

**Etude de la croissance de l'huître creuse *Crassostrea gigas*  
dans le Bassin de Marennes-Oléron en relation avec la variabilité spatiale  
des conditions hydrologiques et alimentaires de la zone d'élevage,  
à l'aide d'un Système D'information Géographique (SIG)**

DUFOURG Cécile  
D.E.S.S.

« *Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques* »  
Année 1999



Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes (LCPC)  
Station IFREMER  
17390 LA TREMBLADE

# TABLE DES MATIERES

---

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIEL ET METHODES.....</b>	<b>3</b>
2.1. PRÉSENTATION DU SITE .....	3
2.2. SUIVI DE LA CROISSANCE.....	3
2.2.1. <i>Plan d'échantillonnage</i> .....	3
2.2.2. <i>Les descripteurs</i> .....	4
2.2.3. <i>Traitements statistiques</i> .....	5
2.3. PARAMÈTRES ENVIRONNEMENTAUX.....	6
2.3.1. <i>Plan d'échantillonnage</i> .....	6
2.3.2. <i>Traitements informatiques et statistiques</i> .....	8
<b>3. RESULTATS.....</b>	<b>10</b>
3.1. DESCRIPTEURS DE CROISSANCE.....	10
3.1.1. <i>Croissance de la population adulte</i> .....	10
3.1.2. <i>Croissance de la population juvénile</i> .....	10
3.2. ÉTUDE DE LA MORTALITÉ.....	11
3.2.1. <i>Mortalité de la population adulte</i> .....	11
3.2.2. <i>Mortalité de la population juvénile</i> .....	11
3.3. ÉTUDE DE LA MATURATION SEXUELLE .....	12
3.3.1. <i>Stades de maturation des adultes</i> .....	12
3.3.2. <i>Stades de maturation des juvéniles</i> .....	12
3.4. DONNÉES ENVIRONNEMENTALES .....	12
3.4.2. <i>Evolution des descripteurs</i> .....	12
3.4.3. <i>Comparaison inter-site</i> .....	13
3.4.4. <i>Interpolation des concentrations en pigments</i> .....	14

<b>4. DISCUSSION .....</b>	<b>15</b>
4.1. COMPARAISON DES COMPORTEMENTS DES POPULATIONS ADULTE ET JUVÉNILE .....	15
4.1.1. <i>Croissance et stade de maturation</i> .....	15
4.1.2. <i>Validation chez les adultes du modèle de production de 1997</i> .....	16
4.1.2. <i>Croissance et mortalité</i> .....	16
4.2. ETUDES ENVIRONNEMENTALES .....	17
4.2.1. <i>Limites méthodologiques</i> .....	17
4.2.2. <i>Variabilité spatiale des conditions hydrologiques et conséquences sur la nutrition des huîtres</i> .....	18
4.2.3. <i>Fonctionnement hydrodynamique de l'estuaire</i> .....	19
4.2.4. <i>Phénomène de déplétion de la ressource alimentaire</i> .....	20
<b>5. CONCLUSION.....</b>	<b>22</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>23</b>

## INTRODUCTION

---

Le bassin de Marennes Oléron, situé aux embouchures de la Seudre et de la Charente, est le premier bassin ostréicole européen, avec un stock de 110 000 tonnes d'huîtres pour une production annuelle de 30 à 40 000 tonnes. Le banc de Ronce, au sud du bassin (*figure 1*) est formé de 1 600 concessions réparties sur 175 ha. Il produit 8 000 à 10 000 tonnes d'huîtres creuses *Crassostrea gigas* par an. Il tient une place non négligeable dans l'économie du bassin. Cette espèce, d'origine japonaise, a été introduite en France en 1967.

Ces dix dernières années, un déclin des performances de croissance des huîtres a été observé au niveau du bassin.

Afin d'expliquer ce déclin, des travaux scientifiques (Héral *et al.*, 1986) ont décrit la relation entre la production annuelle et la biomasse d'huîtres sur une période d'un siècle. Ils ont conclu que la baisse de croissance des huîtres était due à un sur-stockage par rapport à la capacité trophique du bassin.

Ainsi, la quantité de nutriment devient un facteur limitant de la productivité. La production continue cependant à augmenter, mais grâce à un effort important de zootechnie (Querellou *et al.*, 1990).

De nombreuses difficultés sont rencontrées dans l'approche de la notion de capacité trophique. En effet, les mollusques lamelibranches s'alimentent par filtration de l'eau. De nombreuses recherches sur les mollusques bivalves se sont orientées vers la description de l'activité alimentaire de filtration. Les travaux de Tammes et Dral (1956) ont montré que les particules susceptibles d'être capturées par les lamelibranches ou leurs larves doivent avoir une taille inférieure à 10  $\mu$ . Ces particules correspondent dans l'eau de mer à des substances colloïdales organiques ou minérales (sédiments argileux, calcaires ou siliceux), à des particules organiques ou inorganiques détritiques ou, enfin, à des particules organiques vivantes du phytoplancton ou de bactéries.

Différents marqueurs de la quantité de nourriture peuvent être utilisés, comme la concentration en chlorophylle a (Prins *et al.*, 1991), la concentration en sestons organiques (Deslou-Paoli *et al.*, 1992 ; Iglesias *et al.*, 1993), le carbone et l'azote (Razet *et al.*, 1990), les phycoérythrine (Shumway *et al.*, 1985), les phéophorbides (Pastoureau *et al.*, 1993).

Dans cette étude, la concentration de l'eau en chlorophylle a, pigment essentiel de la photosynthèse est analysée pour évaluer la quantité de phytoplancton présente sur le banc.

Dans cette optique, une sonde fluorimétrique est utilisée. Elle s'appuie sur la méthode de dosage de la chlorophylle a et de ses produits dégradés (phéophytine a) par fluorimétrie, décrite en premier par Yentsch et Mensel (1963).

Nous disposons ainsi d'un bon outil pour représenter quantitativement la ressource trophique des huîtres élevées.

Le banc de Ronce est un site d'étude idéal. Des recherches menées par le laboratoire en 1997 ont permis de mettre en évidence l'existence d'un gradient de production de chair de direction N-NO sur le banc (Soletchnik *et al.*, 1999) (*figure 2*). Afin de valider ces résultats, les sites expérimentaux sont disposés le long d'une radiale N-NO traversant le banc.

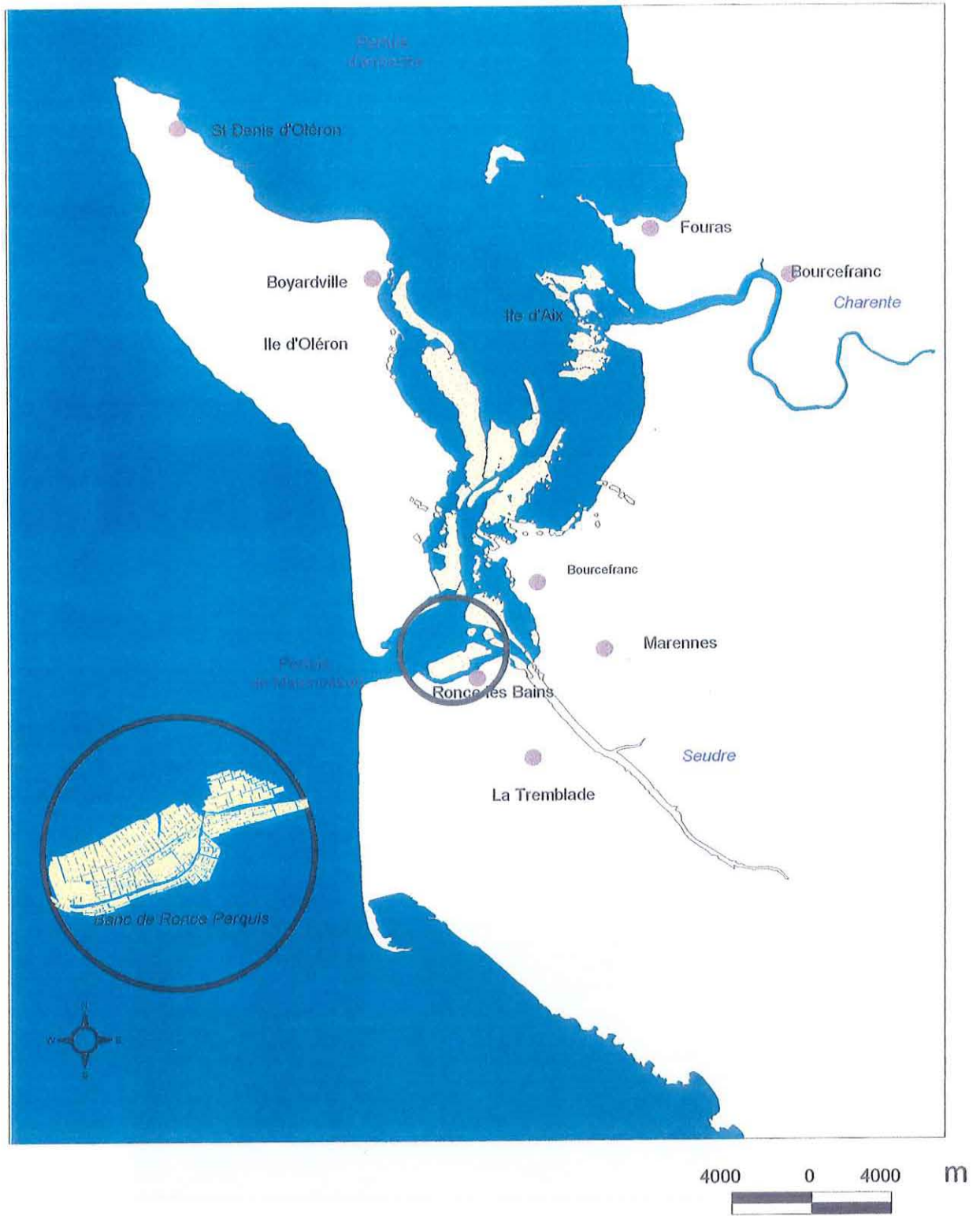


Figure 1 : Bassin de Marennes-Oléron. : Banc de Ronce

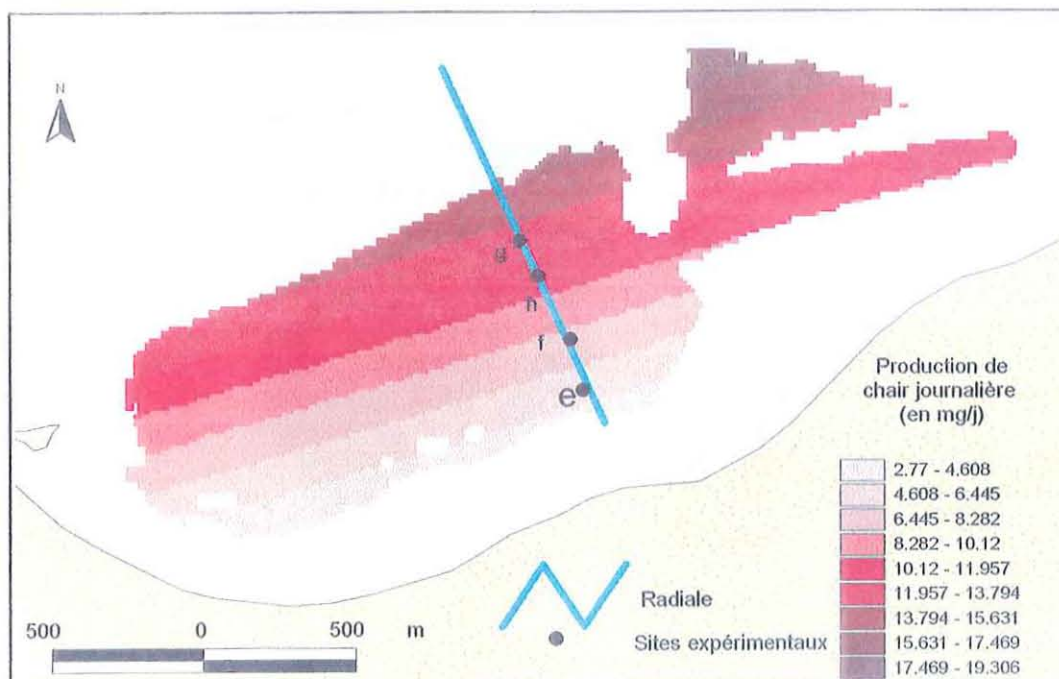


Figure 2 : Modèle de production de chair sur le banc de Ronce (Soletchnik et al., 1999).



Figure 3 : Poches ostréicoles installées sur des tables de 50 cm de hauteur sur le banc de Ronce.

L'objectif de ce travail est alors de mettre en évidence le lien entre la quantité de nourriture disponible, l'évolution des paramètres hydrologiques et la croissance des huîtres au niveau du banc de Ronce pendant la saison printanière 1999.

Cette étude permettra de discuter de l'hypothèse d'un phénomène de déplétion de la ressource trophique de direction N-NO. Les nutriments présents dans les masses d'eaux venant du large seraient épuisés par les huîtres installées sur les parcelles, au cours de la traversée du banc.

La croissance étant dépendante de l'âge des huîtres, le suivi biométrique d'une population d'adultes et d'une population de juvéniles renforceront les résultats. Les huîtres expérimentales sont installées sur des tables ostréicoles (*figure 3*), type d'élevage le plus développé dans le bassin.

En parallèle, un suivi des stades de maturation sexuelle et des mortalités sera effectué.

L'étude de l'évolution spatiale et temporelle des conditions environnementales est effectuée grâce à une méthode originale d'acquisition des données en continu, à l'aide d'une sonde environnementale multiparamétrique (pH, teneur en oxygène, température et turbidité) et du fluorimètre, embarqués sur un chaland ostréicole. Ainsi, des campagnes d'acquisition des données sont réalisées autour de l'heure de pleine mer, le long de la radiale où sont installés les échantillons d'huîtres expérimentaux. Elles sont toutes effectuées en mortes-eaux, les conditions alimentaires présentant une grande variabilité en fonction des cycles de marée et également en fonction du type de marée (vives-eaux, mortes-eaux, regain, revif...) (Prou *et al.*, 1991).

L'originalité du travail vient du fait que les sondes sont ici utilisées en continu, chaque "train" de mesure étant répété spatialement.

Le traitement des données fait alors appel à l'utilisation d'un Système d'Information Géographique ou SIG. Le logiciel SIG ARC VIEW permet de coupler les données environnementales recueillies avec le trajet effectué par le chaland, décrit grâce à l'utilisation du GPS.

Ce nouveau système d'analyse des conditions environnementales doit permettre une approche du fonctionnement hydrodynamique du banc par le suivi des différentes masses d'eau traversant la radiale N-NO. Le bassin de Marennes-Oléron est en effet un écosystème estuarien complexe sous l'influence des apports en eaux marines et en eaux continentales provenant de la Charente (Ravail *et al.*, 1993) et de la Seudre.

Ainsi, différentes questions sont ici abordées. Quelles sont les performances de croissance des huîtres sur le banc de Ronce ? Existe-il une relation entre la mortalité, le stade de maturation et le taux de croissance ? Les performances de croissance sont-elles conformes au gradient géographique de croissance mis en évidence sur le banc en 1997 ? Ce gradient de croissance est-il le reflet d'un phénomène de déplétion de nourriture ? Et enfin, le banc de Ronce souffre-t-il réellement d'une capacité trophique limitée par rapport au stock d'huîtres élevées ?

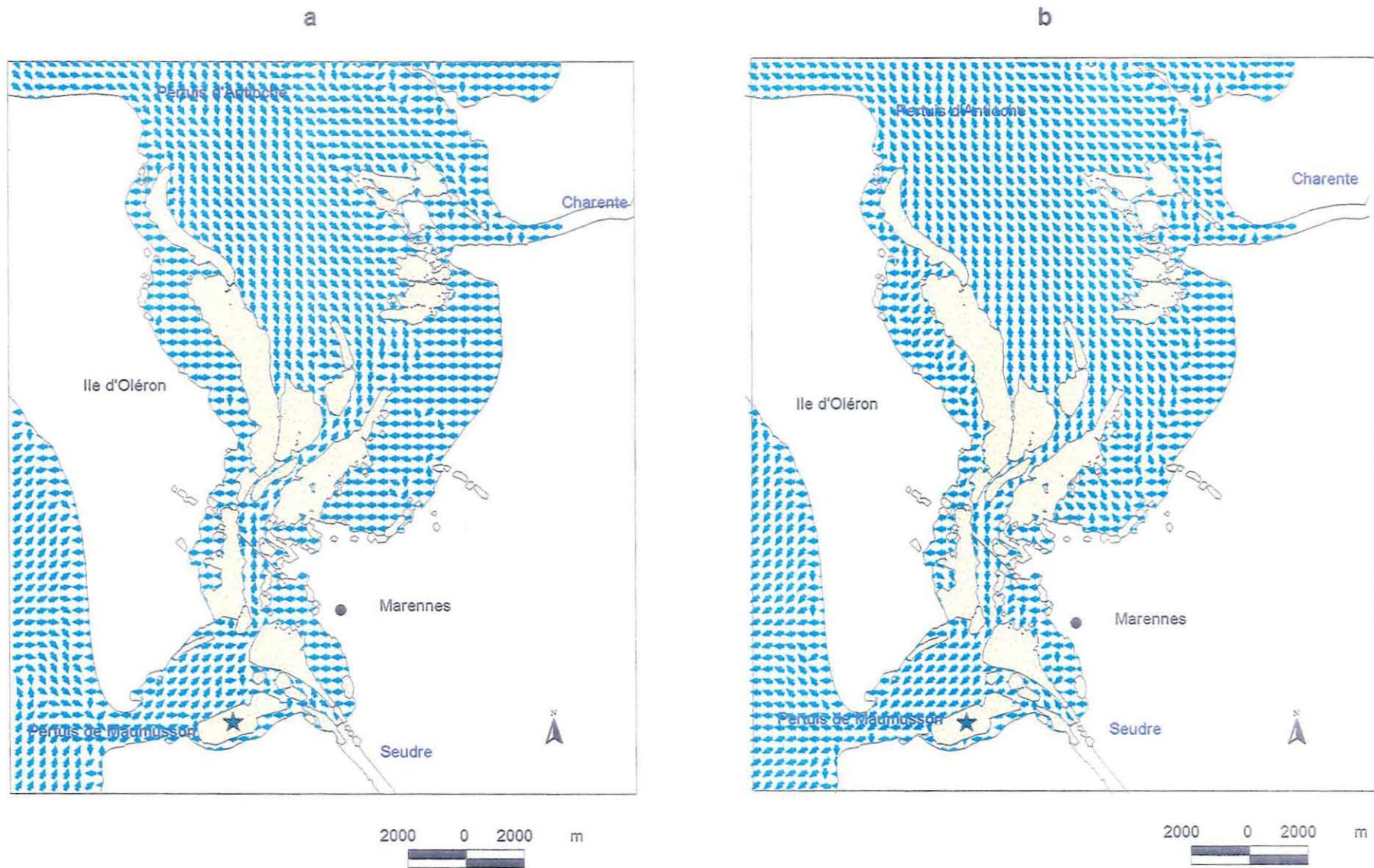


Figure 4 : Directions et sens des courants à marée montante (a) et à marée descendante (b) dans le bassin de Marennnes-Oléron.

- ▲ sens du courant
- ★ Banc de Ronce



### 2.1. Présentation du site

Le banc de Ronce est situé à l'extrême sud du bassin de Marennes-Oléron. Les eaux océaniques circulent du nord au sud de la baie, pour sortir au pertuis de Maumusson (*figure 4*). A ce niveau, la quantité d'eau sortante est 2 fois plus élevée que l'apport océanique en période de vives eaux. De plus, les bancs ostréicoles de Ronce et de Pertuis sont très haut sur l'estran (en moyenne 1 m au-dessus des autres parcs de la baie), le sommet de la zone est ainsi recouvert aux basses mers de coefficient 30 (Bodoy *et al.*, 1990). Ainsi, la localisation très septentrionale du banc de Ronce sur le bassin de Marennes-Oléron, leur position haute sur le banc en font un site ostréicole caractérisé par un apport courantologique moindre et des temps d'exondation supérieurs aux autres zones de la baie (Soletchnik *et al.*, 1999).

La position géographique de la radiale a été déterminée à l'aide du SIG, en utilisant le géoréférenciel du banc, perpendiculairement à la direction du gradient de production du modèle. De direction N-NO, elle coupe le banc transversalement du large vers la côte.

