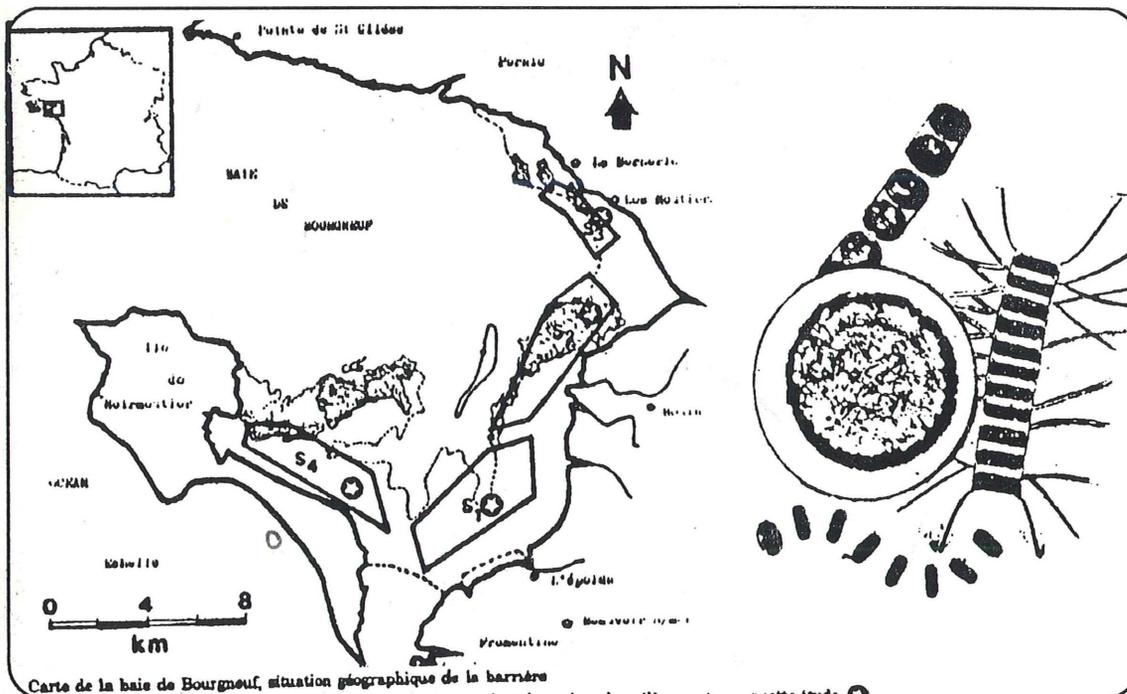
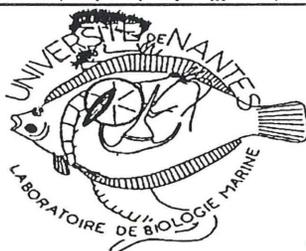


CARACTERISTIQUES HYDROBIOLOGIQUES
DE QUATRE SECTEURS OSTREICOLES
DE LA BAIE DE BOURGNEUF
EN 1987

Jean-Pierre BAUD, Joël HAURE, Anne MARION, Jean-Michel ROBERT



Carte de la baie de Bourgneuf, situation géographique de la barrière



RIDRV-90.04-RA/ BOUIN

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES

Adresse :

IFREMER
Station de Bouin
Polder des Champs
85230- Bouin
Tel. 51.68.77.80

DEPARTEMENT Ressources Aquacoles

STATION/LABORATOIRE de Bouin

AUTEURS(S) :		CODE :
Jean-Pierre BAUD, Joël HAURE, Annie MARION, Jean-Michel ROBERT		RIDRV-90.04- RA/ Bouin
TITRE : Caractéristiques hydrobiologiques de quatre secteurs ostréicoles de la baie de Bourgneuf en 1987		Date : 15/02/1990 Tirage en nombre :
		Nb pages : 66 Nb figures : Nb photos :
CONTRAT (intitulé)	SMIDAP	DIFFUSION
N° 87-4-224		libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> confidentielle <input type="checkbox"/>

RESUME

Une étude hydrobiologique de quatre secteurs ostréicoles a été menée de mars à octobre 1987. Les eaux de la baie de Bourgneuf sont favorables à l'ostréiculture en raison de leurs teneurs en chlorophylle, sels nutritifs et seston. Les caractéristiques hydrobiologiques sont cependant différentes entre les secteurs nord et sud, ces derniers présentent des conditions de milieu d'élevage plus stables.

Le gradient de richesse phytoplanctonique de la zone intertidale proche du continent est orientée selon la veine principale du courant résiduel des masses d'eau, avec une décroissance marquée du nord au sud. Le secteur le plus nord (S3) est en période estivale une zone à forte probabilité de développement de Dinoflagellés durant les marées de vives eaux. La zone du sud-ouest, sous l'influence d'une veine de courant résiduel secondaire et indépendante, demeure une zone très favorable à l'élevage.

En baie de Bourgneuf le rapport chlorophylle sur seston minéral apparait un descripteur approprié pour mettre en évidence les interactions entre le milieu et la croissance des huîtres.

mots clés : Hydrobiologie, ostréiculture, phytoplancton, baie de Bourgneuf

key words :



SOMMAIRE

	Pages
REMERCIEMENTS	
INTRODUCTION	1
I. LE CONTEXTE GEOGRAPHIQUE	2
II. MATERIELS ET METHODES	4
2.1. Stations de prélèvement	4
2.2. Méthodes de prélèvements et d'analyses	5
2.2.1. Prélèvement des échantillons	5
2.2.2. Techniques d'analyses des eaux	7
2.2.2.1. Paramètres physicochimiques	7
2.2.2.2. Sels nutritifs	7
2.2.2.3. Estimation des teneurs pigmentaires du phyto- plancton et composition spécifique des peuplements	8
III. CARACTERISTIQUES HYDROBIOLOGIQUES	8
3.1. Caractéristiques hydrobiologiques	8
3.1.1. Paramètres climatiques	8
3.1.1.1. Insolation	8
3.1.1.2. Température de l'air	9
3.1.1.3. Précipitations atmosphériques	10
3.1.1.4. Vents	11

3.1.2. Variabilités spatio temporelles des paramètres hydrobiologiques mesurés en période de vives eaux	14
3.1.2.1. Hauteur d'eau	14
3.1.2.2. Paramètres physicochimiques (analyses en composantes principales)	16
3.1.3. Variabilité spatio temporelle des paramètres hydrobiologiques mesurés en période de vives eaux et mortes eaux	19
3.1.4. Caractéristiques hydrobiologiques des quatre stations (S1, S2, S3, S4) en baie de Bourgneuf	21
3.1.4.1. Température	21
3.1.4.2. Salinité	22
3.1.4.3. Poids de seston minéral	25
3.1.4.4. Poids de seston organique	26
3.1.4.5. Eléments nutritifs	26
3.2. Phytoplancton	30
3.2.1. Evolution saisonnière de la chlorophylle a et de la phéophytine a	30
3.2.2. Densités numériques des espèces du phytoplancton	32
3.2.2.1. Résultats correspondant au cumul des mortes eaux et des vives eaux	32
3.2.2.2. Résultats des mortes eaux et des vives eaux	34
3.2.3. Structure et succession des populations en périodes de vives et de mortes eaux	35
3.2.3.1. Période de vives eaux	35
3.2.3.2. Période de mortes eaux	38

IV. DISCUSSION	40
4.1. Evolution saisonnière du phytoplancton	40
4.2. Comparaison entre Nord et Sud des paramètres physicochimiques	43
4.3. Evolution générale des principaux paramètres hydrobiologiques en baie de Bourgneuf	51
4.4. Incidence de l'évolution saisonnière des paramètres hydrobiologiques sur la croissance des huîtres creuses	58
VI. BIBLIOGRAPHIE	62

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier vivement :

- Mr Max Nourry et Mme Dominique Baud du département IFREMER-CSRU de Bouin pour l'aide efficace apportée lors de la récolte des données terrain.

- Mr Claude Leroy du centre IFREMER de Nantes pour sa coopération et son aide concernant la fourniture de données environnementales et physiques de la baie de bourgneuf.

- Mme Françoise Mornet du Laboratoire CNRS-IFREMER du CREMA L'Houmeau pour les analyses des sels nutritifs, des eaux de la baie de Bourgneuf.

- Mr Alain BODOY, Chef du Laboratoire Régional IFREMER à La Tremblade, pour les corrections apportées au niveau de la rédaction de cette étude.

- Mlle Sylvie Taillade, secrétaire du Laboratoire RA-IFREMER de La Tremblade, pour la frappe et la mise en page de ce manuscrit.

INTRODUCTION

La région de la baie de Bourgneuf, localisée au sud de l'estuaire de la Loire, représente un site de première importance au niveau régional et national pour l'aquaculture, de par l'existence de vastes étendues de marais, de polders et d'estran. Pour la partie terrestre de cette région, différents travaux se sont attachés à décrire l'écologie des claires à huîtres (Robert, 1974, 1975, 1977, 1983), et la variabilité de celles-ci en peuplements algaux (Rince, 1978). Les facteurs limitant la fertilité de ces eaux ont également été mis en évidence (Robert et al. 1979, 1982 ; Maestrini et Robert, 1981). Pour ce qui est de la partie maritime, les auteurs se sont surtout intéressés à l'hydrologie et à la sédimentologie de la baie de Bourgneuf (Gouleau, 1968, 1971, 1975), à l'étude du zooplancton et plus particulièrement du plancton larvaire (Corbeil, 1968 ; Le Gallo, 1972 ; Cherfaoui, 1973). La seule étude sur les caractéristiques hydrobiologiques de la baie de Bourgneuf a été réalisée par Marion en 1985, sur une période d'une année. Elle avait principalement pour objectif de mettre en évidence les flux de matière particulaire et dissoute véhiculés par l'eau de mer à partir d'une station située à la limite de l'influence océanique et d'une zone de parcs ostréicoles. Cette eau transite depuis la mer ouverte vers l'estran colonisé par des mollusques filtreurs, pour irriguer finalement les marais littoraux.

Cependant, contrairement à la plupart des centres ostréicoles français, aucun travail scientifique n'a encore abordé les problèmes de la variabilité de la qualité nutritive des eaux baignant les zones d'élevage d'huîtres creuses dans la baie de Bourgneuf.

Or depuis quelques années, la diminution importante des vitesses de croissance et les fluctuations constatées dans l'engraissement des mollusques d'élevage ont rendu nécessaire l'étude des facteurs physicochimiques environnementaux en fonction des méthodes culturales. Cette étude s'inscrit donc dans le cadre d'un programme pluriannuel d'études, dans le but d'améliorer les rendements ostréicoles au niveau des différents secteurs d'élevage de la baie de Bourgneuf. Il comprend différentes opérations qui permettent d'estimer :

- les stocks d'huîtres en élevage et leurs principaux compétiteurs (Baud et Haure, 1989a),

- L'évolution de la croissance, du taux de mortalité de l'engraissement et de la qualité biochimique des huîtres en élevage (Haure et Baud, 1989b),
- **Une description de l'évolution spatio-temporelle des eaux conchylicoles.**

Cette dernière opération réunit les objectifs suivants :

- une caractérisation des grandes zones d'élevage sur le plan hydrobiologique,
- Une possibilité de comparaison avec d'autres bassins conchylicoles,
- Une identification des paramètres physicochimiques agissant sur la croissance et l'engraissement de l'huître *Crassostrea gigas*.

I. LE CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

La baie de Bourgneuf présente une configuration en forme d'entonnoir, d'une superficie de 34 000 ha avec au Nord une large ouverture de douze kilomètres et au Sud un étroit goulet de 800 mètres. Elle se différencie au niveau hydraulique et sédimentologique en deux zones délimitées par une bande rocheuse située au centre du bassin (fig. 1).

Au Nord, se situe une vaste cellule courantologique tourbillonnaire qui est alimentée irrégulièrement en eau douce dans sa partie nord par une partie des eaux de la Loire et le canal de Haute perche, dans sa partie Est par l'étier du Falleron. Cette partie Nord, aux estrans peu développés est constituée d'une succession de chenaux et de hauts fond se transformant au Nord-Est de la baie en une très large vasière (Gouleau, 1968). Au Sud s'étendent de grandes surfaces planes découvrantes à marée basse dont le sédiment est sableux à l'Est et sablo-vaseux à l'Ouest. Elles sont protégées des tempêtes d'Ouest par l'Ile de Noirmoutier. Les courants y sont alternatifs, orientés Nord-Sud. Le renouvellement d'eau y est inférieur à celui des secteurs Nord et déficitaire en mortes eaux (L.C.H.F., 1986). Un faible apport d'eau douce y est assuré périodiquement par quatre petits étiers situés dans la partie continentale.

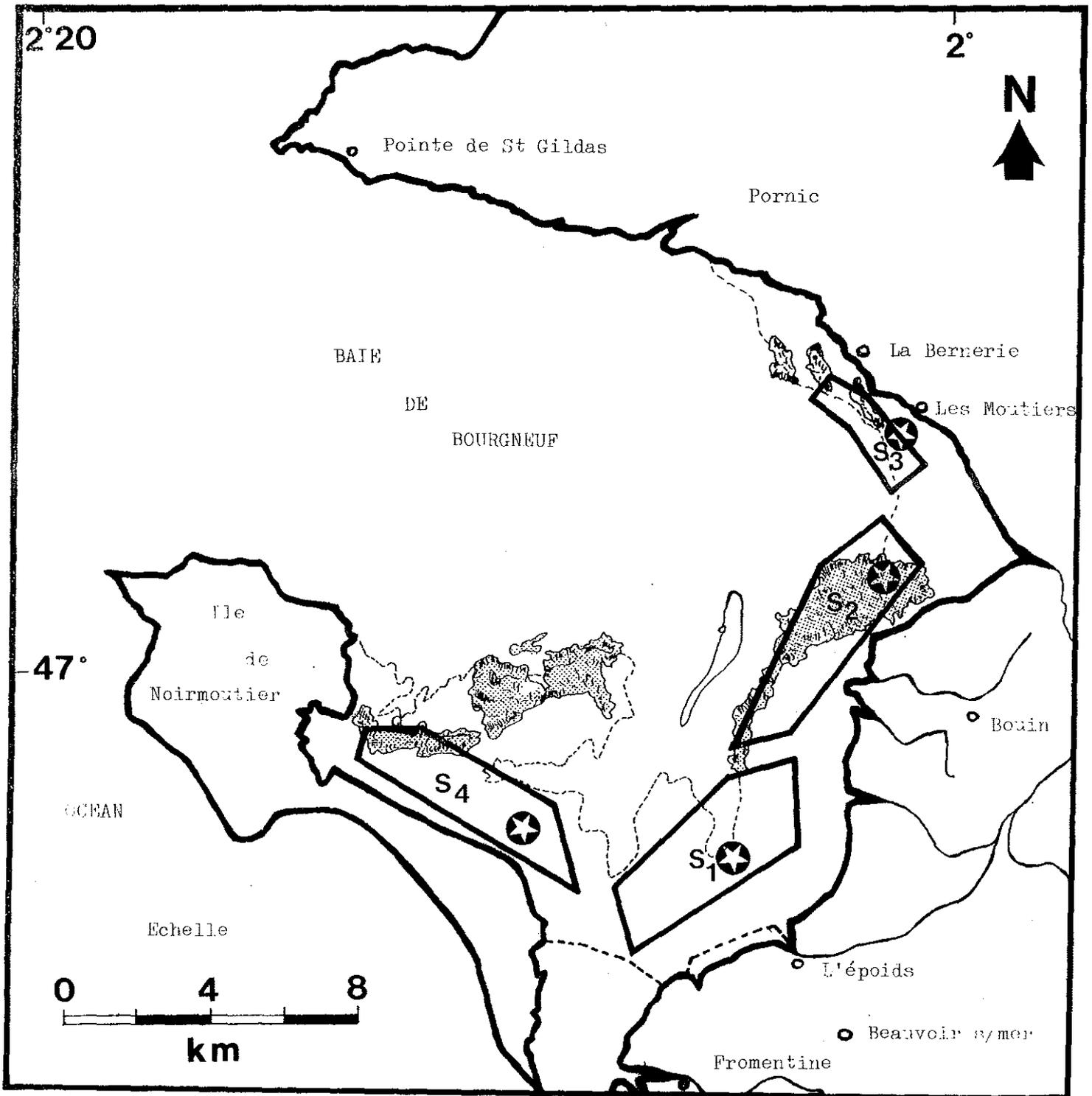


Figure 1 : Carte de la baie de Bourgneuf, situation géographique de la barrière rocheuse (▨), des grandes zones d'élevage sur estran (▭) et des points de prélèvements pour cette étude (★).

II. MATERIELS ET METHODES

2.1. Stations de prélèvement

Les vastes zones découvrantes ont été utilisées depuis l'après guerre pour la culture à plat et à partir de 1972 pour l'élevage de l'huître creuse en surélevé. Plusieurs zones ostréicoles ont été concédées par les affaires maritimes. Les études antérieures de stocks, réalisées depuis 1985, ont mis en évidence une homogénéité géographique de certains bancs. Une amélioration de la précision des résultats est obtenue lorsque l'on procède au regroupement de petits secteurs entre eux. Par souci de simplification, ceux-ci ont donc été regroupés par une lettre et un chiffre dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractérisation des différents secteurs, noms des bancs et surfaces exploitées. Les bancs soulignés représentent les zones tests.

N° Secteurs	Noms des bancs composant les secteurs	Surfaces exploitées en ha
S1	<u>GRIL</u> - BANCHIE DOUCE - CHARASSE	235,10
S2	RINGEAU <u>I.L.E BERGERE</u> <u>COUPELASSE</u>	224,62
S3	<u>MOUTIERS</u> NORTHE BERNERIE	65,14
S4	NOIRMOUTIER <u>GRESSELOUP</u>	134,26

Les grandes zones d'élevage sont ainsi différenciées géographiquement (fig. 1) : le Nord avec S2 et S3 et le Sud composé de S1 et S4. Sur chaque strate géographique référencée, un suivi de croissance, d'engraissement et de mortalité a été réalisé sur des huîtres creuses de 18 mois en période de vives eaux et selon un rythme mensuel (Haure et Baud, 1989b).

Le suivi hydrobiologique a donc été effectué sur les quatre secteurs (S1, S2, S3, S4) à proximité immédiate des élevages tests d'huîtres en surélevé. Les différents parcs ont été choisis à l'intérieur d'un banc (souligné dans le tableau 1) de surface importante. Ils découvrent pendant la période de basse mer d'un coefficient de 70 ou plus (fig. 1). Des prélèvements d'eau de mer y ont été effectués de mars 1987 à Novembre 1987, pendant la période annuelle de croissance des huîtres.

Afin de prendre en compte la variabilité des paramètres physicochimiques au cours d'un cycle de marée (Héral, com. pers.), les prélèvements étalés dans le temps ont été réalisés par station, en période de vives eaux et une fois par mois lorsque les conditions météorologiques le permettaient. Les prises d'eau ont été répétées pour chaque date de suivi, à 3 heures, 2 heures et 1 heure avant la basse mer. La période d'exondation des parcs ostréicoles était alors mis à profit pour effectuer le suivi de croissance des huîtres tests. En période de flot, les prélèvements étaient renouvelés à + 1 heure, + 2 heures et + 3 heures par rapport à la basse mer. De plus, pour mieux caractériser les variations des différents paramètres au cours de la saison, un échantillon d'eau de mer était prélevé à + 3 heures de flot dans chaque site en période de mortes eaux selon une fréquence mensuelle.

Concernant la fréquence des mesures, en période de vives eaux, les prélèvements étaient effectués sur quatre jours consécutifs, l'ordre des stations étant tiré aléatoirement. En période de mortes eaux, l'échantillon unique était prélevé presque simultanément sur les quatre sites à l'aide de deux embarcations.

2.2. Méthodes de prélèvements et d'analyses

2.2.1. Prélèvement des échantillons

Les prélèvements ont été effectués dans la zone intertidale avec des hauteurs d'eau peu importantes. Héral et al. (1984) et Ravail et al. (1987) ont montré que dans ces conditions dans le bassin de Marennes-Oléron, la différence observable entre la surface et le fond n'était pas significative. En outre, la lame

d'eau la plus intéressante à caractériser dans notre problématique étant celle se trouvant directement en contact avec les huîtres en élevage, tous les échantillons ont été collectés, sur un même point, dans une allée et au niveau des tables ostréicoles à 0,50 m environ par rapport au sol.

Trois prises consécutives ont été faites à l'aide d'une bouteille verticale d'une capacité de 2,5 l à chaque prélèvement aux dates et coefficients reportés dans le tableau 2. Une filtration préalable sur maille de 200 µm a été effectuée avant de mélanger dans un récipient les prises servant à la répartition des échantillons pour analyses immédiates ou différées.

Tableau 2 : Relevé des dates des prélèvements d'eau aux différentes stations et du coefficient de marée correspondant.

Mois	Stations	Date	Coefficient	Mois	Stations	Date	Coefficient
MARS	S1	17.03	94	AOÛT	S1	10.08	103
	S2	19.03	97		S2	13.08	92
	S3	1	-		S3	12.08	102
	S4	18.03	98		S4	11.08	106
	S	27.03	67		S	21.08	51
AVRIL	S1	14.04	88	SEPTEMBRE	S1	9.07	110
	S2	17.04	99		S2	11.07	92
	S3	18.04	92		S3	10.07	104
	S4	15.04	96		S4	8.07	109
	S	23.04	56		S	18.07	39
MAI	S1	13.05	85	OCTOBRE	S1	23.10	95
	S2	15.05	96		S2	26.10	79
	S3	27.05	78		S3	22.10	92
	S4	14.05	93		S4	-	-
	S	21.05	54		S	30.10	43
JUIN	S1	11.06	77	NOVEMBRE	S1	-	-
	S2	13.06	89		S2	-	-
	S3	16.06	84		S3	-	-
	S4	12.06	84		S4	19.11	75
	S	22.06	59		S	20.11	59
JUILLET	S1	15.07	89				
	S2	16.07	75				
	S3	11.07	86				
	S4	10.07	77				
	S	21.07	44				

Les paramètres suivants ont été mesurés : hauteur d'eau, température, salinité, pH, seston minéral, seston organique, chlorophylle a, phéopigments, sels nutritifs (N-NH₄, N-NO₂, N-NO₃, P-PO₄, Si-SiO₃) ainsi que la détermination des principales espèces phytoplanctoniques : Centrophycidées, Pennatophycidées et Dinoflagellés.

2.2.2. Techniques d'analyses des eaux

2.2.2.1. Paramètres physicochimiques

- Hauteur d'eau : elle est relevée avant chaque prélèvement d'eau par repérage du niveau sur une échelle graduée tous les 25 cm et préalablement installée dans les quatre stations.

- Température : Elle est relevée à l'aide d'un thermomètre au mercure gradué au 1/10ème de °C, immédiatement après le prélèvement d'eau.

- Salinité : elle est obtenue à l'aide d'un conductimètre salinomètre KENT EIL 5005

Ces paramètres ont tous été mesurés *in situ*.

- Poids de seston : Le poids de seston total est estimé à partir de la filtration d'un volume connu d'eau de mer sur filtre Whatman GF/C préalablement séché et pesé. Il est ensuite rincé au formiate d'ammonium, puis étuvé durant 24 heures à 50°C. Après pesée du filtre (seston total) celui-ci est placé dans un four à 450°C pendant 15 mn. La différence de pesée après crémation et avant filtration correspond au poids de seston minéral. Le poids de seston organique est calculé par différence entre le poids du seston total et le poids du seston minéral.

