

29

# **EVOLUTION ANNUELLE DU PHYTO- PLANCTON DANS LE PERTUIS BRETON (17)**

**A.L. Barillé**

**IFREMER La Tremblade (17)**

**mai 1994**

## I. INTRODUCTION

Afin d'améliorer la gestion des bassins conchylicoles, de nombreux auteurs ont élaboré des modèles mathématiques simulant les activités physiques et biologiques des bassins étudiés (Bacher et al., 1990, bassin de Marennes–Oléron ; Bioteau, 1993, étang de Thau ; Chapelle, 1993, Baie de la Vilaine ; Radford, 1993, mer du Nord ; Smaal et Scholten, 1989, bassins mytilicoles hollandais ; Santhanam et al., 1990, sud–est de l'Inde ; Keizer et al., 1987, bassin de Cumberland).

Un des problèmes majeurs qui se pose au modélisateur est l'estimation de la capacité trophique d'un bassin. Quel facteur est le plus représentatif de la nourriture disponible pour les mollusques filtreurs ?

Widdows et al. (1979) caractérisent le potentiel nutritif disponible pour les bivalves filtreurs comme étant la somme de protides (P), lipides (L) et glucides (G), convertie en énergie grâce aux coefficients de Brody (1945). Pourtant la masse totale des PLG ne représente généralement qu'une fraction (< 60 % dans le Pertuis Breton) de la biomasse organique présente dans la masse d'eau. En effet une partie des PLG (notamment les protéines de structure) est réfractaire aux dosages chimiques.

Certains auteurs considèrent que cette partie "réfractaire" est assimilable par le mollusque au même titre que les PLG dosés (Bayne et al., 1987 ; Bayne et al., 1993 ; Van Haren et Kooijman, 1993). C'est pourquoi ces auteurs attribuent une valeur énergétique constante de 20 J par mg de matière particulaire organique tout au long de l'année.

Enfin quelques travaux établissent une distinction entre le matériel phytoplanctonique, hautement énergétique (1 mg de carbone phytoplanctonique = 11 cal ; Platt et Irvin, 1973) et le matériel détritique (1 mg de carbone détritique = 5,8 cal ; Parsons, 1963).

Le phytoplancton constitue un élément important du régime alimentaire des mollusques filtreurs. Bien que l'étude de la chlorophylle permette une estimation globale de la biomasse phytoplanctonique, il est intéressant de connaître à quelles espèces d'algues se rapporte cette biomasse. En effet, aux variations saisonnières de la biomasse totale du phytoplancton, se superposent des changements dans sa composition spécifique au cours du temps.

Ainsi la connaissance de la composition spécifique du phytoplancton pourrait permettre une meilleure compréhension d'évènements tels que la croissance, la reproduction, la mortalité, grâce à une analyse plus fine des relations mollusque/milieu régies par les mécanismes écophysiologiques.

La taille des cellules phytoplanctoniques est importante. L'efficacité de rétention des particules phytoplanctoniques sur l'acquisition d'énergie et la croissance des mollusques bivalves a été étudiée par de nombreux auteurs (Jorgensen, 1960 ; Bayne et Newell, 1984 ; Barillé et al., 1993). La moule *Mytilus edulis* retient les particules dont le diamètre sphérique équivalent est  $> 2 \mu\text{m}$  avec une efficacité de 100 %, ce qui implique que la quasi totalité du phytoplancton est susceptible d'être consommé (Vahl, 1972a, b ; Mohlenberg et Riisgard, 1978). Néanmoins, une étude récente sur l'huître japonaise *Crassostrea gigas* montre que la porosité du filtre branchial tend à augmenter pour des charges particulières élevées (Barillé et al., 1993).

Cependant, d'autres facteurs peuvent intervenir dans les critères de sélection des particules ingérées. Loosanoff (1949) montre que *Crassostrea virginica* est capable de sélectionner la nourriture selon un critère qualitatif, plus récemment Newell et Jordan (1983) décrivent que *Crassostrea virginica*, nourrie avec *Tétrahymena suecica* mélangée à du silt de diamètre  $< 32 \mu\text{m}$ , rejette préférentiellement le silt sous forme de pseudofécès. Une préférence pour certaines espèces d'algues par *Argopecten irradians* a également été mise en évidence par Peirson (1983). L'expérience de Shumway et al. (1985) sur 6 espèces de bivalves (*Axtila islandica*, *Ensis directus*, *Placopecten magellanicus*, *Mya arenaria*, *Crassostrea virginica*, *Ostrea edulis*) nourries avec 3 algues de tailles identiques : le dinoflagellé *Prorocentrum minimum*, la diatomée *Phaeodactylum tricornutum*, et le cryptomonas flagellé *Chroomonas salina*, montre qu'*Ostrea edulis* prélève préférentiellement le dinoflagellé, que *Placopecten magellanicus*, *Axtila islandica* et *Ensis directus* rejettent préférentiellement la diatomée sous forme de pseudofécès tandis que la majorité des bivalves absorbent préférentiellement le cryptomonas, disparu des fécès alors qu'il reste des diatomées et des dinoflagellés. Cucci et al. (1985) utilisent le même protocole expérimental que Shumway et al. (1985) sur *Mytilus edulis*, ils établissent qu'il n'y a pas de consommation préférentielle, ni de rejet sélectif sous forme de pseudofécès, entre les 3 algues. En revanche, les cellules de cryptomonas sont absentes des fécès, tandis que diatomées et dinoflagellés y sont largement présents, impliquant une meilleure digestibilité des cryptomonas. En plus de la structure physique des particules (taille, présence de soies...) il est apparu que les bivalves étaient sensibles à la nature chimique des cellules phytoplanctoniques et avaient une réponse activée par la présence de phycotoxines (Dupuy et Sparks, 1968 ; Shumway et Cucci, 1987 ; Bricelj et al., 1991 ; Bardouil et al., 1993). Ainsi *Crassostrea gigas* nourrie avec des algues toxiques *Alexandrium tamarense* ( $36 \mu\text{m}$ ) et *A. minutum* ( $29 \mu\text{m}$ ) (PSP) et non toxiques *A. tamarense* (non toxique  $31 \mu\text{m}$ ) et *Scrippsiella trochoïda* ( $27 \mu\text{m}$ ), montre une hyperactivité valvaire corrélée avec le degré de toxicité indépendamment de la taille (Bardouil et al., 1993). Dupuy et Sparks (1968) observent la fermeture des valves ainsi qu'une diminution du taux de rétention de *C. gigas* en présence de *Gonyaulax washingtonensis*, phénomène également décrit pour *C. virginica* avec *Protogonyaulax tamarensis* (Shumway et Cucci, 1987), alors que *Mercenaria*

- Numérations cellulaires des échantillons phytoplanctoniques (méthode d'Utermohl)

Un volume de 10 ml est prélevé à partir de chaque flacon de 1 l puis est mis à décanter dans des cuves en verre pendant 24 heures. L'observation du contenu de chaque cuve est réalisée avec un microscope inversé. Les fonds de cuve sont parcourus champ par champ afin de comptabiliser le phytoplancton présent. La population phytoplanctonique est représentée par genre et non par espèce, en raison de la difficulté de la détermination au niveau spécifique. La sélection des genres phytoplanctoniques est effectuée à partir des listes floristiques établies bimensuellement. Cette étude porte sur 5 ans d'échantillonnage, de janvier 1988 à décembre 1992, afin d'appréhender la variabilité annuelle.

#### b) Concentrations en chlorophylles

Les mesures de chlorophylles sont effectuées par la méthode de Lorenzen (1966) sur des échantillons prélevés bimensuellement sur 3 stations dans le Pertuis Breton (A B C) (fig. 1) 5 fois par cycle de marée. Les données présentées ici sont moyennées sur la journée et sur toute la hauteur d'eau.

### III. RESULTATS

#### 1\*) Variation annuelle du nombre total de cellule

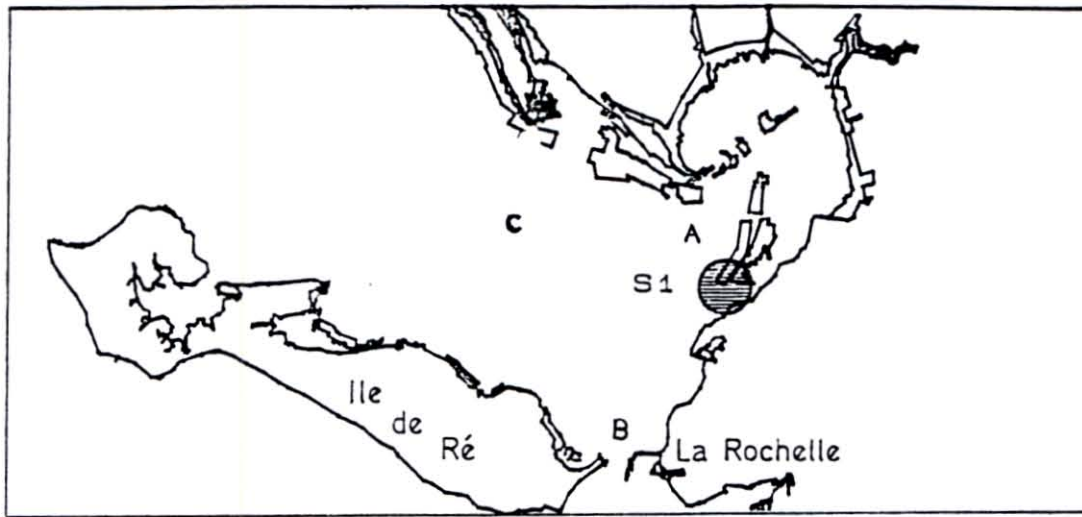
##### a) Irrégularité annuelle du nombre totale de cellules phytoplanctoniques

La figure 2 montre une assez grande disparité entre les années. Les années 1988 et 1989 subissent la même évolution : un bloom printanier ( $> 1\ 000\ 000$  cellules/l) précoce (février–mars) de courte durée (1 mois), auquel succède une faible poussée estivale, suivie d'une poussée automnale quasi–inexistante.

