

Direction des Ressources Vivantes
Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes

Direction de l'Environnement et de l'Aménagement du Littoral
Laboratoire de La Tremblade

62976
OUR 8.15
C300. H4D. H

ifremer

Nicole FAURY, Daniel RAZET, Patrick SOLETCHNIK, Philippe GOULLETQUER,
Jacqueline RATISKOL et Jacqueline GARNIER

juillet 1999 - DRV/RA/LCPC/RST/ 99-12

IFREMER
BIBLIOTHEQUE
LA TREMBLADE

Hydrologie du bassin de Marennes-Oléron. Analyse de la base de données « RAZLEC » 1977-1995.



Type de rapport : RST	
Numéro d'identification du rapport : DRV/RA/LCPC/99-12 Diffusion : libre <input checked="" type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> interdite <input type="checkbox"/> Validé par : Adresse électronique : - chemin UNIX : - adresse WWW : Nicole.Faury@ifremer.fr	date de publication nombre de pages : 52 bibliographie : Oui illustration(s) : Non langue du rapport : Français
Titre et sous-titre du rapport : HYDROLOGIE DU BASSIN DE MARENNES-OLERON. ANALYSE DE LA BASE DE DONNEES « RAZLEC » 1977-1995. Titre traduit : Hydrology of the Bay of Marennes-Oleron : Statistical analysis of the database « Razlec » from 1977 to 1995.	
Auteur(s) principal(aux) : Faury Nicole, Razet Daniel, Soletchnik Patrick, Gouletquer Philippe, Ratiskol Jaqueline et Garnier Jaqueline.	Organisme / Direction / Service, laboratoire IFREMER/DRV/RA/ Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes (LCPC) IFREMER Ronce les Bains 17390 La Tremblade.
Collaborateur(s) : nom, prénom	Organisme / Direction / Service, laboratoire
Organisme commanditaire : nom développé, sigle, adresse	
Titre du contrat :	n° de contrat Ifremer
Organisme(s) réalisateur(s) : nom(s) développé(s), sigle(s), adresse(s)	
Responsable scientifique :	
Cadre de la recherche : Programme : Convention : Projet : Autres (préciser) : Campagne océanographique : (nom de campagne, année, nom du navire)	

Résumé :

Le bassin de Marennes-Oléron fait l'objet depuis 1977 d'un suivi hydrologique. Cinq stations réparties sur le bassin sont échantillonnées deux fois par mois. L'évolution des paramètres physiques (température, salinité, oxygène dissous et matières en suspension), des sels nutritifs (azote ammoniacal, nitrite, nitrate et silicate), de la chlorophylle *a* et des phéopigments est examinée au travers d'un test statistique (d'analyse de séries temporelles) qui décompose les données selon la variation saisonnière et la tendance. Les données pluviométriques et les débits de la Charente sont également analysés par le modèle.

L'étude des variations saisonnières montre une homogénéité de l'ensemble des stations pour tous les paramètres, excepté pour l'azote ammoniacal dont le cycle diffère selon les stations. Le nitrate, le phosphate et la chlorophylle *a* ont des cycles à forte amplitude.

L'analyse des tendances permet de caractériser les différents sites du bassin et souligne le rôle prépondérant de la Charente qui enrichit le bassin en nitrate et phosphate. Cependant lorsque les débits du fleuve diminuent, le bassin utilise une partie des nutriments remobilisables piégés par le sédiment. Il faut toutefois souligner la diminution des apports de phosphate qui pourrait bien devenir un facteur limitant au développement du phytoplancton ainsi que sur le plan qualitatif. Durant la dernière décade, la teneur en azote ammoniacal de l'estuaire de la Seudre a significativement augmenté traduisant la détérioration de la qualité des eaux dans cette partie sud du bassin.

L'analyse révèle une augmentation de 1°C de la température de l'eau du bassin qui est associée à la formation d'un gradient thermique nord-sud.

Abstract :

An hydrobiological monitoring survey has been carried out in the Bay of Marennes-Oléron since 1977. Five stations, distributed over the Bay, were sampled twice a month. Spatial and temporal trends of the physical characteristics (i.e., seawater, temperature, salinity, dissolved oxygen and suspended matter), nutrients (azote, nitrite, nitrate, silicate) and organic variables (chlorophyll *a* and pheopigments) were assessed by using a statistical time-series analysis model. It was used to distinguish seasonal variability from long term trends. Pluviometric data as well as the Charente River fluxes were similarly analyzed by the model.

The seasonal variability showed an homogeneous pattern over the five stations for all parameters, but the site-dependent ammoniac. Nitrates, phosphates and chlorophyll *a* concentrations showed highly variable cycles.

The trend analysis allowed to specify the characteristics of the various bay sites, and emphasized the critical role of the Charente River in nitrate-phosphate nutrients enrichment.

However, sediment nutrients were likely mobilized with concomitant Charente fluxes decrease. The decreasing phosphate concentration pattern should be emphasized as a likely limitant factor for phytoplanktonic blooms, from a quantitative and qualitative point of view. The azote (N-NH_4^+) concentration in Seudre River has steadily increased over the last 10 years, therefore demonstrating a significant seawater quality decrease in the southern part of the Bay of Marennes-Oléron.

Moreover, the seawater temperature analysis showed a significant 1°C increase, concomitant with a north-south thermal gradient.

Mots-clés : Hydrologie, Marennes-Oléron, variations saisonnières, tendances, conchyliculture

Keywords : Hydrology, Marennes-Oleron Bay, Seawater seasonal variability, overall trends, shellfish farming.

Commentaire :

I. INTRODUCTION	4
1.1. PRÉSENTATION DU BASSIN DE MARENNES-OLÉRON.....	4
1.2. ETUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN DE MARENNES-OLÉRON	7
II. MATERIELS ET METHODES	8
2.1. STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE.....	8
- Station A : AUGER	10
- Station B : MUS DE LOUP	10
- Station C : LE CHAPUS.....	10
- Station D : LES FONTENELLES.....	10
- Station E : LA PERROTINE-BOYARD	10
2.2. LES TECHNIQUES ANALYTIQUES	11
2.3. TRAITEMENT ET ANALYSES DES DONNÉES.....	11
2.3.1. Les séries chronologiques.....	11
2.3.3. Nature des descripteurs	13
III. RESULTATS ET DISCUSSION	16
3.1. LES VARIATIONS SAISONNIÈRES	16
3.1.1. Température	16
3.1.2. Salinité	17
3.1.3. Oxygène dissous	18
3.1.4. Matières en suspension.....	19
3.1.5. Azote ammoniacal.....	20
3.1.6. Nitrite.....	21
3.1.7. Nitrate.....	22
3.1.8. Phosphate et silicate.....	23
3.1.9. Chlorophylle a et phéopigments.....	25
3.2. EVOLUTIONS TEMPORELLES ET SPATIALES	27
3.2.1. Température de l'eau et de l'air.....	27
3.2.2. Pluviométrie et débit de la Charente.....	28
3.2.3. Salinité	29
3.2.4. Matières en suspension.....	30
3.2.5. Oxygène dissous	32
3.2.6. Azote ammoniacal.....	33
3.2.7. Nitrite.....	35
3.2.8. Nitrate	36
3.2.9. Phosphate.....	37
3.2.10. Silicate.....	39
3.2.11. Chlorophylle a et Phéopigments.....	40
IV. CONCLUSION	43
BIBLIOGRAPHIE	47

I. INTRODUCTION

1.1. Présentation du bassin de Marennes-Oléron

Le bassin de Marennes-Oléron est délimité à l'ouest par l'Ile d'Oléron, à l'est et au sud par le littoral charentais, pour un volume total d'eau de mer variant de 500 à 1 100 millions de m³. Il représente une superficie d'environ 150 km² à la côte + 5 m (Pouliquen, 1975). Il s'ouvre sur l'océan par l'intermédiaire de deux pertuis : au nord le pertuis d'Antioche et au sud par l'étroit pertuis de Maumusson (seulement 1 km). La circulation des eaux du bassin décrite par le LCHF (Laboratoire Central Hydraulique de France) en 1973, s'effectue dans le sens nord-sud; le temps de séjour des masses d'eau varie de 4 à 10 jours selon les coefficients de marée (LCHF, 1973). Les apports en eau douce sont assurés par trois fleuves : principalement par la Charente (100 m³/s), la Gironde (500 m³/s) et la Seudre (10 m³/s). En période de crue hivernale, la Gironde avec un débit de 4 000 m³/s supplante la Charente. Ses eaux pénètrent dans le bassin par le pertuis de Maumusson au sud et par le pertuis d'Antioche au nord.

Ce bassin côtier peu profond découvre les 2/3 de sa surface de nature sablo-vaseuse aux marées de vives-eaux. La conchyliculture y est largement développée : 2 541 ha sont occupés par l'ostréiculture et 100 km de bouchots par la mytiliculture (Monographie des Affaires Maritimes, 1997). Il constitue le plus important centre conchylicole français et européen. Actuellement, le stock ostréicole est d'environ 95 000 tonnes, il est le deuxième site national de captage et alimente avec le bassin d'Arcachon l'ensemble des bassins français en naissain et huîtres de demi-élevage. L'huître *Crassostrea gigas* a été introduite en France en 1971, suite à l'épizootie ayant entraîné la disparition de l'espèce *Crassostrea angulata* (Grizel et Héral, 1991). La mytiliculture est considérée comme secondaire (< 10 000 tonnes) bien qu'elle contribue à des mesures d'aménagement majeur sur l'ostréiculture du Bassin (e. g. pose des tables ostréicoles en juin).

Ce site dont l'activité économique est particulièrement importante et qui joue un rôle essentiel dans l'aménagement du territoire a fait l'objet de nombreuses études et recherches visant à mieux comprendre l'écosystème complexe qu'il représente.

Selon Héral et al. (1983) les premières études portant sur l'hydrobiologie du bassin remontent à 1929 (Chaux-Thévenin, 1929 ; Ranson, 1936 ; Ladouce, 1938 ; Lafuste et al., 1957 ; Gras et al., 1971 ; Le Borgne et al., 1973). Toutes ces approches décrivent des évolutions simultanées des températures et salinités en fonction de l'abondance des larves d'huîtres.

Le cadre hydrodynamique du bassin de Marennes-Oléron est défini par Tesson (1973) et Klingebiel et al. (1971), Klingebiel et Tesson (1974). Cette étude achevée en 1975 conduit à la modélisation par le LCHF des phénomènes régissant ce secteur. Il est mis en évidence une résultante nord-sud des courants avec une circulation des eaux de Charente à travers le coureau d'Oléron et un rejet par le pertuis de Maumusson selon les conditions dynamiques de la marée. La Charente assure les 9/10^{ème} des apports d'eau douce du bassin. Les études hydrologiques sur la Charente débutent avec Boeuf (1949) qui caractérise les augmentations des salinités estivales tandis que Genesseeux (1956) décrit le processus de circulation des eaux dans l'estuaire. Seul Salvador (1976), par l'étude de quatre campagnes saisonnières définit les grandes caractéristiques hydrologiques de cet estuaire et propose un schéma synthétique des phénomènes observés. Dechambenoy et al. (1977) confirment par thermographie infrarouge que les eaux de la Charente descendent vers le sud entre l'île d'Oléron et le continent ; cette voie est également suivie par les eaux de la Gironde en période de crue qui longent la côte ouest de l'île d'Oléron et pénètrent également par le pertuis de Maumusson. Nichols (1974), Fralit et al., (1981) confirment ce schéma de la circulation des masses d'eau dans le bassin en utilisant la télédétection par satellite. Castaing (1981) précise le transfert des matières en suspension estuariennes de la Gironde vers les zones littorales voisines.

Verger (1968), Barusseau (1973) et Pouliquen (1975) définissent l'origine et la dynamique des sédimentations vaseuses dans les pertuis charentais, et dans l'estuaire de la Charente. Dès 1972, dans le cadre d'un contrat avec la D.D.E., une étude sur l'envasement et la pollution du bassin est initiée sur seize 16 stations réparties de l'amont de la rivière Seudre à l'estuaire de la Charente (Carruesco et al., 1972). Le compartiment sédimentologique de ce travail montre que les matières organiques dans le sédiment vaseux sont très fortement dégradées, ce qui se traduit par des phénomènes de minéralisation très importants. Carruesco (1977) aborde plus particulièrement la dynamique de la matière organique des sédiments. Sornin (1981) détermine l'impact de la biodéposition des huîtres en élevage sur la sédimentation des parcs ostréicoles. Sornin et al., décrivent en 1986 l'influence de ces élevages

sur le cycle du phosphore. Feuillet-Girard et al. poursuivent ces investigations sur la zone intertidale et montrent l'action conjuguée de l'interface eau-sédiment et de l'élevage des huîtres sur le cycle de l'azote (1988) et du carbone (1994).

L'interaction entre le stock d'huîtres cultivées et leur performance de croissance dans la bassin a été étudiée à l'aide d'un modèle mathématique multiboite par Bacher (1989). Ce modèle est appliqué à la zone de production ostréicole afin de calculer le transport particulaire. Raillard (1991) étudie les interactions entre les processus physiques et biologiques intervenant dans la production de l'huître *Crassostrea gigas* du bassin de Marennes-Oléron, en particulier en intégrant un modèle de production primaire.

La biomasse phytoplanctonique, base de la nourriture des bivalves en élevage est étudiée dans le bassin de Marennes-Oléron par Hinard (1928) et Baron (1938). Leborgne-David (1973) recense une population phytoplanctonique importante principalement constituée d'espèces spécifiques des zones de mélange estuarien. En 1976, dans le cadre du programme MARO76 une campagne saisonnière voit le jour sur trente huit points (Héral et Razet, 1977), et pose les prémices d'une étude des conditions nutritives disponibles pour les bivalves du bassin. La production primaire est mesurée par marquage au C₁₄. La concentration d'adénosine triphosphate (ATP), indicatrice de la matière vivante se révèle très forte dans le bassin. La mesure de la microflore totale indique alors un milieu riche, propice à l'élevage des bivalves (Héral et Prou, 1980). Dans le cadre d'un contrat C.E.E. de 1988 à 1992, le Laboratoire National Ecosystèmes Conchylicoles (L.E.C.) se donne pour objectif d'analyser les phénomènes hydrobiologiques *in situ* en continu sur une station du bassin pendant des cycles vives-eaux et mortes-eaux. Héral et al., (1989) en étudiant les cycles de marée montrent que les variations intra-journalières peuvent être importantes et Prou et al. (1994) caractérisent ainsi l'effet du courant sur la remise en suspension du sédiment et du phytobenthos. Ils décrivent le bassin conchylicole comme étant un écosystème à faible productivité en raison de la forte turbidité de la colonne d'eau qui limite la pénétration de la lumière et donc la photosynthèse. La capacité trophique est liée au renouvellement fréquent des masses d'eau. Le potentiel trophique du bassin est directement influencé par les apports terrigènes en provenance de La Charente (Ravail-Legend, 1993). Les apports de nitrates, de silice et de phosphates enrichissent les eaux océaniques (Ravail et al., 1987). La diminution des débits en période d'étiage associée à de moindres apports en nitrates affaiblit la production primaire du bassin de Marennes-Oléron de la zone conchylicole (Raillard et Menesguen, 1991).

1.2. Etude Hydrologique du Bassin de Marennes-Oléron

Parallèlement à l'ensemble de ces études s'est instauré en 1974 le Réseau National d'Observation (R.N.O.). Il couvre le littoral français et comporte deux volets, l'un sur la qualité de l'eau, l'autre sur la contamination chimique des organismes marins. Le suivi hydrologique du Bassin de Marennes-Oléron est donc né à cette période. Il porte sur huit stations réparties sur le bassin. En 1983, la surveillance de l'hydrologie des eaux marines est modifiée et ne concerne plus que certains sites du littoral. Elle est confiée aux CQEL (Cellule qualité des eaux littorales de la D.D.E.). Dans l'intérêt des programmes développés sur le bassin de Marennes-Oléron, le laboratoire de Ressources Aquacoles de La Tremblade poursuit ce suivi chronologique uniquement sur cinq stations. Une base de données nommée « RAZLEC » est développée afin d'établir des séries temporelles et d'évaluer les évolutions à long et moyen terme des caractéristiques hydrologiques du bassin de Marennes-Oléron. Le présent rapport aborde le traitement de ces données qui couvre une période de dix neuf années de 1977 à 1995. Il concerne les cinq stations retenues en 1983 qui sont représentatives des caractéristiques hydrauliques du bassin. L'analyse des variations saisonnières des descripteurs physiques, chimiques et biotiques est étudiée ; l'évolution temporelle en association avec les conditions météorologiques et les apports d'eau douce par la Charente est examinée. A ce jour, seules deux études ont été consacrées à l'hydrologie de l'ensemble du bassin : l'une réalisée en mai, juin, juillet, octobre 1976 et février 1977 porte sur les caractéristiques saisonnières du bassin conchylicole (Héral et al., 1983), la seconde est une analyse descriptive des résultats du R.N.O. de 1977 à 1981 (Héral et al., 1984). Aucune étude quantitative n'a été réalisée sur ces séries temporelles. Par ailleurs, les modèles biologiques sont seulement validés sur une ou deux années.

L'évolution des capacités de traitement et la série temporelle (1977-1995) obtenue va permettre de confronter les résultats. L'étude des tendances des différents descripteurs est originale pour l'écosystème de Marennes-Oléron et représente un élément supplémentaire à sa compréhension.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1. Stratégie d'échantillonnage

La stratégie a été définie dès la création du réseau hydrologique en 1977 et n'a pas été modifiée jusqu'à nos jours. Elle consiste en des prélèvements bimensuels, l'un en vives-eaux (coefficient >70), l'autre en mortes-eaux (coefficient <70). Chaque point est échantillonné en subsurface et à 50 cm du fond. Il n'est pas tenu compte de l'heure de marée car pour couvrir l'ensemble des stations, 3 heures environ sont nécessaires. Cinq stations ont été retenues pour représenter le bassin conchylicole (tableau 1, fig. 1).

