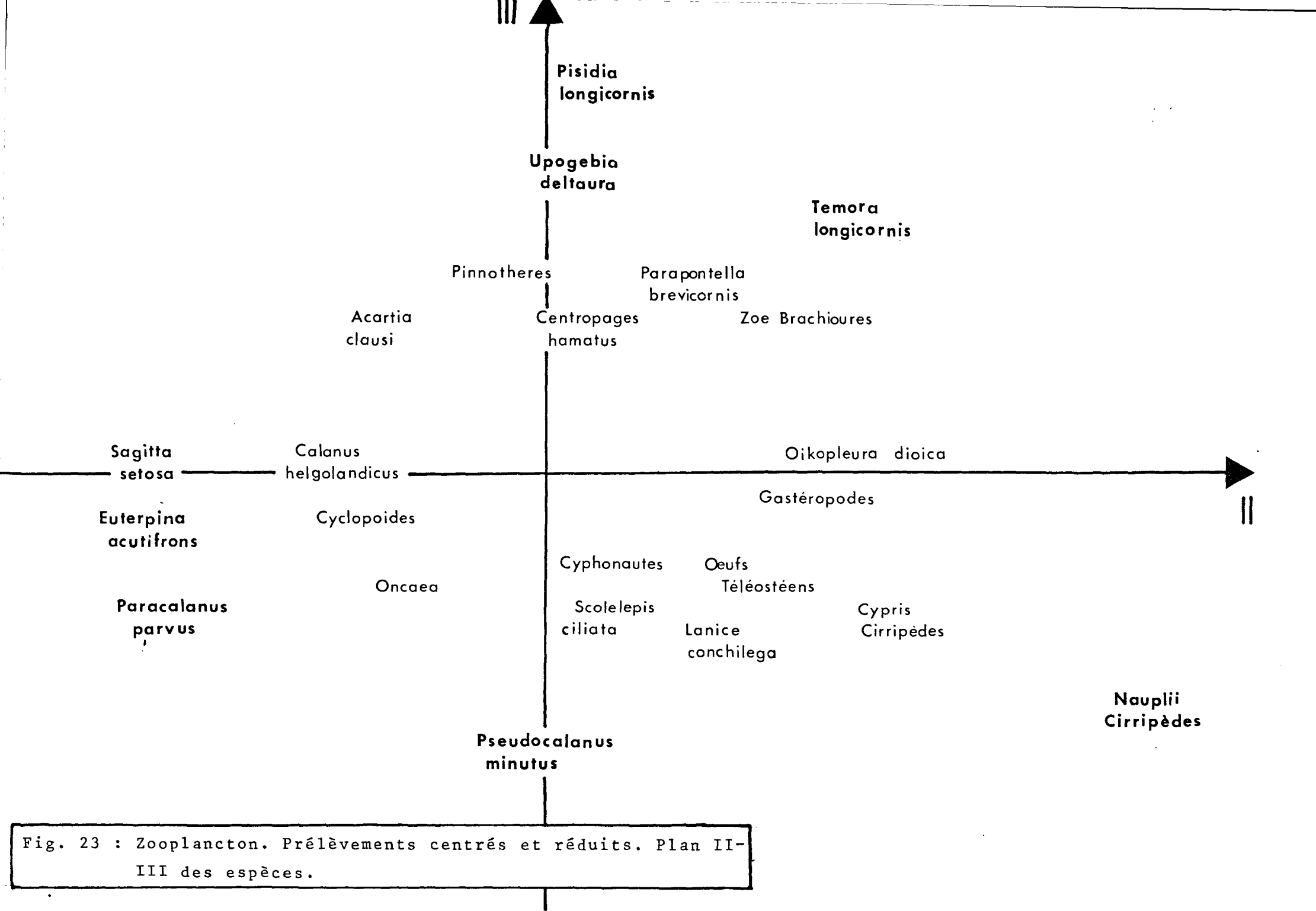
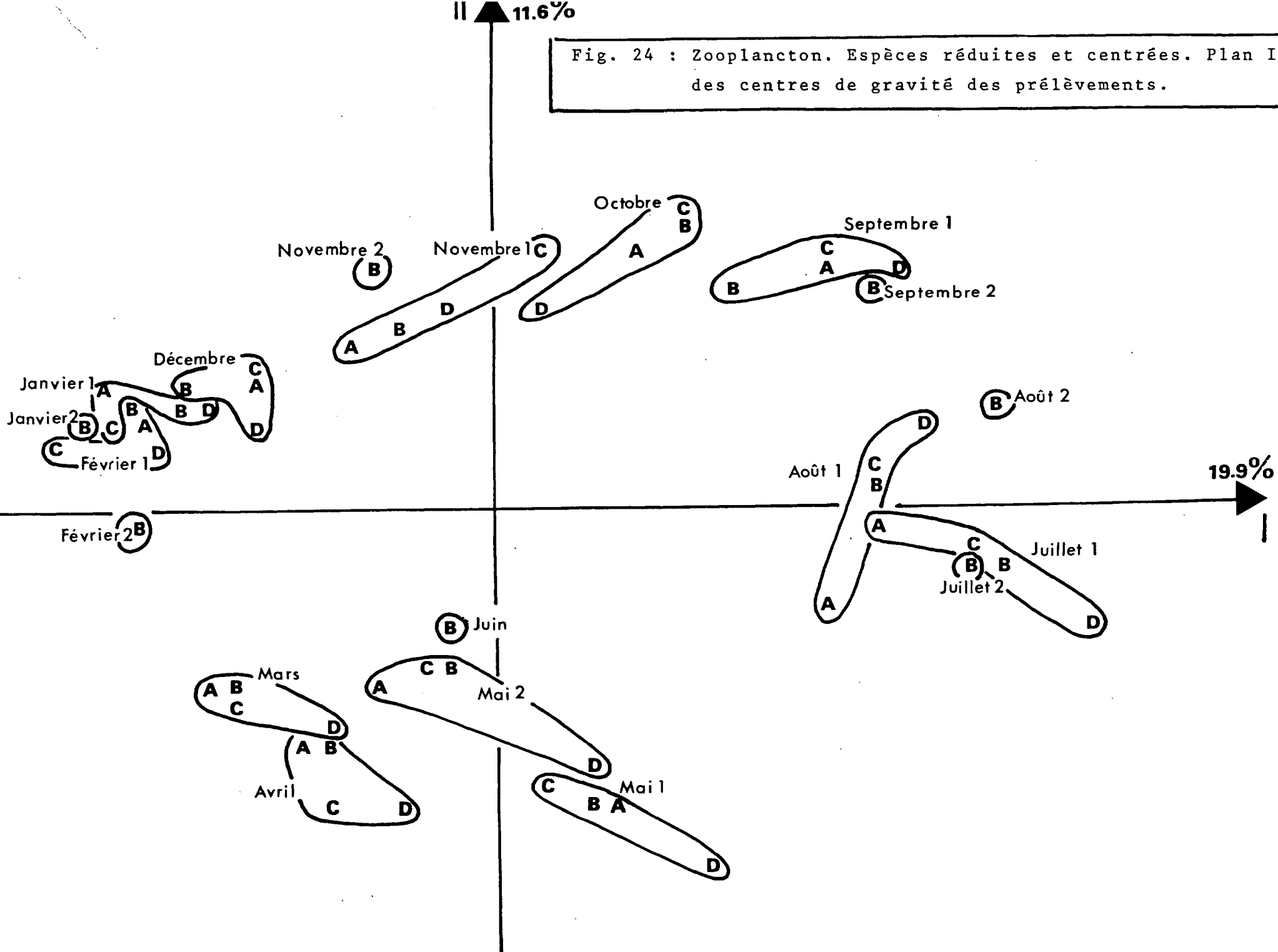


Fig. 23 : Zooplancton. Prélèvements centrés et réduits. Plan II-III des espèces.

Fig. 24 : Zooplancton. Espèces réduites et centrées. Plan I-II des centres de gravité des prélèvements.



600 individus / 10 m³, cf. rapport écologique). Quelques espèces sont abondantes en cette période : *Sagitta setosa*, *Euterpina acutifrons*, *Paracalanus parvus* et d'une façon moindre : les Cyclopoïdes. La campagne légère du 17 février 77 est intermédiaire entre les missions d'hiver et celles du printemps ; l'arrivée de larves *Nauplii* de Cirripèdes particulièrement abondantes en mars et avril ainsi que l'espèce *Pseudocalanus minutus* sont responsables de ce brusque changement de la composition faunistique. De mars à juin 77, il apparaît quelques espèces dont les effectifs sont plus particulièrement importants : ainsi en mars et avril, *Nauplii* de Cirripèdes (en mars, ils constituent 76 % du contingent faunistique dont la densité atteint 5 300 individus / 10 m³, cf. rapport écologique), en avril - mai, *Cypris* de Cirripèdes, *Lanice conchilega* et les oeufs de Téléostéens, et en mai, *Oïkopleura dioïca* et Gastéropodes. Le plan II-III présente un cycle annuel du zooplancton qui "boucle" d'une façon régulière. L'évolution faunistique du milieu est particulièrement rapide de février à mars et de mai à juillet tandis qu'une relative période de stabilité s'observe de décembre à février.

3. Espèces centrées et réduites (fig. 24, 25)

Les deux premiers axes extraient respectivement 19.9 % et 11.6 % de l'inertie totale de l'ensemble des prélèvements. Sur le plan I-II s'inscrit l'ensemble des campagnes suivant l'ordre chronologique (fig. 24). Au pôle positif de l'axe I se trouvent les missions de juillet et août 76 ; c'est l'époque où l'on enregistre le plus grand nombre d'espèces abondantes (fig. 25) : *Acartia clausi*, *Pisidia longicornis*, *Upogebia deltaura*, *Centropages hamatus*, *Parapontella brevicornis*, *Temora longicornis*, Zoe de Brachyoures, puis d'autres moins importantes : Pinnothères, *Centropages typicus*, *Phialidium hemisphaericum*, Caridés, Galathéides, *Oïkopleura dioïca*. En septembre - octobre, on remarque particulièrement *Sagitta setosa*, *Euterpina acutifrons*, *Paracalanus parvus* et en moins abondantes Cyclopoïdes, Ascidiées, *Crangon crangon*, *Corycaeus anglicus*, Spionides, Harpacticoïdes. De novembre à février, il n'apparaît que deux espèces caractéristiques de cette période mais de faible effectif : *Harmothoe* et *Oncaea*. Enfin, entre mars et mai 77, un contingent d'espèces printanières prédomine : principalement des Cirripèdes (*Nauplii* et *Cypris*) et des

oeufs de Téléosteens mais aussi *Lanice conchilega*, *Pseudocalanus minutus*, *Scolecopsis (ciliata et fuliginosa)*, des alevins de Téléosteens et des larves d'Euphausiacées. Ainsi, nombre d'espèces qui n'étaient pas révélées par la précédente analyse en raison de leur moyenne (ou faible) abondance, se trouvent distinguées dans cette étude ; leur cycle d'apparition coïncide avec une période bien précise de l'année que l'on peut distinguer aisément sur le premier plan factoriel. Cette analyse confirme et affine les résultats obtenus par la précédente étude.

II. ANALYSES PARTICULIÈRES

1. Introduction

Les résultats des deux analyses précédentes sont dus pour une grande part aux Copépodes (ils constituent 73 % du zooplancton) qui représentent la quasi totalité de l'holoplancton ; il est intéressant de voir comment, en les soustrayant de l'analyse, ces résultats peuvent être modifiés. Sur les 52 espèces retenues pour l'étude générale du cycle annuel, on a donc éliminé les 16 espèces qui appartiennent à la classe des Copépodes. Deux analyses sont effectuées à partir des effectifs conservés (définissant le méroplancton), la première avec des prélèvements centrés et réduits, la seconde où les espèces sont réduites et centrées, conformément au plan général du précédent chapitre.

2. Etudes particulières du méroplancton

a) Prélèvements centrés et réduits (fig. 26 - 29)

Le premier axe de l'analyse factorielle extrait 46.6 % de l'inertie totale de l'ensemble des prélèvements (fig. 26). Ce pourcentage est beaucoup moins important que dans la précédente analyse du même type portant sur toutes les espèces (60.8 %). La notion de stabilité du peuplement zooplanctonique est due en grande partie aux Copépodes (plancton permanent) et apparaît donc ici moins affirmée. Quelques espèces importantes contribuent à la définition de ce premier axe (fig. 27) : *Oikopleura dioica*, *Nauplii* de Cirripèdes, *Scolecopsis fuliginosa*, larves de Gastéropodes (la somme des contributions de ces quatre espèces à l'axe I est de 75.6 %).

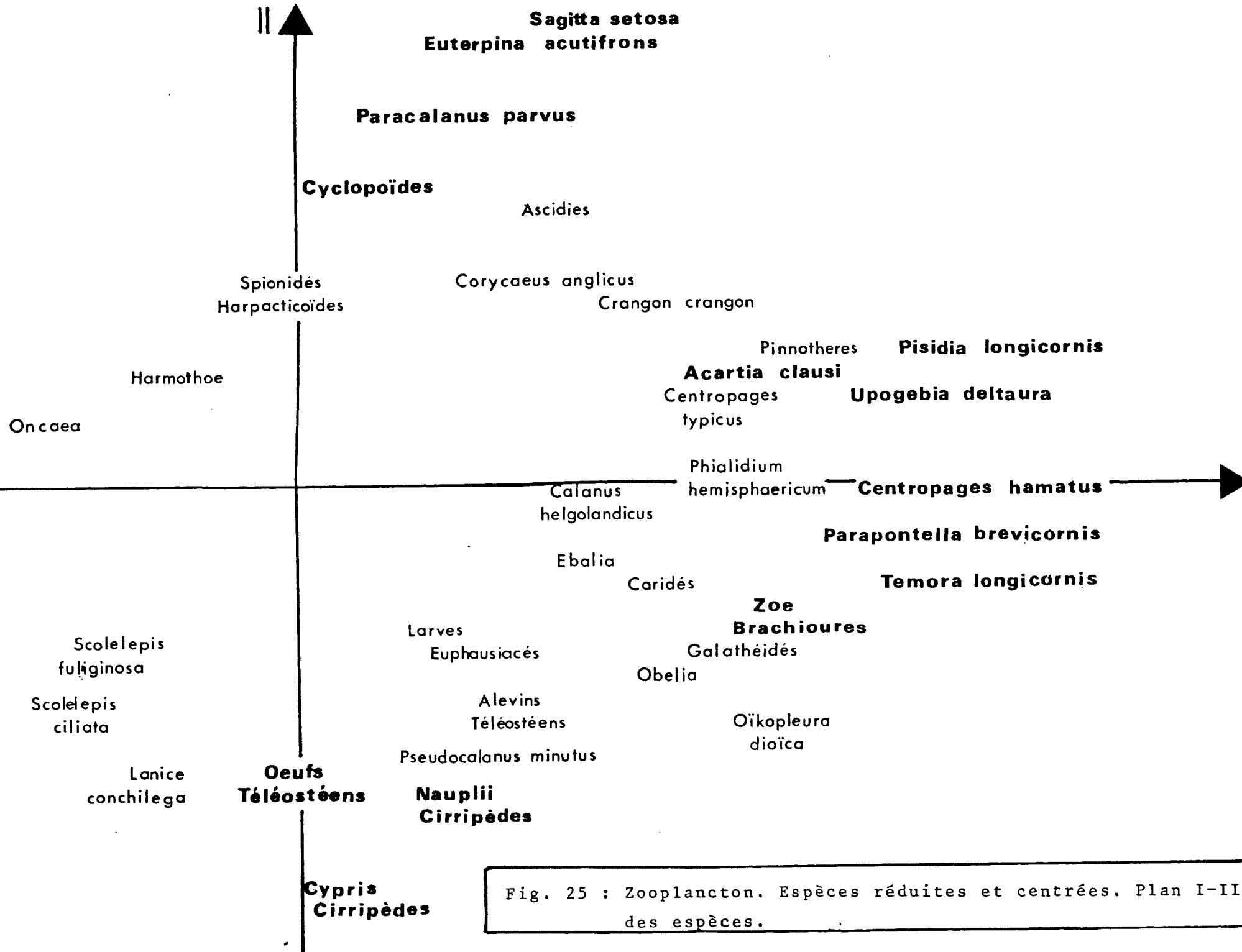


Fig. 25 : Zooplankton. Espèces réduites et centrées. Plan I-II
 des espèces.