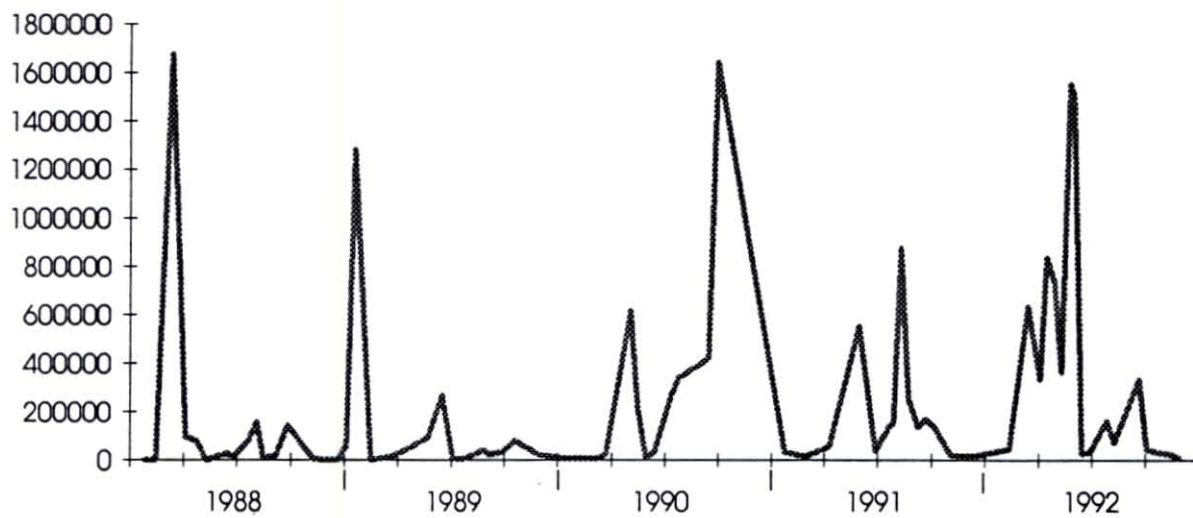
L'année 1990 est atypique par la faiblesse de son bloom printanier ( $< 600\ 000$  cellules/l) tardif (avril), et de par l'importance d'un bloom automnal ( $> 1\ 600\ 000$  cellules/l) sur 5 mois, de juin à novembre.

En 1991, on observe un pic printanier tardif assez faible ( $< 600\ 000$  cellules/l) au mois de mai, suivi d'un pic estival (août) atteignant  $800\ 000$  cellules/l et d'une légère reprise de croissance en septembre ( $< 200\ 000$  cellules/l).

Enfin, l'année 1992 manifeste un important bloom printanier qui démarre au mois de mars, atteint progressivement  $1\ 400\ 000$  cellules/l en mai et disparaît en juin. Le bloom estival (août) est présent bien que de faible importance ( $< 200\ 000$  cellules/l), suivi d'une poussée automnale en septembre qui n'atteint pas les  $400\ 000$  cellules/l.



**Fig.1** - Carte du Pertuis Breton et situation des points de prélèvement. S1



**Fig.2** - Evolution annuelle du nombre de cellules phytoplanctoniques par litre à la station S1 (la Carrelère) de 1988 à 1992.

Un volume de 10 ml est prélevé à partir de chaque flacon de 1 l puis est mis à décanter dans des cuves en verre pendant 24 heures. L'observation du contenu de chaque cuve est réalisée avec un microscope inversé. Les fonds de cuve sont parcourus champ par champ afin de comptabiliser le phytoplancton présent. La population phytoplanctonique est représentée par genre et non par espèce, en raison de la difficulté de la détermination au niveau spécifique. La sélection des genres phytoplanctoniques est effectuée à partir des listes floristiques établies bimensuellement. Cette étude porte sur 5 ans d'échantillonnage, de janvier 1988 à décembre 1992, afin d'appréhender la variabilité annuelle.

#### b) Concentrations en chlorophylles

Les mesures de chlorophylles sont effectuées par la méthode de Lorenzen (1966) sur des échantillons prélevés bimensuellement sur 3 stations dans le Pertuis Breton (A B C) (fig. 1) 5 fois par cycle de marée. Les données présentées ici sont moyennées sur la journée et sur toute la hauteur d'eau.

### III. RESULTATS

#### 1\*) Variation annuelle du nombre total de cellule

##### a) Irrégularité annuelle du nombre totale de cellules phytoplanctoniques

La figure 2 montre une assez grande disparité entre les années. Les années 1988 et 1989 subissent la même évolution : un bloom printanier ( $> 1\ 000\ 000$  cellules/l) précoce (février–mars) de courte durée (1 mois), auquel succède une faible poussée estivale, suivie d'une poussée automnale quasi-inexistante.

L'année 1990 est atypique par la faiblesse de son bloom printanier ( $< 600\ 000$  cellules/l) tardif (avril), et de par l'importance d'un bloom automnal ( $> 1\ 600\ 000$  cellules/l) sur 5 mois, de juin à novembre.

En 1991, on observe un pic printanier tardif assez faible ( $< 600\ 000$  cellules/l) au mois de mai, suivi d'un pic estival (août) atteignant  $800\ 000$  cellules/l et d'une légère reprise de croissance en septembre ( $< 200\ 000$  cellules/l).

Enfin, l'année 1992 manifeste un important bloom printanier qui démarre au mois de mars, atteint progressivement  $1\ 400\ 000$  cellules/l en mai et disparaît en juin. Le bloom estival (août) est présent bien que de faible importance ( $< 200\ 000$  cellules/l), suivi d'une poussée automnale en septembre qui n'atteint pas les  $400\ 000$  cellules/l.

Cette variabilité dans le temps et en intensité est imputable aux conditions météorologiques, température, ensoleillement, pluviométrie, régime des vents, qui sont particuliers à chaque année (fig. 3). Ces facteurs climatiques déterminent l'évolution de la flore phytoplanctonique représentée par le comptage des microalgues dans le pertuis breton. Cependant, l'action de ces facteurs sur la croissance phytoplanctonique est complexe, et ne peut se résumer par une simple équation linéaire. Cette relation fait l'objet d'une étude particulière dans le chapitre modélisation de la production primaire.

b) Relation entre les facteurs climatiques

Il est intéressant de noter que la température de l'air est liée à la durée d'ensoleillement ( $R = 0,86$  significatif à 1 %) (tableau 1). La durée d'insolation est une fonction inverse du nombre de jours dans le mois où le vent est supérieur à 16 m/s ( $R = -0,58$  significatif à 1 %). Ce résultat est particulier au régime de vent et à la topographie de la région charentaise. La pluviosité n'est pas corrélée avec les 3 paramètres précédents.

Tableau 1 : Tableau des corrélations entre les différents facteurs climatiques.

\*\* significatifs à 1 %, \* significatif à 5 %, NS non significatif.

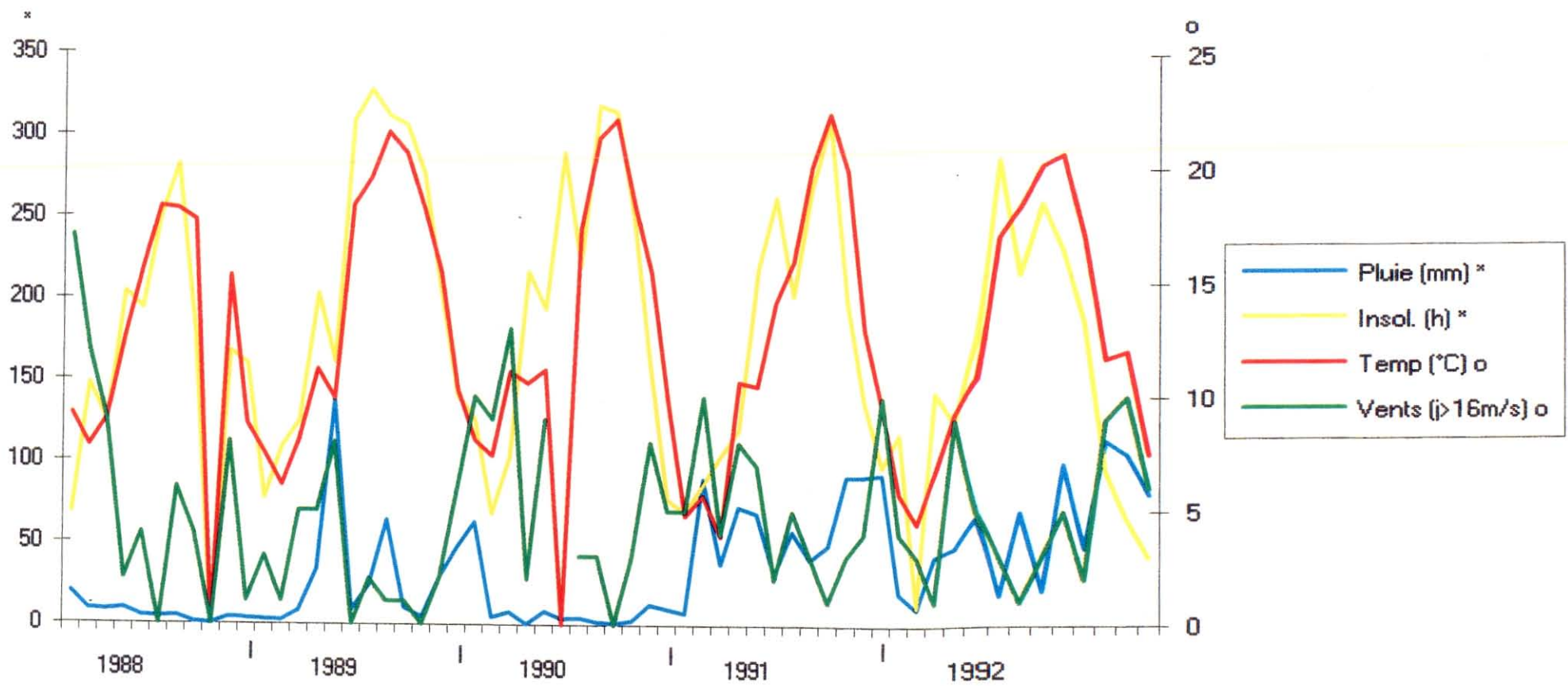
Dépendant	Insolation	Température	Pluie
Indépendant			
Insolation (h)		+ 0,86**	0,26NS
Vent (Nb jours > 16 m/s)	- 0,58*	- 0,46*	- 0,20NS