2.2.2.2. Sels nutritifs

Les échantillons d'eau pour l'analyse des sels nutritifs ont été filtrés à bord de l'embarcation sur membrane Whatman GF/C de porosité 0,45 µ à l'aide d'une pompe à vide manuelle et stockés aussitôt à basse température et à

l'obscurité dans une glacière puis congelés dès le retour au laboratoire. Les teneurs en N-NH₄, N-NO₂, N-NO₃, P-PO₄, Si-SiO₃, des différents échantillons ont été évaluées sur une chaîne d'analyse en flux continu de type Skalar selon la méthode de Treguer et Le Corre (1976).

2.2.2.3. Estimation des teneurs pigmentaires du phyto- plancton et composition spécifique des peuplements

Les teneurs pigmentaires du phytoplancton exprimées en chlorophylle a et en phéophytine a sont estimées selon la méthode de Lorenzen (1967) à l'aide d'un fluorimètre Turner. Auparavant, une partie aliquote d'eau de mer était filtrée sur trois membranes GF/C Whatman imbibées de Mg CO₃ puis conservée à l'abri de la lumière à 4°C avant d'être congelée avant analyse.

La composition spécifique des peuplements micro-algaux a été déterminée pour les prélèvements correspondant à la basse mer (BM-3 H, BM-1H, BM+1H, BM+3H) en vives eaux et BM+3H en mortes eaux. Les échantillons d'1 litre d'eau de mer sont conservés à +4°C après adjonction d'1ml de formol et de 1,5 ml de Lugol à 4 %. La détermination a été effectuée au microscope photonique selon la méthode d'Utermöhl (1958) adaptée par Rince (1978).

III. CARACTERISTIQUES HYDROBIOLOGIQUES

3.1. Caractéristiques hydrobiologiques

3.1.1. Paramètres climatiques

L'analyse des différents facteurs climatiques a été effectuée à partir des données du centre météorologique départemental de la Roche Sur Yon et de Nantes/Chateau Bougon ainsi que du sémaphore de l'Ile d'Yeu.

3.1.1.1. Insolation

L'intensité lumineuse exprimée en rayonnement (J/cm²) et le nombre d'heures d'ensoleillement ont une influence sur la production primaire des zones côtières, de manière directe par l'énergie lumineuse distribuée, nécessaire à la

photosynthèse pour la division des microalgues et indirectement par le réchauffement des eaux. Le rayonnement a été calculé pour l'année 1987 à partir des données de la station météorologique de Noirmoutier.

L'évolution mensuelle de l'intensité solaire par rapport à la moyenne calculée de 1985 à 1988 montre (fig. 2) :

- Une tendance excédentaire (non significative) au printemps notamment en avril et mai bénéfique pour la croissance phytoplanctonique.

- Une tendance déficitaire en juin, juillet et octobre et des moyennes proches de la normale pour les autres mois.

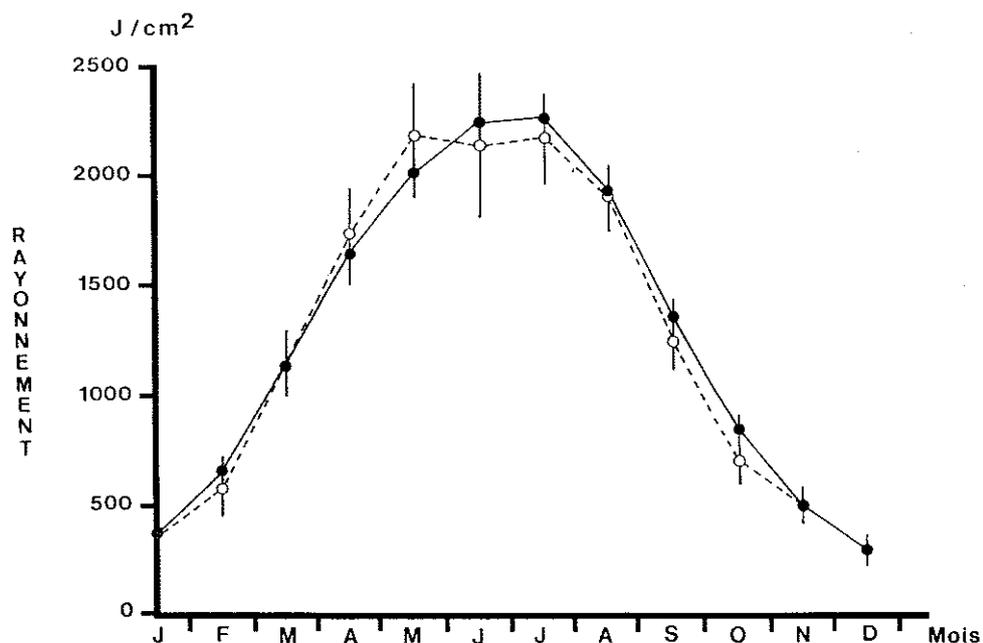


Figure 2 : Comparaison des évolutions mensuelles de l'intensité solaire au cours de l'année 1987 (○) par rapport à la moyenne calculée de 1985 à 1988 (●).

3.1.1.2. Température de l'air (fig. 3)

Les moyennes de température ont été calculées à partir des données de la station continentale de St Jean de Monts et de la station météorologique située dans l'île de Noirmoutier.

La période printanière a été caractérisée par des températures inférieures aux moyennes saisonnières hormis le mois d'avril exceptionnellement chaud (différence significative). L'été s'est caractérisé par des températures proches de la normale, tandis que les températures automnales ont été très favorables, surtout au mois de septembre avec des valeurs records au début de la seconde quinzaine de septembre. L'amplitude maximale observée entre le mois de mars et de novembre a été de 11,6°C.

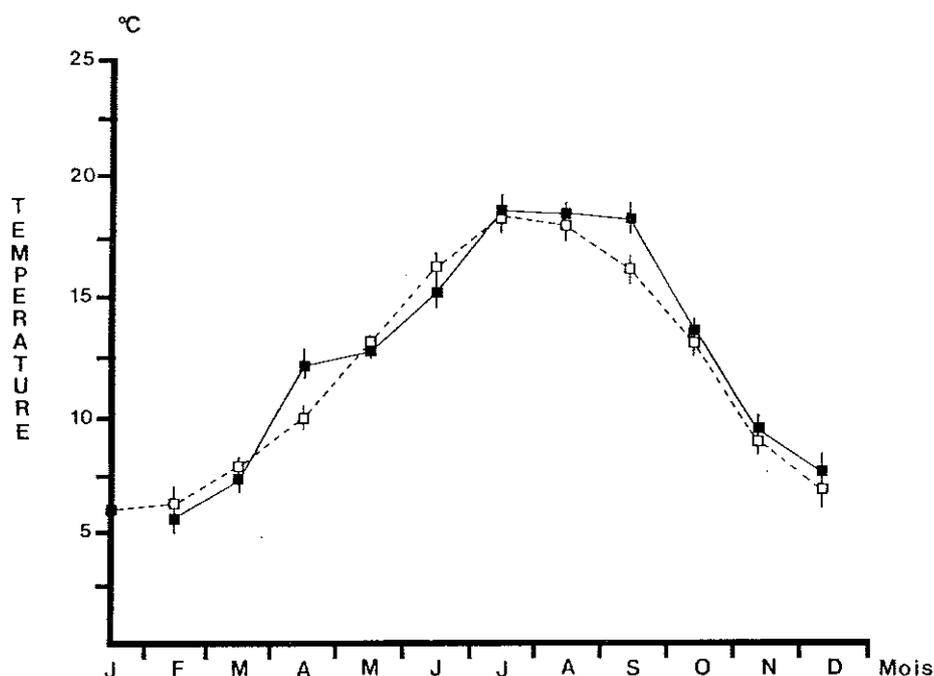


Figure 3 : Comparaison des évolutions mensuelles des températures au cours de l'année 1987 (■) par rapport à la moyenne calculée de 1968 à 1988 (□).

3.1.1.3. Précipitations atmosphériques

Réalisées à partir des stations météorologiques identiques à celles utilisées pour l'évolution des températures, la courbe cumulée des précipitations mensuelles comparée à l'évolution calculée sur 20 ans (fig. 4) met en évidence :

- Un déficit marqué pour les mois de janvier, février et mai,
- Un excédent pluviométrique significatif aux mois de mars, juin, juillet et surtout octobre.

Cette analyse est en accord avec celle de Maggi et al. (1988) qui à partir des résultats du centre météorologique de Nantes, notent pour la même année un excédent hydrique de :

- + 145 % pendant la période du 21 mars au 10 avril,
- + 165 % du 1er au 20 juin,
- + 268 % du 11 au 21 juillet,
- + 290 % du 1er au 20 octobre.

En conclusion, l'année 1987 est caractérisée par des périodes de déficit pluviométrique entrecoupées par trois phases très pluvieuses au printemps, en été et en automne.

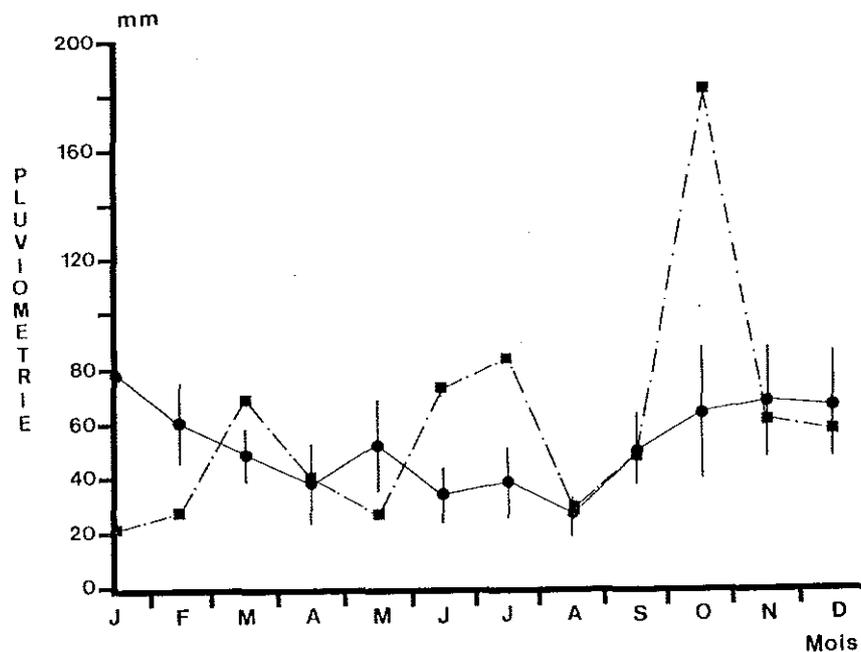


Figure 4 : Evolution mensuelle de la hauteur des précipitations durant l'année 1987 (■-■) par rapport à la moyenne des précipitations calculée de 1968 à 1988 (●-●).

3.1.1.4. Vents

Les vents suivant leur intensité et leur direction agissent sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux côtières de la baie de Bourgneuf en favorisant :

- L'accélération des mélanges ou la stratification des eaux de salinités différentes,
- La formation de houles qui provoque un clapot et un déferlement intense sur les vasières littorales, responsables de la remise en suspension de vases,
- Le freinage ou l'accélération des courants marins.

Borne (1987) note dans une synthèse bibliographique de la baie de Bourgneuf que les vents dominants sont de secteur Ouest (33,3 %) puis dans l'ordre décroissant Est (24,4 %), Nord (18,9 %) et Sud (15,6 %). Les vents violents sont pour la plupart de secteur ouest d'après Gouleau (1968) et jouent un rôle primordial dans la région Nord de la baie en remettant la vase en suspension. De plus l'action des vents, et notamment ceux de secteur Nord et Nord-Ouest sembleraient déterminants pour la pénétration des eaux de la Loire en baie de Bourgneuf lors de périodes de crues.

Le vent jouerait donc un rôle complexe dans cet écosystème en favorisant les apports d'eaux dessalées favorables à l'enrichissement des eaux en sels nutritifs, mais aussi en inhibant la production primaire au niveau des vasières littorales par une remise en suspension des matières minérales particulières déposées, qui induit une forte turbidité freinant la pénétration de la lumière.

Globalement, les moyennes de vitesses du vent en 1987 ont été très légèrement excédentaires par rapport à la normale calculée de 1977 à 1987. Ceci est observé principalement aux mois de mai et surtout d'octobre avec les tempêtes des 7 et 15 qui sévirent en automne sur toute la côte Ouest.

L'analyse graphique mensuelle des vents en fonction de leur direction et de leur vitesse réalisée par Maggi et al. pour l'année 1987 à partir des données du sémaphore de l'Ile d'Yeu a été reproduite (figure 5). En mars, les vents modérés et forts des secteurs Ouest, Nord-Ouest ont été importants, favorisant le bon mélange des eaux littorales avec les eaux continentales apportées par les

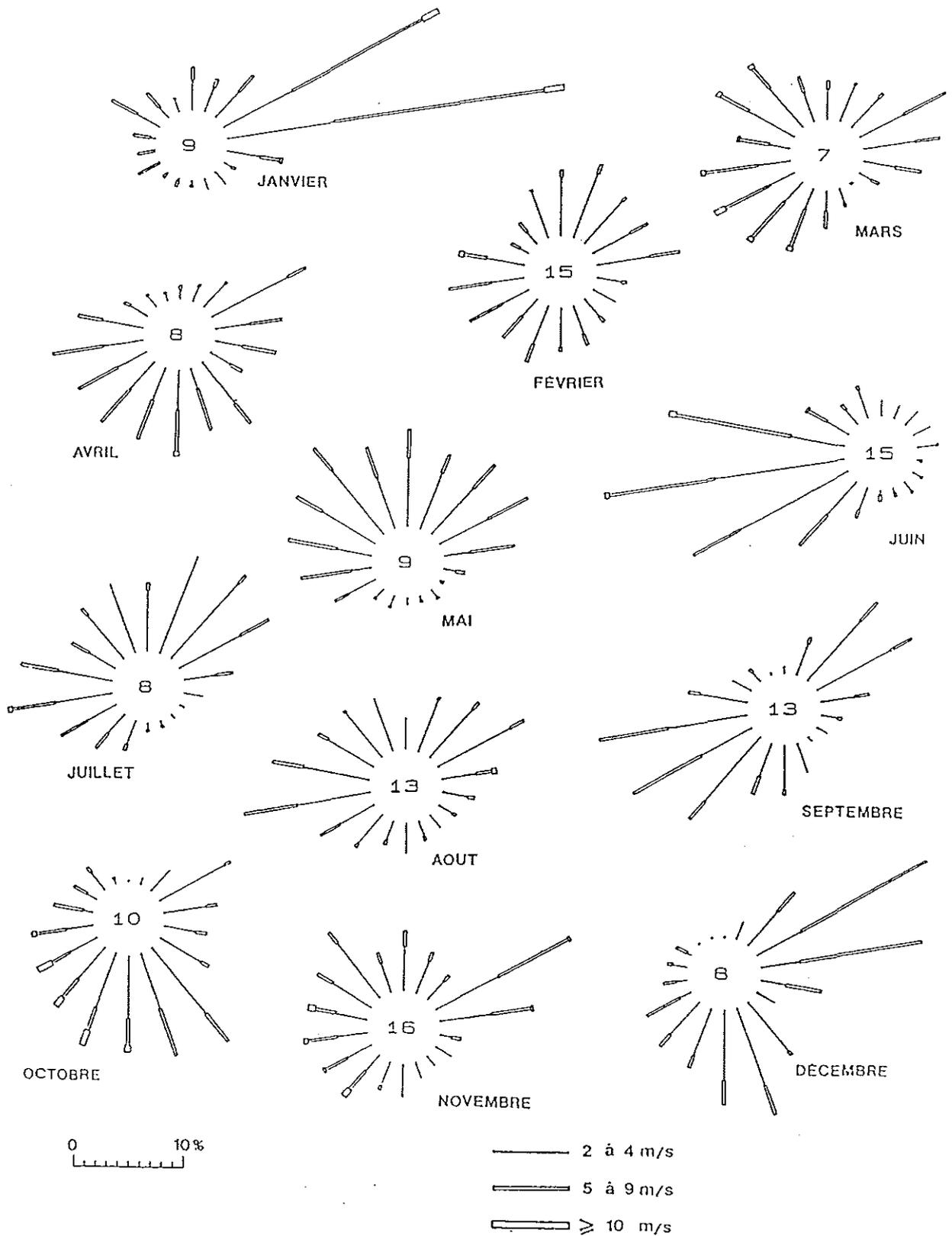


Figure 5 : Pourcentages relatifs des intensités de vents, en fonction des directions, pour les mois de 1987. Les chiffres au centre des roses indiquent les pourcentages de vents calmes (inférieurs à 2 m/s) (d'après Maggi et al., 1988).

pluies, durant la décade du mois. En avril, les vents modérés ont été fréquents du Nord-Est à l'Ouest ce qui a favorisé l'homogénéisation des eaux de la baie. En mai, les vents faibles et modérés ont été dominants du Sud-Ouest à l'Est. En juin, les vents d'Ouest modérés et parfois forts ont été très importants influençant surtout le Nord de la baie. En juillet, août et septembre, les vents modérés ont largement dominés. En octobre, les vents de secteurs Sud et Ouest ont été abondants avec des vents très violents soufflant en rafales.

En résumé, au printemps, les vents ont soufflé surtout en mai et juin, tandis que la période estivale a été relativement stable alors qu'en automne et plus particulièrement en octobre, deux tempêtes ont fortement agitées les eaux de la baie de Bourgneuf.

3.1.2. Variabilités spatio temporelles des paramètres hydrobiologiques mesurés en période de vives eaux (- 3HBM, - 2HB, - 1HBM, + 1HBM, + 2HBM, + 3HBM)

3.1.2.1. Hauteur d'eau

Les différentes moyennes des hauteurs d'eau enregistrées en même temps que la prise d'échantillon d'eau de mer au cours de la saison 1987 sont regroupées par station dans le tableau 3.

Tableau 3 : Hauteurs moyennes des eaux en fonction des cycles de marée et des secteurs géographiques.

	stations		SECTEURS SUD				SECTEURS NORD			
	Heure	code	S1		S4		S2		S3	
VIVES EAUX	- 3H	1	3,82m	$\sigma = 0,13$	3,25m	$\sigma = 0,25$	2,85m	$\sigma = 0,15$	2,98m	$\sigma = 0,27$
	- 2H	2	2,31m	$\sigma = 0,17$	1,97m	$\sigma = 0,08$	1,95m	$\sigma = 0,17$	2,17m	$\sigma = 0,27$
	- 1H	3	1,30m	$\sigma = 0,10$	1,06m	$\sigma = 0,10$	0,94m	$\sigma = 0,12$	1,05m	$\sigma = 0,26$
	+ 1H	5	0,90m	$\sigma = 0,11$	0,78m	$\sigma = 0,06$	0,76m	$\sigma = 0,04$	0,76m	$\sigma = 0,06$
	+ 2H	6	2,67m	$\sigma = 0,23$	2,35m	$\sigma = 0,15$	2,26m	$\sigma = 0,07$	2,06m	$\sigma = 0,17$
	+ 3H	7	4,33m	$\sigma = 0,23$	3,82m	$\sigma = 0,18$	3,61m	$\sigma = 0,12$	3,48m	$\sigma = 0,11$
MORTES EAUX	+ 3H	8	3,20m	$\sigma = 0,09$	3,12m	$\sigma = 0,13$	2,60m	$\sigma = 0,08$	2,98m	$\sigma = 0,34$

L'épaisseur de la lame d'eau semble légèrement supérieure (+ 0,18 m) dans les secteurs Sud par rapport au Nord au cours de la période de jusant et s'accroît (+ 0,45 m) lors du premier flot de vives eaux. La nette diminution de la lame d'eau enregistrée à 3 heures de flot en mortes eaux (- 0,83 m) par rapport à la même période de vives eaux met en évidence la différence de marnage pendant ces deux périodes.

La moyenne, toutes stations confondues des hauteurs d'eau sur les différentes zones ostréicoles en baie de Bourgneuf met en évidence une amplitude beaucoup plus marquée du flot par rapport au jusant, amplitude illustrée par la figure 6.

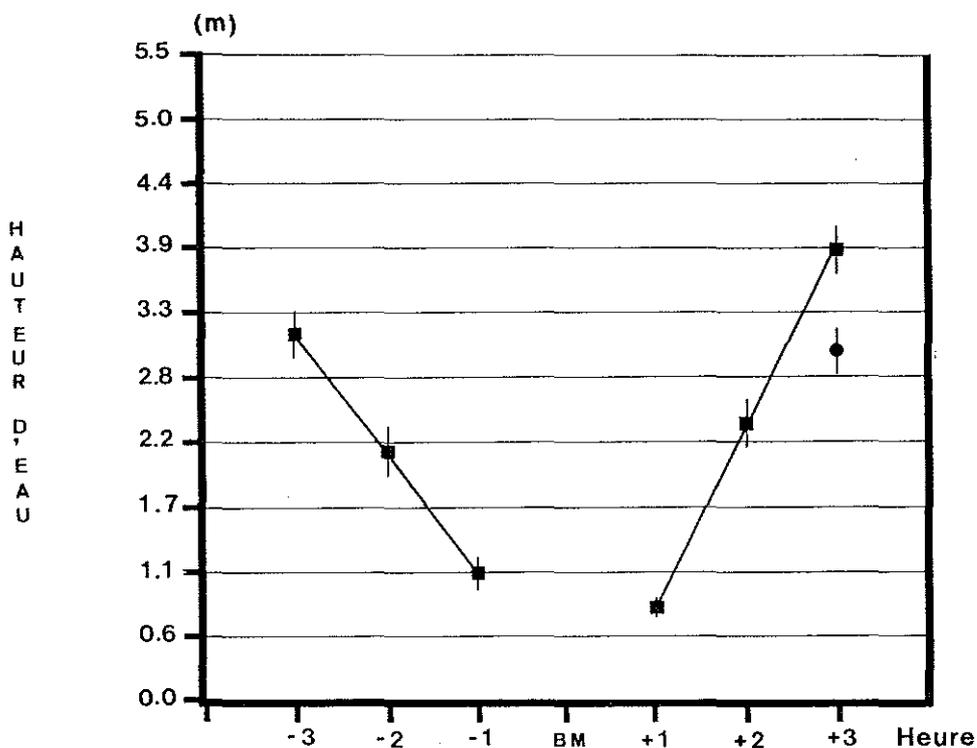


Figure 6 : Moyenne des hauteurs d'eau lors des différents prélèvements réalisés en période de vives eaux (■) et de mortes eaux (●).

On constate donc une dissymétrie dans la courbe du cycle de marée, qui est générée probablement par la topographie de la baie de Bourgneuf et la courantologie des quatre secteurs ostréicoles étudiés.

3.1.2.2. Paramètres physico-chimiques (analyses en composantes principales)

Le recours aux méthodes d'analyses de données est nécessaire pour synthétiser les multiples informations apportées par les variations des principaux paramètres physico-chimiques au cours d'un cycle de marée dans les différentes stations et ce durant la période de mars à octobre 1987. Le mois de novembre n'a pu être analysé du fait de l'irrégularité de l'échantillonnage due à des conditions météorologiques médiocres. L'analyse en composantes principales ainsi réalisée sur les variables permet d'expliquer 84 % de la variabilité totale sur les quatre premiers axes, dont 58,5 % sur les axes 1 et 2.