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des stations et profondeur à la cote 0.

Station	Latitude	Longitude	Profondeur (m)
A	N 45°47'7"	W 1°13'2"	6
B	N 45°47'7"	W 1°18'7"	7
C	N 45°51'2"	W 1°11'6"	5
D	N 45°58'2"	W 1°6'0"	3
E	N 45°59'9"	W 1°12'9"	16



Figure 1 : Situation géographique des stations de prélèvements dans le bassin de Marennes-Oléron : Auger Est ; A, Barrat ; B, Le Chapus ; C, Les Fontenelles ; D, Boyard ; E.

- Station A : AUGER

Proche du pertuis de Maumusson, elle reflète les entrées et sorties d'eau du sud du bassin.

- Station B : MUS DE LOUP

Située à l'embouchure de la Seudre, elle est le point de contrôle aval du bras de mer constitué par le lit de la rivière où l'effet de la marée se fait sentir à 20 km en amont.

- Station C : LE CHAPUS

Point central du bassin de Marennes-Oléron, cette station se trouve dans la zone où le LCHF (Laboratoire Central Hydraulique de France) (1973) la décrit comme étant la zone de "WANTJ" c'est-à-dire où le balancement des marées se produit.

- Station D : LES FONTENELLES

Située dans l'estuaire de la Charente, elle témoigne de l'importance des flux trophiques et de sels nutritifs dont le fleuve est le vecteur.

- Station E : LA PERROTINE-BOYARD

En raison de la circulation nord-sud des eaux, cette station est exposée aux eaux océaniques. Néanmoins, les eaux de la Charente influencent les eaux superficielles en période de crue.

Les prélèvements sont réalisés en bateau à l'aide d'une bouteille à clapet de prélèvement hydrobiologique. Maintenus au frais et à l'obscurité, les échantillons sont traités dès l'arrivée au laboratoire.

Les caractéristiques de l'eau sont évaluées au travers de descripteurs physiques (température, salinité, oxygène dissous et sestons), de descripteurs chimiques (azote ammoniacal, nitrites, nitrates, phosphates et silicates) et de descripteurs biologiques (chlorophylle *a* et phéopigments).

2.2. Les techniques analytiques

La température est mesurée sur le terrain à l'aide d'une sonde au dixième de degrés.

La salinité et l'oxygène dissous sont dosés par mémotitrateur (Mettler DL25) selon respectivement par les méthodes chimiques de Jacobsen et Knudsen (1940) et de Carpenter (1965).

Les sestons sont évalués par la méthode de Banse et al. (1963). Ils sont exprimés en mg/l et correspondent au poids total des particules contenues dans un litre d'eau de mer préfiltrée à 250 µm et retenues ensuite sur un filtre Whatman GFC d'une porosité de 1,2 µm. La pesée est opérée après rinçage à l'eau distillée et séchage à l'étuve à 60°C pendant 24 heures.

La chlorophylle *a* et les phéopigments sont dosés selon le protocole décrit par Neveux (1976). L'eau est filtrée sur filtre "Whatman GF/C", les pigments sont extraits dans l'acétone à 90 % et dosés par fluorimétrie par la méthode de Yentsch et Menzel (1963).

L'ammoniac est fixé *in situ* selon le protocole de Koroleff (1969) et dosé par méthode spectrophotométrique. Les nitrates, silicates, phosphates sont également évalués par spectrophotométrie sur une chaîne automatisée "SKALAR" selon les protocoles décrits par Treguer et Lecorre (1976) après filtration et congélation.

2.3. Traitement et analyses des données

2.3.1. Les séries chronologiques

Les données ont été recueillies durant dix neuf années de 1977 à 1995. La base de données « Razelec » représente plus de 4 000 prélèvements et près de 90 000 données. Des conditions météorologiques difficiles ont pu perturber l'échantillonnage réalisé en bateau affectant ainsi la série chronologique. D'autre part, sur certaines stations, des raisons accidentelles ont interrompu l'acquisition.

Or le traitement de ces données nécessite des séries continues de plusieurs années avec un pas de temps retenu de l'ordre du mois. Les paramètres physiques ont été régulièrement mesurés de 1977 à 1995. Les sels nutritifs n'ont pas été évalués en 1980 sur la station E, en 1984 sur les stations B et C. Quant aux paramètres trophiques, une série quasi continue a été obtenue de 1979 à 1995. A la station A, l'échantillonnage a été discontinu jusqu'en 1986 pour

l'ensemble des descripteurs. Les années faisant apparaître plus de 4 mois de données manquantes ont été écartées des séries (tableau 2).

Tableau 2 : Séries temporelles disponibles à chaque station et pour les différents descripteurs.

	Station A	Station B	Station C	Station D	Station E
Paramètres physiques					
Température	1986	1977	1977	1977	1977
Salinité	à	à	à	à	à
Oxygène dissous	1995	1995	1995	1995	1995
Seston					
Sels nutritifs		1977	1977		1977
NH ₄		à	à		à
NO ₂	1986	1983	1983	1977	1979
NO ₃	à	-	-	à	-
PO ₄	1995	1985	1985	1995	1981
SI(OH) ₄		à	à		à
		1995	1995		1995
Paramètres trophiques					
Chlorophylle α	1986	1979	1979	1979	1979
Phéopigments	à	à	à	à	à
	1995	1995	1995	1995	1995

2.3.2. Météorologie et mesures de débits de la Charente

L'étude des variations saisonnières et des tendances de chaque descripteur est associée à l'examen des caractéristiques météorologiques de la région et des débits de la Charente.

Les relevés météorologiques journaliers ont été fournis par Météo-France de la Rochelle (station du Bout Blanc). Les moyennes mensuelles de la température et de la pluviométrie ont été effectuées pour la période considérée.

Les débits de la Charente ont été calculés à partir des relevés faits sur le fleuve à Angoulême et à Jarnac et sur ses principaux affluents qui sont La Touvre, la Seugne et la Boutonne. Pour la période allant de 1978 à 1991, les données brutes communiquées par le S.R.A.E (Service Régionale de l'Aménagement de l'Eau) ont été recalées avec des informations recueillies auprès du CEMAGREF afin de tenir compte des apports de l'ensemble du bassin versant. De 1991 à nos jours, les mêmes opérations ont été effectuées à partir des données communiquées par la D.I.R.E.N (Direction Régionale de l'Environnement, Service de l'aménagement de l'eau). Les débits ainsi reconstitués représentent les débits du fleuve simulés à Rochefort-sur-Mer. Ils ont été moyennés mensuellement pour le traitement statistique ultérieur.

Il est très difficile d'appréhender réellement les débits car le barrage de Saint Savinien situé à 55 Km en amont de l'embouchure modifie l'écoulement de l'eau. Fermé en période de mortes-eaux, il est ouvert par des coefficients supérieurs à 70, l'effet de la marée se fait sentir jusqu'en amont de Saintes en raison de la faible pente de fleuve (0,04 ‰). En période estivale, sa fermeture permet de garder un niveau constant en amont du barrage et en période de crue (débits > 150 m³/s), il est constamment ouvert (Despreaux, 1990).

2.3.3. Nature des descripteurs

La normalité des variables étudiées a été testée au moyen du test spécifique du logiciel STATGRAPHICS®. Excepté pour la température, les variables n'ont pas une distribution normale.

Pour chaque station, les données sont disponibles pour la surface et le fond. Afin d'intégrer ce facteur comme un élément supplémentaire de la description géographique, le test statistique non paramétrique de Kruskal-Wallis a été appliqué sur l'ensemble des données à chaque descripteur (tableau 3).

Tableau 3 : Comparaison des descripteurs selon leur hauteur dans la colonne d'eau (surface et fond) pour chaque station, test de Kruskal-Wallis (seuil de 5%).

Descripteur	Station A	Station B	Station C	Station D	Station E
Température	0,8390	0,8968	0,8650	0,6145	0,5024
Salinité	0,6704	0,0306	0,604	0,0000	0,0080
Oxygène dissous	0,3073	0,1697	0,826	0,7991	0,0907
Seston	0,0138	0,0000	0,004	0,0000	0,0000
Azote ammoniacal	0,2956	0,0366	0,039	0,0450	0,0685
Nitrite	0,3320	0,0078	0,384	0,0000	0,0617
Nitrate	0,4593	0,2844	0,606	0,0000	0,0111
Silicate	0,7816	0,0018	0,222	0,0000	0,0317
Phosphate	0,9621	0,0322	0,426	0,017	0,0881
Chlorophylle a	0,0194	0,2690	0,9229	0,009	0,5195
Phéopigments	0,0221	0,0000	0,378	0,0000	0,0000

Le résultat de ce test a orienté la mise en forme des données et il a donc été retenu comme position géographique supplémentaire pour les stations dont le résultat du test est significatif (au seuil de 5 %). Puis, la moyenne mensuelle de chaque variable a été réalisée annuellement pour chaque station. Aux données faisant défaut a été affectée la moyenne mensuelle générale de la variable.

Le traitement statistique des séries décompose chaque descripteur comme étant le produit de la variation saisonnière, de la tendance et des résidus. Le test «Time-series analysis, Seasonal Decomposition» du logiciel Statgraphics Version 3 est utilisé pour le traitement.

$$\text{Descripteur} = \text{Indice Saisonnier} \times \text{Tendance} \times \text{Résidu}$$

La première étape de l'analyse des paramètres hydrologiques consiste à déterminer la variation saisonnière et d'en préciser l'intervalle. Le modèle de décomposition saisonnière de type Census II est alors appliqué aux différentes séries chronologiques (Shiskin, 1957, d'après

Bethoux et al., 1980). L'indice saisonnier est une moyenne de la variation saisonnière sur le nombre d'années de mesure du descripteur. Il n'a pas d'unité, il est distribué autour de 100.

$$\text{Variation Saisonnière} = (\text{Descripteur} / \text{Tendance}) \times 100$$

La tendance est calculée comme une moyenne mobile du descripteur sur une période de douze mois, et constitue ainsi une représentation du descripteur dépourvu de l'effet de la saison. La tendance est exprimée dans la même unité que le descripteur.

Le résidu constitue le troisième terme de l'équation, déduit du modèle. L'ajustement du modèle est vérifié si le périodogramme (tendance x résidu) ne présente pas de pic à la période de douze mois. La cohérence (crosscorrélation) doit être faible au pas de temps 12 entre le descripteur et le modèle (tendance x résidu).

L'analyse des résidus n'est pas abordée ici; ils caractérisent les événements rares et leur interprétation nécessitent une attention particulière.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. les variations saisonnières

L'analyse des variations saisonnières réalisée sur dix neuf années de mesure permet d'avoir une approche synthétique des caractéristiques du bassin conchylicole. Bien que ces descriptions mettent en avant des phénomènes souvent connus, elles permettent une vision schématique.

3.1.1. Température

La température de l'eau est sous l'influence directe de la température de l'air bien que celle-ci montre une amplitude légèrement plus forte (fig. 2). Les indices saisonniers présentent une forte variabilité avec des maxima enregistrés en juillet et en août (indices voisins de 145) et des minima en janvier et février (indices proches de 50). Chaque station connaît un rythme d'évolution similaire. Les stations estuariennes soumises aux apports continentaux ne montrent pas de variations plus importantes que les stations océaniques.

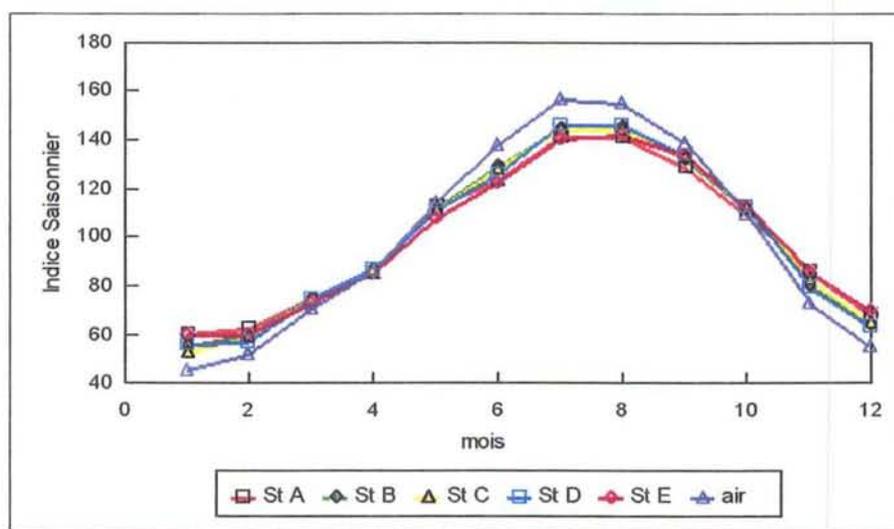


Figure 2 : Variation de l'indice saisonnier de la température de l'eau et de l'air au niveau des cinq stations du bassin de Marennes-Oléron.

3.1.2. Salinité

L'amplitude des variations saisonnières de la salinité est peu marquée (90-110, fig. 3). Elle est plus prononcée (80-120) pour les eaux de surface du point D situé à l'embouchure de la Charente et directement soumis aux apports d'eau douce. Les fluctuations de la salinité pourraient être liées à la pluviométrie et par conséquent être sous l'influence des débits du fleuve (fig. 4).

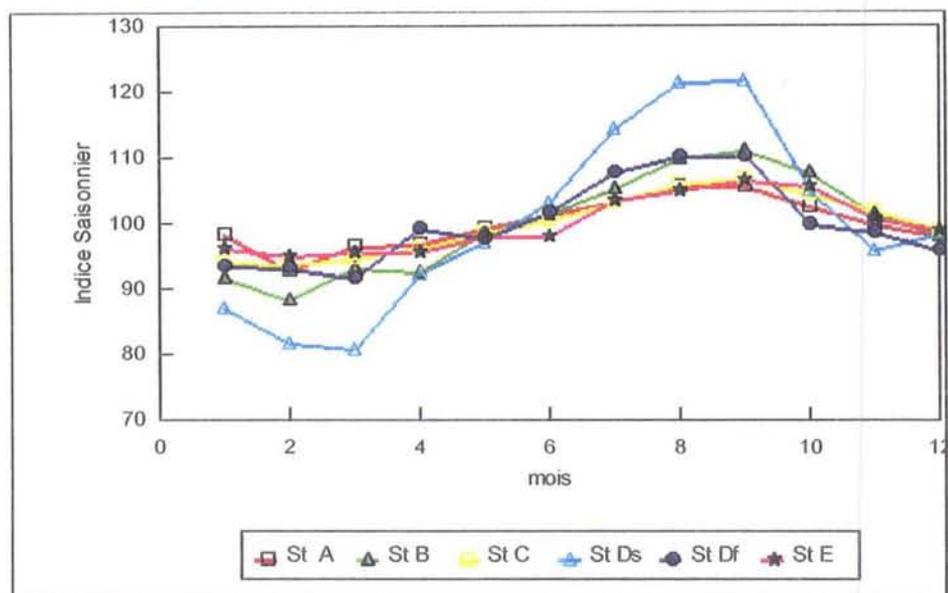


Figure 3 : Variation de l'indice saisonnier de la salinité au niveau des cinq stations du bassin de Marennes-Oléron.

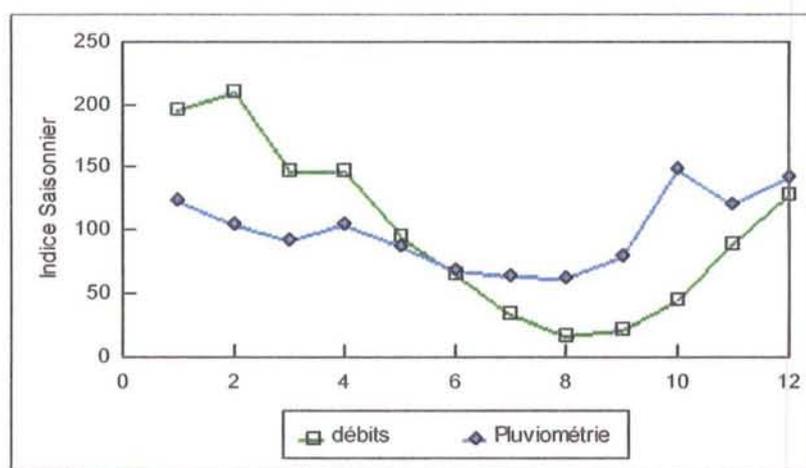


Figure 4 : Variation de l'indice saisonnier de la pluviométrie (station de La Rochelle) et des débits de la Charente (à Rochefort).

Or, ces deux facteurs ne semblent pas être fortement corrélés. En effet, les indices de la pluviométrie varient entre 62 et 124, alors que ceux des débits de la Charente fluctuent fortement de 17 à plus de 200. Deux explications peuvent être avancées. La première concerne les données pluviométriques qui ne reflètent pas parfaitement le bassin hydrographique de la Charente puisqu'elles sont mesurées à la Rochelle. D'autre part, il existe un temps de réponse entre le moment où se produisent les précipitations et la réponse des différents cours d'eau qui constituent le réseau hydrographique du fleuve. A cela s'ajoutent les importants prélèvements d'eau pour l'irrigation qui ont lieu de juin à septembre sur la Charente et les nappes phréatiques alimentées par le fleuve. En effet, les cultures irriguées ont connu une forte progression des années 70 jusqu'à la fin des années 80. L'irrigation représente 86 % des consommations en eaux en période d'étiage (Agence de l'eau Adour-Garonne, 1990). La Charente est donc profondément affectée par ces prélèvements. Malgré la reprise des pluies d'automne, le fleuve dont le bassin versant couvre une superficie de 10 000 km² (Torre et al., 1992), nécessite plusieurs mois avant de retrouver son régime. Ainsi, le faible débit d'étiage de l'ordre de 15 m³/s (Ravail et al., 1987) explique l'augmentation de salinité lors des mois d'été, phénomène qui est de fait plus marqué à la station D en surface. Néanmoins, d'une manière générale les amplitudes restent faibles.