c) Comparaison entre le nombre de cellules et la concentration en chlorophylle

L'étude du comptage de cellules phytoplanctoniques effectué à la Carrelère et des dosages chlorophylliens pratiqués sur les stations A, B et C de juin 1991 à juillet 1992, montre une corrélation significative à 5 % (d.d.l. = 25) entre ces deux paramètres, sauf pour la station B (tableau 2).

Tableau 2 : Tableau des corrélations entre les dosages en chlorophylle et les comptages de cellules phytoplanctoniques par litre de juin 1991 à juillet 1992.

	Chloro St. A	Chloro St. B	Chloro St. C	Chloro. moy.
Nb cellules/l	0,44*	0,21NS	0,50*	0,43*



**Fig.3 - Variations annuelles des facteurs climatiques mesurés à la station météorologique de la Rochelle (données Météo France).**



Compte tenu du fait que les prélèvements pour le comptage phytoplanctonique n'ont pas eu lieu le même jour, ni au même site, ni à la même profondeur, cette correspondance indique que le comptage de microalgues (tel qu'il est réalisé à la Carrelère) peut être considéré comme un bon estimateur de la biomasse phytoplanctonique globale du Pertuis breton, au niveau annuel.

#### d) Influence des pluies automnales sur le développement phytoplanctonique

La figure 4 présente l'évolution du nombre total de cellules comptées par année en fonction des précipitations automnales précédentes. Ce graphe montre une bonne corrélation entre ces deux facteurs ( $R = 0,76$ ). Les pluies entraînant les sels nutritifs dans le bassin semble être le facteur déterminant en ce qui concerne la flore phytoplanctonique totale. Les variations intra-annuelles sont plus sensibles aux autres facteurs climatiques.

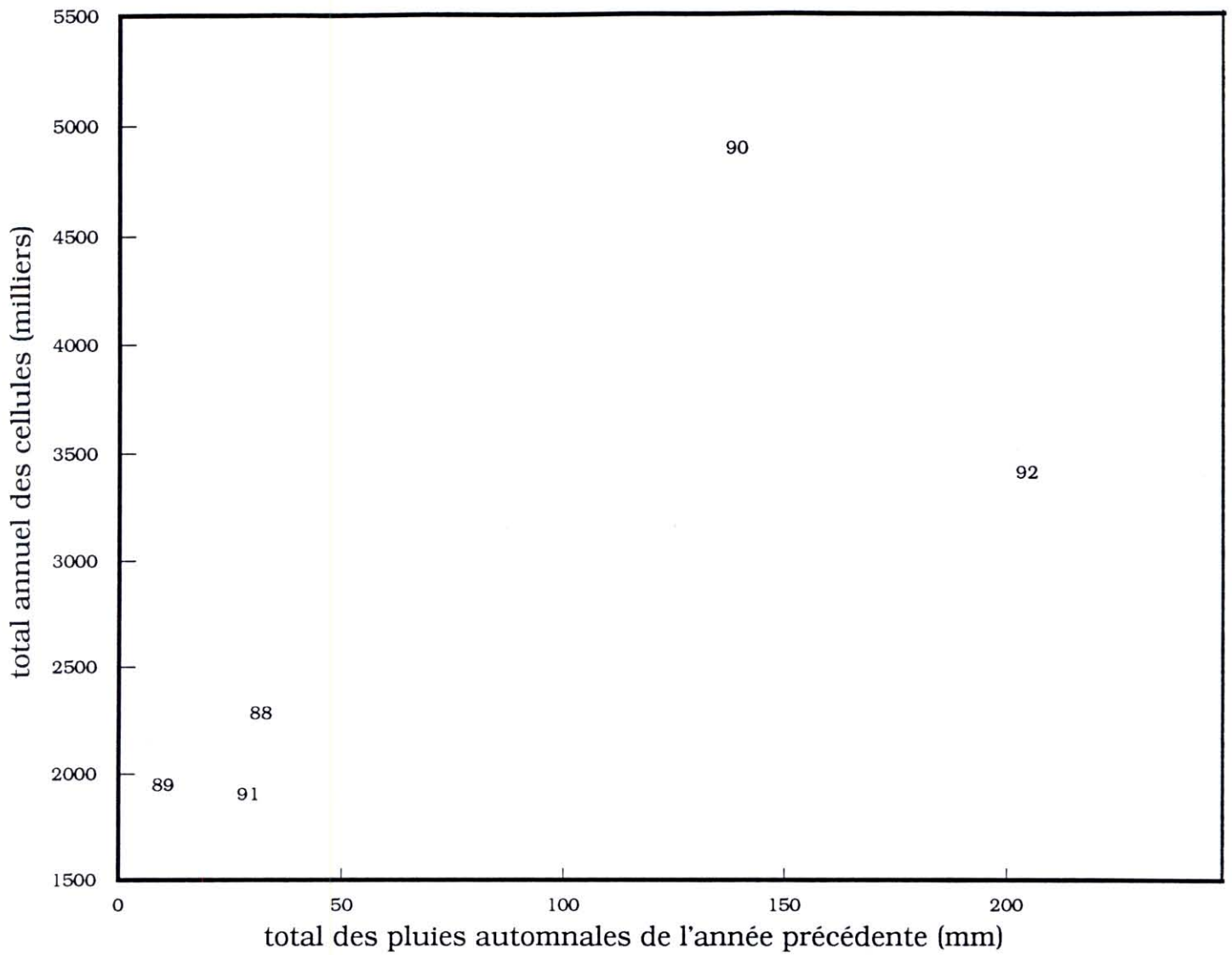
### 2\*) Répartition annuelle des principaux groupes phytoplanctoniques

Les Diatomées, pourvues d'un frustule siliceux, sont divisées en 2 ordres : les Centrales (axe de symétrie radiale) et les Pennales (symétrie par rapport à deux plans perpendiculaires). Cette distinction basée à l'origine sur un critère morphologique, s'est vue renforcée par l'étude de critères liés à la physiologie et à la reproduction (Ricard, 1987). Les produits des synthèses sont des gouttelettes de lipides et des graines de volutine (accumulation de polyphosphate).

Chez les Péridiniens (Dinoflagellés), algues unicellulaires flagellés, on trouve des espèces chlorophylliennes qui sont autotrophes, et des espèces non chlorophylliennes hétérotrophes. Chez les péridiniens autotrophes, les réserves sont sous forme de lipides ou d'amidon.

Les autres algues phytoplanctoniques sont représentées par classes des Chrysophysées, Prasinophysées, Cryptophysées, Cyanophycées, Chlorophycées, Prymnesiophycées.

La succession mensuelle des principaux groupes phytoplanctoniques est établie sur les années 1988 à 1992 (fig. 5). Il apparaît un cycle saisonnier, vraisemblablement lié aux variations importantes des facteurs physico-chimiques de ces eaux tempérées. Les diatomées pennées représentent la part essentielle de la biomasse phytoplanctonique lors des automnes et hivers rigoureux (1991-1992) tandis que leur influence est moins marquée pour les années 1988, 1989, 1990 (fig. 3). Un effet température peut jouer à ce niveau. Un autre facteur intervient également : le vent. En effet, nous avons vu précédemment le rôle du vent sur la remise en suspension de la matière particulaire dans le Pertuis Breton. Rappelons qu'à part quelques exceptions (*Thalassiothrix*, *Thalassionema*, *Asterionella* et *Nilschia*) les diatomées



Sortie r°gression :

Constante	1943.622
Ecart type d'estimation Y	958.7095
R au carr°	0.576458
Nombre d'observations	5
Degr's de libert°	3

Coefficient(s) X	11.42782
Ecart type de coef	5.655447

**Fig.4 -** Relation entre la biomasse phytoplanctonique annuelle et les pluies automnales de l'année précédente mesurées à la Rochelle.