La matrice de corrélation met en évidence une corrélation négative entre la salinité et la chlorophylle *a*, ainsi que des corrélations positives interactives entre le seston minéral, le seston organique et les teneurs pigmentaires (chl*a*, phéo *a*) (tableau 4). Les teneurs en sestons minéraux contribuent fortement à la formation de l'axe 1 alors que l'axe 2 est corrélé à la salinité. La variable chlorophylle *a* est proche de celle des sestons organiques tandis que les teneurs en phéopigments d'origine détritique sont regroupées avec le seston minéral et la vitesse du vent sur la figure 7.

Tableau 4 : Matrice des corrélations des eaux de vives eaux dans les différentes stations en baie de Bourgneuf.

(TOUS LES COEFFICIENTS SONT MULTIPLIES PAR 1 000)								
	SAL	PH	SESM	SESO	CHLA	PHEO	TEMP	VITV
SAL	1 000							
PH	- 25	1 000						
SESM	- 23	113	1 000					
SESO	- 285	122	770	1 000				
CHLA	- 465	- 54	622	677	1 000			
PHEO	129	25	669	450	270	1 000		
TEMP	335	- 85	- 173	- 320	- 220	- 77	1 000	
VITV	260	43	439	266	215	331	- 314	1 000

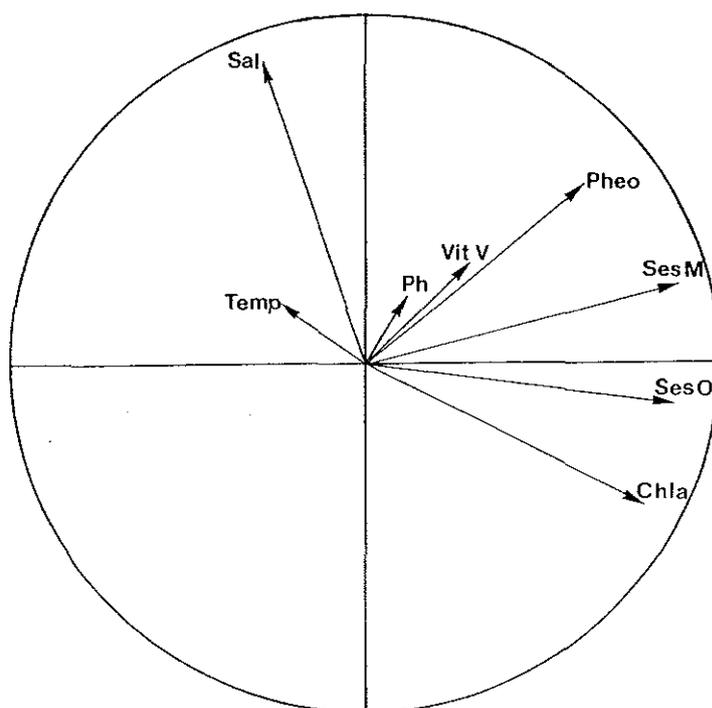


Figure 7 : Cercle de corrélation des variables des eaux de vives eaux dans les différentes stations de la baie de Bourgneuf : Sal = Salinité, Temp = Température, Ph = Ph, SesM = Seston minéral, SesO = Seston organique, Chla = Chlorophylle a, Pheo = phéophytine a, VitV : Vitesse du vent.

La projection des observations sur le plan (1,2) (fig. 8) visualise une opposition marquée sur l'axe 1 entre le site 4 et le site 3. Cette opposition est provoquée essentiellement par les variations de teneurs en seston minéral responsables de la plus ou moins forte turbidité de l'eau. Ainsi le gradient de turbidité différencie les différentes stations selon l'ordre croissant S4, S1, S2, S3. Dans une moindre mesure, les échantillons - 1HBM et + 1HBM se séparent des autres heures de prélèvements, rendant ainsi compte de charges sestoniques plus importantes pour les hauteurs d'eau les plus basses.

Sur l'axe 2, l'effet saison prédomine avec notamment une individualisation marquée du mois d'avril. Ceci correspond à une forte dessalure des eaux à cette époque du printemps, concomitante de l'apparition d'une efflorescence phytoplanctonique observée dans toutes les stations prélevées. II

faut noter également que le mois de septembre, représentatif d'une période comportant des eaux fortement salées est en opposition avec avril pour toutes les stations. Enfin, en octobre, seul le secteur 3 situé dans le Nord du bassin s'individualise, rendant compte d'une dessalure automnale ponctuelle dans le temps et l'espace par rapport à l'ensemble de la baie de Bourgneuf.

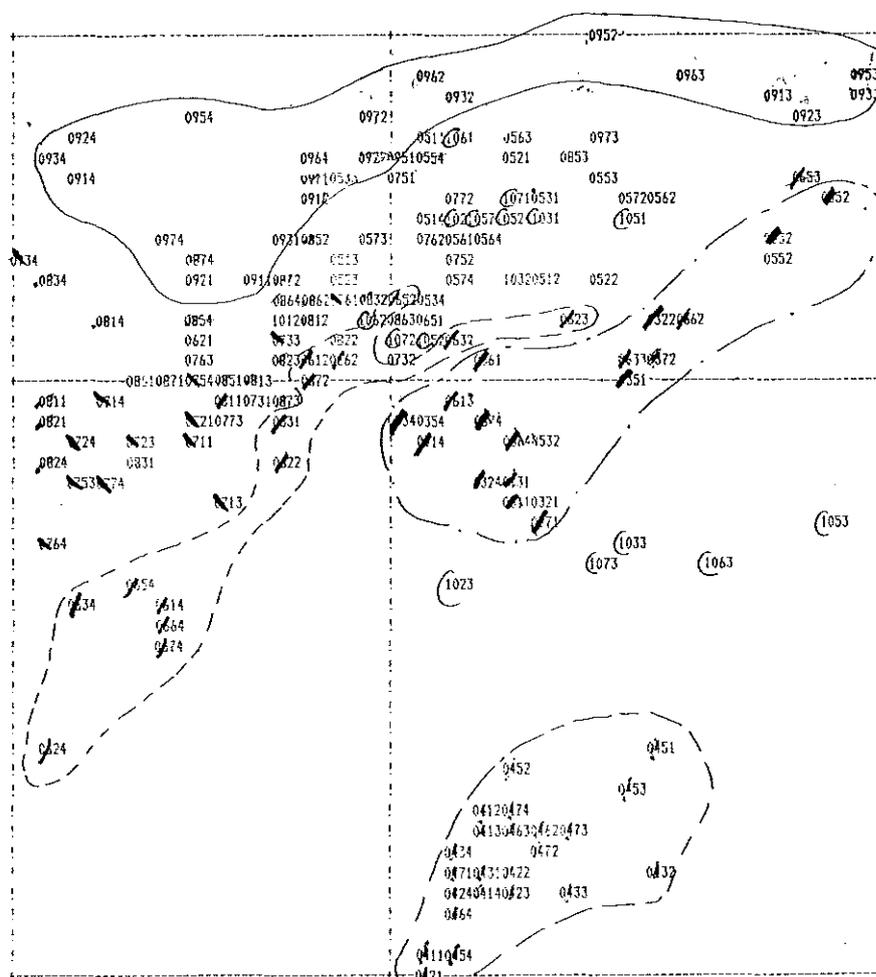


Figure 8 : Représentation sur les axes 1 et 2 des prélèvements d'eau effectués en vives eaux dans les différentes stations de la baie de Bourgneuf (les deux premiers chiffres correspondent au mois de prélèvement, le troisième à l'heure de prélèvement et le quatrième au secteur étudié. Ex : 1023 = octobre, 2 heures avant la marée basse sur le secteur S3).

3.1.3. Variabilité spatio temporelle des paramètres hydrobiologiques mesurés en période de vives eaux et mortes eaux (+ 3HBM en vives eaux et + 3HBM en mortes eaux)

Dans cette analyse seuls les prélèvements effectués à + 3 heures par rapport à la basse mer sont étudiés pour pouvoir comparer l'impact des périodes de cycle de marée en baie de Bourgneuf.

Les trois premiers axes de cette analyse en composantes principales permettent de conserver 83,9 % de la variabilité totale dont 72,2 % sur les deux premiers axes. Les sestons organiques et les pigments chlorophylliens sont corrélés négativement avec la salinité alors que des corrélations positives sont trouvées entre le seston minéral, le seston organique et les phéopigments (tableau 5).

Tableau 5 : Matrice des corrélations des variables des eaux de vives eaux et de mortes eaux (+ 3H) dans les différentes stations de la baie de Bourgneuf.

(TOUS LES COEFFICIENTS SONT MULTIPLIES PAR 1000)						
	SAL	PH	SESM	SESO	CHLA	PHEO
SAL	1 000					
PH	- 330	1 000				
SESM	- 133	15	1 000			
SESO	- 474	227	657	1 000		
CHLA	- 571	526	391	548	1 000	
PHEO	150	- 202	590	165	- 41	1 000

La projection des variables sur l'axe 1 (fig. 9) oppose la salinité à l'ensemble seston organique et chlorophylle alors que l'opposition phéopigment, pH contribue à la formation de l'axe 2. Comme dans l'analyse précédente on retrouve la proximité des variables, seston minéral et phéopigments, ainsi que seston organique et chlorophylle a.

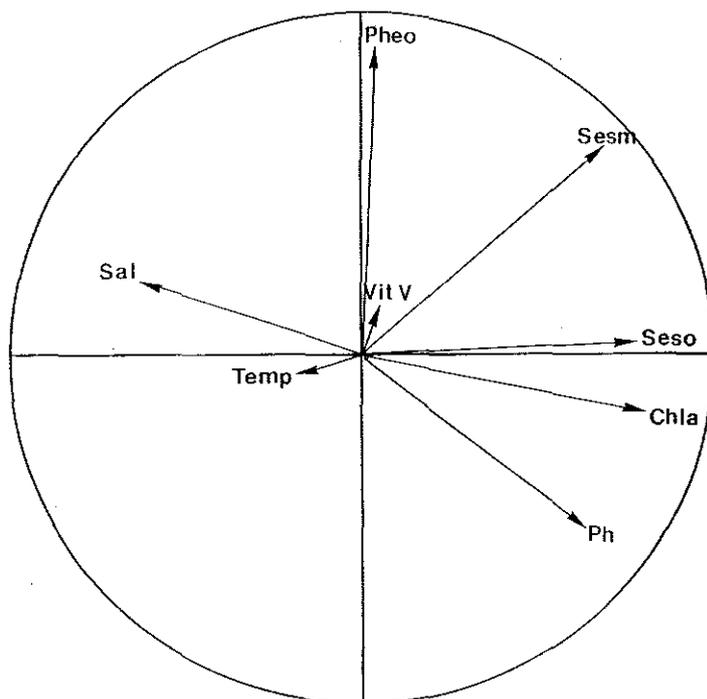


Figure 9 : Cercle de corrélation des variables des eaux de vives eaux et de mortes eaux confondues (+ 3H) dans les différentes stations de la baie de Bourgneuf. Abréviations identiques à celles utilisées pour la figure 7.

Sur la figure 10, la projection des observations sur le plan (1,2) illustre l'individualisation des masses d'eau en vives et mortes eaux avec une variabilité très importante sur le plan qualitatif en vives eaux alors que la période de mortes eaux diminue ces différences. Cependant le secteur 4 au Sud-Ouest du bassin demeure le site le moins variable concernant ces deux périodes. Sur l'axe 2, le pH qui est corrélé avec la chlorophylle permet d'individualiser le mois d'avril et plus particulièrement les eaux à forts coefficients de marée. Quelques prélèvements de vives eaux des secteurs 1, 2 et 3 sont également individualisés sur ce même axe à l'opposé des observations du mois d'avril. Ils sont représentatifs de fortes concentrations de seston minéral et d'éléments détritiques caractérisés par les phéopigments et rencontrés en période automnale durant les marées de vives eaux.

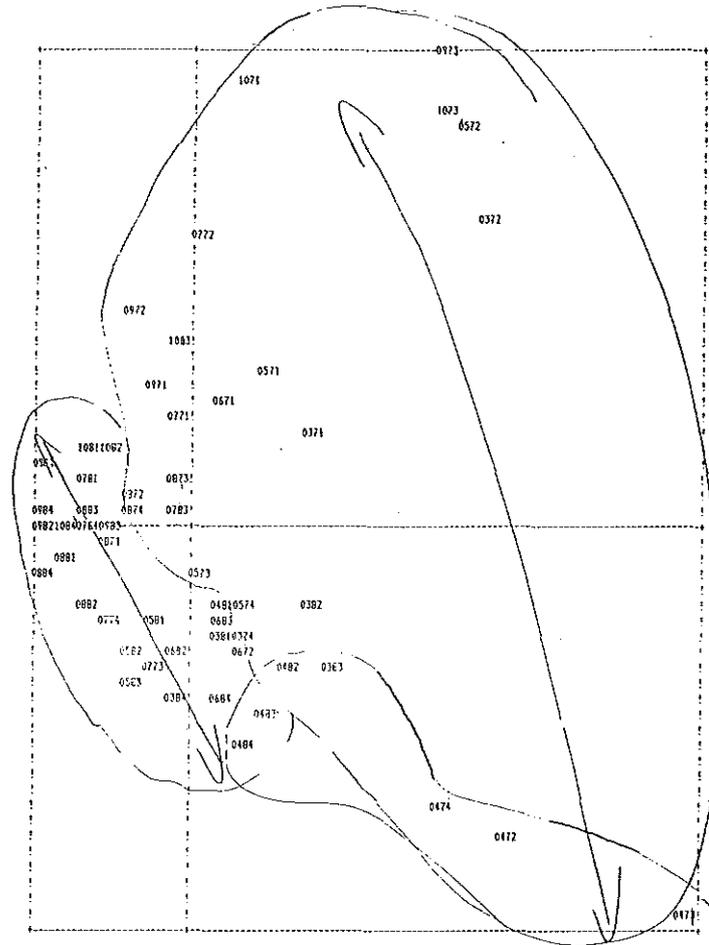


Figure 10 : Représentation sur les axes 1 et 2 des prélèvements d'eau effectués en vives eaux (7) et en mortes eaux (8) correspondant à + 3H par rapport à la marée basse durant ces deux périodes dans les différentes stations de la baie de Bourgneuf.

3.1.4. Caractéristiques hydrobiologiques des quatre stations (S1, S2, S3, S4) en baie de Bourgneuf.

Toutes les estimations des différents paramètres hydrobiologiques correspondent à la moyenne des échantillons + 3HBM de mortes eaux et de vives eaux prélevés mensuellement dans chaque station.

3.1.4.1. Température (fig. 11)

L'évolution générale est la même dans toutes les stations. On observe une augmentation progressive des températures de l'eau, de 8,5°C en mars

jusqu'à environ 20°C durant les mois de juillet, août, septembre. Elles retombent ensuite brutalement jusqu'à 13°C en octobre. C'est en période estivale que les différences de température sont les plus importantes, bien qu'elles soient non significatives entre les stations, avec des maxima atteints dans le secteur Nord (S3) et des minima au niveau de S4 au Sud-Ouest.

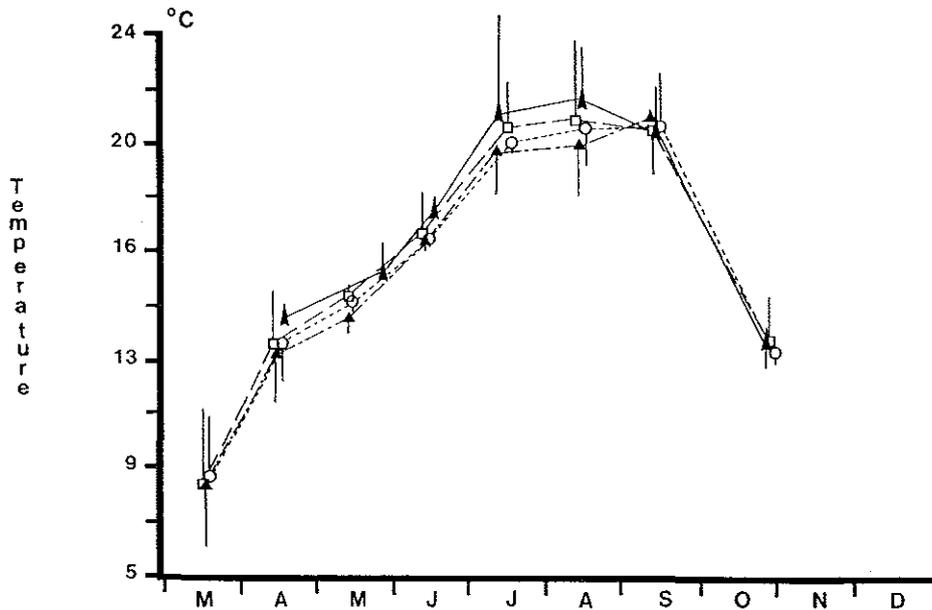


Figure 11 : Evolution mensuelle des températures de l'eau de mer en vives eaux et mortes eaux (+ 3H) dans les quatre stations étudiées. Site 1 (□), Site 2 (○), Site 3 (▲), Site 4 (▲).

3.1.4.2. Salinité (fig. 12)

La salinité des eaux varie de 29,9 ‰ à 34,8 ‰ durant la période étudiée. Au printemps, une baisse brutale de la salinité est enregistrée simultanément dans les quatre secteurs durant le mois d'avril. En automne, seule la station 3 est affectée par une baisse de salinité d'environ 2 ‰ par rapport aux stations 2 et 1. Les autres mois sont caractérisés par une salinité homogène pour les différentes stations et supérieure à 33 ‰. La salinité des eaux apparait liée aux variations de précipitation enregistrées pendant la période d'étude (fig. 13). En effet, les deux périodes de dessalure qui sont localisées en avril et en octobre correspondent aux pics de précipitations pour l'année étudiée.

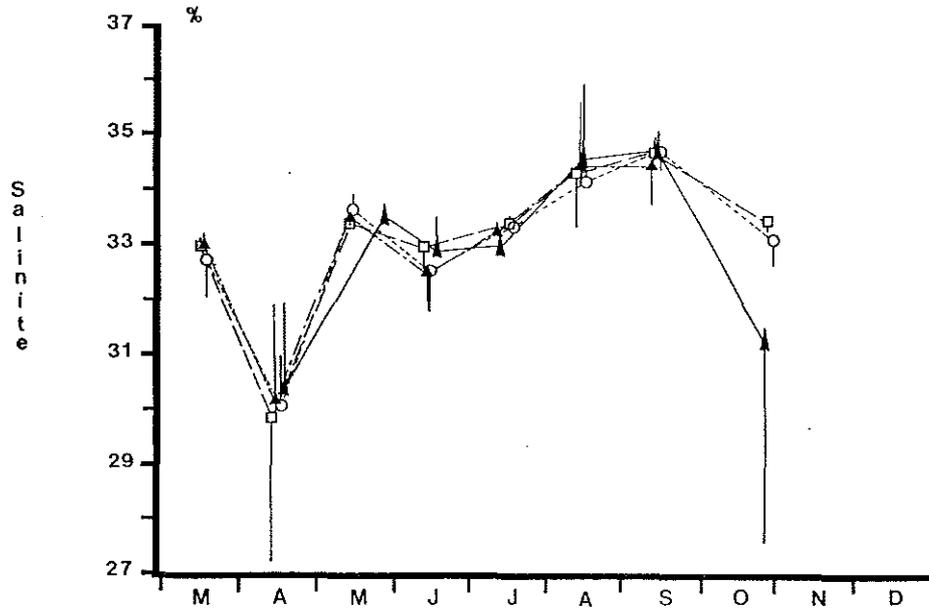


Figure 12 : Evolution mensuelle des salinités de l'eau de mer en vives eaux et mortes eaux (+ 3H) dans les quatre stations étudiées. Site 1 (□), Site 2 (○), Site 3 (▲), Site 4 (▲).

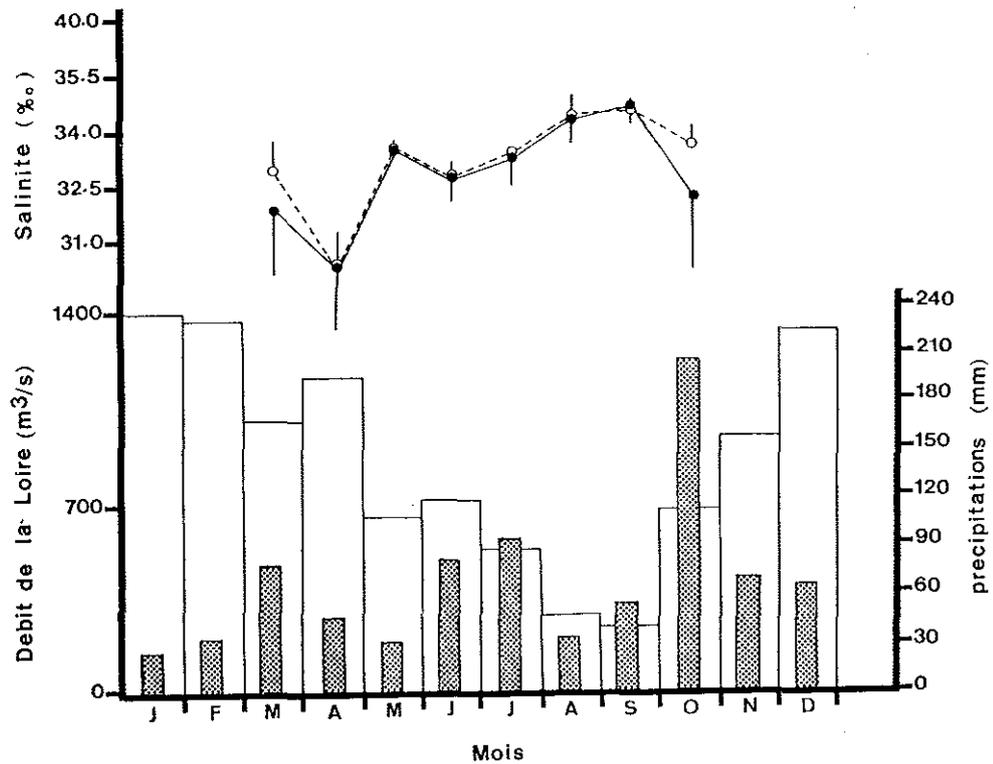


Figure 13 : Variations mensuelles du débit de la Loire à St Nazaire (□) de la moyenne des précipitations obtenues aux stations météorologiques de St Jean de Monts et de Noirmoutier (▨) et de la salinité des eaux de la baie de Bourgneuf dans les secteurs Nord (S2 et S3 ; ●) et Sud (S1 et S4 ; ○) au cours de l'année 1987.

Toutefois ces baisses de salinité enregistrées ne sont pas proportionnelles aux volumes des précipitations. Elles se manifestent parfois sur l'ensemble des stations ou bien de façon localisée. Ces apports importants d'eau douce peuvent provenir de la Loire et/ou des étiers se jetant dans la baie. La direction, la force du vent ainsi que les coefficients de marée semblent réguler le mélange des eaux douces en amplifiant ou minimisant le phénomène. Pour évaluer ce phénomène, seules les estimations de débits de la Loire sont disponibles. Les variations mensuelles de débits au cours de l'année 1987 ont été comparées à la normale calculée sur la période 1943-1988 (fig. 14). Globalement les débits moyens sont déficitaires de janvier à mai, légèrement excédentaires en juin, juillet, proches de la normale en août, septembre et supérieurs à la normale d'octobre à décembre.