3.1.3. Oxygène dissous

L'activité biologique conditionne la concentration en oxygène dissous dans l'eau. Le pourcentage de saturation a été pris en compte car il est le reflet des processus biologiques (Aminot et al., 1997).

L'oxygène est également un descripteur qui ne montre pas de fortes variations saisonnières : 100 ± 5 (fig. 5). Les indices les plus élevés se rencontrent d'avril à juin et les plus bas durant les mois d'automne. La station D se caractérise à nouveau par des amplitudes légèrement supérieures. Les faibles variations de l'oxygène dissous semblent corrélées à la production de phytoplancton qui, aux mois de mai et juin, induit une plus forte production d'oxygène. Néanmoins, le bassin ostréicole ne connaît pas de déséquilibre majeur, l'activité biologique et les processus de dégradation paraissent être bien équilibrés.

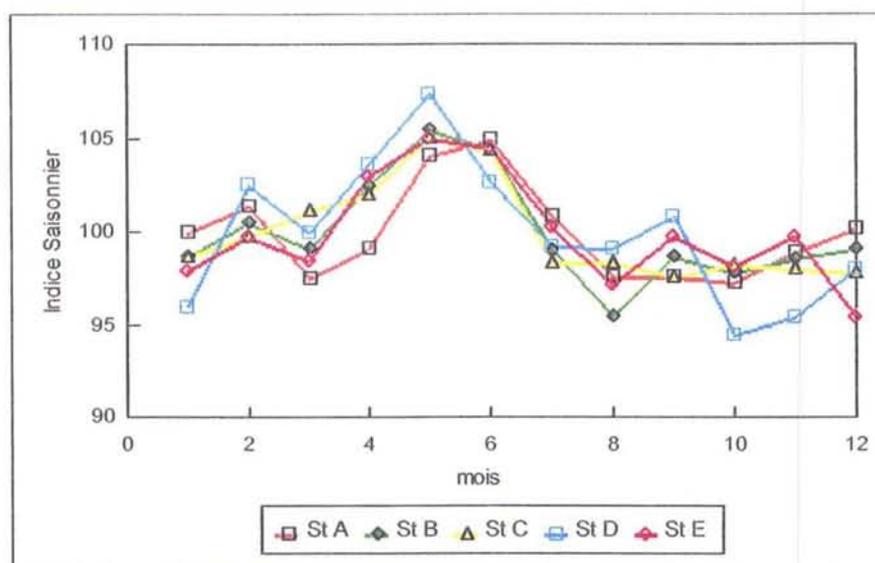


Figure 5 : Variation de l'indice saisonnier de l'oxygène dissous au niveau des cinq stations du bassin de Marennes-Oléron.

3.1.4. *Matières en suspension*

Les matières en suspension présentent une variabilité saisonnière très marquée (fig. 6). Des indices proches de 50 sont rencontrés de mai à septembre pour atteindre près de 200 lors des mois de mars et novembre. Dans le bassin de Marennes-Oléron, les matières en suspension sont affectées par plusieurs facteurs : les apports par les fleuves en période de forts débits qui entraînent un déplacement du bouchon vaseux, (Héral et al., 1983) ; les vents, les marées, les courants, la houle, les ruissellements sur les estrans sont autant de facteurs qui jouent de manière complexe sur la remise en suspension des sédiments (Tesson, 1973 ; Prou, 1991). Ces phénomènes étant plus prononcés en automne et en hiver, il en résulte un cycle saisonnier très accentué qui se manifeste de façon semblable sur l'ensemble des stations.

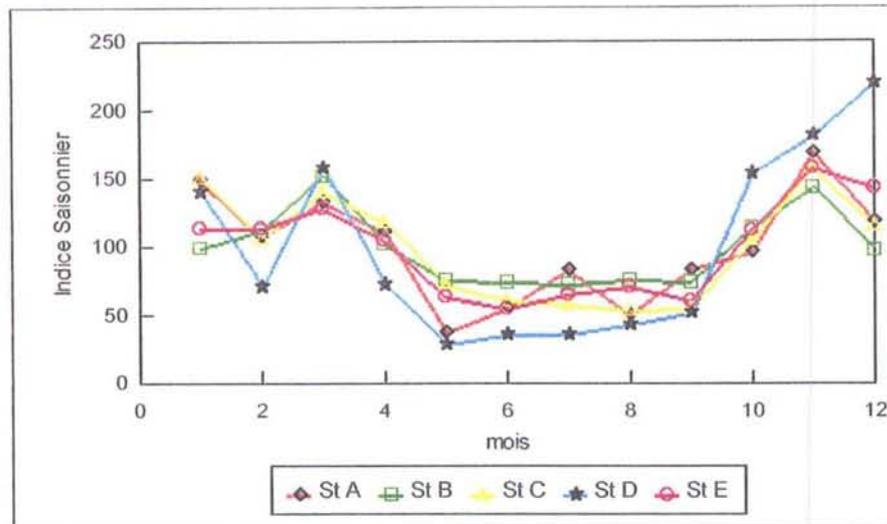


Figure 6 : Variation de l'indice saisonnier des sestons au niveau des cinq stations du bassin de Marennes-Oléron.

3.1.5. Azote ammoniacal

Les indices de l'azote ammoniacal s'élèvent du mois de juin (86 à 110 selon les stations) au mois de novembre (135 à 152; fig. 7). La station D en surface montre une amplitude moins prononcée. Les indices sont regroupés pour l'ensemble des stations en mai, juin et décembre. Durant les autres mois de l'année, les stations ont des indices saisonniers nettement plus dispersés. L'azote ammoniacal est de tous les descripteurs celui dont l'hétérogénéité de réponse entre stations est la plus grande. L'assimilation préférentielle de l'ammonium par le phytoplancton lors des blooms printaniers n'apparaît pas ici de manière évidente dans ce modèle. En Charente, l'amplitude est moins prononcée soit en raison des apports constants du fleuve de cette forme azotée, soit du fait de la minéralisation qui se produit sous de bonnes conditions durant l'été. Cette dernière hypothèse a été avancée par Héral et al., (1983). Ces auteurs remarquent également dans la même étude, consacrée aux caractéristiques saisonnières du bassin conchylicole, que les teneurs en Seudre, notamment en été, sont nettement plus élevées que celles rencontrées en Charente. En effet, la station B a l'amplitude la plus prononcée de toutes les stations (indices compris entre 61 et 152). Il semble que la Seudre reçoive en été d'importants apports de matières organiques dont l'origine reste inconnue. Les conditions d'oxygénation n'étant pas toujours satisfaisantes dans la partie amont de la rivière,

l'oxydation de l'azote ammoniacal ne s'opérerait pas de manière satisfaisante. L'augmentation des flux de matières organiques reste cependant à confirmer.

D'autre part, plusieurs auteurs (Héral et al., 1981 ; Robert, 1983) avancent l'hypothèse d'une production endogène du bassin de Marennes-Oléron tant par minéralisation que par l'excrétion azotée des huîtres. Celle-ci expliquerait la réponse hétérogène de chaque station vis-à-vis de ce descripteur. La biomasse en huîtres étant inégalement répartie dans le bassin, l'excrétion des bivalves en élevage, notamment pendant les périodes de forte activité, aurait un impact variable selon la localisation.

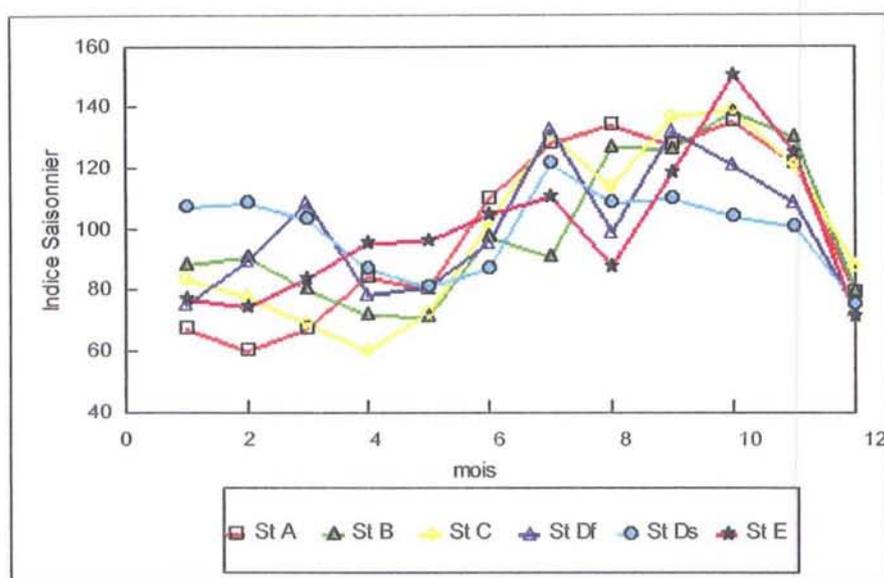


Figure 7 : Variation de l'indice saisonnier de l'azote ammoniacal au niveau des cinq stations du bassin de Marennes-Oléron.

3.1.6. Nitrite

Les nitrites, forme intermédiaire entre azote ammoniacal et azote nitrique, connaissent une évolution saisonnière différente de celle de l'ammoniac. Les indices, voisins de 100, diminuent progressivement du mois de janvier au mois d'août pour parvenir à des valeurs proches de 50 (fig. 8). Ils montent fortement sur les trois derniers mois de l'année pour atteindre 200 voir dépasser 250 en décembre dans le cas de la station A. La diminution est donc brutale entre décembre et janvier. Héral et al. (1983) précise qu'en automne et en hiver les apports de matières détritiques sont importants et leur minéralisation lente. Cela n'explique

pas la chute de décembre à janvier et pourquoi ce sont les stations océaniques qui connaissent les plus fortes poussées.

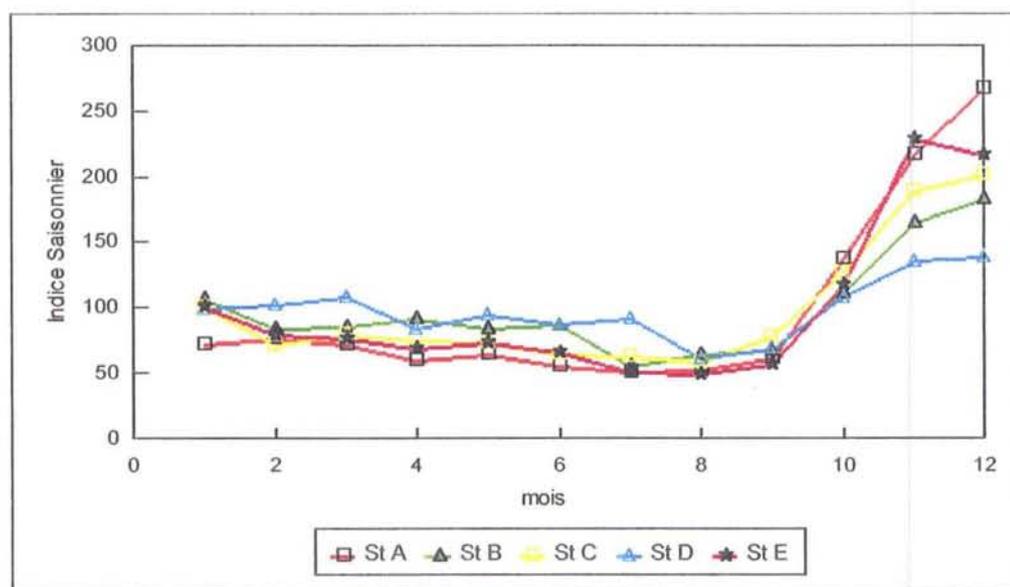


Figure 8 : Variation de l'indice saisonnier du nitrite au niveau des cinq stations du bassin de Marennes-Oléron.

3.1.7. Nitrate

Les variations saisonnières, semblables sur les cinq stations, décrivent une courbe sinusoïdale à très forte amplitude (de 20 à 200), les maxima sont donc observés en hiver et les minima de juillet à septembre (fig. 9). L'accroissement des indices coïncident avec les fortes précipitations automnales mais surtout avec l'augmentation des débits de la Charente. Aux autres périodes, la présence du nitrate n'est pas parfaitement corrélée à la pluviométrie alors qu'elle demeure parfaitement confondue aux débits du fleuve. Lors des mois de février et de mars, le nitrate abonde alors que les précipitations ont faibli. Cependant, le fleuve connaît son plus haut régime. La Charente transporte les nitrates, produits du lessivage des terres agricoles dépourvues de végétation en automne et en hiver. L'utilisation de cette forme azotée pour la production de phytoplancton se manifeste au printemps avec l'apparition des premiers blooms. De plus, Feuillet-Girard et al. (1996) notent que la disparition des nitrates s'opère par absorption par le sédiment sur les vasières de l'estran de Marennes-Oléron en fin d'hiver.

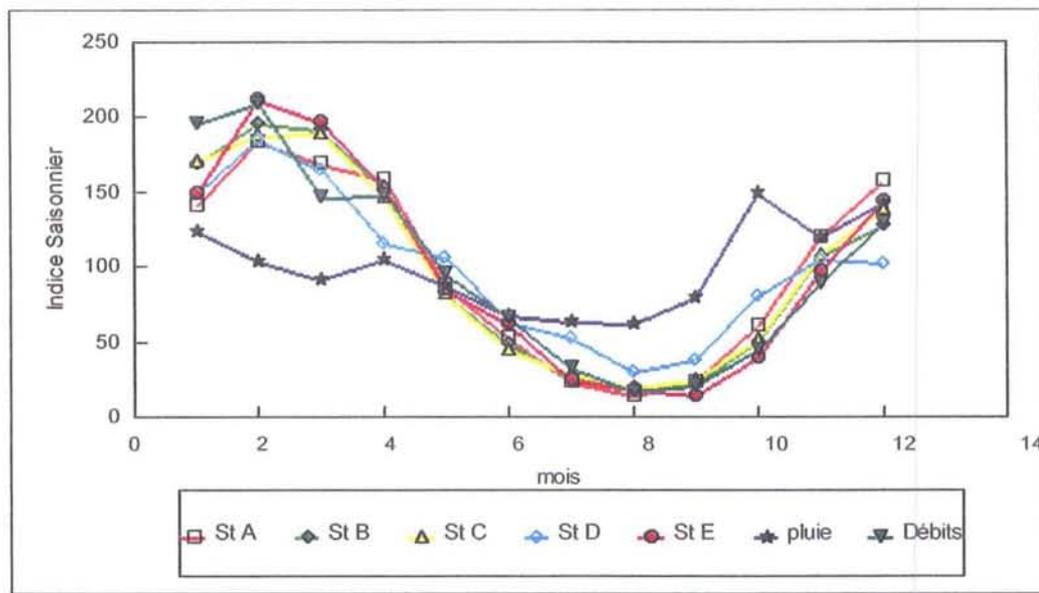


Figure 9 : Variation de l'indice saisonnier du nitrate au niveau des cinq stations du bassin de Marennes-Oléron, de la pluviométrie et des débits de la Charente.

3.1.8. Phosphate et silicate

Les indices saisonniers du phosphate et du silicate présentent des cycles similaires à celui du nitrate (figs. 10 et 11). L'amplitude est nettement moins accentuée et un peu décalée dans l'année, les indices les plus bas étant enregistrés plus tôt d'avril à juillet. On notera le comportement distinct des stations océaniques A et E vis à vis des phosphates dont l'amplitude est plus lissée notamment en mai et juin.

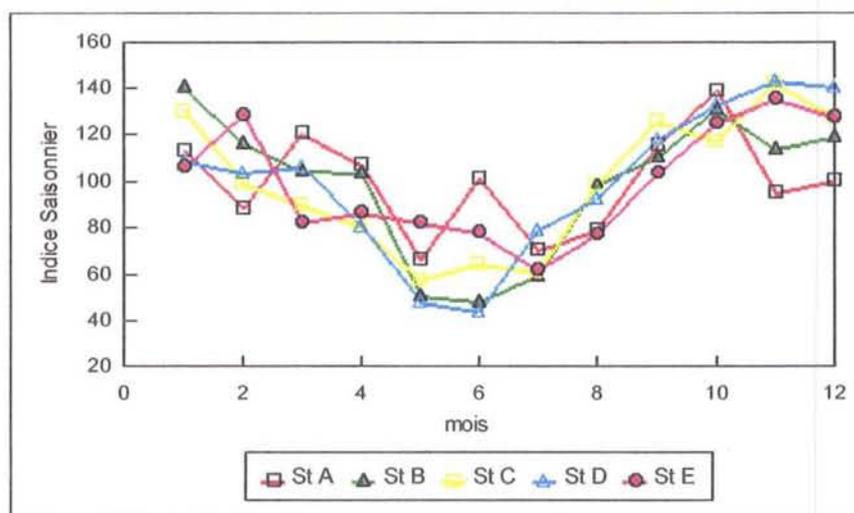


Figure 10 : Variation de l'indice saisonnier du phosphate au niveau des cinq stations du bassin de Marennes-Oléron et des débits de la Charente.

Les eaux côtières sont généralement peu chargées en phosphore minéral dissous, de 0 à 1 $\mu\text{mol/l}$ (Aminot, 1983). Les apports sont essentiellement d'origine agricole, urbaine ou industrielle. Les phosphates dissous ont la faculté de s'absorber sur les particules en suspension (Feuillet et Gouleau., 1977). Le sédiment joue un rôle de réservoir et de régulateur des teneurs dans les eaux (Pommeroy et al., 1965). L'action des bivalves en élevage à forte densité n'est pas négligeable dans le cycle du phosphore. Par l'ingestion de particules en suspension, les animaux retiennent une partie du phosphore disponible. Les biodépôts enrichissent les sédiments, notamment en période de forte charge sestonique en février et mars et en octobre (Sornin et al., 1986). Les variations saisonnières de ce descripteur sont donc sous l'influence des apports plus importants en période de forte pluviométrie (automne) et de l'utilisation du phosphore en mai, juin et juillet pour la production de phytoplancton. La libération par les sédiments pour réguler les teneurs, interviendrait dès le mois d'août avant que les apports terrigènes prennent le relais. La régénération du phosphate d'ailleurs antérieure à celle des nitrates, a également été observée par Aminot et al. (1997) dans la Baie de Seine en fin d'été.