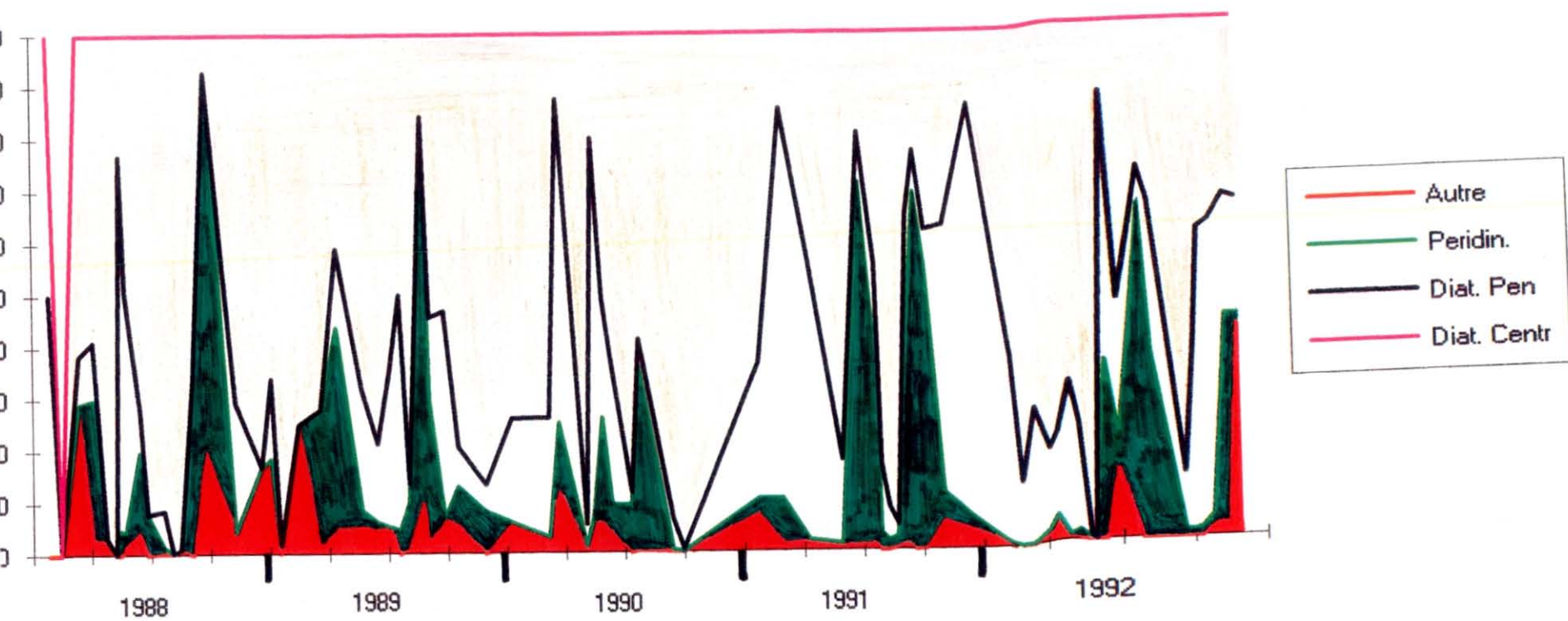


Fig.5 - Succession saisonnière des principaux groupes phytoplanctoniques dans le Pertuis Breton de 1988 à 1992.

pennées sont des algues benthiques susceptibles d'être remises en suspension, ce qui expliquerait qu'en 1990, les forts vents remettent les diatomées pennées benthiques en suspension dans la colonne d'eau (fig. 3).

Les blooms printaniers sont essentiellement constitués de diatomées centriques exclusivement pélagiques. Les premiers développements phytoplanctoniques sont produits par de petites cellules à multiplication rapide (Margaleff, 1958, in Bougis, 1974), nécessitant une forte concentration en phosphore pour fabriquer des molécules d'ATP nécessaires à la division cellulaire (Healey, 1975). Leur succèdent des diatomées de plus grande taille, à multiplication plus lente (Margaleff, in Bougis, 1974).

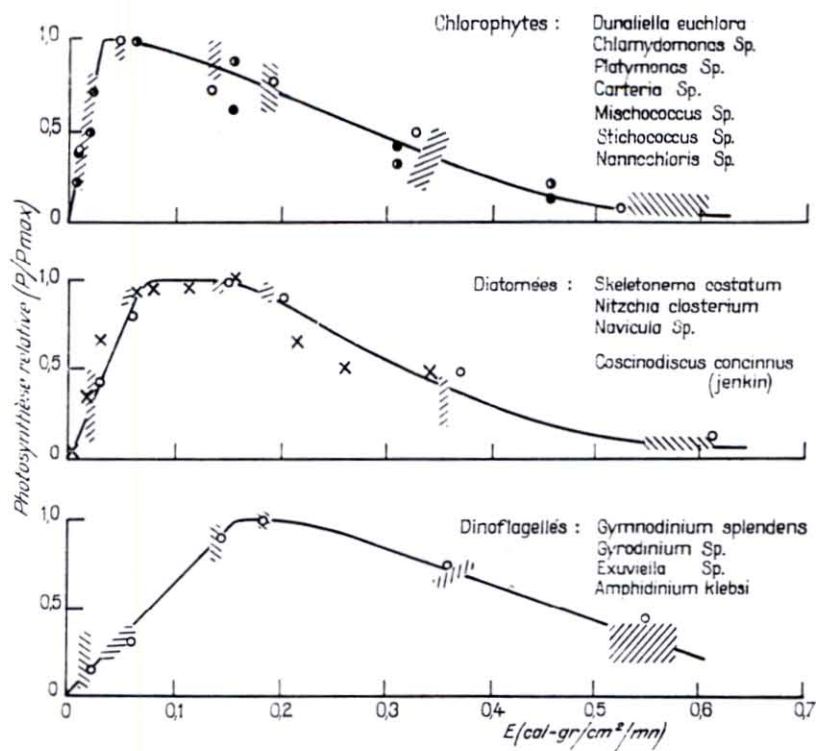
Enfin, il apparaît une proportion de plus en plus importante de cellules mobiles dinoflagellés à faible vitesse de croissance.

Les péridiniens présentent une forte concentration estivale. D'après Baker (1935), les dinoflagellés peuvent se satisfaire d'une teneur en azote et en phosphore extrêmement basse, ce qui pourrait expliquer le fait que les péridiniens succèdent au bloom printanier (Bougis, 1974). D'autre part l'intensité de lumière optimale pour une photosynthèse maximale est beaucoup plus importante pour les péridiniens (0,16 calgr/cm<sup>2</sup>/min) que pour les diatomées (0,08 calgr/cm<sup>2</sup>/min) (fig. 6). Sachant que l'augmentation de température diminue l'intensité optimale (Mc Leod 1961, in Bougis, 1974), les péridiniens sont les mieux adaptés pour une croissance estivale, où les sels nutritifs sont épuisés, la température très forte et l'intensité lumineuse inhibitrice pour les autres groupes.