### 2.2. Suivi de la croissance

#### 2.2.1. Plan d'échantillonnage

- *Sites expérimentaux*

Au total, 4 sites expérimentaux (e, f, g et h) (*figure 5*) ont été choisis sur des parcelles ostréicoles appartenant à des professionnels. Leur position précise a été déterminée à l'aide du géoréférenciel des parcelles du banc de Ronce (AFFMAR. 17). Ils sont disposés de manière régulière le long d'une radiale transversale de direction N-NO, sur des zones de même altitude, le temps d'exondation influençant les performances de croissance des huîtres (Soletchnik *et al.*, 1999). Le site e est le site le plus au sud, proche de la plage. Le site h est disposé au nord du banc, près du large. Ils sont localisés dans l'espace par leurs coordonnées géographiques en Lambert X et Y, selon une échelle relative.

- *Matériel biologique*

Deux populations sont ici étudiées. La première est composée d'huîtres juvéniles de 8 mois et la seconde, d'individus adultes de 30 mois. Elles ont des origines différentes. La population adulte provient du bassin de Marennes-Oléron, alors que les individus juvéniles, nés à l'écloserie du laboratoire de La Tremblade, ont été pré-grossis à la station IFREMER de Bouin.

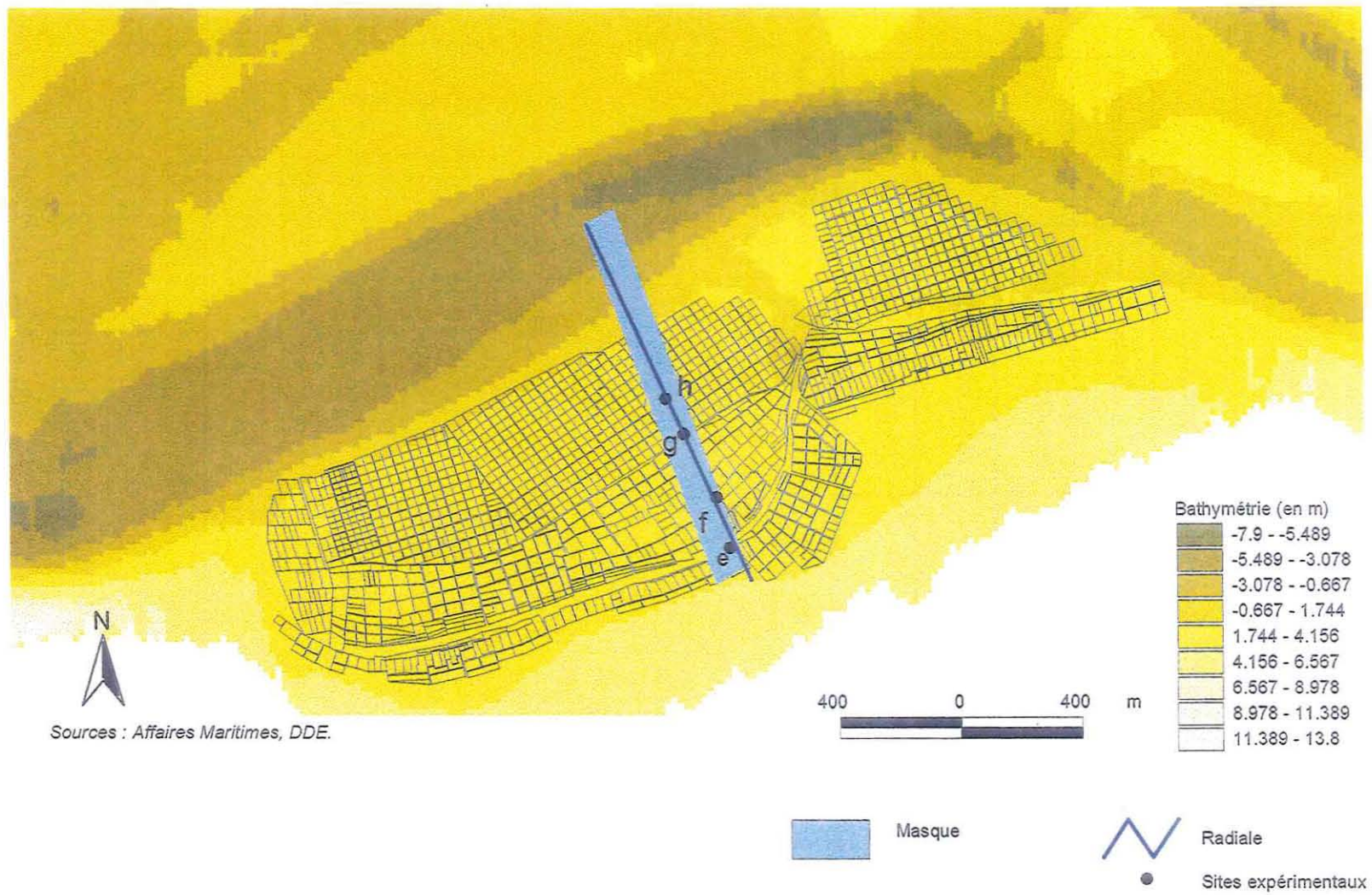


Figure 5 : Présentation du banc de Ronces sous le SIG

Tableau I : Echantillonnage des lots d'huîtres adultes et juvéniles.

<b>Période inter-échantillonnage</b>	<b>Dates</b>	<b>Durée (en j)</b>
1	01/04/99 - 19/04/99	19
2	19/04/99 - 17/05/99	28
3	17/05/99 - 14/06/99	28
		<b>Total = 75</b>

### • *Méthode et unité d'échantillonnage*

La technique d'échantillonnage utilisée est un échantillonnage par grappes. Il s'agit de diviser chaque population en sous-ensembles ou grappes. Chacune des grappes est constituée par des individus considérés comme représentatifs de la population. Cela revient à faire des tirages à plusieurs niveaux. A chaque niveau, un échantillonnage aléatoire est effectué.

Ainsi, 4 000 individus sont échantillonnés aléatoirement sur la population adulte et répartis en 20 lots de 200 huîtres. Après un double comptage, ces lots de 200 individus sont installés dans des poches ostréicoles de maillage 14 mm et de dimension 1 m sur 50 cm. Les 20 lots sont alors distribués de manière aléatoire sur les 4 sites (5 poches par sites, 3 pour le comptage de la mortalité et 2 pour les prélèvements de biométrie).

De même, 3 000 individus juvéniles sont prélevés aléatoirement et distribués en 9 lots de 200 huîtres pour la mortalité et en 3 lots de 400 pour les prélèvements. Les poches utilisées ont un maillage de 9 mm. Les 15 lots sont répartis de manière aléatoire sur 3 sites seulement (e, f et h) du fait d'un manque d'effectif de notre population initiale (5 poches par sites, 3 de 1 m sur 25 cm pour le comptage de la mortalité, et 1 de 1 m sur 50 cm pour les prélèvements de biométrie).

Enfin, le dernier niveau d'échantillonnage consiste en un prélèvement de 30 individus par type (juvénile et adulte) et par site, dans l'une des 2 poches de prélèvement prévues à cet effet. Ainsi, le suivi de croissance est réalisé sur 7 échantillons de 30 individus à chaque sortie.

### • *Périodes d'échantillonnage*

L'installation des poches d'huîtres expérimentales sur les tables ostréicoles au niveau des sites expérimentaux a été effectuée le 01/04/99. Ensuite, 3 sorties sont effectuées, séparées par des périodes de 19 à 28 jours (*tableau I*).

Le travail de prélèvement est soumis à différentes contraintes. La date des sorties repose sur le rythme du calendrier des marées. Le coefficient d'exondation doit être suffisant pour découvrir les sites expérimentaux, tout le temps nécessaire pour les manipulations.

### 2.2.2. *Les descripteurs*

#### • *Travail sur le terrain*

Un bilan du pourcentage d'occupation des parcelles situées autour de la radiale et du type d'élevage (élevage à plat ou sur table) présent est réalisé.

L'évaluation des taux de mortalité consiste en un dénombrement sur le terrain des individus morts dans les 3 poches ostréicoles de comptage d'effectif initial  $N = 200$ , installées par site et pour chaque catégorie (adulte et juvénile). Chaque poche est vidée dans une manne.

Tableau II : Les différents descripteurs

Descripteurs de croissance		
Pt	Poids total	g
Pc	Poids de la coquille	g
Ps	Poids sec	g
TPs	Gain de poids sec journalier	% j <sup>-1</sup>
Descripteurs de la mortalité		
NM	Nombre d'individus morts	
MP%	Mortalité par période	%
TMJ%	Taux de mortalité journalier	% j <sup>-1</sup>
Descripteurs de la maturation		
SM	Stade de maturation moyen *	0 à 3
Descripteurs environnementaux		
Omg	Oxygène	mg/l
pH	pH	u.pH
NTU	Turbidité	NTU
S‰	Salinité	‰
T	Température	°C
ChlaPheo	Chlorophylle a + Pheophytine a	µg/l

\* : d'après Soletchnik *et al*, 1997.

Tableau III : Etat initial en poids total (Pt), en poids de coquille (Pc) et en poids sec (Ps) des populations adulte et juvénile *Crassostrea gigas*. ( ) : écart type.

	Adultes	Juvéniles
Poids totaux (g)	29,33 (±6,71)	1,77 (±0,82)
Poids de coquille (g)	16,28 (±4,53)	1,21 (±0,54)
Poids secs (g)	0,32 (±0,12)	0,05 (±0,03)

Tableau IV : Echelle descriptive \* des stades de maturation pour les mâles et les femelles.

Observations microscopiques	Echelle descriptive
<i>Mâle</i>	
Pas de mobilité des spermatozoïdes	1
Mobilité partielle des spermatozoïdes	2
Mobilité active des spermatozoïdes	3
<i>Femelle</i>	
Stade ovogonie	1
Ovocytes en vitellogénèse	2
Ovocytes en vitellogénèse avancée (piriforme)	3

\* : d'après Soletchnik *et al*, 1997.

Seules les valves inférieures sont comptabilisées. Le comptage est réalisé en remettant les huîtres vivantes dans la poche. Les coquilles vides sont éliminées.

- *Analyses en laboratoire*

⇒ La biométrie (*tableau II*)

La méthodologie employée est la suivante :

- Les huîtres sont lavées à la brosse pour enlever les traces de vase, les balanes ou le naissain fixés ;
- Puis, elles sont pesées (Ptot) au 1/10 de gramme ;
- Les chairs sont retirées des coquilles ; Ces dernières sont placées 48 h à l'étuve à 50°C (Pcoq) ;
- Chaque chair est placée dans un sachet plastique (minigrip) au préalable identifié et pesé au 1/100 de gramme puis est congelée ;
- Les échantillons congelés sont lyophilisés pendant 2 jours dans un LYOLAB modèle LSL. On en déduit la valeur des poids de chair, ou poids sec (Psec).

On obtient alors des fichiers de type tableur (excel) composés de la date du prélèvement, des Ptot, des Pcoq et des Psec pour les 7 échantillons de 30 individus. L'état biométrique initial des 2 populations homogènes adulte et juvénile est établi (*tableau III*).

⇒ Le stade de maturation sexuelle

Un frottis des gonades le plus près possible du canal d'excrétion est effectué sur la totalité des échantillons. L'observation des gamètes au microscope optique permet la détermination du sexe et du stade de développement sexuel sur une échelle allant du stade immature (stade 0) au stade 3, d'après Soletchnik (1997) (*tableau IV*).

### 2.2.3. *Traitements statistiques*

Les analyses statistiques sont effectuées à l'aide du logiciel "Statgraphics plus" version 3.1.

- *Etude de biométrie*

Le poids total (Ptot), le poids de coquille (Pcoq) et le poids sec (Psec) sont les 3 descripteurs de croissance utilisés.

L'ajustement ou non des descripteurs à la loi normale est effectué par l'intermédiaire des descripteurs de Skewness et Kurtosis.

Les analyses statistiques sont ensuite effectuées au moyen de tests paramétriques, par des analyses de variance monofactorielles testant le facteur "site" (ANOVA). Les paramètres

Tableau V : Campagnes d'acquisition des données environnementales.

<b>Sortie</b>	<b>Date</b>	<b>Coefficient de marée</b>	<b>Durée</b>	<b>Heure d'acquisition</b>	<b>Heure de PM</b>	<b>Nombre total de passages</b>
1	07/04/99	49	2h37	8h00 - 10h37	9h14	8
2	11/05/99	58	2h50	13h34 - 16h24	14h48	8
3	24/05/99	56	1h56	15h15 - 17h11	15h21	6
4	08/06/99	51	3h32	11h46 - 15h18	13h12	4
5	25/06/99	52	3h46	13h20 - 17h06	15h17	13

testés sont la date de la sortie et les sites expérimentaux. Un test de rang LSD (least significant difference) est ensuite utilisé.

- *Etude de la mortalité*

Les données de mortalités sont exprimées en nombre de morts par poche (NM), en pourcentage d'individus morts sur la période (MP %), puis en "taux de mortalité journalier" ou TMJ (tableau II). Il exprime le pourcentage d'individus morts par rapport aux individus vivants restant dans la poche, ramené au nombre de jours de la période d'inter-échantillonnage correspondante.

Le test non paramétrique de Kruskal Wallis est appliqué pour comparer les mortalités, par site et par période. Un test de rang LSD permet ensuite de définir les groupes homogènes.

- *Etude des stades de maturation*

Les stades moyens de maturation sexuelle sont comparés entre les lots des différents sites, à l'aide d'analyses de variance monofactorielles, puis d'un test de rang LSD.

## **2.3. Paramètres environnementaux**

### **2.3.1. Plan d'échantillonnage**

- *Conditions et déroulements des sorties*

Les sorties résultent d'un choix de stratégie d'échantillonnage associé à un objectif précis. Au total, 5 sorties ont été réalisées, du 07 mai au 24 juin (*tableau V*)

Elles sont effectuées en mortes eaux (coefficients de marée de 49 à 58), où les variations des masses d'eau sont minimales. Elles durent 3 heures, centrées autour de l'heure de pleine mer. D'autre part, les conditions climatiques doivent obligatoirement être stables.

Les passages le long de la radiale, au-dessus des 4 sites expérimentaux sont effectués indifféremment dans les 2 sens (de la plage vers le large et du large vers la plage).

La première radiale étant toujours menée du large vers la plage. Le nombre total de radiales varie de 4 à 14 selon les sorties.

- *Outils pour l'analyse spatiale*

Les campagnes d'acquisition sont effectuées sur un chaland ostréicole équipé d'un sondeur indiquant la hauteur d'eau, et d'un GPS différentiel. Ce dernier permet de positionner le bateau à quelques mètres près. Les points d'acquisition des sondes et les coordonnées géographiques de tout le trajet sont récupérés en sortie sur un micro-ordinateur, à l'aide du programme GPSserv (C. Durant, IFREMER/DITI/DSI). Les données transmises sont visualisées et stockées dans un projet sous le logiciel SIG ARC VIEW version 3.0 (ESRI), sur



fond cartographique. Les coordonnées sont exprimées en format Lambert II de projections cartographiques. Les fonds disponibles sont de plusieurs natures : images (SCAN IGN, orthophotos aériennes), vectorielles (cadastre numérisé Affaires Maritimes) ou raster (bathymétrie DDE Charente-Maritime).

L'acquisition des données est à pas de temps variable. Le pilote du chaland visualise en temps réel la carte de la zone où il navigue avec, superposée, la position du bateau et la radiale. Il s'applique alors à longer la radiale N-NO préalablement définie.

- *Données hydrologiques et méthodes de mesure*

Les deux sondes sont fixées sur une perche pivotante accrochée au chaland, à environ 0,4 m de profondeur (*figure 6*). Chaque sonde est reliée à un micro-ordinateur. La vitesse autorisée au-dessus des parcs ostréicoles ne doit pas dépasser les 2 nœuds. Le chaland doit aller à une allure lente au cours des acquisitions pour limiter les influences éventuelles du déplacement sur les mesures comme la formation de bulles d'air sur la sonde à oxygène.

- La sonde multiparamétrique Ysi (Incorporated Yellow Springs) PC6000 :

Elle est composée d'une sonde à oxygène, d'un pH mètre, d'un néphélomètre, d'une sonde à salinité et d'une sonde à température. Elle indique le niveau de profondeur et la pression sous l'eau.

La salinité représente la proportion de sels minéraux dissous dans l'eau de mer. La méthode utilisée est la conductimétrie.

Sørensen établit en 1902 la première définition de la salinité : "la salinité est la masse, en grammes, des substances solides contenues dans un kilogramme d'eau de mer, quand les ions bromures et iodures sont remplacés par leur équivalent de chlorure, les carbonates convertis en oxydes et toute la matière organique oxydée". Le symbole utilisé est S‰. Dans les océans, la salinité est autour de 35‰.

La méthode de conductivité est utilisée depuis 1950. La conductivité de l'eau de mer est assurée par les ions présents. Du fait de la proportionnalité des différents sels dissous (loi de Dittmar) la conductivité permet de déterminer la salinité avec une grande précision.

La mesure du pH s'appuie sur la méthode électrochimique avec électrodes de verre. La définition pratique est fondée sur la différence de potentiel entre une électrode de mesure et une électrode de référence.

La turbidité est exprimée en unité néphélométrique. La mesure néphélométrique utilise la lumière diffusée par les particules, ou l'effet Tyndall ; cette dernière est généralement à angle droit par rapport à la lumière incidente.

- Le fluorimètre :

Il indique la fluorescence mesurée instantanément en unité de sonde ou FLSC (mV).

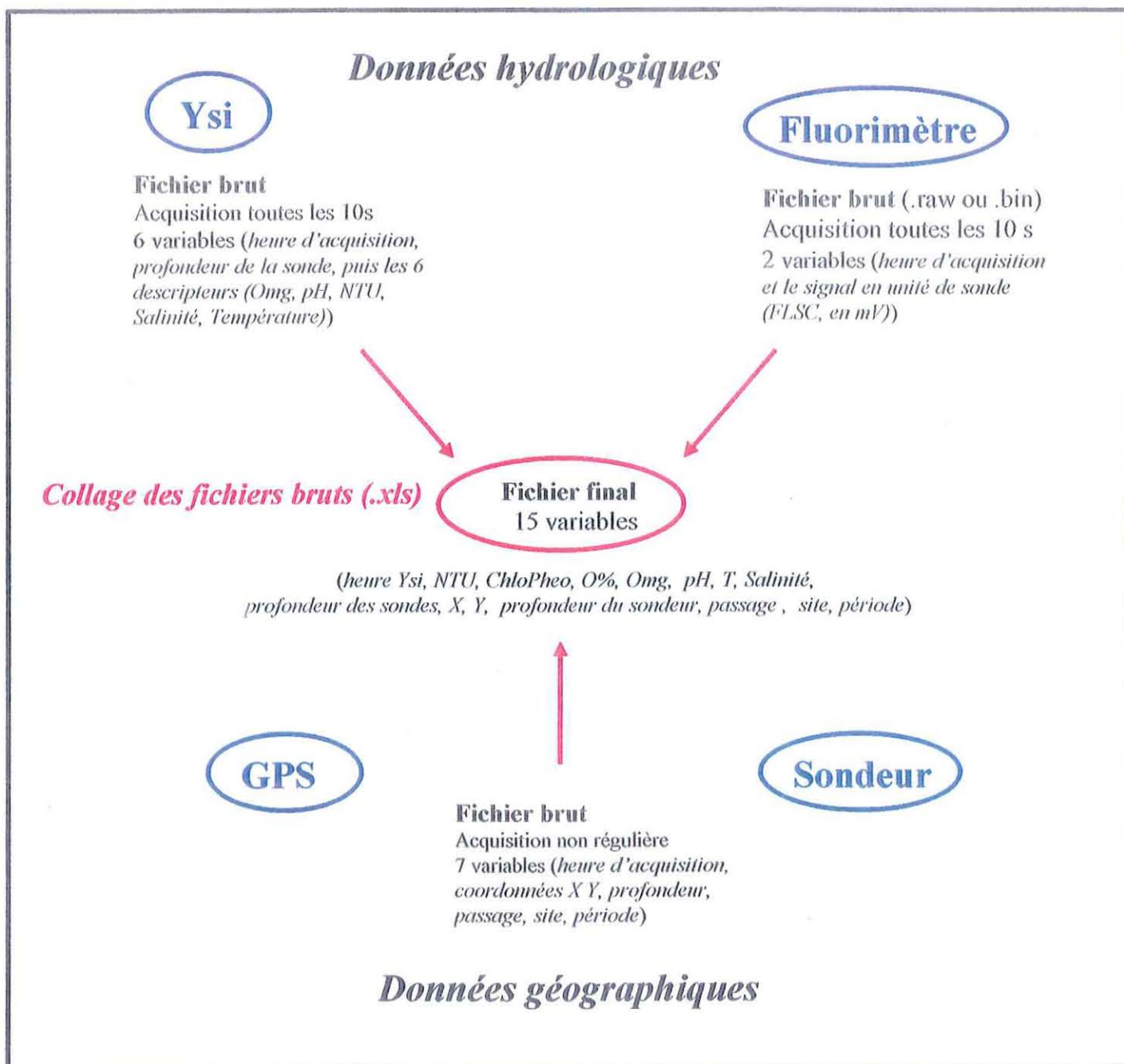


Figure 7: Fichiers final des données environnementales: collage des différents fichiers bruts des différents descripteurs.