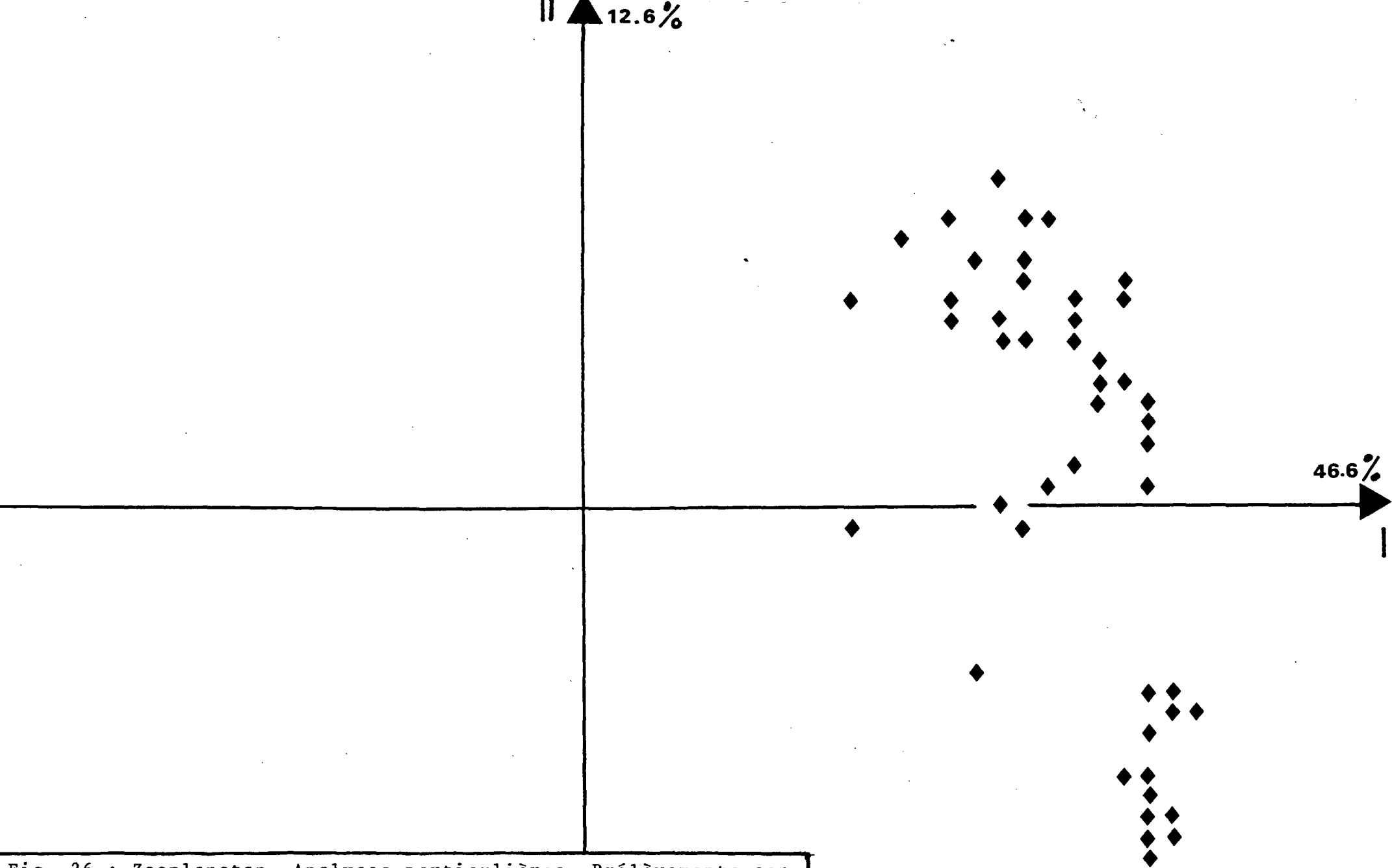


Fig. 26 : Zooplancton. Analyses particulières. Prélèvements centrés et réduits. Plan I-II des centres de gravité des prélèvements.

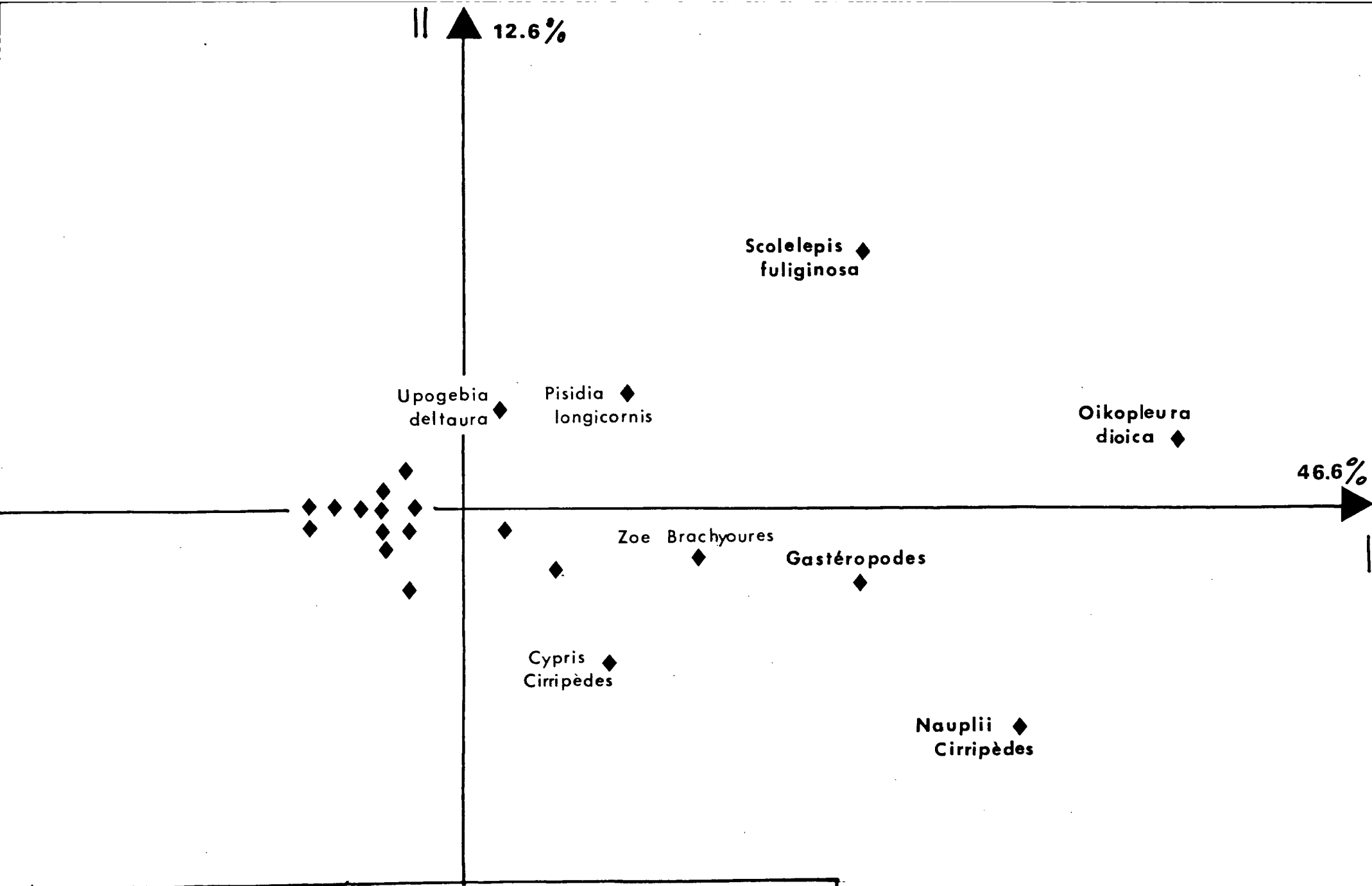
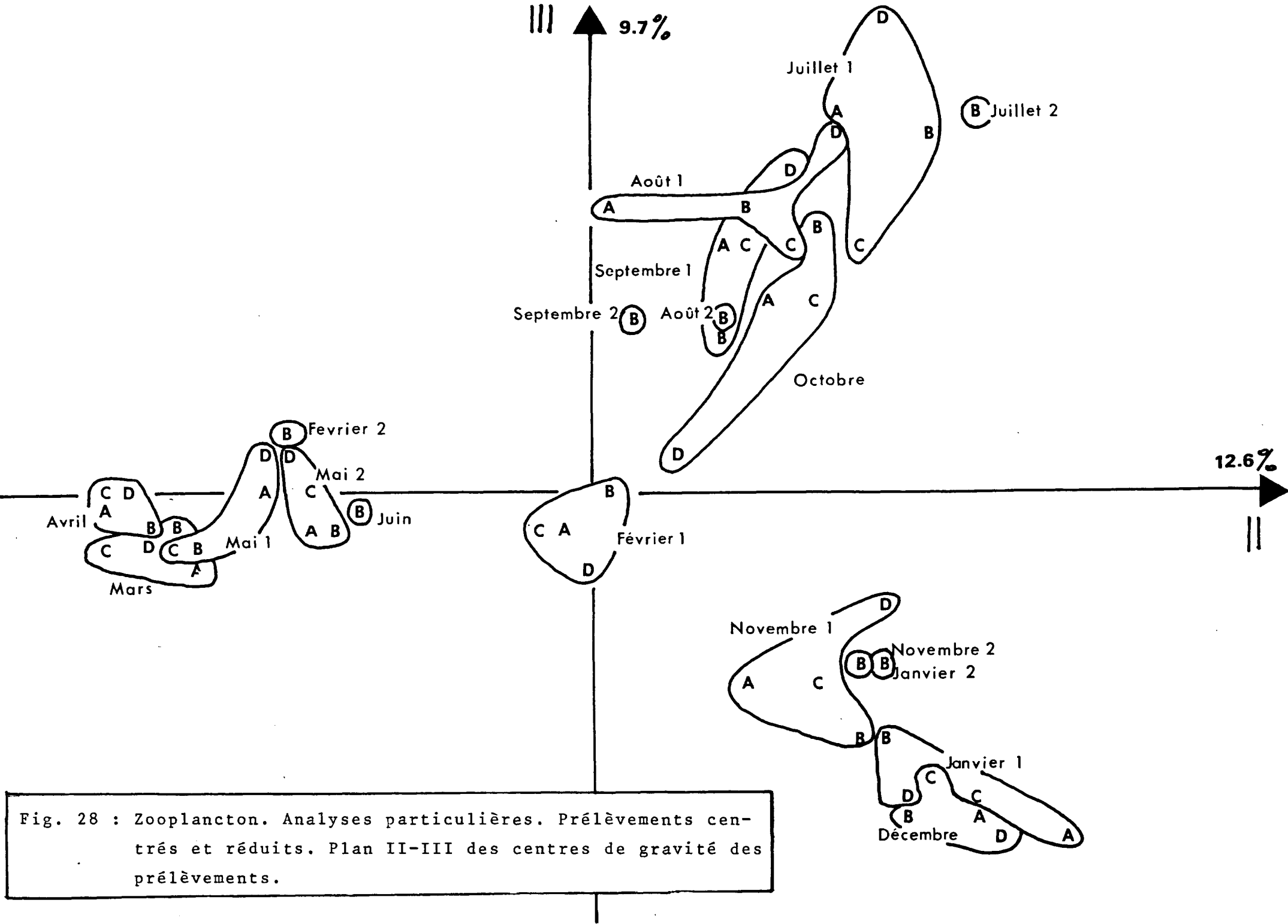


Fig. 27 : Zooplancton. Analyses particulières. Prélèvements centrés et réduits. Plan I-II des espèces.



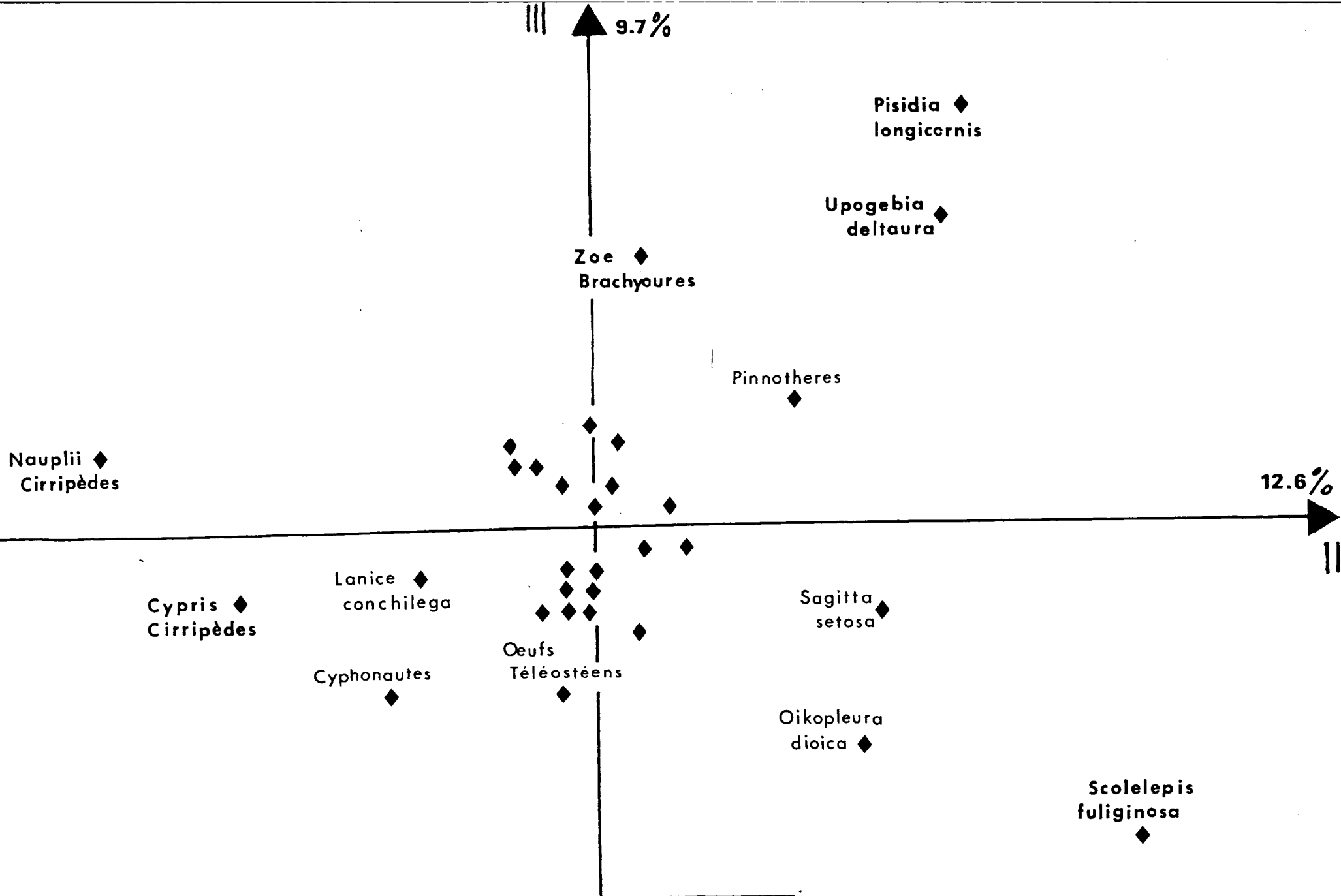


Fig. 29 : Zooplancton. Analyses particulières. Prélèvements centrés et réduits. Plan II-III des espèces.

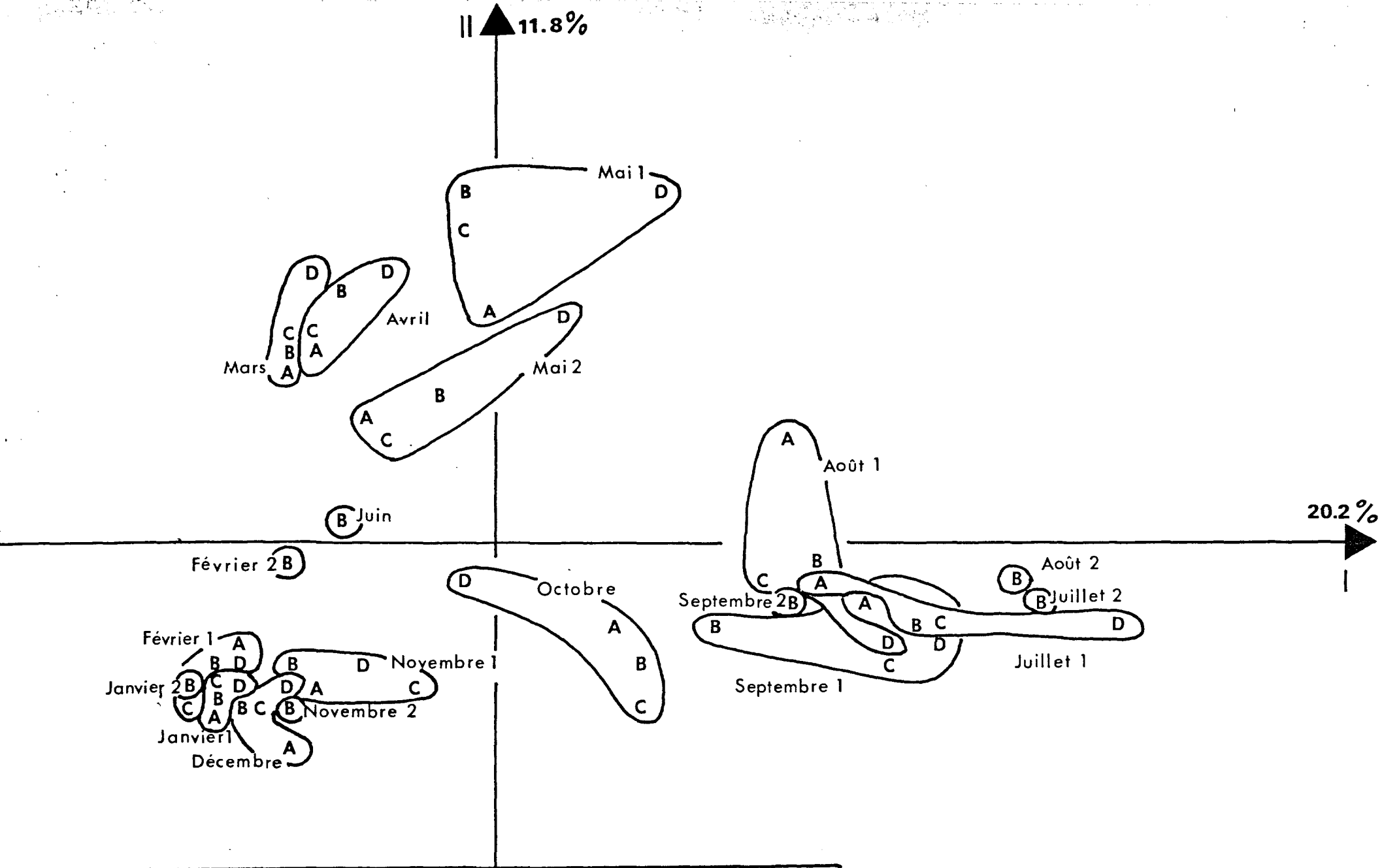


Fig. 30 : Zooplancton. Analyses particulières. Espèces réduites et centrées. Plan I-II des centres de gravité des prélèvements.

Les axes II et III extraient respectivement 12.6 % et 9.7 % de l'inertie totale. L'axe II sépare les campagnes de mars à juin 77 des autres missions et l'axe III divise ce dernier groupe en deux : d'un côté les mois de juillet à octobre 76, de l'autre ceux de novembre 76 à janvier 77 (fig. 28). Seule la campagne de février occupe une position particulière au centre du plan II-III (1). A ce découpage des campagnes en trois parties correspond une répartition des espèces sur le plan dual de celui des prélèvements (fig. 29). Ainsi, de juillet à octobre 76, on remarque l'abondance de *Pisidia longicornis*, *Upogebia deltaura*, Zoe de Brachyours, larves de Pinnothères. La période de novembre 76 à janvier 77 voit l'apparition de *Scolelepis fuliginosa*, *Oikopleura dioïca* et *Sagitta setosa*. Enfin, entre mars et juin 77, les Cirripèdes - *Nauplii* et *Cypris* - sont prédominants mais on note également la présence de *Lanice conchilega* et de Cyphonautes.