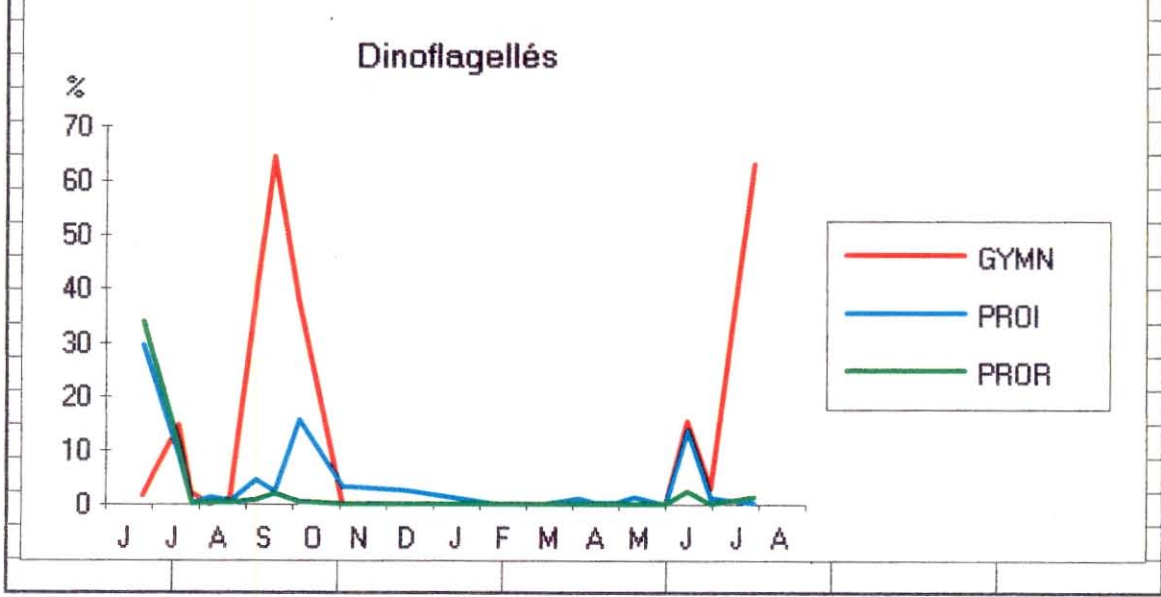
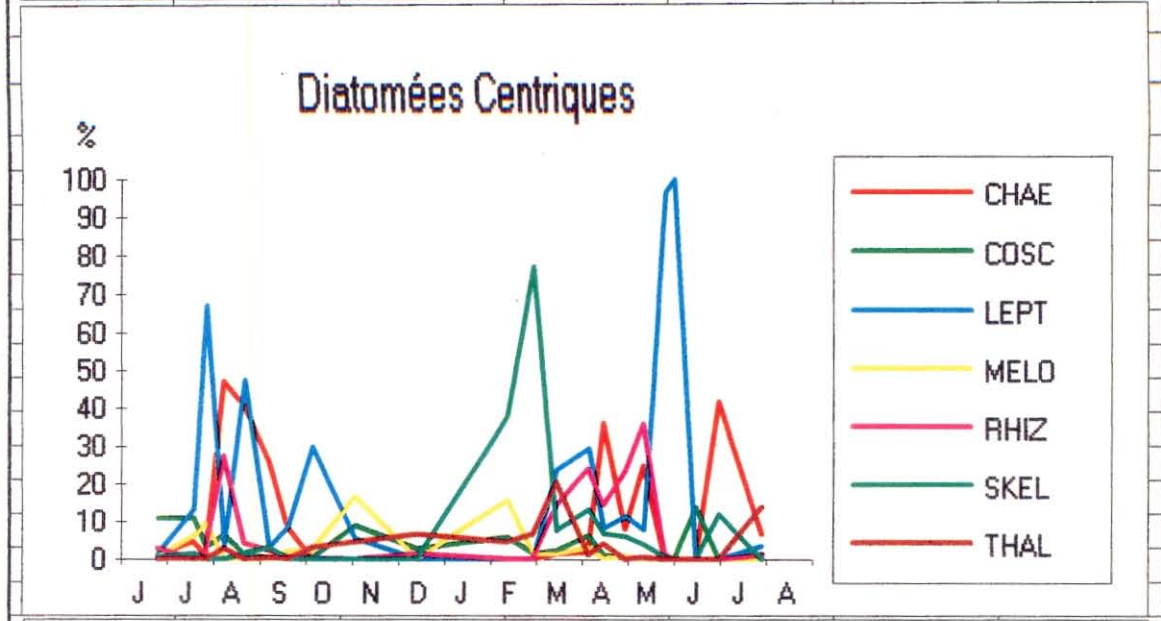
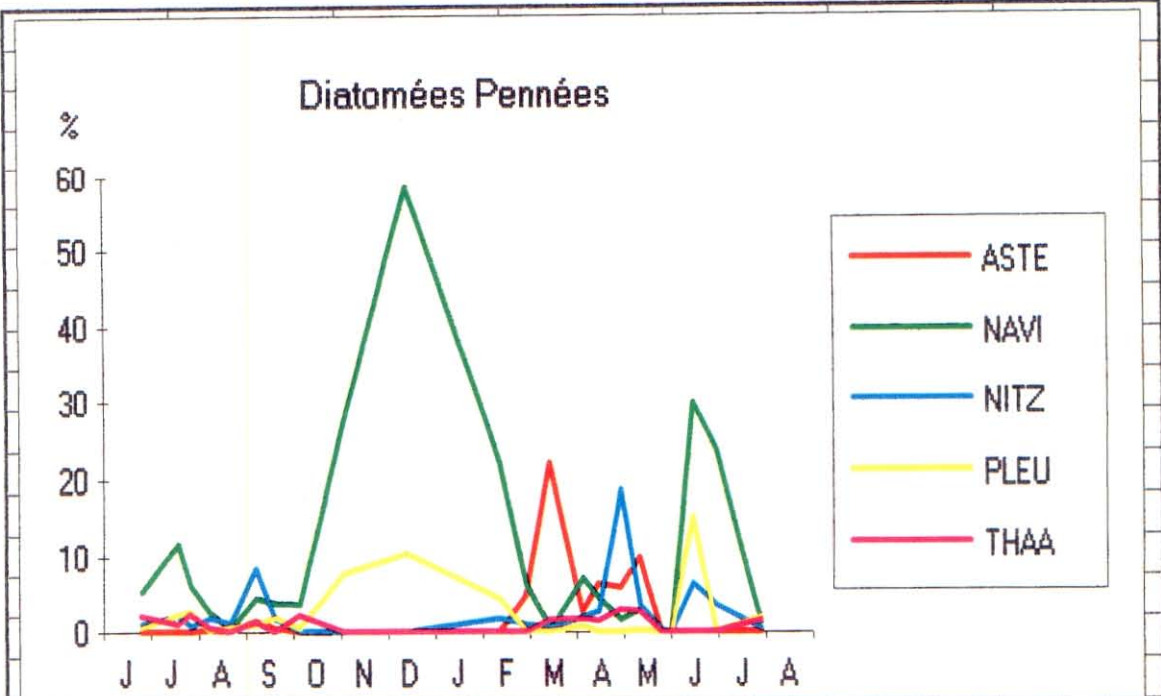
### **3\*) Variations mensuelles des populations phytoplanctoniques regroupées en principaux genres, sur la durée de l'étude**

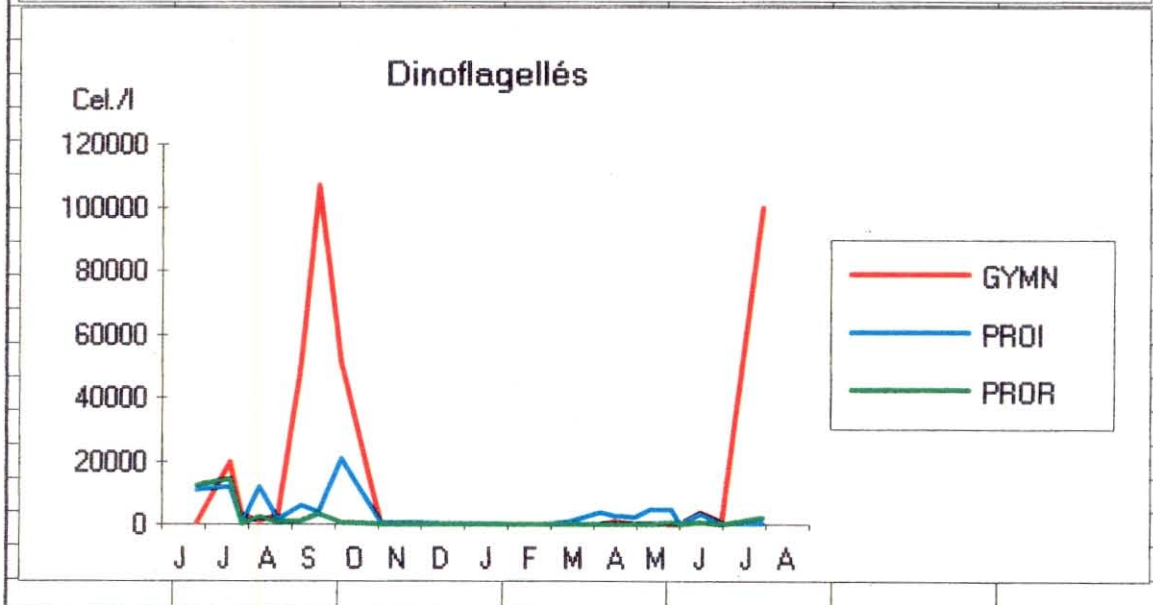
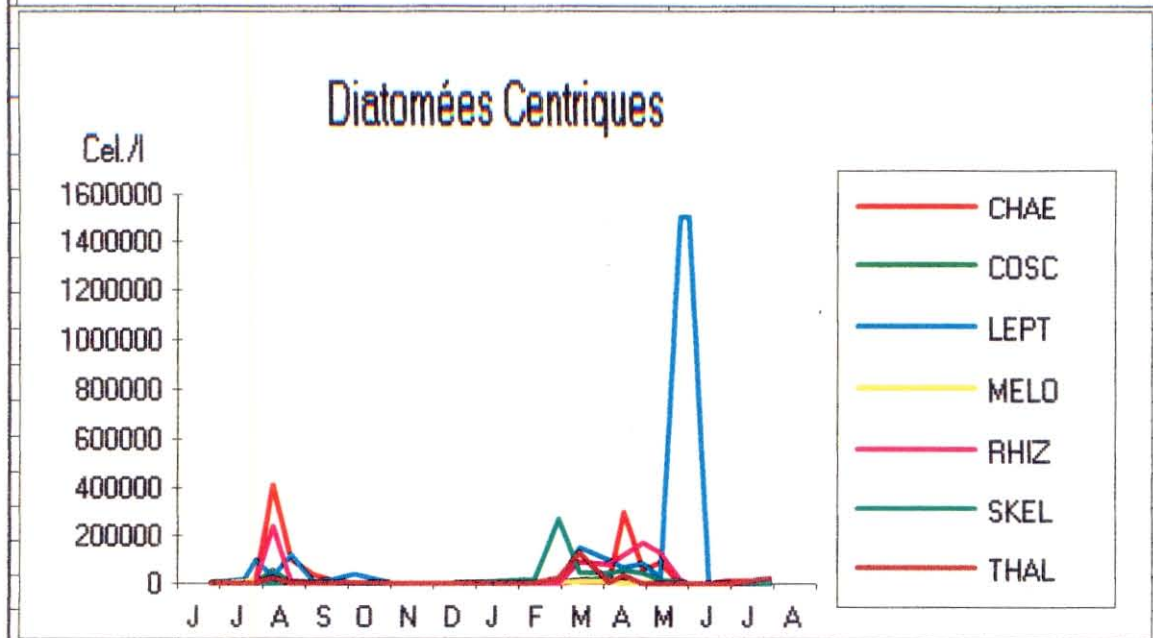
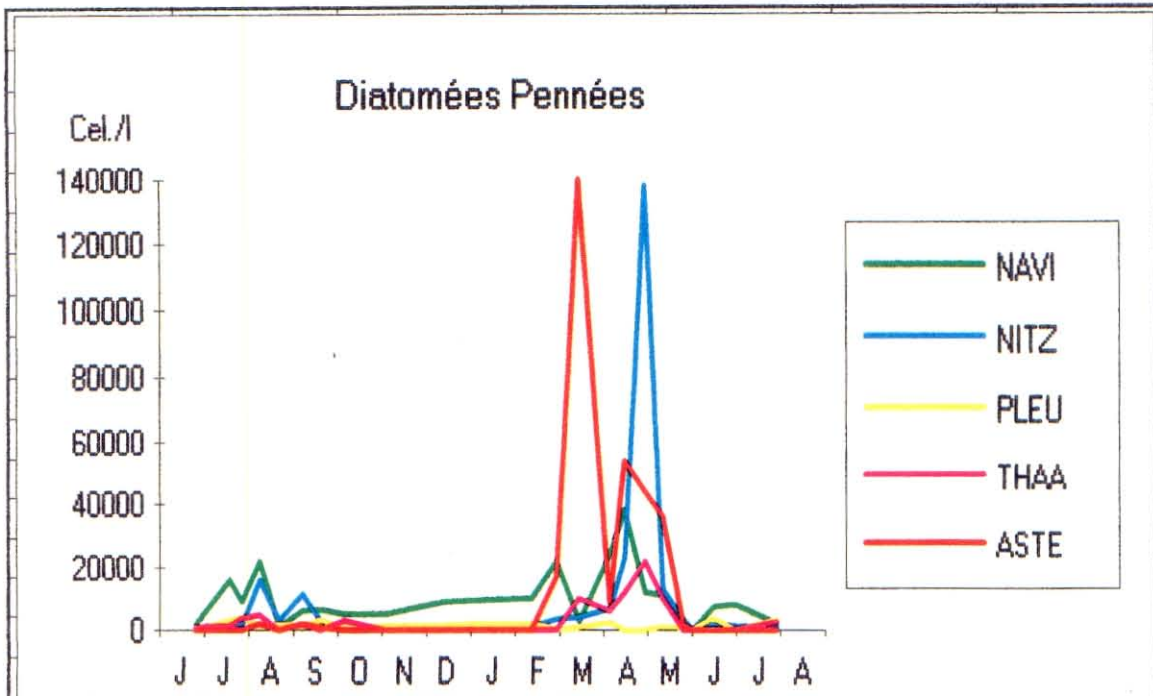
En juillet-août 1991, c'est la fin du bloom printanier, marqué par le développement de nombreux genres, essentiellement diatomées centriques, dominées par les 3 genres pélagiques, *Chaetoceros*, *Leptocylindricus* et *Rhizosolenia*. Ce sont des petites diatomées à multiplication rapide, qui témoignent ici du retard du bloom printanier. Cependant, en nombre de cellules, cette efflorescence algale reste limitée (fig. 8b). A noter la croissance de navicules benthiques remises en suspension dans l'eau (fig. 8a).