Les chlorophylles et leurs dérivés émettent une fluorescence rouge lorsqu'ils sont excités par de la lumière bleue ou ultra-violette. La sonde fluorimétrique est alors équipée d'une lampe bleue excitatrice. La fluorescence est mesurée à angle droit par un photomultiplicateur sensible aux radiations rouges.

Le fluorimètre retourne les résultats en unité de sonde (mV). Un étalonnage est alors nécessaire afin de faire la correspondance avec les concentrations en pigments. Celui-ci est effectué par dosages spectrophotométriques en laboratoire (méthode de Lorenzen (1967)) d'échantillons d'eau prélevés dans le milieu, à différents points de la radiale, au cours des 5 sorties. Sont ajoutés à ces points, des échantillons plus concentrés de monocultures de *Pavlova monochrysis* et de *Tetraselmis* et d'un mélange d'espèces provenant du laboratoire. L'étalonnage de la sonde est alors effectué sur une gamme de concentration en pigment large, et permet d'établir après une simple régression linéaire, l'équation reliant le signal de la sonde (FLSC) à la concentration en chlorophylle a et en phéophytine a.

### 2.3.2. Traitements informatiques et statistiques

- *Préparation du fichier final*

Tous les fichiers bruts sont exprimés en format Excel.

Le fichier brut provenant des données du GPS et du sondeur est retravaillé sous le SIG avant le collage avec les fichiers de données hydrologiques (*figure 7*). Deux variables qualitatives y sont ajoutées.

La première, appelée "PASSAGE" affecte les points à leur numéro de passage le long de la radiale (*figure 8*).

La deuxième, la variable "SITE" consiste à identifier par une requête "inter thème" les points se trouvant dans les 90 mètres autour d'un des 4 sites expérimentaux. Le nom du site (de e à h) leur est alors affecté. Une cinquième modalité "chenal" est affectée aux points de prélèvement situés au large. Cette dernière variable va permettre de faire le rapprochement entre les résultats hydrologiques et les résultats de biométrie obtenus pour les 4 sites.

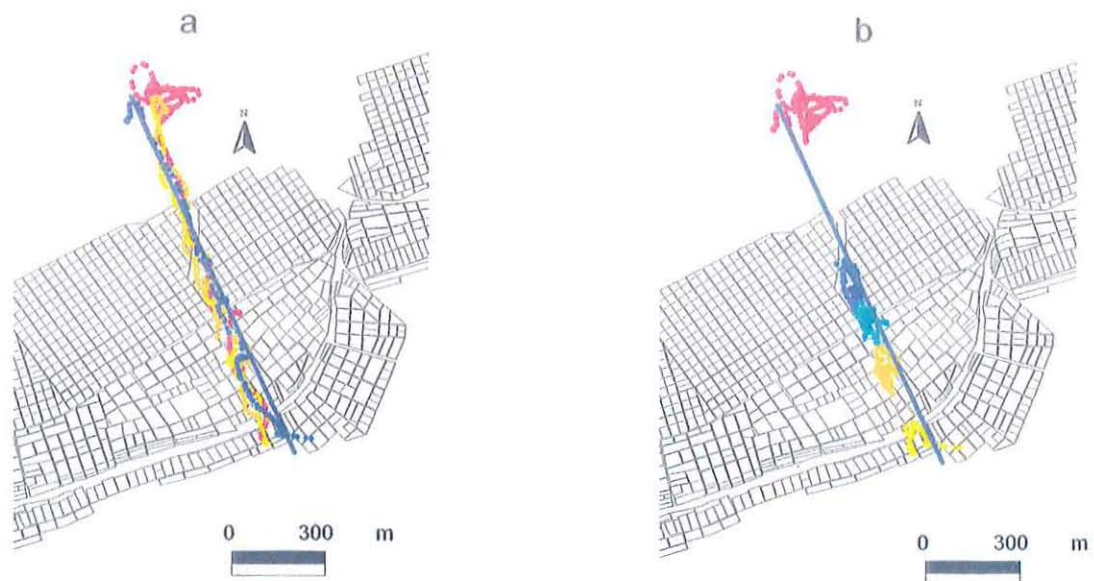
Les 3 fichiers sont ensuite liés à l'aide d'un programme informatique, en fonction de l'heure d'acquisition. Ainsi, les points des données environnementales sont reliés à leurs coordonnées géographiques.

- *Analyse du fichier*

Trois approches progressives sont utilisées.

⇒ Evolution des descripteurs

La première approche des résultats passe par une simple observation de l'évolution des 6 descripteurs en fonction du temps et des demi-tours à la plage et au large, ceux-ci étant positionnés à l'aide du SIG.



Source : Affaires Maritimes.

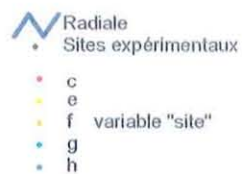
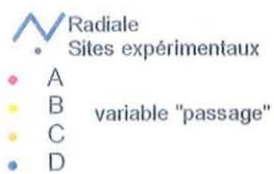


Figure 8 : Modalités des variables "passage" (a) et "site" (b) du 24 juin 1999.

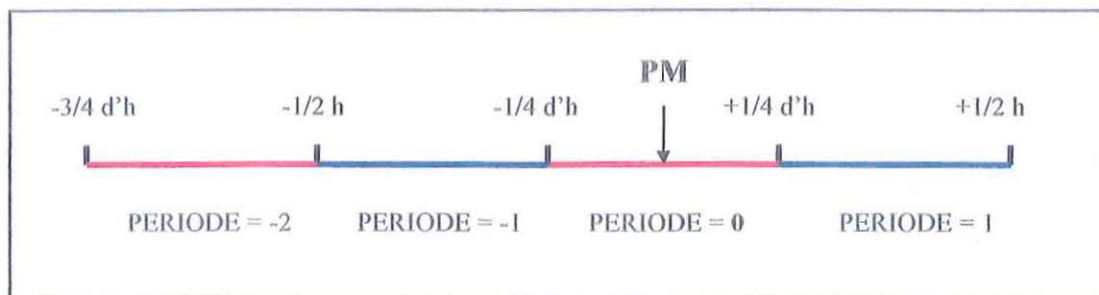


Figure 9: Différentes modalités de la variable « PERIODE » par rapport à l'heure de pleine mer (PM).

## ⇒ Comparaison inter-site

Une comparaison statistique des descripteurs environnementaux est rendue possible grâce à la variable “ SITE ” du fichier.

Du fait de la stratégie d'échantillonnage, seulement 3 campagnes d'acquisition (le 07/05, le 11/05 et le 25/06) sont analysées. Les sorties du 24 mai et du 08 juin proviennent de stratégies d'échantillonnages différentes. En effet, l'acquisition des données le 24 mai débute seulement à l'heure de pleine mer et la sortie de 08 juin est composée uniquement de 4 passages le long de la radiale.

Les 3 sorties n'étant pas de même durée ni bien centrées autour de la pleine mer, une nouvelle variable “ PERIODE ” est ajoutée au fichier final. Elle va de la modalité -2 à la modalité 1 (*figure 9*), par pas de une demi-heure, soit 2 h au total de prélèvement. La valeur 0 correspond aux points d'acquisition situés une demi-heure autour de la pleine mer. Cette variable unifie l'heure des acquisitions par rapport à l'heure de pleine mer et la durée des sorties pour une meilleure comparaison saisonnière des descripteurs.

La demi-heure est considérée ici comme une unité de prélèvement pendant laquelle seule la position géographique entre en jeu. La stratégie d'échantillonnage suppose que la variabilité temporelle soit faible devant la variabilité spatiale, au cours de la demi-heure d'acquisition. L'évolution temporelle est analysée par la comparaison des valeurs entre les différentes périodes.

Une analyse de variance multifactorielle à 3 facteurs (date, site et période) est réalisée pour chaque variable. L'interaction de troisième ordre est prise en compte et étudiée.

## ⇒ Interpolation du signal fluorimétrique sous le SIG

Dans le cadre de la recherche de validation du modèle biologique de croissance, il faut analyser l'ensemble de la zone géographique dans laquelle sont réalisés les élevages expérimentaux.

Cette dernière analyse a alors pour but de visualiser directement le gradient des concentrations en chlorophylle a et en pheophytine a autour de la radiale, pour chaque traversée du banc des 5 sorties.

Pour cela, une interpolation du signal fluorimétrique, transformé en concentration en pigments, est réalisée à l'aide du logiciel ARCVIEW. Elle permet de passer du mode “ point d'acquisition ” à une “ trame ” c'est à dire à une matrice de cellules. La valeur du paramètre environnemental au niveau du point est interpolée à la surface environnante. On passe alors des points du trajet à toute une surface délimitée autour de la radiale, appelée “ masque ”. La méthode d'interpolation IDW (Inverse Distance Weighted à rayon fixe, puissance 2) détermine la valeur d'une cellule en fonction de sa distance aux points d'acquisition. La puissance de chaque point d'acquisition a une influence locale qui diminue avec la distance. Le poids d'une cellule est alors une fonction linéaire inverse de la distance.

Elle permet ainsi de visualiser l'évolution spatiale du paramètre au cours de la marée pour les 5 sorties.

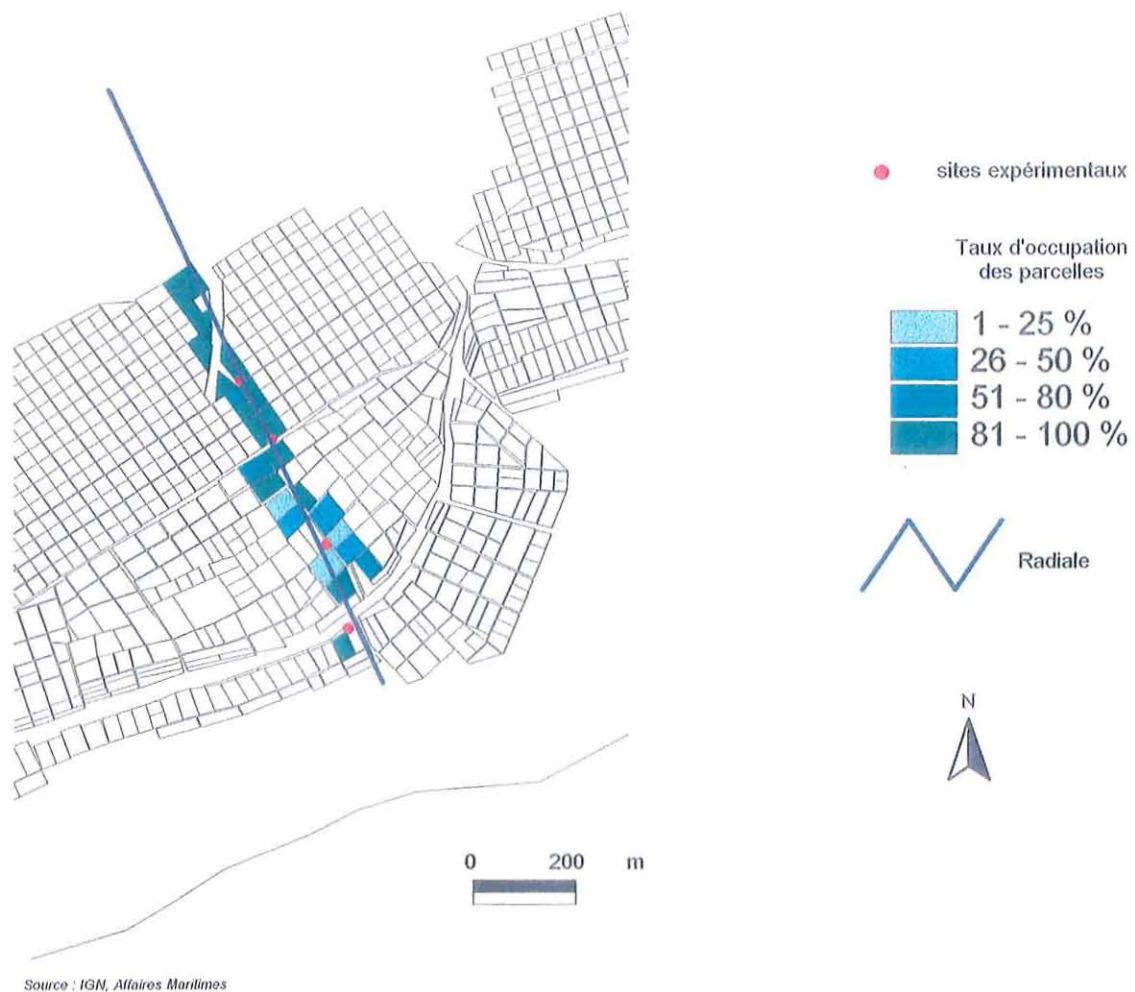


Figure 10 : Présentation des taux d'occupation des parcelles ostréicoles situées autour de la radiale N-NO.

Tableau VI : Poids secs moyens (g) des prélèvements 1 (le 19/04), 2 (le 17/05) et 3 (le 14/06) des individus adultes au niveau des 4 sites expérimentaux. ( ) : écart type.

Site expérimental	Prélèvement 1	Prélèvement 2	Prélèvement 3
e	0,33 (±0,15)	0,48 (± 0,21)	1,05 (± 0,24)
f	0,33 (±0,11)	0,58 (± 0,19)	1,14 (± 0,99)
g	0,35 (±0,12)	0,62 (± 0,20)	1,40 (± 0,29)
h	0,33 (±0,11)	0,67 (± 0,20)	1,36 (± 0,34)

Tableau VII : Gains de poids sec journaliers (%) (TPs), des individus adultes au cours des périodes 2 (du 19/04-17/05) et 3 (du 17/05-14/06) pour les 4 sites expérimentaux.

Sites expérimentaux	Période 2	Période 3
e	1,5	4,4
f	2,8	1,3
g	2,7	4,5
h	3,6	3,7

Tableau VIII : Poids secs moyens (g) des prélèvements 1 (le 19/04), 2 (le 17/05) et 3 (le 14/06) des individus invéniles au niveau des 3 sites expérimentaux ( ) : écart

Site expérimental	Prélèvement 1	Période 2	Période 3
e	0,06 (±0,03)	0,10 (± 0,04)	0,23 (± 0,08)
f	0,06 (±0,03)	0,15 (± 0,07)	0,28 (± 0,21)
h	0,07 (±0,03)	0,09 (± 0,17)	0,28 (± 0,13)

## RESULTATS

---

La partie nord du banc présente des taux d'occupation compris entre 80 et 100 %. Ces taux diminuent ensuite vers la côte, où toutes les parcelles ne sont pas occupées (*figure 10*).

### 3.1. Descripteurs de croissance

#### 3.1.1. Croissance de la population adulte

Durant la première période, du 01 avril au 19 avril, aucun des 3 descripteurs de croissance n'évolue significativement (*figure 11*). Elle correspond alors à une phase d'acclimatation des huîtres après leur installation sur les sites expérimentaux.

Le poids total moyen le 14 juin après 75 jours d'élevage est de 29,8 – 33,0 g. Cette augmentation moyenne de 8 % est identique sur les 4 sites (*annexe 1*). Ce descripteur intègre le poids de coquille, le poids sec et le poids en eau de l'huître. Les seuls poids de coquille et poids sec suffisent alors à la description des performances de croissance.

Comme pour le poids total, le gain en poids de coquille est le même quel que soit le site expérimental. En fin d'expérience, le poids de coquille a augmenté de 15 %. Il atteint alors 17,79 - 19,01 g.

L'effet site est significatif uniquement pour les poids secs, lors des prélèvements 2 (17/05) et 3 (14/06) (*figure 12*). D'après le test de rang appliqué au second prélèvement, le lot installé sur le site e présente un poids sec moyen de  $0,48 \pm 0,21$  g (*tableau VI*) significativement inférieur à ceux élevés sur les sites f, g et h. Ces derniers forment un groupe de poids sec homogène de 0,59 - 0,67 g. Le site e est alors le moins performant durant cette période. Il présente une augmentation journalière de poids sec de seulement 1,5 % (*tableau VII*) alors qu'elle s'élève à 2,7 - 3,6 % pour les 3 autres sites.

A la fin de la période expérimentale, après 75 jours d'élevage, une différence significative de poids sec entre les sites ( $p < 0,05$ ) apparaît. Les individus du site e ( $P_{\text{sec}_{\text{moy}}} = 1,05 \pm 0,24$  g) et f ( $P_{\text{sec}_{\text{moy}}} = 1,14 \pm 0,99$  g) présentent des valeurs inférieures à ceux des sites g ( $P_{\text{sec}_{\text{moy}}} = 1,40 \pm 0,29$  g) et h ( $P_{\text{sec}_{\text{moy}}} = 1,36 \pm 0,34$  g). Si on compare les taux de croissance journaliers durant cette période, on s'aperçoit que les sites e, g et h sont les plus performants. Le gain en poids sec des huîtres installées sur le site f vaut seulement 1,3 % alors qu'il s'élève à 3 % en période 2. Ce site est le moins performant en terme de production de poids sec durant cette dernière période.

#### 3.1.2. Croissance de la population juvénile

Les individus juvéniles évoluent très peu durant la première période d'inter échantillonnage, phase d'acclimatation des huîtres.



## Adultes

## Juvéniles

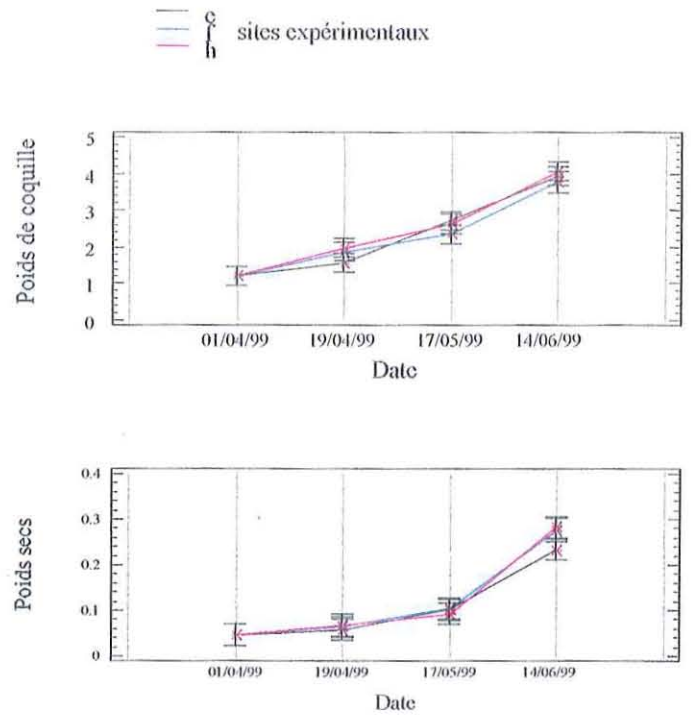
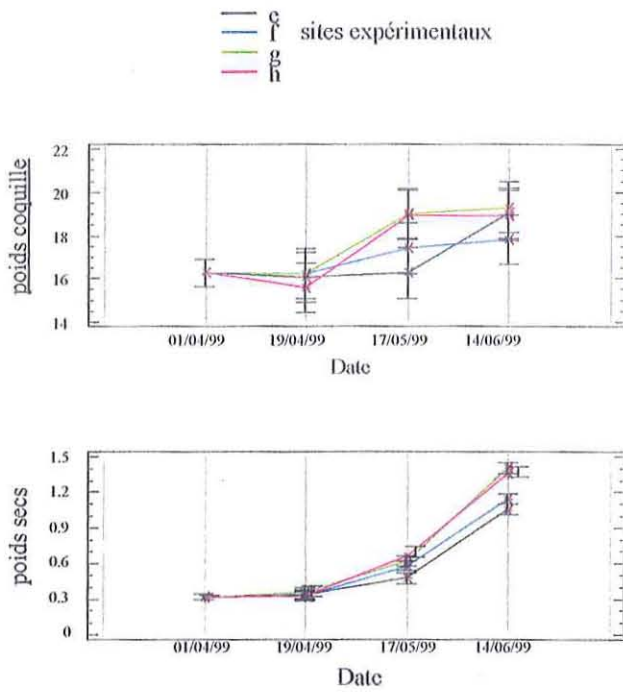


Figure 11 : Croissance en poids de coquille et en poids sec des adultes et des juvéniles *Crassostrea gigas* des 4 sites expérimentaux.

