

F950-PRO.E  
CLR 780

DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES

MEMOIRE

IFREMER  
BIBLIOTHEQUE  
LA TREMBLADE

Présenté par

F950-PRO.E

39285

780

Jean PROU

Pour obtenir le grade de Cadre de Recherche IFREMER

EVOLUTION TEMPORELLE DE LA COMPOSITION  
DE LA COLONNE D'EAU  
PENDANT UN CYCLE VIVES EAUX - MORTES EAUX



Décembre 1991

## Avant - propos

Je remercie Maurice Héral, chef du laboratoire, pour ses multiples aides, en particulier, pour toutes les connaissances et l'expérience dont il a su me faire profiter, mais surtout, aussi, pour sa capacité à encourager et stimuler sans relâche.

Je voudrais plus particulièrement remercier Cedric Bacher pour sa présence lors de ces derniers mois. Ses compétences et son aide me furent un soutien inestimable. Je le remercie aussi pour m'avoir aidé à partager son amour des lettres grecques (majuscules et minuscules).

Enfin, un grand merci au service bibliothèque du Centre de Nantes, et plus particulièrement à Annick Radenac, si prompte à devancer ma soif de bibliographie.

Qu'est-ce qu'un baromètre qui tient compte du "variable", comme si le temps pouvait être incertain ? Le temps est certain : déjà l'homme que je serai prend à la gorge l'homme que je suis, mais l'homme que j'ai été me laisse en paix.

André BRETON

*Lettre aux voyantes*, 1925

# Table des matières

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>PROTOCOLE D'EXPERIENCE</b> .....	<b>3</b>
<b>ETUDE DE LA VARIABILITE DU CYCLE</b> .....	<b>6</b>
LA HAUTEUR D'EAU .....	6
LA VITESSE DU COURANT .....	8
EFFET DU VENT SUR LA VITESSE DU COURANT .....	10
LA TEMPERATURE .....	11
LES MATIERES EN SUSPENSION .....	12
LA FLUORIMETRIE .....	16
<b>L'ETUDE DE LA VARIABILITE SEMI-DIURNE</b> .....	<b>19</b>
LA VITESSE DU COURANT .....	19
RELATION HAUTEUR D'EAU - VITESSE DU COURANT .....	19
LA TEMPERATURE .....	21
LA REMISE EN SUSPENSION .....	22
INTERACTION DES DESCRIPTEURS .....	25
MODELISATION DES ECHANGES VERTICAUX .....	
ET DU TRANSPORT HORIZONTAL .....	27
<b>STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE</b> .....	<b>30</b>
STRATEGIE DE TYPE R.N.O. ....	30
STRATEGIE MIXTE : L'EVOLUTION SAISONNIERE .....	
ET LE CYCLE SEMI-DIURNE .....	30
STRATEGIE D'APPROCHE DU CYCLE VIVES EAUX MORTES EAUX ..	31
ELIMINATION DE LA VARIABILITE SEMI-DIURNE .....	32
ELIMINATION DU CYCLE VIVES EAUX MORTES EAUX .....	34
LES CONTRAINTES DES MODELES .....	34
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>35</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>37</b>

## INTRODUCTION

Premier bassin ostréicole français, Marennes-Oléron est un écosystème complexe dont la compréhension nécessite la mise en place d'études multidisciplinaires intégrées.

L'IFREMER y développe depuis 1985 un programme de recherche axé sur la connaissance des écosystèmes aquacoles. L'Unité de Recherche des Ecosystèmes Aquacoles (DRV/RA/UREA), basée à La Tremblade est le principal support de ce programme.

Un Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS Charente) constitué en 1989 a vocation d'inciter les recherches sur l'influence de la Charente, principale source d'apports terrigènes à l'écosystème. Ainsi, la quantification des débits d'eau douce, source de nitrates, permet de définir les modalités de la production primaire dans le pertuis d'Antioche.

En 1990, un contrat FAR de la CEE incluant des équipes hollandaises, espagnoles et anglaises, a pour objectif de développer l'étude sur les échanges verticaux de la colonne d'eau (érosion - sédimentation), importants dans le recyclage des nutriments disponibles pour les huîtres. Un volet écophysio-physiologique, déjà entamé en 1988, permet d'affiner les connaissances sur le comportement de l'huître dans son milieu naturel. Conjointement, des expériences *in vitro*, doivent dégager des lois qui seront utilisées ultérieurement lors de la conception du nouveau modèle biologique.

Enfin, le bassin de Marennes-Oléron, cadre du programme, a été choisi aussi comme point d'appui du Programme National d'Océanographie Côtière pour la façade atlantique. L'influence des apports de la Gironde dans le bassin de Marennes-Oléron est un des objectifs de ce programme.

Les premières approches effectuées par Héral de 1976 à 1983 s'attachèrent à décrire les variations biotiques et trophiques de la colonne d'eau dans le temps et dans l'espace. De nombreuses campagnes de prélèvements mirent en évidence les grandes sources de variabilité temporelle et spatiale de l'écosystème, et la classification hiérarchique des descripteurs (Héral *et al.*, 1986). Des suivis d'élevages expérimentaux sur site permirent de dégager les modalités de la croissance de l'huître *Crassostrea gigas* (Deslous-Paoli, 1982) et de la palourde *Ruditapes philippinarum* (Gouletquer, 1987 ; Daou *et al.*, 1988) en fonction des paramètres du milieu. Les principales fonctions du métabolisme de ces espèces furent aussi déterminées à partir d'expériences d'écophysio-physiologie *in vitro* (Deslous-Paoli *et al.*, 1987). Dans le même temps, une analyse historique de la production d'huîtres permit de décrire les patrons principaux de la dynamique de population du stock (Héral *et al.*, 1985). La surcharge du bassin fut ainsi démontrée et conduisit à développer l'étude de la capacité trophique de l'écosystème dans un but d'aménagement.

Un modèle économique (Bailly, 1989) et une étude ethnologique (Legué Dupont, 1990) sont venus compléter les connaissances sur la gestion du stock. L'étude des pratiques culturelles, de la structure des exploitations ostréicoles et de leur rentabilité fut un élément important dans la compréhension des mécanismes d'évolution du stock et de la production.

A partir d'un modèle numérique de courantologie élaboré par le L.C.H.F., Bacher (1989) modélise les transports de matière particulaire dans le bassin. Le principe d'un modèle en boîte a permis le couplage du modèle précédent et d'un modèle de croissance de l'huître. Cette première approche est poursuivie par Raillard (1991). Le modèle de production est affiné par la conception d'un modèle de croissance phytoplanctonique. Enfin, les échanges verticaux sont abordés par une formulation mathématique de la dynamique du transport de particules dans la colonne d'eau. L'influence du vent est prise en compte. La validation et la calibration de ces modèles nécessitent des séries temporelles sur les descripteurs modélisés. Bacher (1989) utilise celles acquises par Héral en 1979 et 1980. Les stratégies d'échantillonnage, développées alors, visaient à décrire l'évolution et la variabilité d'un descripteur sur des échelles d'observation de l'ordre de l'année. La discrétisation forcée nécessite l'interpolation de valeurs aux échelles d'observation plus fines pour l'intégration dans le modèle. Dans le cadre du développement des modèles sur Marennes-Oléron, l'augmentation de l'emprise spatiale permet de mieux définir les conditions aux limites. Conjointement, la forte variabilité des échanges verticaux à l'échelle du cycle vives eaux - mortes eaux (VE-ME) et du cycle semi-diurne haute mer - basse mer entraîne un effort de recherche dans sa description mais aussi dans son impact sur les relations trophiques.

La nécessité d'un pas d'échantillonnage assez court sur une durée de plusieurs semaines, décida le laboratoire à s'équiper en système d'acquisition de données en continu. Le développement de l'électronique permit conjointement l'acquisition de capteurs appropriés. La seule limite à l'échelle d'observation devient la fatigue humaine et les contraintes liées à la séquestration volontaire d'une équipe de trois personnes au bout d'un embarcadère pendant trois semaines.

Le développement de stations fixes automatisées et de capteurs performants (programme RAVEL) doivent permettre d'allier des pas d'échantillonnage courts sur une durée plus longue.

Ainsi, en 1988 et 1990, des expériences *in situ* d'écophysiologie visent à décrire le comportement d'un lot d'huîtres soumis aux variations du milieu. L'objectif de ces expériences est de dégager, à partir de deux descripteurs, la néphélométrie et la fluorimétrie, les modalités de la consommation et de la filtration du lot d'individus. Ces expériences permettent aussi d'établir une série temporelle précise de l'évolution des descripteurs à deux échelles d'observation : le cycle VE -ME et le cycle semi-diurne. L'interaction des descripteurs à chaque échelle est décrite. Un troisième chapitre met en évidence l'apport de l'acquisition en continu dans l'élaboration des stratégies d'échantillonnage en milieu estuarien.

## PROTOCOLE D'EXPERIENCE

La néphélogétrie par sa relation immédiate à la mesure des matières en suspension est un facteur primordial de la variabilité de l'écosystème. Facteur limitant de la production primaire (Ravail et *al.*, 1987) et de la consommation des mollusques pour les fortes charges, les matières en suspension liées spatialement et temporellement à l'hydrodynamisme sont aussi un des vecteurs principaux de la capacité trophique de l'écosystème. Dans cette optique, la modélisation des processus d'érosion et de sédimentation dans le bassin de Marennes-Oléron est engagée depuis 1988.

La fluorescence *in vivo* par sa relation avec l'estimation de la biomasse phytoplanctonique est un des facteurs permettant de mettre en évidence les relations trophiques entre l'huître et son biotope. De nombreux auteurs ont décrit son évolution aussi bien temporelle que spatiale dans les zones côtières où l'utilisation de traitements statistiques appropriés permet de dégager des phénomènes jusque là invisibles par les techniques d'échantillonnage classiques (Platt, 1972).

Ces deux descripteurs ont été choisis pour l'expérience qui s'est déroulée du 25 Avril 1990 au 9 Mai 1990. Ils seront utilisés avant tout dans cette étude pour qualifier et dans une certaine mesure quantifier les évolutions temporelles observées dans un écosystème de type macrotidal.

Le site de prélèvement se situe sur la commune de Bourcefranc-Le Chapus, à l'extrémité de l'ancien embarcadère. Choisi par Héral et *al.* (1985) comme central et représentatif des eaux baignant le secteur ostréicole, il se situe sur le bord Est du chenal principal parcourant du Nord au Sud le bassin de Marennes-Oléron. Du point de prélèvement à la côte, de larges estrans vaso-sableux permettent la culture de l'huître *Crassostrea gigas*.

L'eau de mer est pompée à 1 mètre du fond pour approcher les conditions réalistes de culture des huîtres et alimente un race-way de 2 x 0.60 mètres contenant 50 huîtres.

La néphélogétrie et la fluorimétrie sont mesurées à l'entrée et à la sortie du race-way afin de quantifier la consommation du lot d'individus. Les données acquises toutes les 3 secondes sont moyennées sur 1 minute et stockées sur mémoire morte. Tous les jours, les données sont vidées sur un micro-ordinateur.

Une sonde SUBER immergée à la même profondeur permet l'acquisition de mesures de température, salinité et pression. Le pas d'acquisition a été programmé à 10 minutes. Une autre sonde SUBER est placée en surface.

Un houlographe programmé pour une acquisition toutes les 15 minutes permet la mesure des caractéristiques de la houle. Le régime météorologique calme ne mit pas en évidence de houle pendant la durée de l'expérience.

Un courantomètre VALPORT BFM 108 a enregistré des données de vitesse et de direction du courant (fréquence d'acquisition : 1 minute; moyenne sur 12 mesures).

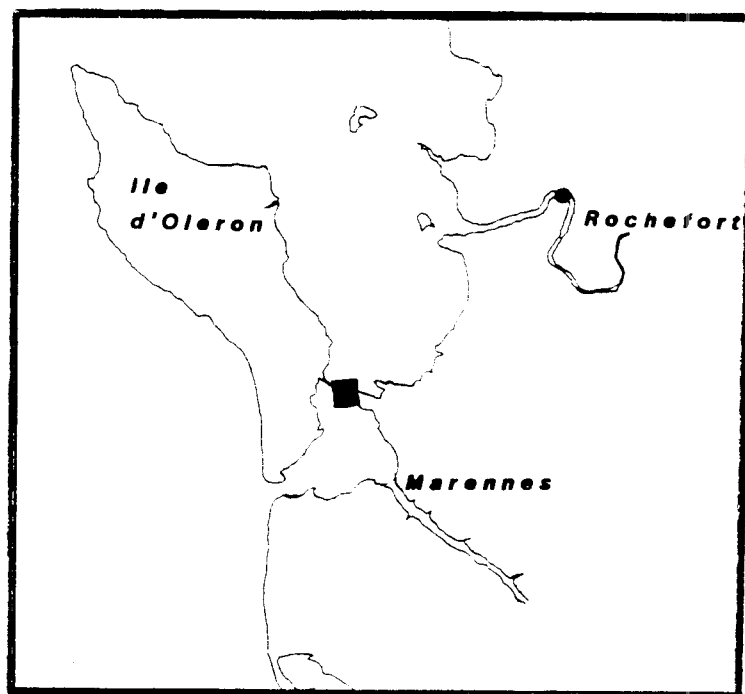
Chaque jour, toutes les deux heures de 9 heures à 19 heures des prélèvements discrets d'eau sont effectués en vue de la calibration des appareils (turbidimètres et fluorimètres).

La détermination des matières en suspension particulaires (M.E.S.), matières inorganiques particulaires (M.I.P.) et matières organiques particulaires (M.O.P) est assurée par filtration de 250 ml d'eau, puis après séchage, par pesée des filtres, avant et après crémation à 450°C.

50 ml d'eau filtrée sont nécessaires, après extraction à l'acétone (90°) à déterminer par fluorimétrie, les concentrations en chlorophylle a, phéopigments, et leur somme (C+P) valeur représentative de la mesure de la fluorescence *in vivo*.

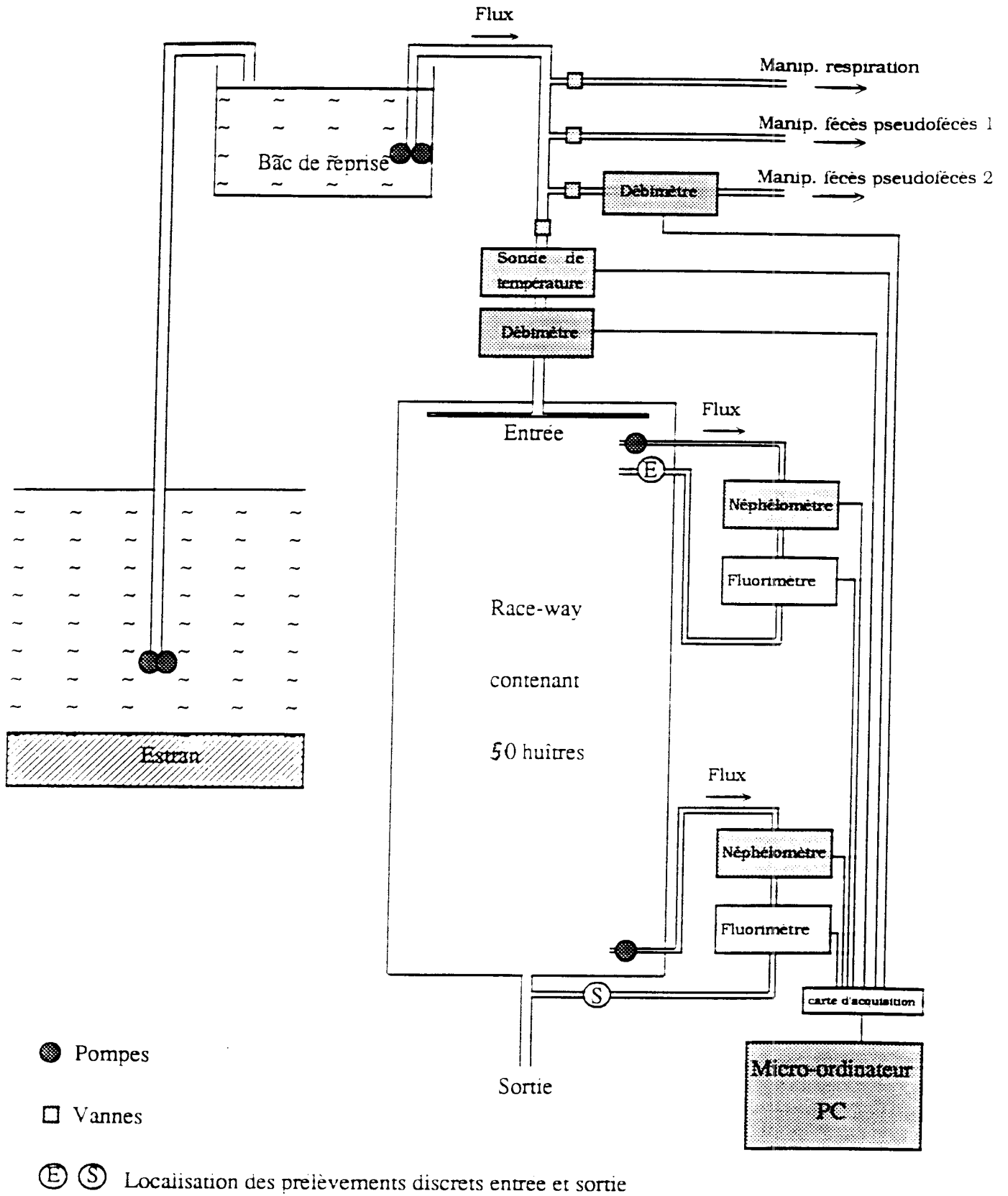
Les méthodes précises d'analyse sont décrites par Héral et *al.* (1984).