Au mois de septembre, ce sont les dinoflagellés qui produisent la biomasse phytoplanctonique, essentiellement représentée par le genre *Gymnodinium* qui peut dépasser 100 000 cellules/l (fig. 8c) non toxiques. Les *Prorocentrum* n'apparaissent qu'en juillet 1991, tandis que les *Protopéridinium* sont sporadiquement présents de juin à octobre.



**Fig.6** - Relation entre la photosynthèse relative ( $P/P_{max}$ ) et l'éclairement pour différents groupes phytoplanctoniques (sous le nom des chlorophycées sont groupés les chlorophycées et les prasinophycées) (d'après Ryther 1956 in Bougis 1974).





Durant la période hivernale, la faible population phytoplanctonique (< 20 000 cellules/l) n'est représentée que par des diatomées pennées benthiques *Navicula* et *Pleurosigma*, témoignant de l'importance de la remise en suspension.

Le bloom printanier de 1992 débute fin janvier par une efflorescence de *Skeletonema costatum*, petite diatomée pélagique à multiplication rapide qui nécessite donc de fortes concentrations en sel nutritif, mais dont l'intensité lumineuse optimale est rapidement atteinte (Eppley et al, 1969, in Bougis, 1974).

De mars à mai, la prolifération de nombreux genres de diatomées centriques (fig. 7b) ainsi que des genres pélagiques parmi les diatomées pennées, telles que *Asterionella*, *Nitzschia* et *Thalassiosira*, indique une bonne pénétration de la lumière dans la colonne d'eau. Une prolifération monospécifique de *Leptocylindricus* est observée fin mai, alors qu'un très faible développement de diatomées pennées benthiques *Navicula*, *Pleurosigma* apparaît entre juin et juillet ainsi qu'un genre de diatomées centriques *Chaetoceros*. Au sujet de ce dernier, il se pourrait que son association avec des cyanophycées susceptibles d'utiliser les sels nutritifs dissous (Bougis, 1974) soit responsable de son développement post-printanier.

Enfin, en août 1992, on observe une croissance exclusive de dinoflagellés représentés uniquement par le genre *Gymnodinium* qui atteint des concentrations de 100 000 cellules/l (fig. 8c).

#### 4\*) Variations annuelles de la composition phytoplanctonique

La figure 9 présente la répartition de la biomasse phytoplanctonique (estimée par comptage de cellules) en principaux genres pour chaque année, de 1988 à 1992.

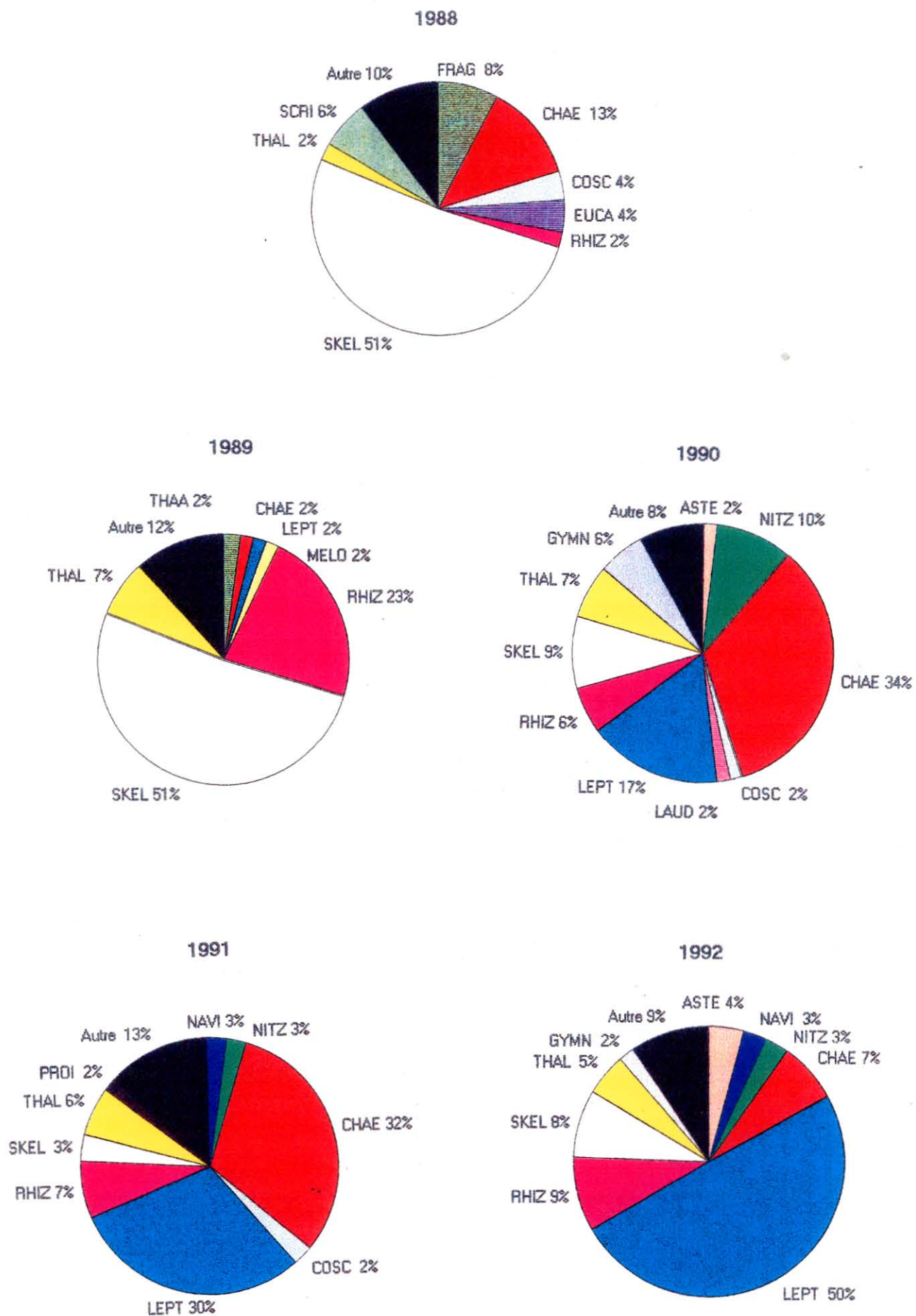
Les graphes 9a et 9b établissent la nette prédominance des *Skeletonema* (> 50 %) lorsque les biomasses phytoplanctoniques sont faibles ; tandis que les graphes 9d et 9e indiquent la prépondérance du genre *Leptosira* (30 < > 50 %) lors des années à forte biomasse phytoplanctonique.