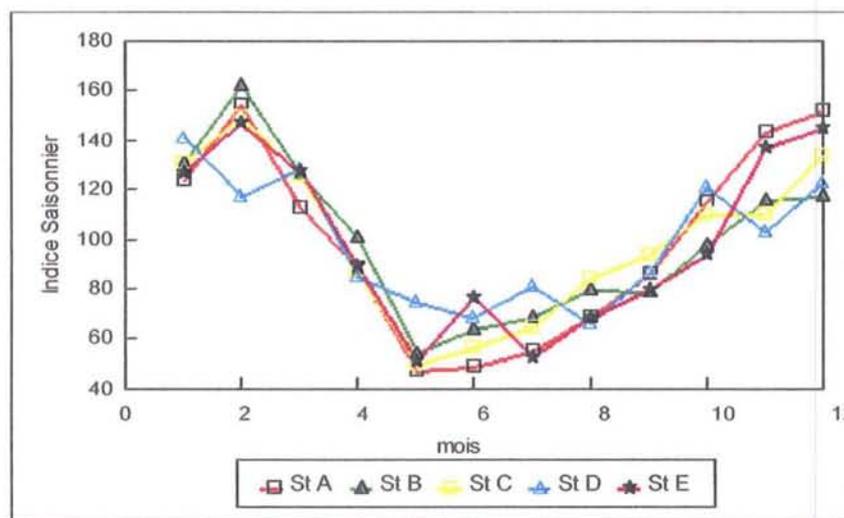


Figure 11 : Variation de l'indice saisonnier du silicate au niveau des cinq stations du bassin de Marennes-Oléron.

Les silicates dissous sont en zone côtière véhiculés par les fleuves et proviennent de l'érosion des sédiments. Ils sont utilisés par certaines espèces de phytoplancton, pour la constitution de leur test (e.g., diatomées, radiolaires : Aminot, 1983). En 1983, Héral décrit un

cycle saisonnier marqué des silicates dans le bassin de Marennes Oléron avec une forte diminution des teneurs qui coïncide avec la production de phytoplancton de mai à juillet. Cette caractéristique se retrouve dans notre modèle. On notera cependant que les ressources se reconstituent progressivement après cette période, en fonction de la pluviométrie et des débits de la Charente. La reconstitution intervient également avant celle du nitrate. Ragueneau (1994) note ce phénomène en Rade de Brest par régénération du silicium.

3.1.9. Chlorophylle a et phéopigments

Les variations saisonnières de la chlorophylle *a* sont très marquées. Les indices augmentent légèrement en mars, avril ; connaissent une forte poussée en mai (indice voisin de 250) puis diminuent progressivement jusqu'en décembre (fig. 12). Ce phénomène s'observe sur chacune des stations mais de manière plus atténuée à la station D notamment en surface. Il est également à noter un léger décrochage en juin de la station A et un maximum en juin et non en mai pour la station centrale C. Dans leur modèle de production primaire, Raillard et Menesguen (1991) reproduisent un cycle saisonnier à la station C (Chapus). La simulation s'apparente à nos résultats mais les blooms sont prédits, sur cette station (C), au mois de mai et non au mois de juin comme le montre nos résultats.

La production de la chlorophylle *a* est assujettie à l'ensoleillement et au rayonnement. Leur intensité maximum étant au solstice d'été, le cycle saisonnier de la chlorophylle *a* n'est pas en concordance avec ces deux paramètres. De plus, leur efficacité devrait être accrue par la diminution significative des matières en suspension à cette période de l'année. Ils ne semblent donc pas être le facteur limitant au développement du phytoplancton. Un ou plusieurs composés deviennent-ils limitants ? S'agit-il tout simplement de la consommation du phytoplancton par le broutage effectué par le zooplancton et/ou surtout des bivalves qui connaissent à cette période de l'année une activité intense (période de reproduction). Rappelons que les concentrations en nitrate, phosphate et silicate s'appauvrissent dans le bassin tandis que les concentrations en azote ammoniacale augmentent. Cette forme azotée étant préférentiellement utilisée par le phytoplancton et les concentrations en silicate étant rarement très faibles, l'hypothèse que le phosphore est limitant peut-être avancée.

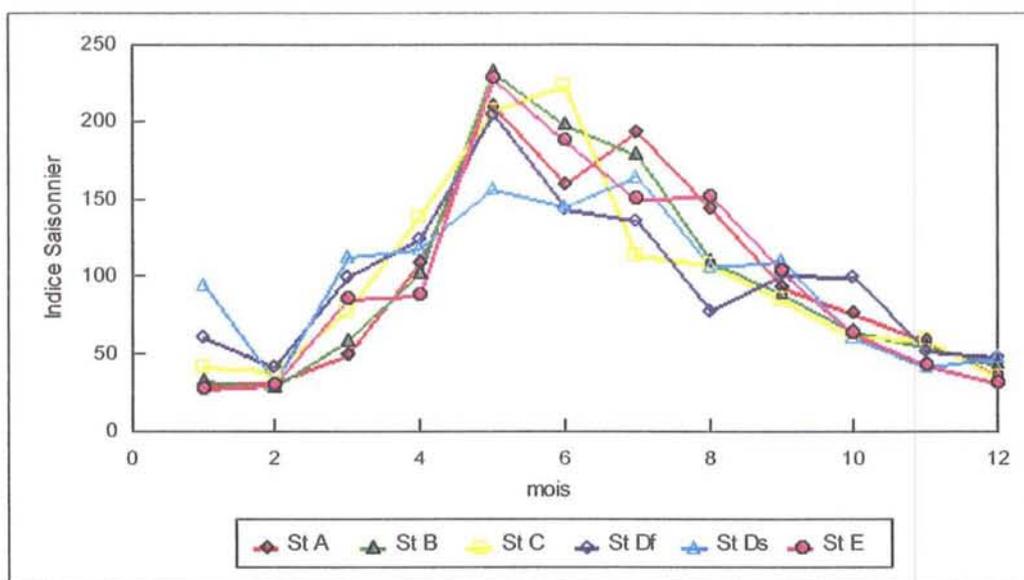


Figure 12 : Variation de l'indice saisonnier de la chlorophylle *a* au niveau des cinq stations du bassin de Marennes-Oléron.

Les phéopigments ne décrivent pas de variations saisonnières et fluctuent considérablement d'un mois à l'autre (fig. 13). Produit de la dégradation de la chlorophylle, les phéopigments ne sont pas corrélés à l'apparition de celle-ci. L'absence de cycle saisonnier traduit la présence de matériel phytoplanctonique dégradé tout au long de l'année. D'autre part, lors de la digestion des chlorophylles *a*, les mollusques contribuent à enrichir les eaux en phéopigments (Ravail-Legend, 1993).

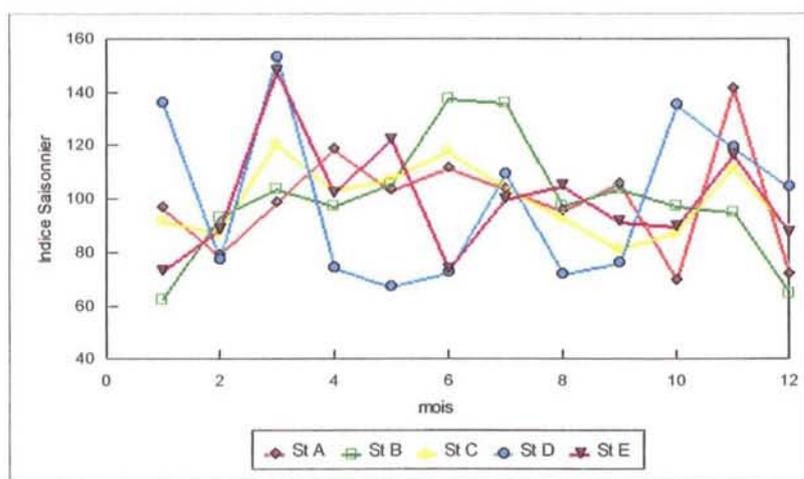


Figure 13 : Variation de l'indice saisonnier des phéopigments au niveau des cinq stations du bassin de Marennes-Oléron.

3.2. Evolutions temporelles et spatiales

Cette approche possible par l'évolution des outils statistiques permet de s'affranchir des variations saisonnières et des événements extrêmes (résidus). Outre l'appréciation des tendances, la distribution spatiale des descripteurs est envisagée.

3.2.1. Température de l'eau et de l'air

De l'analyse des tendances des températures de l'air se dégagent deux périodes distinctes (fig. 14). Lors de la première, de 1977 à la fin de l'année 1986, les températures varient principalement entre 12 et 13°C. La seconde période de 1987 à 1995 montre un réchauffement significatif de l'air. Les températures oscillent entre 12,5 et 14,5°C. L'augmentation est quasi constante lors des 4 dernières années. Les années les plus chaudes sont 1987, 1989 et 1995, les plus froides 1985 et 1986.

L'incidence des températures de l'air sur celles de l'eau est évidente. D'une manière générale, la courbe des tendances se découpe en deux parties : la première relativement perturbée de 1977 jusqu'au premier semestre 1987 où la température voisine 13,5°C et la seconde du deuxième trimestre 1987 à 1995 qui semble plus homogène et plus chaude.

L'eau du bassin présente un réchauffement de l'ordre de 1°C (13,5 à 14,5°C) entre 1977 et 1995. Les températures ont évolué par palliers successifs bornés par les années chaudes.

Durant la seconde décennie, l'évolution spatiale s'organise de manière précise selon un gradient nord-sud. Les stations D et E sont les plus froides, la station C se trouve à un niveau intermédiaire, les deux stations sud A et B sont les plus chaudes (en moyenne + 0,6°C). La station E plus profonde (16 m), reçoit directement les eaux océaniques dont l'inertie thermique est grande. Elle subit d'ailleurs un fort rafraîchissement en 1983 plus marquée que les autres stations. Les eaux des rivières sont plus sensibles aux variations des températures de l'air (station D). Cependant cela ne suffit pas à expliquer la différence entre les stations du nord et du sud du bassin qui géographiquement ne sont éloignées que de 20 km. L'hypothèse d'une modification des déplacements, et par conséquent, de l'homogénéisation des masses d'eau dans le bassin peut être avancée.

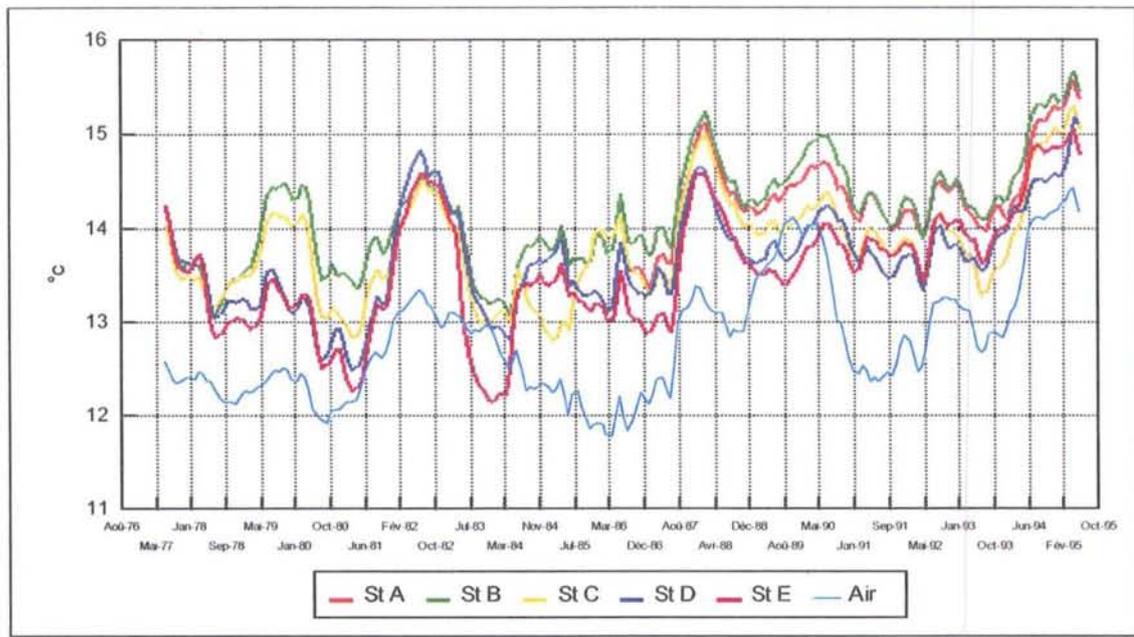


Figure 14 : Evolution temporelle et spatiale des températures de l'air et de l'eau au niveau des stations A, B, C, D et E de 1977 à 1995.

3.2.2. Pluviométrie et débit de la Charente

Lors de la première décennie, la pluviométrie se caractérise par une forte variabilité comprise entre 50 et 80 mm. A celle-ci se succèdent : une diminution des précipitations de 1986 à mi-1987, puis une période à forte pluviométrie (fin 1987 à mars 1988), le retour d'une période de sécheresse de fin 1988 à fin 1990 (autour de 40 mm) suivi d'une remontée progressive à des valeurs voisines de 60 mm jusqu'à mi-1993. Enfin, elles reprennent des valeurs normales comprises entre 60 et 80 mm (fig. 15).

L'évolution des débits de la Charente suit globalement celle de la pluviométrie. Le léger décalage dans le temps observé peut-être attribué au fait que la pluviométrie n'est pas enregistrée sur le bassin hydrologique. Néanmoins, elle reste représentative. Durant la première décennie, les débits sont compris entre 70 et 150 m³/s. Ils sont faibles (60 à 83 m³/s) pendant une période de sécheresse qui couvre la fin de l'année 1986 jusqu'à août 1987. Ensuite intervient une phase pluvieuse avec des débits atteignant 170 m³/s. A cette période de courte durée (un an) succède une sécheresse qui s'étend d'août 1988 à juin 1993, les débits seront inférieurs à 80 m³/s. Ils ne semblent pas bénéficier de la légère augmentation des précipitations qui se produit en 1991. Pluviométrie et débits ne redeviennent concomitants qu'à partir de juillet 1993 (débits > 100 m³/s). L'inadéquation entre ces deux variables de 1990 à 1992

montre que le fleuve est profondément affecté par les périodes sèches. Les ressources en eaux sont longues à se reconstituer d'autant que, malgré les sécheresses, les prélèvements par l'irrigation sont croissants.

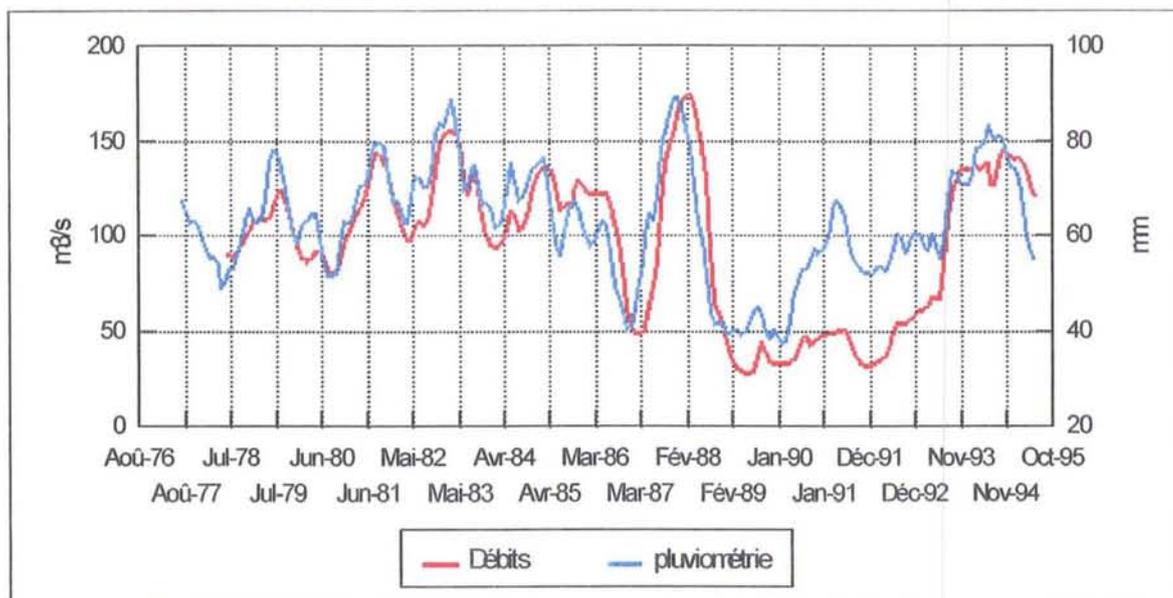


Figure 15 : Evolution temporelle de la pluviométrie et des débits de la Charente de 1977 à 1995.

3.2.3. Salinité

Le régime des précipitations et les apports d'eaux douces doivent logiquement avoir un impact sur les salinités du bassin ostréicole. De fait, un gradient s'observe également pour ce descripteur mais dans l'axe est-ouest, les fleuves débouchant sur la côte est (fig. 16). La station D de plus faible salinité située dans l'embouchure de la Charente est fortement influencée par ce fleuve ; elle se détache nettement des autres stations. Se distingue également la station B alimentée par l'eau de la Seudre. Ensuite, la gradation s'opère de la station C vers les stations A et E soumises aux apports océaniques. Pour celles-ci, aucune tendance ne se dégage (variation comprise entre 30 et 33‰). Les périodes de fortes dessalures des eaux ne s'observent que nettement sur les eaux de surface des stations D et à une moindre mesure la station B. Celles-ci se dessinent nettement à la station D où en moyenne la salinité est de 22‰ de 1981 à 1985 puis de 1987 à 1988 et dernièrement en 1994 et 1995. Les salinités en Seudre

ne descendent pas en moyenne en dessous de 29‰. Ces périodes de déssalure coïncident parfaitement avec les importants débits du fleuve.