Les fréquences d'acquisition sont variables suivant les descripteurs. C'est pourquoi les séries de fluorescence et turbidité, enregistrées toutes les minutes, furent filtrées à l'aide d'une moyenne mobile d'ordre 4 puis sous-échantillonnées toutes les dix minutes. Ce sous-échantillonnage est justifié car le traitement des données nécessite un pas d'échantillonnage égal pour tous les descripteurs. Les sondes SUBER de mémoire morte restreinte ont contraint à une mesure ponctuelle toutes les dix minutes. Pourtant, les mesures acquises ont montré ponctuellement (fin du courant de flot) dans le cycle de marée une variation cyclique de période proche de 15 minutes. Le pas d'échantillonnage choisi ne permet donc pas d'étudier cette variabilité (fréquence de Nyquist =  $1/20 = 3$  cycles/heure).



Situation du point de prélèvement





Schema du protocole expérimental.

## ETUDE DE LA VARIABILITE DU CYCLE

### VIVES EAUX - MORTES EAUX

#### LA HAUTEUR D'EAU

La figure 1 montre l'évolution de la hauteur d'eau au point de prélèvement. L'influence des cycles vives eaux - mortes eaux et haute mer - basse mer est très nettement marquée. Le marnage est de 5.50 mètres en vives eaux et de 3 mètres en mortes eaux. Une analyse du signal est effectuée pour mettre en évidence les principales composantes harmoniques de l'onde de marée. Le modèle utilisé est le même que celui du S.H.O.M pour l'établissement des tables de marées :

$$H(t) = Z_o + \sum \sum A_{ij} \cdot \cos (V_{ij} - G_{ij})$$

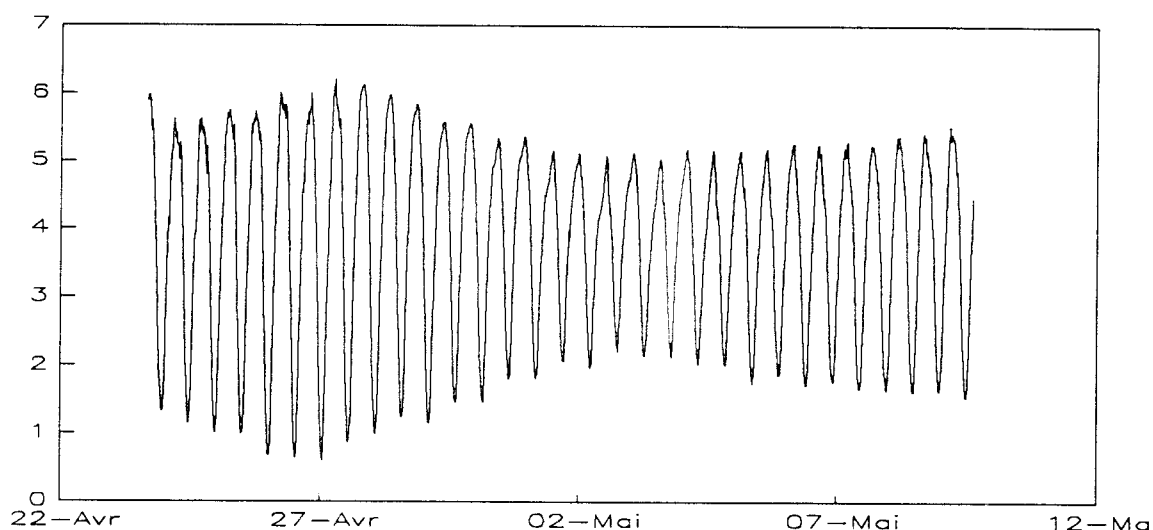


Figure 1 : Evolution de la hauteur d'eau (m) au Chapus du 23 Avril au 10 Mai 1990

$A_{ij}$  et  $G_{ij}$  sont respectivement l'amplitude et la phase de chaque harmonique.

$V_{ij}$  est l'argument astronomique lié au temps t. Le détail de son calcul est présenté dans la Table des Marées des Grands Ports du Monde (EPSHOM).

L'indice i se rapporte à la nature de l'onde

L'indice j se rapporte à sa période

j=0 ondes annuelles

j=1 ondes diurnes

j=2 ondes semi-diurnes

j=4 ondes quart-diurnes

~~Le détail du calcul de  $V_{ij}$  est présenté en annexe 1.~~

L'estimation des paramètres est effectuée par régression non linéaire. Le critère des moindres carrés a été optimisé par la méthode du simplex développé par Schnute (1982).

La hauteur moyenne,  $Z_0$ , est estimée à 3.805 mètres

Les résultats sont présentés dans le tableau 1.

Les données observées sont proches de celles fournies par l'EPSHOM de Brest. On remarque la forte influence de l'onde M2 semi-diurne lunaire d'amplitude 1.61 m correspondant à 85% de l'énergie de la marée. Par ordre d'importance, les ondes semi-diurnes sont les plus représentatives (S2, N2).

Les moyennes des hauteurs d'eau par cycle de marée (12h30) sont effectuées et présentées à la figure 2. Contrairement à ce que décrit Uncles (1986), aucune relation nette avec le marnage n'a été observée.

		VITESSE N-S		HAUTEUR		HAUTEUR SHOM	
ONDE	PERIODE	AMP	PHASE	AMP	PHASE	AMP	PHASE
<b>M2</b>	12.42	0.5123	340.33	1.6141	147.48	1.6700	130.70
<b>S2</b>	12.00	0.2061	1.19	0.4155	175.57	0.5990	164.80
<b>O1</b>	25.82	0.0095	7.37	0.0623	82.80	0.0700	71.50
<b>K1</b>	23.93	0.0033	302.78	0.0488	16.23	0.0550	11.30
<b>N2</b>	12.66	0.1420	258.44	0.4046	123.22	0.3620	113.70
<b>M4</b>	6.21	0.2068	348.41	0.2323	109.49	0.2260	83.20
<b>Mn4</b>	6.27	0.1728	221.27	0.1570	68.14	0.1130	23.20
<b>Ms4</b>	6.10	0.0748	87.48	0.1260	169.85	0.1140	168.10
<b>K2</b>	11.97	0.0557	312.32	0.1123	265.94	0.1630	167.50

Tableau 1 : Valeurs estimées de l'amplitude (AMP) et de la phase (en °C) des harmoniques de la hauteur d'eau et de la vitesse du courant au Chapus du 23 Avril au 10 Mai 1990

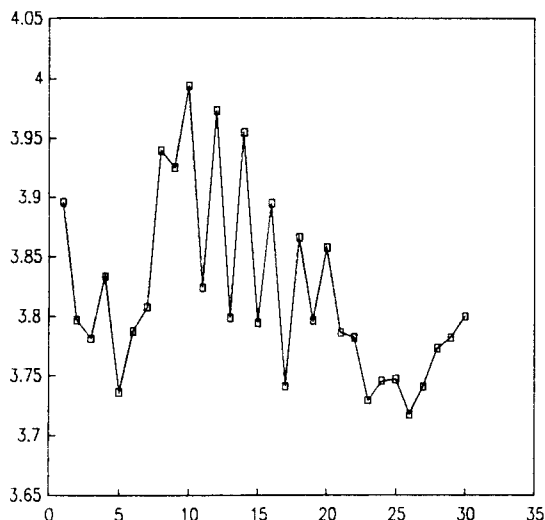


Figure 2 : Evolution de la moyenne des hauteurs d'eau (m) sur des cycles de marée de 12h30

Le rapport des amplitudes diurnes et semi-diurnes  $(O1+K1)/(M2+S2)$  détermine le type de marée. La valeur de 0.054 trouvée est largement inférieure au seuil de 0.25, établie par le S.H.O.M., pour lequel la marée est semi-diurne présentant deux hautes mer et deux basses mer par jour, avec des hauteurs à peu près égales. L'inégalité entre les deux marées d'une même journée est mise en évidence pendant les marées de déchet (fig.2) où les écarts de hauteur d'eau moyenne atteignent 0.18 m dans la même journée.

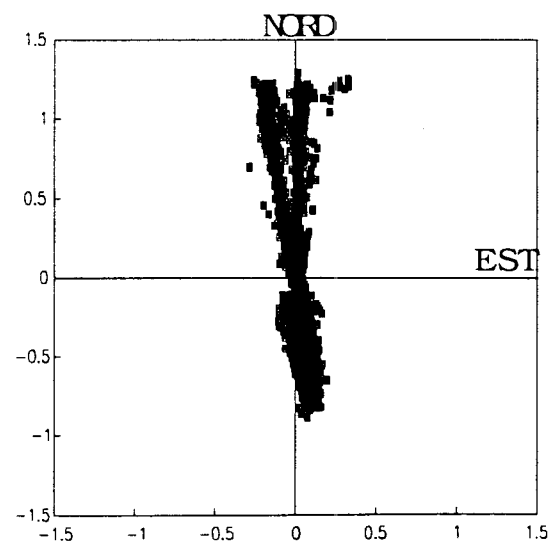
## LA VITESSE DU COURANT

Le vecteur vitesse brut est décomposé sur le grand axe de l'ellipse des courants orienté à  $351^\circ$  (axe N-S) et sur l'axe orthogonal à  $81^\circ$  (axe E-W). L'axe principal correspond à l'orientation du chenal passant au point de prélèvement (fig. 3).

La figure 4 montre l'évolution temporelle des vitesses de courant projetées sur l'axe principal. L'influence du cycle lunaire semi-diurne y est très marquée et indique la direction principale de l'incursion de marée au point de prélèvement. Les vitesses maximales de courant de jusant atteignent  $1 \text{ m.s}^{-1}$  et ne montrent pas d'influence du cycle VE-ME. Les courants de flot (dirigés vers le sud et négatifs sur la projection) montrent un effet marqué du cycle VE-ME. En vives eaux, au début de l'expérience, les vitesses sont de l'ordre de  $0.90 \text{ m.s}^{-1}$  pour n'atteindre que  $0.60 \text{ m.s}^{-1}$  en mortes eaux. La figure 5 visualise la deuxième composante du vecteur vitesse orientée Est-Ouest. Les valeurs très faibles rencontrées ( $5 \text{ cm.s}^{-1}$ ) ne feront pas l'objet de traitement particulier.

En calculant les vitesses moyennes de courant porté au sud et porté au nord (fig.6), on note l'évolution contraire de ces vitesses moyennes pendant la durée de l'expérience. Lors du cycle, les vitesses moyennes de courant porté au sud (principalement flot) évoluent de  $0.65 \text{ m.s}^{-1}$  en vives eaux à  $0.25 \text{ m.s}^{-1}$  en mortes eaux. Les courants portés au nord (principalement jusant) montrent des valeurs minimales de  $0.30 \text{ m.s}^{-1}$  en vives eaux et des valeurs maximales de  $0.65 \text{ m.s}^{-1}$  en mortes eaux.

Figure 3 : Composantes Nord-Sud (Y) et Est-Ouest (X) de la vitesse du courant (m/s) du 23 Avril au 12 Mai 1990 au Chapus



Afin de visualiser l'évolution des vitesses dans le cycle VE-ME, une moyenne des vitesses sur 12h30 a été effectuée sur la série. Les résultats sont présentés à la figure 7. On observe une résiduelle vers le sud en marées de VE. En marées de mortes eaux, la résiduelle des courants est nulle. Cette tendance générale vient confirmer les travaux du L.C.H.F montrant le trajet des masses d'eau vers le sud du bassin. En mortes eaux, la masse d'eau oscille autour du Chapus. La figure 7 montre l'influence du marnage sur les valeurs de courant résiduel. Une relation linéaire simple en est déduite :

$$V_{ns\_res} = -0.07 \text{ Mar} + 0.24 \quad R^2=0.82 \quad df=28$$

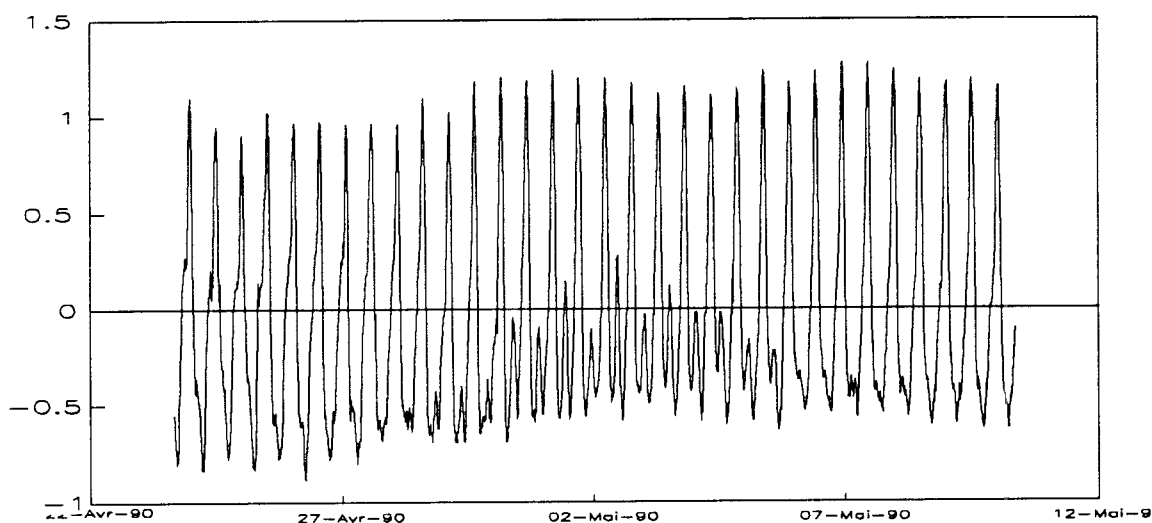


Figure 4 : Evolution de la composante Nord-Sud de la vitesse du courant (m/s) au Chapus du 23 Avril au 10 Mai 1990

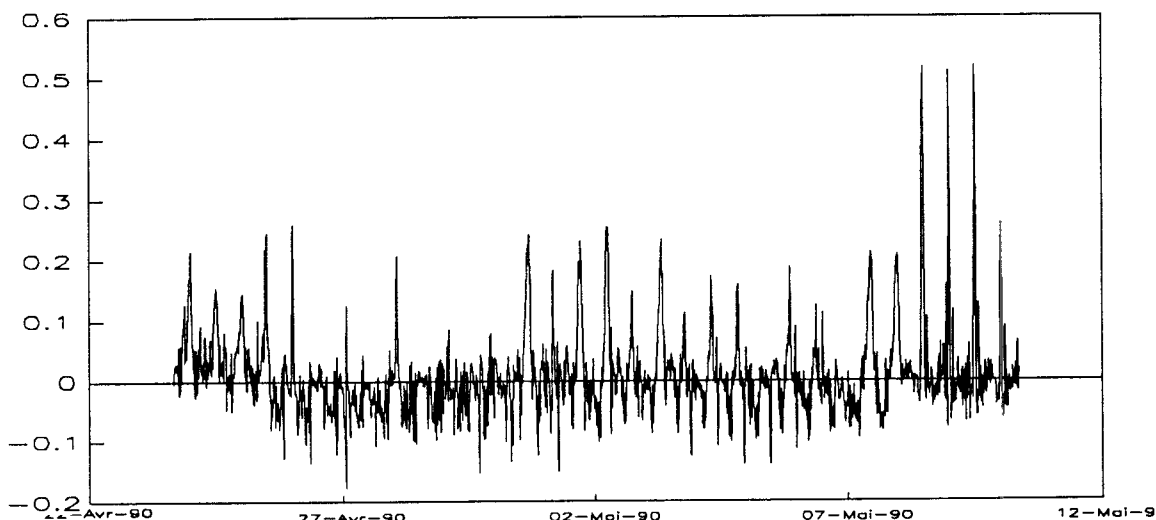


Figure 5 : Evolution de la composante Est-Ouest de de la vitesse du courant (m/s) au Chapus du 23 Avril au 10 Mai 1990