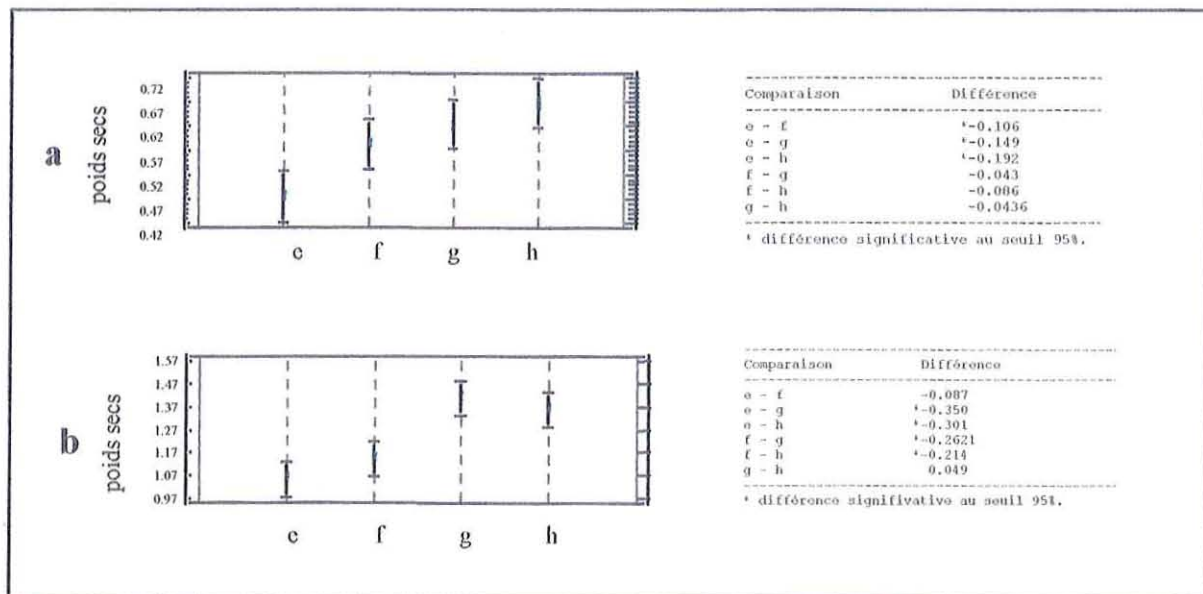


Figure 12 : Comparaison des poids secs au niveau des prélèvements 2 (a: le 17/05) et 3 (b: le 14/06) des individus adultes par le test de rang de Newman-Keuls.

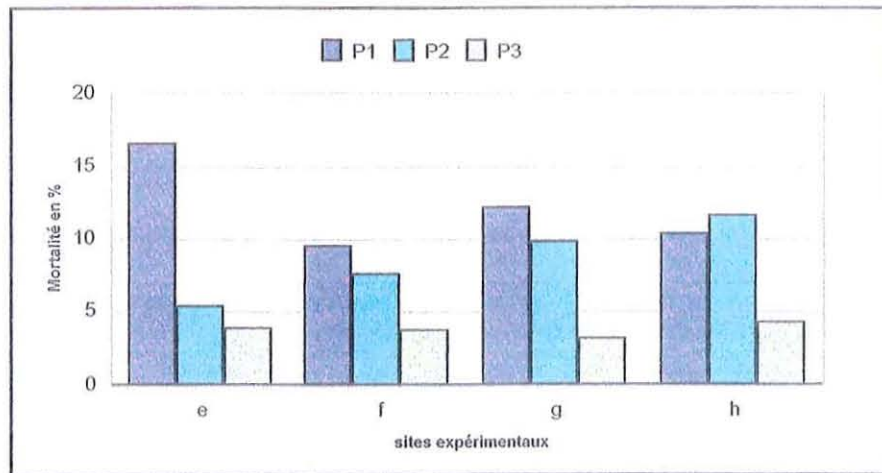


Figure 13 : Mortalités (en %) pour les 4 sites expérimentaux des adultes *Crassostrea gigas* au cours des 3 périodes d'inter-échantillonnage (P1: 01/04-19/04; P2: 19/04-17/05; P3: 17/05-14/06).

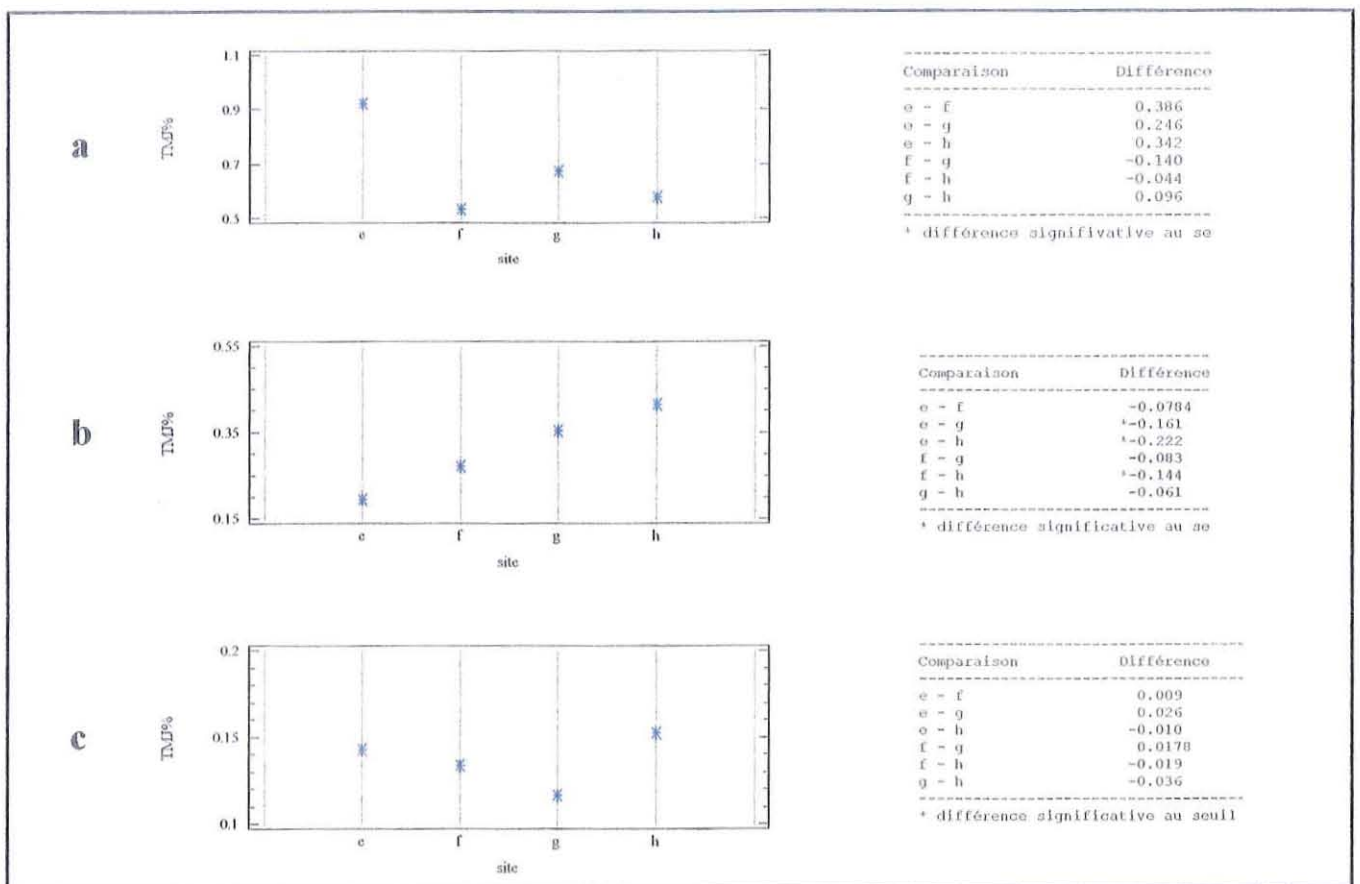


Figure 14: Mortalités journalières des adultes *Crassostrea gigas* des 4 sites expérimentaux comparées par un test de rang de Newan-Keuls au cours des 3 périodes d'inter-échantillonnages (a: période 1 (01/04-19/04); b: période 2 (19/04-17/05) et c: période 3 (17/05-14/06)).

L'effet site n'est jamais significatif quel que soit le descripteur et la période inter échantillonnage.

Les poids totaux sont compris entre 5,65 - 7,34 g (*annexe II*) à la fin de la période expérimentale. L'augmentation moyenne journalière est de 9,5 %, soit une augmentation totale de 265 % durant les 75 jours.

Le gain moyen en poids de coquille est de +1,7 g, soit une augmentation journalière de 3 % (+ 225 % sur la totalité de la période expérimentale).

De même, les poids secs sont homogènes pour l'ensemble des sites au cours des 3 périodes. Le poids sec moyen initial se trouve multiplié par 5 en fin d'élevage où il est de 0,23 - 0,28 g (*tableau VIII*). Les taux de croissance journaliers sont compris entre 1,4 - 2,8 % en période 2 et 3 - 7,3 % en période 3 (*tableau IX*).

## **3.2. Etude de la mortalité**

### ***3.2.1. Mortalité de la population adulte***

Au cours des 75 jours d'élevage, la quantité d'individus morts dénombrés dans les poches d'effectif initial 200 est compris entre 38-59 (*annexe III*) et correspond à une mortalité cumulée de 20 - 26 %.

La mortalité observée diminue de la période 1 à la période 3, pour les 4 sites (*figure 13*).

Lors des périodes 1 et 3, les lots des 4 sites ne présentent pas de différence significative en TMJ% (*figure 14*). Ceux-ci sont compris entre 0,5 - 0,9 % pour la première période, et 3,8 - 7,3 % pour la dernière période (*tableau X*).

L'effet site est significatif au cours de la seconde période d'inter échantillonnage. Les TMJ% augmentent progressivement du site e (0,2 %) au site h (0,4 %). D'après le test de rang, les mortalités journalières sont significativement différentes entre les sites e et g (0,35 %), et entre les sites f (0,26 %) et h.

### ***3.2.2. Mortalité de la population juvénile***

Aucune mortalité n'a été observée au cours de la première période. A la fin de la période 2, seulement 1 individu mort par site a été dénombré.

Au cours du dernier prélèvement le 14 juin, le nombre d'individus morts par poche s'élève de 113 à 148. La mortalité observée est ainsi de 57 - 74 % (*tableau XI*).

La comparaison des taux de mortalité journaliers entre les sites ne dénote pas de différence significative.

Tableau IX : Gains de poids sec journaliers (%), des individus juvéniles au cours des périodes 2 (du 19/04-17/05) et 3 (du 17/05-14/06) pour les 3 sites expérimentaux.

Sites expérimentaux	Période 2	Période 3
e	2,8	4,6
f	4,8	3
h	1,4	7,3

Tableau X : Mortalité (%) (M%) au cours des 3 périodes (1 : 01/04-19/04 ; 2 : 19/04-17/05 ; 3 : 17/05-14/06) et mortalités cumulées sur la totalité de la période expérimentale chez les huîtres adultes des 4 sites expérimentaux. ( ) : Taux de mortalité journaliers

	Sites expérimentaux			
	E	f	g	h
Période 1	17,5 (0,9)	10,2 (0,5)	12,8 (0,7)	11,0 (0,6)
Période 2	5,4 (0,2)	7,4 (0,3)	9,9 (0,4)	11,6 (0,4)
Période 3	4,9 (0,2)	4,2 (0,2)	3,8 (0,1)	7,3 (0,3)
Mortalité cumulée	26 (0,3)	20,5 (0,3)	24,5 (0,3)	25,2 (0,3)

Tableau XI : Mortalité en % (M%) au cours des 3 périodes (1 : 01/04-19/04 ; 2 : 19/04-17/05 ; 3 : 17/05-14/06) et mortalités cumulées sur la totalité de la période expérimentale chez les huîtres juvéniles des 3 sites expérimentaux. ( ) : Taux de mortalité journaliers (en%).

	Sites expérimentaux		
	e	f	h
Période 1	0	0	0
Période 2	0,2 (0,0)	0,2 (0,0)	0,2 (0,0)
Période 3	64,8 (2,31)	59,3 (2,1)	58,2 (2,1)
Mortalité cumulée	64,8 (0,9)	59,2 (0,8)	58,3 (0,8)

### 3.3. Etude de la maturation sexuelle

#### 3.3.1. Stades de maturation des adultes

Lors du premier prélèvement le 19 avril, une grande proportion de la population est immature (SM compris entre 0,1 - 0,2) (*tableau XII*).

La maturation débute au cours de la seconde période d'inter échantillonnage (*figure 15*).

Aucun effet site n'est significatif sur les stades de maturation observés en prélèvements 2 et 3. Après 75 jours d'expérience, les stades de maturation moyens des 4 sites sont homogènes, compris entre 2,4-2,76. La population adulte présente donc un état de maturation très avancé dès mi-juin.

#### 3.3.2. Stades de maturation des juvéniles

Dès le 19 avril, le stade de maturation moyen est de 0,9-1,4 (*tableau XIII*). La période 2 n'est pas une période de maturation des individus juvéniles (SM de 0,8-1,2).

A la fin de la période 3, une différence significative des stades de maturation existe entre les huîtres des différents sites. D'après le test de rang, les huîtres du site f mûrent peu (SM = 0,4 ± 0,7), contrairement à celles des sites e (SM = 2,2 ± 0,9) et h (SM = 1,8 ± 1,21) (*figure 16*).

### 3.4. Données environnementales

Les températures indiquées par les sondes onset installées dans l'une des poches ostréicoles expérimentales sont différentes entre les 4 sites (*annexe IV*).

L'étalonnage du fluorimètre permet la correspondance entre le signal FLSC en mV et les concentrations en chlorophylle a et en phéopigments, à partir d'une régression linéaire (*annexe V*) :

$$[\text{Chlo a} + \text{Phéo a}] = -0,0412 \times \text{FLSC} + 1351,4 \text{ (en } \mu\text{g/l)}. \quad R^2 = 0.91$$

#### 3.4.2. Evolution des descripteurs

Les courbes de température, de turbidité, de teneur en oxygène et de pH présentent des pics réguliers correspondant précisément aux heures des demi-tours effectués par le chaland au niveau de la côte. Inversement, la salinité chute à chaque demi-tour à la plage (*annexe VI*).

Ces descripteurs présentent des signaux parfaitement symétriques lors des demi-tours à la plage ou au large, entre 2 passages le long de la radiale N-NO.

D'autre part, les signaux de teneur en oxygène et de pH évoluent de façon similaire au cours du temps.

Les concentrations en chlorophylle a et en phéophytine a varient de la côte au large pour les 5 sorties.

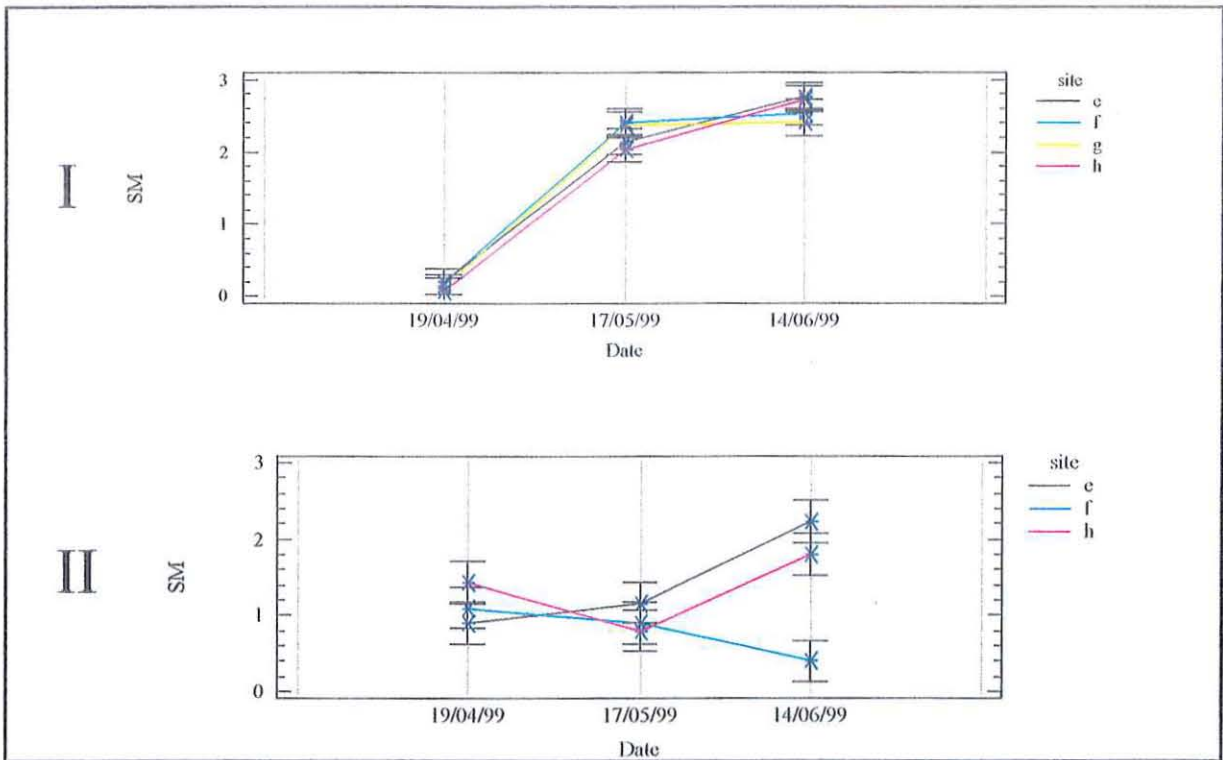


Figure 15 : Stades de maturation sexuelles des adultes (I) et des juvéniles (II) *Crassostrea gigas* des sites expérimentaux e, f, g et h au niveau des 3 prélèvements.

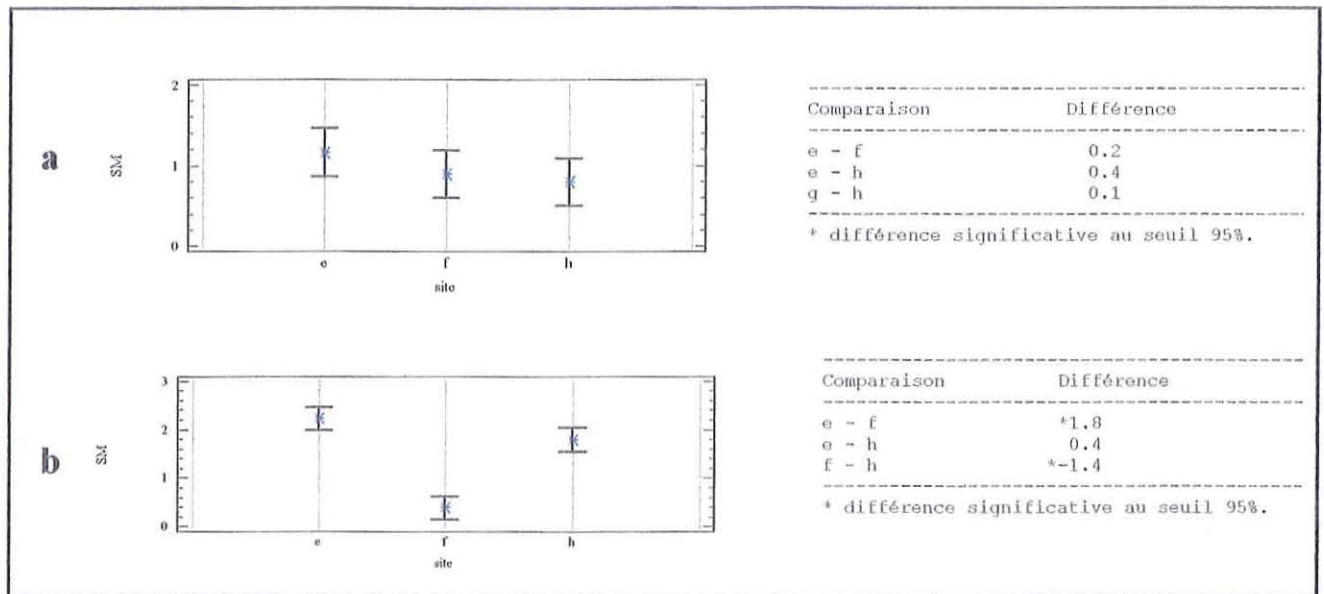


Figure 16 : Stades de maturation sexuelle moyens des juvéniles *Crassostrea gigas* observés à la fin des périodes 2 (a: le 17/05) et 3 (b: le 14/06) au niveau des 3 sites expérimentaux e, f et h. Résultat du test de rang LSD.