Certains genres représentent le même pourcentage quelle que soit l'année. C'est le cas de *Thalassiosira* (compris entre 2 et 7 %), *Rhizosolenia* (compris entre 2 et 9 %) sauf en 1989 où il atteint 93 %.

Le genre *Chaetoceros* est toujours présent (> 2 %) mais suit une fréquence très irrégulière selon les années sans facteur apparent.

Tous ces genres appartiennent au groupe des diatomées centriques et ne présentent aucune préférence pour le bloom automnal ou le bloom printanier (annexe).





**Fig.9** - Répartition annuelle des principaux genres, en nombre de cellules par années, de 1988 à 1992.

#### IV. CONCLUSION

Il ressort de cette étude que la pluviométrie est un facteur prépondérant pour le développement de la biomasse phytoplanctonique dans le bassin et pour la composition spécifique de ces microalgues.

D'abondantes pluies en automne, favorisent le développement des microalgues chlorophylliennes qui sont les diatomées. Nous avons établi dans une étude précédente que les phosphates pourraient être les agents limitant la photosynthèse dans le Pertuis Breton. Or, les engrais phosphatés se répandent généralement après les labours (vers le mois d'octobre) sur le bassin versant de la Sèvre Niortaise et du Lay. Les engrais azotés sont utilisés de janvier à avril (Barillé, 1994). Ces résultats semblent donc confirmer notre hypothèse.

Lorsque la biomasse phytoplanctonique est abondante, les genres *Leptosira* et *Chaetoceros* sont largement dominants. Tandis que lorsque les conditions hydrologiques du bassin sont moins favorables, le genre *Skeletonema* représente plus de 50 % de la biomasse phytoplanctonique. Il serait donc très intéressant de connaître le comportement physiologique des mollusques du bassin vis-à-vis de ces quelques genres déterminant la qualité de la nourriture disponible pour les mollusques. Sont-elles toutes ingérées et assimilées de la même manière ? Apportent-elles la même quantité d'énergie au mollusque ? Ainsi nous serions plus à même de définir la réelle capacité trophique d'un bassin pour un mollusque donné.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Bacher C., Menesguen A., Raillard O., Héral M., Deslous-Paoli J.M. et Razet D., 1990. Modélisation de l'écosystème du bassin de Marennes-Oléron. Rapport IFREMER RIDRV 90, 125 p.
- Backer H.A., 1935. The culture and physiology of marine dinoflagellates. *Arch. Microbiol* 6 : 157-184.
- Bardouil M., Bohec C., Bougrier S., Cormerais M. et Lassus P., 1993. Etude expérimentale des effets d'un régime composé de microalgues toxiques sur la nutrition de l'huître creuse *Crassostrea gigas* Thunberg. *J. Shell. Fish. Research*, Vol. 12 (2) : 417-422.
- Barillé A.L., 1994. Hydrologie d'un site conchylicole : le Pertuis Breton. Soumis à *Halieutis*.
- Barillé L., 1993. Observations des éléments structuraux intervenant dans les mécanismes de nutrition préingestifs chez l'huître japonaise *Crassostrea gigas*. *Haliotis* (sous presse).

- Barillé L., Prou J., Héral M. et Bougrier S., 1993. No influence of food quality, but ration-dependant retention efficiencies in the Japanese oyster *Crassostrea gigas*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 171 : 91–106.
- Bayne B.L. and Newell R.C., 1983. Physiological energetics of marine molluscs. *The Mollusca*, vol. 4, part 1, Academic Press London, Wilbur K.M. et Salenddin A.S. (Eds) : 407–513.
- Bioteau H., 1993. Modélisation de l'écosystème de l'étang de Thau : rôle du sédiment et des huîtres cultivées sur le cycle de l'azote. Rapport IFREMER, 47 p.
- Bougrier P., 1974. Ecologie du plancton marin. I. Le phytoplancton. Masson et Cie (ed.), 195 p.
- Bricelj V.M., Lee J.H., Cembela A.D. and Anderson D.M., 1990. Uptake of *Alexandrium fundyense* by *Mytilus edulis* and *Mercenaria mercenaria* under controlled conditions in Toxic Marine Phytoplankton. Graneli et al. (editors) 269–274, New-York Elsevier Sci Publi Co.
- Chapelle A., 1991. Modélisation d'un écosystème marin côtier soumis à l'eutrophication ; la Baie de la Vilaine (Sud-Bretagne). Etude du phytoplancton et du bilan en oxygène. Doct. Océan. Uni. Paris VI, 201 p.
- Cucci T.L., Shumway S.E., Newell R.C., Selvin R., Guillard R.R.L. and Yensch C .M., 1985. Flow cytometry : a new method for characterization of differential ingestion, digestion and egestion by suspension feeders. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 24 : 201–204.
- Dupuy J.L. and Sparks A.K., 1968. *Gonyaulax washingtonensis*, its relation ship to *Mytilus californianus* and *Crassostrea gigas* as a source of paralytic shellfish toxin in Sequin Bay Washington. *Proc. Nat. Shellfish Ann.*, 58 : 2.
- Frenkiel L., 1980. Les organes sensoriels chez les lamellibranches. *L'année biologique* 19.
- Galstoff P.S., 1964. The American oyster *Crassostrea virginica* (Gmelin). *US Bur. Comm. Fish.*, 64 : 1–480.
- Healey F.P., 1975. Physiological indicators of nutrient deficiency in algae–environment. *Can. Fish. Mar. Service Techn. Rep.* n°585 : 30 p.
- Hopkins A.E., 1932. Sensory stimulation of the oyster *Ostrea virginica* by chemicals. *Fish Bull.*, 47 : 249–261.

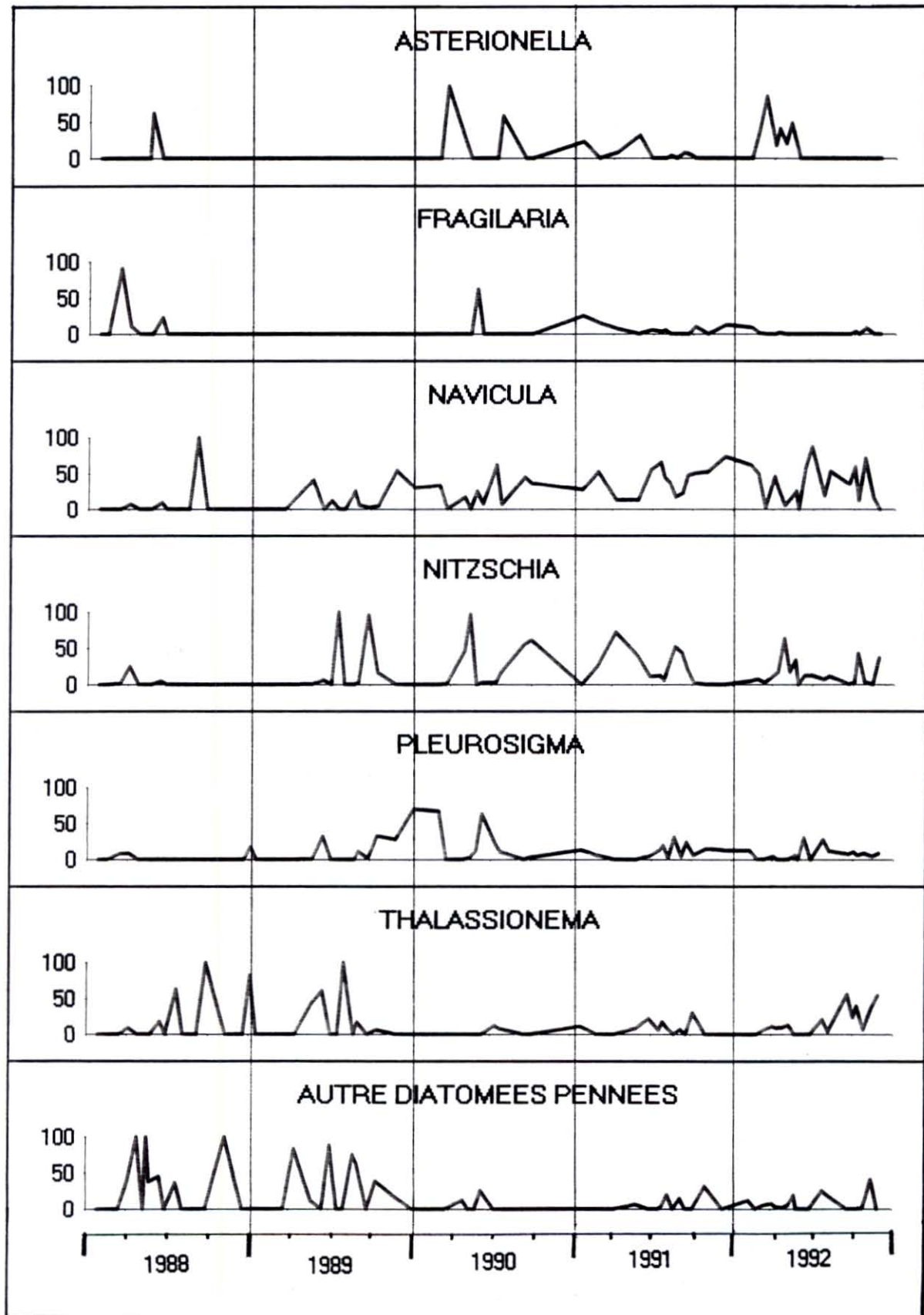
- Jorgensen C.B., 1960. Efficiency of particule retention and rate of water transport in undisturbed lamellibranchs. *CIEM* 26.
- Keizer P.D., Gordon D.C. Jr., Schwinghamer P., Daborn G.R., Ebenhoeh W., 1987. Cumberland bassin ecosystem model : structure performance and evaluation. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. rapport* ISSN 1547, 220 p.
- Loosanoff V.L., 1949. On the food selectivity of oysters. *Science*, 110 : p 122.
- Mohlenberg F. et Riisgard H.U., 1978.
- Moir A.J.G., 1977. Ultrastructural studies on ciliated receptors of long tentacles on the giant scallops *Placopecten magellanicus* (Gmelin). *Cell. Tiss. Res.*, 184 : 367–380.
- Newell R.I.E. and Jordan S.J., 1983. Preferential ingestion of organic material by American oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 13 : 47–53.
- Peirson W.M., 1983. Utilization of eight algal species by the scallop *Argopecten irradians* (Say). *J. exp. Mar. Biol. Ecol.*, 68 : 1–11.
- Radford P.J. et al., 1993. The European Regional Seas Ecosystem Model. *Repport MAST programme (MAST-0021c)*.
- Santhaman R., Scrinivasan A. et Devaraj M., 1990. Trophic model in an estuarine ecosystem of Southeast Coast of India. *ICES C.M.* L 45.
- Shumway S.E., Cucci T.L., Newell R.C. et Yentsch C.M., 1985. Particle selection, ingestion and absorption in filter feeding bivalves. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 91 : 77–92.
- Shumway S.E. and Cucci T.L., 1987. The effect of the toxic dinoflagellates *Protogonyaulax tamarensis* on the feeding and behaviour of bivalve molluscs. *Aquatic Toxicology*, 10 : 9–27.
- Shumway S.E., Cucci T.L., Newell R.C. and Yentsch C.M., 1985. Particle selection, ingestion and absorption in filter-feeding bivalves. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 91 : 77–92.
- Smaal A.C. et Sholten H., 1989. Modelling interactions shellfish culture and Oosterscheldesystem. *ICES EMAEM*.
- Vahl O., 1972. Particle retention and relation between water transport and oxygen uptake in *Clamys opercularis* (L.) (Bivalvia). *Ophelia* 17 : 239–246.