Toutefois, la période pluvieuse printanière se situe pendant la dernière décade de mars et la première d'avril et correspond à un cycle de vents modérés à dominante Ouest, Nord-Ouest. La période de forte pluviométrie automnale, quant à elle, est accompagnée de vents modérés à forts de secteur, Sud, Sud-Ouest.

Dans le premier cas, le vent favorise la pénétration et l'homogénéisation des eaux de la Loire dans l'ensemble des zones conchylicoles. Dans le second cas malgré un apport d'eau douce plus important, les vents empêchent l'introduction massive des eaux fluviales dans la baie et contiennent les eaux dessalées dans le secteur Nord.

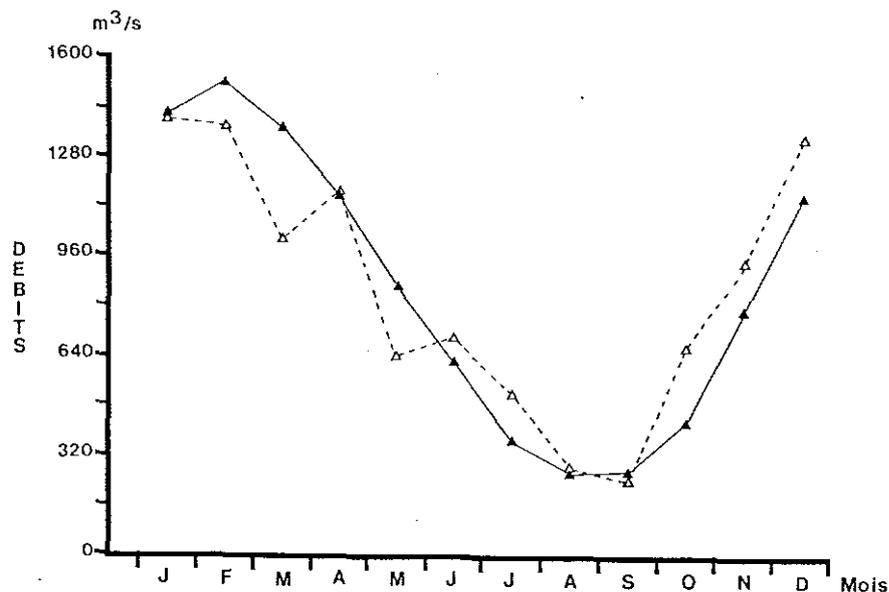


Figure 14 : Variation des débits mensuels de la Loire (Δ - Δ) au cours de l'année 1987 par rapport à la courbe moyenne des débits de 1943 à 1988 (\blacktriangle - \blacktriangle).

3.1.4.3. Poids de seston minéral (fig. 15)

La quantité de seston minéral dans les différents secteurs de la baie de Bourgneuf varie de 8 à 138 mg/l. la station 4 et la station 1 n'enregistrent que peu de variations au cours de la saison (8 à 40 mg/l) alors que les stations 2 et 3 atteignent des valeurs en matière en suspension très élevées (supérieures à 100 mg/l) avec des oscillations des teneurs très variables au cours des différentes saisons et non simultanées.

On peut supposer que ces variations entre secteurs et au cours du temps sont liées d'une part à la nature du sédiment et d'autre part à la climatologie et aux coefficients de marée. En effet, les sols des secteurs 2 et 3 sont constitués essentiellement de vases plus ou moins fines qui sont facilement remises en suspension par les forts courants. Le secteur 4 est quant à lui composé d'un sable hétérogène à granulométrie grossière et le sédiment du secteur 1 est du type sablo-vaseux. De plus, ces différences sédimentologiques sont amplifiées par une plus grande exposition des stations 2 et 3 aux tempêtes d'Ouest, et Nord-Ouest, par rapport aux stations plus Sud abritées quant à elles par l'Ile de Noirmoutier. L'influence de la climatologie est donc prépondérante sur la teneur en seston minéral dans les secteurs Nord de la baie de Bourgneuf. Ainsi, la concentration lors du premier flot de vives eaux dans le secteur 3 peuvent atteindre 1 g/l. Les teneurs sont généralement voisines de celles fréquemment rencontrées dans le bassin de Marennes-Oléron (Héral et al., 1982).

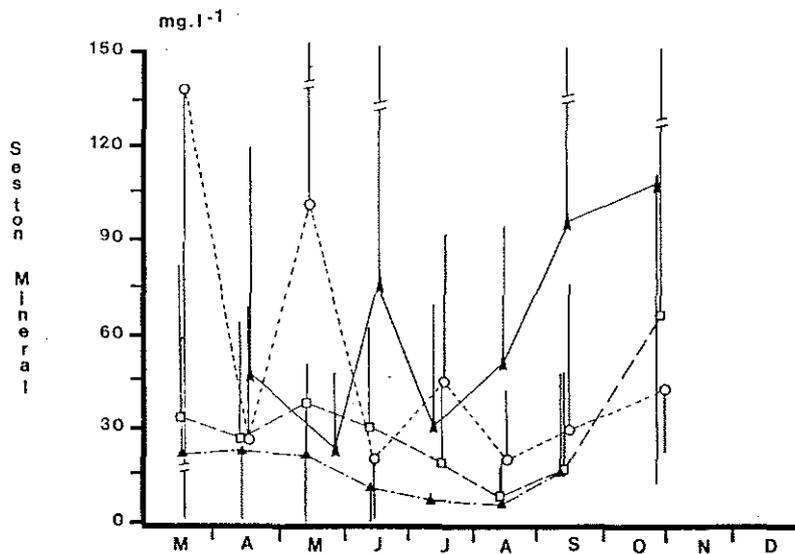


Figure 15 : Evolution mensuelle des poids de seston minéral de l'eau de mer en vives eaux et mortes eaux (+ 3H) dans les quatre stations étudiées. Site 1 (□), Site 2 (○), Site 3 (▲), Site 4 (△).

3.1.4.4. Poids de seston organique

Une tendance générale à la diminution des concentrations en seston organique de mars à août est observée sur les différents secteurs étudiés (fig. 16). Une augmentation automnale variable suivant les sites est enregistrée. Le secteur 3 reste une fois de plus la station subissant la plus grande variabilité des apports au cours de la saison ainsi que dans une moindre mesure le secteur 2.

Ceci met ainsi en évidence des conditions locales très particulières. En effet une augmentation des teneurs en seston organique ne va pas forcément de pair avec des teneurs en seston minéral élevées.

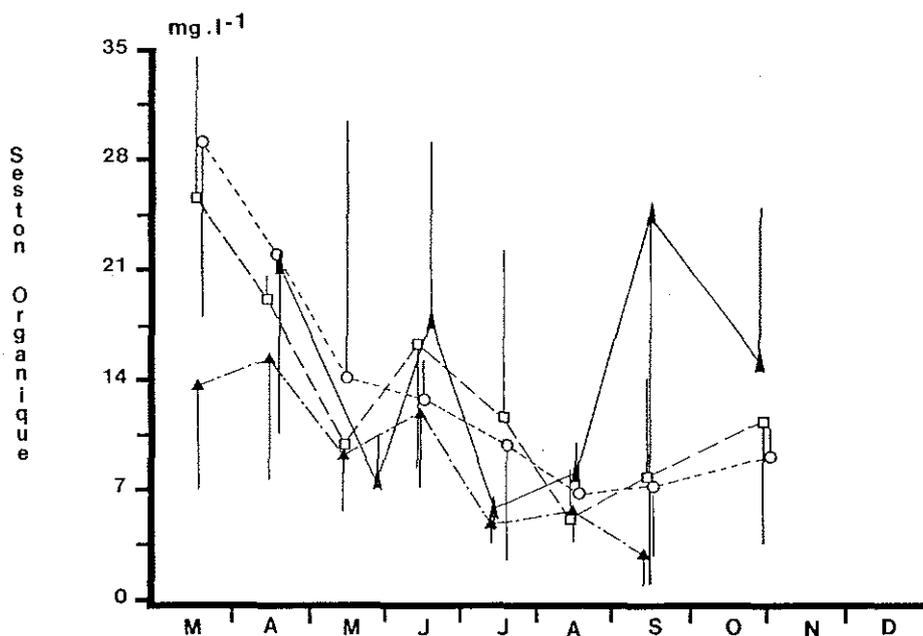


Figure 16 : Evolution mensuelle des poids de seston organique de l'eau de mer en vives eaux et mortes eaux (+ 3H) dans les quatre stations étudiées. Site 1 (□), Site 2 (○), Site 3 (▲), Site 4 (▲).

3.1.4.5. Eléments nutritifs (fig. 17)

Les teneurs en éléments nutritifs obtenues dans les eaux de surface des différentes stations correspondent à la moyenne des échantillons, 3 heures après la basse mer, mortes eaux et vives eaux confondues.

Les teneurs en N02 et N03 sont faibles de la mi avril à la mi septembre, quelque soit le site considéré, les valeurs fluctuant respectivement entre 0,08 et 0,46 μM et 3,20 et 19,39 μM , avec des maxima à la mi avril et au début juillet et des minima à la fin mai et à la fin août. La régénération de ces formes azotées se produit ensuite, les teneurs atteignant en octobre des valeurs supérieures à 1,15 μM en N02 et à 40,17 μM en N03 et pouvant aller respectivement jusqu'à 1,34 et 58,07 μM .

Les teneurs en NH_4 , dans les sites S2 et S4, présentent de très fortes fluctuations, les valeurs allant de 13,43 à 2,18 μM , avec des maxima à la mi mars, en juillet et en septembre ou octobre. Dans le site S1, bien que les fluctuations soient moins marquées, les valeurs varient de 3,40 μM en avril à 13,14 μM en octobre. Le site S3 présente une diminution des valeurs, les teneurs passant de 7,94 à 3,34 μM avec un maximum de 7,40 μM à la mi septembre.

Les teneurs en P04 varient entre 0,60 et 2,70 μM dans les différents sites étudiés avec néanmoins un maximum de l'ordre de 5,0 μM à la mi mai pour S2, début juillet pour S1 et S3 et début août pour S4.

Les teneurs en Si augmentent de la mi avril jusqu'en octobre quelque soit le site considéré, les valeurs allant d'environ 6,0 μM à des valeurs supérieures à 24,0 μM , avec cependant de faibles diminutions des teneurs début mai et en août.

Les teneurs en urée sont inférieures à 50,0 μM au cours de cette étude, quelque soit le site étudié, excepté en période estivale où les valeurs atteignent des maxima de 717,98 μM pour S4, 511,31 μM pour S1, 247,12 μM pour S3 et 196,00 μM pour S2.

Ainsi, quelque soit le site étudié, un épuisement des réserves en azote et en silice se produit à la fin de mois de mai et au mois d'août, suivi d'une régénération de ces éléments. Les teneurs en phosphore présentent la même évolution, mais de façon plus diffuse. L'urée apparaît comme étant un élément estival et particulièrement abondant dans la zone sud de la baie, aux stations S1 et S4.

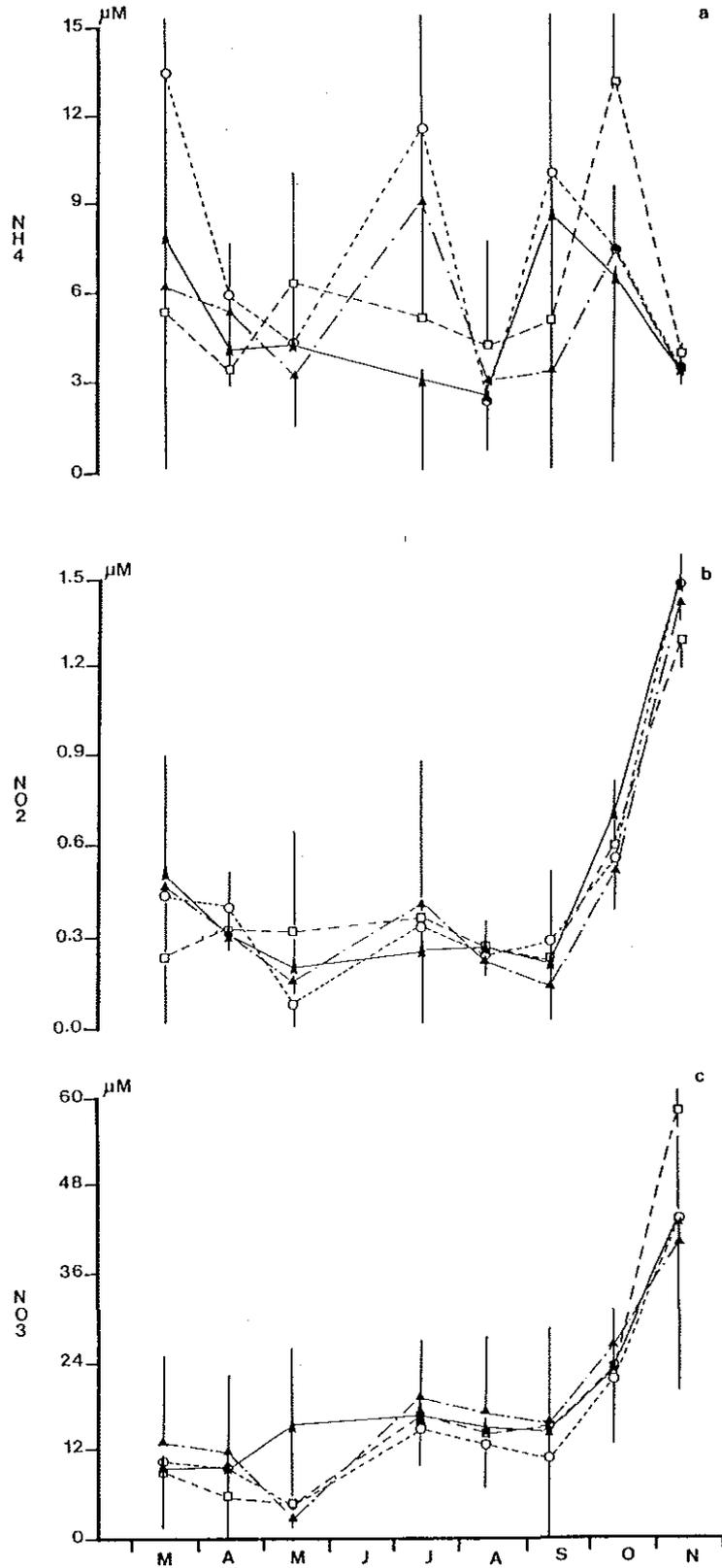


Figure 17 a, b, c : Evolution mensuelle des sels nutritifs de l'eau de mer au cours des vives eaux et mortes eaux confondues (+ 3H) dans les quatre stations étudiées de mars à octobre 1987. Site 1 (\square), Site 2 (\circ), Site 3 (\triangle), Site 4 (\blacktriangle).

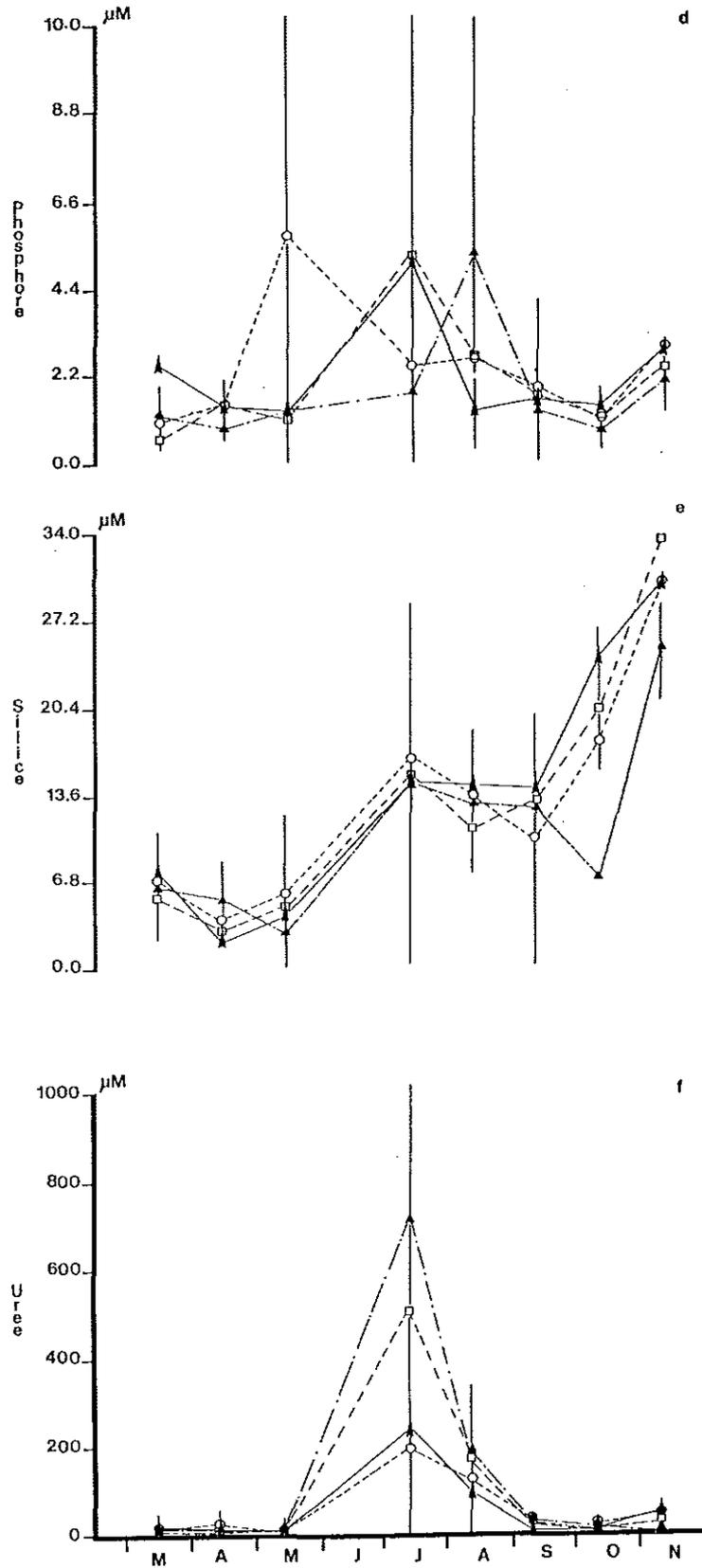


Figure 17 d, e, f : Evolution mensuelle des sels nutritifs de l'eau de mer au cours des vives eaux et mortes eaux confondues (+ 3H) dans les quatre stations étudiées de mars à octobre 1987. Site 1 (\square), Site 2 (\circ), Site 3 (\blacktriangledown), Site 4 (\blacktriangle).

3.2. Phytoplancton

3.2.1. Evolution saisonnière de la chlorophylle *a* et de la phéophytine *a*

Les teneurs pigmentaires obtenues dans les eaux des différentes stations correspondent à la moyenne des échantillons, 3 heures après la basse mer, mortes-eaux et vives-eaux cumulées.

L'évolution saisonnière des teneurs en chlorophylle *a* (chl *a*) des eaux se caractérise par une succession de pics variant suivant les stations (fig. 18). La station S3 est caractérisée par des teneurs en chl *a* très élevées avec des maxima de $23,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ en avril, $8,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ en septembre et de l'ordre de $8,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ en juillet et août. Les concentrations ne descendent pratiquement pas au dessous de $5,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ au cours de la période d'étude qui ne comprend pas l'hiver. La station S2 est également une zone riche en teneur chlorophyllienne, avec un maximum en avril de $16,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ et un autre en juillet de $6,0 \mu\text{g.l}^{-1}$. La station S1, située la plus au Sud, ne présente pas d'efflorescence marquée au cours de la période étudiée, les teneurs en chl *a* étant très basses, le plus souvent inférieures à $3,0 \mu\text{g.l}^{-1}$. La station 4 atteint, pendant la période printanière, des teneurs en chl *a* supérieures à $5,0 \mu\text{g.l}^{-1}$, sans pic marqué, tandis que les teneurs estivales et automnales restent faibles.

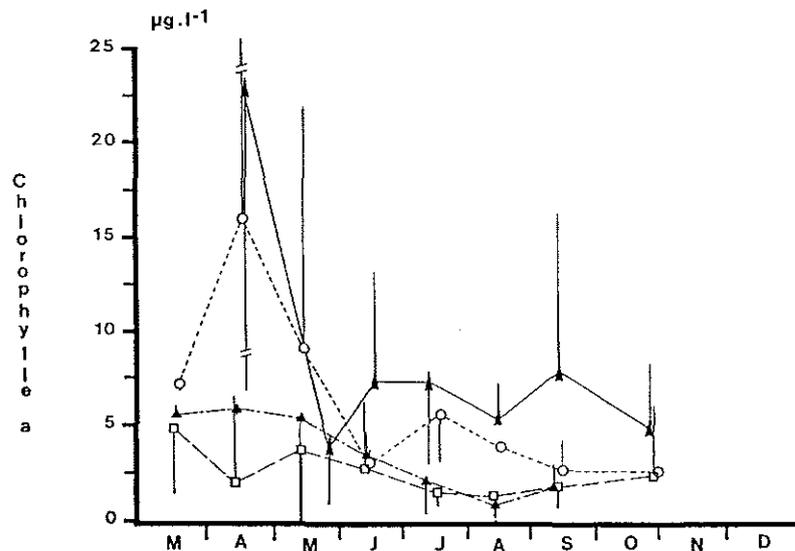


Figure 18 : Evolution mensuelle des teneurs en chlorophylle *a* de l'eau de mer en vives eaux et mortes eaux (+ 3H) dans les quatre stations étudiées. Site 1 (□), Site 2 (○), Site 3 (▲), Site 4 (▲).

Les concentrations des eaux en phéopigments a (phéo a) sont toujours inférieures à celles estimées par la chl a (fig. 19). La station S3 se caractérise par des concentrations en phéo a très faibles entre mars et septembre, les valeurs étant inférieures à $0,5 \mu\text{g.l}^{-1}$, puis elles augmentent de façon significative, une teneur de $3,8 \mu\text{g.l}^{-1}$ étant atteinte en octobre. La station S2 présente des teneurs plus élevées en phéo a que la station précédente, des concentrations supérieures à $2,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ étant obtenues. Dans la station S1, les teneurs en phéo a sont relativement fortes pendant toute la période d'étude par rapport aux autres stations, les valeurs étant généralement supérieures à $1,0 \mu\text{g.l}^{-1}$. La station S4, présente des concentrations en phéo a peu élevées et constantes au cours des observations effectuées.