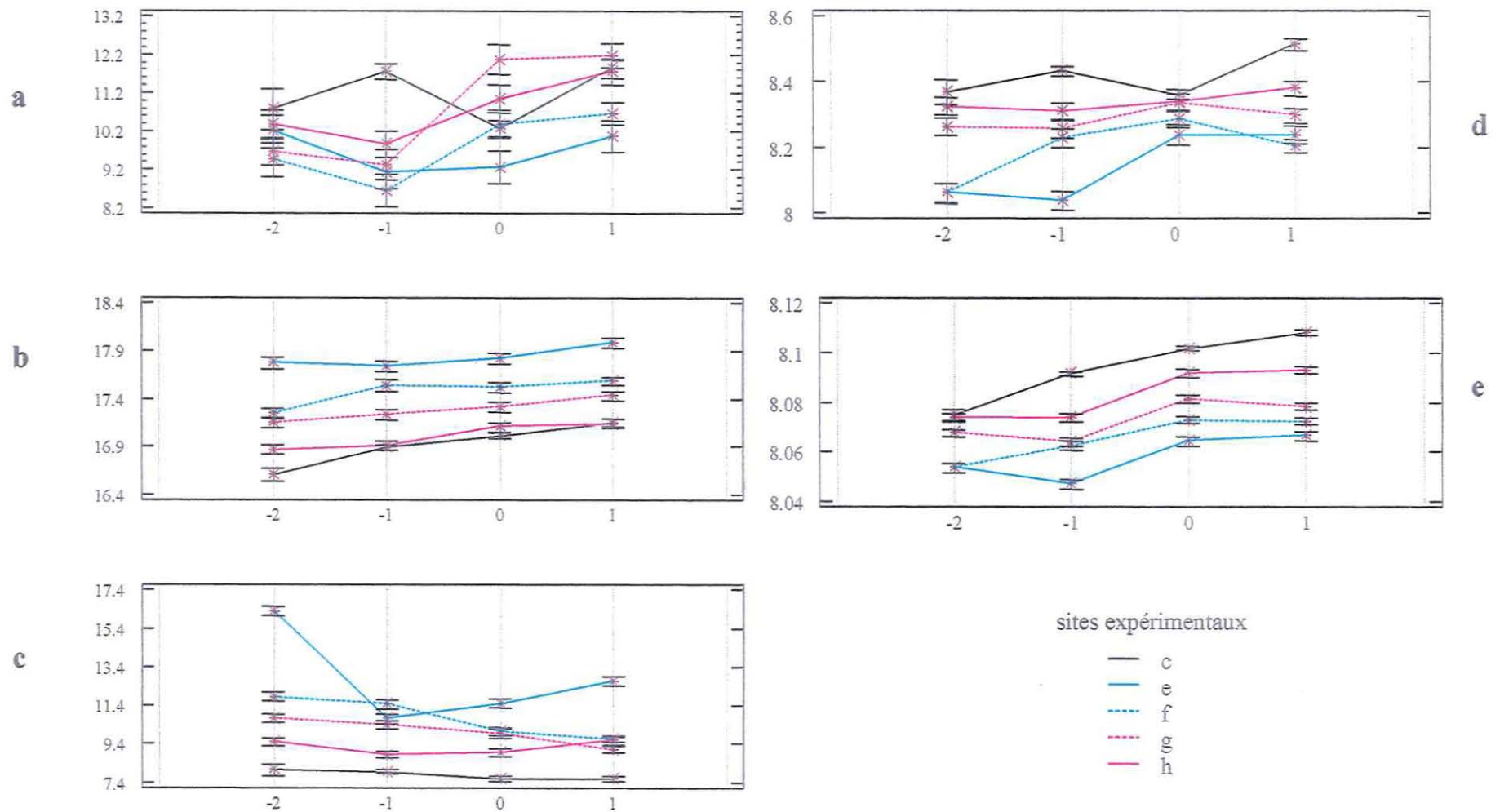


Figure 17 : Effets "SITE" et "PERIODE" sur les paramètres environnementaux (a: concentration en  $\mu\text{g/l}$  de chlorophylle a et en phéophytine a; b: température en  $^{\circ}\text{C}$ ; c: turbidité en unité NTU; d: oxygène en  $\text{mg/l}$  et e: pH) les 3 sorties confondues ( 07/05/99, le 11/05/99 et 24/0699).

La concentration maximale est observée le 25 juin avec un pic de chlorophylle a et de phéophytine a de 48 µg/l au large à la fin du dernier passage.

### 3.4.3. Comparaison inter-site

Les conditions hydrologiques sont très différentes entre les 3 sorties. L'effet date domine les effets des facteurs site et période.

Les 2 sorties effectuées entre le 11 mai et le 24 juin n'ont pas pu être analysées. L'étude de l'évolution printanière des descripteurs est limitée par des périodes inter sorties très irrégulières.

La représentation des descripteurs selon la date et le site (*annexe VII*) permet de comparer la discrimination des sites au cours de chaque sortie. Ainsi, les concentrations en chlorophylle a et en phéophytine a présentent des variations inter sites maximales le 25 juin. L'écart des valeurs entre le site e et l'eau du chenal est à cette date le plus important. De même, l'amplitude du gradient de turbidité est maximale le 11 mai entre le site e et le chenal.

La représentation de l'évolution des variables pour chaque sortie au cours des 4 périodes permet d'évaluer l'importance du choix stratégique de la période d'acquisition des données.

Les taux moyens de chlorophylle a et de phéophytine a présents sur l'ensemble de la radiale varient en fonction de la période d'acquisition, de manière différente pour les 3 sorties.

L'évolution des descripteurs hydrologiques toute sortie confondue par site au cours des 4 périodes met en évidence l'existence de gradients entre le large et la côte (*figure 17*).

Un gradient positif de température est observé du large ( $T_{\text{chenal}}=16,9^{\circ}\text{C}$ ) à la plage ( $T_{\text{site}}=17,8$ ).

La turbidité augmente aussi progressivement du chenal (7,8 NTU) au site e (12,8 NTU).

Le pH ainsi que la teneur en oxygène diminuent progressivement du large ( $\text{pH}_{(\text{chenal})} = 8,09$  ;  $\text{Omg}_{(\text{chenal})} = 8,4$ ) à la plage ( $\text{pH}_{(\text{site e})} = 8,06$  ;  $\text{Omg}_{(\text{site e})} = 8,14$ ).

La salinité de l'eau est plus faible à la côte ( $S\%_{(e)} = 31,75$ ). Elle augmente ensuite vers le large ( $S\%_{(\text{chenal})} = 31,88$ ).

Ces gradients sont observables quelle que soit la période.

Enfin, le test de rang appliqué aux concentrations en chlorophylle a et en phéophytine a détermine 3 groupes de moyennes homogènes :

- les sites e (9,64 µg/l) et f (9,78 µg/l)
- les sites g (10,78 µg/l) et h (10,72 µg/l)
- le type chenal (11,18 µg/l).

Les concentrations maximales en phytoplancton sont observées au large, au niveau du chenal. Ensuite, les masses d'eau s'appauvrissent en phytoplancton du nord du banc (sites h et g) au sud du banc (sites e et f).

L'évolution de ces concentrations au-dessus des différents sites permet de suivre les masses d'eau au niveau de la radiale.



En période -2 et -1, c'est à dire pendant le flot, les eaux du large sont chargées en phytoplancton (10,8 – 11,7  $\mu\text{g/l}$ ) alors que les concentrations sur le banc sont faibles (8,6 – 10,4  $\mu\text{g/l}$ ).

En période 0 et 1, la concentration en chlorophylle a et en phéophytine a diminue au large. Les plus fortes concentrations sont rencontrées autour des sites g et h. Les sites e et f restent pauvres en phytoplancton.

#### *3.4.4. Interpolation des concentrations en pigments*

Les interpolations du signal fluorimétrique (annexe VIII) sont exprimées en concentrations en chlorophylle a et en phéophytine a, représentées sous des échelles différentes en fonction de la gamme de variation du signal, au cours de chaque sortie. Ainsi, les concentrations en pigments observées les 7 et 11 mai sont comprises entre 5 et 18  $\mu\text{g/l}$ . Le 25 mai, les plus fortes concentrations sont observées (de 6 à 48  $\mu\text{g/l}$ ). Ensuite, elles diminuent le 8 juin (5-27 $\mu\text{g/l}$ ) et le 24 juin (5-25 $\mu\text{g/l}$ ).

Au cours des 5 sorties, les eaux du large avant l'heure de pleine mer sont riches en phytoplancton. La concentration en phytoplancton diminue alors sur le banc du large vers la plage.

Autour de la pleine mer, les concentrations sont faibles tout le long de la radiale et semblent s'homogénéiser.

Un nouvel apport en phytoplancton apparaît après l'heure de pleine mer, à marée descendante où les concentrations en chlorophylle a et en phéophytine a augmentent. Le gradient négatif du large vers la plage est alors de nouveau visible.

Les résultats du 24 juin présentent des apports en phytoplancton à marée descendante supérieurs à ceux du flot.

Dans la majorité des passages, les sites h et g, situés dans la zone nord du banc sont baignés par une eau plus riche en phytoplancton que les sites e et f, situés au sud.

## 4. DISCUSSION

---

### 4.1. Comparaison des comportements des populations adulte et juvénile

#### 4.1.1. Croissance et stade de maturation

Les jeunes huîtres présentent des taux de croissance en poids total (+ 265 %), en poids de coquille (+ 225 %) et en poids sec (+ 408 %) supérieurs à ceux observés chez les adultes (Pt : + 8 %; Pcoq : + 15 %; Ps : + 285 %).

Ces différences de taux de croissance sont appuyées par les études de Gerdes (1983), selon lesquelles les relations qui unissent les taux de croissance, les taux de consommation et de filtration au poids des individus sont de type allométrique. Ainsi, les individus les plus gros ont des taux en proportion plus élevés que ceux des plus petits.

Ces différences de croissance révèlent des différences d'allocation de l'énergie au niveau des deux classes d'âge.

Ainsi, alors que les juvéniles présentent de fortes prises de poids de chair et de coquille, ils présentent des stades de maturation très peu avancés (SM compris de 0,8 à 1,2 en fin d'expérience). Par ailleurs, les individus adultes, de croissance plus modérée, sont dès mi-juin, à un stade de maturation très avancé (SM compris de 2,4 à 2,8) en fin d'expérience. Ces résultats sont alors conformes aux travaux de Bayne et Newell (1983) qui démontrent que les mollusques consacrent une proportion croissante de leur énergie à la gamétogénèse en prenant de l'âge et du poids. La croissance observée chez les adultes est alors principalement liée à la maturation des gamètes (Soletchnik *et al.*, 1997).

Alors que la croissance des juvéniles est homogène le long de la radiale, celle des adultes est dépendante du site d'élevage. Différentes hypothèses peuvent expliquer ces résultats.

Tout d'abord, ils peuvent refléter une différence de vulnérabilité des 2 catégories d'âge aux variations des conditions environnementales, ceci en réponse à une différence d'état physiologique. En effet, le stade de maturation avancée observé chez les adultes correspond à une période de faiblesse physiologique (Soletchnik *et al.*, 1999). Ceux-ci seraient alors plus sensibles aux différences de milieu existant entre les sites expérimentaux.

D'autre part, ces différences de croissance peuvent démontrer une différence au niveau des exigences alimentaires des 2 classes d'âge. Les travaux de Héral *et al.* (1984), ont montré que la production de chair dépend de la concentration en phéopigments pour les juvéniles, alors qu'elle dépend de la concentration en chlorophylle a pour les adultes. De même, la production de coquille est fonction du carbone dissous chez les juvéniles et des teneurs en chlorophylle a chez les adultes. Le cheptel installé sur le banc de Ronce est composé à cette période uniquement d'huîtres adultes, d'âge minimum 2 ans. Cela induirait une forte compétition pour la ressource trophique des adultes, inexistante chez les juvéniles.

De mi-mai à mi-juin, le site f est peu performant en terme de croissance chez les adultes (Tps = 1,3 %) et de maturation chez les juvéniles (SM = 0,4). De mauvaises

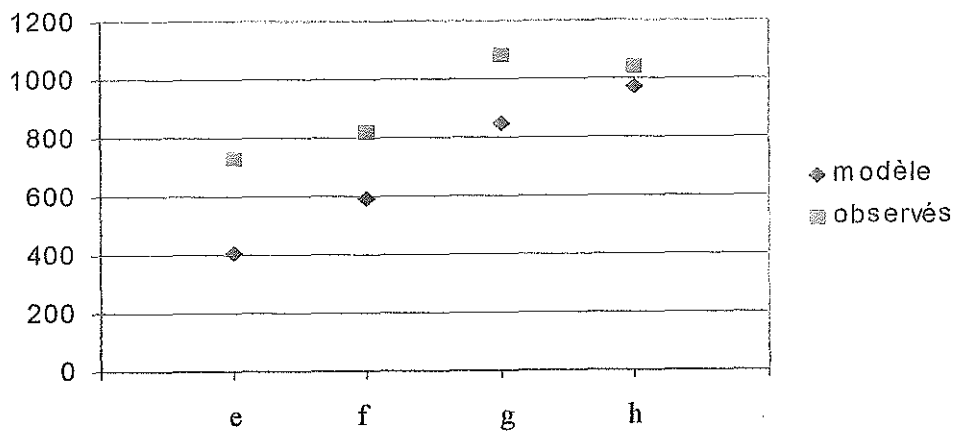


Figure 18 : Augmentation de poids secs (en mg) théoriques d 'après le modèle de 98 (Soletchnik et al, 1999) et observés au printemps 99 durant 75 jours d 'élevages pour les 4 sites expérimentaux.

Tableau XIV : Coordonnées géographiques exprimées en Lambert transformés, des 4 sites expérimentaux, appliquées au modèle de production de chair (Soletchnik *et al*, 1999).

	Site e	Site f	Site g	Site h
X	1043,5	1006,1	897,9	837,6
Y	291,3	461,0	671,3	775,3

conditions environnementales durant cette période peuvent avoir provoqué un stress pour les huîtres du cheptel. Il aurait alors des conséquences néfastes sur la croissance des individus adultes alors qu'il perturberait la maturation des juvéniles. Sous des conditions peu favorables, les deux classes réagiraient différemment.

La croissance des adultes, influencée par la position du site d'élevage, est maximale au niveau des sites h (Ps : + 1,38 g) et g (Ps : + 1,40 g). Ces sites sont les plus performants quelle que soit la période inter-échantillonnage considérée. En outre, les performances des adultes en terme de gain de poids sec varient en fonction des périodes au niveau des sites e et f. Le site f, aussi performant que les sites g et h de mi-avril à mi-mai ( $TPs_f = 2,8$  ;  $Tps_g = 2,7$  ;  $TPs_h = 3,6$ ), présente des gains faibles de mi-mai à mi-juin ( $TPs_f = 1,3$ ). Le phénomène inverse est observé sur le site e. Très peu performant de mi-avril à mi-mai ( $TPs_e = 1,5$ ), il est l'un des plus performant au cours de la dernière période ( $TPs_e = 4,4$  ;  $TPs_g = 4,5$  ;  $TPs_h = 3,6$ ). La performance des sites expérimentaux e et f en terme de croissance des individus adultes varie au cours de la période d'étude. Ces variations peuvent refléter une évolution temporelle des conditions hydrologiques ou un changement des exigences des cheptels lié à l'évolution de l'état physiologique des huîtres.

#### 4.1.2. Validation chez les adultes du modèle de production de 1997 d'après Soltchnik et al (1999)

Alors que la croissance des juvéniles est identique quelle que soit la zone d'élevage, celle des adultes diminue du nord du banc au sud du banc. Ces résultats sont alors conformes au modèle de croissance mis en évidence au cours de la saison 1997 sur le banc de Ronce. Les gains théoriques calculés en appliquant le modèle aux coordonnées Lambert transformées des 4 sites expérimentaux (*tableau XIV*), pour les 75 jours d'élevage sont comparés aux gains observés obtenus durant la saison 99 (*figure 18*).

$$\text{Gain journalier en mg/j : } Psec = 5,530 - 0,00411 \times (X) + 0,0139 \times (Y) \quad R^2 = 0,82.$$

*Modèle de production de chair (Soletchnik et al., 1999)*

Les gains en poids sec observés par site présentent la même évolution que les gains théoriques. Cependant, les gains en poids de chair observés du 01 avril au 14 juin 1999 sont toujours au-dessus des valeurs théoriques du modèle. Ce dernier a été défini sur tout un cycle de maturation, c'est à dire du 25 mars 1997 au 15 octobre 1997. Il prend en compte la période post-ponte des huîtres, qui correspond à une perte en poids de chair des huîtres. Nos résultats, quant à eux, correspondent à la période printanière pré-ponte de forte croissance des huîtres. Cette étude n'est alors pas entièrement conforme aux conditions d'application du modèle.

#### 4.1.2. Croissance et mortalité

Ces travaux permettent de lier la mortalité des adultes à leurs performances de croissance. En effet, les sites h et g, les plus performants, présentent des taux de mortalité supérieurs à ceux des sites e et f, les moins performants. En effet, on observe une diminution progressive de la mortalité du site h (TMJ% = 0,4) au site e (TMJ% = 0,2). Les populations à

forte croissance ont des taux de mortalité plus élevés que les populations à faible croissance. Ce phénomène a déjà été décrit par plusieurs auteurs (Glude, 1974 ; Koganezawa, 1974 ; Brey et Gage, 1997).

Alors que la mortalité des juvéniles est nulle jusqu'au 17 mai, elle s'élève à une perte du cheptel de 60 %, quel que soit le site, du 17 mai au 14 juin. L'hypothèse retenue pour expliquer ces taux anormalement élevés est celle du développement d'un agent pathogène dû à l'origine du lot.

En effet, des individus de même origine, élevés en nurserie et dans l'étang de Thau en méditerranée, ont souffert de ces mêmes taux de mortalité, au cours de la même période.

Les conditions hydrologiques d'élevage étant nettement différentes dans les 3 cas, l'hypothèse d'un facteur de stress environnemental, comme un choc thermique, pour expliquer le développement du pathogène est rejetée. La cause serait alors un contrôle endogène, peut être génétique du pathogène.

Ces forts taux de mortalité biaisent alors les analyses de biométrie du 14 juin. En effet, le lot échantillonné à cette date est composé des individus les plus robustes, qui ont survécu à l'attaque de l'agent pathogène hypothétique. Ils ne sont alors pas représentatifs de l'ensemble du lot.

## 4.2. Etudes environnementales

### 4.2.1. Limites méthodologiques

La technique de collage des fichiers environnementaux et des fichiers géographiques est validée par la correspondance entre les points précis de demi-tours et de la présence de signaux hydrologiques parfaitement symétriques. Des expériences préliminaires (Le Moine *et al.*, 1999) ont montré que la méthodologie d'acquisition de données hydrologiques, et son couplage avec un système de géoréférencement sont adaptés aux conditions hydrobiologiques très variables de la zone estuarienne.

Cependant, la mise en évidence de la variabilité spatiale des descripteurs peut être masquée par leur variabilité temporelle. Les sources de variabilité dans ces zones sont multiples : météorologie marée, cycle nyctéméral, crues et étiages.

Cette méthodologie se révèle efficace pour l'étude spatiale de la ressource trophique.

La sonde fluorimétrique est utilisée dans le milieu naturel, autour d'une gamme restreinte de valeurs faibles en pigments. Cela a pu induire un problème au niveau de la sensibilité de l'appareil aux faibles variations de concentrations en phytoplancton. D'autre part, l'étalonnage de l'appareil a demandé l'utilisation d'échantillons d'algues développées au laboratoire, beaucoup plus concentrés que ceux prélevés dans le milieu naturel. L'établissement de la relation linéaire entre le signal FLSC de la sonde et les concentrations en pigments n'a pas été effectué uniquement à partir d'échantillons du milieu naturel.