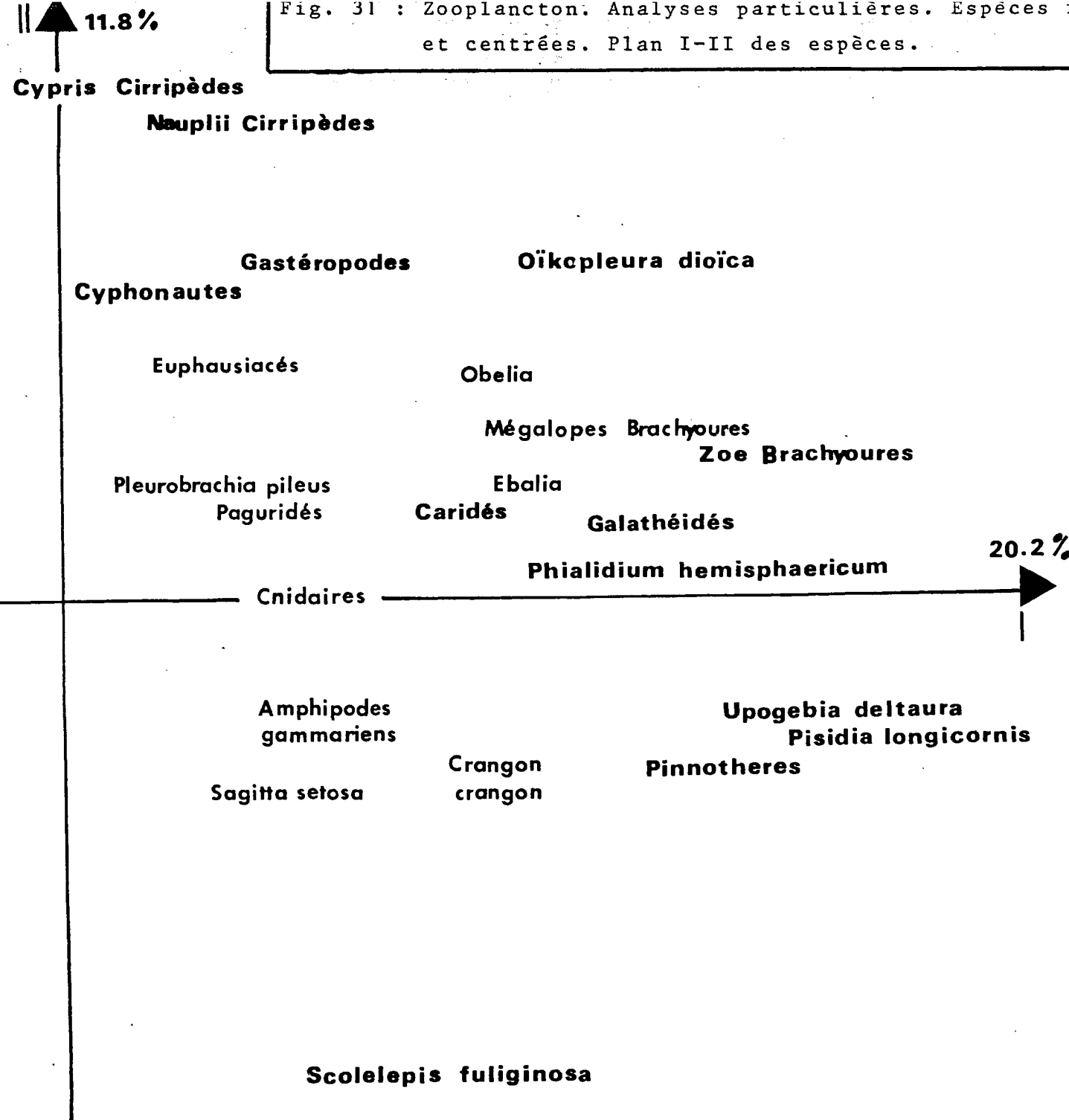
En l'absence de Copépodes, les espèces du méroplancton conservent - bien que d'une façon moins régulière - les grands traits du cycle annuel. Les trois groupes de campagnes mis en évidence précédemment sont ici reconstitués, avec toutefois une homogénéité légèrement plus accentuée à l'intérieur de chacun d'eux. Le plancton temporaire n'ayant une durée de vie que de quelques semaines à deux - trois mois fait ainsi ressortir les périodes où il apparaît, comme beaucoup plus ressemblantes les unes aux autres ; donc, par suite du rapprochement des campagnes correspondantes, les groupes apparaissent plus compacts.

b) Espèces réduites et centrées (fig. 30, 31)

Les deux premiers axes de l'analyse extraient respectivement 20.2 % et 11.8 % de l'inertie totale de l'ensemble des prélèvements (les pourcentages d'inertie exprimés par les axes I et II de l'analyse du même type réalisée sur les 52 espèces étaient 19.9 %

(1) L'axe IV de l'analyse met en évidence la campagne de février et distingue, comme espèce abondante en cette période, les Paguridés ; en revanche, c'est la seule époque de l'année où les Cyphonautes et *Oikopleura dioïca* sont pratiquement inexistantes. Ce résultat n'est pas présenté : il n'apparaît pas d'un intérêt fondamental dans l'étude du zooplancton et relève plutôt du renseignement anecdotique.

Fig. 31 : Zooplancton. Analyses particulières. Espèces réduites et centrées. Plan I-II des espèces.



et 11.6 %). Ce premier plan apporte donc la même information sur le cycle du zooplancton que celui étudié précédemment. L'ordre des campagnes est quelque peu perturbé (fig. 30), l'axe I mettant en évidence les missions de juillet à septembre 76 et l'axe II isolant les campagnes de mars à mai 77. Au premier groupe correspondent les espèces suivantes (fig. 31) : *Pisidia longicornis*, *Utopogebia deltaura*, Zoe de Brachyours, larves de Galatheïdes, de Pinnothères, *Phialidium hemisphaericum*, larves de Carridés principalement. De mars à mai, on retrouve les larves de Cirripèdes (*Nauplii* et *Cypris*), *Lanice conchilega*, larves de Cyphonantes, oeufs de Téléosteens, larves d'Euphausiacées. La période hivernale novembre 76 - février 77 correspond au minimum d'abondance de pratiquement toutes les espèces. Cette analyse n'apporte pas d'information supplémentaire intéressante par rapport à ce que l'on connaissait déjà. Cette concordance entre les cycles du méroplancton et de l'holoplancton atteste la robustesse du schéma général d'évolution du zooplancton en trois périodes.

III. ETUDE DES COPEPODITES

1. Introduction

Pour trois espèces particulièrement importantes du zooplancton (*Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Temora longicornis*), six stades copépodites ont été comptés. Seules deux stations ont été échantillonnées pour les campagnes lourdes (le point D, hors de la tache thermique et le point B, au milieu de la radiale) tandis que les campagnes légères ne comprennent qu'un seul prélèvement au point B.

Il n'est pas apparu intéressant de faire figurer l'analyse des prélèvements centrés et réduits car les effets d'abondance des Copépodites ne sont alors pas annulés ; les variations d'effectif des trois espèces étant déjà connues, il est préférable de centrer et réduire les espèces de façon à mettre en évidence les affinités faunistiques entre les prélèvements.

2. Espèces centrées et réduites (fig. 32 - 37)

Toutes les campagnes s'alignent le long du premier axe selon la densité de population des Copépodites qui y a été enre-

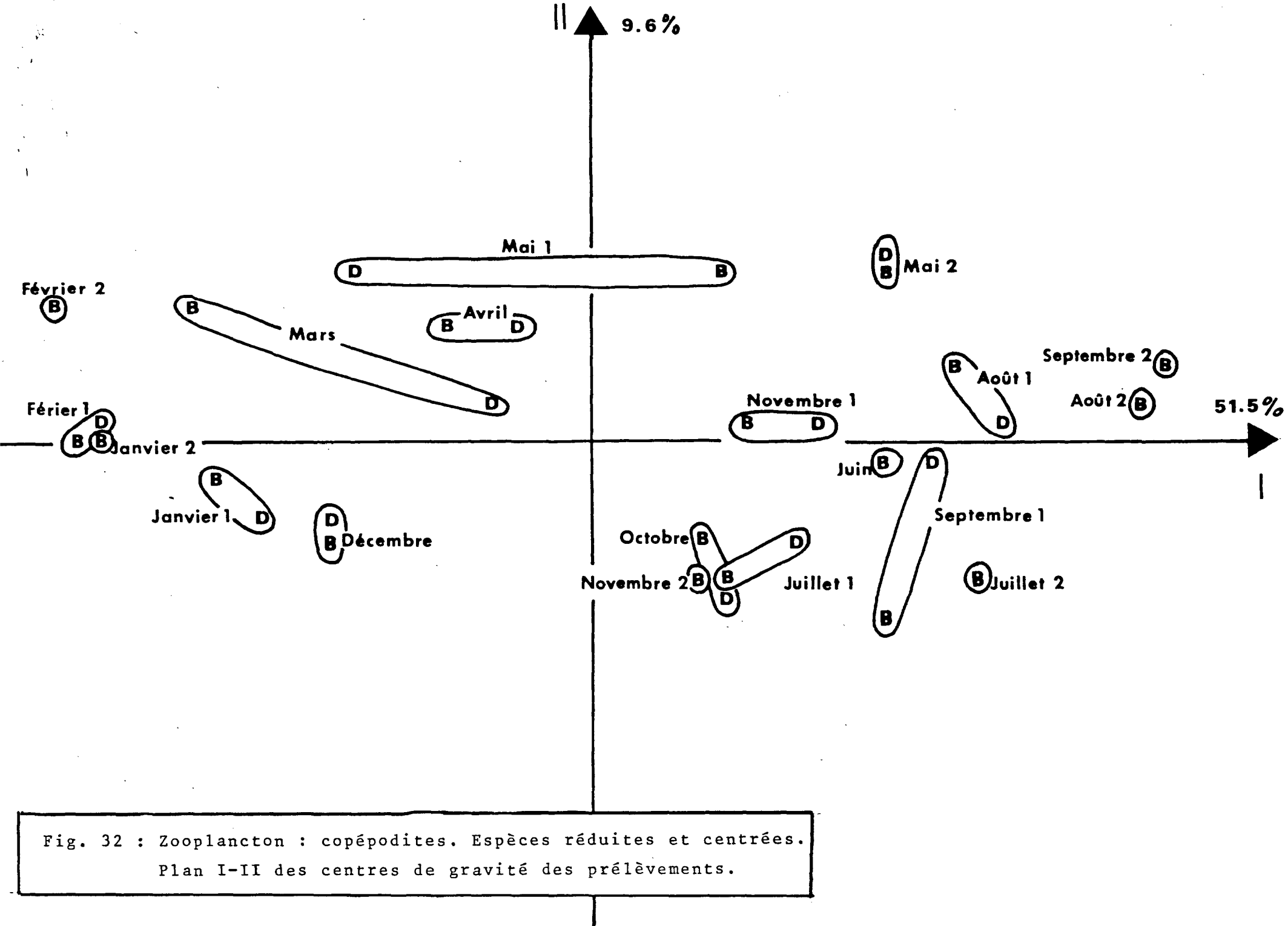


Fig. 32 : Zooplancton : copépodites. Espèces réduites et centrées.
 Plan I-II des centres de gravité des prélèvements.

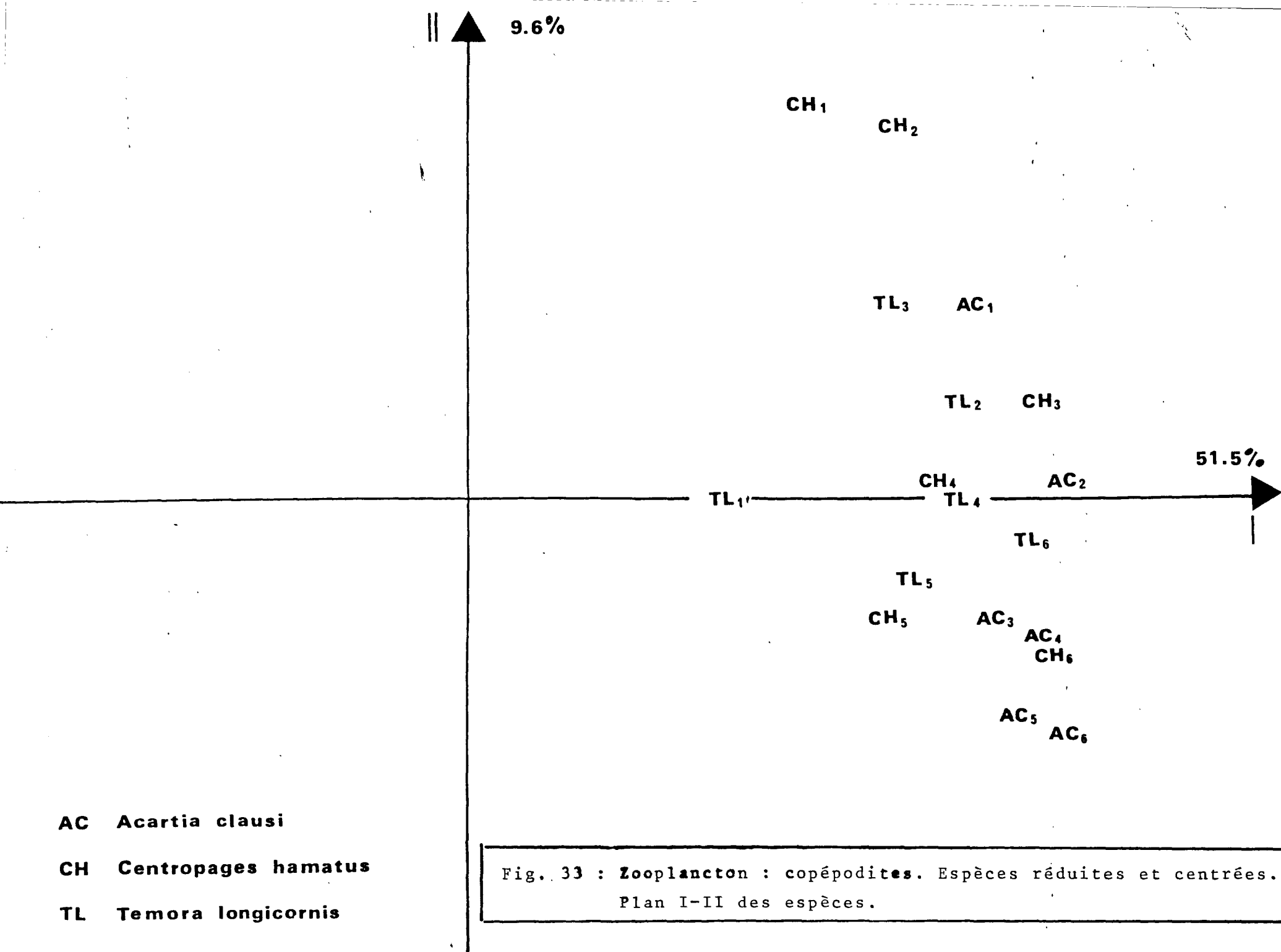


Fig. 33 : Zooplancton : copépodites. Espèces réduites et centrées.
Plan I-II des espèces.

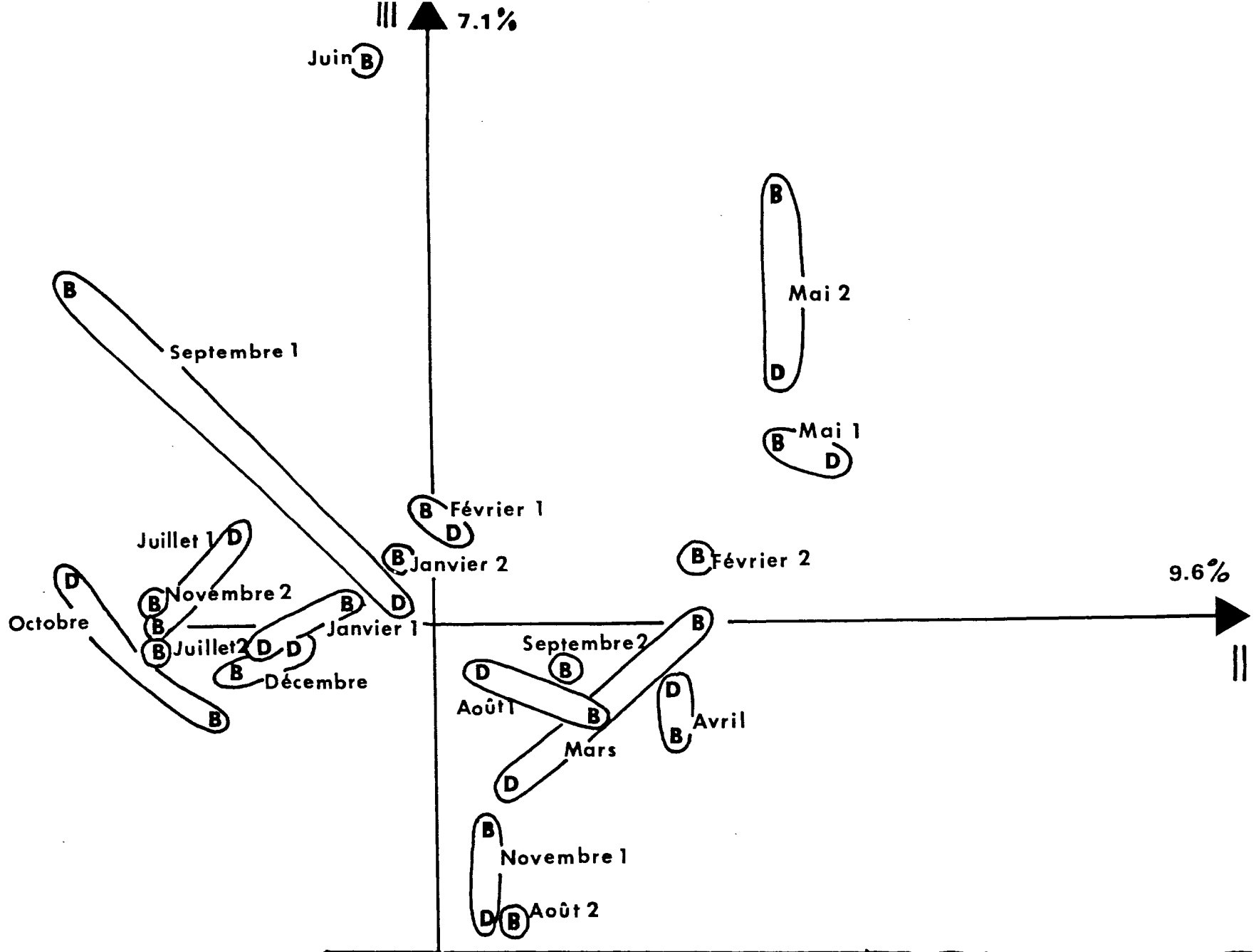


Fig. 34 : Zooplancton : copépodites. Espèces réduites et centrées. Plan II-III des centres de gravité des prélèvements.

gistrée (fig. 32). Celles où les plus forts effectifs de Copépodites ont été dénombrés sont les missions d'août et septembre 77, et d'une façon plus particulière, les deuxièmes campagnes de chacun de ces mois. A l'opposé de celles-ci sur l'axe I, on relève les mois d'hiver, plus précisément janvier et février 77, durant lesquels les peuplements sont les plus pauvres de l'année. Entre ces deux extrêmes se situent toutes les autres campagnes.