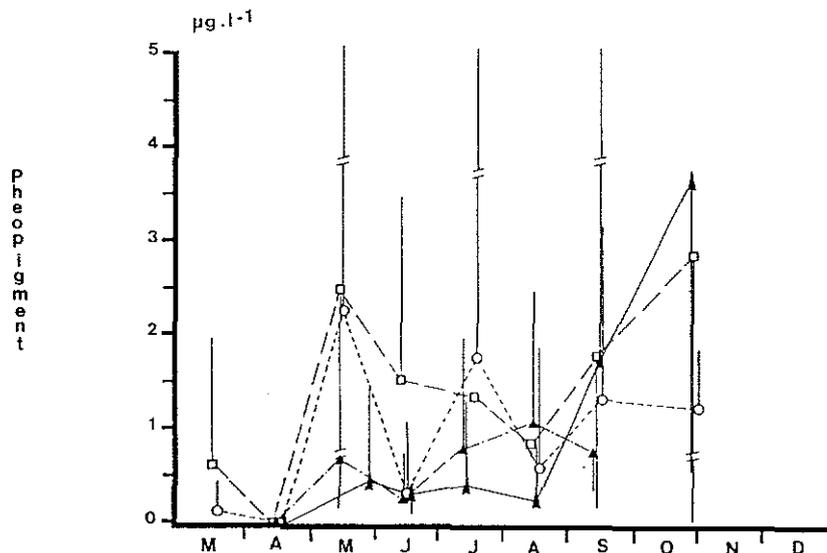


Figure 19 : Evolution mensuelle des teneurs en phéopigment a de l'eau de mer en vives eaux et mortes eaux (+ 3H) dans les quatre stations étudiées. Site 1 (□), Site 2 (○), Site 3 (▲), Site 4 (▲).

La proportion de chl a par rapport à l'ensemble chl a + phéo a (tableau 6) diminue de la station S3 à la station S1, de 87 ‰ à 66 ‰, cependant la station S4 située dans le Sud de la baie présente une valeur relativement élevée de 77 ‰.

Tableau 6 : Rapport en pourcentage de la teneur en chlorophylle a sur la teneur en chlorophylle a et en phéophytine a dans les eaux des différentes stations de la baie de Bourgneuf (valeurs approximatives).

Stations	$\frac{\text{Chl } \underline{a}}{\text{Chl } \underline{a} + \text{phéo } \underline{a}} \quad (\%)$								
	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Moyennes annuelle
S1	89	96	54	62	61	68	55	46	66
S2	97	99	77	62	73	70	67	67	76
S3	-	99	88	96	94	92	79	63	87
S4	-	98	92	91	76	64	42	-	77

3.2.2. Densités numériques des espèces du phytoplancton

3.2.2.1. Résultats correspondant au cumul des mortes eaux et des vives eaux

Les résultats présentés portent sur les densités numériques en cellules par litre des différentes familles phytoplanctoniques présentes dans les eaux de surface des stations étudiées, 3 heures après la basse mer, en confondant les valeurs de mortes eaux et de vives eaux.

Quelque soit la station observée, les Centrophycidées sont présentes toute l'année (fig. 20a). Dans la station S1, elles sont représentées en faible quantité, celle-ci dépassant à peine 100 cell.l^{-1} . Dans la station S2, nous observons un fait identique avec cependant une croissance accrue au printemps, une valeur de 809 cell.l^{-1} étant atteinte à la mi-mars. Dans la station S3 ces diatomées se multiplient de façon intensive au printemps et à la fin de l'été, des maxima respectifs de $2\ 024$ et 882 cell.l^{-1} étant observés. Dans la station S4, elles présentent également 2 périodes de multiplication active, l'une au printemps, l'autre en été, les valeurs maximales obtenues étant respectivement égales à 1339 et à 505 cell.l^{-1} .

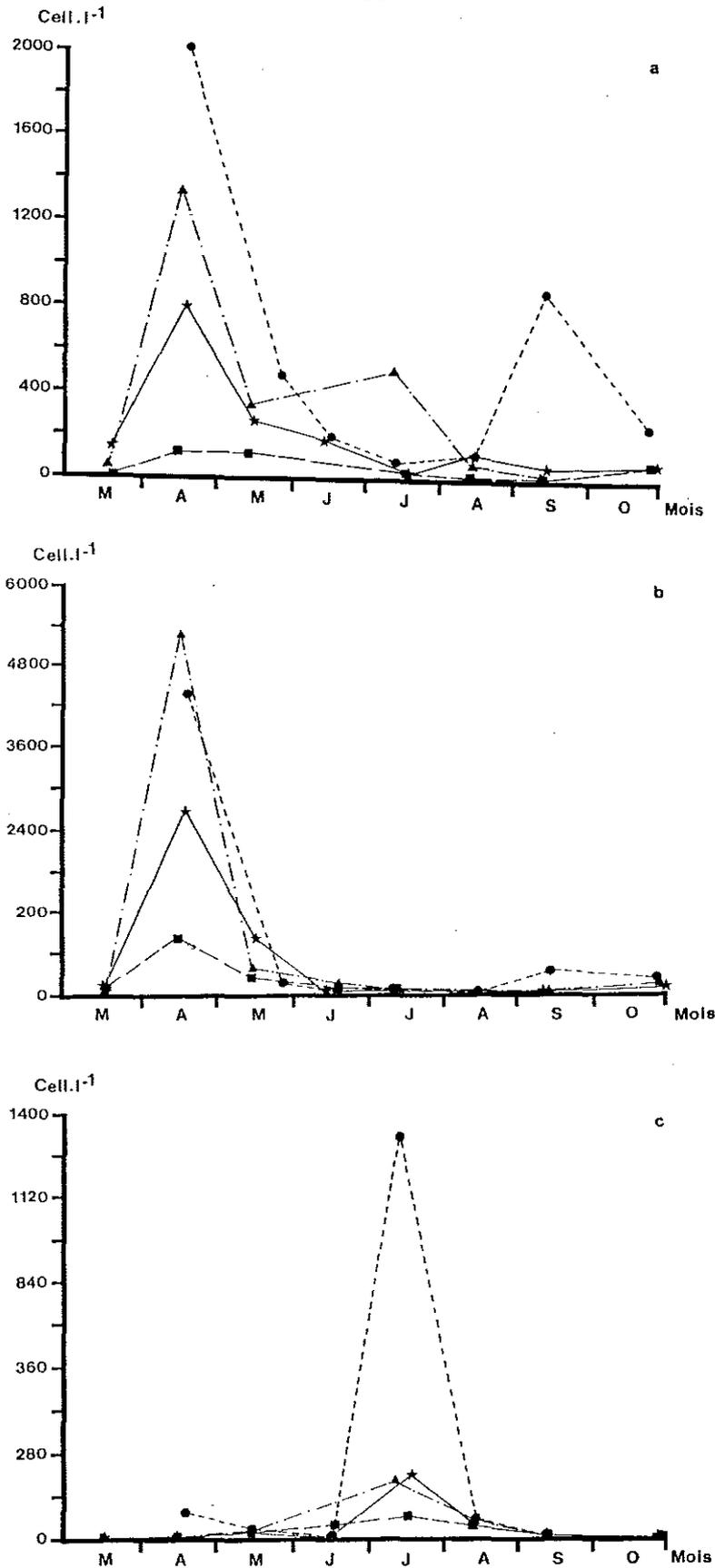


Figure 20 : Variations annuelles du nombre de cellules par litre de chacune des classes de phytoplancton dans les eaux des stations. S1 (■), S2 (★), S3 (●) et S4 (▲) de la baie de Bourgneuf de mars à octobre 1987. a : Centrophycidées, b : Pennatophycidées, c : Dinoflagellés.

Les Pennatophycidées sont présentes en quantité plus ou moins importante au début du printemps (fig. 20b) : les stations S1, S2, S3 et S4 atteignant respectivement les valeurs 855, 2707, 4416 et 5280 cell.l⁻¹. A la station S3 apparait également une multiplication de ces Diatomées en automne avec une valeur de 351 cell.l⁻¹. Le reste de l'année, quelque soit le site considéré, elles sont présentes en très faible nombre.

Les Dinoflagellés apparaissent dans ces stations en période estivale (fig. 20c). La station S3 présente de fortes quantités, le maximum atteint étant 1334 cell.l⁻¹, les autres stations ne dépassant pas 218 cell.l⁻¹. On notera une légère croissance de ces Dinoflagellés dans la station S3 en avril.

3.2.2.2. Résultats des mortes eaux et des vives eaux

La figure 21 représente les densités numériques en cellules par litre dans les eaux des différentes stations étudiées, 3 heures après la basse mer.

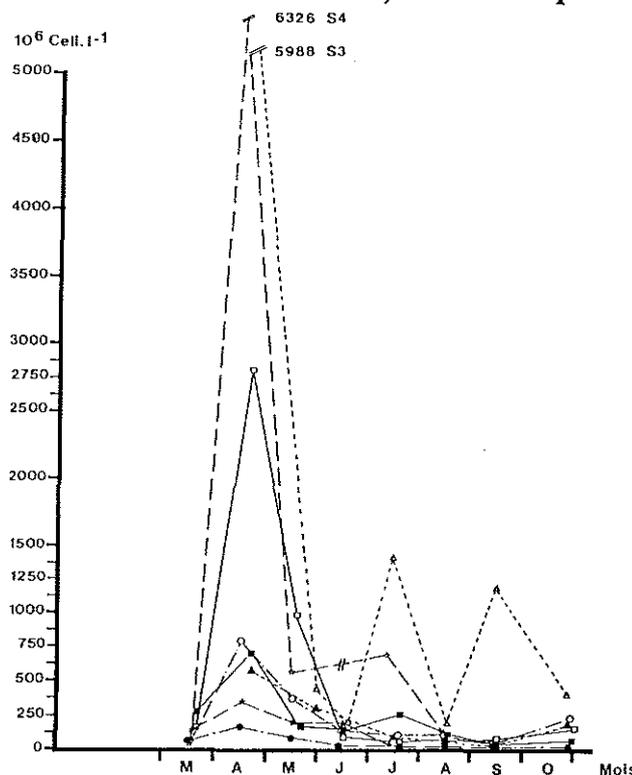


Figure 21 : Densités numériques en cellules dans les eaux (+ 3HBM) des différentes stations de la baie de Bourgneuf. Vives eaux : Site 1 (○), Site 2 (□), Site 3 (△), Site 4 (☆) ; Mortes eaux : Site 1 (●), Site 2 (■), Site 3 (▲), Site 4 (✱).

Le graphe révèle que les floraisons observées précédemment se déroulent essentiellement en période de vives eaux, le développement phytoplanctonique en mortes eaux ne présentant qu'une croissance marquée au début du printemps.

Si on cumule les dénombrements cellulaires à l'échelle annuelle en vives eaux et en mortes eaux, on obtient respectivement les valeurs de 23 771 cell.l⁻¹ et 4 279 cell.l⁻¹ soit 5,6 fois moins de cellules en mortes eaux qu'en vives eaux.

3.2.3. Structure et succession des populations en période de vives eaux et de mortes eaux

Cette étude porte sur la composition spécifique des peuplements algaux dans les eaux des différentes stations en vives eaux et en mortes eaux, toujours 3 heures après la basse mer.

3.2.3.1. Période de vives eaux

Dans la station S1 (fig. 22a), les peuplements se caractérisent, tout au long de l'année par une dominance des Diatomées, excepté au mois de juillet où les Dinoflagellés représentent 60 % des peuplements, essentiellement avec l'espèce *Dissodinium pseudocalani*. Parmi les Diatomées, les Pennatophycidées, principalement l'espèce *Plagiogramma sp.*, dominant largement avec des effectifs pouvant atteindre 90 %, le reste étant représenté par les Centrophycidées. On notera toutefois une légère augmentation de ces dernières au détriment des précédentes au cours de l'année, le taux passant de 10 à 30 % avec des populations successives dont les représentant principaux sont les *Melosira* (espèces *sulcata* Kützing et *nummuloides* Agardh) au printemps, les *Chaetoceros* (espèces *debilis* Cleve, *curvisetus* Cleve entre autres) en été et les *Thalassiosira* avec notamment l'espèce *decipiens* (Grunow) à la fin de l'été.

Dans la station S2 (fig. 22b) les Diatomées sont toujours dominantes avec apparition des Dinoflagellés en été, dont *Dissodinium pseudocalani*, mais en quantité moins importante, jusqu'à 40 %. Les Pennatophycidées, (*Plagiogramma*

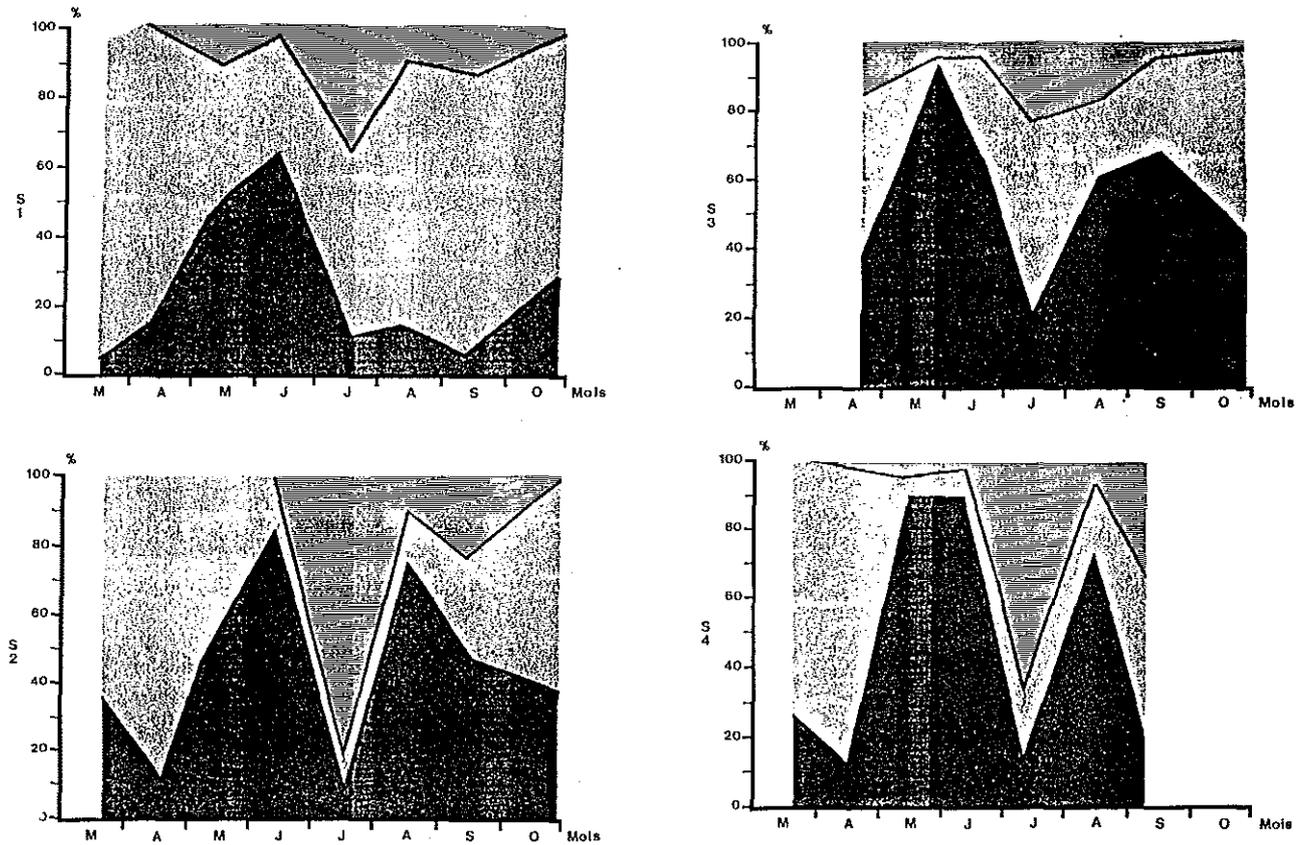


Figure 22 : Variations annuelles des pourcentages de chacune des familles de phytoplancton par rapport à l'ensemble des peuplements, dans les eaux de vives eaux (+ 3HBM) des stations de la baie de Bourgneuf, de mars à octobre 1987. (▨) Dinoflagellés, (▩) Centrophycidées, (■) Pennatophycidées.

sp.) dominant bien que les effectifs soient moins élevés, entre 40 et 80 %. Ceci s'explique par une multiplication accrue des Centrophycidées représentées principalement à la fin du printemps par *Rhizosolenia setigera* (Brightwell) et à la fin de l'été par *Thalassiosira decipiens*, les effectifs atteignant 60 %.

La station S3 (fig. 22c) présente un diagramme semblable à celui observé dans la station précédente, mais avec des peuplements dominants plus marqués. Ainsi, les effectifs maximaux obtenus sont de 90 % pour les Dinoflagellés avec la présence de *Dissodinium pseudocalani* et de 70 % pour les Centrophycidées. Celles-ci sont représentées au printemps essentiellement par les *Chaetoceros* (espèces *decipiens* Cleve, *debilis*, *curvisetus*) et les *Rhizosolenia* (espèce *delicatula* Cleve et *setigera*) et à la fin de l'été par *Thalassiosira decipiens*. Les Pennatophycidées, toujours avec l'espèce dominante *Plagiogramma* sp., sont donc moins représentatives des Diatomées.

Dans la station S4 (fig. 22d), les Diatomées dominent toujours. Les Dinoflagellés présentent un début de floraison en juin, marqué par un maximum de 50 % en août, avec *Dissodinium pseudocalani* principalement. Leur développement est freiné en juillet par une multiplication active de Centrophycidées représentées par l'espèce *Rhizosolenia delicatula* et par des *Chaetoceros* (espèces *affinis* et *decipiens* entre autres), qui atteint 70 %. Les Pennatophycidées sont toujours présentes en quantité importante au début du printemps avec l'espèce *Plagiogramma* sp., un maximum de 80 % étant atteint en avril.

Ainsi d'une façon générale on observe :

- une forte croissance de Dinoflagellés en été, concernant essentiellement l'espèce *Dissodinium pseudocalani*, ce qui réduit les effectifs des Diatomées, notamment des Pennatophycidées, principalement l'espèce *Plagiogramma* sp ; ce phénomène est très marqué à la station S3.

- une multiplication accrue des Centrophycidées qui à la fin du printemps sont représentées par les genres *Rhizosolenia* et *Chaetoceros* et à la fin de l'été par l'espèce *Thalassiosira decipiens*. Ces diatomées présentent une

évolution tant dans leur apparition que dans leur proportion. En effet au printemps, nous observons, en S1 une légère présence de *Chaetoceros*, en S2 une présence plus marquée de *Rhizosolenia*, en S3 des *Chaetoceros* et des *Rhizosolenia* en quantité importante et en S4 une quantité également importante de *Rhizosolenia* puis de *Chaetoceros*. En automne, les *Thalassiosira* apparaissent dans les différents sites avec une proportion croissante du Sud de la baie vers le Nord.

3.2.3.2. Période de mortes eaux

Dans la station S1 (fig. 23a) les Diatomées dominant très largement avec des pourcentages variant entre 65 et 100 %. Cependant les Dinoflagellés sont présents pratiquement toute l'année avec des effectifs de l'ordre de 10 % au printemps et en automne et atteignant 35 % en été avec la présence marquée de *Dissodinium pseudocalani*. Les Pennatophycidées représentent 80 % des Diatomées, excepté au printemps où les Centrophycidées se développent activement, un maximum de 65 % étant obtenu début juin. Parmi ces Diatomées, on notera la prolifération de la Pennatophycidée *Plagiogramma sp.* en automne et au début du printemps et celle des Centrophycidées *Rhizosolenia delicatula* et *R. setigera* au printemps.

Les stations S2 et S4 (fig. 23 b et 23 d) présentent un développement phytoplanctonique semblable. Les Diatomées sont dominantes, mais on observe des floraisons de Dinoflagellés très importantes en été et plus modérées au début de l'automne, d'où des valeurs fluctuant entre 20 et 100 % dans la station S2 et 35 et 100 % dans la station S4. Ces Dinoflagellés sont représentés essentiellement par l'espèce *Dissodinium pseudocalani*. Parmi les Diatomées, les Pennatophycidées sont en grand nombre au début du printemps et en automne avec des maxima compris entre 60 et 90 % et les Centrophycidées dominant au printemps et à la fin de l'été, les maxima obtenus variant entre 75 et 90 %. Les Pennatophycidées sont essentiellement des *Plagiogramma*, et les Centrophycidées au printemps sont des *Rhizosolenia* (espèces *delicatula* et *setigera*) et également des *Chaetoceros* dans le site 4 avec l'espèce *curvisetus* et en automne des *Chaetoceros* (espèces *mobiliensis*, *compressus*, *decipiens*, *gracilis*, *willei*, *debilis*, *curvisetus*).

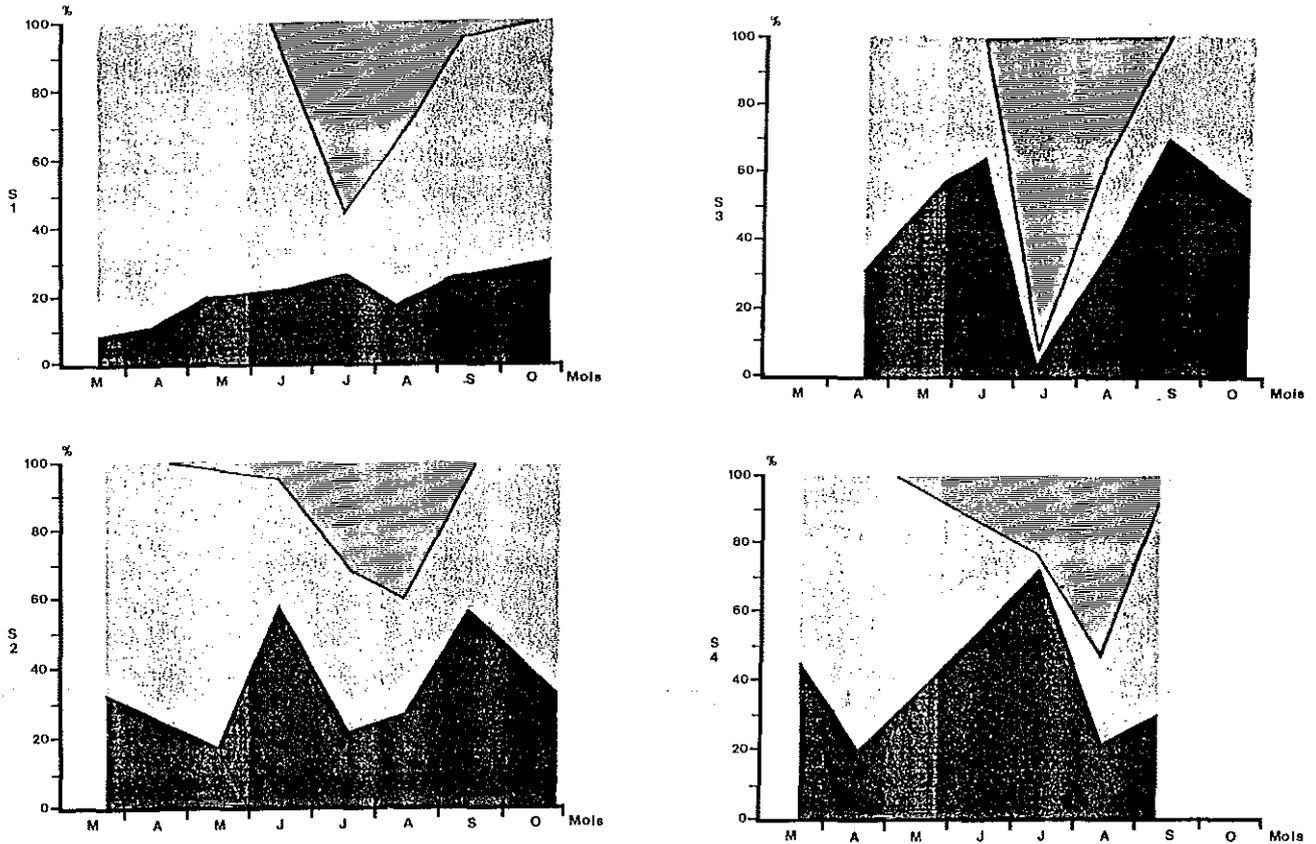


Figure 23 : Variations annuelles des pourcentages de chacune des familles de phytoplancton par rapport à l'ensemble des peuplements dans les eaux de surface de mortes eaux (+ 3HBM) des stations de la baie de Bourgneuf, de mars à octobre 1987. () Dinoflagellés, () Centrophycidées, () Pennatophycidées.