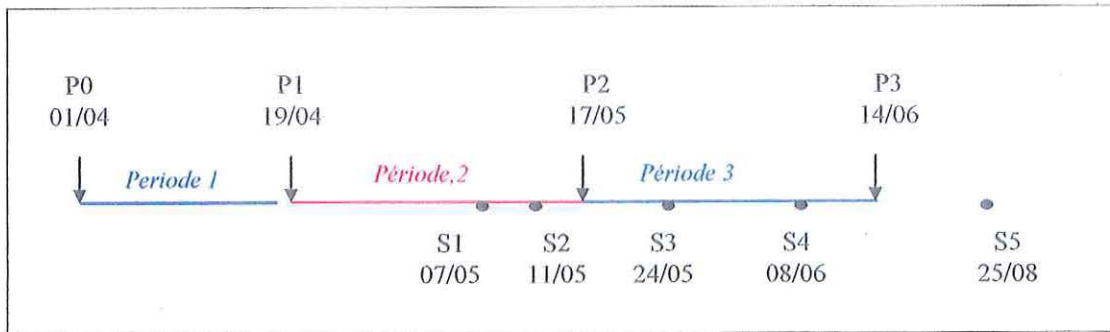


Figure 19 : Echantillonnages biométriques (P) et sorties hydrologiques (S).

L'étude de la variation spatiale des paramètres environnementaux correspond à un choix de stratégie d'échantillonnage. Les sorties sont effectuées uniquement en mortes-eaux alors que d'importantes variations existent durant le cycle de marée. D'autre part, 3 heures d'acquisition sont ici retenues. L'échantillonnage correspond à une période très restreinte du cycle de marée. Des études postérieures devront regarder l'évolution des gradients nord-sud à différentes phases du cycle (vives-eaux...).

La recherche d'une équivalence chlorophylle a – biomasse du phytoplancton a été fortement critiquée par de nombreux auteurs. Le rapport chlorophylle a / carbone varie au cours de la vie de la cellule et en fonction des conditions du milieu. Ainsi, l'utilisation des concentrations du milieu en chlorophylle a pour estimer la biomasse phytoplanctonique peut être critiquable.

#### ***4.2.2. Variabilité spatiale des conditions hydrologiques et conséquences sur la nutrition des huîtres***

Les 5 sorties d'hydrologie ont été effectuées du 07 mai au 24 juin, c'est à dire au cours des deux dernières périodes d'inter-échantillonnages biométriques (*figure 19*). Elles sont bien représentatives des conditions environnementales des huîtres durant la saison expérimentale.

Les comparaisons inter-site des paramètres hydrologiques ont démontré l'existence de gradients environnementaux de direction nord-sud. Ainsi, au fur et à mesure que l'on traverse le banc du nord au sud, l'eau devient significativement plus chaude ( $T_{\text{chenal}} = 16,9^{\circ}\text{C}$  ;  $T_e = 17,8$ ), et plus turbide ( $\text{NTU}_{\text{chenal}} = 7,8$  ;  $\text{NTU}_e = 12,8$ ). La salinité et la teneur en oxygène dissous diminuent ( $S\%_{\text{chenal}} = 31,88$  ;  $S\%_e = 31,75$  et  $\text{Omg}_{\text{chenal}} = 8,4$  ;  $\text{Omg}_e = 8,1$ ). D'autre part, les concentrations des masses d'eau en phytoplancton diminuent du nord ( $\text{Chlophéo}_{\text{chenal}} = 11,18 \mu\text{g/l}$ ) au sud ( $\text{Chlophéo}_e = 9,64 \mu\text{g/l}$ ).

Ces différents gradients mettent en évidence une détérioration du milieu du nord au sud du banc, qui a des conséquences sur la nutrition des mollusques bivalves. Chacun de ces facteurs hydrologique a une influence sur le comportement alimentaire des mollusques filtreurs.

Une turbidité importante, supérieure à 80 NTU, est néfaste à l'activité de filtration. Les pics de turbidité observés à la plage ne peuvent pas être responsables de la faible performance de croissance de ces sites.

La température régule la vitesse de battements des cils latéraux, et l'ensemble des réactions enzymatiques. Son augmentation entraîne une augmentation de la dépense d'énergie, de la consommation d'oxygène et des mécanismes de maturation et de croissance somatique. D'autre part, elle a une influence sur la capacité de l'eau à dissoudre l'oxygène de l'air. Une forte augmentation de température risque de diminuer le taux de saturation en oxygène et perturber l'activité valvaire. La température idéale pour l'activité de filtration est de  $16^{\circ}\text{C}$  à  $20^{\circ}\text{C}$  (Bougrier *et al.*, 1995). Au-delà d'une valeur seuil, la température devient ainsi néfaste pour la physiologie de l'animal.

Ces gradients peuvent s'accroître à marée montante, en début de flot. Du fait de la faible hauteur de la colonne d'eau, les premières eaux traversant le banc peuvent entraîner un stress important au niveau des huîtres du cheptel. En effet, sa température augmente, elle

devient fortement turbide et sa teneur en oxygène diminue. D'autre part, les études menées par Sornin *et al.* (1983) ont mis en évidence un enrichissement du flot montant en sulfures. Le recyclage des quantités importantes de matières organiques augmente la consommation en oxygène. Le milieu devient plus réducteur et favorise l'ammonification et la réduction des sulfates en sulfures (H<sub>2</sub>S), néfaste pour la filtration des huîtres (Ito et Imai, 1955). Les premières eaux du flot représentent un facteur de stress important pour les huîtres. Les cheptels situés au sud du banc, se trouvent alors plus touchés du fait du fonctionnement hydrodynamique du banc.

La combinaison de ces facteurs peut expliquer une baisse de performance des sites d'élevage du nord au sud du banc. Cependant, la diminution de la ressource alimentaire du nord au sud semble jouer un rôle majeur dans le gradient de croissance mis en évidence chez les individus adultes. En effet, le phytoplancton, quantifié par la concentration en chlorophylle a, joue un rôle de premier plan dans l'alimentation de l'huître. L'amplitude du gradient est importante, avec une baisse moyenne sur l'ensemble des sorties de 2 µg/l entre le large et la côte. Les mollusques ajustent les taux de filtration sur des concentrations croissantes de nourriture (Whyte *et al.*, 1990). La consommation effective augmente dans un premier temps. Elle tend ensuite à se stabiliser pour devenir indépendante des teneurs extérieures lors de très fortes concentrations, et en absence de colmatage. Cette étude ne permet pas de comparer la qualité des aliments présents au niveau des 4 sites, alors qu'elle joue un rôle reconnu sur l'assimilation de la nourriture. Par exemple, elle peut être inhibée par une trop forte charge minérale. Le seston minéral constitue un facteur de surcharge des organes palléaux et intensifie de cette manière la production de pseudo-fécès. Il peut exister en plus d'une diminution de la ressource trophique, une dégradation de la qualité de la ressource du nord au sud du banc.

#### 4.2.3. Fonctionnement hydrodynamique de l'estuaire

Une première hypothèse hydrodynamique expliquerait la différence de qualité de l'eau retrouvée au sud du banc. A marée montante, l'eau traverse le banc de Ronce d'Ouest en Est. Les courants diminuent du nord du banc, près du large, au sud du banc. Le renouvellement des masses d'eau est une fonction croissante du courant. Les masses d'eau au nord sont alors mieux renouvelées que celles au sud. Les perturbations des courants traversant le sud du banc sont engendrées par le phénomène de sédimentation, particulièrement important sur le banc de Ronce. L'accumulation de vase s'élève à 60 cm dans certaines zones, entre 1985 et 1996 (Le Moine, 1999). Cette sédimentation résulte de l'action combinée des biodépôts et des obstacles au courant générés par la présence des tables ostréicoles. Le renouvellement des masses d'eau au sud du banc est alors limité par rapport à celles du nord.

D'autre part, le bassin de Marennes-Oléron est un vaste estuaire influencé par les apports fluviaux de la Charente (Ravail *et al.*, 1993) et de la Seudre en sels nutritifs et en phytoplancton d'eau douce, en voie de dégénérescence. Ces apports fluviaux peuvent être suffisamment importants pour entraîner directement un dessalement notable. De plus, ces eaux, riches en matières organiques, sont appauvries en oxygène. A marée descendante, les eaux de la Seudre et de la Charente s'écoulent dans le bassin puis sont repoussées par le courant de flot, à marée montante. Le flot traverse le banc, les courants repoussant ces eaux terrigènes vers la côte.



Ce phénomène expliquerait la présence d'une eau pauvre en oxygène, de température plus élevée et de faible salinité au sud du banc de Ronce. Il faut noter que ces masses d'eau terrigènes sont susceptibles de contenir des substances polluantes qui fragiliseraient ces cheptels. D'autre part, ces masses d'eau apportent au milieu estuarien des matières organiques en voie de minéralisation.

Ainsi, les cheptels du sud du banc souffrant d'un faible renouvellement des masses d'eau, subissent un stress supérieur à ceux du nord, induit par ces eaux de début de flot, néfastes à la croissance des huîtres.

#### 4.2.4. Phénomène de déplétion de la ressource alimentaire

Les figures d'interpolation des concentrations en chlorophylle a et en pheopigments le long de la radiale mettent en évidence un renouvellement de la ressource trophique qui diminue du nord vers le sud du banc.

Deux flux sont visibles.

A marée montante, une première masse d'eau océanique riche en phytoplancton venant de l'ouest atteint la zone nord du banc. Un second flux apparaît à marée descendante, provenant de l'est, c'est à dire du bassin.

Les courants étant plus faibles vers les zones au sud du banc, le renouvellement des masses d'eau diminue du nord au sud du banc. D'autre part, ces masses d'eau traversent l'ensemble du banc d'ouest en est et s'appauvrissent en phytoplancton du fait de la consommation par les cheptels.

Ainsi, ces nouvelles ressources alimentaires semblent ne jamais atteindre le sud de la radiale qui souffrirait d'un manque de nourriture.

A l'étape de pleine mer, la ressource est entièrement utilisée par les cheptels.

Ce travail montre alors que les apports en phytoplancton proviennent des masses océaniques mais aussi des eaux estuariennes du bassin lui-même.

Différentes hypothèses sont alors possibles quant à l'origine de la masse phytoplanctonique contenue dans les masses d'eau descendantes.

Ce second flux Est – Ouest peut correspondre à des masses d'eau océaniques chargées en phytoplancton dont la ressource alimentaire n'a pas été entièrement consommée, et qui retraversent le banc à marée descendante.

D'autre part, les eaux descendantes peuvent être enrichies de la biomasse phytoplanctonique développée dans le bassin. En effet, l'estuaire est composé de vasières intertidales, soumises à des conditions drastiques à cause du balancement biquotidien des marées (Gouleau *et al*, 1975) mais qui s'avèrent fortement productives. Du fait de la remise en suspension à marée haute, cette production a des conséquences sur les masses d'eau côtières (Baillie et Welsh, 1980 ; Gouleau *et al.*, 1994).

Une dernière source d'enrichissement du flux descendant est l'apport phytoplanctonique fluvial, provenant de la Charente ou de la Seudre.

Les sites expérimentaux g et h, les plus performants en croissance chez les adultes se trouvent dans la zone nord régulièrement alimentée par les masses d'eaux marines et

estuariennes en phytoplancton. Inversement, les sites e et f, au sud du banc sont alors traversés par des masses d'eaux appauvries en phytoplancton et en oxygène.

En effet, les eaux deviennent moins concentrées en phytoplancton du fait de la consommation progressive de la ressource par le cheptel. Parallèlement, l'oxygène diminue aussi du fait de la respiration des huîtres et de la dégradation bactérienne des fèces et pseudo-fécès des mollusques (Sornin *et al.*, 1983). Une différence en sels nutritifs (ammoniaque, nitrites, phosphate) pourrait être induite par ce phénomène.

La croissance est bien sous la dépendance d'une différence quantitative en apports phytoplanctoniques du nord au sud du banc. Ce schéma de déplétion alimentaire nord-sud renforce l'hypothèse de la limitation de la ressource trophique dans la partie sud du banc de Ronce. Il est principalement provoqué par l'augmentation du niveau bathymétrique du banc, provoqué par le phénomène de sédimentation. En plus des perturbations courantologiques, l'envasement diminue le temps d'immersion des parcelles, réduisant ainsi la période d'accès des huîtres à la ressource trophique.

## CONCLUSION

---

Les individus juvéniles ont présenté durant la saison printanière 1999 une forte croissance, homogène sur l'ensemble des sites expérimentaux et un faible stade de maturation sexuelle. Les adultes, de croissance plus modérée, ont présenté dès mi-juin des stades de maturation très avancés. Leur croissance a été différente en fonction du site expérimental. En effet, les sites situés au nord du banc ont été plus performants en terme de croissance que les sites les plus au sud du banc. Cette étude, dans les limites de ses choix méthodiques (stratégie d'échantillonnage) confirme l'hypothèse émise en 1999 d'un gradient nord-sud de production de chair des populations d'huîtres adultes, sur le banc de Ronce.

Les lots adultes du nord du banc, de forte croissance, ont souffert de taux de mortalité supérieurs à ceux de plus faible croissance, élevés au sud, durant les 75 jours d'élevage.

L'utilisation de la sonde multiparamétrique Ysi a permis de démontrer l'existence de gradients hydrologiques de même direction que le modèle de croissance, montrant une baisse de la qualité du milieu d'élevage du nord au sud de la radiale.

L'étude de l'évolution spatiale des concentrations en chlorophylle a à l'aide du fluorimètre a démontré une diminution de la charge des masses d'eau en phytoplancton du nord au sud du banc.

Ainsi, aux facteurs de stress hydrologiques (chocs thermiques, eaux turbides, faibles de teneur en oxygène) s'ajoute une diminution des concentrations en phytoplancton du nord au sud du banc. Ce phénomène de déplétion nord-sud de la ressource alimentaire est le facteur majeur de la baisse de croissance des huîtres des cheptels du sud du banc. La capacité trophique au sud du banc limite alors la productivité des cheptels.

Les figures d'interpolation des concentrations en pigments ont démontré que le renouvellement des masses d'eau en phytoplancton s'effectuait selon deux flux : un flux océanique venant de l'ouest à marée montante, et un flux de masses d'eaux estuariennes venant de l'est à marée descendante.

A l'origine de ces phénomènes de déplétion de la ressource alimentaire et de détérioration de la qualité du milieu se pose un problème de courantologie sur le banc de Ronce. En effet, les courants sont perturbés par la présence des tables ostréicoles et par l'augmentation du niveau bathymétrique du banc de Ronce, dû au phénomène de sédimentation, particulièrement important sur le banc de Ronce. Ainsi, la circulation des masses d'eau est ralentie au sud du banc, réduisant le renouvellement des masses d'eau. La ressource alimentaire et l'oxygène sont alors consommés par les cheptels. Les eaux s'appauvrissant, la quantité de la ressource trophique est insuffisante par rapport au stock d'huîtres élevées.

Ce travail démontre alors la nécessité d'un dragage des chenaux d'accès (coursières) et des parcelles pour améliorer la productivité des zones sud du banc.

Cette méthode d'étude des variations spatio-temporelles des conditions environnementales est ainsi bien adaptée au système estuarien du bassin de Marennes-Oléron. Généralisée à tout le bassin, elle permettrait de comprendre le fonctionnement hydrodynamique de l'estuaire, de localiser dans un premier temps les différents rejets terrigènes (stations d'épuration, rejets industriels et agricoles...) et de quantifier leur impact sur la productivité des bancs ostréicoles.

## BIBLIOGRAPHIE

BAILLIE P. W., WELSH B. L. (1980). The effect of tidal resuspension on the distribution of intertidal epipelagic algae in an estuary. *Estuar. coast. Shelf. Sci.* **10** : 165-180.

BAYNE B., NEWELL R. C. (1983). Physiological energetics of marine molluscs. *The mollusca*, Wilburg K. M., Saleuddin A. S. M. Ed., Academic Press. Londres, **4(1)** : 407-515.

BODOY A., GARNIER J., RAZET D., GEAIRON P. (1990). Mass mortalities of oysters *Crassostrea gigas* during spring 1988 in the bay of Marennes-Oleron, relates to environment conditions. *Cons. Inter. Exp. Mer.*, ref E+F. 26.

BREY T., GAGE J. D. (1997). Interactions of growth and mortality in benthic invertebrate populations: Empirical evidence for a mortality-growth continuum. *Fish. Mar. Res.* **45 (1)** : 45-59.

DESLOU-PAOLI J. M., LANNOU A. M., GEAIRON P., BOUGRIER S., RAILLARD O., HERAL M. (1992). The effect of food behaviour of *Crassostrea gigas* (Molluscs bivalvia) on natural particulate matter biosedimentation. *Hydrobiologia*, **16(1)** : 73-82.

GERDES D. (1983). The pacific oyster *C. gigas*. Feeding behavior of larvae and adults. *Aquaculture*, **31** : 195-219.

GLUDE . F. B.,(1974). A summary report of pacific coast oyster mortality investigations 1965-1972. *Proceeding of the third US-Japon meeting on Aquaculture at Tokyo, Japon.* October 15-16.

GOULEAU D. (1975). Les premiers stades de la sédimentation fine sur les vasières littorales découvertes. Rôle de l'immersion. *Thèse d'Etat (2 vol.)*, Nantes, 241 + 123 pp.

GOULEAU D., BLANCHARD G., CARIOU-LE-GALL V. (1994). Production potentielle d'oxygène sur une vasière intertidale au cours d'une emersion. *Vie Milieu*, **44** : 109-115.

HERAL M., DESLOU-PAOLI J.M., RAZET D., PROU J. (1984). Essai de mise en évidence in situ de paramètres biotiques de l'eau et l'interface eau-sédiment intervenant dans la production de l'huître *Crassostrea gigas*. *Oceanis*, **10** : 465-475.

HERAL M., DESLOU-PAOLI J.M., PROU J. (1986). Dynamiques des productions et des biomasse des huîtres creuses cultivées (*Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas*) dans le bassin de Marennes Oléron depuis un siècle. *CIEM C.MM 1986/F:41*.

IGLESIA J. I. P., NAVARRO E., ALVAREZ JORNA P. et ARMENTIA I., (1993). Feeding, particle selection and absorption on cockles *Cerastoderma edule* (L.) exposed to variable conditions of food concentrations and quality. *Journal of experimental Marine Biology and Ecology*, **162** : 177-198.

ITO S., IMAI T. (1995). Ecology of oyster bed on decline of productivity due to repeated cultures. *The tohoku Journal of Agriculture Research*, 4 : 251-268.

KOGANEZAMA A. (1974). Present status of studies on the mass mortality of cultured oysters in Japan and its prevention. *Proceeding of the third US-Japan meeting on Aquaculture at Tokyo, Japon*. October 15-16.

LE MOINE O., RAZET D., DUFOURG c., SOLETSCHNIK P., FAURY N., GOULLETQUER P., GEAIRON P., ROBERT S. (1999). Développement d'une méthodologie de cartographie spatiale des paramètres hydrologiques des élevages cotiers d'huîtres, à l'aide d'un Système d'Information Géographique (SIG). *Act. Colloque..*

LORENZEN C. J., (1967). Determination of Chlorophyll and Pheophytin: spectrometric equation. *Limnology and oceanography*, 12 : 343-346.

PASTOUREAU A., HERAL M., PROU J., RAZET D., RUSSU P. (1993). Particle selection in the oyster *Crassostrea gigas* studied pigment HPLC analysis under natural food conditions. *Rapp. CEE n°4 TROPHEE*, 34-43.

PRINS T. C., SMAAL A. C. et POWER A. J. (1991). Selective ingestion of phytoplankton by the bivalve *Mytilus edulis* L. and *Cerastoderma edule* (L.). *Hydrobiological Bulletin*, 25(1) : 93-100.

PROU J. (1991). Evolution temporelle de la composition de la conne d'eau pendant un cycle vives-eaux-mortes eaux. *Ifremer la Tremblade (unpubl.) Mémoire* : 39 pp.

QUERELLOU J., BILLARD, R. (1990). Aquaculture in France. Spec. publ. Eur. Aquaculture. soc., 12 : 31-56

RAVAIL B., HERAL M., MAESTRINI S., ROBERT JM. (1988). Incidence du débit de la Charente sur la capacité biotique du bassin ostréicole de Marenne Oléron. *J. Rech. Oceanogr.* 13 : 48-52.

RAVAIL B., ROBERT, T.M., MAESTRINI S., HERAL, M (1993). Variabilité à court terme, liée à l'onde de marée, des propriétés physico-chimiques et biologiques des eaux du panache de dilution de la Charente, en période d'été estivale. *J. Rech. Oceanogr.*, 18 : 64-66.