Etant centrées et réduites, les profils d'évolution annuelle de toutes les espèces sont très semblables. Elles apparaissent, ainsi, plus ou moins groupées au pôle positif de l'axe I (fig. 33). Le taux d'inertie extrait par cet axe, 51.5 %, précise la prépondérance de ce trait commun à tous les stades copépodites par rapport aux variations dans le temps, propres à chacun d'entre eux.

Le deuxième axe (fig. 34, 35) met en évidence la période avril - mai 77 ainsi que la seconde mission de février. C'est l'époque d'abondance de *Centropages hamatus* 1 et 2 (1) (pourcentage d'inertie extrait : 9.6 %).

L'axe III (fig. 34, 35) révèle que les copépodites *Temora longicornis* 2, 3, 4 et 5 ont une densité maximale fin mai, début juin. Il semble n'en être pas de même pour les premier et sixième stades de cette même espèce.

Temora longicornis 1 s'oppose à *Centropages hamatus* 4 sur le quatrième axe (contributions respectives à l'inertie de cet axe : 59.7 % et 19.9 %) (fig. 36). Le premier enregistre les effectifs les plus importants fin juillet et fin août tandis que le second est plus abondant en novembre. D'autre part, il apparaît, sur le plan II - IV, une certaine distinction entre les stations B et D : celle-là semble plus riche en *Temora longicornis* 1 que celle-ci, particulièrement en mars - avril et juillet - août (fig. 37).

(1) On note de cette façon les stades copépodites pour les différentes espèces : par exemple *Centropages hamatus* 3 est le troisième stade copépodite de *Centropages hamatus* (en abrégé, CH 3 sur les graphiques).

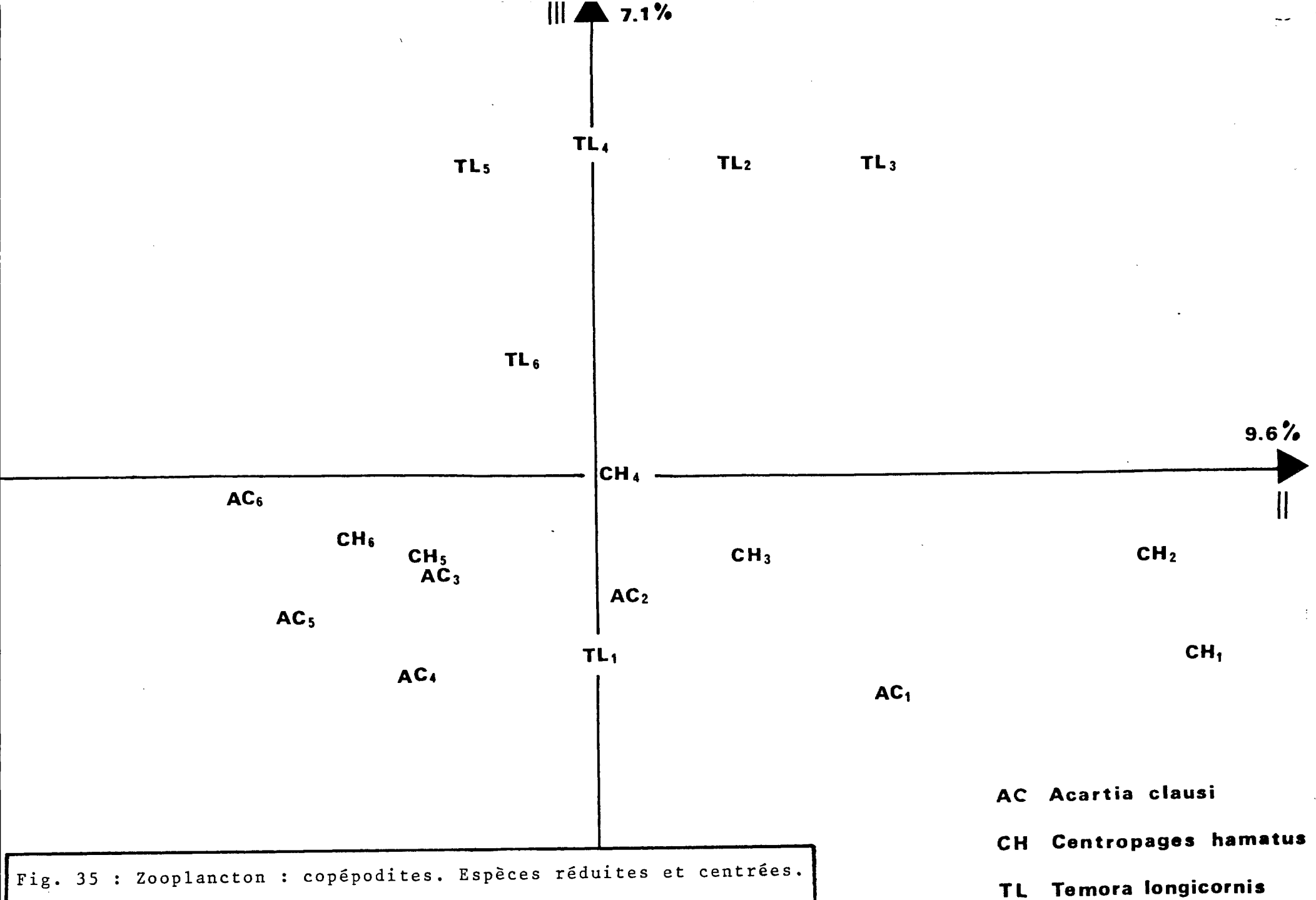
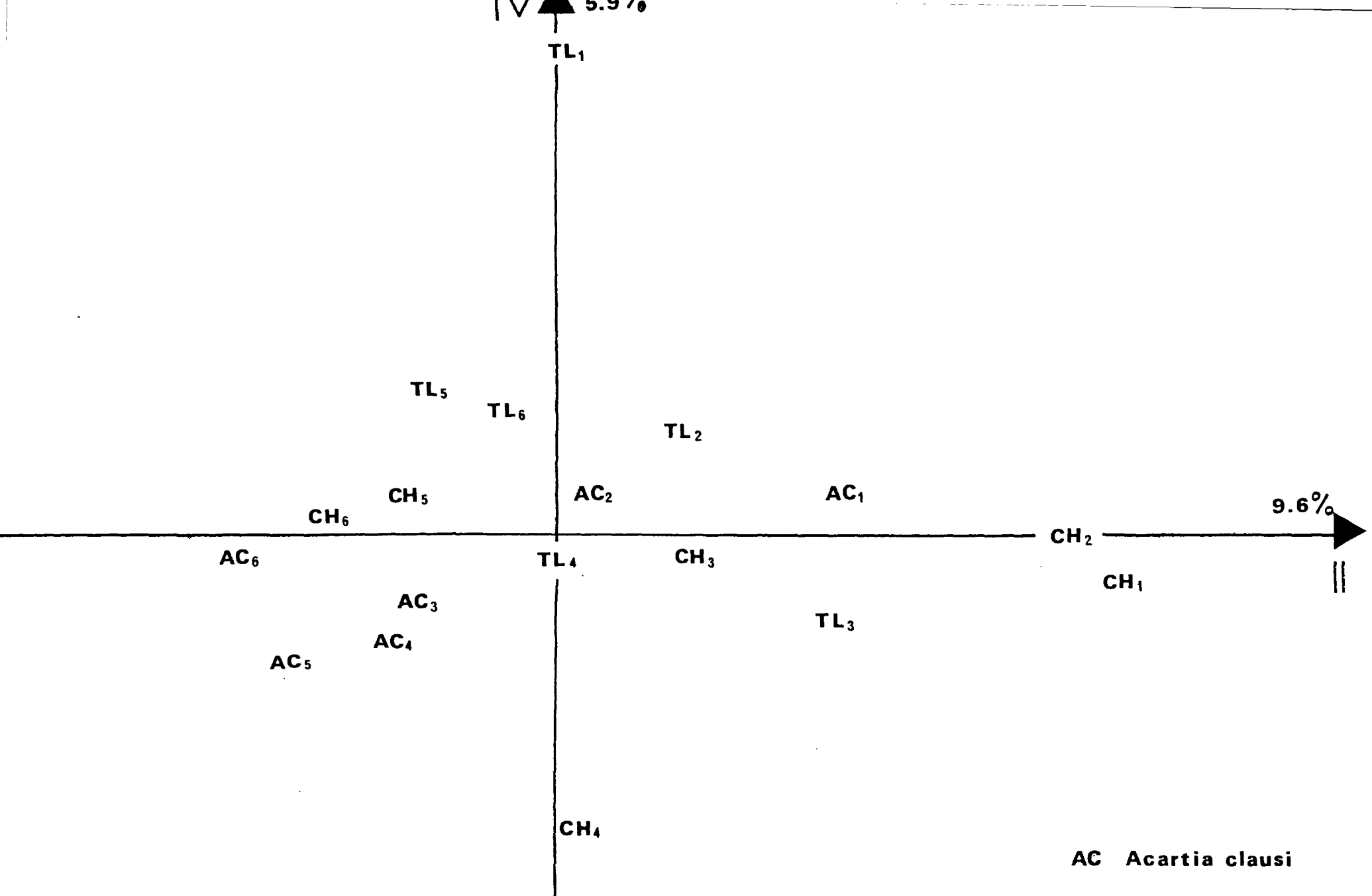


Fig. 35 : Zooplancton : copépodites. Espèces réduites et centrées.
 Plan II-III des espèces.



AC *Acartia clausi*
 CH *Centropages hamatus*
 TL *Temora longicornis*

Fig. 36 : Zooplancton : copépodites. Espèces réduites et centrées.
 Plan II-IV des espèces.

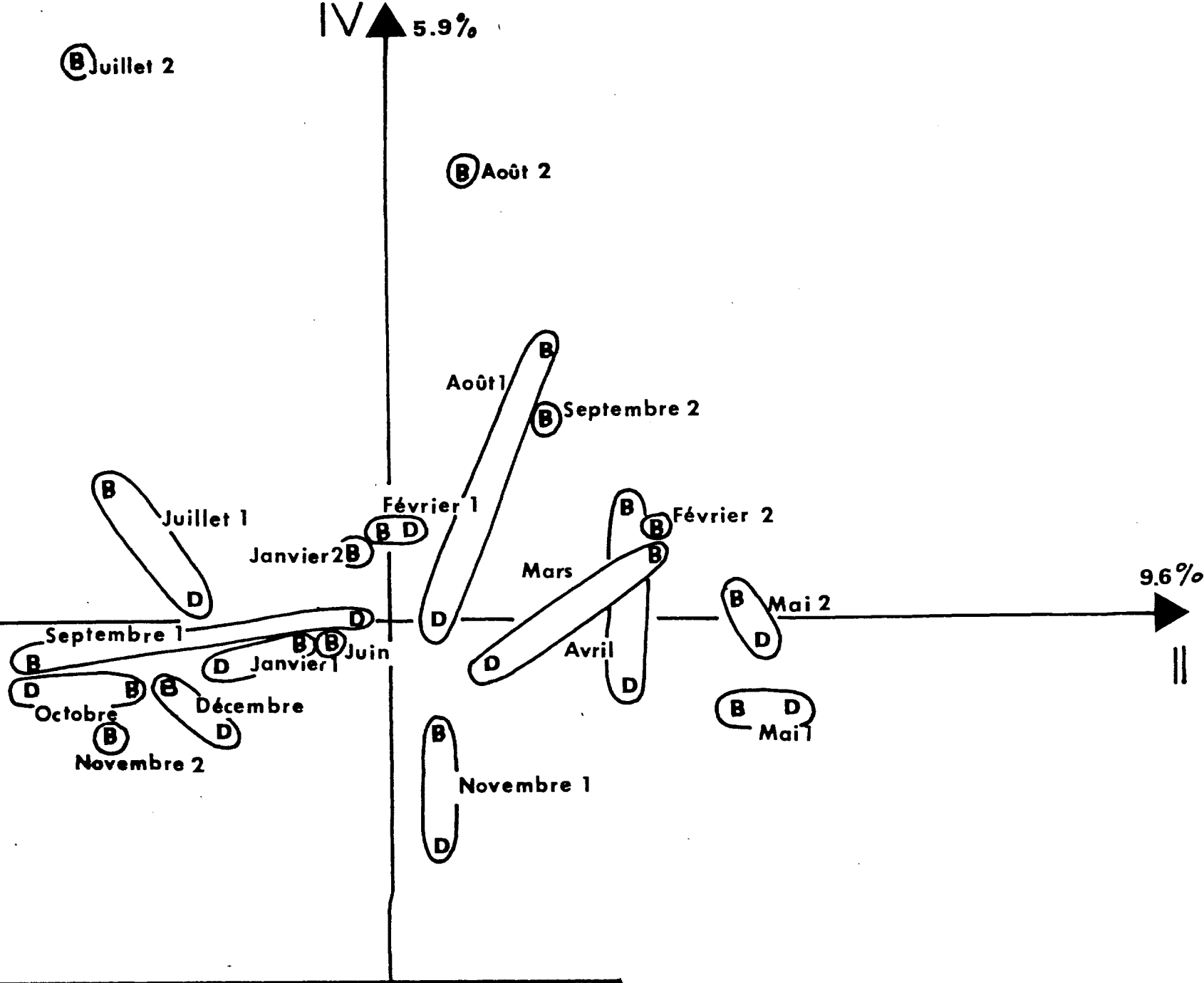


Fig. 37 : Zooplancton : copépodites. Espèces réduites et centrées.
Plan II-IV des centres de gravité des prélèvements.

IV. CONCLUSION

Le cycle annuel du zooplancton présente deux aspects d'inégale importance :

- un contingent d'espèces présentes toute l'année et dont les effectifs sont prépondérants par rapport à ceux des autres espèces. Ce sont essentiellement des Copépodes (*Pseudocalanus minutus*, *Acartia clausi*, *Paracalanus parvus*, *Centropages hamatus*), et *Oikopleura dioica*. Ceci constitue la principale caractéristique du cycle annuel zooplanctonique.
- une évolution de la composition faunistique du milieu liée aux apparitions et disparitions d'espèces moins abondantes. Elle détermine une succession des campagnes, régulière dans le temps, et en particulier, durant la saison d'hiver. Il apparaît ainsi un découpage de l'année en trois périodes relativement distinctes : juillet - octobre, novembre - janvier et mars - juin.

L'étude des espèces méroplanctoniques montre que le cycle annuel est recréé, mais d'une façon moins régulière. La stabilité du contingent faunistique au long de l'année est mise en évidence moins clairement mais les évolutions annuelles sont conservées. Les trois périodes principales du cycle annuel sont plus accentuées.

L'analyse des stades copépodites de trois espèces du zooplancton met en évidence la saison d'été (août - septembre), particulièrement favorable au développement des copépodites. Il apparaît ensuite quelques traits particuliers aux campagnes d'avril, mai et juin ; la période hivernale reste, quant à elle, uniformément pauvre relativement à ces espèces.