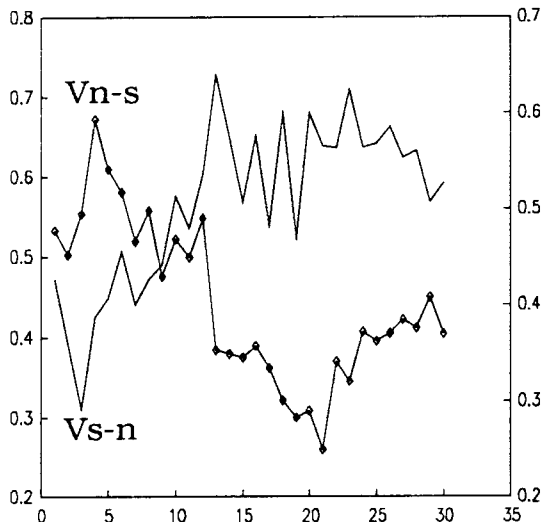


Figure 6 : Moyenne des courants (m/s) Nord-Sud (flot) et Sud-Nord (jusant) par cycle de marée de 12h30

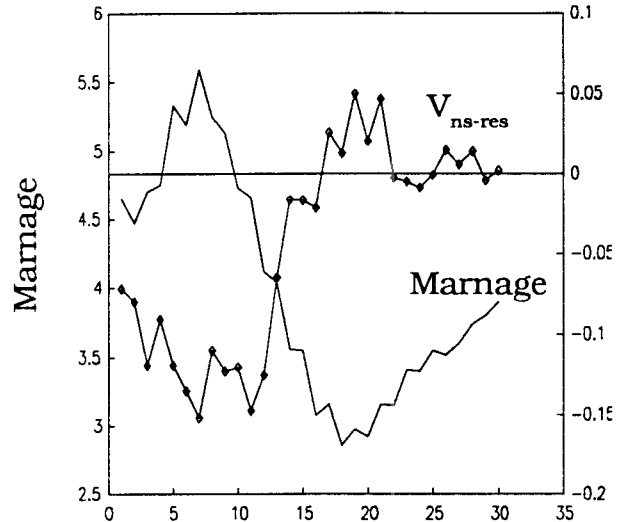


Figure 7 : Résiduelle des courants (m/s) Nord-Sud et marnage (m) par cycle de marée de 12h30

### EFFET DU VENT SUR LA VITESSE DU COURANT

La vitesse et la direction du vent ont été enregistrées toutes les 90 minutes pendant la durée de l'expérience. La rose des vents est représentée à la figure 9. La vitesse du vent est en général inférieure à  $5 \text{ m.s}^{-1}$ . Des vents supérieurs à  $6 \text{ m.s}^{-1}$  apparaissent du 28/04 au 1/05 atteignant  $10 \text{ m.s}^{-1}$  le 29/04.

A partir du vecteur vent  $\mathbf{W}$ , les vecteurs  $\mathbf{W}_{ns} |\mathbf{W}|$  et  $\mathbf{W}_{ew} |\mathbf{W}|$  sont définis correspondant aux composantes Nord-Sud et Est-Ouest du vent quadratique.

La dépendance très forte du courant NS envers le marnage tend à masquer d'autres phénomènes. Uncles (1986) propose de filtrer le vecteur résiduel de courant NS au moyen de la relation le liant au marnage. La figure 8 montre l'effet du vent quadratique sur la résiduelle filtrée. Le vent fort du nord du 29 Avril voit son effet accentuer le courant résiduel vers le sud. On établit la relation :

$$V_{ns_{res-mar}} = 0.00122 \cdot \mathbf{W}_{ns} |\mathbf{W}| + 0.006612 \quad R^2=0.44 \quad df=28$$

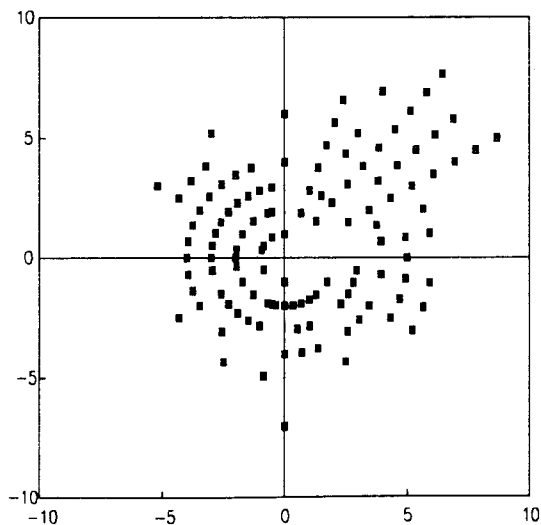


Figure 9 : Composantes Nord-Sud (Y) et Est-Ouest (X) de la vitesse du vent (m/s) du 23 Avril au 12 Mai 1990 au Chapus

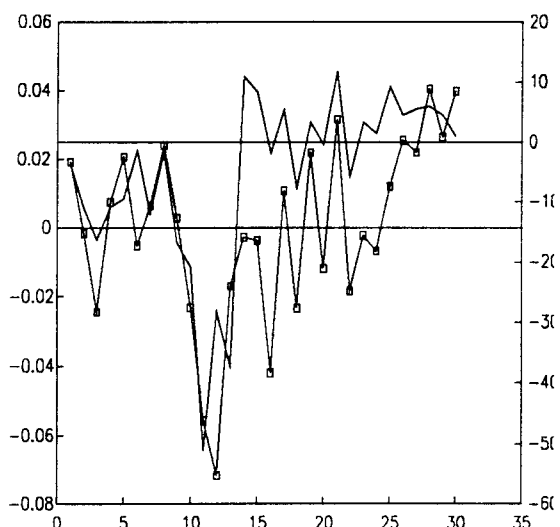


Figure 8 : Résiduelle des courants (m/s) Nord-Sud filtrée par le marnage et moyenne du vent quadratique par cycle de marée de 12h30

## LA TEMPERATURE

Les figures 10 et 11 montrent l'évolution de la température au fond et en surface pendant la durée de l'expérience. Une tendance générale met en évidence une augmentation très nette des températures du 25 Avril (12°C) jusqu'au 7 Mai (18°C). En fin d'expérience la température chute jusqu'à 17°C le 9 Mai. A première vue, les deux courbes indiquent une grande homogénéité de la colonne d'eau, le signal de surface présentant malgré tout une variabilité plus grande que celui de fond.

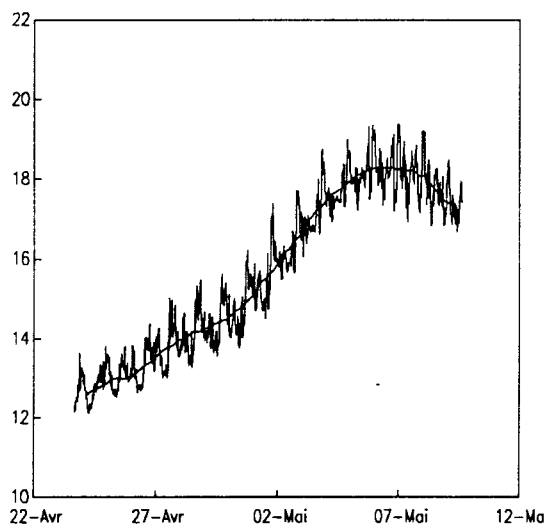


Figure 10 : Evolution de la température au fond (°C) et tendance au Chapus du 23 Avril au 10 Mai 1990

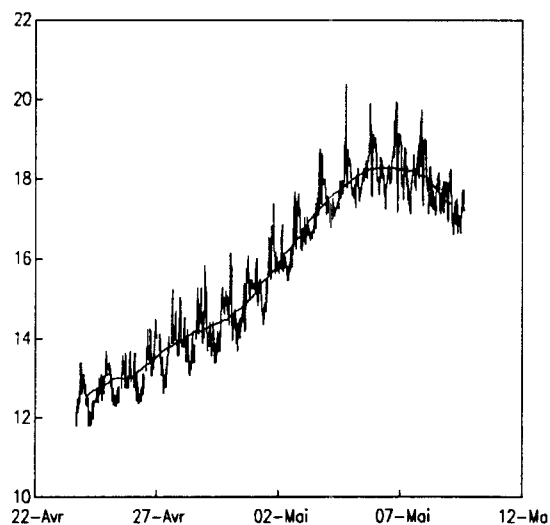


Figure 11 : Evolution de la température en surface (°C) et tendance au Chapus du 23 Avril au 10 Mai 1990

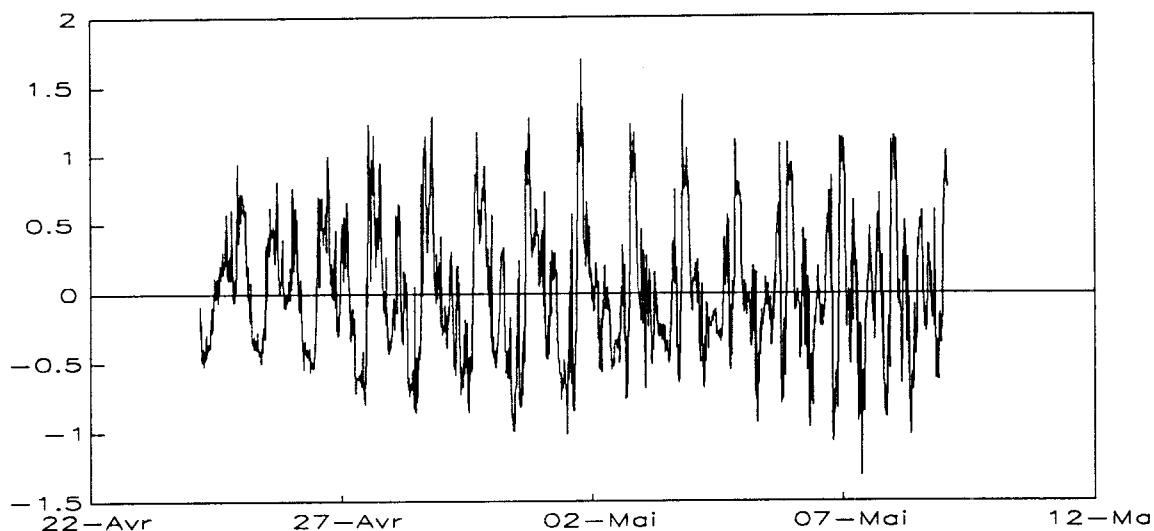


Figure 12 : Evolution de la température de fond détendancée (°C) au Chapus du 23 Avril au 10 Mai 1990

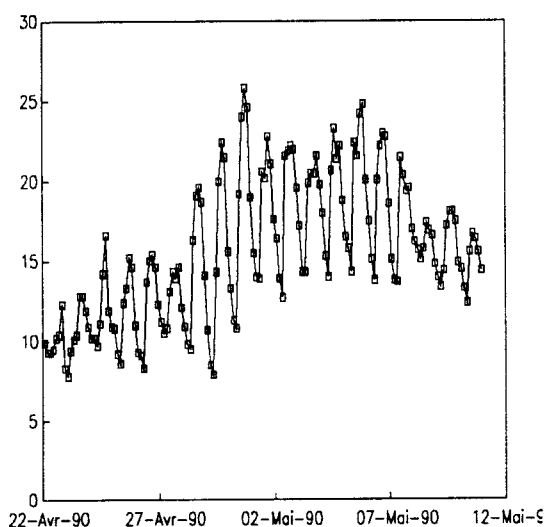


Figure 13 : Evolution de la température de l'air (°C) à La Rochelle du 22 Avril au 12 Mai 1990 (données Météo-France)

L'évolution de la température de l'air est présentée à la figure 13 et montre la même tendance que celle de l'eau. A l'évidence, les faibles hauteurs d'eau rencontrées dans le bassin induisent une forte dépendance des températures de l'eau et de celles de l'air, au moins à l'échelle du cycle VE-ME.

Les séries de températures d'eau sont filtrées par une moyenne mobile d'ordre 74 (12h30) et la tendance est extraite de la série. La série détendancée de température du fond (fig. 12) montre une variation cyclique de période 25 heures correspondant à deux cycles de marée. L'examen ultérieur des cycles de marée permettra de mettre en évidence ce phénomène alliant la variabilité circadienne des températures de l'air et la variabilité semi-diurne des hauteurs d'eau.

## LES MATIERES EN SUSPENSION

Les signaux issus du néphélomètre sont des voltages qu'il convient de transformer en valeurs biologiquement significatives. A cet effet, l'échantillon-



nage de 250 ml d'eau de mer tous les jours et toutes les deux heures de 9h à 19h, permet d'obtenir une relation entre le signal de sortie et la concentration en matières en suspension dans l'eau. L'analyse des prélèvements permet aussi de mesurer la partie inorganique (MIP) et la partie organique des matières en suspension (MOP).

Trois régressions linéaires sont effectuées et servent à transformer le signal brut en unités pondérales (g.l<sup>-1</sup>).

$$\text{M.E.S (g.l}^{-1}\text{)} = 0.000203 \text{ Neph} - 0.00428 \quad R^2 = 0.86$$

$$\text{M.I.P (g.l}^{-1}\text{)} = 0.000186 \text{ Neph} - 0.00646 \quad R^2=0.86$$

$$\text{M.O.P (g.l}^{-1}\text{)} = 0.000017 \text{ Neph} - 0.00217 \quad R^2=0.76$$

Les coefficients de corrélation avec 47 degrés de liberté sont tous significatifs au seuil de 99%.

L'évolution de la concentration en matières particulaires est présentée à la figure 16. Les données ont été transformées en mg.l<sup>-1</sup>. En vives eaux, les concentrations moyennes sont de l'ordre de 100 mg.l<sup>-1</sup> mais présentent une

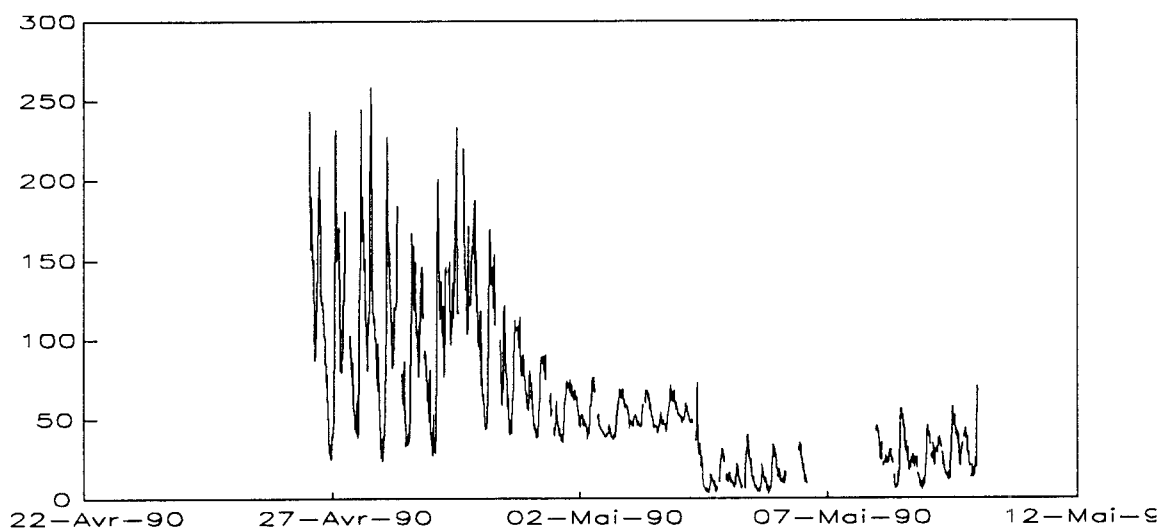


Figure 16 : Evolution des matières en suspension (mg/l) au Chapus du 26 Avril au 10 Mai 1990

grande variabilité liée au cycle semi-diurne. Les valeurs les plus faibles sont de l'ordre de 25 mg.l<sup>-1</sup> et les plus fortes de 250 mg.l<sup>-1</sup>. Les concentrations chutent progressivement jusqu'aux mortes eaux où les concentrations moyennes de 50 mg.l<sup>-1</sup> sont associées à une variabilité moindre qu'en vives eaux. Les valeurs oscillent dans le cycle semi-diurne de 40 à 65 mg.l<sup>-1</sup>. Le 4 Mai, une chute brutale de la concentration voit les valeurs tomber à 15 mg.l<sup>-1</sup>.