RAZET D., HERAL M., PROU J., SORNIN J. M. (1990). Variations des productions de biodépôts (fécès et pseudofécès) de l'huître *Crassostrea gigas* dans un estuaire macrotidal : baie de Marennes Oleron. *HALIOTIS*, 10 : 143-161.

SHUMWAY S. E., CUCCI T. L., NEWELL R. C., YENTSCH C. M. (1985). Particle selection, ingestion, and absorption in filter-feedings bivalves. *Journal of experimental Marine Biology and Ecology*, 91 : 77-92.

SOLETCHNIK P., RAZET D., GEAIRON P., FAURY N., GOULLETQUER P. (1997). Ecophysiologie de la maturation sexuelle de l'huître creuse *Crassostrea gigas* : réponses métaboliques (respiration) et alimentaires (filtration, absorption) en fonction des différents stades de maturation. *Aquat. Living. Ressourc.*, **10** : 177-185.

SOLETCHNIK P., O. LE MOINE, FAURY N., RAZET D., GEAIRON P., GOULLETQUER P. (1999). Mortalité de l'huître creuse *Crassostrea gigas* dans le bassin de Marennes-Pléron : étude de la variabilité spatiale de son environnement et de sa biologie par un système d'informations géographiques (SIG). *Aquat. Living. Ressour.* **12** (2).

SORNIN J. M., FEUILLET M., HERAL M., DESLOU-PAOLI J. M. (1983). Effet des biodépôts de l'huître *Crassostrea gigas* (Thunberg) sur l'accumulation de matières organiques dans les parcs du bassin de Marennes-Oléron. *J. moll. Stud. Suppt.* **12A** : 185-197.

TAMMES P.M.L, DRAL A.D.G. (1956). Observations on the straining of suspensions by mussels. *Arch. Neerl. Zool.*, **11** : 87-112.

WHYTE J. N. C., ENGLAR J. R., CARSWELL B. L. (1990). Biochemical composition and energy reserves in *Crassostrea gigas* exposed to different levels of nutrition. *Aquaculture*, **90** : 157-172.

YENTSCH C. S., MENZEL. (1963). A method for the determination of phytoplankton chlorophyll and Pheophytin by fluorescence. *Deep sea Res.*, **10** : 221-231.

# ANNEXES

- I.** Poids totaux et poids de coquille des individus adultes pour chaque prélèvement
- II.** Poids totaux et poids de coquille des individus juvéniles pour chaque prélèvement
- III.** Mortalité en nombre d'individus morts par site et par poche ostréicole chez les adultes et chez les juvéniles
- IV.** Etalonnage du fluorimètre
- V.** Evolution des 6 descripteurs hydrologiques au cours des 5 sorties
- VI.** Analyses de variance multifactorielles des descripteurs environnementaux
- VII.** Interpolation des concentrations en chlorophylle a et en phéophytine a au cours des 5 sorties

## Annexe I

### Poids totaux et poids de coquille des individus adultes pour chaque prélèvement

Site expérimental	Prélèvement 1	Prélèvement 2	Prélèvement 3
e	27,25 (±7,40)	27,20 (±6,51)	31,00 (±5,40)
f	27,53 (±5,27)	29,55 (±9,93)	29,83 (±32,81)
g	27,43 (±5,94)	31,46 (±6,37)	32,81 (±6,05)
h	27,47 (±5,45)	31,89 (±4,22)	33,16 (±7,67)

Poids totaux moyens (en g) des prélèvements 1 (le 19/04), 2 (le 17/05) et 3 (le 14/06) des individus adultes au niveau des 4 sites expérimentaux. ( ) : écart-type.

Site expérimental	Prélèvement 1	Prélèvement 2	Prélèvement 3
e	16,07 (±5,22)	16,26 (±4,36)	19,01 (±4,06)
f	16,23 (±3,71)	17,42 (±6,46)	17,79 (±5,32)
g	16,23 (±4,25)	16,01 (±4,60)	19,30 (±4,00)
h	15,60 (±3,39)	18,95 (±3,05)	18,93 (±5,20)

Poids de coquille moyens (en g) des prélèvements 1 (le 19/04), 2 (le 17/05) et 3 (le 14/06) des individus adultes au niveau des 4 sites expérimentaux. ( ) : écart type.



## Annexe II

### Poids totaux et poids de coquille des individus juvéniles pour chaque prélèvement

Site expérimental	Prélèvement 1	Période 2	Période 3
e	2,24 (±1,34)	4,07 (±1,48)	6,39 (±1,63)
f	2,66 (±1,16)	3,64 (±2,00)	5,65 (±2,25)
h	2,87 (±1,02)	4,20 (±1,53)	7,34 (±3,06)

Poids totaux moyens (en g) des prélèvements 1 (le 19/04), 2 (le 17/05) et 3 (le 14/06) des individus juvéniles au niveau des 3 sites expérimentaux. ( ) : écart type.

Site expérimental	Prélèvement 1	Période 2	Période 3
e	1,56 (±0,90)	2,72 (±1,01)	3,93 (±1,03)
f	1,87 (±0,82)	2,36 (±1,25)	3,77 (±1,49)
h	1,97 (±0,71)	2,64 (±0,94)	4,06 (±1,80)

Poids de coquille moyens (en g) des prélèvements 1 (le 19/04), 2 (le 17/05) et 3 (le 14/06) des individus juvéniles au niveau des 3 sites expérimentaux. ( ) : écart type.

## Annexe III

Individus morts par site et par poche ostréicole chez les adultes et chez les  
juvéniles des 3 prélèvements

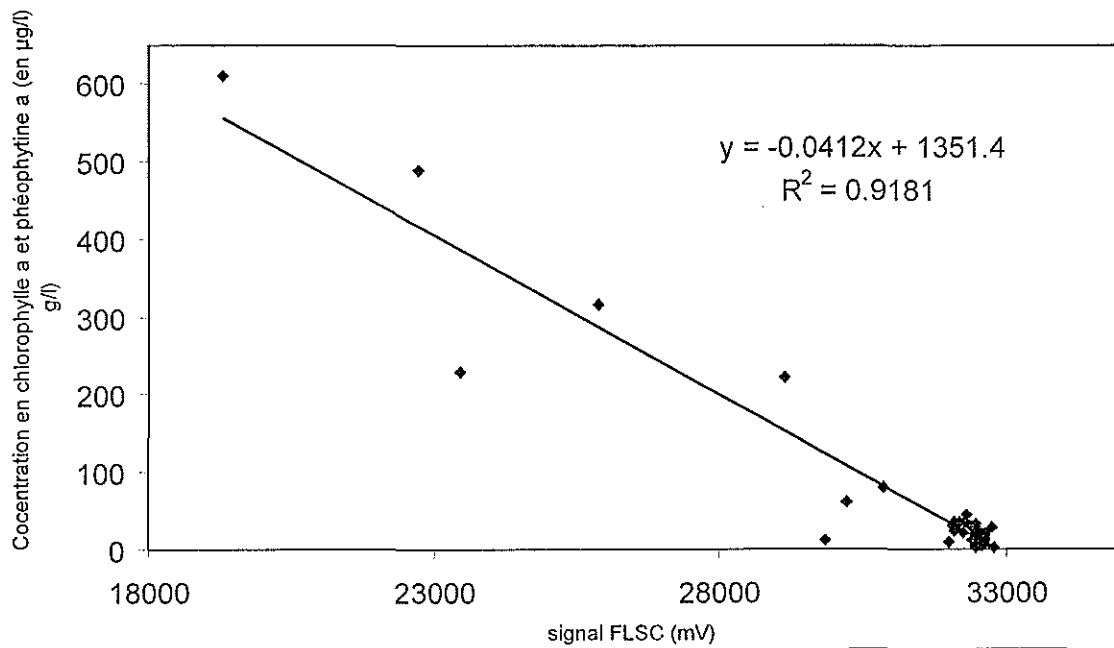
	Sites expérimentaux											
	e			f			g			H		
	Poche			Poche			Poche			Poche		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
19/04	38	25	42	16	21	24	24	32	21	15	25	26
17/05	10	12	5	6	5	10	3	11	4	8	7	8
14/06	4	7	12	6	5	10	3	11	4	8	7	8
Total cumulé	52	44	59	38	39	46	46	56	45	44	52	55

Individus morts dénombrés par poche au cours des 3 prélèvements, chez les individus adultes au niveau des 4 sites expérimentaux.

	Sites expérimentaux								
	e			f			h		
	Poche			Poche			Poche		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
19/04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17/05	1	0	0	0	1	0	1	0	0
14/06	114	126	148	121	113	120	114	120	115
Total cumulé	115	126	148	121	114	120	115	120	115

Individus morts dénombrés par poche au cours des 3 prélèvements, chez les individus juvéniles au niveau des 3 sites expérimentaux e, f et h.

## Annexe IV Etalonnage du fluorimètre



	FLSC	Chloa+Pheo
Tetra n	19301.0882	610.2285
Tetra n/2	25853.3957	315.1935
Tetra n/4	29127.0949	222.2775
Tetra n/8	30872	79.9665
Tetra n/16	32283.726	35.9115
Tetra n/32	32748.6807	27.3141
Pavlo n	23440.6667	229.2195
Pavlo n/4	30222.8966	59.9415
Pavlo n/8	32089.3818	34.2294
Pavlo n/16	32527.25	16.2069
Melange 1	22711.6327	489.5445
Melange 2	29860.0388	11.1072
Melange 3	31987.3409	9.6654

	FLSC	Chloa+Pheo
1	32562	4.88794395
2	32562	5.2429343
3	32593	3.71374513
4	32614	4.42372581
5	32572	6.60828177
6	32527	4.42372581
7	32502	3.98681462
8	32472	5.27024124
9	32463	3.19491309
10	32484	32.574
11	32538	23.1222
12	32603	14.3913
13	32618	14.2044
14	32535	15.6729
15	32444	24.9378
16	32387	30.0375
17	32626	18.5832
18	32559	12.3888
19	32558	13.6704
20	32580	18.3963
21	32306	44.9628
22	32188	35.1756977
23	32054	30.9987
24	32535	16.0467
25	32256	20.7726
26	32414	28.0617
27	32626	21.7605
28	32603	10.413
29	32080	22.962
30	32561	12.7626
31	32540	10.947
32	32631	11.1339
33	32608	13.4835
34	32584	14.6049
35	32631	6.942
36	32563	8.7576
37	32529	12.3888
38	32418	10.5732
39	32434	13.6704

Dilutions des monocultures de *Tetraselmis monochrysis* (Tetra) et de *Pavlova (Pavlo)* et d'un mélange de culture du laboratoire. FLSC: unité du fluorimètre en mv; ChloPheo: concentrations en µg/l.

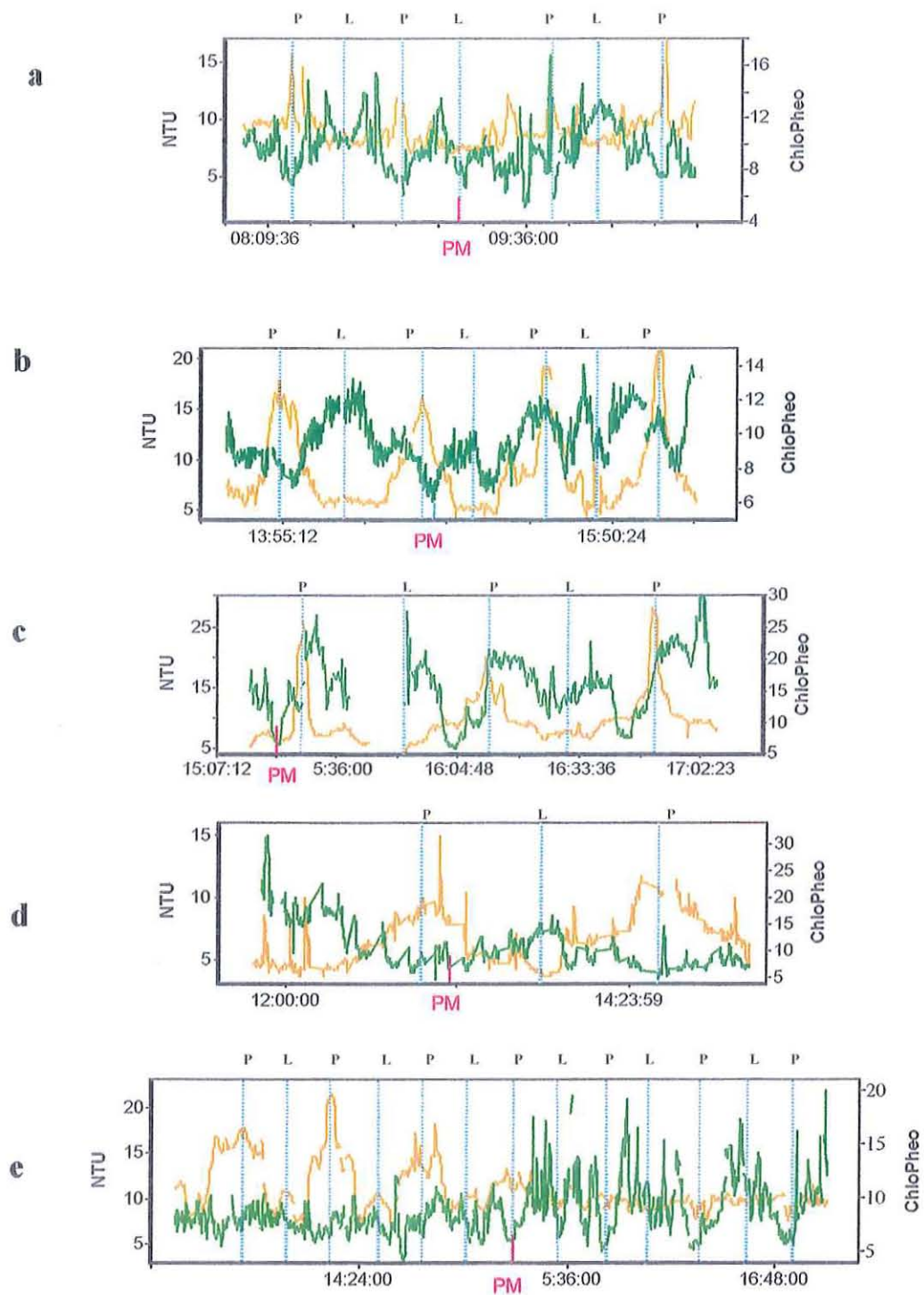
Points de prélèvements dans le milieu nature.  
FLSC: unité du fluorimètre en mv;  
ChloPheo: concentrations en µg/l.

## Annexe V

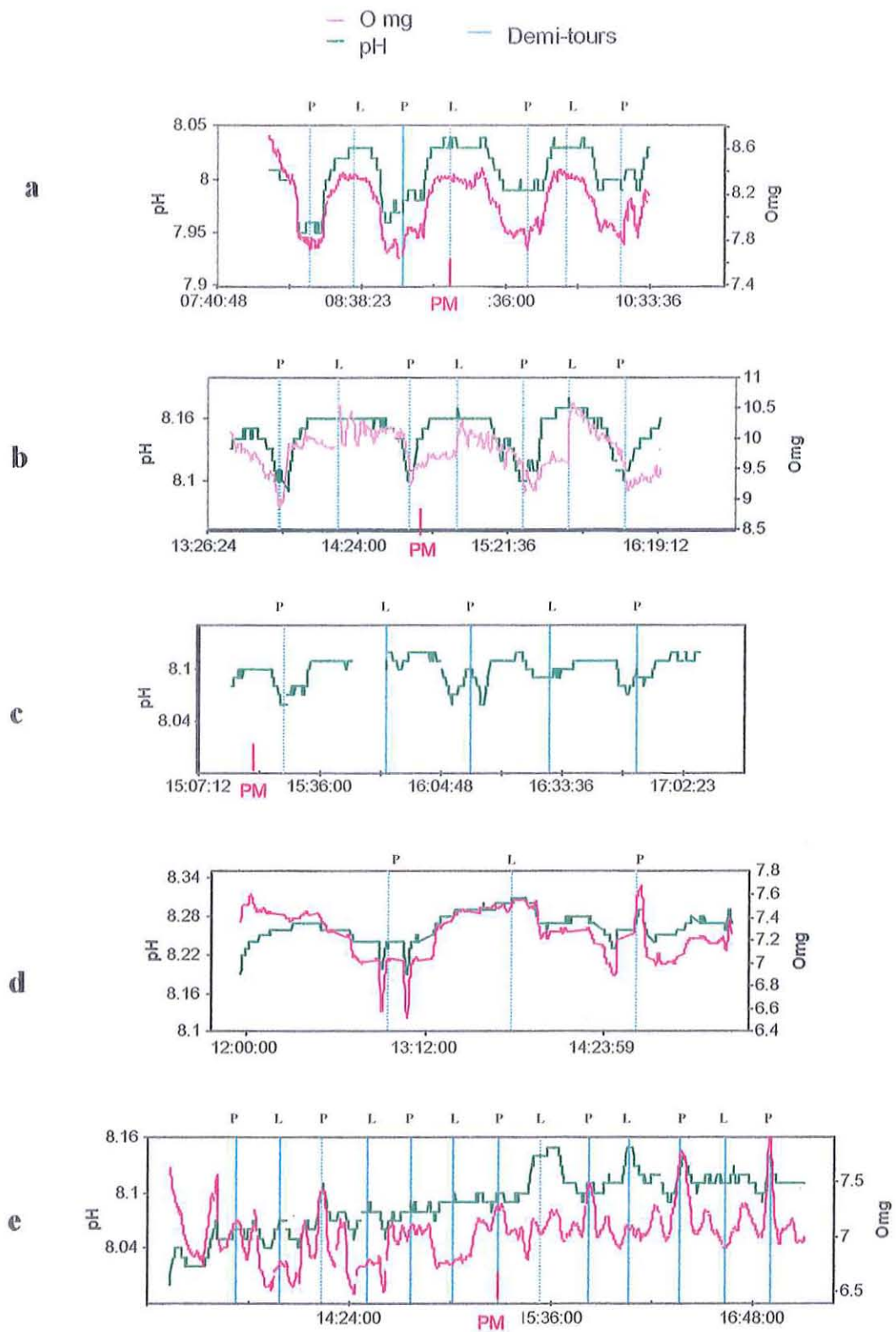
Evolution des 6 descripteurs hydrologiques au cours des 5 sorties :

- V. 1. : Evolution de la turbidité et des concentrations en chlorophylle a et en phéophytine a
- V. 2. : Evolution de la teneur en oxygène et du pH
- V. 3 : Evolution de la température et de la salinité

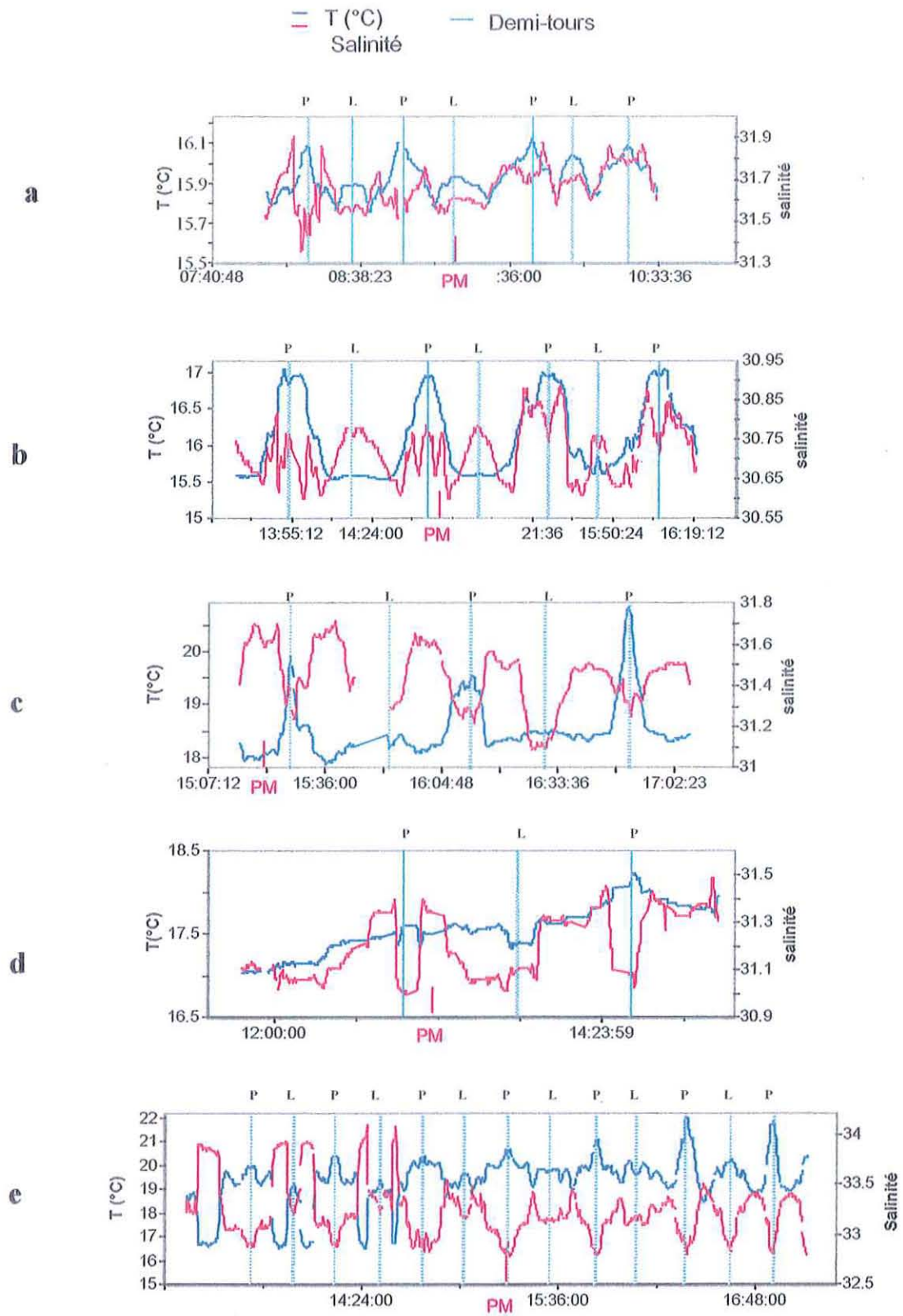
— Chlorophylle a + Phéophytine a      — Demi-tours  
— Turbidité (NTU)



Annexe V.1: Evolution dans le temps de la concentration en chlorophylle a et en phéophytine a ( $\mu\text{g/l}$ ) et de la turbidité (NTU). a: le 11/05/99; b: le 11/05/99 et c: le 25/05/99. P: demi-tour au niveau de la plage; L: demi-tour au large.