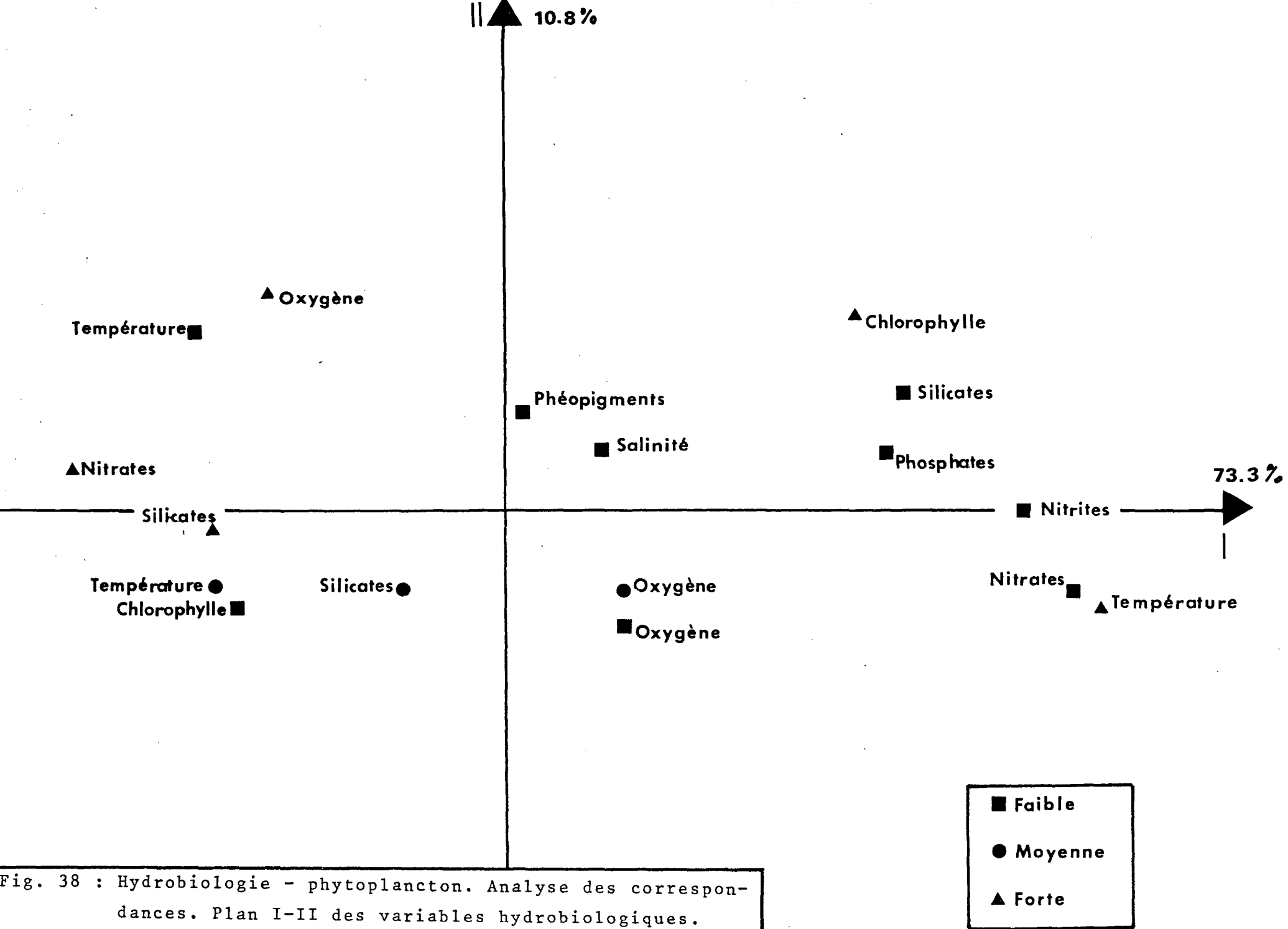


Fig. 38 : Hydrobiologie - phytoplancton. Analyse des correspondances. Plan I-II des variables hydrobiologiques.

C H A P I T R E I V

RELATIONS HYDROBIOLOGIE - PLANCTON

1. Introduction

Le but des études qui suivent est de mettre en évidence les relations qui sont susceptibles d'exister entre les variables décrivant la situation hydrobiologique du milieu et les espèces du plancton. Trois analyses sont ainsi présentées : la première correspond à l'étude conjointe de l'hydrobiologie et du phytoplancton, la seconde met en liaison l'hydrobiologie et le zooplancton, la troisième réunit les espèces du phyto et du zooplancton.

Pour chaque variable hydrobiologique, l'histogramme de tous les prélèvements est construit et détermine trois classes d'effectifs approximativement égaux. Chaque variable engendre ainsi trois modalités correspondant, respectivement, aux valeurs faibles, moyennes et fortes de la variable considérée. Pour chaque prélèvement, on attribue le nombre 1 à la modalité qui se rapporte à la classe contenant ce prélèvement et 0 aux deux autres.

On opère de la même façon pour chaque espèce planctonique ; après avoir obtenu son histogramme, on bâtit trois classes : la première contient tous les prélèvements dans lesquels cette espèce est absente et les deux autres sont constituées, avec des effectifs égaux, à partir des prélèvements restants. En croisant chaque variable hydrobiologique avec chaque espèce planctonique, on obtient un tableau de contingence qui comporte ainsi trois fois plus de lignes et de colonnes qu'il n'y a de variables et d'espèces à analyser. On convient d'utiliser une distance du X^2 entre les lignes et entre les colonnes, ce qui revient à effectuer une analyse des correspondances sur le tableau de contingence.

2. Hydrobiologie - phytoplancton (fig. 38 - 41)

L'analyse des inter-relations hydrobiologie - phytoplancton ne nécessite pas de prendre toutes les espèces phytoplanctoniques. En effet, toutes ne participent pas à l'établissement du cycle annuel (tel qu'il apparaît sur la fig. 13) ou ont des variations semblables à certaines plus abondantes. Nous n'avons donc retenu que 23 espèces parmi les plus contributives à la définition des axes II et III (cf. chap. II, 1°). Il leur correspond 69 variables qui, croisées avec les 27 modalités des 9 variables hydrobiologiques, engendrent un tableau de contingence ; celui-ci est étudié à l'aide d'une analyse des correspondances.

Le premier axe extrait 73.3 % de l'inertie totale. Il oppose les fortes températures ainsi que les faibles teneurs en nitrates et nitrites aux modalités inverses de ces mêmes variables (somme des contributions à l'inertie de l'axe I : 53.8 %) (fig. 38). Cette opposition température - nitrates est, de beaucoup, la plus importante des variations hydrobiologiques et le pourcentage d'inertie élevé, 73.3 %, quantifie cette variabilité. Durant la saison chaude, on enregistre les abondances de plusieurs espèces (fig. 39) : des *Nitzschia* (*seriata* et *delicatissima*), des *Rhizosolenia* (*delicatula* et *fragilissima*), des *Thalassiosira* (*gravida* et *decipiens*) et *Chaetoceros curvisetum*. En revanche, c'est la période où *Coscinodiscus* et *Thalassiosira rotula* sont absentes.

L'axe II groupe d'un même côté les fortes teneurs en oxygène et chlorophylle (contribution de ces deux modalités à l'inertie du deuxième axe : 30.1 %) (fig. 38). Il met ainsi en évidence le bloom phytoplanctonique avec, comme espèces principalement abondantes (fig. 39) : *Lauderia borealis*, *Cerataulina pelagica*, *Asterionella japonica*, *Ditylum brightwellii*, *Navicula pelagica* ; opposée à celles-ci, on note l'abondance de *Biddulphia alternans* dont les effectifs varient ainsi de façon inverse à ceux des précédentes espèces.

Le troisième axe oppose les modalités "faibles et moyens" taux d'oxygène dissous (somme des contributions à l'inertie de l'axe III : 34.3 %) (fig. 40). Dans un milieu peu oxygéné, on remarque l'abondance de *Biddulphia alternans* et des densités moyennes

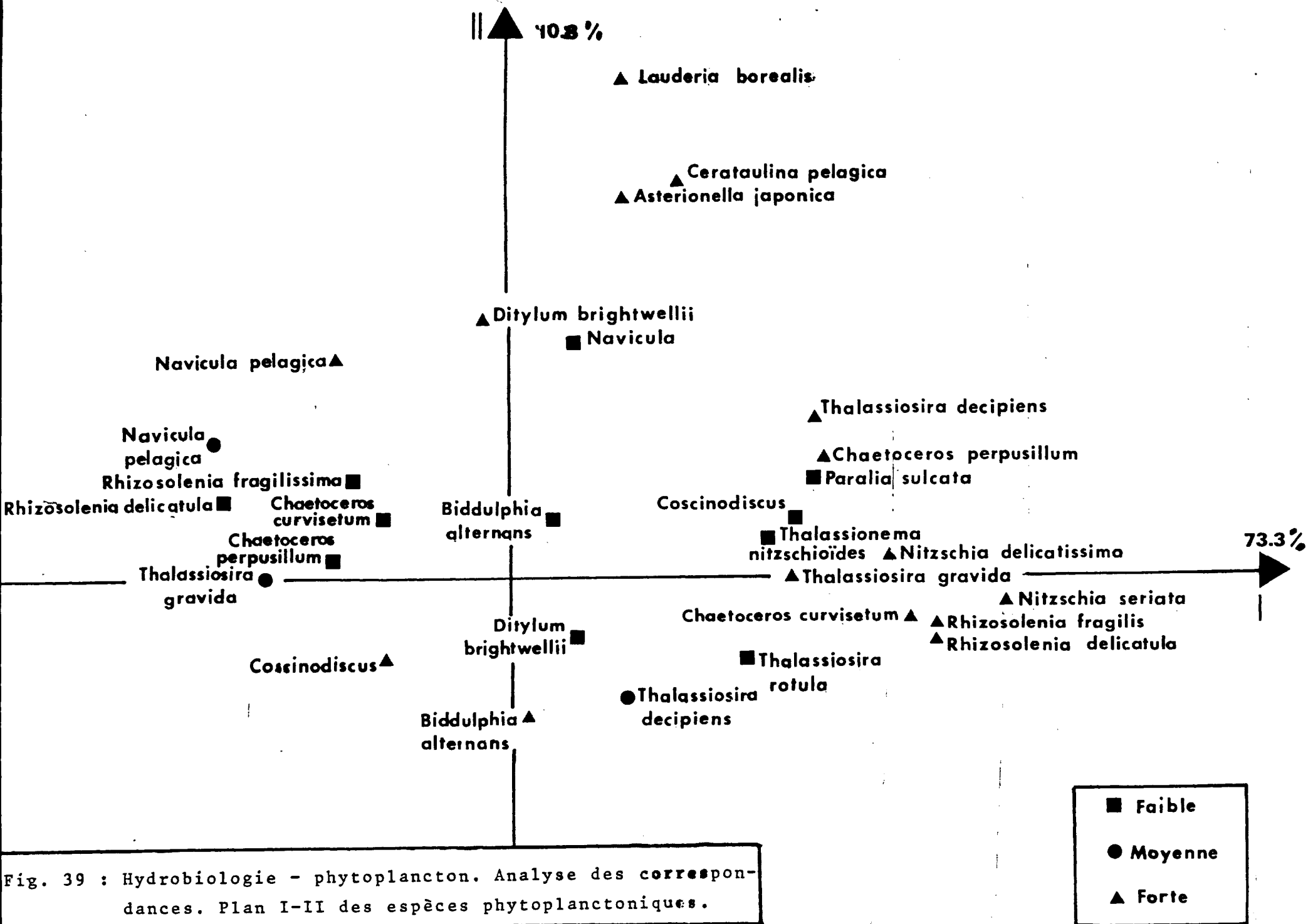


Fig. 39 : Hydrobiologie - phytoplancton. Analyse des correspondances. Plan I-II des espèces phytoplanctoniques.

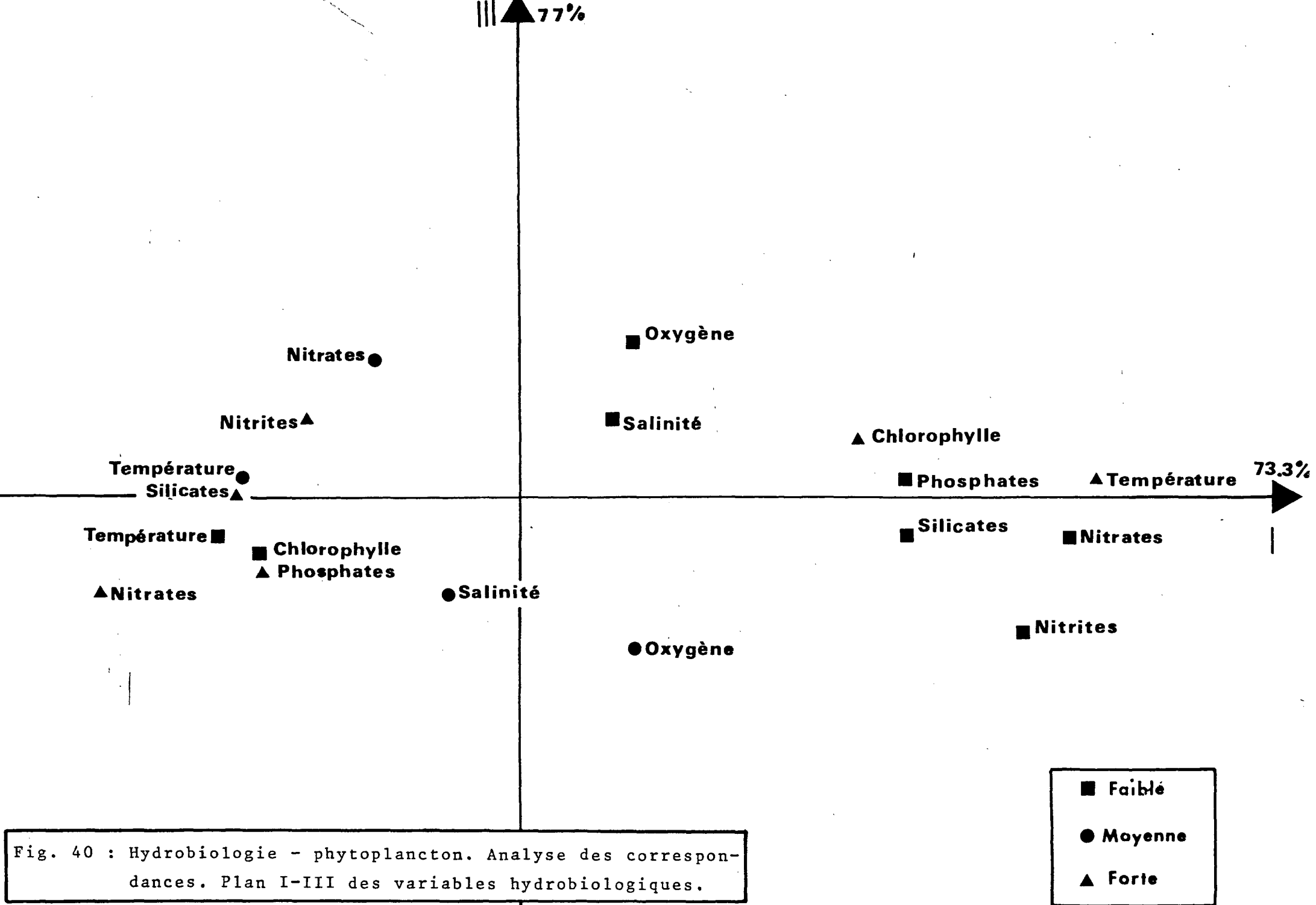


Fig. 40 : Hydrobiologie - phytoplancton. Analyse des correspondances. Plan I-III des variables hydrobiologiques.

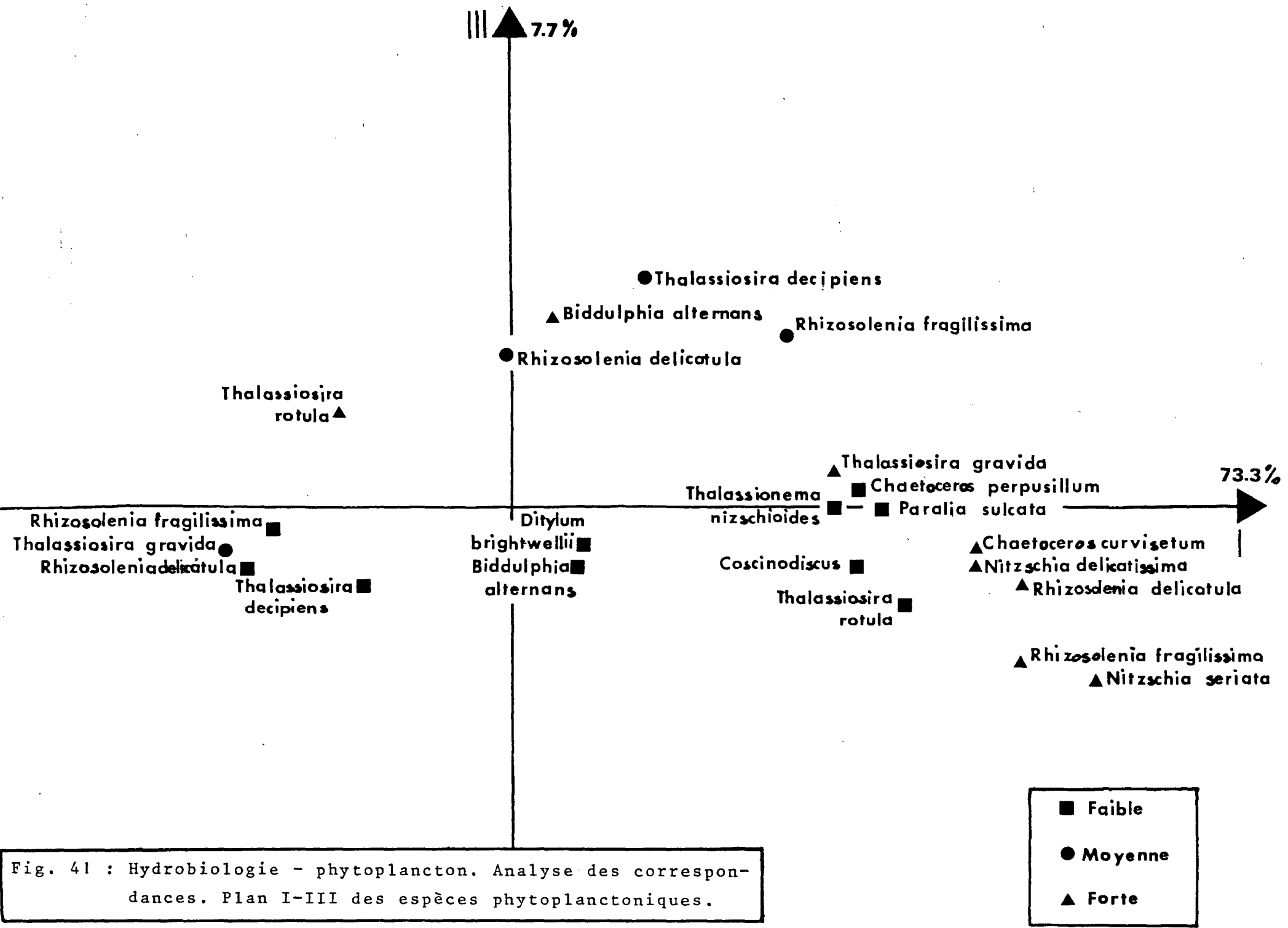


Fig. 41 : Hydrobiologie - phytoplancton. Analyse des correspondances. Plan I-III des espèces phytoplanctoniques.