La figure 17 représente les moyennes de M.E.S. par cycle de marée. Comme pour les vitesses de courant, une relation liant concentration en M.E.S. (moyenne sur 12h30) et marnage est établie.

$$M.E.S._{res} = 22.44 \cdot Mar - 11.37 \quad R^2 = 0.86 \quad df = 11$$

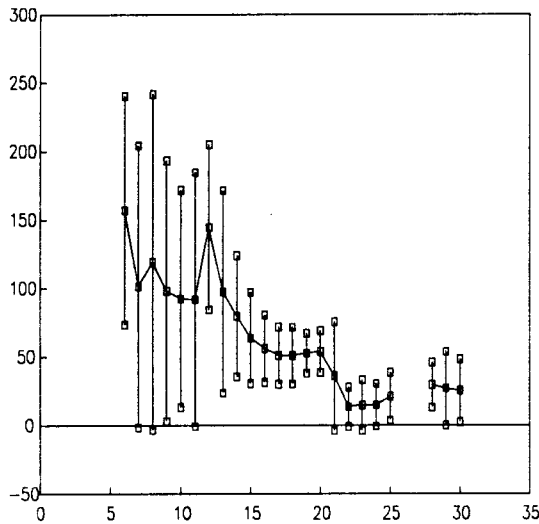


Figure 17 : Evolution des moyennes des M.E.S (mg/l) et intervalle de confiance des échantillons à 95% sur les cycles de 12h30

Cette relation n'est établie que pour les marées de déchet. En effet, il n'existe pas de corrélation entre ces deux variables sur l'ensemble du cycle VE-ME. Postma (1967) note que les sédiments déposés progressivement pendant les marées de déchet ont tendance à se consolider pendant les mortes eaux, période où la remise en suspension des sédiments est faible. Les marées de revif voient un sédiment beaucoup plus difficile à éroder. Ce phénomène expliquerait le décalage observé entre concentration en M.E.S. et marnage. D'après Postma, un décalage de 4 jours entre vitesses moyennes et concentrations moyennes est observé. Ce résultat n'est pas corroboré par les observations : la durée de l'expérience n'ayant pas permis de visualiser l'ensemble d'un cycle VE-ME et surtout, le comportement des M.E.S. sur des marées de revif de même amplitude que celles de déchet.

La chute des concentrations le 4 Mai surprend par sa brutalité. Une première explication relative à une erreur de mesure doit pouvoir être écartée car les valeurs des échantillons discrets mesurés le 4 Mai reproduisent parfaitement cette diminution des concentrations. Une explication plausible réside dans la structure même des matières remises en suspension.

De nombreux auteurs (Postma, 1967 ; Kranck, 1984) ne décrivent les processus d'érosion, sédimentation et transport qu'en liaison avec la distribution de taille des particules. Kranck (1984) décrit des distributions de tailles de particules comme la somme de particules isolées obéissant à la loi de Stokes dans leurs schémas de sédimentation (proportionnel à la taille) et de flocculats dont la sédimentation n'altère pas la forme de la distribution. La sédimentation de telles eaux débute par la sédimentation des particules isolées les plus grosses (Stokes) . Ensuite, une sédimentation très rapide (loi puissance) est observée. Elle correspond à la sédimentation conjointe d'un "front" de flocculation et de particules isolées de même taille que le floc.

Les données observées ne permettent pas de confirmer cette hypothèse. Il faut quand même noter que le 4 Mai se situe en pleine mortes eaux après plusieurs marées d'amplitude faible où les remises en suspension semi-diurnes ont été très atténuées. De plus, la chute de concentration observée intervient aux alentours de midi, heure autour de laquelle les vitesses de courant sont pratiquement nulles (phénomène de double marée) et la hauteur d'eau maximale.

La figure 17 montre aussi la variabilité dans chaque cycle de marée illustrée par l'intervalle de confiance de l'échantillon à 95% placé de part et d'autre de la moyenne. Une relation entre moyenne et variabilité peut être formulée de la manière suivante :

$$\text{Log} [\text{VAR}(\text{M.E.S.}_{\text{res}})] = 1.62 \cdot \text{Log} [\text{M.E.S.}_{\text{res}}] - 0.29$$

$$R^2 = 0.66 \quad \text{df} = 21$$

La moyenne des concentrations est filtrée à l'aide de la relation la liant avec le marnage. De la même manière que pour l'étude des vitesses de courants, l'effet du vent est testé. La figure 18 visualise la relation entre la résiduelle de turbidité filtrée du marnage et les valeurs absolues du vent quadratique résiduel.

$$\text{M.E.S.}_{\text{res-mar}} = 1.1 \cdot |W|^2 - 11.70 \quad R^2 = 0.75 \quad \text{df} = 12$$

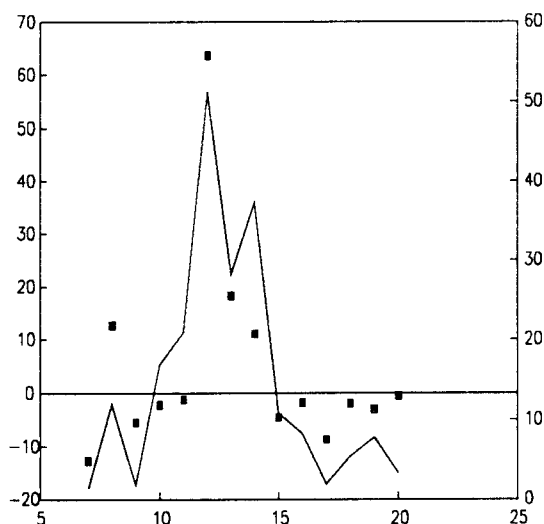


Figure 18 : Evolution de la moyenne des M.E.S. filtrée par le marnage et valeur absolue du vent quadratique sur les cycles de 12h30

L'effet du vent, le 29 Avril, se caractérise par une concentration moyenne plus forte mais par une variabilité plus faible. Plus que sur une augmentation des turbidités maximales pendant le cycle (remise en suspension), le vent, par agitation de la masse d'eau, agit comme un frein sur la sédimentation maintenant les matières en suspension dans la colonne d'eau pendant la durée du cycle.

## LA FLUORIMETRIE

Lorenzen (1966) décrit une relation linéaire entre unités de fluorescence *in vivo* (IVF) et valeurs pondérales de chlorophylle a pour des mesures effectuées en zone côtière où le rapport chlorophylle a / phéopigments est de l'ordre de 8.5.

Dans les zones estuariennes comme celle de Marennes-Oléron, ce rapport s'inverse et semble plus proche de 0.65. Colijn (1981) observe de telles valeurs dans la Wadden See sur des prélèvements effectués au-dessus d'estrans à sédiments fins. Les phéopigments représentent des cellules phytoplanctoniques en voie de dégénérescence, pouvant être dégradées par le grazing des copépodes

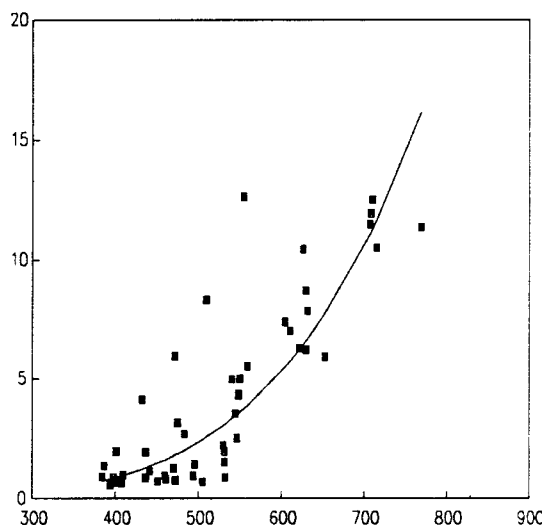


Figure 20 : Etalonnage de la fluorescence par la somme chlorophylle a et phéopigments (ug/l)

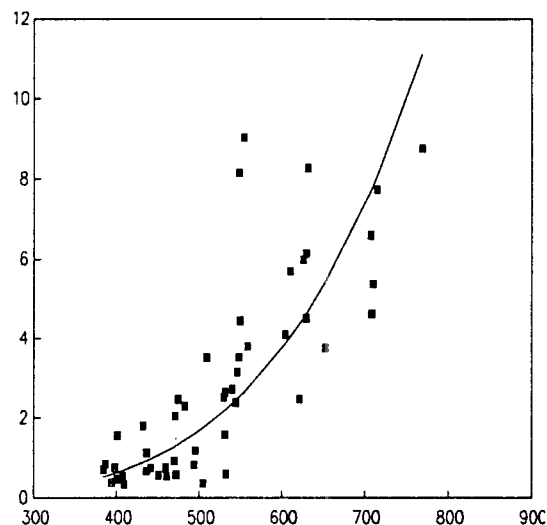


Figure 21 : Etalonnage de la fluorescence par les phéopigments (ug/l)

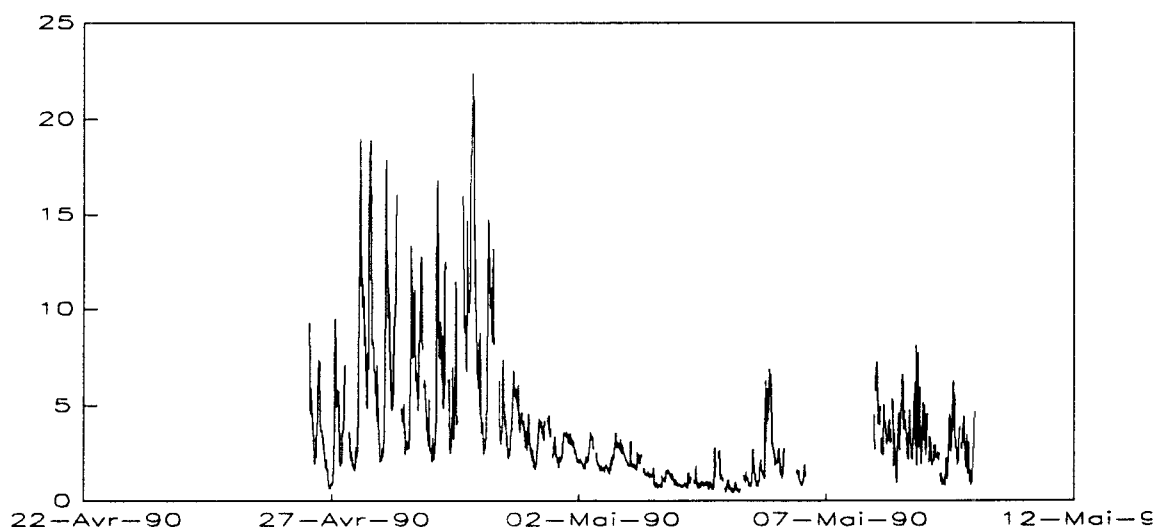
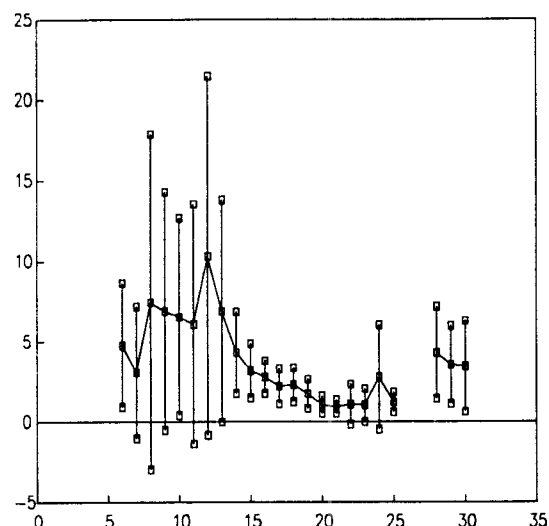


Figure 19 : Evolution des chlorophylles a et phéopigments ( $\mu\text{g/l}$ ) au Chapus du 26 Avril au 10 Mai 1990

Figure 22 : Evolution des moyennes des chlorophylle a et phéopigments ( $\mu\text{g/l}$ ) et intervalle de confiance des échantillons à 95% sur les cycles de 12h30



ou par la filtration des bivalves. L'emprisonnement de ces cellules dans les feces des huîtres, les sédiments fins rencontrés susceptibles d'agir comme piège, peuvent expliquer les fortes concentrations rencontrées dans les phénomènes de remise en suspension.

Lorenzen (1966) propose de relier la fluorescence *in vivo* (IVF) à la somme des concentrations en chlorophylle a et phéopigments. Cette technique, utilisée dans l'étude, est cependant mise en doute par Alpine (1981) qui reconnaît son bien-fondé pour les eaux océaniques ou côtières. Dans les estuaires, les composés solubles fluorescents, les fortes charges particulières et la diversité spatiale et temporelle de la composition des communautés phytoplanctoniques nécessitent de fréquentes calibrations.

L'expérience antérieure de 1988 a déjà clairement montré la difficulté de trouver une relation simple permettant de calibrer le signal de fluorimétrie. A l'évidence, la chlorophylle a ne montre pas de relation simple avec l'IVF. Pour tenir compte de la variabilité des fluorescences observées pour les faibles valeurs de (chl a + phéo) et de phéopigments, une régression linéaire est calculée sur les deux séries de valeurs après transformation logarithmique.

Les figures 20 et 21 visualisent les courbes d'étalonnage d'équations :

$$(\text{Chl a} + \text{Phéo}) = 1.9 \cdot 10^{-12} \cdot \text{IVF}^{4.48} \quad R^2=0.67 \quad \text{df}=47$$

$$\text{Phéo} = 2.4 \cdot 10^{-12} \cdot \text{IVF}^{4.39} \quad R^2=0.67 \quad \text{df}=47$$

Les données d'IVF sont ainsi transformées en unités pondérales ( $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) de (C+P) et leur évolution est présentée à la figure 19.

De fortes valeurs accompagnées d'une forte variabilité semi-diurne (0 à 20  $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) sont enregistrées pendant les marées de vives eaux.

La figure 22 montre aussi la variabilité dans chaque cycle de marée illustrée par l'intervalle de confiance de l'échantillon à 95% placé de part et d'autre de la moyenne. Une relation entre moyenne et variabilité peut être formulée de la

manière suivante :

$$\text{Log [VAR(C+P)_{res}] = 2.54 . Log [(C+P)_{res}] - 1.11}$$
$$R^2 = 0.87 \quad \text{df} = 21$$

Les phénomènes d'hystéresis décrits pour la turbidité sont moins nets. En effet, les marées de revif voient une augmentation plus franche des concentrations en chl a + phéo. Pendant les mortes eaux, Colijn (1981) décrit la sédimentation des cellules phytobenthiques sur le sédiment pouvant former un film de diatomées renforçant sa cohésion (Gouleau, 1973). Cependant, il semble que l'augmentation du marnage après les mortes eaux favorise d'abord la remise en suspension des cellules phytoplanctoniques ou phytobenthiques déposées récemment. La rupture du mucilage phytobenthique nécessite de forts courants et est encouragée par la turbulence provoquée par le vent lors de la reprise des coefficients de vives eaux.

## L'ETUDE DE LA VARIABILITE SEMI-DIURNE

L'étude de la variabilité semi-diurne est abordée par l'étude de deux cycles choisis l'un en vives eaux (27 Avril 1990), l'autre en mortes eaux (2 Mai 1990).

Les figures 23 et 24 illustrent l'évolution des différents descripteurs étudiés sur une période supérieure à un cycle afin de mieux visualiser l'ensemble du cycle semi-diurne.

### LA VITESSE DU COURANT

Speer et al. (1985) décrivent deux types d'asymétrie dans les estuaires. Les chenaux sans estran développent une asymétrie caractérisée par un courant de jusant plus long que celui de flot. A l'inverse, l'addition de larges estrans, induit un flot plus long que le jusant. Cette configuration est observée au point de prélèvement (fig. 23-B et 24-B) et est intimement liée à la topographie du site révélant des chenaux étroits bordés de larges estrans peu profonds. Pendant l'incursion de marée, les estrans jouent un rôle de réservoirs longs à se remplir et prompts à se vider au jusant dans des chenaux d'évacuation où les vitesses de courants sont fortes. L'évolution de la vitesse du courant N-S de la fig 23-B montre aussi un phénomène de «double marée» pendant les mortes eaux. La configuration du bassin présente deux pertuis (Antioche et Maumusson) actifs dans l'incursion et l'excursion de la marée. En vives eaux, la marée entrant par le pertuis d'Antioche plus large gère le mouvement des masses d'eau. En mortes eaux l'influence de l'incursion de marée par Maumusson vient s'opposer au flot du nord provoquant un ralentissement, une annulation voire une courte inversion du courant vers le sud avant l'achèvement du flot.