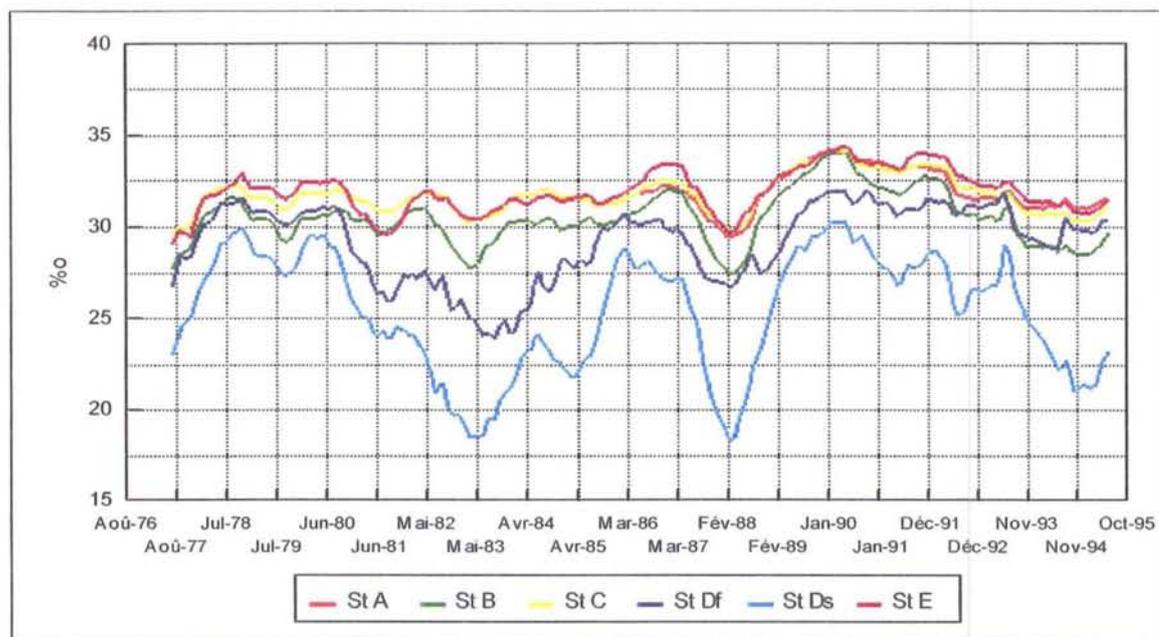


Figure 16 : Evolution temporelle et spatiale de la salinité au niveau des stations A, B, C, E et de la station D en surface(s) et en fond (d) de 1977 à 1995.

3.2.4. Matières en suspension

La station D se caractérise également par d'importantes variations de ses teneurs en matières en suspension, les eaux de surface varient de 66 à 620 mg/l et les eaux de fond de 130 à 2300 mg/l (fig. 17bis). Le fleuve transporte des matières en suspension mais leur arrivée dans l'estuaire et le bassin est conditionnée par la gestion du barrage de Saint-Savinien situé sur La Charente (Héral, 1983). La retenue d'eau parfois favorise la décantation, parfois libère en masse du matériel particulaire (Ravail-Legrand, 1993). La relation entre les débits et les teneurs en seston n'est donc pas évidente à établir dans ce cas particulier. D'autre part, cette station estuarienne est peu profonde, 3 mètres seulement. Elle est donc plus fortement exposée aux facteurs physiques que sont la houle, le clapot, les mouvements de marées et aux vents. Les effets de ceux-ci ont été démontrés dans la remise en suspension des sédiments (Tesson, 1973 ; Prou, 1991). Il est plus aisé de dégager des tendances sur les autres stations du bassin (fig. 17). Deux périodes se dessinent comme dans le cas des températures. Une période avant 1987 où l'on rencontre des teneurs en seston plus élevés et une plus grande disparité entre les

stations (de 21 à 130 mg/l) puis à partir de 1987 une période où apparaît une meilleure homogénéité entre les sites (de 13 à 86 mg/l) et une évolution en parallèle. La différence est marquée entre la surface et le fond pour les stations B et E qui sont les plus profondes, les matières en suspension ayant une teneur plus élevée au fond (en moyenne 25 mg/l). Les autres sites s'insèrent entre les extrêmes de ces deux stations, les écarts entre la surface et le fond étant moins importants.

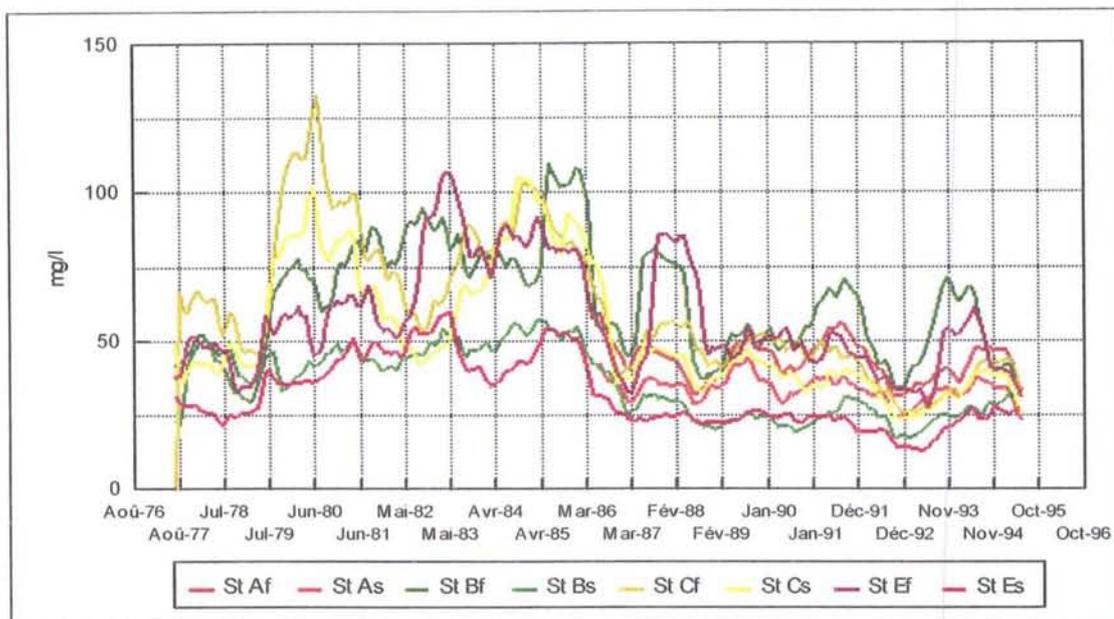


Figure 17 : Evolution temporelle et spatiale des matières en suspension en surface (s) et en fond (f) au niveau des stations A, B, C, E, de 1977 à 1995.

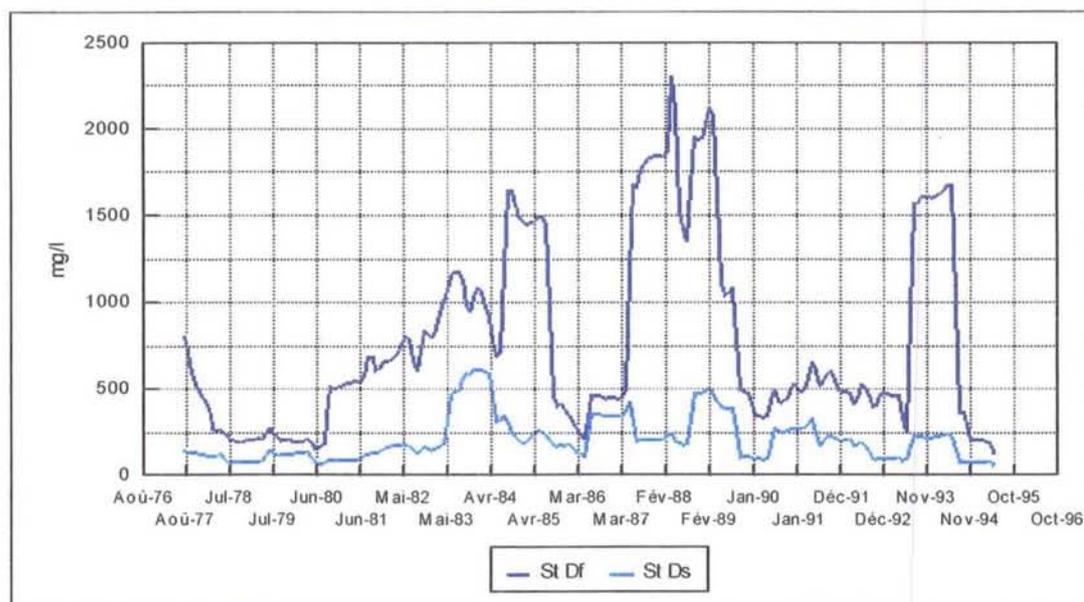


Figure 17 bis : Evolution temporelle et spatiale des matières en suspension en surface (s) et en fond (f) au niveau de la station D de 1977 à 1995.

3.2.5. Oxygène dissous

Les apports d'eaux douces conditionnent les salinités dans les estuaires mais également la solubilité de l'oxygène. Durant la période étudiée, les stations estuariennes (D et B) sont fréquemment moins oxygénées que les stations océaniques E et A (fig. 18). Ce phénomène est surtout marqué à partir de 1987 où le gradient est-ouest apparaît. D'une manière générale, il semble se dégager deux axes d'évolution. De 1977 à 1985, la pente est positive ; de 1987 à 1995, elle devient négative. Une désoxygénation des eaux est relevée en 1981 simultanément aux stations D et E (77 à 85 %). Ce phénomène se reproduit uniquement sur la station D successivement en 1983, 1988, début 1989, de 1993 et jusqu'au premier semestre 1994 mais sans descendre en dessous de 80 %. Toutefois, on ne se trouve pas dans des situations d'hypoxie. Il est difficile d'expliquer ces accidents. Les eaux de rivières sont chargées de déchets d'origine organique dont l'oxydation consomme de l'oxygène. Aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre les crues de la Charente et ces chutes d'oxygène dissous.

En milieu marin, l'action du vent, des mouvements d'eau (marée, houle et clapot) assurent l'oxygénation de l'eau en la maintenant proche de la saturation. Ici, les pourcentages d'oxygène sont inférieurs à la saturation et voisins de 90 %.

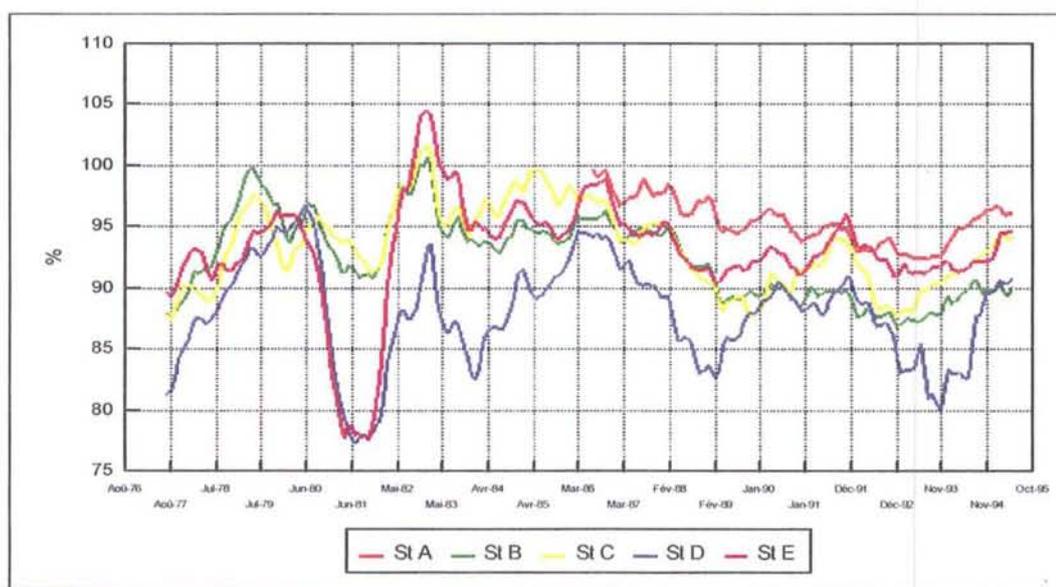


Figure 18 : Evolution temporelle et spatiale de l'oxygène dissous au niveau des stations A, B, C, D et E de 1977 à 1995.

3.2.6. Azote ammoniacal

L'azote ammoniacal paraît soumis aux mêmes phénomènes d'évolution que la température et les matières en suspension. Jusqu'en 1987, les stations évoluent de manière groupée mais avec d'importantes variations (figs. 19 et 19bis). Les effondrements des concentrations coïncident avec des années où les températures sont inférieures à la moyenne (1980-1985-1986). Puis des divergences se manifestent à partir de 1988. Ce changement est dû à l'augmentation sensible des concentrations en azote ammoniacal en Seudre où les valeurs sont supérieures à 3,8 $\mu\text{mol/l}$ et peuvent atteindre 5,2 $\mu\text{mol/l}$.

Durant toute la période, les stations océaniques A et E varient peu (entre 1 et 3 $\mu\text{mol/l}$). Par contre, dans l'estuaire de la Charente les variations sont fortes, comprises entre 1 à 4,5 $\mu\text{mol/l}$. Cependant, à compter de 1988, on assiste à un découplage des courbes représentant les concentrations des eaux de surface (plus concentrées) et celles de fond. La station centrale C évolue parallèlement à la station B jusqu'en 1991, puis les teneurs baissent alors qu'elles continuent à monter en Seudre.

L'origine de l'azote ammoniacal est bien connue, provenant d'une part de l'excrétion animale et d'autre part, de la régénération bactérienne de la matière organique dissoute et/ou des détritiques organiques. Les flux en azote quantifiés par l'agence de l'eau Adour-Garonne de 1989 à 1995, à la limite de la zone maritime et de la zone douce de La Seudre soit 20 km en amont de la station B, sont de 138 tonnes par an. A cela, il convient d'ajouter 278 tonnes annuelles d'azote potentiellement mobilisables du bassin versant maritime vers la Seudre. L'unique station d'épuration des eaux usées susceptibles d'affecter la Seudre est celle de la Tremblade qui rejette annuellement 10 tonnes d'azote (S.E.T Praud, 1996). Si cette quantité paraît dérisoire comparée aux autres flux possibles, il faut considérer que l'exutoire est situé 500 m en amont du point de prélèvement. La forme azotée de ce rejet est principalement ammoniacale car les capacités d'aération de la station ne sont pas optimales et les formes réduites prédominent notamment en été où elle est en surcharge (cf. les variations saisonnières). Dans une étude consacrée au projet d'agrandissement de la station des eaux usées, S.E.T Praud (1996) précise que la dilution au niveau du rejet est voisine de 250 fois. Ainsi, l'impact de ce rejet ne serait pas négligeable et pourrait constituer une cause probable de l'augmentation des concentrations.

Cependant, cette étude ne permet pas d'appréhender l'évolution des concentrations en matière organique particulaire sur ce site, ni plus en amont dans la rivière. Il est donc difficile de sérier les sources. De plus, les processus de régénération sont peut-être ici favorisés par des températures les plus chaudes du bassin.

La station D ne se distingue pas des autres stations au niveau de ce paramètre. Ravail-Grand (1993) a observé une augmentation des concentrations de l'aval vers l'amont lors d'une campagne réalisée dans l'embouchure de la Charente et arrive à la conclusion suivante : les eaux marines sont plus riches en azote ammoniacal que les eaux terrestres, l'inverse se produisant pour le nitrate. L'origine n'est donc pas uniquement terrestre, la régénération de l'azote viendrait donc enrichir la colonne d'eau.

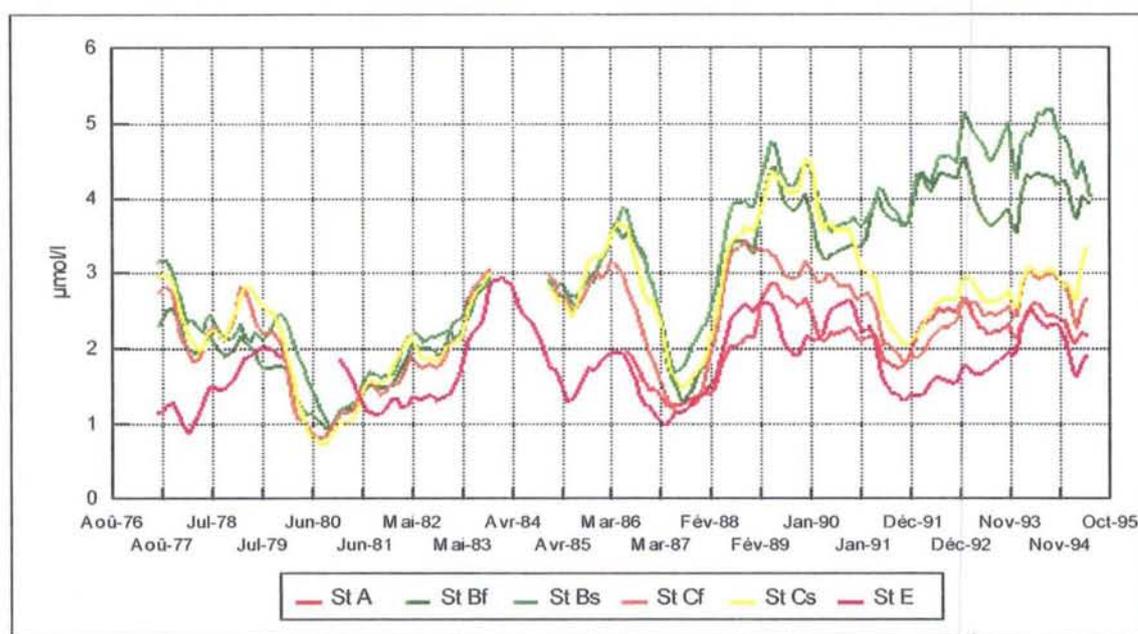


Figure 19 : Evolution temporelle et spatiale de l'azote ammoniacal au niveau des stations A et E et des stations B et C en surface (s) et en fond (f) de 1977 à 1995.