■	Faible
●	Moyenne
▲	Forte

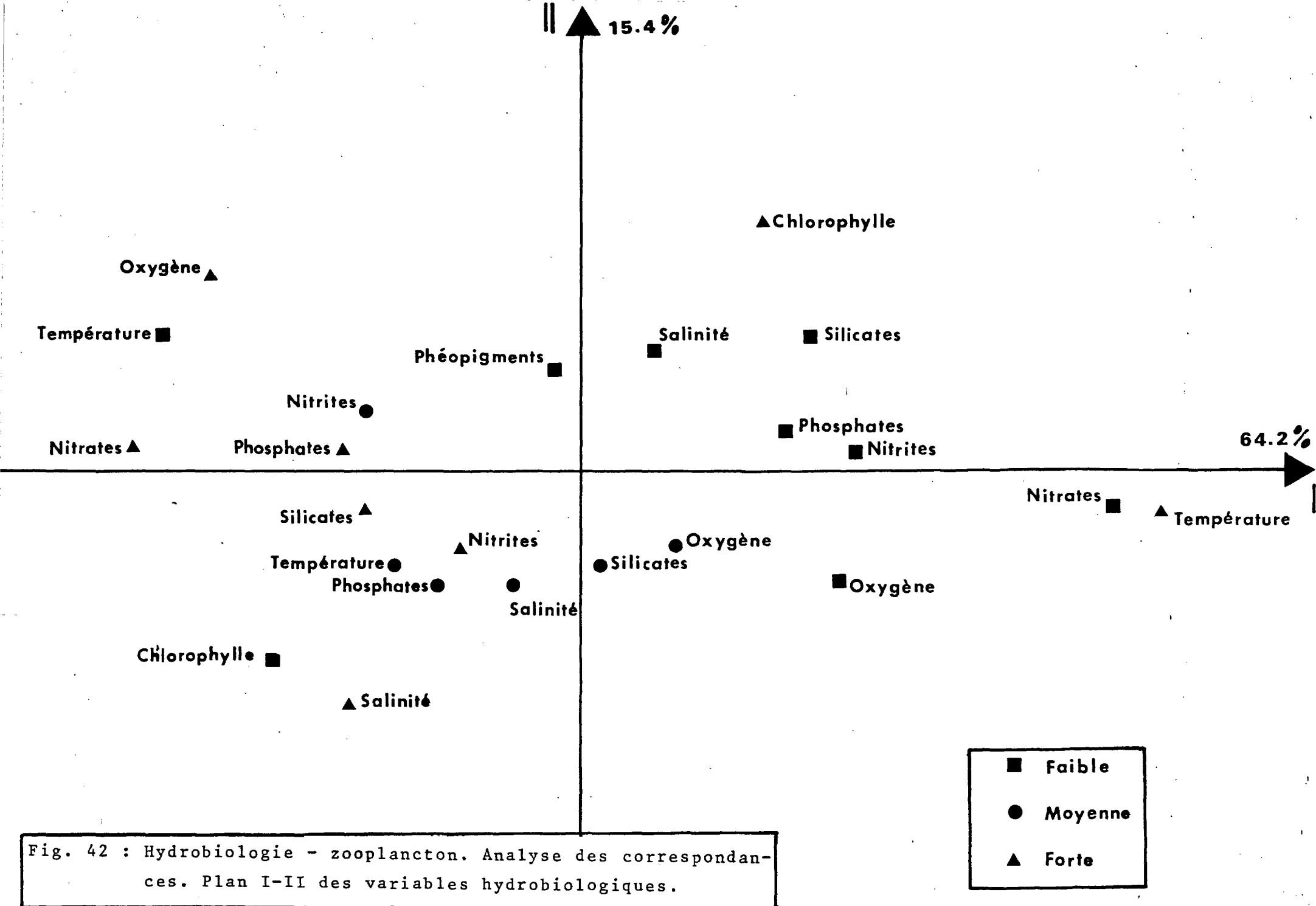


Fig. 42 : Hydrobiologie - zooplancton. Analyse des correspondances. Plan I-II des variables hydrobiologiques.

■	Faible
●	Moyenne
▲	Forte

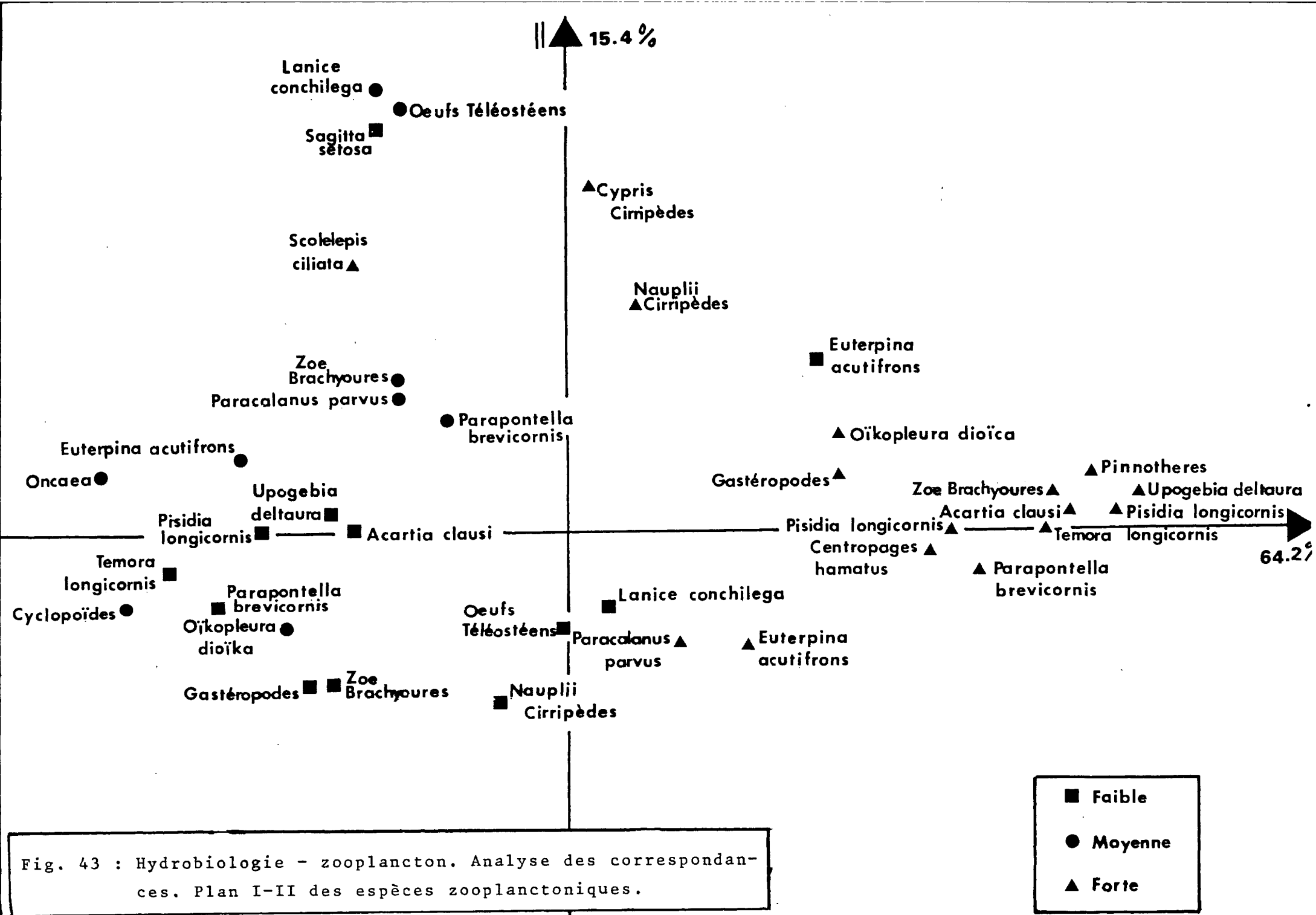


Fig. 43 : Hydrobiologie - zooplancton. Analyse des correspondances. Plan I-II des espèces zooplanctoniques.

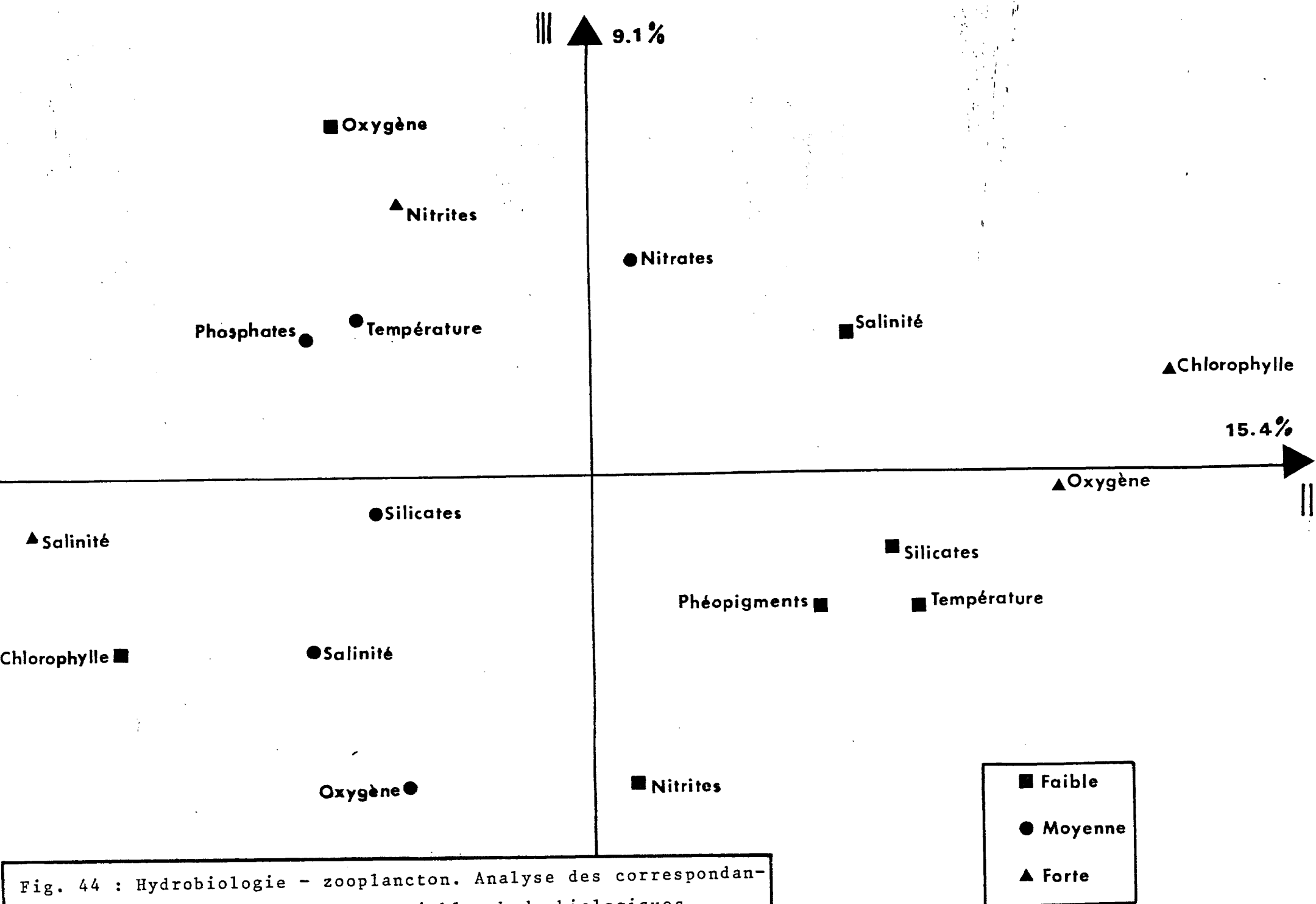


Fig. 44 : Hydrobiologie - zooplancton. Analyse des correspondances. Plan II-III des variables hydrobiologiques.

d'effectifs pour *Thalassiosira decipiens*, *Rhizosolenia fragilis-sima* et *Rhizosolenia delicatula* (fig. 41).

3. Hydrobiologie - zooplancton (fig. 42 - 45)

Pour l'étude des relations entre le zooplancton et l'hydrobiologie du site, il est apparu nécessaire de réduire le nombre d'espèces zooplanctoniques. En effet, toutes n'apportent pas une information intéressante sur le déroulement du cycle annuel ou bien sont redondantes par rapport à certaines espèces plus abondantes. Nous avons donc utilisé les résultats de la première analyse générale des 52 espèces (cf. chap. III, I, 1°, les prélèvements sont centrés et réduits, les espèces gardent leurs variations d'abondance) et retenu, pour l'analyse, 23 espèces dont les contributions aux axes II et III (le plan II-III décrit le cycle annuel du zooplancton, fig. 29) étaient les plus importantes. Ces 23 espèces engendrent 69 variables ; elles sont croisées avec les 27 modalités des 9 variables hydrobiologiques. Le tableau de contingence qui en résulte est étudié à l'aide d'une analyse des correspondances.

Le premier axe extrait 64.2 % de l'inertie totale. Ce fort pourcentage indique que la variation enregistrée le long de cet axe est fondamentale dans l'étude des relations entre le zooplancton et l'hydrobiologie. Les variables hydrobiologiques les plus contributives à l'inertie de cet axe (fig. 42) sont la température et les nitrates avec, au pôle positif, les valeurs fortes des températures (contribution : 19.4 %) et faibles des nitrates (16.5 %) et au pôle négatif, les modalités opposées de ces deux variables : basses températures (9.5 %) et teneurs importantes en nitrates (10.7 %). Sur le plan des espèces zooplanctoniques (fig. 43), le premier axe regroupe à son extrémité positive les caractères "abondance" de certaines espèces : *Upogebia deltaura*, *Pisidia longicornis*, *Temora longicornis*, *Acartia clausi*, *Brachyourses zoe*, *Parapontella brevicornis*, *Centropages hamatus*. A l'opposé, sur l'axe I, on trouve les caractères "absence" de ces principales espèces. Le premier axe met ainsi en évidence de façon très nette la saison chaude qui est, pour un grand nombre d'espèces, la période la plus favorable à leur développement.

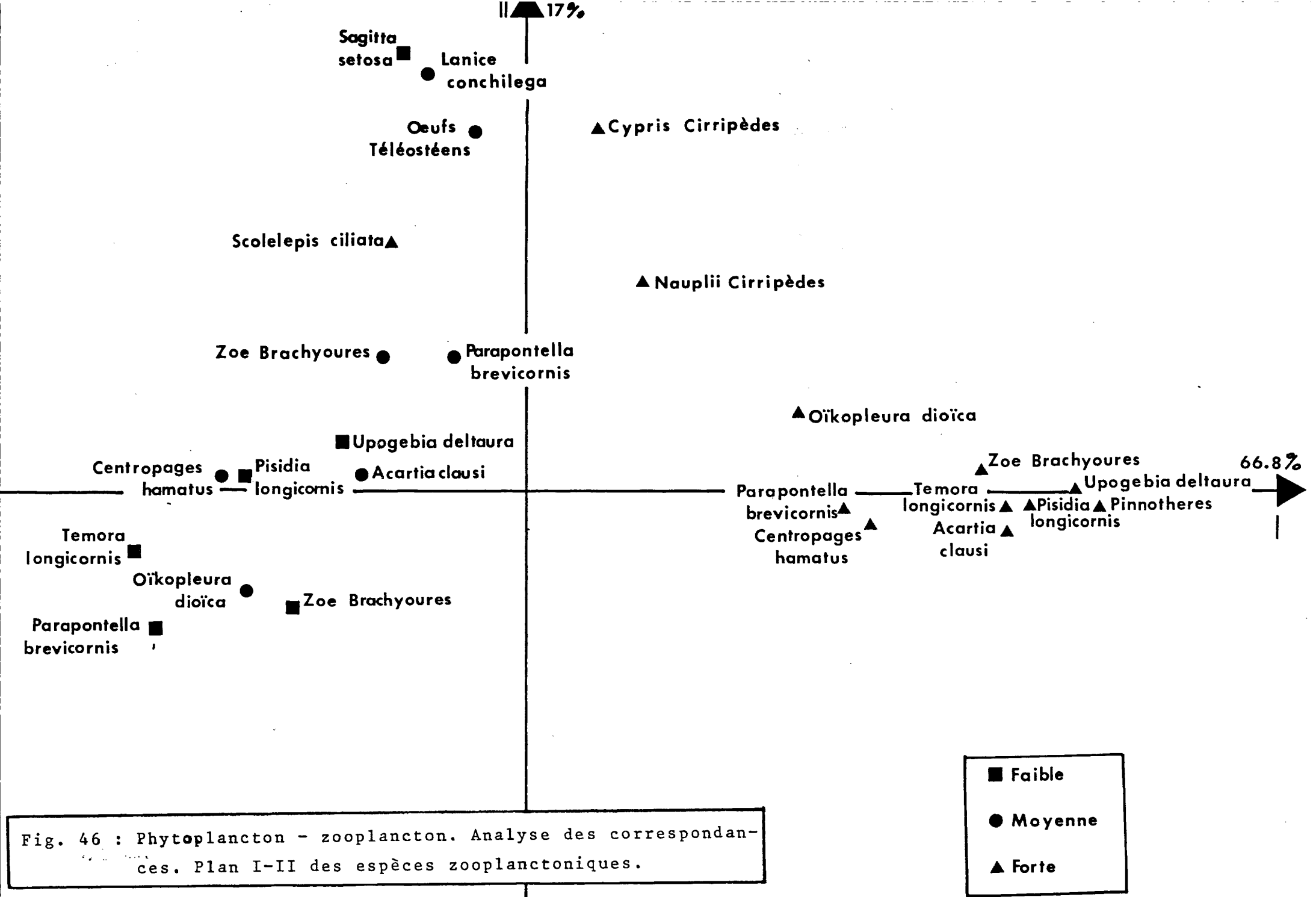


Fig. 46 : Phytoplancton - zooplancton. Analyse des correspondances. Plan I-II des espèces zooplanctoniques.