### RELATION HAUTEUR D'EAU - VITESSE DU COURANT

En prenant en considération les deux cycles choisis l'un en vives eaux (27 Avril - coeff. 99) et l'autre en mortes eaux (2 Mai - coeff. 45), les figures 23-B et 24-B montrent que l'étale de basse mer et de pleine mer (vitesses nulles) ne correspondent pas aux hauteurs minimales et maximales.

Le 27 Avril, en vives eaux, la basse mer précède l'étale de basse mer de 2h10 et la haute mer précède l'étale de haute mer de 3h40.

Le 2 Mai, en mortes eaux, la basse mer précède l'étale de basse mer de 3h10 et la haute mer précède l'étale de haute mer de 3h10.

Choisi dès 1978 comme point central et représentatif des eaux du bassin (Héral, 1983), le site du Chapus a servi de support à de nombreuses études de descripteurs biologiques de la colonne d'eau.

Les points développés concernant la vitesse du courant montrent à l'évidence la complexité des phénomènes régissant l'hydrodynamisme au Chapus. Point de rencontre des incursions de marée d'Antioche et de Maumusson, configuration du bassin en chenaux et larges estrans, déphasage de la vitesse du courant et de la hauteur d'eau indiquent que ce site intègre effectivement d'une manière subtile les grandes tendances de la courantologie du bassin.

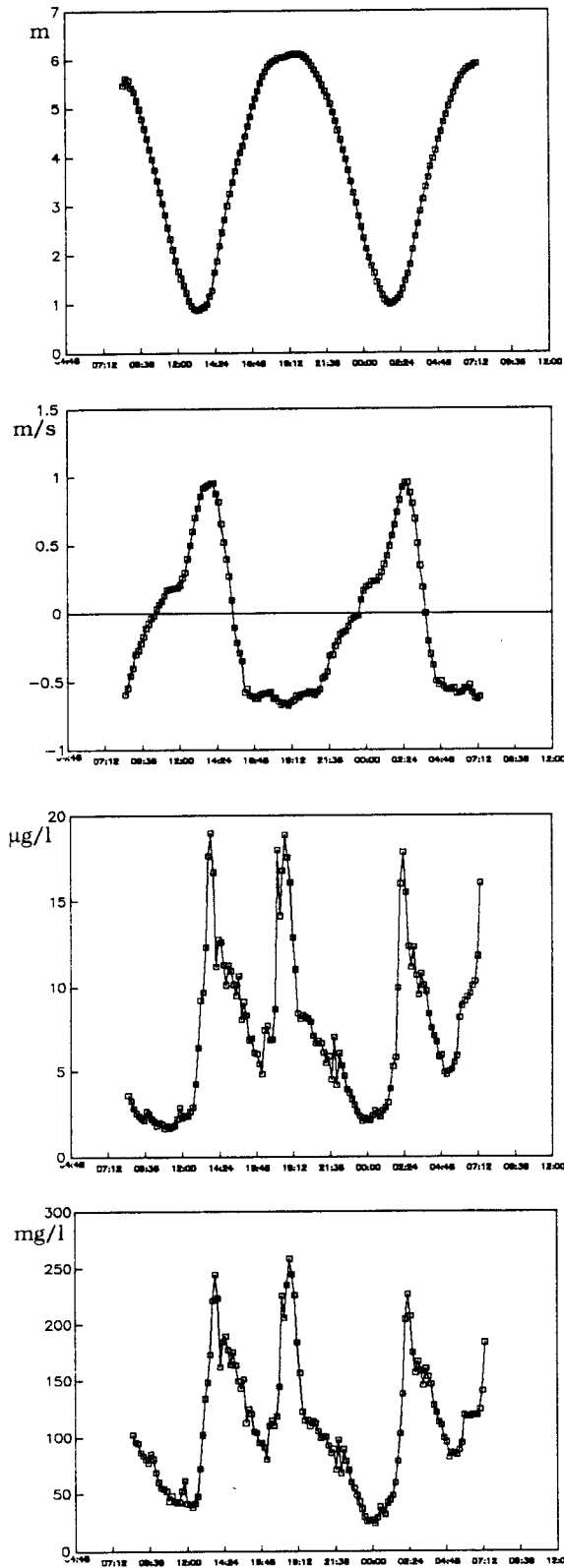


Figure 23 : Evolution de la hauteur d'eau (A) de la composante N-S de la vitesse du courant (B) de la somme Chlorophylle a + Phéopigments (C) et des M.E.S. (D) lors d'une marée de vives-eaux (27 Avril 1990)

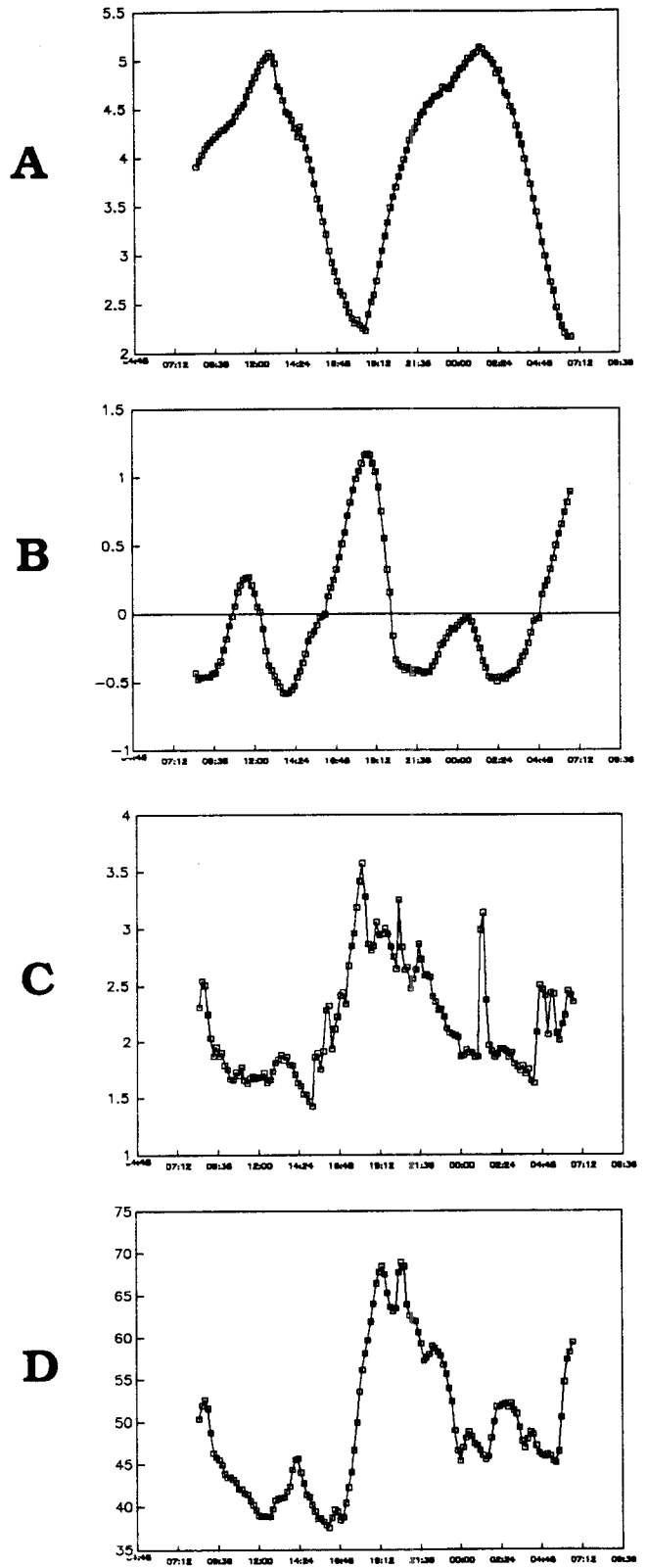


Figure 24 : Evolution de la hauteur d'eau (A) de la composante N-S de la vitesse du courant (B) de la somme Chlorophylle a + Phéopigments (C) et des M.E.S. (D) lors d'une marée de mortes-eaux (02 Mai 1990)



L'interprétation des phénomènes régissant la courantologie au Chapus ne peut être poussée plus en avant sans avoir recours à des modèles développés sur l'ensemble du bassin. Les séries enregistrées au Chapus prennent tout leur intérêt lors de la validation de ces modèles.

## LA TEMPERATURE

Le signal de température détendancé est illustré pour les deux cycles dans la figure 25. On remarquera la dépendance très forte entre l'évolution de la température et celle des turbidités et matériels pigmentaires (fig.23-C et 24-C). Cette liaison est due en grande partie à la localisation sur les estrans plats et peu profonds des phénomènes de remise en suspension. En effet, la température de l'eau est régie par ses échanges avec l'atmosphère mais aussi par ses échanges avec les sédiments. Le point de prélèvement du Chapus même s'il se situe dans un chenal reçoit au jusant

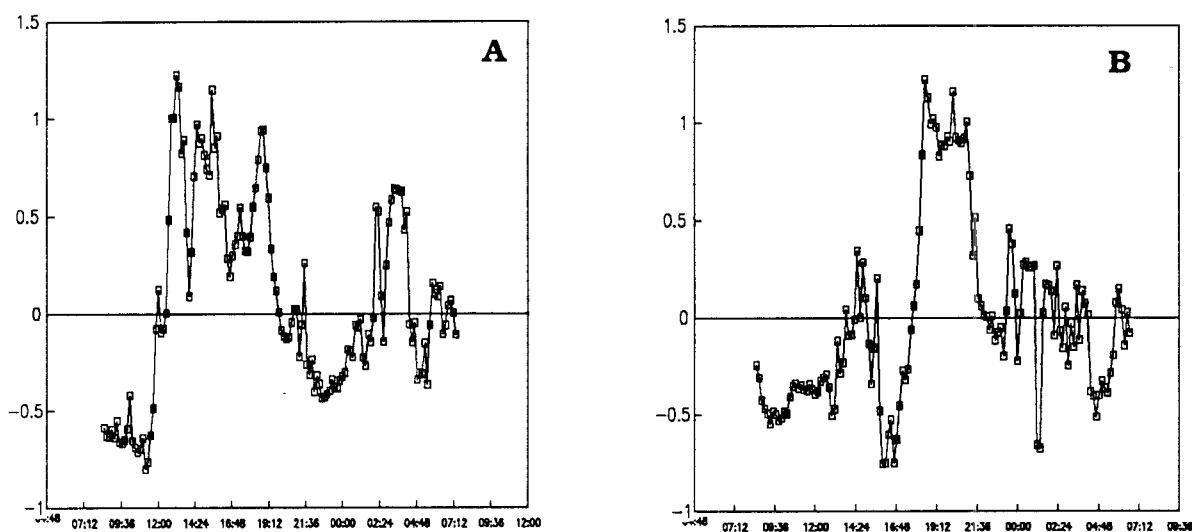
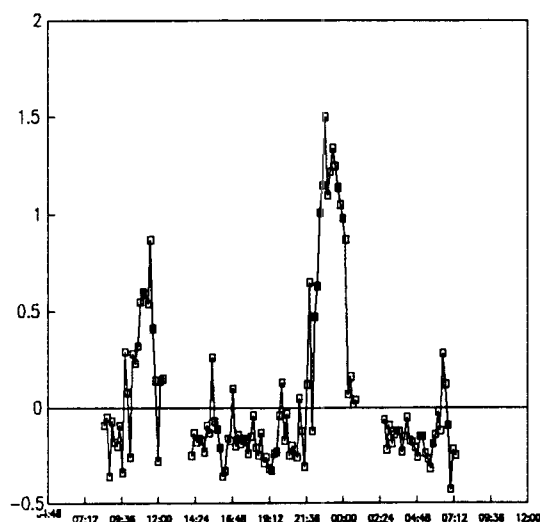


Figure 25 : Evolution de la température de fond détendancée pendant le cycle de vives-eaux du 27 Avril 1990 (A) et le cycle de mortes-eaux du 02 Mai 1990 (B)

Figure 26 : Evolution de la différence de température entre la surface et le fond pendant le cycle de vives-eaux du 27 Avril 1990



et au flot les eaux ayant couvert les estrans proches situés respectivement au sud et au nord.

Anderson (1976) décrit l'évolution de la température des eaux couvrant un estran comme la résultante des échanges thermiques eau-sédiment et eau-air. Aux basses mer de jour, les estrans sont chauffés par l'action combinée de la température de l'air et des radiations liées à l'insolation. Les faibles hauteurs d'eau du début de flot permettent un réchauffement notable de la colonne d'eau par le sédiment. En vives eaux, de plus, la température de l'air journalière atteint son maximum aux heures de basse mer (autour de midi) où la hauteur d'eau est minimale, la durée d'émersion plus grande et la surface d'estrans découverte plus importante.

Ceci semble expliquer la présence de deux pics de température liés à ceux des matières en suspension. Les vitesses de courant portées au nord apportent jusqu'au point de prélèvement les eaux réchauffées sur les estrans situés au sud. Ce réchauffement s'effectuerait à mi-jusant lors du reflux sur les estrans au moment où la hauteur d'eau est faible. D'autre part les vitesses de courant de flot (dirigées vers le sud) apporteraient au point de prélèvement les eaux ayant précédemment recouvert les estrans situés au nord du point de prélèvement. Anderson (1973) et Baillie et al. (1980) montrent que la différence de température entre le sédiment et une masse d'eau recouvrant les estrans peut créer des courants de convection facilitant la remise en suspension des sédiments.

La figure 26 met en évidence une stratification thermique de la colonne d'eau à l'étales de pleine mer. Anderson (1973) décrit le même phénomène et observe que les dernières eaux du flot passent sous les masses d'eau précédemment réchauffées. Ceci expliquerait la présence d'une eau de surface plus chaude que celle du fond.

La variabilité temporelle de la colonne d'eau est importante puisque l'on note des écarts de près de 2 degrés pendant un cycle de marée. Même si le phénomène est local, la différence de température de 2 degrés entre la surface et le fond provoque une stratification à l'étales de pleine mer.

## LA REMISE EN SUSPENSION

Les signaux de turbidité et de fluorimétrie sont décrits conjointement car très proches dans leur évolution.

Le 27 Avril en vives eaux, le signal de M.E.S. (fig. 23-D) montre deux pics dans le cycle de marée, l'un autour de la basse mer atteint  $250 \text{ mg.l}^{-1}$  et l'autre à la haute mer des valeurs légèrement supérieures. Le minimum est observé à l'étales de pleine mer ( $40 \text{ mg.l}^{-1}$ ), une autre déplétion étant observée un peu après l'étales de basse mer ( $75 \text{ mg.l}^{-1}$ ). La concentration en chlorophylle a + phéopigments (fig. 23-C) montre la même évolution. Les valeurs maximales atteignent  $19 \mu\text{g.l}^{-1}$  à pleine mer et basse mer et chutent jusqu'à  $2 \mu\text{g.l}^{-1}$  et  $5 \mu\text{g.l}^{-1}$  respectivement aux étales de pleine mer et de basse mer.