# ANNEXE

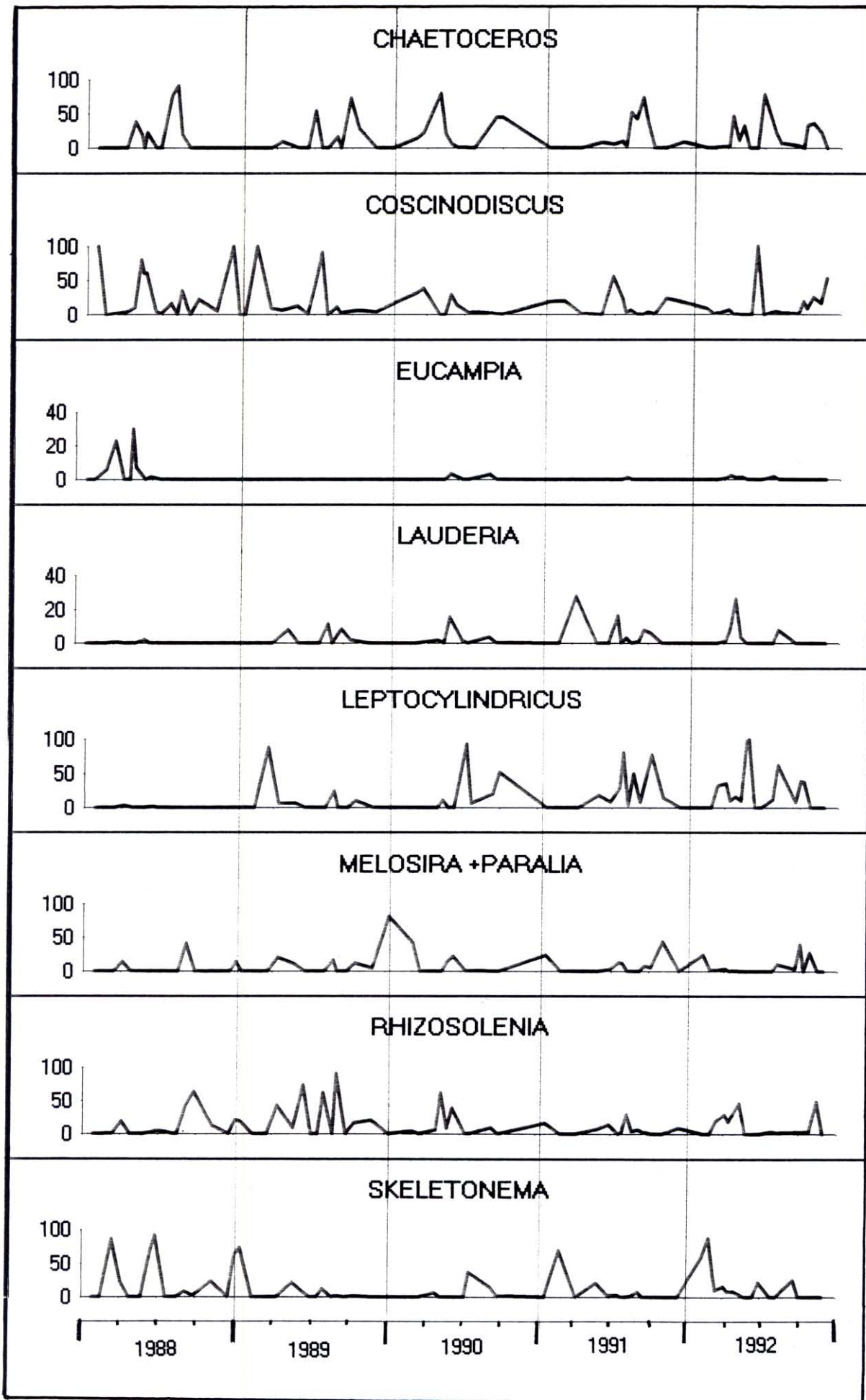
Fréquence des genres phytoplanctoniques dans leurs groupes respectifs au cours des cinq années de 1988 à 1992.

## DIATOMEES PENNEES

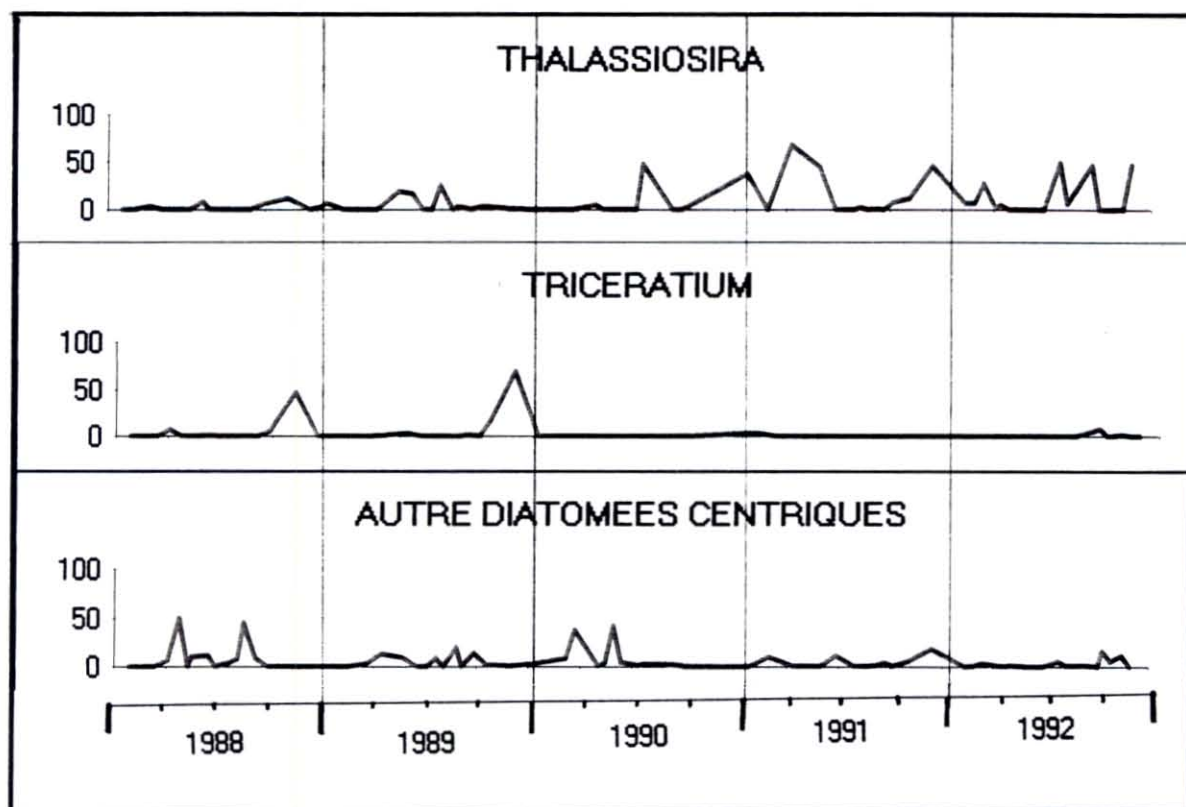
Pourcentage de chaque espèce de diatomée pennée



DIATOMEES CENTRIQUES  
Pourcentage de chaque espèce de diatomée centrique



**DIATOMEES CENTRIQUES (suite)**  
**Pourcentage de chaque espèce de diatomée centrique**



**DINOFLAGELLES**  
**Pourcentage de chaque espèce de dinoflagellés**