Le pourcentage d'inertie extrait par l'axe II est 15.4 % . C'est l'axe de la chlorophylle (fig. 42) : il oppose les deux modalités faibles et fortes teneurs en chlorophylle qui contribuent respectivement à 13.8 % et 19.7 % de l'inertie du premier axe. Les fortes densités de chlorophylle s'accompagnent de valeurs importantes pour l'oxygène dissous (la modalité correspondante contribue à 12.8 % de l'inertie du deuxième axe). C'est la période où les Cirripèdes (*Cypris* et *Nauplii*) sont très abondants et *Sagitta setosa* pratiquement inexistante (fig. 43) ; quant aux oeufs de Téléostéens et à *Lanice conchilega*, les effectifs sont moyennement importants. L'axe II fait donc apparaître l'époque du bloom phytoplanctonique (mois de mars - avril - mai) avec les espèces zooplanctoniques caractéristiques de cette période.

L'axe III (pourcentage d'inertie : 9.1 %) oppose les modalités faibles et moyennes d'oxygène ainsi que les valeurs extrêmes des nitrites (somme des contributions à l'inertie de cet axe : 31.2 %) (fig. 44). Les faibles taux d'oxygène et les fortes valeurs de nitrites correspondent à une période d'abondance pour les Cyclopoïdes, les Cyphonautes et *Euterpina acutifrons* (fig. 45). En revanche, cette dernière espèce est absente dans des eaux pauvres en nitrites et de teneur en oxygène moyenne.

4. Phytoplancton - zooplancton (fig. 46 - 49)

Pour l'analyse conjointe du phyto et du zooplancton, ont été retenues les espèces qui avaient participé aux analyses précédentes avec l'hydrobiologie. Chacun des groupes de 23 espèces engendre un ensemble de 69 caractères ; le tableau croisé de ces paramètres est étudié à l'aide d'une analyse des correspondances.

Le premier axe de l'analyse extrait 66.8 % de l'inertie totale du nuage des points. Il groupe au pôle positif les caractères "abondance" de quelques espèces zooplanctoniques (fig. 46) : *Upogebia deltaura*, Pinnothères, *Pisidia longicornis*, *Acartia clausi*, Zoe de Brachyours, *Temora longicornis*, *Parapontella brevicornis*, *Centropages hamatus*. Opposées à celles-ci sur l'axe I, on trouve les modalités "absence" ou "faible abondance" de ces espèces. Sur le plan dual des espèces phytoplanctoniques (fig. 47), le premier axe groupe également les caractères "abondance" de certaines espèces

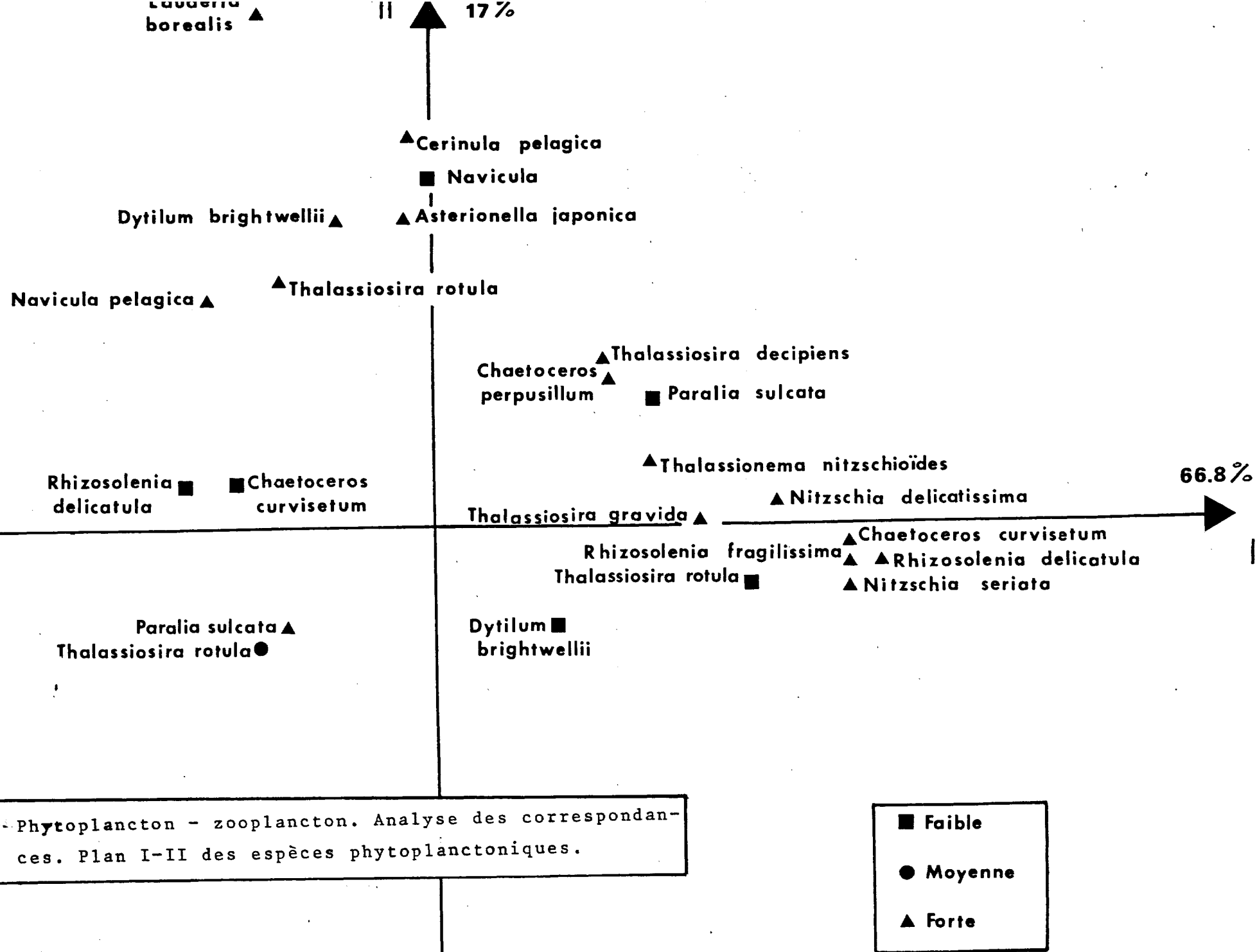


Fig. 47: Phytoplankton - zooplankton. Analyse des correspondances. Plan I-II des espèces phytoplanktoniques.

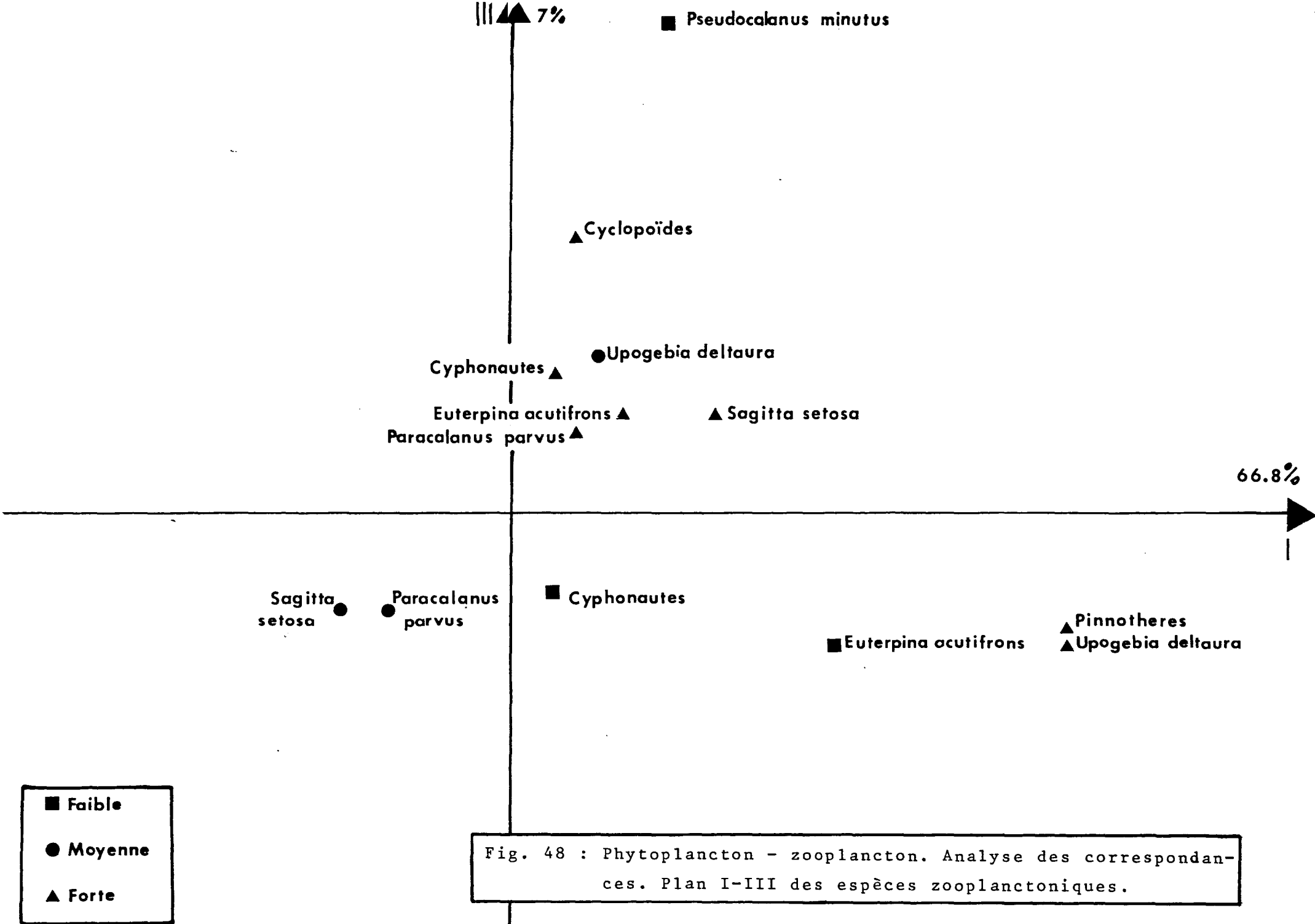
■ Faible
 ● Moyenne
 ▲ Forte

Rhizosolenia (delicatula et fragilissima), *Nitzschia (seriata et delicatissima)*, *Chaetoceros curvisetum*, *Thalassiosira gravida*. Il apparaît ainsi que l'axe I met en évidence les espèces caractéristiques de la saison chaude, tant en phytoplancton qu'en zooplancton.

L'axe II extrait 17 % de l'inertie totale de l'ensemble des points. Il fait ressortir la période d'abondance des larves de Cirripèdes (*Nauplii* et *Cypris*) qui est aussi celle où *Sagitta setosa* est inexistante tandis que *Lanice conchilega* et les oeufs de Téléostéens enregistrent des effectifs moyens (fig. 46). En ce qui concerne le phytoplancton (fig. 47), on observe l'abondance de *Lauderia borealis*, *Ditylum brightwellii*, *Asterionella japonica*, *Thalassiosira rotula*, *Navicula pelagica*. L'axe II met ainsi en relief le bloom phytoplanctonique printanier.

Le troisième axe oppose les modalités "abondance" de *Sagitta setosa*, *Euterpina acutifrons*, *Paracalanus parvus*, larves de Cyphonautes et de Cyclopoïdes à celles correspondant aux effectifs moyens de *Sagitta setosa* et *Paracalanus parvus* (fig. 48). Sur le plan dual des espèces phytoplanctoniques (fig. 49), il apparaît, d'un côté, les caractères "faible abondance" de *Thalassiosira decipiens*, *Rhizosolenia fragilissima*, *Nitzschia seriata*, *Rhizosolenia delicatula* et de l'autre, les modalités "absence" de *Thalassiosira decipiens* et *Biddulphia alternans*. On peut y voir, sous-jacente, l'influence de l'oxygène telle qu'elle apparaissait dans les deux premières analyses.

Cette analyse met donc en évidence les principaux traits des peuplements phyto et zooplanctoniques tels qu'ils étaient apparus dans les deux précédentes études. L'influence de la température, des nitrates, de la chlorophylle et de l'oxygène se révèle ici d'une façon claire en associant les espèces principales des contingents floristiques et faunistiques apparues durant les temps forts de l'évolution hydrobiologique du milieu.



|||▲ 7%

■ Pseudocalanus minutus

▲ Cyclopoïdes

Cyphonautes ▲ ● Upogebia deltaura

Euterpina acutifrons ▲ ▲ Sagitta setosa
 Paracalanus parvus ▲

66.8%

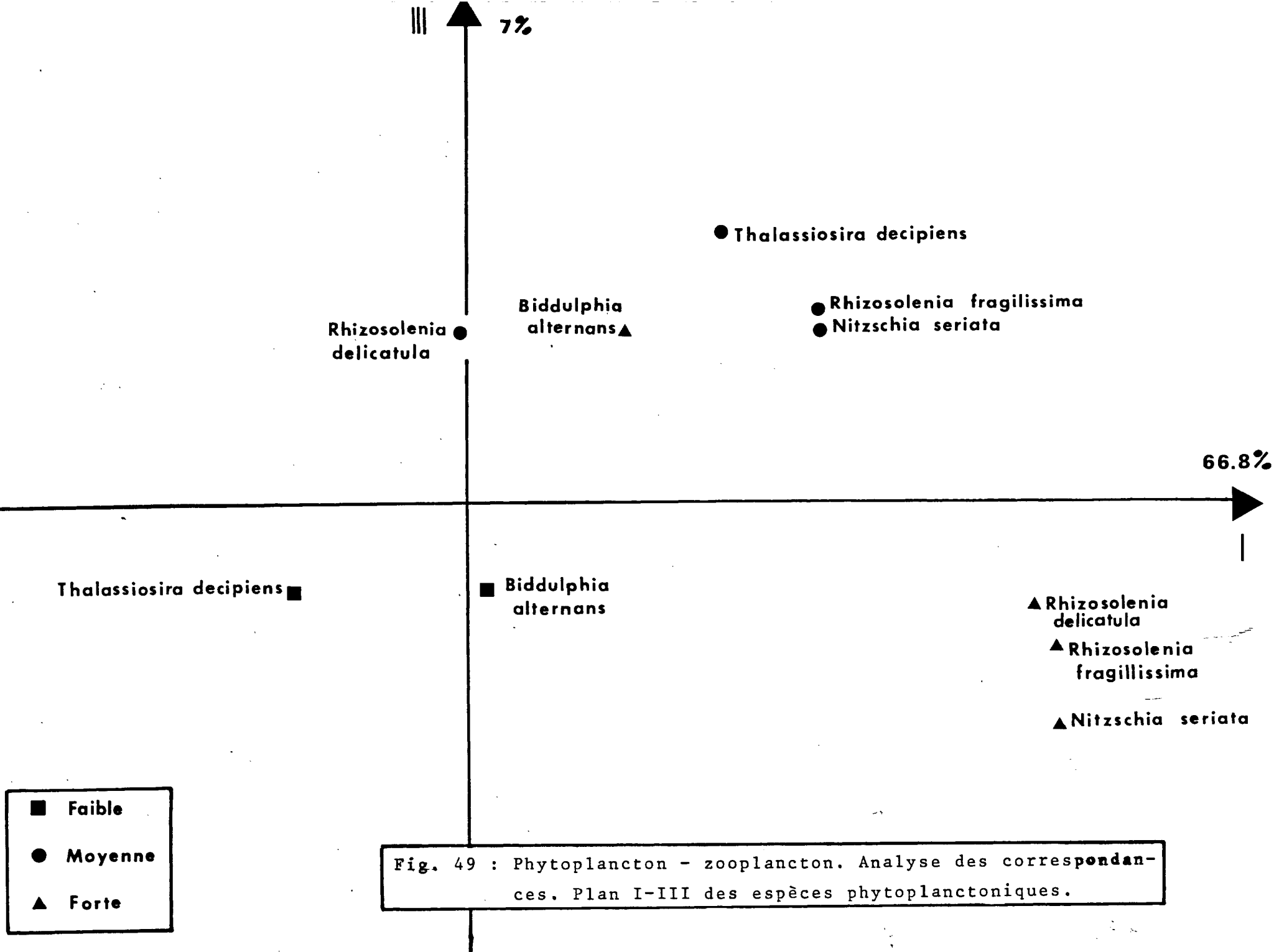
Sagitta setosa ●

Paracalanus parvus ●

■ Cyphonautes

■ Euterpina acutifrons

▲ Pinnotheres
 ▲ Upogebia deltaura



C H A P I T R E V

CONCLUSION GENERALE

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

1. Hydrobiologie

L'analyse générale de l'hydrobiologie de Flamanville fait apparaître deux époques bien individualisées : la première, de juillet à octobre représente la saison chaude, la seconde, de décembre à mars, la saison froide ; elles se caractérisent par une certaine stabilité des paramètres hydrobiologiques. Le mois de mai se distingue par une augmentation importante de la chlorophylle et reflète, ainsi, la forte poussée phytoplanctonique qui s'est déroulée au printemps (cf. chapitre II).

L'essentiel du cycle hydrobiologique est gouverné par les paramètres température, nitrates et chlorophylle ; en revanche, l'influence de la salinité est secondaire, contrairement aux sites de Gravelines et Paluel où l'hydrobiologie est fortement influencée par les arrivées d'eau douce.

Les analyses particulières de quelques-unes des campagnes les plus représentatives du cycle annuel soulignent :

- l'absence de stratification verticale et de gradient côte-large (le site est bien brassé) ;
- l'existence de variations temporelles au cours d'un cycle complet de marée due au déplacement des masses d'eau ;
- la faible importance des variations hydrobiologiques entre les points de la radiale - au droit du site - et la station "hors zone", rarement individualisée de façon claire.

Ainsi, contrairement aux sites de Gravelines et Paluel, le milieu, à Flamanville, ne présente pas, au niveau des paramètres hydrobiologiques, de structures spatiales reconnaissables ; l'absence d'arrivée d'eau douce et l'importance de l'hydrodynamisme local en constituent l'explication raisonnable.