Le 02 Mai en mortes eaux, le cycle semi-diurne montre des concentrations bien inférieures à celles rencontrées en vives eaux. Les M.E.S. (fig. 24-D) varient de  $37 \text{ mg.l}^{-1}$  à  $68 \text{ mg.l}^{-1}$  soit près de 4 fois moins dans les valeurs maximales qu'en vives eaux. La concentration en (C+P) (fig.24-C) varie de  $1.4 \mu\text{g.l}^{-1}$  à  $3.5 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Comme pour les vives eaux, 2 pics de M.E.S. sont observés au courant de jusant et de flot, mais celui de flot est moins important ( $52 \text{ mg.l}^{-1}$ ) que celui de jusant ( $68 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Un seul

ESPECES	Heures de prélèvements du 27 Avril						% de chaque espèce		
	19h	17h	15h	13h	11h	9h	27 Avril	02 Mai	08 Mai
ACHNANTES	-	2.83	-	-	-	0.58	0.57	-	-
ACTINOPTYCHUS	17.21	9.48	5.56	4.88	-	-	6.19	8.78	0.81
AMPHIPRORA	-	-	-	-	-	-	-	2.96	2.85
ASTERIONELLA	-	-	-	-	-	-	-	-	7.32
ASTEROLAMPRA	-	-	-	-	-	-	-	-	7.32
CAMPYLODISCUS	-	0.93	-	-	-	-	0.16	5.19	-
CERATAULINA	-	-	-	-	8.23	-	1.37	9.96	-
CHAETOCEROS	-	-	-	-	-	-	-	-	4.88
COCCONEIS	-	-	3.34	-	-	-	0.56	3.71	2.85
COSCINODISCUS	-	-	-	-	-	0.29	0.05	7.21	2.73
CYCLOTELLA	7.20	-	3.34	-	4.73	1.17	2.74	6.97	0.68
DYTILUM	-	-	-	-	-	-	-	-	2.24
GRAMMATOPHORA	-	-	-	3.25	6.58	-	1.64	2.97	4.10
GYROSIGMA	3.29	-	-	1.63	-	-	0.82	6.57	6.96
HASLEA	-	-	-	-	3.29	-	0.55	-	2.03
LEPTOCYLINDRUS	-	-	5.56	-	-	-	0.93	-	4.88
MELOSIRA	8.22	13.03	23.37	8.13	8.23	6.64	11.27	8.62	8.71
MINIDISCUS	-	1.70	-	8.13	8.23	2.32	3.40	7.63	6.83
NAVICULA	8.22	2.27	11.13	30.89	29.63	77.12	26.54	7.52	3.27
NITZSCHIA	14.79	39.30	36.58	21.14	24.49	6.72	23.83	5.61	10.23
ODONTELLA	3.29	2.83	-	3.25	3.29	-	2.11	2.96	-
OESTRUPA	-	-	-	1.63	-	0.88	0.42	-	-
PARALIA	16.43	11.92	-	-	-	-	4.73	-	12.95
PLEUROSIGMA	4.93	7.42	2.23	3.25	-	0.29	3.02	-	-
PODOSIRA	-	-	-	-	-	-	-	2.99	-
RAPHONEIS	-	-	2.23	-	-	-	0.37	-	-
RHIZOLENIA	-	0.93	-	-	-	-	0.16	-	5.02
SKELETONEMA	-	-	-	-	-	-	-	-	3.25
THALASSIOSIRA	16.43	7.36	5.56	13.82	3.29	3.98	8.41	10.358	5.76
TRICERATIUM	-	-	1.11	-	-	-	0.19	-	-

Tableau 2 : Composition relative des diatomées les 27 Avril, 2 Mai, 8 Mai au Chapus

pic de (C+P) est observé et apparait avant le pic de M.E.S.

De telles variations dans le cycle semi-diurne sont décrites par de nombreux auteurs. Pejrup (1986) dans la Wadden See danoise indique un facteur de 20 dans un même cycle de marée pour les M.E.S. (20 à 440 mg.l<sup>-1</sup>), Lucotte et al. (1986) dans l'estuaire du Saint Laurent de l'ordre de 4 (35 à 130 NTU), Vale et al. (1987) dans l'estuaire du Tage de l'ordre de 40. Schubel (1971) observe des concentrations de 20 à 280 mg.l<sup>-1</sup> en relation avec la vitesse de courant dans la baie de Chesapeake.

Les données présentées montrent aussi une forte dépendance des concentrations avec la vitesse absolue du courant illustrant l'importance des phénomènes de remise en suspension. La corrélation entre M.E.S. et (C+P), très nette en vives eaux indique aussi que la majeure partie du matériel pigmentaire présent dans la colonne d'eau est associée à la remise en suspension des sédiments meubles.

Anderson (1984) compare les valeurs de (C+P) et de M.E.S. en utilisant la formule de conversion de Meeks (1974). Les valeurs de (C+P) sont transformées en masse sèche de cellules par un facteur 100. Ainsi, sur 100 mg.l<sup>-1</sup> de M.E.S., 8 mg sont considérés comme organiques (MOP) et 1 mg de cellules pigmentées (dont 70% de phéopigments). Ceci peut expliquer la difficulté d'interpréter les variations de la chlorophylle a issue d'organismes pélagiques, ces phénomènes étant masqués par la remise en suspension des espèces benthiques.

Le tableau 2 montre la composition phytoplanctonique de la colonne d'eau les 27 Avril, 2 Mai et 8 Mai. Les genres *Nitzschia* et *Navicula* sont beaucoup moins présents en mortes eaux (13% le 2 Mai) qu'en vives eaux (50% le 27 Avril). La remise en suspension des sédiments joue un rôle prépondérant dans la répartition verticale de ces diatomées benthiques. Lors du cycle semi-diurne, la remise en suspension liée aux vitesses de jusant voit le pic de (C+P) s'établir avant le pic de turbidité. Une érosion différentielle des sédiments et des espèces phytoplanctoniques et benthiques récemment sédimentées pourrait s'effectuer au début des courants de jusant. Cette hypothèse est renforcée par le "compactage" des sédiments pendant les marées de mortes eaux rendant l'érosion plus difficile. Les cellules remises en suspension en premier seraient des espèces plus pélagiques telles que *Melosira*, *Coscinodiscus*, *Cyclotella* et *Thalassosira*.

	19h	17h	15h	13h	11h	9h
19h	1					
17h	0.67	1				
15h	0.50	0.86	1			
13h	0.50	0.51	0.64	1		
11h	0.31	0.50	0.67	0.89	1	
9h	0.19	0.04	0.27	0.80	0.76	1

Tableau 3 : Matrice de corrélation des répartitions de Diatomées en fonction des heures de prélèvements le 27 Avril 1990

Apartir des prélèvements phytoplanctoniques effectués toutes les deux heures le 27 Avril, une matrice de corrélation entre les différentes heures de prélèvement est calculée (Tableau 3). La matrice montre une structure chronologique dans les données mais ne permet pas une interprétation simple de l'évolution de la composition phytoplanctonique dans le cycle semi-diurne. Seule la forte présence des deux genres benthiques, *Navicula* et *Nitzschia* au pic de M.E.S. de jusant et leurs faibles présences (19h) à la pleine mer permettent de corroborer les résultats déjà énoncés précédemment.

### INTERACTION DES DESCRIPTEURS

Sur les deux cycles choisis, une matrice de corrélation met en évidence les relations simples entre les descripteurs (Tableaux 4 et 5). La corrélation négative entre hauteur et vitesse met en évidence l'asymétrie des marées. Le schéma théorique verrait un décalage de  $\pi/2$  entre hauteur et vitesse, associant les hauteurs maximales aux étales de courant. Le tableau 1 montre sur l'onde M2 un décalage proche de  $\pi$  entre les deux descripteurs (hauteur :  $148^\circ$  ; vitesse :  $340^\circ$ ). Ceci explique naturellement la forte corrélation négative entre hauteur d'eau et vitesse du courant.

Une corrélation positive forte lie les M.E.S., la concentration en (C+P) et la température de l'eau. Les fortes concentrations en cellules phytoplanctoniques dégradées (phéopigments) et l'importance des diatomées benthiques dans la colonne d'eau montrent que la remise des suspensions des sédiments dans le cycle semi-diurne implique une forte corrélation entre M.E.S. et (C+P). La température, étudiée au chapitre précédent, montre aussi que la remise en suspension s'effectue préférentiellement sur les estrans, lieux de faibles hauteurs d'eau.

	VI	FL	TU	TF	HA	SF
VI	1,00					
FL	-0,05	1,00				
TU	0,01	0,98	1,00			
TF	-0,05	0,75	0,78	1,00		
HA	-0,94	0,25	0,19	0,11	1,00	
SF	0,54	-0,42	-0,43	-0,38	-0,65	1,00

Tableau 4 : Matrice de corrélation calculée sur un cycle de marée en vives-eaux (27 Avril)  
 HA=hauteur; FL=(C+P); TU=M.E.S.; TF=température; SF=salinité

	VI	FL	TU	TF	HA	SF
VI	1,00					
FL	0,65	1,00				
TU	0,23	0,70	1,00			
TF	0,29	0,52	0,86	1,00		
HA	-0,84	-0,66	-0,14	-0,12	1,00	
SF	-0,34	-0,59	-0,60	-0,41	0,53	1,00

Tableau 5 : Matrice de corrélation calculée sur un cycle de marée en mortes-eaux (02 Mai 1990)

HA=hauteur; FL=(C+P); TU=M.E.S.; TF=température; SF=salinité

La salinité montre un comportement différent en vives eaux et en mortes eaux. Sa corrélation négative sur les deux cycles avec les descripteurs de la remise en suspension peut s'expliquer par l'origine de la masse d'eau. Ravail et *al.* (1987) montrent un gradient positif de salinité du Nord vers le Sud du bassin. Les estrans du Nord alimentant le point de prélèvement au courant de flot montrent une salinité plus faible due à la proximité de l'estuaire de la Charente.

La salinité montre aussi une corrélation négative en vives eaux avec la hauteur d'eau et positive en mortes eaux. Les salinités les plus fortes sont enregistrées au minimum de turbidité lors des marées de vives eaux. Même si cette période ne correspond pas à la hauteur maximale à cause de l'asymétrie de la marée, on peut considérer cet instant comme le point maximal de l'intrusion des masses d'eau plus océaniques du Nord. Cet effet est largement amplifié dans les marées de vives eaux au regard des fortes résiduelles de courant orientées au Sud. La présence de salinités plus élevées à cet endroit tendrait à accréditer l'idée de masses d'eau plus océaniques. En mortes eaux, les temps de résidence plus long dans le Nord du bassin, les résiduelles de courant pratiquement nulles au point de prélèvement, et les faibles volumes d'eau océanique entrant dans le bassin, pourraient empêcher l'intrusion de ces eaux jusqu'au point de prélèvement. L'avancée des eaux globalement plus océaniques du Sud du bassin serait favorisée mais avec un décalage de  $\pi$  illustrant la corrélation positive avec la hauteur d'eau.

Les chapitres précédents montrent la difficulté de se limiter aux études descriptives d'un milieu aussi complexe que celui d'un écosystème estuarien.

Les nombreuses interactions entre les descripteurs, tant dans l'espace que dans le temps, rendent difficiles toutes les approches ne prenant pas en compte une certaine dynamique des phénomènes étudiés.

## MODELISATION DES ECHANGES VERTICAUX ET DU TRANSPORT HORIZONTAL

Dans l'étude de type eulérienne envisagée ici, la modélisation permet d'ajouter un terme de transport horizontal.

Les variations de concentration ( $dC/dt$ ) dans le temps intégrées sur la hauteur d'eau ( $H$ ) peuvent être formulées ainsi :

$$H \cdot (dC/dt) = TR + Er - Dp$$

**TR** terme de transport

**Er** terme d'érosion

**Dp** terme de décantation

Le terme de décantation est défini par :

$$Dp = Ws \cdot C \cdot \text{Max} [ 0 , 1 - (Tof/Toed) ] \quad (\text{Krone})$$

et le terme d'érosion par :

$$Er = K1 \cdot \text{Max} [ 0 , (Tof/Toce) - 1 ] \quad (\text{Krone})$$

Raillard (1991) explicite précisément chacun des paramètres et constantes:

$$K1 = 0.02$$

$Ws$  ( $m.s^{-1}$ ) est la vitesse de chute en eau calme. Elle dépend de la charge et est estimée par :

$$Ws = 0.005 \cdot C^{0.3}$$

$Tof$ ,  $Toce$ ,  $Toed$  sont des tensions de cisaillement exprimées en  $N.m^{-2}$ .

$Tof$  est la tension de cisaillement sur le fond, elle dépend de la vitesse d'érosion  $U^*$  et de la densité de l'eau de mer ( $\rho_e$ ) :

$$Tof = \rho_e \cdot (U^*)^2$$

$$\text{avec } U^* = U \cdot g^{1/2} / K / h^{1/6} \quad (\text{Strickler})$$

où  $U$  est le vecteur vitesse,  $g$  l'accélération de la pesanteur et  $K$  choisi à 70

$Toed$ , tension critique de décantation est choisie par Raillard à  $0.1 N.m^{-2}$ , d'après les données de la littérature.

La tension critique d'érosion choisie à  $0.225 N.m^{-2}$  par Raillard (1991) est ici explicitée et rendue dépendante des caractéristiques du sédiment.

Elle est liée à la vitesse critique d'érosion  $U_{cr}^*$  :

$$Toce = \rho_e \cdot (U_{cr}^*)^2$$

La vitesse critique d'érosion ( $U_{cr}^*$ ) est définie à partir de la concentration du mélange eau-sédiment  $Cs$  par Castaing (1981) :

$$U_{cr}^* = 5.5 \cdot 10^{-3} \cdot Cs + 2.6 \cdot 10^{-6} \cdot Cs^2$$

$Cs$  se calcule à partir de la densité du sédiment et de sa porosité :

$$Cs = (1 - Po) \cdot \rho_s$$

Gonzales (comm.pers.) définit la porosité à partir de la teneur en eau en % ( $Te$ ):

$$Po = [ 100 \cdot Te \cdot \rho_s ] / [ (100 \cdot Te \cdot \rho_s) + (1 - (100 \cdot Te) \cdot \rho_e) ]$$

Le tableau 6 donne les mesures de  $\rho_s$ ,  $Po$ ,  $U^*_{cr}$ , et  $To_{ce}$  pour 5 types de sédiments prélevés dans le bassin.

La valeur de  $To_{ce}$  utilisée ici est de  $0.186 \text{ N.m}^{-2}$  (tableau 6). Elle est calculée à partir des caractéristiques des sédiments du banc de Charret, situé sur un estran directement au Nord du point de prélèvement. Cette valeur est très proche de celle choisie par Raillard (1991).

Les figures 27 et 28 visualisent les termes de transport (abscisse) et le bilan d'érosion-sédimentation (ordonnée) pour les deux cycles. A chaque point la vitesse de courant est indiquée.

TYPE DE SEDIMENT	LIEU	Masse Volumique $\rho_s$ g/l	Porosité	Vitesse d'érosion critique m/s	Taux d'érosion critique N/m <sup>2</sup>
SABLE HETEROGENE ENVASE	MORTANE	1613	0,44	0,0705	4,964
VASE PURE	CHARRET	1423	0,84	0,0136	0,186
SABLE FIN	LAMOUREUX	1985	0,45	0,0916	8,389
SABLE FIN ENVASE	DAGNAS	1908	0,56	0,0649	4,218
VASE SABLEUSE	SAINT-TROJAN	1840	0,55	0,0640	4,092

Tableau 6 : Caractéristiques du sédiment sur 5 points du bassin de Marennes-Oléron (d'après Sornin CREOCEAN 1991)

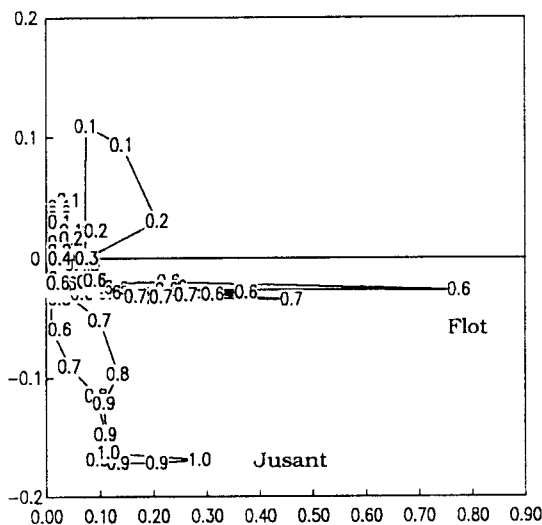


Figure 27 : Calcul des transports horizontaux (X) et verticaux (Y) lors du cycle de vives-eaux du 27 Avril

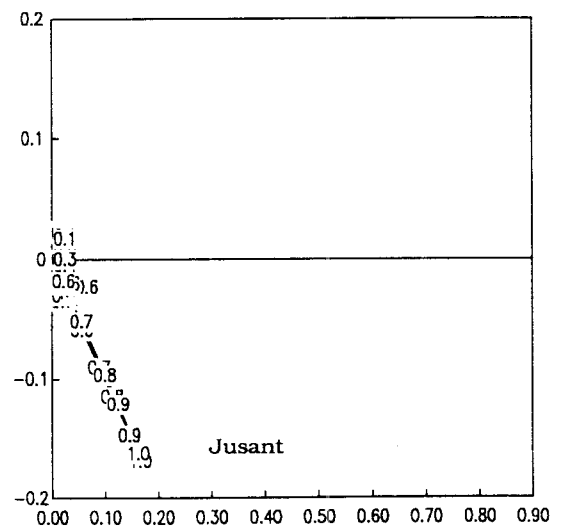


Figure 28 : Calcul des transports horizontaux (X) et verticaux (Y) lors du cycle de mortes-eaux du 2 Mai