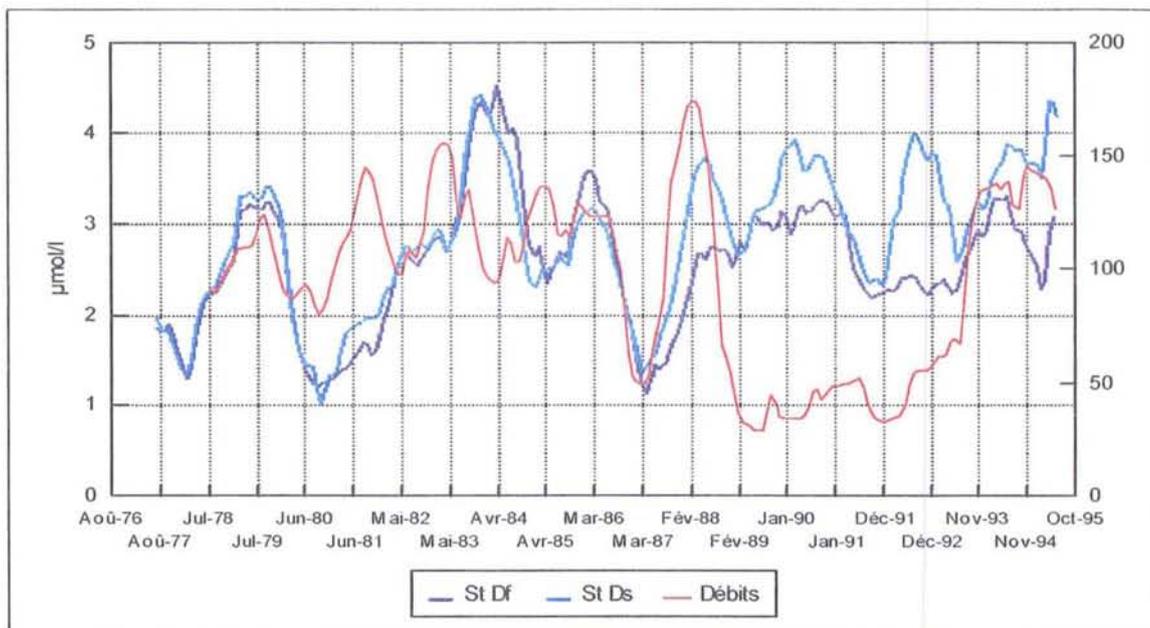


Figure 19 bis : Evolution temporelle de l'azote ammoniacal au niveau de la station D en surface (s) et en fond (f) de 1977 à 1995 et évolution des débits de la Charente.

3.2.7. Nitrite

Le nitrite reste dans des valeurs basses voisines de $0,5 \mu\text{mol/l}$ (fig. 20). Les plus fortes variations sont observées à la station D où cependant les pics restent faibles et n'atteignent que 1 à $1,5 \mu\text{mol/l}$. Toutefois, ils coïncident globalement avec les fluctuations du régime du fleuve. Les autres stations se comportent de la même manière et aucune tendance ne peut être dégagée. On remarque une importante augmentation des concentrations à la station B en 1992 qui ne se confirme pas par la suite.

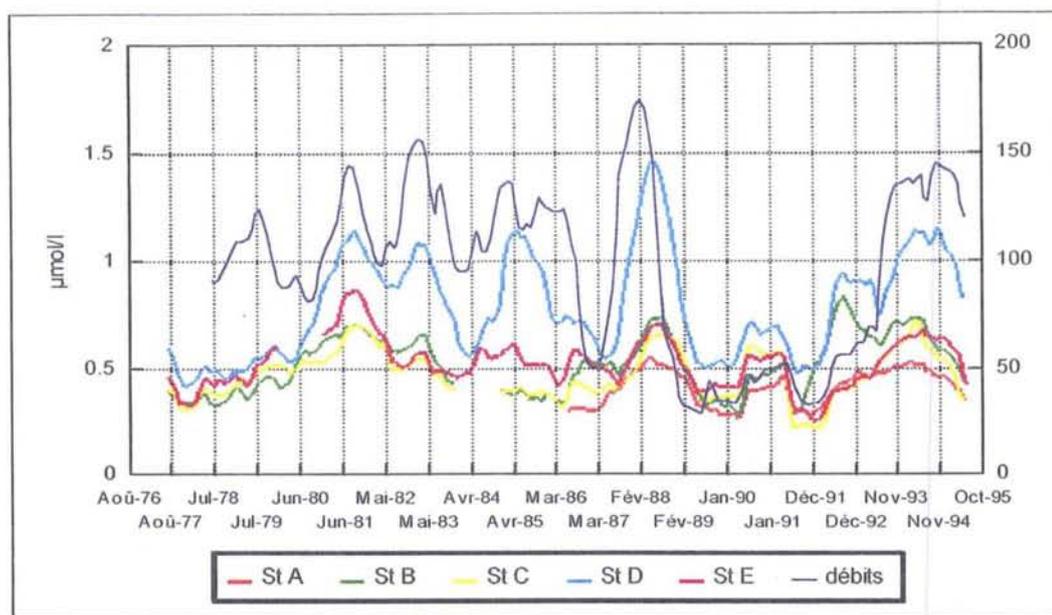


Figure 20 : Evolution temporelle et spatiale du nitrite au niveau des stations A, B, C, D, E de 1977 à 1995 et évolution des débits de la Charente.

3.2.8. Nitrate

De l'ensemble des descripteurs, le nitrate est celui qui est le mieux corrélé au débit de La Charente. Il constitue un bon marqueur des apports d'eau douce. En effet, les eaux de surface de la station D traduisent les apports de La Charente. Les concentrations comprises entre 30 et 164 $\mu\text{mol/l}$ sont cinq fois supérieures à celles rencontrées dans le bassin notamment pendant les périodes 1982 et 1983, 1988, 1994 et 1995 (fig. 21). Le bassin est dominé par les apports de La Charente et probablement de La Seudre dans sa partie sud. Mais il apparaît clairement que la station A et la station E en profondeur ne sont pas sous influence directe des arrivées d'eaux douces.

Cependant, il est remarquable que dans l'estuaire de la Charente, durant deux épisodes, le premier de juin 1984 à décembre 1986 et le second, du début de l'année 1990 à juin 1993, les concentrations en nitrate se situent dans les mêmes gammes soit entre 45 et 90 $\mu\text{mol/l}$. Alors que durant la première phase les débits oscillent entre 52 et 136 m^3/s , ils sont nettement plus faibles durant la seconde, compris entre 34 et 67 m^3/s . Le phénomène est identique pour les autres stations bien que les concentrations soient moindres et comprises entre 8 et 38 $\mu\text{mol/l}$ (fig. 21 bis). Mantilla et al. (1993) élaborent un modèle numérique concernant les flux de nitrates dans l'estuaire de La Charente. Bien que les apports en fertilisants agricoles sur le

bassin versant de La Charente aient été multipliés par 2,5 en une vingtaine d'années, le modèle révèle une diminution des flux de nitrates à l'estuaire : 10 à 12 000 tonnes/an de N-NO₃ dans la fin des années 1970 et 5 à 8 000 tonnes/an de N-NO₃ dans le débuts des années 1990. Mantilla et al. (1993) concluent au rôle déterminant des débits qui conditionnent la chute des flux de nitrates à l'estuaire de La Charente. Or, notre modèle décrit un maintien des concentrations à des valeurs moyennes durant les périodes de sécheresse probablement en raison de phénomènes naturels de régulation voire à une meilleure nitrification de la matière organique favorisée par des températures plus élevées.

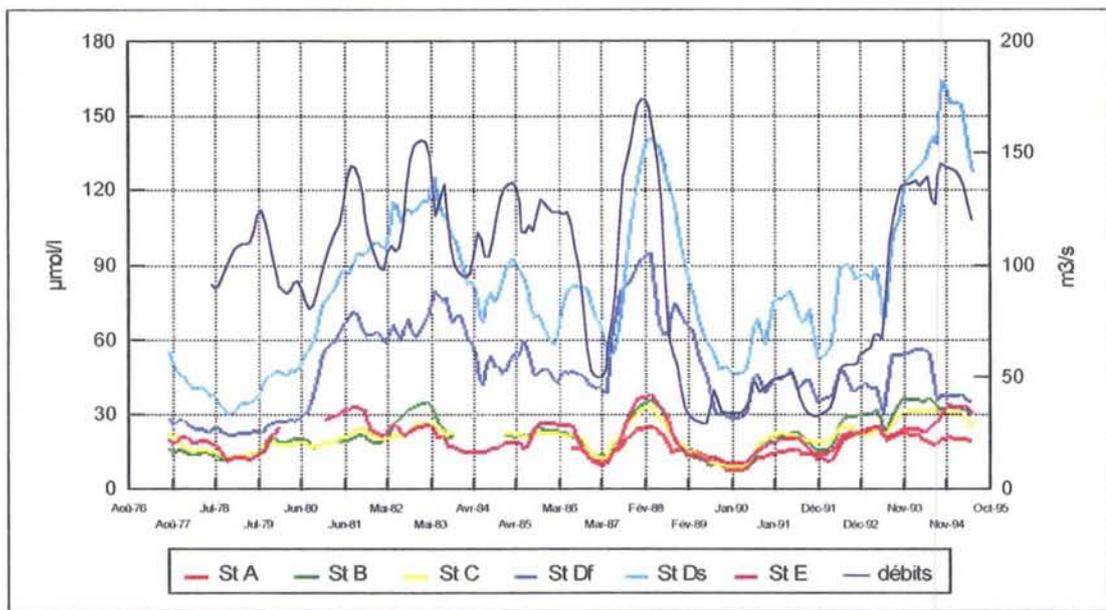


Figure 21 : Evolution temporelle et spatiale du nitrate au niveau des stations A, B, C, E et de la station D en surface (s) et en fond (f) de 1977 à 1995 et évolution des débits de la Charente.

3.2.9. Phosphate

Les concentrations en phosphate sont faibles variant de 0,5 à 1,5 µmol/l (fig. 22). Les variations les plus importantes interviennent sur le fleuve. Une augmentation des teneurs se dessine de 1986 à 1988 sur l'ensemble des stations qui se poursuit seulement à la station 5 jusqu'en 1990. Cette année-là, alors que la Charente enregistre les valeurs les plus fortes de toute la période (2 µmol/l), le reste du bassin connaît les valeurs les plus faibles (<0,5 µmol/l) d'où une inversion des tendances. Ensuite de 1991 à nos jours, les concentrations baissent à la

station D pour rejoindre celles du bassin. Ainsi d'une manière générale, de 1977 à 1986, les concentrations se modifient peu, puis intervient la première période de sécheresse et les concentrations connaissent une progression jusqu'en 1988. Durant la seconde période sèche les concentrations restent à des niveaux bas et ce, malgré la reprise des précipitations en 1993.

Généralement, les débits des cours d'eau influent sur les concentrations en phosphate. Or, les valeurs rencontrées dans l'estuaire ne varient pas en fonction du régime fluvial. Le fleuve ne semble pas contribuer à enrichir notablement le bassin de Marennes-Oléron en cet élément. Les concentrations ne sont que très légèrement supérieures à celles des autres stations du bassin. Cette observation corrobore celle effectuée par Ravail-Legrand (1993) qui explique que les matières en suspension de l'estuaire perturbe la libération des molécules de phosphore adsorbées à 80-90 % sur les particules.

La ressource en phosphate du fleuve paraît être en diminution par rapport au nitrate et à l'azote ammoniacal. Le barrage de St Savinien contribue au piègeage du phosphore (Ayphassorho et al., 1991). D'ailleurs, Despréaux (1990) précise que les sédiments en aval du barrage dans une zone fortement soumise à la marée ont de faibles concentrations en phosphate. La remise en suspension lors des crues ne suffit visiblement pas à enrichir les eaux du fleuve. La diminution des concentrations déjà faibles est préoccupante. La présence de ce composé minéral est conditionnée à l'utilisation anthropique. Un changement dans les différentes pratiques pourrait avoir des conséquences sur l'équilibre du milieu estuarien.

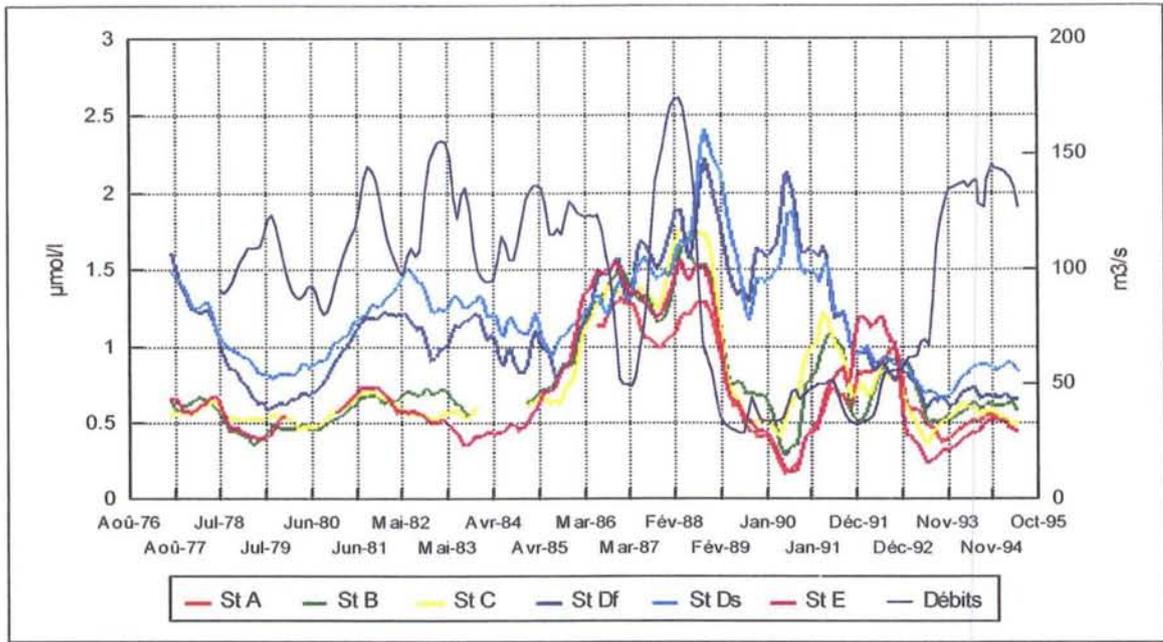


Figure 22 : Evolution temporelle et spatiale du phosphate au niveau des stations A, B, C, E et de la station D en surface (s) et en fond (f) de 1977 à 1995 et évolution des débits de la Charente.

3.2.10. Silicate

Les silicates ne subissent pas d'importantes variations et évoluent peu dans le temps, exception faite de la station D où les concentrations sont plus élevées et comprises entre 11 et 60 $\mu\text{mol/l}$ (fig. 23). Deux pics apparaissent nettement sur ce site, l'un de 1981 à 1983 et l'autre en 1994 et 1995, ils coïncident avec des débits élevés de La Charente, ils sont aussi bien sensibles en surface qu'au fond. Toutefois, l'augmentation des régimes du fleuve en 1988 n'entraîne qu'un accroissement modéré des concentrations. La station B est aussi soumise aux apports terrestres mais les teneurs rencontrées sont plus faibles (comprises entre 6 et 25 $\mu\text{mol/l}$). Les stations océaniques A et E connaissent des concentrations de l'ordre de 5 à 22 $\mu\text{mol/l}$. On assiste donc à une gradation est-ouest conforme aux apports terrigènes.

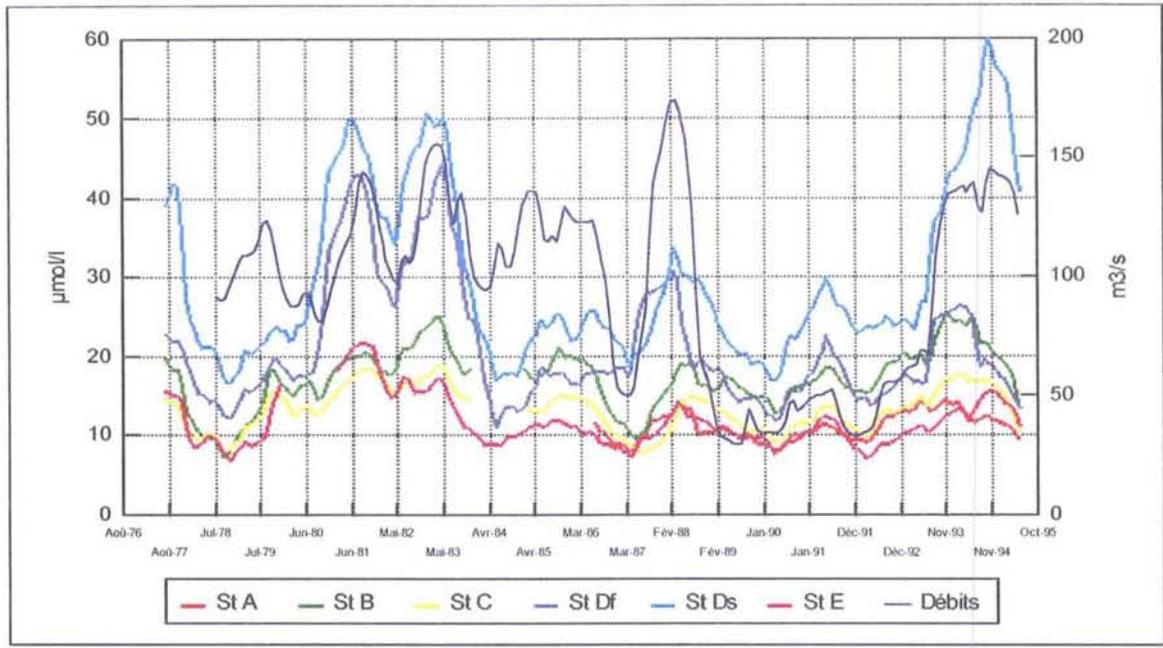


Figure 23 : Evolution temporelle et spatiale du silicate au niveau des stations A, B, C, E et de la station D en surface (s) et en fond (f) de 1977 à 1995 et évolution des débits de la Charente.