2. Phytoplancton

L'étude du phytoplancton met en évidence deux caractéristiques principales du contingent floristique et de son évolution :

- un groupe d'espèces dont l'abondance est significative durant une grande partie de l'année : *Nitzschia closterium*, *Thalassiosira gravida*, *Paralia sulcata*, *Skeletonema costatum*, *Thalassionema nitzschioïdes* ;
- des variations temporelles bien marquées, avec :
 - * une opposition hiver - été : la saison hivernale (novembre - mars) apparaît stable du point de vue de la composition floristique du milieu. On n'y enregistre qu'un petit nombre d'espèces et les densités de population de celles-ci sont faibles ;
 - * une séparation de la saison estivale en deux périodes distinctes : d'une part, mai - juin, durant laquelle la production primaire est maximale (principales espèces : *Asterionella japonica*, *Phizosolenia* et *Thalassiosira*), d'autre part, juillet - septembre, caractérisée par l'abondance des *Chaetoceros*.

Le cycle annuel du phytonplancton met en évidence clairement l'évolution temporelle du milieu, de même qu'en hydrobiologie ; il semble cependant que les événements saisonniers, particulièrement en été, soient mieux distingués à l'aide des espèces phytoplanctoniques qu'avec les paramètres hydrobiologiques.

Au niveau d'un cycle annuel, il apparaît une bonne homogénéité spatiale ; en particulier, le point D, hors de la tache thermique, ne semble pas plus différent des points de la radiale que ceux-ci ne le sont entre eux.

3. Zooplancton

La population zooplanctonique présente, au cours de l'année, deux caractéristiques principales :

- un contingent faunistique composé de quelques espèces présentes d'une façon permanente dans le milieu et avec de forts effectifs. Ce sont principalement des Copépodes : *Pseudocalanus minutus*, *Acartia clausi*, *Paracalanus parvus*, *Centropages hamatus*, *Temora longicornis* ;
- une évolution annuelle de la composition faunistique du site, liée aux apparitions et disparitions d'espèces saisonnières moins abondantes. Celle-ci peut se diviser en trois périodes principales :
 - * juillet - octobre, correspondant au développement maximum de nombreuses espèces zooplanctoniques, particulièrement des larves ;
 - * novembre - février, caractérisant la saison hivernale et durant laquelle on trouve principalement : *Sagitta setosa*, *Euterpina acutifrons*, *Paracalanus parvus* ;
 - * mars - juin, époque d'abondance, notamment, des *Cypris* et des *Nauplii* de Cirripèdes.

L'étude du méroplancton (ou plancton temporaire) fait apparaître un cycle annuel conforme à celui obtenu dans l'analyse de toutes les espèces du zooplancton. Ceci atteste la robustesse du schéma d'évolution en trois périodes dégagé précédemment, ces dernières étant toutefois légèrement plus accentuées dans cette étude.

Pour trois espèces particulières (les Copépodes *Acartia clausi*, *Centropages hamatus*, *Temora longicornis*), les stades copépodites correspondant connaissent, globalement, une abondance maximale en été (août - septembre) et minimale en hiver (janvier - février). L'analyse met en évidence quelques traits propres à certains stades copépodites.

4. Relations hydrobiologie - plancton

L'analyse des relations entre les espèces du plancton et les variables hydrobiologiques met en évidence les points forts

des cycles annuels respectifs : la saison chaude durant laquelle l'abondance zooplanctonique est maximale, l'époque du bloom phytoplanctonique (mars - avril - mai), la période où les eaux sont pauvres en oxygène. Cette étude fait ressortir l'importance de quelques paramètres hydrobiologiques : température, nitrates, oxygène, chlorophylle qui paraissent conditionner l'évolution des populations phyto et zooplanctoniques. Il importe cependant de noter que la concomitance de ces variations n'implique pas - du moins ne peut-on encore l'affirmer - la causalité de ces associations.

ANNEXE

Des configurations variables dans les analyses en composantes principales : pourquoi ?

Cette annexe vise à clarifier le débat, pour éviter tout quiproquo, à propos de l'utilisation des configurations variables. L'attitude adoptée ne prétend pas être la seule possible. Elle nous a paru la mieux adaptée à nos problèmes.

On remarquera par ailleurs que nous nous référons toujours à un cas précis : une analyse en composantes principales (A.C.P.) portant sur une matrice de variance-covariance, ou de corrélation entre taxons.

Les variables sont alors centrées. L'origine se situe au barycentre du nuage des points observations. La légitimité des configurations observations est évidente : elle est fondée sur la propriété de représentation optimale. L'utilité, et l'interprétation à donner aux configurations variables est moins évidente. C'est ce que nous allons tenter de préciser, dans le cadre de notre problème précis, les variables étant associées à l'abondance de différents taxons.

Une structure ayant été définie, caractérisée par les axes factoriels, on souhaite préciser le lien de cette structure avec les différents taxons. Ce but doit être précisé. On peut en effet :

- 1) quantifier la responsabilité des différents taxons dans l'établissement des structures ;
- 2) mesurer la façon dont les structures mises en évidence sur les prélèvements expliquent les variations des diverses variables ;
- 3) définir des associations entre prélèvements et variables.

Une quatrième préoccupation est parfois sous-jacente : obtenir des configurations variables traduisant fidèlement les pro-

ximités entre variables. Cette préoccupation, que nous noterons 4) sera évoquée, bien qu'elle ne soit pas au centre de nos études, pour éviter tout quiproquo à ce sujet.

Pour satisfaire à ces préoccupations on dispose :

- A) de contributions relatives des variables aux axes, et de façon plus générale aux sous-espaces ;
- B) de contributions relatives des axes aux variables ;
- C) de configurations variables.

Les contributions relatives des variables aux axes satisfont à l'évidence à la préoccupation 1. Les contributions relatives des axes et sous-espaces aux variables satisfont à la préoccupation 2.

Les configurations variables peuvent également être utiles vis-à-vis de la préoccupation 1. Comme les masses des différentes variables sont égales, la contribution absolue d'une variable à un axe est donnée par le carré de sa coordonnée par rapport au facteur correspondant. Une configuration plane permet immédiatement de percevoir l'importance des contributions des variables aux deux axes. On percevra évidemment une contribution relative en examinant la longueur d'un segment joignant l'origine à un point variable par rapport au nuage global des points variables. Par ailleurs le fait que les saturations des variables puissent être positives ou négatives, permet de nuancer l'interprétation.

Si l'on opère sur des variables non réduites (A.C.P. sur la matrice de variance-covariance) les configurations variables ne seront pas directement interprétables en terme de contributions relatives des axes aux variables. La longueur du segment joignant l'origine à un point variable indique bien la contribution absolue d'un axe ou plan à une variable, mais les variables n'étant pas normées, ceci n'est pas interprétable en terme de contribution relative des axes aux variables. En revanche, si l'on opère avec des variables réduites, (A.C.P. sur la matrice de corrélation) cette interprétation sera possible.

Classiquement dans les A.C.P. l'accent est mis sur les configurations variables, non sur les contributions des et aux variables, cette notion étant d'un emploi plus courant en analyse des correspondances. Il nous paraît que les notions de contribution sont d'un très grand intérêt, même en A.C.P. car elles correspondent à des préoccupations concrètes. On peut même en venir à se demander si, vis-à-vis des préoccupations 1 et 2, les configurations variables sont d'un intérêt quelconque. A ceci nous répondons oui, elles sont intéressantes, car contrairement à ce qui est le cas pour l'analyse des correspondances, il n'y a pas de pondération différentielle des variables qui vienne décaler coordonnées des variables par rapport aux facteurs, et contribution des variables aux facteurs. Vis-à-vis du point 2, l'intérêt sera limité si les variables ne sont pas réduites, mais pour nous en tenir au point 1, les configurations variables sont d'une interprétation plus facile que les tableaux de contribution. On retrouve simplement l'avantage des représentations visuelles.

Reste que la troisième préoccupation, la définition des associations essentielles entre observations et variables n'est toujours pas satisfaite. L'examen simultanément des configurations duales, observations et variables, pourra être utile, à condition que le raisonnement soit bien conduit.

Considérons donc une A.C.P., portant dans un premier temps sur les corrélations entre les J taxons, calculées sur les I observations. Dans R^J des axes factoriels ont été dégagés, $f_{i,k}$ étant la coordonnée de la i^e observation sur l'axe k . λ_k est l'inertie associée à l'axe k . Dans R^J des facteurs correspondant que nous supposons normés, constituent autant de variables synthétiques définies sur les I observations. La valeur du facteur normé v_k pour la i^e observation est, on le sait $v_k(i) = \frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} f_{i,k}$. Les J variables de départ, qui traduisent l'abondance des taxons peuvent être décomposées par rapport aux facteurs. La coordonnée de la variable j par rapport au facteur k est notée $fv_{j,k}$. On sait que $fv_{j,k}$ est égale au coefficient de corrélation entre le facteur k et la variable j , coefficient calculé sur la base de leur valeur pour les i observations.

En terme de recherche d'association particulière entre observations et variables, le problème le plus courant est le suivant : sur l'axe factoriel k un groupe d'observations occupe une position excentrique. Par rapport au facteur k , une ou plusieurs variables présentent une position également excentrée. Peut on interpréter ceci en terme d'association? Pour ce faire on remarquera que si sur l'axe k l'observation i_0 a une position excentrée, disons vers la droite, ceci correspond à une forte valeur $f_{i_0, k}$. Le facteur k prend une valeur élevée pour l'observation i_0 . Si par rapport à ce facteur la variable j_0 possède une position excentrée, disons vers la droite, ceci correspond à un fort coefficient de corrélation. En bref on constate :

- 1) le facteur k prend une forte valeur pour l'observation i_0 ;
- 2) le facteur k est très corrélé à la variable j_0 .

Le rapprochement de ces deux points suggère, mais ne prouve pas, que la variable j_0 prenne une forte valeur pour l'observation i_0 . Nous avons souligné ne prouve pas, car évidemment les liens traduits par les corrélations sont stochastiques. On peut donc, si l'on s'intéresse à cette observation précise, opérer un retour aux données de base. Si l'on considère l'ensemble des observations isolées sur un axe factoriel, et l'ensemble des variables fortement corrélées avec le facteur correspondant, l'association devient plus probable. Le retour aux données de base constitue une utile vérification.

Nous avons raisonné avec des f_0 et des f_v positifs. Il est évident que les valeurs négatives peuvent conduire aux mêmes raisonnements. Plus intéressante est la question : des positions excentriques et comparables, mais non nécessairement le long des axes, dans des plans correspondant aux configurations duales, observations et variables sont-elles interprétables ?

Supposons donc que dans le plan des axes 1 et 2, un groupe d'observations, parmi lesquelles la i_0^e , se trouve très éloignée le long de la première bissectrice. Dans la configuration duale la variable j_0 est de même éloignée sur la première bissectrice. Ceci montre que pour l'observation i_0 , les facteurs 1 et 2 prennent de fortes valeurs, et que la variable j_0 , est notablement

corrélée avec ces facteurs. Ceci constitue déjà un élément d'interprétation, sur la base des raisonnements présentés précédemment. On peut tenter une interprétation plus directe, et se demander si les configurations duales suggèrent bien une forte valeur de la variable j_o pour l'observation i_o . L'éloignement de la variable j_o correspond à une forte corrélation avec une variable, combinaison des facteurs 1 et 2 (V_1 et V_2), définie par

$$\frac{V_1 + V_2}{\sqrt{2}}$$

Cette corrélation est donnée comme on le montre aisément, par la coordonnée de j_o sur la première bissectrice. L'éloignement de i_o sur la première bissectrice, dans la configuration observation, correspond à une forte valeur de $f_{o i_o 1}$ et $f_{o i_o 2}$. Ceci se traduira avant tout par une forte valeur de $f_{o i_o 1} + f_{o i_o 2}$. Ceci n'est pas la variable associée à la première bissectrice du plan 1 et 2 des variables. En effet cette variable a pour valeur pour l'observation i_o

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{f_{o i_o 1}}{\sqrt{\lambda_1}} + \frac{f_{o i_o 2}}{\sqrt{\lambda_2}} \right)$$

car les facteurs sont normés. On pourrait normer la variable définie par $f_{o i_o 1} + f_{o i_o 2}$, par division par $\frac{1}{\sqrt{\lambda_1 + \lambda_2}}$. On voit toutefois qu'il y a un changement d'orientation, d'autant plus sensible que λ_1 et λ_2 sont différents.

Plus concrètement, soit une variable j_o qui a une corrélation de 1, avec la variable bissectrice $\frac{(V_1 + V_2)}{\sqrt{2}}$. Si elle prend une très forte valeur pour une observation i_o , dans les configurations observations, i_o ne tendra pas à apparaître sur la première bissectrice, mais sur un axe portant le vecteur $(\frac{1}{\sqrt{\lambda_1}}, \frac{1}{\sqrt{\lambda_2}})$. Pour s'en convaincre on pourra se référer à la formule de transition

$$f_{o i, k} = \frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} \sum_j x_{i, j} f_{v j, k}$$

Il y a distorsion qui va croissant avec l'écart relatif entre λ_1 et λ_2 . Il pourrait être utile, pour faciliter l'interprétation jointe des configurations variables et observations d'utiliser pour les variables non les saturations $f_{v j, k}$, mais des $f_{v' j, k}$ définies par $f_{v' j, k} = \sqrt{\lambda_k} f_{v j, k}$, (les facteurs étant non normés). Toutefois la distorsion n'est généralement pas considérable. Nous avons préféré nous conformer à l'usage, en gardant à l'esprit la

possibilité de distorsion. Par ailleurs si l'on utilise les $fv_{j,k}$, l'interprétation des configurations en termes de contribution des axes aux variables n'est plus directement possible. Il n'y aurait plus par exemple de cercle des corrélations. On peut toutefois se demander si parfois il ne serait pas utile d'utiliser deux jeux de configurations variables, associées respectivement aux fv et fv' . Ceci correspond en fait à la possibilité de se référer à des facteurs normés ou non.

Il est une autre façon de considérer le problème, en partant de la formule de reconstitution. Si le rang de la matrice de corrélation est K , on sait en effet que

$$x_{i,j} = \sum_{k=1}^K f_{o_{i,k}} f_{v_{j,k}} \sqrt{\lambda_k}$$

Ceci montre bien que si pour un des premiers axes, donc associé à une forte valeur de λ_k , $f_{o_{i,k}}$ est fort, de même qu'un ensemble de $fv_{j,k}$ ceci laisse présager une forte valeur de $x_{i,j}$.

Cette formule montre aussi, qu'en terme d'association, il serait plus direct de raisonner sur des configurations non déduites des $fv_{j,k}$, mais des $fv'_{j,k} = \sqrt{\lambda_k} fv_{j,k}$ (1). La formule devient plus simple :

$$x_{i,j} = \sum_k f_{o_{i,k}} f_{v'_{j,k}}$$

Ceci pourrait être surtout précieux lorsque l'on interprète les plans duaux. On retrouve bien les remarques précédentes.

Si l'on aborde les A.C.P. utilisant des matrices de variance-covariance, les raisonnements précédents peuvent être repris. On sera toutefois plus prudent, car les $fv_{j,k}$ sont de simples covariances, et non des corrélations. Elles traduisent nettement moins bien les liens entre facteurs et variables (taxons). Il importe plus encore de savoir revenir aux données de base. Par ailleurs on pourra utilement consulter le tableau des contributions relatives des facteurs aux variables, qui sont elles interprétables en terme de corrélation. On remarquera enfin que le raisonnement présenté à partir de la formule de reconstitution, est parfaitement justifié, même avec une simple matrice de variance -

(1) On pourra retrouver un fait analogue en analyse des correspondances.

covariance. Il peut d'ailleurs être évoqué, même en dehors du champ des A.C.P.

Une quatrième préoccupation a été évoquée : l'obtention de configurations variables traduisant fidèlement des proximités entre taxons. Ceci n'est nullement une préoccupation majeure pour nous. Si l'on veut parvenir à établir, ou du moins suggérer, des rapports de causalité entre variables, levant le voile sur les mécanismes majeurs internes aux écosystèmes, une étude originale doit être entreprise. La dimension dynamique des phénomènes doit être prise en compte. Il ne nous paraît pas que les données récoltées suffisent à aborder avec succès ce genre de problèmes. Par ailleurs, les analyses factorielles ne constituent pas nécessairement les outils mathématiques adéquats.

Fondamentalement donc, l'étude ne prétend pas à une étude des relations entre taxons. Les configurations variables visent à faciliter la compréhension des liens des différents taxons, avec les structures mises en évidence sur l'ensemble des prélèvements. Si nous tentions d'analyser en terme de proximités entre taxons les configurations entre variables, on se heurterait, en sus des problèmes déjà mentionnés, à plusieurs écueils :

- 1) les distances entre variables induites par les A.C.P. ne sont pas nécessairement de bonnes mesures des relations entre variables. Si l'on considère une A.C.P. sur une matrice de corrélation, la distance implicitement utilisée :

$$d_{j_1, j_2}^2 = 2 (1 - co_{j_1, j_2})$$

co désignant le coefficient de corrélation des variables j_1 et j_2 , n'est pas sans intérêt. Bien évidemment elle ne prend pas en compte la dimension dynamique des phénomènes, mais elle n'est pas inutile. En revanche, si l'on procède à partir de la matrice de variance-covariance, la distance correspondante entre taxons ne paraît pas d'un grand intérêt.

- 2) enfin, puisqu'en général les lignes ne seront pas centrées, dans R^I , l'origine ne sera pas située au barycentre du nuage des variables. Les configurations variables ne constituent pas des représentations optimales. Ceci ne signifie d'ailleurs pas qu'elles

soient toujours sans intérêt, ceci pourrait être discuté, mais dépasserait notre propos. Dans le cadre des traitements présentés, nous ne prétendons pas interpréter les configurations variables comme indiquant des relations directes entre variables.

Tout est rapporté aux structures de l'ensemble des observations. Si deux variables apparaissent proches dans les configurations variables on y verra, non l'indication d'un lien direct, mais la mise en évidence de liens comparables avec les facteurs. Toute interprétation allant au delà de cette constatation ne pourrait relever que de connaissances antérieures, de référence à des faits connus en écologie marine.