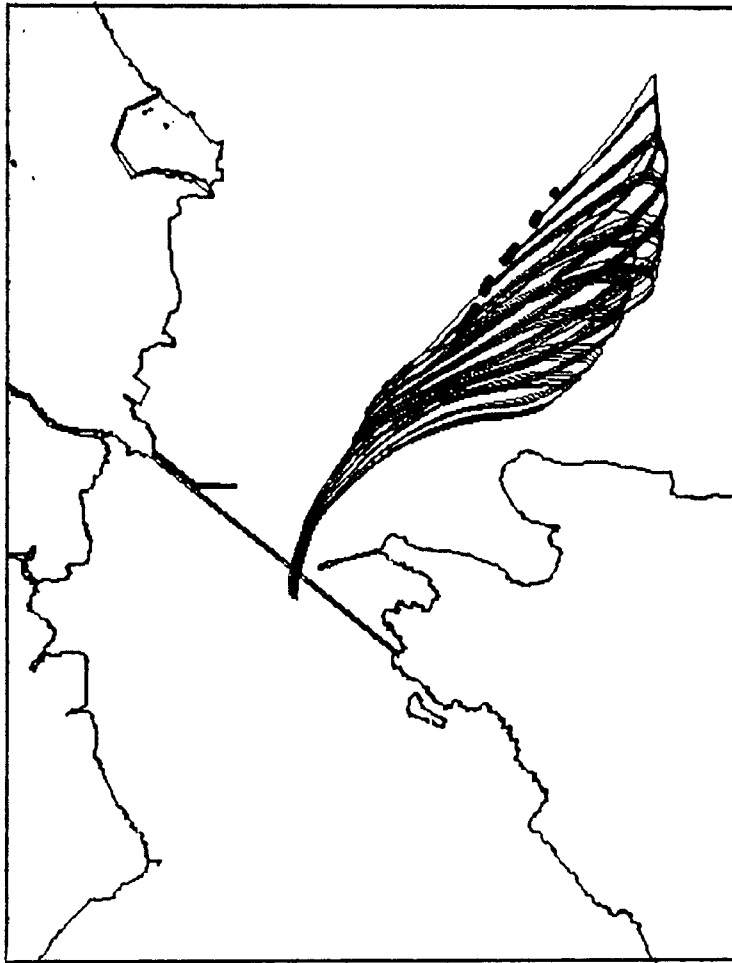


Figure 29 : Simulation rétroactive du transport particulaire vers le point du Chapus à marée basse (Raillard 1990)

Le cycle du 27 Avril, en vives eaux, montre d'importants échanges verticaux lors des courants de jusant Sud-Nord où l'érosion est beaucoup plus forte que la sédimentation. Au plus fort des courants de jusant, un terme de transport de courte durée intervient. Ces résultats s'expliquent par la remise en suspension des sédiments sur les estrans vaseux au sud du point de prélèvement (du point de prélèvement au banc de Bourgeois) lors de l'augmentation des vitesses de courant. Une érosion locale est aussi générée par le cisaillement de la masse d'eau du chenal sur ses rives (berceaux). Au flot, le bilan érosion-sédimentation, plus faible, mais toujours positif est constant et montre un transport horizontal important. Les estrans situés à l'Est du bassin (Daire, Brouage, Charret) sont mobilisés au début de flot par l'onde de marée et les matières en suspension transportées jusqu'au point de prélèvement.

Une simulation rétroactive de l'origine des particules (fig.29) effectuée par Raillard (comm.pers.) montre que le Chapus, à basse mer, voit des eaux originaires des estrans précités. Des suivis de drogue ont démontré les mêmes conclusions.

En mortes eaux, aux forts courants de jusant, le bilan érosion-sédimentation reprend le même schéma qu'en vives eaux. Les courants de flot par leurs vitesses plus faibles qu'en vives eaux ne montrent pas de terme de transport. La remise en suspension des estrans de l'Est, même si elle s'effectue, doit pouvoir être compensée par une sédimentation avant l'arrivée au point de prélèvement.

## STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

L'acquisition en continu de données sur le milieu ouvre la voie pour une réflexion sur les stratégies d'échantillonnage. Elle impose, dans le cas présent, une revue des différentes méthodes utilisées à Marennes-Oléron lors de ces dernières années.

### STRATEGIE DE TYPE R.N.O.

Depuis 1977, un suivi hydrobiologique est effectué en 5 points du bassin. Deux points de prélèvements sont situés à l'embouchure des 2 principales sources d'eau douce (Charente et Seudre), 2 points situés aux limites océaniques (Pertuis d'Antioche et de Maumusson) et un point central situé au Chapus. Sur la base des principes élaborés pour le RNO, les prélèvements sont effectués 2 jours par mois, l'un choisi en marées de vives eaux l'autre en marée de mortes eaux. A chaque jour de prélèvement, l'objectif de connaissance des apports terrigènes impose un prélèvement en Charente et en Seudre aux alentours de la basse mer. Le point de prélèvement du Chapus étant effectué de manière très incertaine à mi-flot ou à mi-jusant (Razet, comm.pers.). Des échantillons d'eau en surface et au fond sont prélevés.

Par la longueur de la série, cette base de données (RAZLEC) a souvent été utilisée. Entre autres, elle a permis de mettre en évidence le caractère saisonnier des efflorescences planctoniques dans le panache de la Charente en relation avec les apports nutritifs de cette rivière. Son importance est aussi capitale dans la détection, a posteriori, d'"anomalies" hydrobiologiques ponctuelles explicatives de dérèglements importants dans la gestion du stock d'huîtres creuses *Crassostrea gigas* (croissances, mortalités, production). Faute de données plus précises, elle fut aussi utilisée pour mettre en évidence l'évolution saisonnière de certains descripteurs et l'alternance des vives et mortes eaux. Enfin, les variations saisonnières des différents descripteurs étudiés ont été utilisées dans de nombreux travaux pour la connaissance de la capacité trophique du bassin.

### STRATEGIE MIXTE : L'EVOLUTION SAISONNIERE ET LE CYCLE SEMI-DIURNE

En 1979-1980, Héral élabore un protocole d'échantillonnage de la colonne d'eau. Etalé sur deux ans, il reprend, en augmentant le nombre de descripteurs échantillonnés, le principe de deux prélèvements par mois (un en marées de vives eaux, l'autre en marées de mortes eaux). Afin de tenir compte de la variabilité semi-diurne, 4 échantillons sont prélevés dans le cycle de marée. Sur des indications de données de vitesses de courant (Héral, comm.pers.), les prélèvements sont effectués 1h30 avant basse mer, à basse mer, 2h00 après basse mer et à la pleine mer. Comme précédemment, la surface et le fond sont échantillonnés. Les nombreuses données accumulées avaient pour objectif d'appréhender la capacité trophique du bassin et déterminer les facteurs régissant la croissance des huîtres (Héral et al., 1984). Gouletquer reprend en

1983-1984 le même protocole sur cette même station et en un deuxième point du bassin, correspondant à deux sites d'élevage de *Ruditapes philippinarum*. A partir de ces données, un modèle autoregressif fut utilisé par Bacher (1989) pour générer une série annuelle de données journalières.

#### STRATEGIE D'APPROCHE DU CYCLE VIVES EAUX MORTES EAUX

En 1984, enfin, un suivi d'une quarantaine de jours au printemps avait pour double objectif de cerner l'évolution et la variabilité de la chlorophylle pendant le cycle VE-ME et de déterminer les conditions d'apparition possible d'une efflorescence phytoplanctonique printanière. Chaque jour, les prélèvements sont effectués à la pleine mer et à la basse mer.

	INTER - ANNUELLE	SAISONNIERE (ANNUELLE)	VIVES-EAUX MORTES-EAUX	SEMI - DIURNE
1977-1991 RAZET	15	24	2	1
1979-1980 HERAL	2	24	2	4
1983-1984 GOULLETQUER	2	24	2	6
MAI 1984 LEGRAND			15	2

Tableau 7 : 4 différentes stratégies d'échantillonnage de la colonne d'eau à Marennes-Oléron: Nombre d'échantillons sur 4 échelles d'observations

Le tableau 7 synthétise les différentes échelles d'observation et le nombre de prélèvements effectué pour chaque échelle.

A la vue des différents plans d'échantillonnage, il apparait que l'étude de la saisonnalité implique la prise en compte des variabilités de périodes plus courtes. En effet, la répartition de la variabilité s'effectue sur différentes échelles d'observation et l'étude de l'une des variabilités impose souvent dans les plans d'échantillonnage traditionnels, l'élimination des variabilités de niveaux inférieurs. C'est ainsi que dans les stratégies d'échantillonnage visant à étudier les variations saisonnières, les prélèvements seront effectués à la même position dans le cycle VE-ME et dans le cycle haute mer-basse mer. Le tableau 7 montre cependant qu'à chacune des échelles d'observation, deux points sont souvent choisis. Dans le cycle VE-ME, les prélèvements sont effectués en vives eaux et en mortes eaux, et, à haute mer et basse mer dans le cycle semi-diurne.

## ELIMINATION DE LA VARIABILITE SEMI-DIURNE

Le choix de deux points ne peut être requis pour l'établissement d'une moyenne. L'inférence statistique de l'échantillon à la population impose un calcul de variance n'ayant pas de sens pour deux valeurs. Le choix de deux prélèvements à chaque échelle d'observation ne peut donc relever, même si les moyennes ont été couramment employées, de la connaissance du comportement moyen mais plutôt de celle de la variabilité, illustrée dans le cas présent par l'étendue. Peut-être doit-on trouver ici la justification de ces choix. L'approche de la variabilité par deux points extrêmes mérite cependant une autre réflexion. Le choix de ces points fait sans doute référence à la variabilité du descripteur hauteur d'eau. En effet, dans les milieux côtiers à fort marnage, la hauteur d'eau est un descripteur dont les variations sont connues (annuaire des marées) et dont les effets régissent nombre de comportements (accès aux ports et aux élevages).

Mais dans nombre de cas, qu'autorise la connaissance du descripteur hauteur d'eau dans l'établissement de stratégies d'échantillonnage d'autres descripteurs?

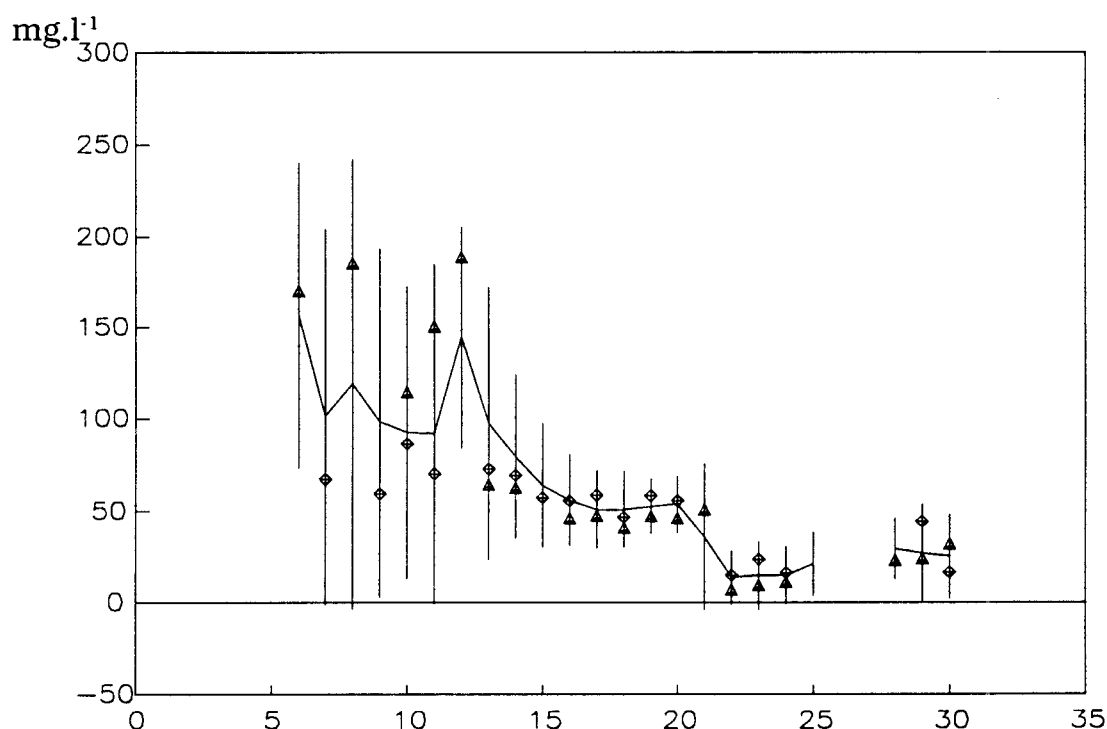


Figure 30 : Comparaison des moyennes de M.E.S. par cycle de marée et des valeurs de haute mer (triangles) et de basse mer (losanges) (Legrand 1984).

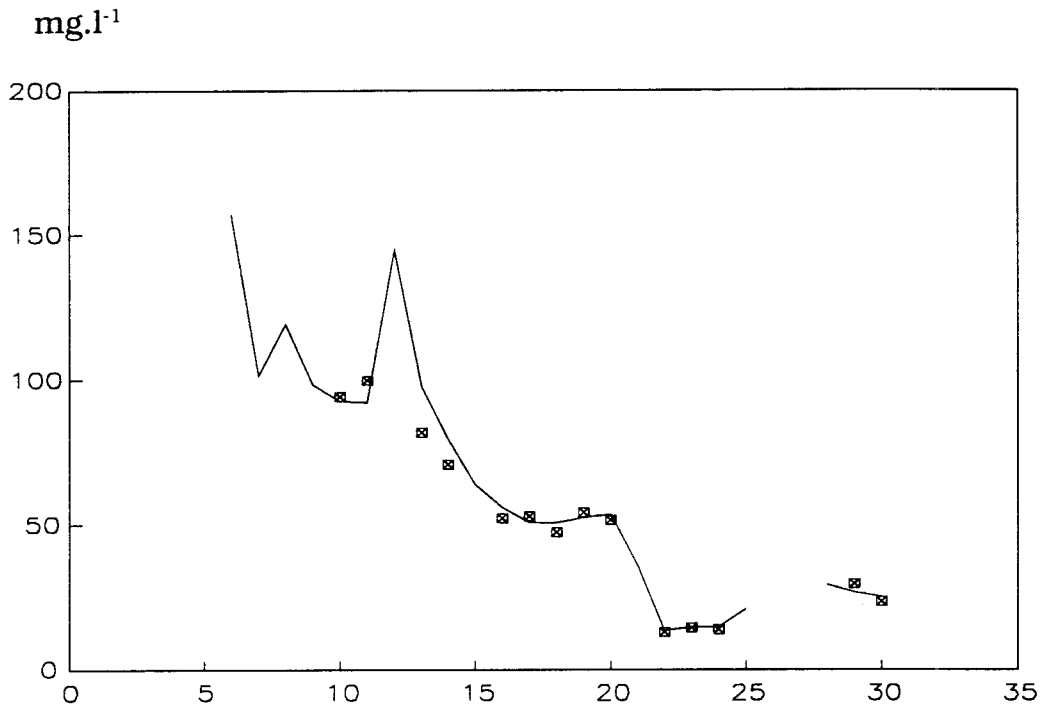


Figure 31 : Comparaison des moyennes de M.E.S. par cycle de marée et de la moyenne de 4 valeurs prises dans le cycle (Héral 1979-1980)

La turbidité, par exemple, par connaissance empirique et en relation avec la hauteur d'eau est globalement plus forte en vives eaux et plus faible en mortes eaux, plus forte à basse mer qu'à haute mer. L'exemple de la série étudiée contredit certaines de ces affirmations. L'asymétrie de la marée, les termes de transport particuliers, l'interaction du cycle semi-diurne et du rythme circadien sur la température, montrent à l'évidence que la hauteur d'eau ne peut servir de support à une stratégie d'échantillonnage sur ce descripteur à l'échelle du cycle semi-diurne.

Afin de visualiser l'effet d'un tel type d'échantillonnage, la figure 30 illustre les valeurs de la série en continu et pour chaque cycle semi-diurne, les valeurs ponctuelles de haute mer et basse mer. Contre toute attente, les valeurs de haute mer sont en vives eaux plus fortes que celles de basse mer. De plus, les valeurs, à l'évidence, ne donnent qu'une très faible idée de la variabilité pendant le cycle ; les points se situent largement à l'intérieur des intervalles de confiance.