3.2.11. Chlorophylle a et Phéopigments

La station D montre des concentrations en chlorophylle *a* supérieures à celles des autres stations avec des pics en 1983 et 1984 (10 µg/l) pour les eaux de fond et simultanément en fond et en surface en 1993 et 1994 avec des valeurs pouvant atteindre (15 µg/l). Les concentrations des autres stations s'inscrivent dans une gamme de 1 à 4,5 µmol/l (fig. 24). Depuis 1986, date à laquelle a débuté l'échantillonnage de la station A, elle apparaît comme étant l'une des plus riches du bassin si l'on excepte la station D. La différence entre les eaux de fond (concentration toujours supérieure) et les eaux de surface est quasiment toujours respectée. Les autres stations du bassin décrivent les mêmes variations que la station A. A partir de 1987, les évolutions sur ces stations sont davantage confondues qu'auparavant.

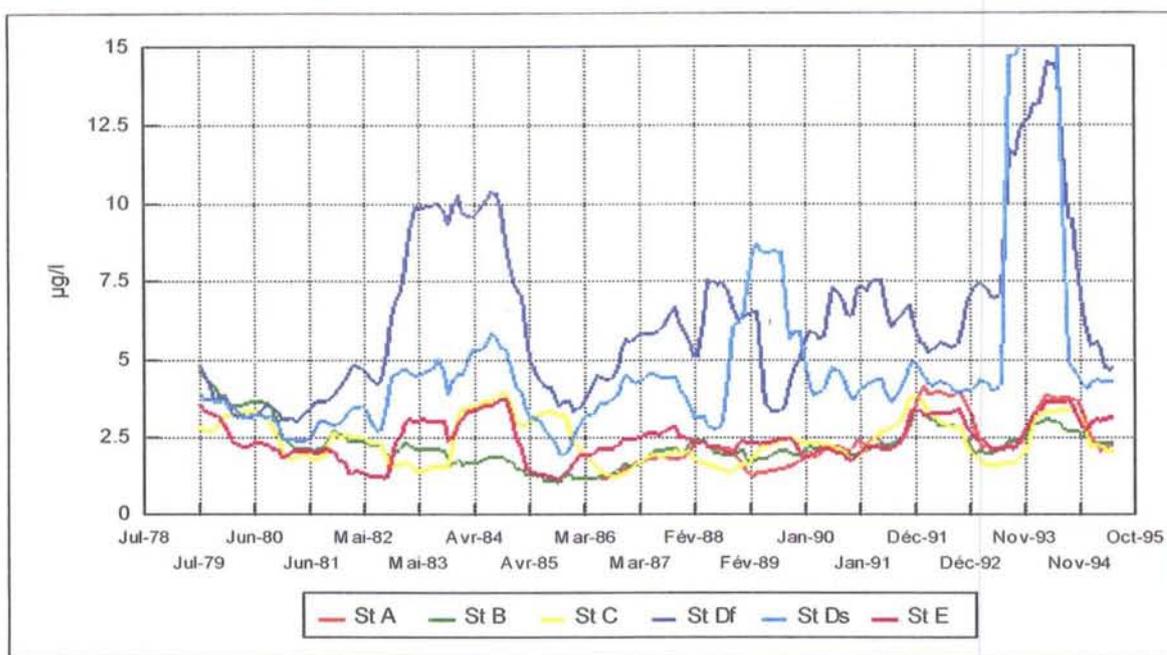


Figure 24 : Evolution temporelle et spatiale de la chlorophylle *a* au niveau des stations A, B, C, E et de la station D en surface (s) et en fond (f) de 1977 à 1995.

L'importante biomasse phytoplanctonique rencontrée à la station D reflète la richesse nutritive des eaux de La Charente. Zone de mélange des eaux douces et des eaux marines, les espèces phytoplanctoniques trouvent des conditions favorables à leur développement malgré les fortes charges sestoniques. Une part de ce phytoplancton d'origine continentale (Ravail-Legrand, 1993) s'ajoute au phytoplancton provenant des eaux marines et probablement au benthos. La Charente participe probablement à l'enrichissement de la station E. A l'opposé du bassin, la station A riche en chlorophylle ne bénéficie pas des apports du fleuve, mais peut être influencée par la Seudre. Les concentrations en nutriments sont généralement moins élevées que sur les autres sites. L'hypothèse d'un enrichissement phytoplanctonique par les eaux extérieures au bassin n'est donc pas à exclure. En effet, la côte océanique est fertilisée par les eaux de La Gironde qui circulent selon un schéma sud-nord. Ces eaux de faible turbidité bien oxygénées constituent un milieu propice au développement phytoplanctonique. A la faveur des mouvements de marée, ces eaux pénètrent par le Pertuis de Maumusson et enrichissent le sud du bassin conchylicole créant un site à forte diversité phytoplanctonique (Fouché, 1998, com. pers.). L'excellente performance de croissance des huîtres en élevage dans cette partie du bassin n'est qu'une démonstration supplémentaire de la richesse de ses eaux.

La station D est logiquement le site où l'on rencontre le plus de matériel phytoplanctonique dégradé. Les concentrations ont atteint 50 µg/l en 1994 (fig. 25).

L'abondance des phéopigments est liée à l'augmentation des débits de La Charente. Le phénomène est plus atténué sur les autres stations. Les concentrations oscillent jusqu'à 5 µg/l. A compter de 1987, l'évolution en dent de scie se produit en parallèle sur les stations du bassin.

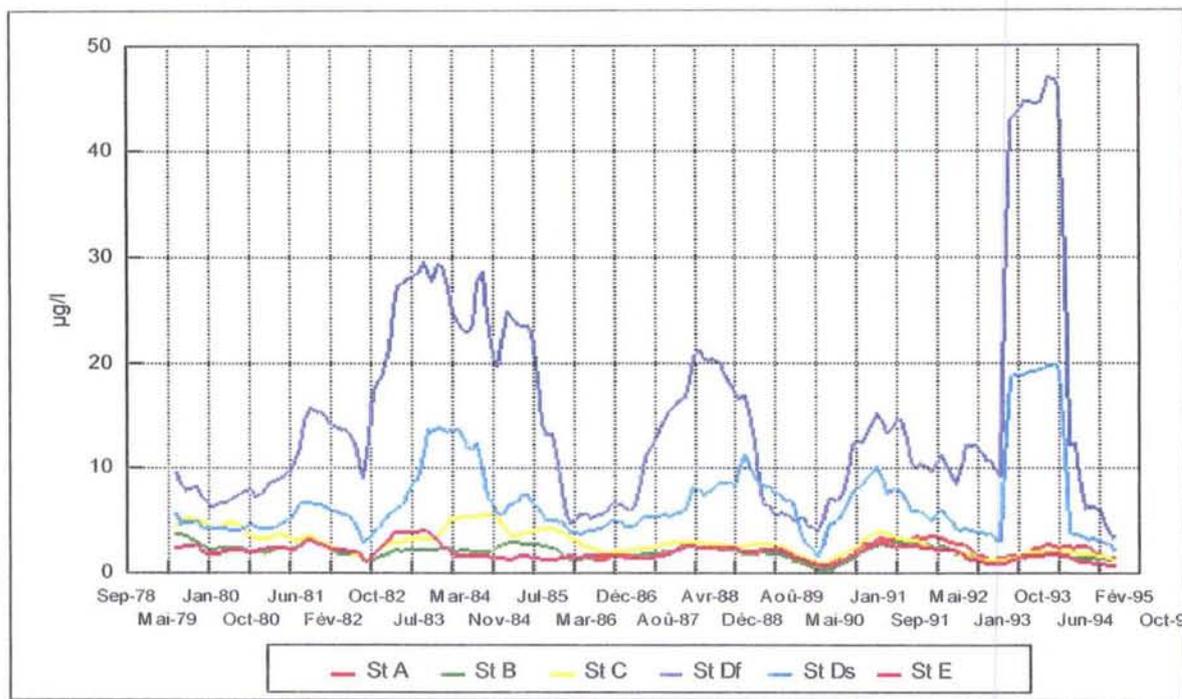


Figure 25 : Evolution temporelle et spatiale du phéopigments au niveau des stations A, B, C, E et de la station D en surface (s) et en fond (f) de 1977 à 1995.

IV. CONCLUSION

Les deux volets de cette étude ont permis de synthétiser l'ensemble des données de la base hydrologique. La modélisation des caractéristiques saisonnières précise les variations des différents descripteurs au cours de l'année.

La présence des nutriments en zone côtière est gouvernée, d'une part, par les apports continentaux, eux mêmes conditionnés par le régime pluvial et par l'activité humaine (urbaine, agricole et industrielle), et d'autre part par l'activité biologique du littoral. Celle-ci fort complexe, s'observe à travers la production primaire (production de phytoplancton) et par l'activité des micro-organismes qui participent à la dégradation de la matière organique et à la régénération des éléments. La variabilité des descripteurs chimiques dépend de leur nature avec des variations plus ou moins marquées. C'est le cas du phosphate et surtout du nitrate qui connaissent de très fortes amplitudes de concentration. Les cycles saisonniers de ces deux composées et du silicate présentent des similitudes. Ils traduisent les apports continentaux mais surtout l'utilisation par le phytoplancton et leur restitution par le sédiment. Le comportement de l'azote ammoniacal est remarquable de part l'hétérogénéité des amplitudes des différentes stations du bassin. Outre les effets cités ci-dessus susceptibles d'influencer la concentration, il convient d'ajouter deux autres causes probables : les rejets de la station des eaux usées de La Tremblade qui affectent la station B et de manière générale l'activité physiologique des bivalves en élevage qui constitue une source non négligeable d'azote ammoniacal (Vincendeau, 1986).

La chlorophylle *a* fort logiquement, décrit un cycle saisonnier marqué avec un maximum en mai. La teneur en phéopigments reste le seul descripteur à ne pas présenter de variations saisonnières démontrant ainsi la présence permanente de chlorophylle dégradée.

D'une manière générale, les différents cycles saisonniers ne permettent pas de distinguer les stations de type océaniques ou estuariennes dans l'ensemble du bassin et démontrent un comportement homogène des différents descripteurs, exception faite de l'azote ammoniacal.

Par contre, l'analyse des tendances met en relief les caractéristiques des différents sites du bassin. Elle permet une nouvelle fois de caractériser le rôle prépondérant de La Charente dans l'écosystème du bassin. La station estuarienne D signale les entrées d'eau douce dans le bassin. Zone de mélange très turbide, elle contribue significativement à l'enrichissement du

bassin en nitrate et parfois en phosphate. Cependant, elle ne pourvoit pas le bassin en azote ammoniacal. Cette station peut être considérée comme la seule caractéristique d'un estuaire. La station B présentée comme telle, ne traduit aucunement les apports de La Seudre, qui reste d'ailleurs un cours d'eau de faible importance. Cette station située 20 km en aval de l'écluse qui fait barrage aux eaux douces, reflète la nature d'un bras de mer entouré d'une zone de marais aquacoles. Cependant, elle est affectée vraisemblablement par une contamination azotée qui nécessiterait des investigations supplémentaires pour en préciser la véritable origine.

Les stations A et E s'apparentent d'avantage au milieu océanique bien que la station A soit fréquemment influencée par les eaux de La Charente. L'influence de La Gironde est difficile à détecter, cependant il est probable qu'elle contribue à l'enrichissement de la partie sud du bassin. La station C, située dans une zone de brassage représente une situation intermédiaire des différents descripteurs.

L'analyse des tendances a permis de dégager d'importantes informations : les courbes de température, de seston, d'oxygène dissous et d'azote ammoniacal montrent chacune une rupture en 1987 qui serait le point de départ d'une évolution parallèle mais distincte de chaque station. Elles suggèrent un changement profond de la circulation des masses d'eau dans le bassin qui seraient plus hiérarchisées qu'auparavant. La modification de la bathymétrie dans le sud du bassin semble y contribuer : l'exhaussement des fonds entre 1975 et 1995 atteint en certains secteurs 0,5 m (Le Moine, 1998, com. pers.). Un nouveau bilan comme celui effectué en 1973 par le LCHF de l'hydraulique du bassin serait à effectuer.

L'augmentation des températures de l'eau de 1°C depuis 1977 s'inscrit probablement dans le schéma global du réchauffement de la planète. Cependant, ceci n'explique pas la formation d'un gradient nord-sud qui est vraisemblablement imputable aux modifications bathymétriques. La température a un rôle capital dans la physiologie des huîtres notamment durant la gamétogénèse (Soletchnik et al., 1997). Les mortalités printanières et estivales qui se signalent depuis 1988, notamment dans le sud du bassin, peuvent trouver une de leurs causes sinon la principale, dans ce phénomène. Introduite en 1971, l'huître *Crassostrea gigas* originaire de la baie de Sendai au nord du Japon est adaptée au climat de la côte atlantique, notamment au bassin de Marennes-Oléron où elle rencontre des conditions favorables à sa reproduction. Cette souche réputée à croissance rapide sauf aux températures élevées (Marteil et Barrau, 1972) pourrait être perturbée par la modification des conditions thermiques de la deuxième décennie. La coïncidence entre l'apparition des mortalités et l'augmentation des températures de l'eau ne semble pas fortuite.

L'examen des teneurs en éléments nutritifs ne permet pas de dégager de tendance marquée. Les concentrations en nitrate et silicate sont corrélées aux débits de la Charente. Ce phénomène, amplifié dans l'estuaire du fleuve, est très atténué dans le bassin. Il suggère un recyclage des nutriments interne au bassin en période de sécheresse qui tendrait à maintenir une certaine stabilité des concentrations. Les eaux appauvries en silice contribuent à l'apparition des dinoflagellés au détriment des diatomées (Ragueneau, 1994). Dans le cadre du REPHY (Réseau d'Observation Phytoplanctonique), les estimations des deux populations montrent la domination des diatomées de 58 % en 1989 puis comprises entre 72 % et 95 % de 1990 à 1995. Ces observations corroboreraient l'hypothèse de concentration en silice relativement stable dans le bassin qui ne serait pas un milieu très favorable à l'apparition des dinoflagellés.

La ressource en phosphate du bassin semble être bien en diminution. Malgré l'augmentation des débits de La Charente en 1994 et 1995, les concentrations dans l'estuaire restent faibles. Cette constatation est préoccupante car elle peut engendrer des perturbations dans les rapports N/P et Si/P, donc dans les préférences des populations phytoplanctoniques.

L'évaluation des flux nutritifs de La Charente reste un problème difficile à appréhender en raison de la complexité hydraulique du fleuve, des contraintes de gestion et des prélèvements d'eau douce effectués sur le bassin versant. Le seul modèle disponible concernant les flux de nitrates est imparfait car il ne tient pas compte des prélèvements pour l'irrigation (Mantilla et al., 1993). Pourtant ceux-ci affectent considérablement les débits du fleuve qui retrouve difficilement son régime après une longue période de sécheresse (1990). Lors des crues de La Charente, le bassin ne connaît pas d'enrichissement excessif en nutriments en raison de la dilution (1988) ; les risques d'eutrophisation sont très limités car les renouvellements et les ouvertures sur l'océan garantissent l'oxygénation des eaux.

Dans cette étude, il n'a pas été fait état de la matière organique particulaire (MOP) ni de la matière minérale particulaire (MIP). Ces deux paramètres ont cependant été évalués régulièrement depuis la création du réseau. Leur analyse n'a pas été abordée ici car leur évaluation établie par la méthode de la perte au feu induit une surestimation des MOP de 90 % à 600 % et par conséquent une sous-estimation des MIP (Barillé et al., 1994). Les matières en suspension du bassin de Marennes-Oléron étant composées à 90 % d'argile, leur eau de constitution disparaît lors de la crémation. Pour être rigoureux, il conviendrait d'utiliser les données issues de l'analyse élémentaire qui mesure la masse de carbone et d'azote particulières

(C.H.N.). Or, ces informations ne sont disponibles qu'à partir de 1994 et ne constituent pas une série temporelle actuellement exploitable. Les MOP auraient peut-être permis d'expliquer certains phénomènes de désoxygénation comme par exemple en 1981 au niveau de la station E, de contrôler les apports faits par La Charente et de vérifier l'augmentation supposée de celles-ci en Seudre.

BIBLIOGRAPHIE

- Agence de l'eau Adour-Garonne.** Bassin de la Charente. De l'eau pour l'an 2000, réussir notre futur : 11 p.
- Aminot A., 1983.** Dosage de l'oxygène dissous. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *CNEXO* Chap. V : 135-142.
- Aminot A., 1983.** Dosage du phosphore minéral dissous. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *CNEXO* Chap. X : 135-142.
- Aminot A., 1983.** Dosage du silicium dissous réactif. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *CNEXO* Chap. XI : 143-150.
- Aminot A., Guillaud J.F. et Kérouel R., 1997.** La baie de Seine : hydrologie, nutriments et chlorophylles (1978-1994). *Repères Océan* 14 : 148 p.
- Ayphassorho H., Beuffe H., Costes M., Dutartre A., Roux M. et Simonet F., 1991.** L'eutrophisation de la Charente : La Charente un milieu fortement enrichi en nutriments. *Revue de l'agence de l'eau Adour Garonne*, 51 : 19-22.
- Bacher C., 1989.** Etude de la capacité trophique du bassin de Marennes-Oléron : Utilisation d'un modèle couplé de transport particulaire et de croissance de l'huître *Crassostrea gigas*. Thèse de doctorat, Univ. de Bretagne Occidentale : 146 p.
- Banse K., Falls C.P., and Hobson L.A., 1963.** A gravimetric method for determining suspended matter in sea water using Millipore filters. *Deep-sea Res.*, 10 : 639-642.
- Barillé A.L., Massé H. et Razet D., 1994.** Surestimation de la matière organique dans les estuaires argileux par la méthode de la perte au feu : cas de Marennes-Oléron et du pertuis Breton. Rap. Labo. Ifremer La Trem. : 12 p.
- Baron G., 1938.** Etude du plancton dans le bassin de Marennes-Oléron. *Rev. Trav. Pêches marit.*, 11 (2) : 167.
- Barousseau J.P., 1973.** Evolution du plateau continental rochelais (golfe de Gascogne) au cours du Pliocène terminal et de l'Holocène. Les processus actuels de la sédimentation. Thèse de doctorat d'Etat, Univ. Bordeaux I, 9124 : 363 p.
- Bethoux N., Etienne M., Ibanez F et Repaire J.L., 1980.** Spécificité hydrologique des zones littorales. Analyse chronologique par la méthode census II et estimation des échanges océan-atmosphère appliquées à la baie de Villefranche sur Mer. *Ann. Inst. Océanogr. Paris*. 56 : 82-95.
- Boeuf C.F., 1949.** Observations sur le milieu fluvio-marin de la Charente en période d'étiage. *C. R. Acad Sci.*, Paris, 229 : 1253-1255.
- Carpenter J.H., 1965.** The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen analysis. *Limnol. Oceanog.*, 10 : 135-140.