Dans la station S3 (fig. 23c), les Diatomées sont largement dominantes avec des pourcentages compris entre 80 et 100 %. Cependant, dans cette station ce sont les Centrophyciées qui dominent avec un maximum de 90 % au printemps avec l'espèce *Rhizosolenia delicatula* et de 70 % à la fin de l'été avec des *Thalassiosira* et des *Chaetoceros* (espèce *mobiliensis*, *compressus*, *decipiens*, *debilis*, *curvisetus*). Quant aux Dinoflagellés, ils sont présents pratiquement toute l'année, mais en quantité modérée, les maxima atteints étant de l'ordre de 20 % à la mi-avril avec l'espèce *Pronoctiluca* principalement et à la mi-juillet avec *Dissodinium pseudocalani*. Contrairement aux autres sites, on observe très peu de Dinoflagellés au début de l'automne.

De cette analyse, nous retiendrons plus particulièrement les faits suivants :

- une présence annuelle de Dinoflagellés représentés essentiellement par *Dissodinium pseudocalani*, avec une croissance saisonnière très marquée en été et de façon moindre au début de l'automne. Les stations S2 et S4 se révèlent très favorables au développement estival de ces espèces.

- une multiplication accrue des Centrophyciées au printemps avec *Rhizosolenia* et à la fin de l'été avec les *Chaetoceros*, ce qui réduit fortement les effectifs des Pennatophycidées, dont les *Plagiogramma*. Contrairement aux observations effectuées en période de mortes eaux, quelque soit la station, les espèces représentant les Centrophyciées sont identiques et leurs pourcentages par rapport aux effectifs totaux sont très proches sauf dans la station S1.

IV. DISCUSSION

4.1. Evolution saisonnière du phytoplancton

L'étude des variations de la biomasse phytoplanctonique, estimée par les teneurs pigmentaires, met en évidence les faits suivants :

- La station S3 présentant des concentrations élevées en chl *a* et très faibles en phéo *a*, tout au long de l'année, serait le siège d'une intense multiplication phytoplanctonique avec un renouvellement rapide des espèces et des populations,

- La station S2 montrant également des teneurs en chl a élevées, mais des concentrations en phéo a plus fortes, subirait une dégradation partielle de ces peuplements phytoplanctoniques,

- La station S1 montrant de très faibles teneurs en chl a et des concentrations en phéo a relativement élevées par rapport aux autres stations, serait une zone peu productive.

- La station 4 présentant des concentrations en chl a peu élevées, mais également des concentrations en phéo a faibles, pourrait être une zone de production non négligeable. En effet, la proportion en chl a par rapport à l'ensemble des teneurs pigmentaires de ces différentes eaux, diminuant du Nord de la baie vers le Sud témoignerait d'une déficience en chl a encore fonctionnelle excepté à la station S4 où l'on obtient des valeurs relativement élevées. Ainsi, parmi les 2 stations situées au fond de la baie (S1 et S4) seuls les peuplements algaux de la station S4 ne seraient pas dans un état sénescant.

L'étude des peuplements phytoplanctoniques donnant des résultats tant quantitatifs que qualitatifs des eaux de la baie de Bourgneuf, on peut ainsi préciser que la station S3 se révèle être très favorable au développement phytoplanctonique, les stations S4 et S2 légèrement moins et la station S1 peu favorable.

Les peuplements présentent des espèces communes, *Dissodinium pseudocalani* et *Plagiogramma sp.*, en dehors de floraisons phytoplanctoniques. Ces dernières se produisent essentiellement en périodes de vives eaux.

La floraison pré-printanière est représentée principalement par des Diatomées dont les Pennatophycidées ainsi que les Centrophycidées mais en quantité moindre. Les dernières par contre, diminuent dans les peuplements du printemps et de la fin de l'été avec des espèces variant selon les stations, les saisons et les cycles de marée. En effet au printemps, en vives-eaux, ce sont les *Rhizosolenia* et les *Chaetoceros* qui dominent selon les stations alors qu'en mortes eaux ce ne sont que les *Rhizosolenia*. En automne, en vives eaux, c'est l'espèce

Thalassiosira decipiens qui domine et en mortes eaux ce sont les *Chaetoceros*. Cette variation des espèces dominantes résulterait d'apports nutritionnels ou d'éléments cellulaires spécifiques au cours des marées. Le phénomène de marée est donc un facteur important, agissant sur les peuplements phytoplanctoniques des eaux de la baie de Bourgneuf, tant du point de vue qualitatif que du point de vue quantitatif (Marion, 1985). En mortes eaux, la variation saisonnière liée essentiellement à la qualité des eaux, provoquerait la disparition des espèces sénescents, par suite d'un épuisement du milieu, laissant place à des espèces plus actives qui se révèlent être les mêmes dans les différentes stations.

De même, les Centrophycidées semblent s'accommoder des conditions requises en mortes eaux, les espèces déterminées présentant des proportions très élevées quelque soit la station étudiée, alors qu'en vives eaux, elles présentent une baisse de leurs proportions, du Nord vers le Sud. Les travaux de Marion (1985) ont montré que le phytoplancton introduit dans la baie de Bourgneuf, associé à celui déjà existant en zone intertidale, provoquait le développement de nouveaux peuplements. Ceci est particulièrement sensible au niveau des parcs à huîtres où l'apparition en abondance de Diatomées pennées conduisait à une baisse importante des effectif en Diatomées centriques. Ainsi, en mortes eaux, le non renouvellement des eaux semble freiner ce phénomène. En vives eaux, cette mise en place de Pennatophycidées au détriment des Centrophycidées, qui s'accroît du Nord vers le Sud, serait liée à la charge en Mollusques de ces eaux qui va en augmentant : les substances organiques dissoutes joueraient alors un rôle important sur la composition spécifique des peuplements.

En vives eaux, les Dinoflagellés, dont certaines espèces développent des toxines, apparaissent seulement en période estivale alors qu'en mortes eaux, ils sont présents toute l'année, avec une prédominance en été. Le non renouvellement des eaux permettrait à cette espèce de s'implanter. La Station S3 apparaît comme étant une zone à haut risque de développement en période estivale et en vives eaux. En mortes eaux, les peuplements des stations S2 et S4 présentent un pourcentage élevé en Dinoflagellés, mais les effectifs étant faibles, les risques sont moindres.

4.2. Comparaison entre Nord et Sud des paramètres physico-chimiques (+ 3 HBM vives eaux et mortes eaux)

Les résultats obtenus concernant les paramètres physico-chimiques de même que la topographie des sites, la courantologie et la situation des principaux rejets d'eau douce semblent individualiser deux vastes zones, au Nord et au Sud en baie de Bourgneuf, qui sont séparées par une barre rocheuse exondée à marée basse. Une analyse comparative de la variabilité des principaux paramètres hydrobiologiques a donc été effectuée en regroupant les secteurs 2 et 3 pour la zone Nord et les secteurs 1 et 4 pour la zone Sud.

L'évolution des températures et de la salinité est similaire pour les deux zones. Cependant on enregistre des salinités moins fortes au Nord au mois de mars et d'octobre ; elles restent toutefois non significatives (fig. 24 a et b).

Malgré l'extrême variabilité (caractérisée par les intervalles de confiance) des teneurs en seston minéral en vives eaux et mortes eaux, on observe une nette augmentation de la turbidité dans les secteurs Nord par rapport au Sud avec des extrêmes au mois de mars et d'octobre (fig. 24c). Les concentrations sur les deux sites pendant le mois de mars semblent anormalement élevées et sont à mettre en relation avec la vitesse moyenne du vent pour ce mois qui est sensiblement plus forte en 1987 que le chiffre moyen de ce mois calculé sur 10 ans.

L'évolution des teneurs en seston organique se différencie au profit de la zone Nord au printemps et en automne alors qu'en été, les variations sectorielles sont beaucoup moins marquées (fig. 24 d).

En ce qui concerne la biomasse phytoplanctonique, exprimée par les teneurs pigmentaires, les concentrations en chlorophylle *a* sont supérieures tout au long de la saison d'étude dans le secteur Nord. Les variations *y* sont beaucoup plus marquées avec une forte efflorescence printanière estimée à $20 \mu\text{g.l}^{-1}$. Dans les secteurs Sud on n'observe pas de floraison phytoplanctonique, la courbe

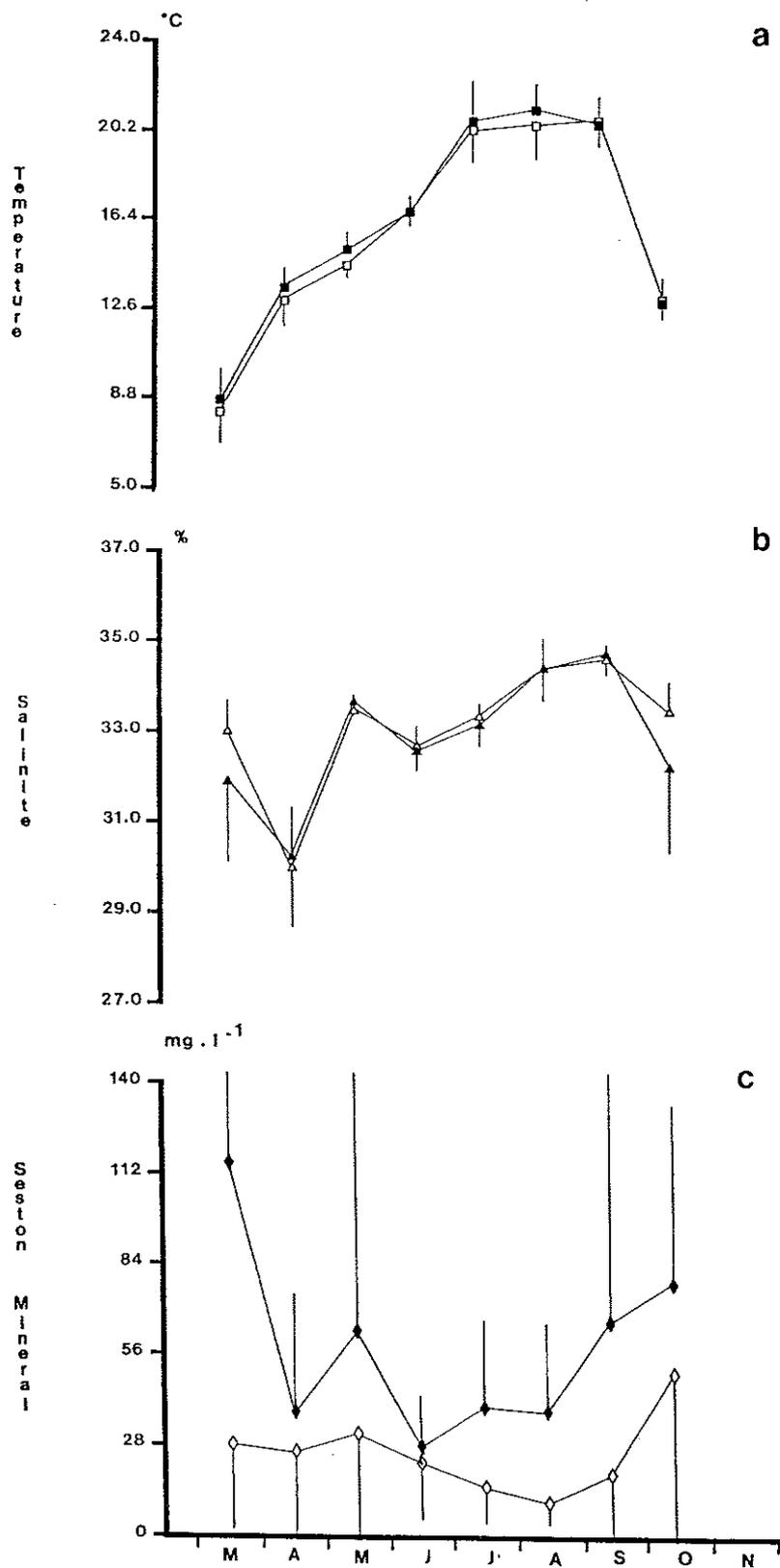


Figure 24 a, b, c : Variations mensuelles des paramètres physico-chimiques de l'eau des stations Nord (S2, S3) en sigles pleins et des stations Sud (S1, S4) en sigles évidés au cours des vives eaux et des mortes eaux (+ 3H) de mars à octobre 1987 en baie de Bourgneuf.

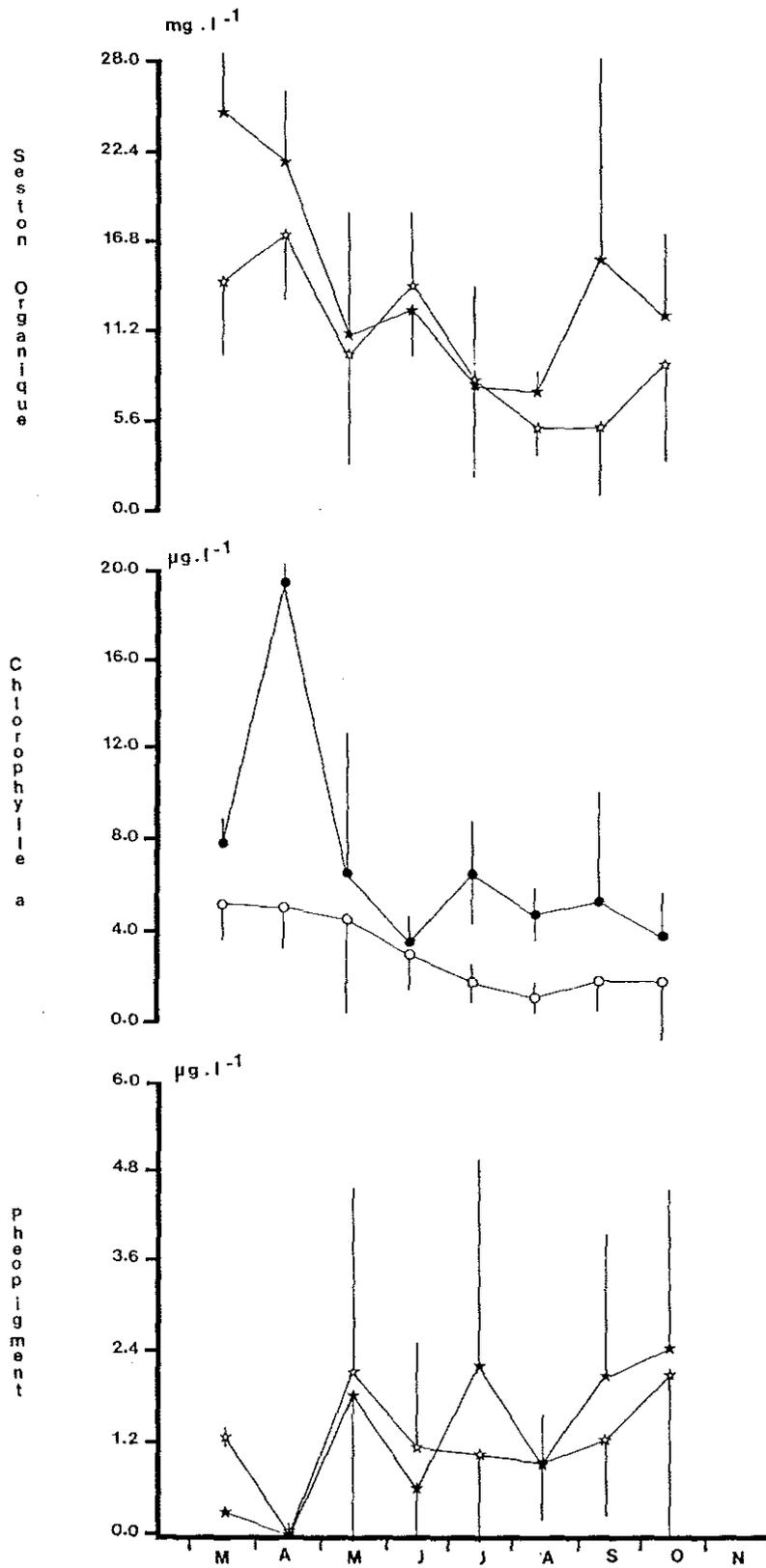


Figure 24 d, e, f : Variations mensuelles des paramètres physico-chimiques de l'eau des stations Nord (S2, S3) en sigles pleins et des stations Sud (S1, S4) en sigles évidés au cours des vives eaux et des mortes eaux (+ 3H) de mars à octobre 1987 en baie de Bourgneuf.

décroit lentement de mars à octobre (fig. 24 e). L'évolution des phéopigments entre les deux secteurs est relativement parallèle et semble inverse de l'évolution des pigments chlorophylliens avec une tendance à l'augmentation des concentrations du printemps à l'automne (fig. 24 f).

Le cycle de variation des teneurs en azote minéral total dissous (ΣN) en silice (fig. 25 a et 25 c) au cours de cette étude, sont semblables et ne présentant pas d'écarts importants entre le Nord et le Sud de la baie. Par contre l'évolution saisonnière des teneurs en phosphore (fig. 25 b) montre une forte augmentation en période printanière et estivale mais avec une précocité marquée dans le secteur Nord de la baie.

Enfin les teneurs en urée (fig. 25 d) se révèlent être beaucoup plus élevées dans le secteur Nord que dans le secteur Sud de la baie.

Cette analyse hydrobiologique met en évidence une opposition marquée entre les secteurs Nord et Sud caractérisée par :

- Au Nord : une température légèrement plus élevée, des variations de salinité plus importantes, une production phytoplanctonique beaucoup plus forte et plus étalée dans la saison, une concentration de matière minérale en suspension très supérieure, des teneurs en urée plus faibles.

- Au Sud : des variations au cours des cycles de marée et de la saison beaucoup moins prononcées, ce qui donne à cette région et plus particulièrement au secteur S4 à l'abri de l'île de Noirmoutier des caractéristiques plus stables de milieu d'élevage.

Cette répartition à priori des quatre stations représentatives des zones de production de l'huître creuse peut être affinée si on considère le schéma de circulation résiduelle de marée élaboré par Salomon et Lazure en 1988 pour le Sud de la Bretagne. Ce schéma rend compte, par une modélisation mathématique, de la direction générale des particules, une fois l'effet de la marée éliminé. Ainsi la figure 26 révèle que les eaux marines pénètrent dans la baie de Bourgneuf depuis le Sud-Est au large de Noirmoutier. La circulation des masses d'eau s'effectue selon deux voies :

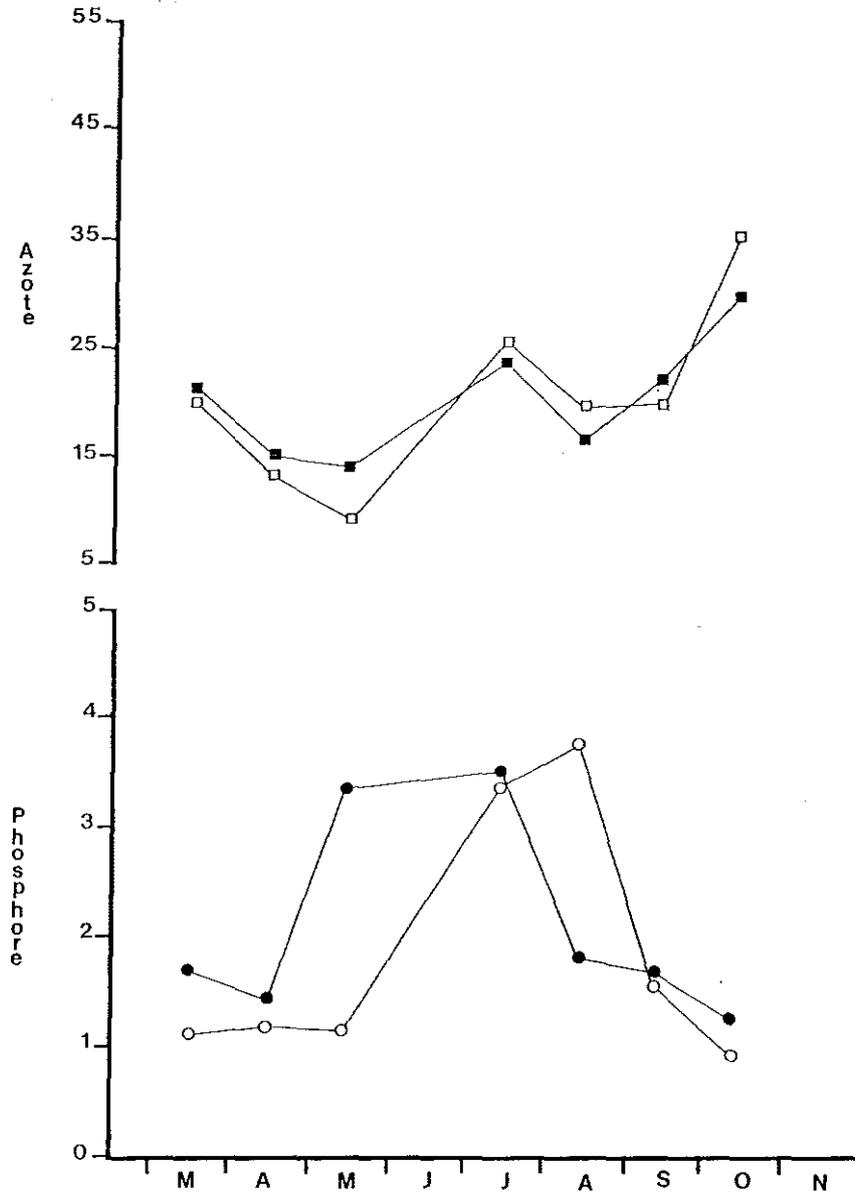


Figure 25 a, b : Variations mensuelles des teneurs en azote ($\text{NH}_4 + \text{N}_02 + \text{N}_03$) et en phosphore (P_04) de l'eau des stations Nord (S2, S3) en sigles pleins et des stations Sud (S1, S4) en sigles évidés au cours des vives eaux et des mortes eaux (+ 3H) de mars à octobre 1987 en baie de Bourgneuf.