Il s'en suit que ce type de stratégie ne permet pas la quantification d'un effet moyen du cycle semi-diurne ni de sa variabilité.

Les stratégies développées par Héral (1979-1980) prennent en compte 4 prélèvements par cycle. Un échantillonnage de la série dans les mêmes conditions (heures par rapport à la basse mer), montre une bonne relation entre les valeurs échantillonnées et la moyenne calculée sur l'ensemble du cycle (fig.31). Quatre prélèvements choisis judicieusement dans le cycle se révèlent donc suffisants dans l'établissement d'une moyenne sur un cycle. La généralisation de ce résultat est cependant impossible et un pré-échantillonnage du cycle semi-diurne se révélera nécessaire avant de définir la stratégie à employer.

## ELIMINATION DU CYCLE VIVES EAUX MORTES EAUX

Le choix d'une marée de vives eaux et de mortes eaux suscite une réflexion similaire. Dans les objectifs du Réseau National d'Observation du milieu marin (R.N.O), les prélèvements en vives eaux et en mortes eaux visent à décrire les évolutions saisonnières de la variabilité d'un descripteur. Un point au-delà des limites habituelles est considéré comme une alerte. Cette stratégie, basée sur deux prélèvements par mois est reprise dans RAZLEC, Héral (1979-1980) et Gouletquer (1983-1984). La plus grande marée de vives eaux et la plus petite marée de mortes eaux du mois sont échantillonnées. La validité de cette stratégie ne peut être confirmée car la série étudiée est trop courte. Une série sur plusieurs cycles serait nécessaire. Il semble, cependant, que, comme pour le cycle semi-diurne, 2 points ne soient pas suffisants pour qualifier et quantifier les variations dans le cycle. La stratégie développée en 1984 par Legrand (tous les jours sont échantillonnés) se révèle positive pour l'étude du cycle VE-ME, mais le nombre de points échantillonnés dans le cycle semi-diurne est trop faible pour les raisons évoquées au chapitre précédent.

## LES CONTRAINTES DES MODELES

Dans l'établissement des modèles, Bacher (1989) et Raillard (1991) ont moyenné, mois par mois, et sur 5 ans, les valeurs de vives eaux et de mortes eaux de la banque de données RAZLEC. Afin d'obtenir une année type au pas de la journée, une interpolation linéaire entre chaque point de vives eaux et chaque point de mortes eaux est effectuée. Cette interpolation exclut tout accident météorologique ponctuel, modifiant pourtant profondément les caractéristiques des mesures de M.E.S. Afin de remédier à cette lacune dans la connaissance de l'évolution des descripteurs à l'échelle VE-ME, Bacher en 1991, définit une stratégie d'échantillonnage de la colonne d'eau basée sur une acquisition en continu de 12h30 tous les 10 jours de Mars à Juillet. Cette stratégie qui prend comme unité d'échantillonnage le cycle semi-diurne, permet de couvrir plusieurs cycles VE-ME et donc d'en dégager les caractéristiques principales. Elle fait le lien entre la connaissance de l'évolution saisonnière et celle du cycle semi-diurne développée dans cette étude.

D'après Legendre (1983), les stratégies doivent avoir un pas d'échantillonnage permettant d'échantillonner au moins deux fois la plus petite variation cyclique présente même si elle n'est pas étudiée. En considérant le cycle semi-diurne comme l'unité d'échantillonnage, le cycle VE-ME doit être échantillonné au minimum 2 fois soit un pas d'échantillonnage inférieur à 7 jours. Un pas d'échantillonnage de 3 à 5 jours semblerait souhaitable.

## CONCLUSION

La variabilité est inhérente aux estuaires et ils répondent dans le temps, à des schémas variables s'étalant sur un large spectre de fréquences (Wolfe et al., 1986). Les résultats présentés dans ce mémoire mettent en évidence plusieurs aspects de la variabilité dans l'écosystème de Marennes-Oléron. Bien que l'échelle d'observation soit limitée à un cycle vives eaux - mortes eaux, elle montre les nombreuses relations entre descripteurs.

La hauteur d'eau, somme d'harmoniques, d'amplitudes, de périodes et de phases différentes, génère à elle seule des sources de variabilité sur un large spectre de fréquence. Les variabilités les plus importantes décrites ici sont les variabilités liées à l'onde M2 (12h30) et sur une période correspondant à la moitié d'un mois lunaire (cycle VE-ME).

D'autres échelles d'observation pourraient compléter la connaissance de cette variabilité. L'échelle du mois lunaire, 28 jours, celle semi-annuelle, ou annuelle sont autant de sources de variabilité du descripteur hauteur d'eau.

Le descripteur vitesse du courant est en relation directe négative avec la hauteur d'eau. Cette relation illustre l'asymétrie de la marée au niveau du cycle semi-diurne, et montre que la topographie du bassin influe d'une façon importante sur les interactions entre hauteur d'eau et vitesse du courant. Au niveau du cycle vives-eaux mortes-eaux, c'est la résiduelle du vecteur vitesse, et le marnage, mesure de l'étendue de la hauteur d'eau sur le cycle semi-diurne, qui sont mis en relation. Ce résultat corrobore les tendances de la courantologie du bassin, à savoir, le cheminement des masses d'eau du Nord (Pertuis d'Antioche) vers le Sud (Pertuis de Maumusson).

La néphélogéométrie est utilisée pour l'étude des échanges eau sédiment. Maillon important dans les relations trophiques, les matières en suspension montrent des schémas de variabilité complexes tant au niveau spatial que temporel. Les résultats montrent d'abord l'influence de la vitesse du courant sur l'érosion des sédiments. Les caractéristiques du sédiment, elles mêmes montrent une grande diversité dans le bassin et par l'intermédiaire du taux critique d'érosion influent sur la remise en suspension. Le marnage dans le cycle vives-eaux VE-ME, montre un effet sur les concentrations moyennes, par l'intermédiaire des volumes d'eaux et des surfaces découvrantes des estrans. Le vent, enfin, par son action sur les faibles hauteurs d'eau et sur la vitesse du courant est un facteur prépondérant dans les phénomènes de remise en suspension mais aussi comme frein sur la sédimentation, expliqué par la turbulence. Les termes de transports particuliers, enfin, montrent l'importance d'une vision spatiale des processus.

Les sources de variabilité, décrites ici devraient être complétées par des études à d'autres échelles temporelles. A l'échelle de l'année, les régimes de vents, les caractéristiques des sédiments, l'influence du cycle semi-annuel (équinoxe - solstice) du marnage doivent être pris en considération dans l'étude des échanges verticaux. Deux descripteurs non utilisés ici, la distribution de taille de particules (comptage de particules) et sa qualification (cytofluorimétrie)

devraient aussi être décrits surtout dans la quantification de la sédimentation.

Les résultats sur le descripteur fluorimétrie montrent sa dépendance très forte avec la néphélogéométrie. L'importance des produits dégradés de la chlorophylle et le matériel phytobenthique explique cette relation. Cependant, les relations trophiques montrent l'importance des périodes de bloom printaniers sur la croissance, mis en évidence par la chlorophylle *a*, à l'échelle de la saison. A l'échelle du cycle VE-ME, ces phénomènes sont masqués par la remise en suspension.

Une échelle intermédiaire de l'ordre de 3 à 4 mois devraient permettre la quantification de ces phénomènes par l'emploi de variables-rapport telles que chlorophylle *a*/M.E.S. ou chlorophylle *a*/M.O.P.

Les expériences récentes d'écophysiologie *in situ* (Soletchnik 1991) montrent que les huîtres peuvent réagir à des échelles d'observation inférieures à celles du cycle semi-diurne. L'influence des charges sestoniques et de la taille des particules sur la filtration, le tri particulaire sur la production des pseudofèces et l'activité intervalvaire, montrent que l'étude des relations trophiques induisent des sources de variabilité à des échelles d'observation encore plus petites. L'utilisation de nouveaux descripteurs en écophysiologie devrait permettre de mieux étudier les mécanismes du métabolisme mais devraient nécessiter des échelles d'observation différentes de celles utilisées pour le milieu. Enfin, les expériences d'écophysiologie *in vitro* décrivent temporellement la variabilité d'un groupe d'individus étudiés séparément, alors que les expériences *in situ* s'attachent à un lot d'individus. Les résultats sur la variabilité individuelle devraient être dégagés afin de pouvoir les confronter à ceux obtenus sur un lot d'individus.

Les résultats de cette étude montrent l'apport de l'acquisition en continu dans la connaissance de la variabilité. Cependant, la série acquise reste trop courte pour pouvoir étudier précisément le cycle VE-ME. Une stratégie d'échantillonnage est proposée permettant d'y remédier. Les stations automatiques de collecte de données devraient permettre l'acquisition de séries plus longues, évitant le fractionnement des échelles d'observation.

Lewis et al. (1982) notent que l'étude des variabilités repose sur une instrumentation au service de l'échantillonnage et d'un traitement numérique adapté.

L'utilisation de l'analyse des séries temporelles, dans le traitement des données permet enfin, d'accéder à la répartition de la variance, non plus dans le temps mais dans l'espace des fréquences. Denman et al. (1976) ont déjà défini des schémas de répartition de la variance d'une série de mesures de chlorophylle, mettant en évidence l'impact de facteurs physiques tels que la turbulence. Legendre (1981) utilise les mêmes méthodes pour interpréter la production phytoplanctonique à partir de la dynamique des caractéristiques physiques du milieu. Ces techniques, non encore développées, devraient pouvoir formaliser les interactions entre les descripteurs sans être obligé de les étudier, d'une manière exclusive, à chaque échelle d'observation.



## BIBLIOGRAPHIE

- Alpine A.E., 1981. Can *in vivo* fluorescence be used to estimate chlorophyll a in estuaries ? *Estuaries*, 4, Poster.
- Anderson F.E., 1973. Observations of some sedimentary processes acting on tidal flat. *Mar. Geol.*, 14 : 101-116.
- Anderson F.E., 1976. Rapid settling rates observed in sediments resuspended by boat waves over a tidal flat. *Sedimentology* , 34 : 383-394.
- 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 Docteur de l'Université de Bretagne Occidentale, 149 p.
- Baillie P.W. and Welsh B.L., 1980. The effect of tidal resuspension on the distribution of intertidal epipelagic algae in an estuary. *Estuarine and Coastal Marine Science.*, 10 : 165-180.
- Bailly D., 1989. Activités d'IFREMER en Poitou-Charentes. Bilan de la convention IFREMER/REGION POITOU-CHARENTES. Contrat du IX Plan 1984-1988.
- Castaing P., 1981. Le transfert à l'océan des suspensions estuariennes. Cas de la Gironde. Mémoires de l'Institut de géologie du bassin d'Aquitaine. N° 12. ISSN 0397-9520. Université de Bordeaux 1.
- Denman K.L. and Platt T., 1976. The variance spectrum of phytoplankton in a turbulent ocean. *Journal of Marine Research* : 592-601.
- Daou R., Gouletquer P., 1988. Effets de la turbidité sur les palourdes adultes *Ruditapes philippinarum* (Adams, et Reeve) : croissance, effort de reproduction, composition biochimique, mortalité. *Océanis*, 14 (4) : 375-389.
- Deslous-Paoli J.M., 1982. Croissance et qualité de l'huître *Crassostrea gigas* Thunberg en élevage dans le bassin de Marennes-Oléron. *Thétys*. 10 (4) : 365-371.
- Deslous-Paoli J.M., Héral M., Gouletquer P., Boromthanarat W., Prou J., Razet D., Garnier J., 1987. Efficiency of particle retention and filtration rate in intertidal bivalve molluscs : seasonal variations under natural conditions. EMBS, Barcelone, 15-22 août 1982, poster.
- Gouletquer P., 1973. Etats et évolution de la couche superficielle des vasières littorales atlantiques défini par leurs propriétés rhéologiques et leur microstructure. C.R.A.S. tome 276, série D., N° 24, p. 3119-3222.
- Gouletquer P., 1987. Diversification de la production conchylicole : cultures de palourdes sur estran. Rapport IFREMER, DRV 87007-RA/TREM, 43 p.

- Héral M., Razet D., Deslous-Paoli J.M., Berthomé J.P., Garnier J., 1983. Caractéristiques saisonnières de l'hydrobiologie du complexe estuarien de Marennes-Oléron (France). *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 46 (2) : 97-119.
- Héral M., Deslous-Paoli J.M., Razet D., Prou J., 1984. Essai de mise en évidence *in situ* de paramètres biotiques et abiotiques de l'eau et de l'interface eau-sédiment intervenant dans la production de l'huître *Crassostrea gigas*. GABIM Marseille 17-18 novembre 1983. *Océanis*, 10 (4) : 465-475.
- Héral M., Deslous-Paoli J.M., 1985. Analyse historique de la production conchylicole du bassin de Marennes-Oléron (France). *Coll. Fr. Japon. Océanogr.* 7 : 55-65.
- Héral M., Deslous-Paoli J.M., Prou J., Razet D., 1986. Relations entre la nourriture disponible et la production de mollusques en milieu estuarien : variabilité spatio temporelle et pas d'échantillonnage. Symposium de la SFM, Rochefort, Septembre 1986.
- Kranck K., 1984. The role of flocculation in the filtering of particulate matter in estuaries. Kennedy (V.S) The estuary as a filter.
- Legendre P., Legendre L., 1983. Echantillonnage et traitement des données. *in* : Stratégies d'échantillonnage en écologie. Ed. Masson Québec.
- Legendre L., 1981. Le contrôle physique de la production phytoplanctonique à échelle courte et intermédiaire. *Oceanis*, Vol.7, Fasc. 2 pp. 199-129.
- Legué Dupont P., 1990. La moisson des marins-paysans. L'huître et ses éleveurs dans le bassin de Marennes-Oléron. Thèse Ecole des Hautes études en Sciences Sociales. 448 p.
- Lewis M.R. and Platt T., 1982. Scales of variability in estuarine ecosystems. *Estuarine comparisons* : 3-20.
- Lorenzen C.J., 1966. A method for the continuous measurement of *in vivo* chlorophyll concentration. *Deep-Sea Research*, Vol. 13, pp. 223-227.
- Lucotte M., D'Anglejan B., 1986. Seasonal Control of the Saint-Lawrence. Maximum Turbidity Zone by Tidal-flat Sedimentation. *Estuaries*. Vol.9, No.2 : p. 84-94.
- Pejrup M., 1986. Parameters Affecting Fine-grained Suspended Sediment Concentrations in a Shallow Microtidal Estuary, Ho Bugt, Denmark. *Estuarine, Coastal and shelf Science*, 22 : 241-254.
- Platt T., 1972. Local phytoplankton abundance and turbulence. *Deep Sea Res.*, 19 : 183-187.
- Postma H., 1967. Sediment transport and sedimentation in the estuarine environment. *Estuaries*. A.A.A.S. Washington.

- Powell T.M., Cloern J.E. and Huzzey L.M., 1989. Spatial and temporal variability in South San Francisco Bay (USA). I. Horizontal distributions of salinity, suspended sediments, and phytoplankton biomass and productivity. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 28, : 583-597.
- 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 de Docteur de l'Université de Paris VI, 216 p.
- Ravail B., Héral M., Maestrini S.Y., Robert J.M., Razet D., 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, 63 p.
- Ravail B., Héral M., et Maestrini S.Y., 1988. Influence du débit de la Charente sur la capacité biotique du bassin ostréicole de Marennes-Oléron. Rapport DRV 88-014-RA/TREM. Convention de recherches Conseil Régional Poitou-Charentes.
- Schnute J., 1982. A manual for easy nonlinear parameter. Estimation in fishery research with interactive microcomputer programs. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences.* , N°. 1140.
- Schubel J.R., 1971. Tidal variation of the size distribution of suspended sediment at a station in the Chesapeake Bay turbidity maximum. *Netherlands Journal of Sea Research* , 5 (2) : 22-266.
- Speer P.E. and Aubrey D.G., 1984. A study of Non-linear Tidal Propagation in Shallow Inlet/Estuarine Systems. Part II : Theory. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (1985) , 21 : 207-224.
- Table des marées des grands ports du Monde (1984). Service hydrographique et océanographique de la Marine. Paris. Publication n° 540.
- Vale C., Sundby B., 1987. Suspended Sediment Fluctuations in the Tagus Estuary on Semi-diurnal and Fortnightly Time Scales. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* , 25 : 495-508.
- Wolfe D.A. and Kjerfve B., 1986. Estuarine variability : an overview. *Estuarine variability.* p. 3-18.