- Carruesco C., Comps M., Leborgne-David A., Razet D., Garnier J., Léon M., Le Pennec M.A. et Noinin M., 1972.** Contribution à l'étude de l'envasement et de la pollution du bassin de Marennes-Oléron. *Rapport I.S.T.P.M.- D.D.E.* : 60 p.
- Carruesco C., 1977.** Sur la dynamique de la matière organique des sédiments littoraux du bassin ostréicole de Marennes-Oléron (Charente-Maritime). *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitaine*, 22 : 55-74.
- Castaing P., 1981.** Le transfert à l'océan des suspensions estuariennes, cas de la Gironde. Thèse de doctorat d'Etat, Uni. Bordeaux I, *Men. Inst. Geol. Bassin d'Aquitaine*, 12 : 530 p.
- Chaux-Thevenin H., 1929.** Observation sur la reproduction des huîtres indigènes dans la région de Marennes-Oléron. *Rev. Trav Pêches Marit.*, 2 : 103 p.
- Dechambenoy C., Pontier L., Sirou F. et Vouve J., 1977.** Apport de la thermographie infrarouge aéroportée à la connaissance de la dynamique superficielle des estuaires (système Charente-Seudre-Anse de l'Aiguillon). *C. R. Acad. Sci., Paris*, 284 : 1269-1972.
- Despreaux M., 1990.** Le phosphore et l'azote dans le sédiment du fleuve Charente : Variations saisonnières et mobilité potentielle. Thèse de doctorat, Univ. de Lyon : 227 p.
- Feuillet M. et Gouleau D., 1977.** Action des épandages de craie sur les vases des claires et des parcs ostréicoles. *Rev. Trav. Pêches Marit.*, 41 (4) : 417-436.
- Feuillet-Girard M., Héral M., Sornin J.M., Deslous-Paoli J.M., Robert J.M., Mornet F. et Razet D., 1988.** Elements azotés de la colonne d'eau et de l'interface eau-sédiment du bassin de Marennes-Oléron : influence des cultures d'huîtres. *Aquat. Living. Resour.*, 1 : 251-265.
- Feuillet-Girard M., Héral M., Abrioux M.F. et Fontugne M., 1994.** Carbone organique et particulaire de la colonne d'eau et de l'interface eau-sédiment du bassin de Marennes-Oléron : influence des huîtres. *Oceanologica Acta*, 17 (3) : 271-284.
- Feuillet-Girard M., Gouleau D., Blanchard G. et Joassard L., 1996.** Nutrient fluxes on an intertidal mudflat in Marennes-Oléron bay and influence of the emersion period. *Aquat. Living. Resour.*, 10 : 49-58.
- Fralit (Equipe), 1981.** Télédétection du littoral océanique de la France. *Coll. Ecol. Norm. Super. Jeunes Filles*, n°11.
- Gras P., Comps M., David A. et Baron G., 1971.** Observations préliminaires sur la reproduction des huîtres dans le bassin de Marennes-Oléron en 1971. *Sciences et Pêches, Bull. Inst. Pêches Marit.*, 207 : 16 p.
- Genesseaux M., 1956.** Le milieu fluvio-marin de l'estuaire de la Charente. D.E.S. *Sci. Nat. Fac. Sciences*, Paris.

- Grizel H. et Héral M., 1991.** Introduction into France of Japanese oyster (*Crassostrea gigas*).
J. Cons. perm. int. Explor. Mer 47 : 399-403.
- Héral M. et Razet D., 1977.** Premières approches de la composition de la nourriture organique particulière de *Crassostrea gigas* dans les eaux du bassin de Marennes-Oléron. *CIEM, comité benthos, crustacés et coquillages*, K 21 : 12 p.
- Héral M. et Prou J., 1980.** Etude de la biomasse bactérienne dans le bassin de Marennes-Oléron. *CIEM, comité de l'Océanographie biologique*, 46 : 10 p.
- Héral M., Razet D., Maestrini S.Y., et Garnier J., 1980.** Composition de la matière organique particulière dans les eaux du bassin de Marennes-Oléron ; apport énergétique pour la nutrition de l'huître. *CIEM comité de l'Océanographie biologique*, L 44 : 14 p.
- Héral M., Robert J.M., Truquet I., Barbaroux O., Garnier J. et Razet D., 1981.** Composition en éléments azotés minéraux et organiques dissous de l'eau du bassin conchylicole de Marennes-Oléron. *CIEM comité de l'Océanographie biologique*, E 58 : 9 p.
- Héral M., Razet D., Deslous-Paoli J.M., Berthomé J.P. et Garnier J., 1983.** Caractéristiques saisonnières de l'hydrobiologie du complexe estuarien de Marennes-Oléron (France). *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.* , 42 (4) : 269-290.
- Héral M., Razet D., Deslous-Paoli J.M., Manaud F., Truquet I. et Garnier J., 1984.** Hydrologie du bassin de Marennes-Oléron, résultats du réseau national d'observation : 1977 à 1981. *Ann. Soc. Sci. nat. Charente Maritime* : 7, 2, 259-277.
- Héral M., Razet D. et Prou J., 1989.** Acquisition de données en continu sur la matière particulière de la baie estuarienne de Marennes-Oléron pendant le bloom printanier planctonique : effet sur le taux de filtration de l'huître *Crassostrea gigas*. *CIEM, Shellfish Committee*, K 34 : 14 p.
- Hinard G., 1928.** Les fonds ostréicoles de la Seudre et du Belon. *Off. Pêches Marit.. Notes et rapports*, 31 : 27 p.
- Jacobsen J.P. and Knudsen M., 1940.** Urnormal 1937 or primary standard sea water 1937. *Int. Union Geodesy Geophys.. Assoc. Phys. Oceanogr. Publ. Sci.*, 7 : 38 p.
- Koroleff F., 1969.** Direct determination of ammoniac in natural waters as indophenol blue. *C.I.E.M.*, C2, 19 : 22 p.
- Klingebiel A., De Resseguier A. et Tesson M., 1971.** Contributions à l'étude de la circulation des masses d'eau dans le bassin de Marennes-Oléron. *C. R. Acad. Sci., Paris*, 273 : 1783-1786.
- Klingebiel A. et Tesson M., 1974.** Etudes d'environnement dans les baies du littoral charentais. 2^e C.I.E.O. Bordeaux (France), 2 : 17 p.

- Laboratoire Central Hydraulique de France, 1973.** Etude des phénomènes régissant le bassin ostréicole de Marennes-Oléron. Campagne d'études complémentaires 1972-1973. Rapport d'étude L.C.H.F.-D.D.E. Charente-Maritime; Maison Alfort, 3 tomes.
- Ladouce R., 1938.** Observations sur la reproduction des huîtres. *Rev. Trav. des Pêches Marit.*, 11 (4) : 571.
- Lafuste J., Le Dantec J., Marteil L. et Trochon P., 1957.** Reproduction de l'huître portugaise (*Gryphea angulata*). *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 21 (3) : 401.
- Leborgne-David A., 1973.** Le phytoplancton des eaux superficielles du bassin de Marennes-Oléron et son incidence sur l'alimentation des huîtres. *Rapport I.S.T.P.M.* : 45 p.
- Le Borgne A., Gras P., Comps M., Carruesco C. et Razet D., 1973.** Observations sur la reproduction des huîtres dans la Seudre (Bassin de Marennes-Oléron) en 1972. *Note C.I.E.M.* 1973/K :16.
- Mantilla G., Leviandier T., Rosique J.L., Tangara M., Ayphassorho H. et Ansel J.C., 1993.** Estimation des débits de la Charente à l'estuaire et apports en nitrates. Coll. ostréicole, la Tremblade, 15 p.
- Marteil L. et Barrau W., 1972.** L'ostréiculture japonaise. *Science et Pêche, Bull. Inst. Pêches Marit.*, n° 215 : 20 p.
- Monographie des Affaires Maritimes, 1997.** Principales données administratives liées à la conchyliculture dans le Quartier de Marennes-Oléron (au 01/07/1997) : 6 p.
- Neveu J., 1976.** Dosage de la chlorophylle *a* et de la phéophytine *a* par fluorimétrie. *Ann. Inst. Oceanogr.* 52 : 165-174.
- Nichols M., 1974.** Interprétation de turbidités localisées d'après photosatellites. *Bull. Inst. Geol.*, Bassin d'Aquitaine. Symposium international de Bordeaux : 425 p.
- Pommeroy L.R., Smith E.E. et Grant C.M., 1965.** The exchange of phosphate between estuarine water and sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 10 (2) :167-172
- Pouliquen M., 1975.** Etude minéralogique et géochimique des sédiments du littoral vendéo-charentais et de la vase Oued-Gironde (France) : application à la connaissance de l'origine et à la dynamique des vases dans la baie de Marennes-Oléron. Thèse 3e cycle, Univ. Bordeaux I, n° 1239 : 163 p.
- Prou J., 1991.** Evolution temporelle de la composition de la colonne d'eau pendant un cycle vives-eaux - mortes eaux. Mémoire IFREMER : 39 p.
- Prou J., Barillé L., Héral M., Ratiskol G., Soletchnik P., Bougrier S., Razet D. et Geairon P., 1994.** Influence du cycle semi-diurne et vives-eaux - mortes-eaux sur la disponibilité du matériel particulaire et son utilisation par une population de *Mytilus edulis*. *Haliotis*, 23 : 139-153.

- Ragueneau O., 1994.** La dynamique du phytoplancton en écosystèmes côtiers macrotidaux : couplage avec l'hydrodynamique et le cycle biogéochimique du silicium. Thèse de doctorat, Univ. de Bretagne Occidentale : 334 p
- Raillard O., 1991.** Etude des interactions entre les processus physiques et biologiques intervenant dans la production de l'huître *Crassostrea gigas* (Thunberg) du bassin de Marennes-Oléron : essais de modélisation. Thèse Université de Paris VI, Océanographie biologie : 216 p.
- Raillard O. et Menesguen A. 1991.** Modélisation de la production de l'huître *Crassostrea gigas* du bassin de Marennes-Oléron (France). Etude de l'influence des apports de Nitrates du fleuve Charente sur la production primaire et ostréicole. *C.I.E.M.* 1991/L74 : 23 p.
- Ranson G., 1936.** L'absence de naissain d'huîtres portugaises en 1934 et 1935 dans la région de Marennes. Causes et conséquences. *Rev. Trav des Pêches Marit.*, 9 : 67 p.
- Ravail-Légrand B., 1993.** Incidence des débits de la Charente sur la capacité biotique du bassin de Marennes-Oléron. Thèse Université de Nantes, Biologie marine et écologie : 171 p.
- 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 IFREMER DRV 87008-RA/TREM, 63p.
- Robert J.M., 1983.** Fertilité des eaux des claires ostréicoles et verdissement : utilisation de l'azote par les diatomées dominantes. Thèse d'Etat, Univ. Nantes : 281 p.
- Sornin J.M., 1981.** Processus sédimentaires et biodéposition liés à différents modes de conchyliculture. Baie de Cancale, Anse de l'Aiguillon et Bassin de Marennes-Oléron. Thèse de 3e cycle, Univ. Nantes : 188 p.
- Sornin J.M., Feuillet M., Héral M., et Fardeau J.C., 1986.** Influence des cultures d'huîtres *Crassostrea gigas* sur le cycle du phosphore en zone intertidale : rôle de la biodéposition. *Oceanol. Acta*, 9 (3) : 313-322.
- Salavador F. 1976.** Etudes de quelques paramètres chimiques de la qualité des eaux dans l'estuaire de la Charente. Thèse 3^e cycle, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI : 87 p.
- S.E.T. Praud, 1996.** Extension de la station d'épuration des eaux usées de la Tremblade, Etude d'impact : 165 p.
- Soletchnik P., Geairon P., Razet D., Faury N. et Gouletquer P., 1997.** Physiologie de la maturation et de la ponte chez l'huître creuse *Crassostrea gigas*. *Aquat. living Resour.*, 10 : 177-185.
- Strickland J.D. and Parsons T.R., 1972.** A practical handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 167 : 311 p.

- Tesson M. 1973.** Aspects dynamiques de la sédimentation dans la baie de Marennes-Oléron (France). Thèse de 3e cycle, Univ, Bordeaux I, n° 1107 : 128 p.
- Torre M., Rebillard J.P. et Ayphassorho H., 1992.** Etude expérimentale *in situ* de la dénitrification dans la rivière Charente. Quantification au sein d'un modèle global de flux de nitrates en bassin versant. *Ann. de Limnol.* 28 (3) : 263-271.
- Treguer P. et Lecorre P., 1976.** Contribution à l'étude de la matière organique dissoute et des sels nutritifs dans l'eau de mer. Caractéristiques chimiques du Golfe de Gascogne et des upwelling côtiers de l'Afrique du Nord-Ouest. Thèse d'Etat, Univ. Bretagne Occidentale, n° 36-37 : 490 p.
- Verger F., 1968.** Marais et wadden du littoral français. Bordeaux, Ed. Biscaye Frères : 541 p.
- Vincendeau M.L., 1986.** Impact des produits d'excrétion azotée sur la fertilité des eaux des claires ostéicoles. *J Rech. Océanogr.* 11(1) : 33-35.
- Yentsch C.S. and Menzel D.M., 1963.** A method for determination of phytoplankton chlorophyll and pheophytin by fluorescence. *Deep Sea Res.*, 10 : 221-231.

N° RI DRV	DEPARTEMENT	LABORATOIRE	AUTEURS	TITRE	DATE SORTIE	DIFFUSION	NB PAGES	TIRAGE
99/01	RH	Brest	D. Latrouite	Compte rendu de la campagne Observhai98	fév	libre	200	50
99/02	RA	Bouin	S. Catois, J. Haure, J.L. Martin, M. Nourry, H. Palvadeau, J.P. Baud	Optimisation d'une méthode standardisée de choc thermique sur des juvéniles de <i>Crassostrea gigas</i>	mars			
99/03	RA	La Trinité	P.G. Fleury, F. Ruelle, S. Claude, H. Palvadeau, S. Robert, F.d'Amico, C. Vercelli et J.M. Chabirand	Réseau de suivi de la croissance de l'huître creuse sur les côtes françaises (REMORA) ; résultats des stations nationales ; année 1998.	mars	libre	41	200
99/04	RA	La Trinité	P.G. Fleury, S.Claude, A. Langlade et Y. Le Coguic	Réseau de suivi de la croissance de l'huître creuse sur les côtes françaises (REMORA) ; résultats des stations de Bretagne ; année 1998.	mars	libre	28	200
99/05	RH	Port-en-Bessin	J. Morin, P. Riou, C. Bessineton, C. Védieu, M. Lemoine, S. Simon, O. Le Pape	Étude des nourriceries de la baie de Seine orientale et de l'estuaire de la Seine	juin	libre	74 + 199 (an. 1) + 92 (an. 2)	
99/06	RH	Nantes, Brest	D. Halgand, G. Arzul, M-L. Cochard, E. Erard-Le-Denn, J. Huet, J. Le Claire, F. Quiniou	Surveillance écologique et halieutique de l'environnement marin du site de la centrale de Penly (Manche est) : année 1998	mai	restreinte	139	30
99/07	RA	La Trinité	P. G. Fleury	Le réseau REMORA de suivi de la croissance des huîtres creuses <i>Crassostrea gigas</i> ; analyses des premières tendances (1993-1998) en Bretagne	mai	libre		
99/08	RH	Nantes	D. Bordat	Analyses des séries chronologiques des paramètres hydroclimatiques du Golfe de Gascogne	juillet	libre	87	25
99/09	RA, RH	Nantes	D. Buestel, D. Coves, J.C. Dao, H. Farrugio, D. Lacroix, J.P. Lagardère, C. Mellon, G. Véron	Second rapport d'étape du groupe de réflexion sur les aménagements physiques en zone côtière et leur gestion pour l'aquaculture et la pêche	fév	restreinte	60	
99/10	RH	Sète	J.B. Perodou, J. Andrianavaly	Puissance de pêche et relations avec les caractéristiques techniques des navires. Exemple de flottilles pratiquant le chalut en Méditerranée	juin	libre	56 + an.	
99/11	RA	Martinique	L. Gardes, P. Villanove, V. Buchet, C. Fauvel	L'induction hormonale de la ponte à l'aide de la LH-RH chez l'ombrine <i>Sciaenops ocellatus</i>	juillet	libre		
99/12	RA-DEL	La Tremblade	N. Faury, D. Razet, P. Soletchnik, P. Gouilletquer, J. Ratiskol, J. Garnier	Hydrologie du bassin de Marennes-Oléron. Analyse de la base de données RAZLEC, 1977-1995	juillet	libre	52	