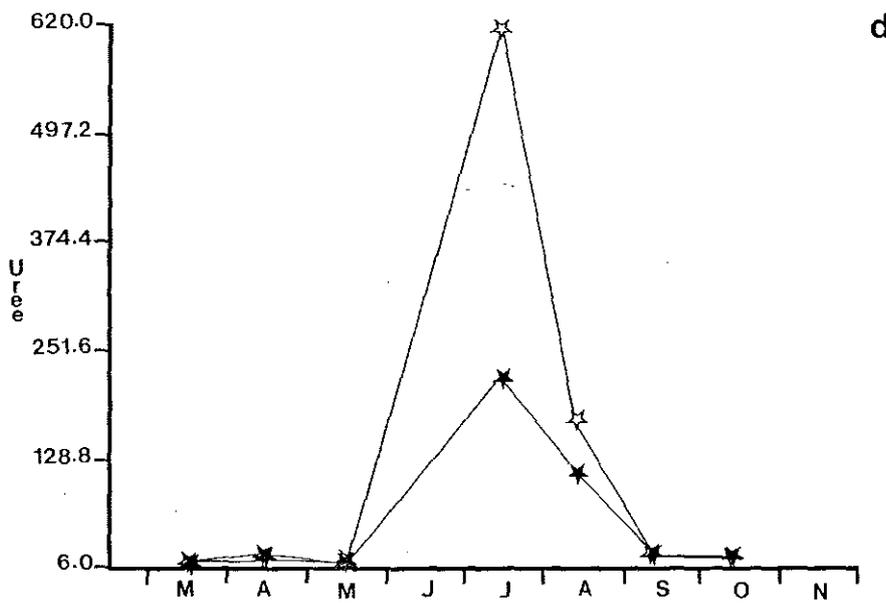
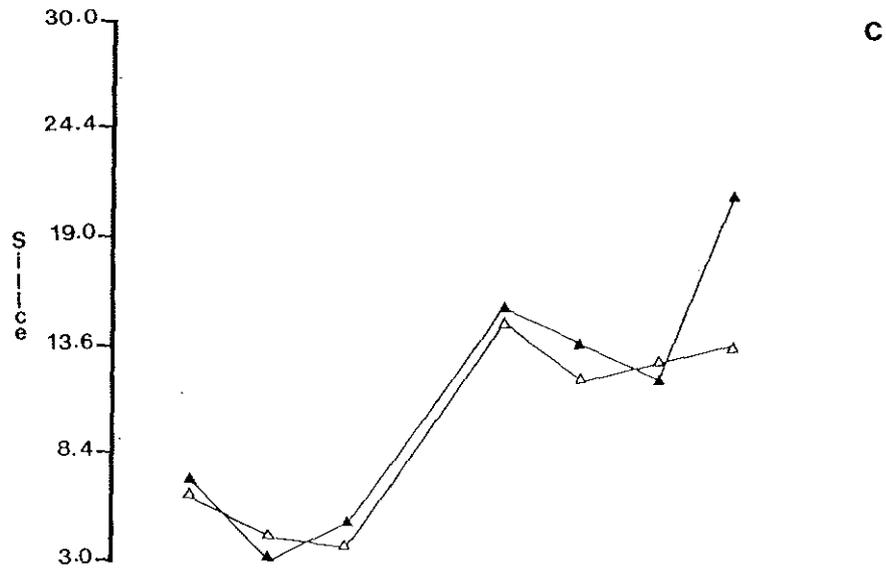


Figure 25 c, d : Variations mensuelles des teneurs en azote ($\text{NH}_4 + \text{N}_02 + \text{N}_03$) et en phosphore (P_04) de l'eau des stations Nord (S2, S3) en sigles pleins et des stations Sud (S1, S4) en sigles évidés au cours des vives eaux et des mortes eaux (+ 3H) de mars à octobre 1987 en baie de Bourgneuf.

- Une principale, d'orientation giratoire Nord-Sud entre la pointe Nord de Noirmoutier, le fossé d'effondrement de la barrière rocheuse du Fain et le goulet de Fromentine,

- Une secondaire, bien individualisée et de type tourbillonnaire située entre la passe de Riberge et la station 4 sur l'estran Ouest de la baie de Bourgneuf.



Figure 26 : Schéma de circulation résiduelle de marée dans la région de la baie de Bourgneuf d'après Salomon et Lazure (1979). Très faible : $V < 1\text{cm/s}$ (\square), significative (stippled).

Ces deux auteurs notent que les eaux marquées par la Loire (hors débit de crue) pénètrent peu, ou pas, en baie de Bourgneuf et que l'eau de la baie est évacuée exclusivement par le goulet de Fromentine.

En considérant la voie de circulation résiduelle principale des masses d'eau, et les résultats hydrobiologiques obtenus, une description du fonctionnement de l'écosystème des secteurs ostréicoles continentaux peut être formulée de la façon suivante :

1°) Apports de sels nutritifs dans la région Nord de la baie sous réserve de conditions météorologiques favorables (vents "forçants") par la Loire, le canal de Haute Perche et le Falleron,

2°) Production d'une floraison printanière à Diatomées lors de périodes calmes et ensoleillées dans l'eau et à la surface des vasières Nord de la baie,

3°) Consommation progressive du phytoplancton par les stocks de bivalves en élevage et de gisements naturels selon l'axe Nord-Sud de l'estran situé dans la partie continentale.

Ceci permet de penser que la zone Nord servirait de réservoir pour la production de nourriture phytoplanctonique. Celle-ci étant ensuite distribuée par l'écoulement résiduel aux secteurs continentaux du Sud après avoir alimenté la moulière en zone subtidale. Ainsi, la zone Sud-Est de la baie, représentée par la station S1, qui à elle seule couvre 36 % de la surface d'élevage exploitée, baigne dans une eau pauvre en éléments nutritifs. La production endogène de sels nutritifs par minéralisation de la matière organique et par excrétion azotée due aux huîtres, avancée par certains auteurs (Maestrini et Robert, 1981 ; Marion et Robert, 1985) ne serait pas suffisante pour créer un enrichissement phytoplanctonique significatif dans le secteur 1, mais contribuerait à une modification de la composition spécifique des peuplements comme nous l'avons évoqué précédemment.

La station S4 s'individualise d'après la voie de circulation résiduelle secondaire. Nous avons déjà noté cette démarcation de cette station au cours de l'étude portant sur la variabilité spatio-temporelle des différents paramètres.

Ainsi, les 2 stations situées au Sud de la baie ne semblent pas présenter le même écosystème de fonctionnement sur le plan des apports nutritifs :

- la station S1 serait dépendante de l'existence des zones d'élevage d'huîtres creuses plus en amont et du gisement naturel de moules en eau profonde situé dans le Fain, comme l'ont évoqué Baud et Haure (1987, 1988),

- la station S4 dépendrait uniquement de la présence des bouchots et gisements naturels exondés de moules situés dans la partie Ouest de la baie.

Ces résultats concordent tout à fait avec les observations faites précédemment concernant les teneurs en chla rapportées aux teneurs en pigments totaux. Elles avaient montré que les peuplements subissaient une dégradation de la zone Nord vers la zone Sud de la baie, excepté au niveau de la station S4 où les peuplements présentent une chlorophylle encore fonctionnelle.

4.3. Evolution générale des principaux paramètres hydrobiologiques en baie de Bourgneuf

Tous les secteurs ont été regroupés, dans le but de caractériser le mieux possible l'évolution saisonnière des eaux de la baie de Bourgneuf et d'effectuer des comparaisons avec différents bassins conchylicoles. Ainsi chaque donnée représente la moyenne calculée à partir des prélèvements de + 3HBM en vives eaux et mortes eaux pour les quatre stations étudiées.

Les températures moyennes (fig. 27 a) varient de 8,5°C à 20,8°C. L'évolution saisonnière se décompose en une augmentation constante de mars à juillet, un plateau situé aux alentours de 20°C de juillet à septembre et une chute brutale jusqu'à 13,1°C en octobre. En baie de Bourgneuf, Marion (1985) a obtenu la même évolution thermique avec des températures variant entre 9,8°C et 20,5°C.

La salinité (fig. 27b) est de 32,6 ‰ à 34,7 ‰ durant la période de mars à septembre. Elle est cependant altérée par une brusque dessalure atteignant presque 25 ‰ au mois d'avril. La salinité automnale décroît parallèlement avec l'abondance des pluies pour atteindre des valeurs similaires au début du printemps avec 32,8 ‰. Marion (1985) a obtenu la même évolution saline avec des salinités variant de 32 ‰ à 35 ‰ et présentant également une dessalure en avril atteignant 28 ‰.

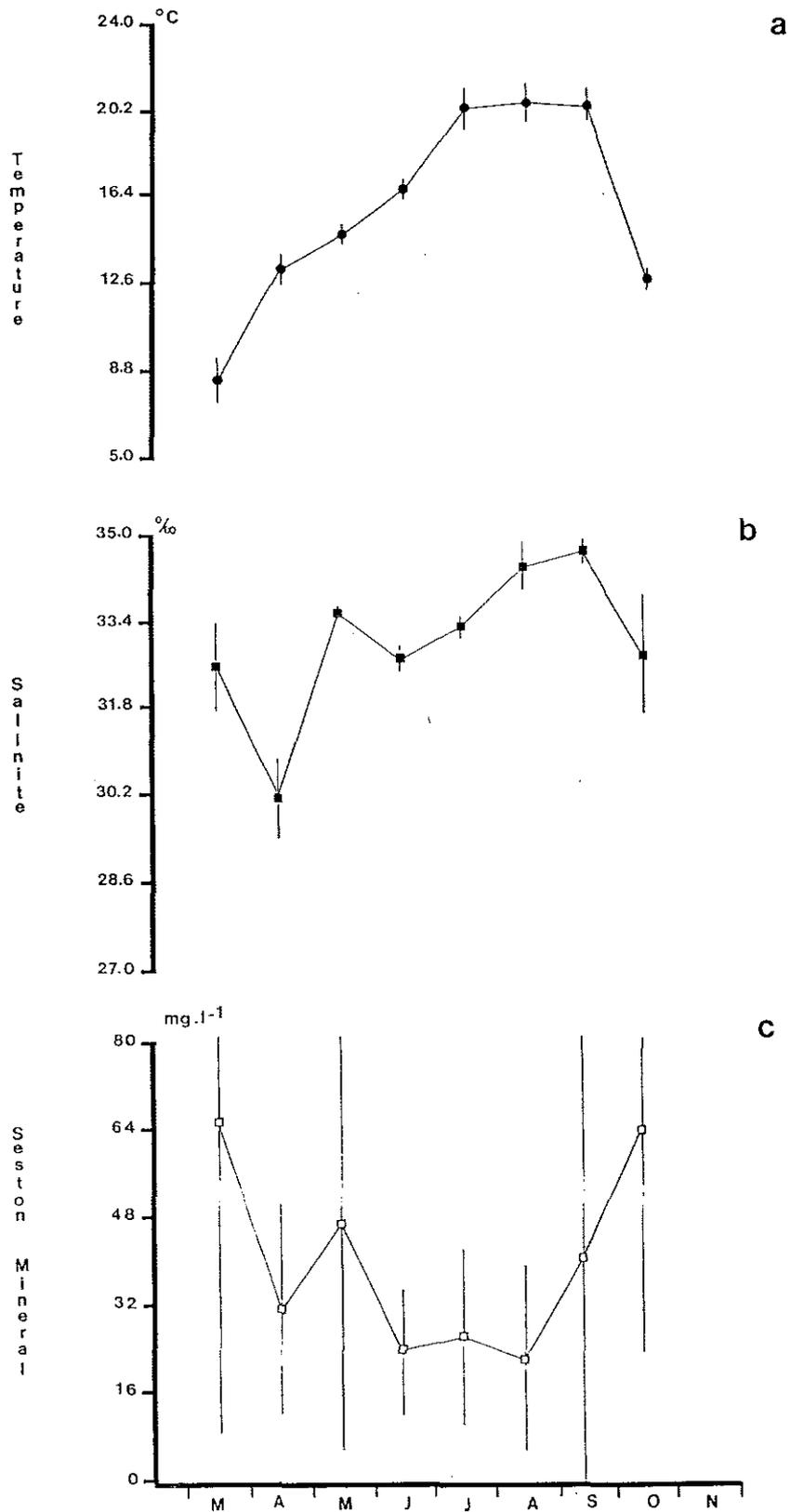


Figure 27 a, b, c : Variations mensuelles des paramètres physico-chimiques de l'eau de la baie de Bourgneuf moyennés à partir des quatre stations (S1, S2, S3, S4) au cours des vives eaux et des mortes eaux (+ 3H) de mars à octobre 1987.

Les valeurs extrêmes du seston minéral (fig. 27c) se situent en début de printemps et en octobre avec 65 mg.l^{-1} de matières en suspension. Les concentrations diminuent jusqu'à 32 mg.l^{-1} en été. Toutes les valeurs calculées sont associées à une variabilité très importante illustrée par les intervalles de confiance. Cette variabilité est principalement due à :

- la différence de vitesse de courants entre les périodes de vives eaux et de mortes eaux, qui est responsable de la remise en suspension des particules fines déposées,

- la diversité des sédiments des différentes stations notamment entre le Nord et le Sud, diversité mise en évidence dans le chapitre 3.5. Cette différence est amplifiée par le vent, à l'origine de la houle qui augmente les concentrations de particules en suspension dans les vasières Nord-Est de la baie.

Marion (1985) a obtenu la même évolution en seston minéral avec cependant des valeurs plus faibles. Dans des aires similaires dévolues à l'ostréiculture comme Marennes-Oléron, Héral et al. (1982) y enregistrent des teneurs supérieures à 200 mg lors du flot.

Les concentrations en seston organique (fig. 27 d) représentent environ 25 % du seston total des eaux de la baie de Bourgneuf. Ce pourcentage peut varier de 15 à 38 % selon la saison et ne peut être directement relié à l'abondance de la production primaire. Les variations entre secteurs et cycles de marée semblent beaucoup moins importantes que pour les teneurs en particules inorganiques. Enfin, on observe une tendance décroissante des teneurs de mars à octobre.

Les concentrations pigmentaires en chlorophylle a (fig. 27 e), indicatrices d'une production primaire active sont supérieures à $5 \mu\text{g.l}$ mais avec des variations de grande amplitude selon les secteurs au mois d'avril. Cette floraison printanière est observée en parfaite concordance avec l'arrivée des eaux dessalées qui apportent des sels nutritifs, consommés rapidement par les microalgues, de même que pour un ensoleillement supérieur aux normes saisonnières (cf 3.1.1.). Le reste de la saison elles demeurent à des teneurs identiques proches de $3,5 \mu\text{g.l}$.

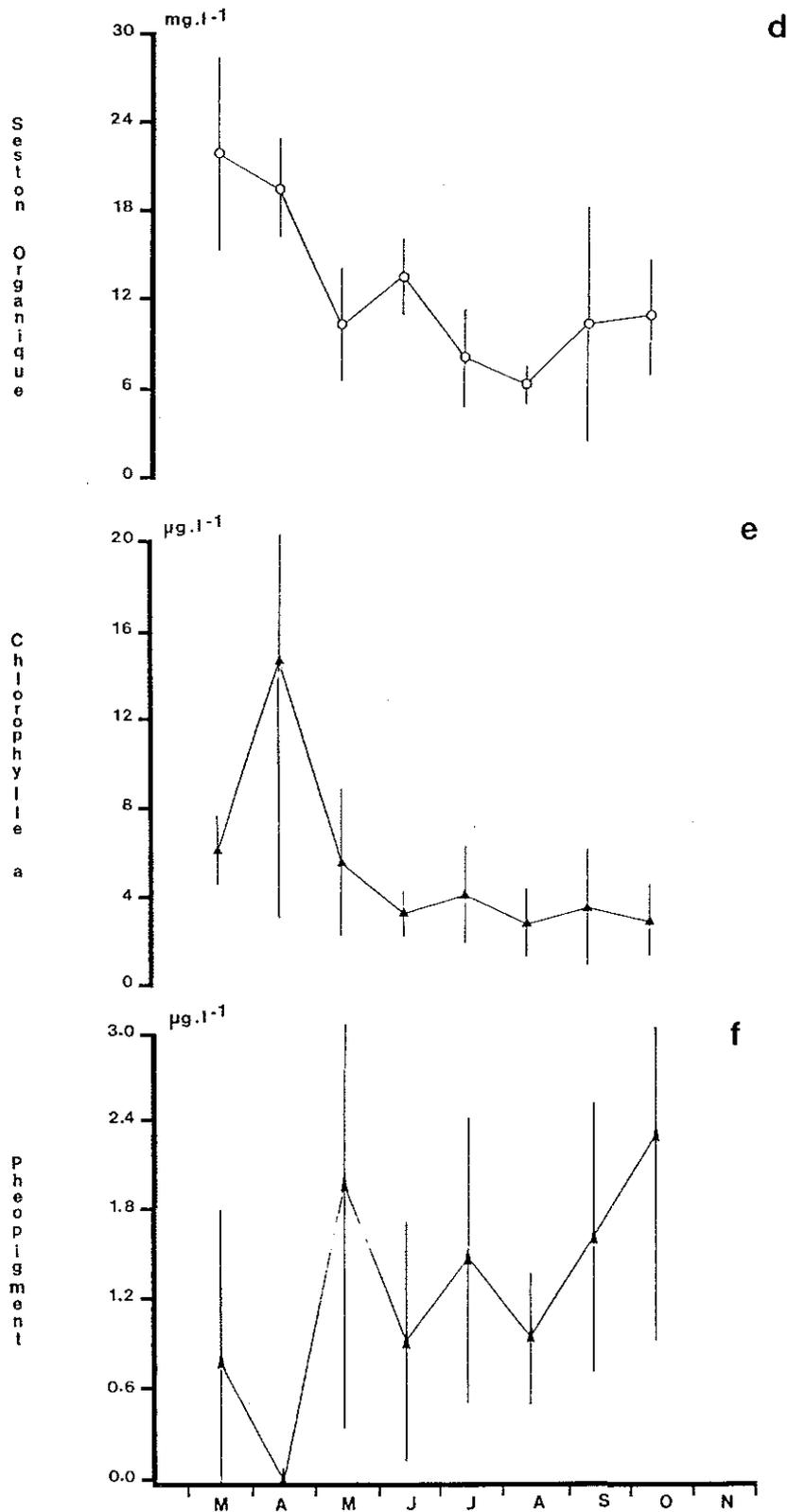


Figure 27 d, e, f : Variations mensuelles des paramètres physico-chimiques de l'eau de la baie de Bourgneuf moyennés à partir des quatre stations (S1, S2, S3, S4) au cours des vives eaux et des mortes eaux (+ 3H) de mars à octobre 1987.

L'évolution chlorophyllienne est semblable à celle obtenue au point M par Marion (1985) et à celle observée dans les eaux du canal d'alimentation des claires par Robert avec cependant une floraison printanière de plus longue durée et des valeurs absolues 2 à 3 fois plus élevées.

Les phéopigments quant à eux proviennent de la dégradation des pigments chlorophylliens lors de la phase de dégénérescence des cellules phytoplanctoniques, mais également au cours de chocs osmotiques subis par le phytoplancton lors de brusques mélanges eau douce - eau de mer ou encore au cours du broutage par différents organismes comme les mollusques ou le zooplancton.

Les concentrations calculées au cours de la saison sont relativement faibles (fig. 27 f) et ne dépassent pas $2,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ en moyenne avec cependant de grandes variabilités. La tendance de la courbe obtenue est légèrement croissante de mars à octobre. On note l'absence de teneurs élevées en phéophytine a lors de l'efflorescence printanière du mois d'avril.

Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Marion en 1985. Le rapport chl_a/phéo qu'elle a utilisé en baie de Bourgneuf rend compte ici de la qualité de la biomasse estimée. Ainsi les fortes valeurs de mars et d'avril (7,7 et 14,8) témoignent de peuplements phytoplanctoniques jeunes à forte activité photosynthétique. De juin à septembre, la succession des peuplements est moins intense et caractérisée par des indices plus faibles (de 2,2 à 3,6) enfin en octobre on obtient la plus faible valeur (1,4) qui présage les faibles activités photosynthétiques des peuplements en hiver.

Les teneurs en azote minéral total dissous (fig. 27g) restent élevées toute l'année puisqu'elles varient entre 11,8 et 24,8 μM et qu'elles atteignent des valeurs $> 50,0 \mu\text{M}$ en automne. De mêmes, les teneurs en silice (fig. 27 i) qui fluctuent entre 4,4 et 15,2 μM et qui approchent de 29,0 μM en automne sont élevées.

Ces données sont comparables à celles obtenues par Marion (1985) et Robert (1983) dans la baie de Bourgneuf, de même que leurs cycles annuels de variations. Ces derniers sont identiques pour l'azote et le phosphore et présentent

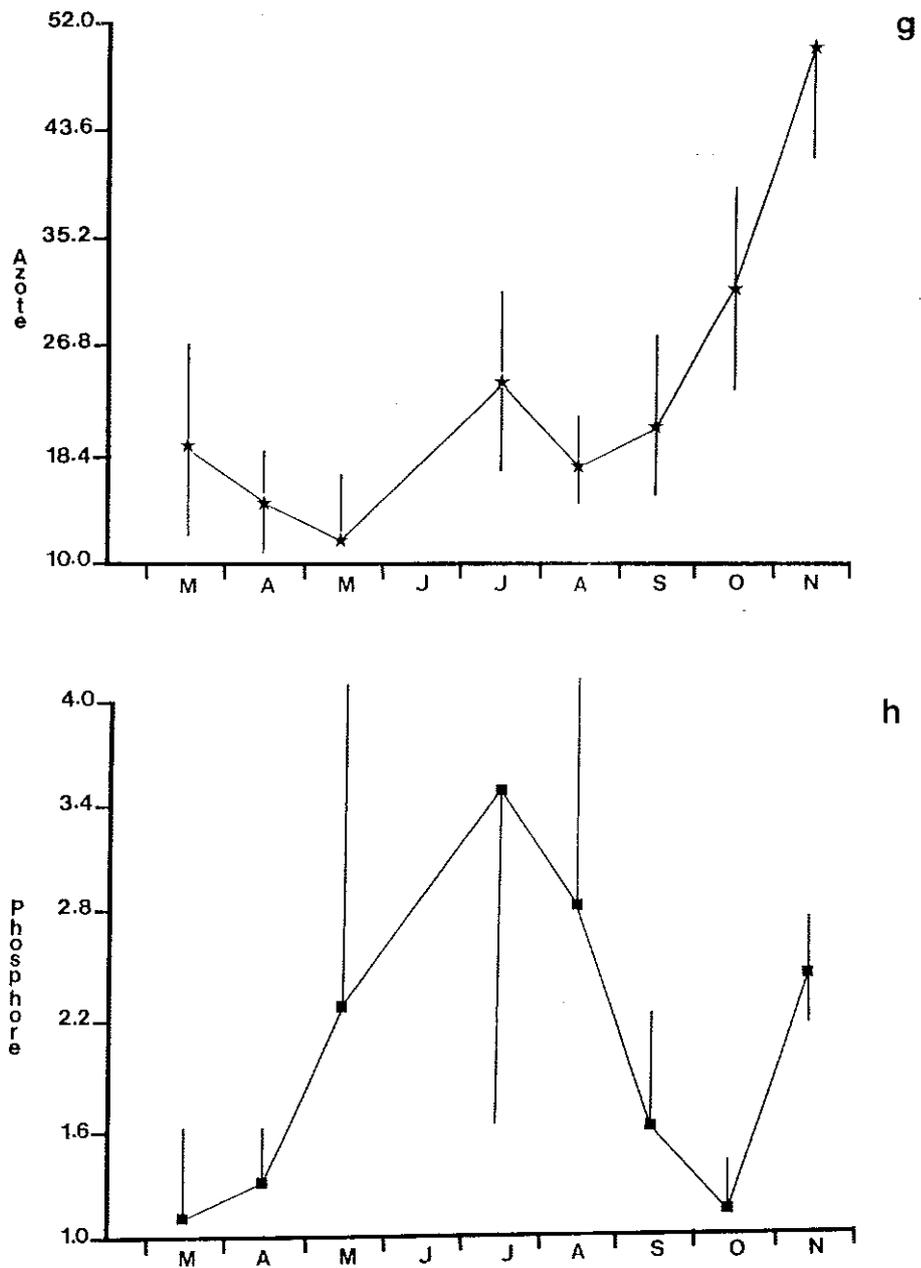


Figure 27 g, h : Variations mensuelles des sels nutritifs de l'eau de la baie de Bourgneuf moyennés à partir des quatre stations (S1, S2, S3, S4) au cours des vives eaux et des mortes eaux (+ 3H) de mars à octobre 1987.

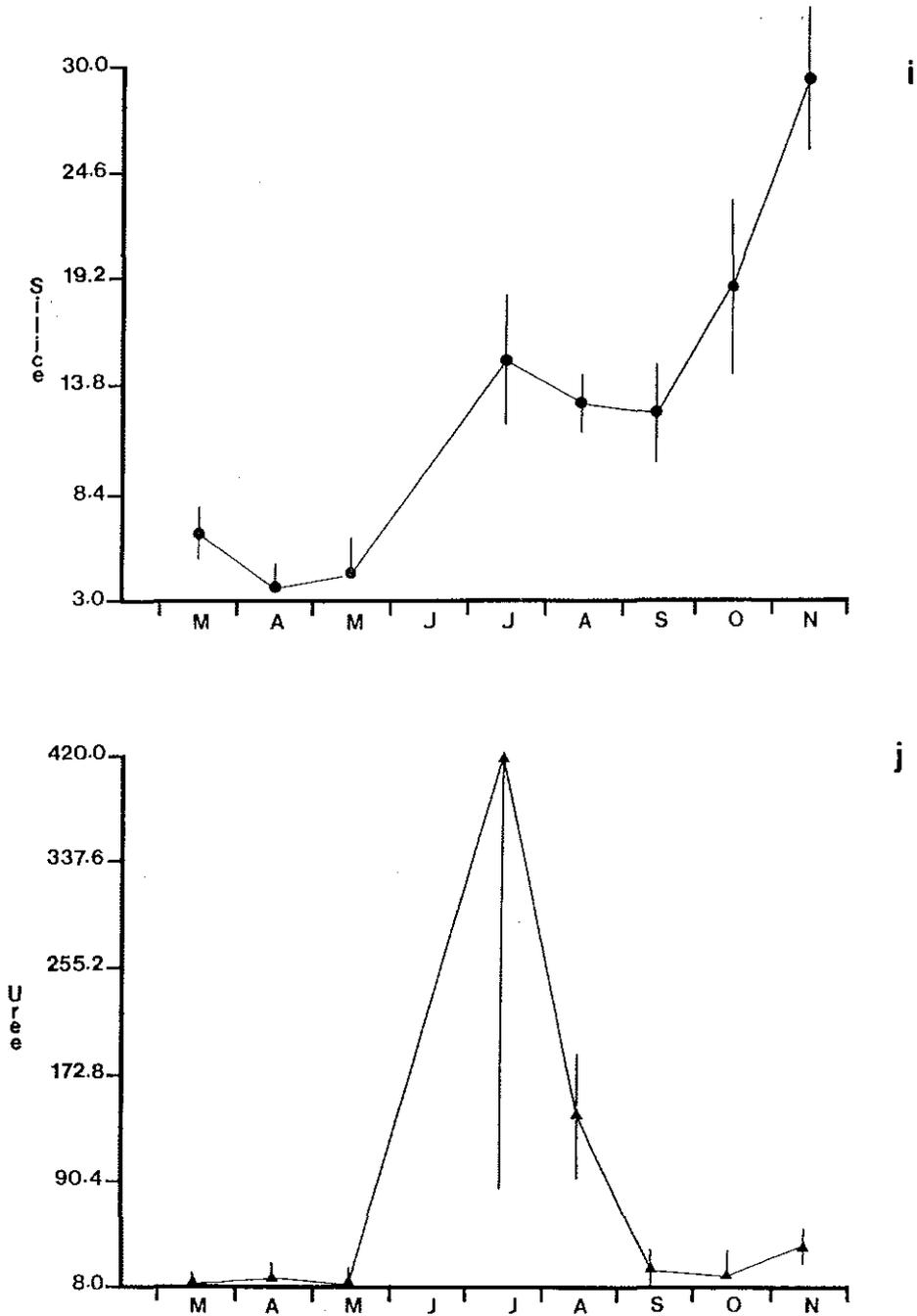


Figure 27 i, j : Variations mensuelles des sels nutritifs de l'eau de la baie de Bourgneuf moyennés à partir des quatre stations (S1, S2, S3, S4) au cours des vives eaux et des mortes eaux (+ 3H) de mars à octobre 1987.

une faible variabilité. On remarque que leurs profils sont inversés par rapport à celui obtenu avec les teneurs en chlorophylle a.

Par contre, les teneurs en phosphore (fig. 27 h) présentent des résultats différents. Leurs concentrations qui fluctuent entre 1,10 et 1,6 μM atteignent des valeurs $> 2,3 \mu\text{M}$ de mai à août avec une variabilité élevée et également en novembre. Ces fortes valeurs résulteraient de la régénération de cet élément, mais également de l'existence du flux de phosphore issu de la phase solide du sédiment par désorption comme l'a montré Delmas (1981) en rade de Brest. Les apports terrigènes pourraient également intervenir, une forte pluviométrie ayant été enregistrée pendant ces périodes.

Les teneurs en urée (fig. 27 j) sont très faibles toute l'année, excepté en été où elles peuvent atteindre 418,0 μM mais avec une variabilité très grande.

Les variabilités importantes observées pour les éléments phosphore et urée sont la conséquence d'une grande disparité entre les zones Nord et Sud de la baie, comme nous l'avons vu précédemment.

De ces observations il ressort que, dans la baie de Bourgneuf, que l'on étudie les eaux d'une station située en aval de la zone de forte activité conchylicole, tel que le point M proposé par Marion (1985) ou d'un ensemble de stations sur des parcs à huître, correspondant au travail présent, les résultats obtenus présentent une évolution semblable mais des valeurs absolues différentes selon que l'on se trouve dans la partie de la baie la plus océanique ou la plus continentale. Ces derniers résultats révèlent entre autre, des teneurs chlorophylliennes élevées et des concentrations en seston compatibles avec l'élevage. Ils permettent de conclure à une bonne qualité des eaux baignant les parcs ostréicoles de la baie de Bourgneuf.

4.4. Incidence de l'évolution saisonnière des paramètres hydro-biologiques sur la croissance des huîtres creuses

Les données hydrobiologiques obtenues ayant permis de mieux comprendre l'écosystème de la baie de Bourgneuf, il convenait de déterminer leurs impacts sur la croissance des huîtres. Des tests de croissance de type

expérimental ont été réalisés à proximité des stations de référence (cf. rapport Haure et Baud, 1989b) sur des huîtres élevées selon la même technique et issues d'un même lot initial.

Le tableau 7 montre que les poids moyens n'étant pas statistiquement différents en début d'élevage, les croissances intersecteurs peuvent être comparées. Le taux de croissance reste identique (0,45) au mois de novembre pour les secteurs continentaux (S1, S2 et S3) alors qu'il est multiplié par 1,6 dans le secteur 4. On ne peut pas attribuer cependant ce phénomène à l'effet relatif des stocks. Le tableau 8 montrant qu'ils n'interviennent pas sur les taux de croissance. En revanche, il est surprenant de constater que les biomasses phytoplanctoniques obtenues dans les différents secteurs sont en contradiction avec les taux de croissance.

Tableau 7 : Variation de croissance de mars à novembre 1987, dans quatre secteurs ostréicoles de 50 huîtres fixées sur une plaque en surélevé à un coefficient de marée d'environ 70, d'après Haure et Baud (1989b).

	S1	S2	S3	S4
Poids moyen initial (g) (W1)	29,23	28,92	29,00	29,01
Poids moyen initial (g) (W2)	46,60	46,01	44,21	60,04
Gain (g) (W2 - W1)	+ 17,37	+ 17,09	+ 15,21	+ 31,03
Taux de croissance $T = \ln W2/W1$	0,47	0,46	0,42	0,73

Selon de nombreux auteurs, la biomasse phytoplanctonique et la quantité de matière organique représentent l'essentiel de la nourriture potentielle pour *Crassostrea gigas* (Bernard, 1974 ; Héral et Prou, 1980 ; Deslous-Paoli et al., 1982). Cependant en milieu de type estuarien, les concentrations élevées de suspensions minérales et détritiques influent négativement par dilution de la nourriture sur le taux d'assimilation des bivalves filtreurs (Winter, 1976 ; Kiorboe, 1981). Elles peuvent même lorsque la turbidité

est très forte permettre d'expliquer les faibles performances de croissance enregistrées chez *Crassostrea gigas* (Deslous-Paoli, 1980 ; Héral et al., 1983). Ces concentrations élevées de particules minérales induisent de fortes productions de pseudofèces associées à une dépense énergétique accrue pour le tri des particules, le nettoyage branchial et la sécrétion de mucus. Dans des cas extrêmes, elles provoquent le jeûne par fermeture des valves. Ainsi la croissance des bivalves en milieu ouvert n'est pas uniquement liée à la ration alimentaire disponible dans son proche environnement.

Tableau 8 : Stock, biomasse au m² d'huîtres creuses par strate et stock de moules sauvages en zone subtidale estimés en automne 1987 (d'après Baud et Haure, 1989a).

Secteurs	HUITRES		MOULES
	Stock en tonnes	Biomasse au m ² en kg	Stock en zone subtidale (en tonnes)
S1	17 263	7,3 $\sigma = 0,4$	22 860
S2	14 427	6,4 $\sigma = 0,3$	
S3	4 663	7,2 $\sigma = 0,5$	
S4	11 329	8,4 $\sigma = 0,6$	

En baie de Bourgneuf, la remise en suspension et le transport des particules minérales pourraient donc être un facteur limitant la croissance des huîtres d'élevage. Les résultats obtenus par l'analyse en composante principale des paramètres physico-chimiques de même que par la comparaison des valeurs absolues montrent que les teneurs en seston minéral sont très élevées en zone Nord, les maxima pouvant atteindre 1 180,5 mg.l⁻¹ en S3 et 632,4 mg.l⁻¹ en S2 contre 225,2 mg.l⁻¹ en S1 et 67,6 mg.l⁻¹ en S4. De plus les installations ostréicoles amplifient ce phénomène. Les tables d'élevage en surélevé augmentent la turbidité selon le processus décrit par Sornin en 1982. Cette augmentation est directement liée à la turbidité générale de l'eau environnante : plus une eau sera chargée en particules, plus les installations augmenteront le taux de sédimentation.

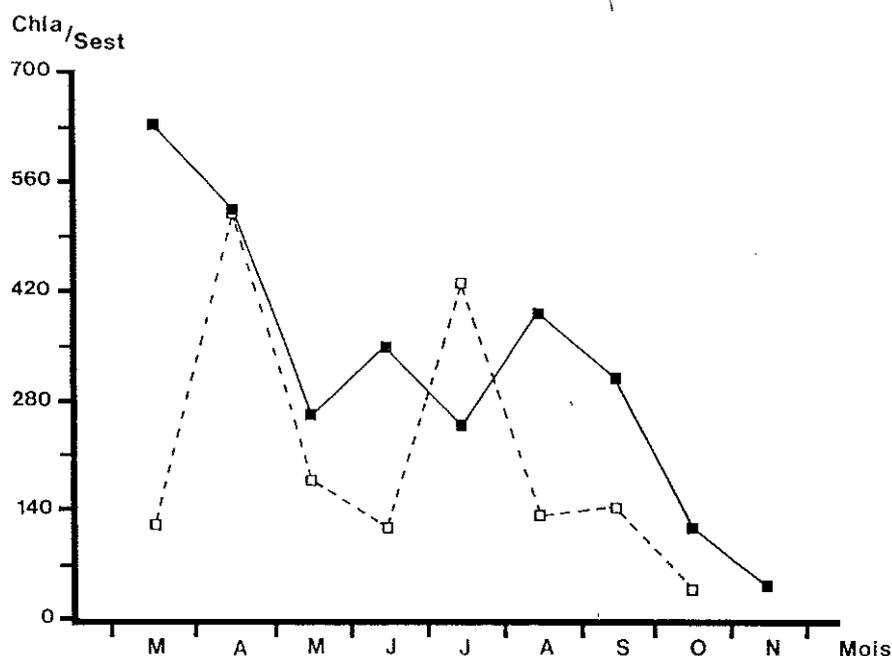


Figure 28 : Variations mensuelles du rapport chl a/seston total dans l'eau des stations S3 (□) et S4 (■) de mars à novembre 1987.

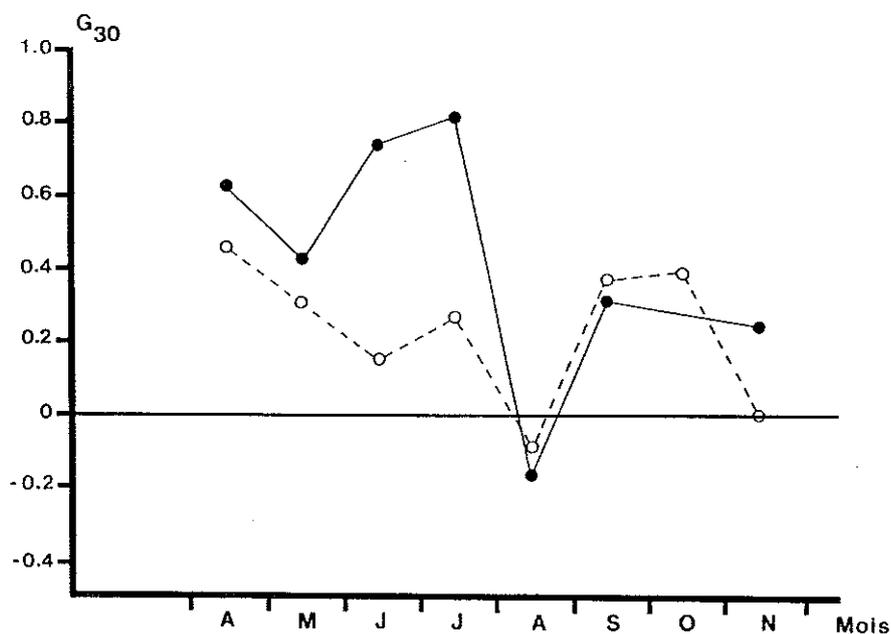


Figure 29 : Taux d'accroissement mensuel des huîtres en élevage des stations S3 (○) et S4 (●) de mars à novembre 1987 ($G_{30} = 30/(t-t_0) \times \ln W_t/W_0$ avec W_{t_0} = poids initial, W_t = poids à l'instant t , $t-t_0$ = durée entre deux prélèvements).

Il apparait donc que le descripteur le plus approprié pour suivre la qualité nutritionnelle du milieu pourrait être le rapport chlorophylle a sur seston minéral. L'évolution de ce rapport semblerait traduire la quantité de nourriture disponible ou assimilable (fig. 28). La tendance annuelle ainsi déduite pour les secteurs les plus variables entre eux (S3 et S4) concorderait avec le taux d'accroissement mensuel des huîtres (fig. 29) et rendrait beaucoup mieux compte de l'interaction huître-milieu pour certains secteurs ostréicoles de la baie de Bourgneuf. Toutefois, d'autres facteurs limitants tels que l'azote et la silice ou encore l'état physiologique des cellules des peuplements comme l'on montré Marion (1985) pourraient freiner la croissance des huîtres d'élevage dans cette baie.

VI. BIBLIOGRAPHIE

- Baud J.P. et Haure J., 1987. Estimation des stocks d'huîtres cultivées dans la baie de Bourgneuf en 1986. Rapport interne IFREMER DRV-87-020 RA/BOUIN : 32 p.
- Baud J.P. et Haure J., 1988. Estimation des stocks de moules de gisements naturels dans la baie de Bourgneuf en 1986. Rapport interne IFREMER DRV-88-012 RA/BOUIN : 29 p.
- Baud J.P. et Haure J., 1989a. Estimation des stocks d'huîtres cultivées (*C. gigas*) et de moules de gisements naturels (*M. edulis*) dans la baie de Bourgneuf en 1987. Rapport interne IFREMER DRV 89-40 RA/BOUIN, 51 p.
- Bernard F.R., 1974. Annual biodeposition and gross energy budget of mature pacific oysters, *Crassostrea gigas*. *J. Fish. Res. Board Can*, 31 (2) : 185-190.
- Borne V., 1987. Etude bibliographique du régime hydrosédimentaire de la baie de Bourgneuf : effets de la conchyliculture. E.R.G., 61 p.
- Cherfaoui D., 1973. Observations sur le cycle saisonnier des populations de crustacés copépodes planctoniques en baie de Bourgneuf. Thèse Doct. Spécialité, Univ. Nantes, 130 p.

- Corbeil M.J., 1968. Etude de la reproduction des huîtres portugaises en baie de Bourgneuf de 1964 à 1967. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 32 : 387-396.
- Delmas R., 1981. Etude de l'évolution saisonnière des sels nutritifs dans la rade de Brest en fonction des apports fluviaux et des échanges avec l'Iroise. Thèse Doc. Spécialité, Univ. Brest : 163 p.
- Deslous-Paoli J.M., 1980. Contribution à l'étude de la biologie de l'huître *Crassostrea gigas* Thunberg dans le bassin et les claires de Marennes-Oléron. Thèse de 3ème cycle, Université d'Aix-Marseille II : 121 p.
- Deslous-Paoli J.M., Héral M., Zanette Y., 1982. Problèmes posés par l'analyse des relations trophiques huîtres-milieu. In : Indices biochimiques milieux marins. Journées du Gabim, Brest 18-20 Novembre 1981. Publ. CNEOX (Actes et Colloques), 14 : 335-340.
- Gouleau D., 1968. Etude hydrologique et sédimentologique de la baie de Bourgneuf. Thèse Doct. Spécialité, Univ. Nantes : 187 p.
- Gouleau D., 1971. Le régime hydrodynamique de la baie de Bourgneuf et ses conséquences sur la sédimentation. *Cahiers Océanogr. C.O.E.C.* 23 (7).
- Gouleau D., 1975. Les premiers stades de la sédimentation fine sur les vasières littorales découvertes. Rôle de l'immersion. Thèse Doct. Etat (2 vol.), Univ. Nantes, 241 + 123 p.
- Haure J. et Baud J.P., 1989b. Croissance, engraissement et mortalité de *Crassostrea gigas* : comparaisons dans quatre secteurs ostréicoles de la baie de Bourgneuf en 1987. Rapport interne IFREMER DRV RA/BOUIN, sous presse.
- Héral M. et Prou J., 1980. Etude de la biomasse bactérienne dans le bassin de Marennes-Oléron. - *Note au CIEM, CM 1980/L* : 46, Comité de l'océanographie biologique, 10 p.
- Héral M., Deslous-Paoli J.M. et Sornin J.M., 1983. Transferts énergétiques entre l'huître *Crassostrea gigas* et la nourriture potentielle disponible dans un bassin ostréicole : premières approches. *Océanis*, vol. 9, Fasc. 3 : 169-194.

- Héral M., Razet D., Deslous-Paoli J.M., Manaud F., Truquet I. et Garnier J., 1984. Hydrobiologie du bassin de Marennes-Oléron. Résultats du réseau national d'observation : 1977 à 1981. Annales de la soc des sciences naturelles de la Charente-Maritime, vol. VII, fasc. 2 : 259-277.
- L.C.H.F., 1986. Le Gois-Fromentine. Etude hydraulique et sédimentologique. Avis technique. Rapport pour T.P.E. Maritimes, 52 p.
- Legallo J.Y., 1972. Recherches sur les variations saisonnières de l'épifaune en baie de Bourgneuf. Thèse Doct. Spécialité, Univ. Nantes, 63 p.
- Maestrini S.Y. et Robert J.M., 1981. Rendement d'utilisation des sels nutritifs et variations de l'état des cellules de trois Diatomées de claires à huîtres de Vendée. *Océanol. Acta*, 4 : 13-21.
- Maggi P., Lassus P., Larrazabal M.E., Etienne M., Peleron A., Mornet F. et Soulard L., 1987. Facteurs hydroclimatiques et apparitions d'eaux colorées, en baie de Vilaine durant l'année 1987. Rapport interne IFREMER DERO-88 06-MR : 70 p.
- Marion A., 1985. Phytoplancton de la baie de Bourgneuf. Fertilité des eaux néritiques. Thèse Doct. Spécialité, Univ. Nantes, 156 p.
- Marion A. et Robert J.M., 1985. Détermination, au moyen de tests biologiques, de facteurs nutritionnels intervenant dans la composition spécifique des peuplements phytoplanctoniques printaniers en baie de Bourgneuf. *J. Rech. Oceanogr.*, vol. 10, n° 3 : 88-91.
- Ravail B., Héral M., Maestrini S.Y., Robert J.M., Razet D. et Prou J., 1987. Incidence de la diminution des débits de la Charente sur la production primaire du bassin de Marennes-Oléron. Rapport interne IFREMER DRV 87-008-RA/TREM : 63 p.
- Rincé Y., 1978. Intervention des diatomées dans l'écologie des claires ostréicoles de la baie de Bourgneuf. Thèse Doct. Spécialité, Univ. Nantes : 203 p.

- Robert J.M., 1974. Etude préliminaire des relations entre l'état de verdissement d'une claire ostréicole et l'examen biométrique de populations planctoniques et benthiques du *Navicula ostrearia* Bory, pigmenté ; applications CR Acad. Sc Paris, 278 : 1405-1408.
- Robert J.M., 1975. Le verdissement dans les claires de la baie de Bourgneuf. *Bull. Soc. Sci. Nat. Ouest Fr.*, 73 : 123-129.
- Robert J.M., 1977. Premières données écologiques sur les claires à huîtres de la baie de Bourgneuf. *Bull. Ecol.*, 8 : 57-62.
- Robert J.M., Maestrini S.Y., Bages M., Dréno J.P. et Gonzalez-Rodriguez E., 1979. Estimation, au moyen de tests biologiques, de la fertilité pour trois Diatomées des eaux des claires à huîtres de Vendée. *Océanol. Acta*, 3 : 275-286.
- Robert J.M., Maestrini S.Y., Héral M., Rincé Y., Dréno J.P. et Beker L., 1982. Enrichissement expérimental d'eaux printanières de claires à huîtres en baie de Bourgneuf (Vendée, France) : augmentation de la biomasse et utilisation des éléments nutritifs par les algues unicellulaires. *Hydrobiologia*, 96 : 53-63.
- Robert J.M., 1983. Fertilité des eaux des claires ostréicoles et verdissement : utilisation de l'azote par les Diatomées dominantes. Thèse Doct. Etat (2 vol.), Univ. Nantes, 281 + annexes.
- Romana A., 1982. Estuaire de la Gironde : campagnes libellules. Rapport CNEOXO, 3 volumes.
- Sornin J.M., 1982. Influence des installations conchylicoles sur l'hydrologie et sur la morphologie des fonds. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.* 45 (2) : 127-139.
- Tréguer P. et Le Corre P., 1975. Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer (utilisation de l'autoanalyseur II Technicon) 2ème édition, Université de Bretagne Occidentale, 110 p.
- Utermöhl H., 1958. Zur Vendlhommung der quantitativen phytoplankton-Methodik. *Int. Ver. Theoret. Argeur. Limnol.*, 9 : 1-38.

Winter J.E., 1976. Feeding experiments with *Mytilus edulis* L. at small Laboratory scale. II - The influence of suspended silt in addition of algal suspensions on growth. Proc. 10th Eur. Symp/ mar. Biol., Ostende Belgique : 583-600.