Annexe V. 2. : Evolution dans le temps de la teneur en oxygène (mg/l) et du pH.  
 a: le 11/05/99; b: le 11/05/99 et c: le 25/05/99. P: demi-tour au niveau de la plage;  
 L: demi-tour au large.



Annexe V. 3. : Evolution dans le temps de la température (°C) et de la salinité (‰). a: le 11/05/99; b: le 11/05/99 et c: le 25/05/99. P: demi-tour au niveau de la plage; L: demi-tour au large.

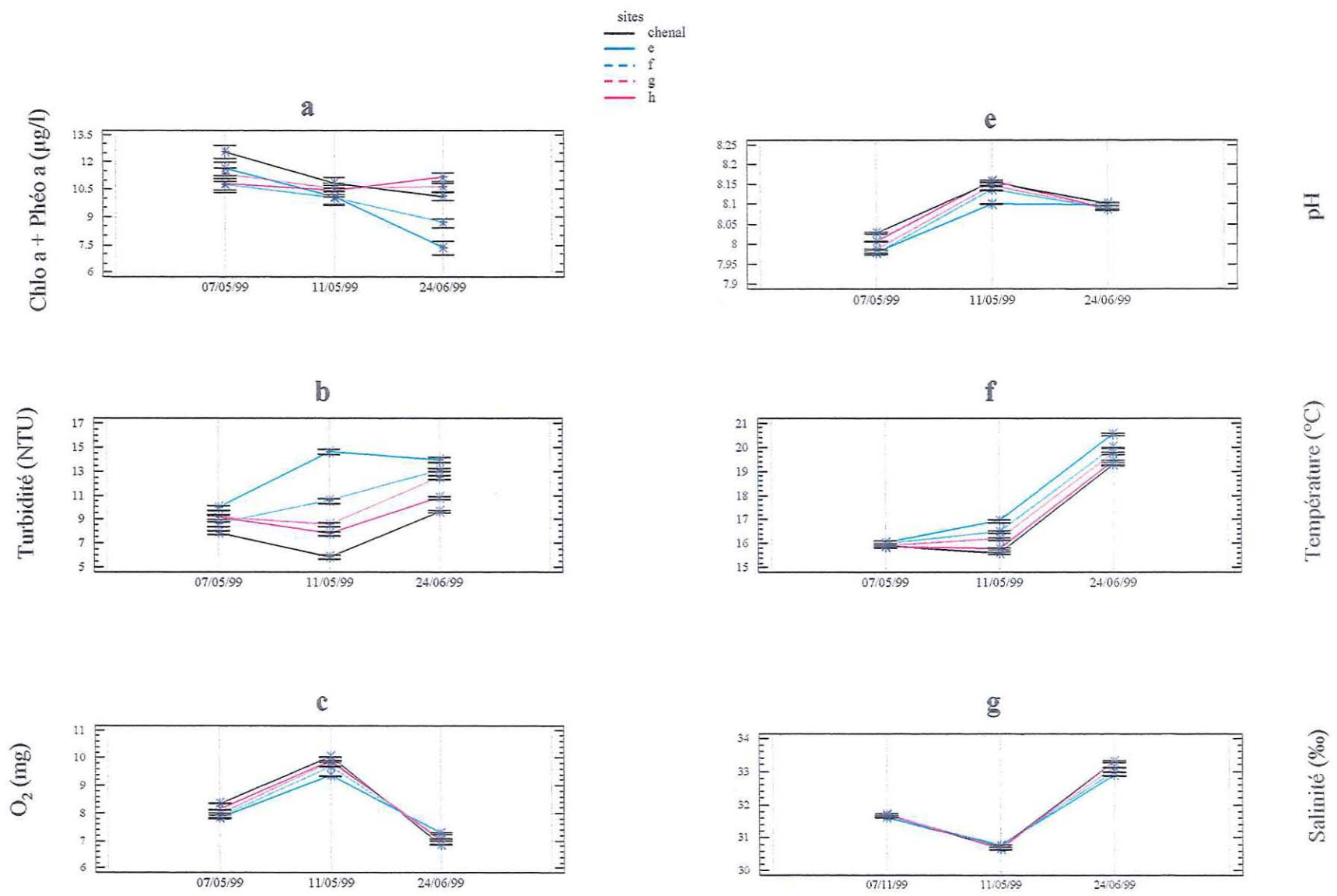
## **Annexe VI**

### **Analyses de variance multifactorielles des descripteurs environnementaux**

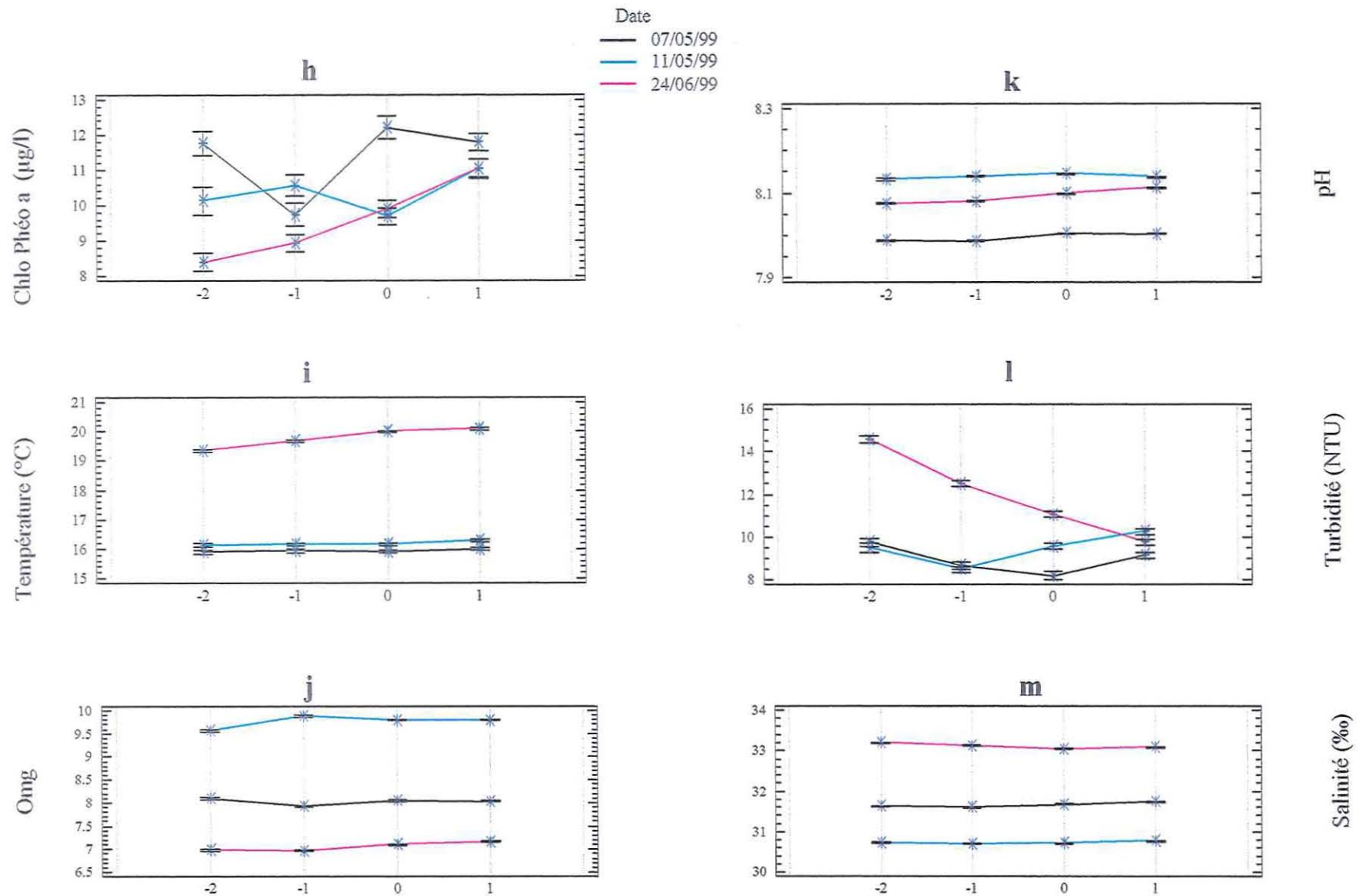
**VI. 1. : Facteurs DATE et SITE**

**VI. 2. : Facteurs DATE et PERIODE**





Annexe VI.1 : Effets "DATE" et "SITE" sur les paramètres environnementaux (a: concentration en chlorophylle a et en phéophytine a; b: température; c: oxygène et k: pH; l: turbidité et m: salinité) tous sites confondus (type chenal, sites e, f, g et h).

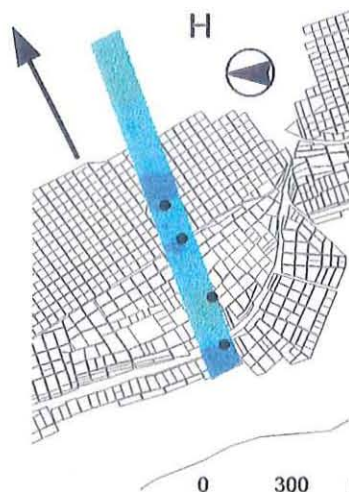
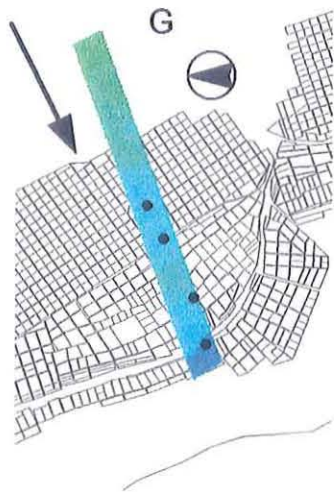
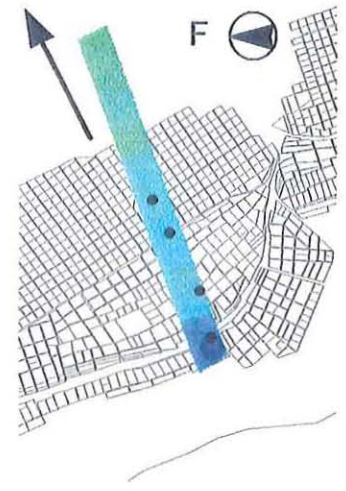
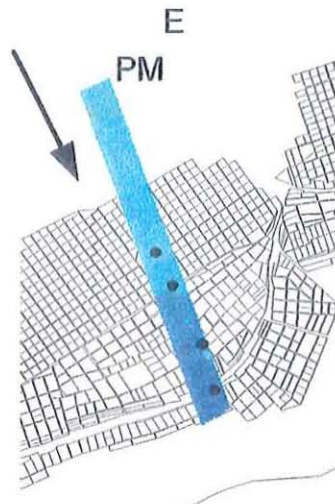
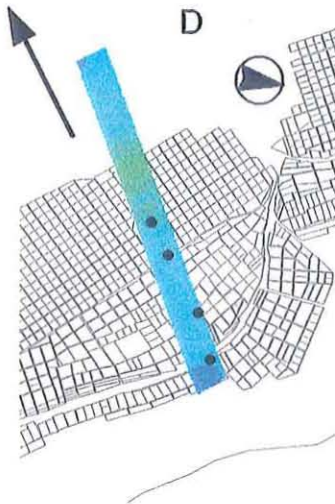
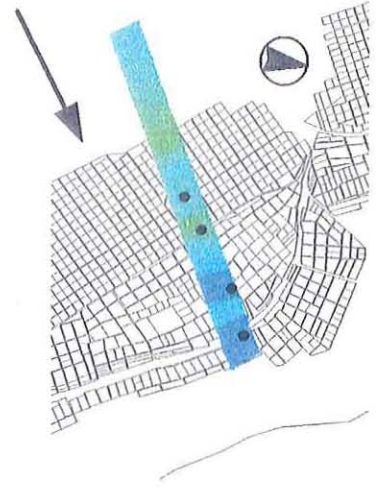
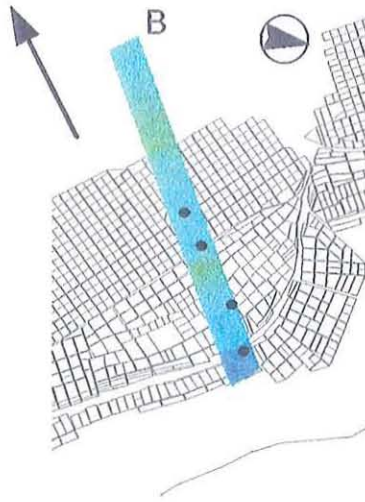
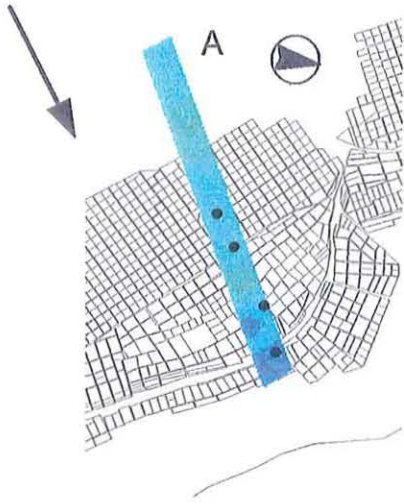


Annexe VI.2 : Effets "DATE" et "PERIODE" sur les paramètres environnementaux (h: concentration en chlorophylle a et en phéophytine a; i: température;; j: oxygène et k: pH; l: turbidité et m: salinité) tous sites confondus (type chenal, sites e, f, g et h).

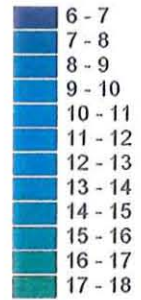
## Annexe VII

Interpolation des concentrations  
en chlorophylle a et en phéophytine a au cours des 5 sorties

Sortie 1 : le 07/05/99



Concentration  
en chlorophylle a et en phéophytine a  
(en microgrammes par litre)



PM: heure de pleine mer



sens du parcours

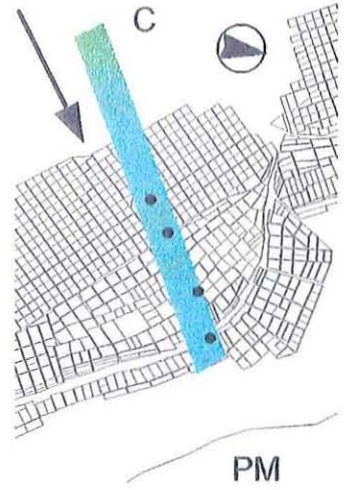
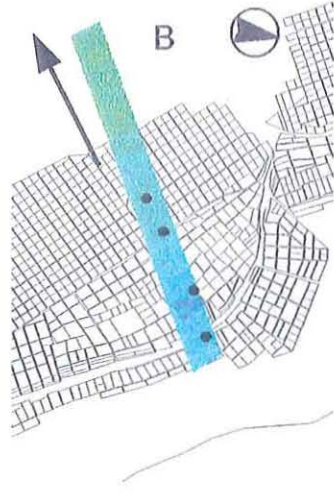
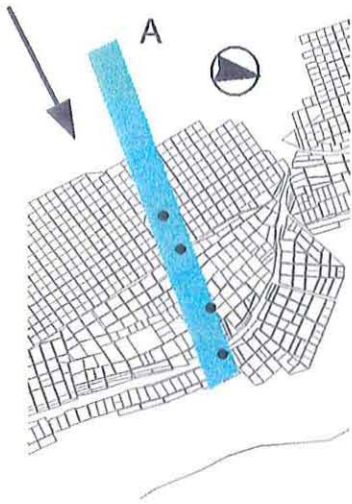


Sens du courant

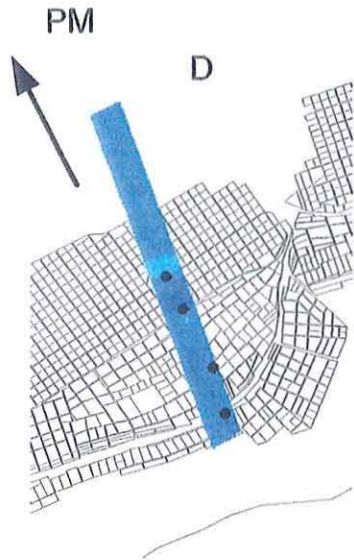
Source : IGN, Affaires Maritimes



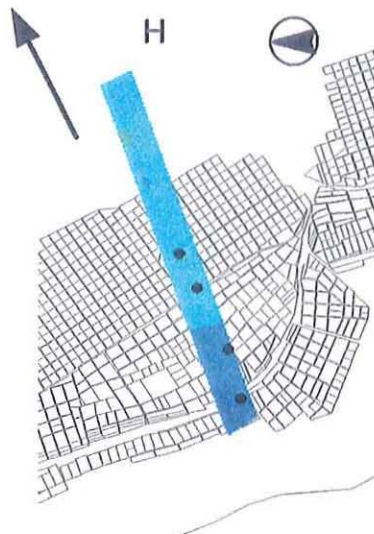
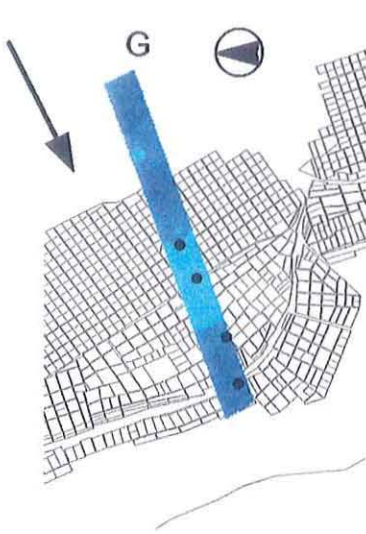
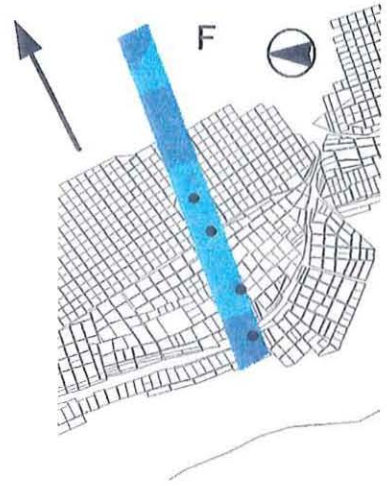
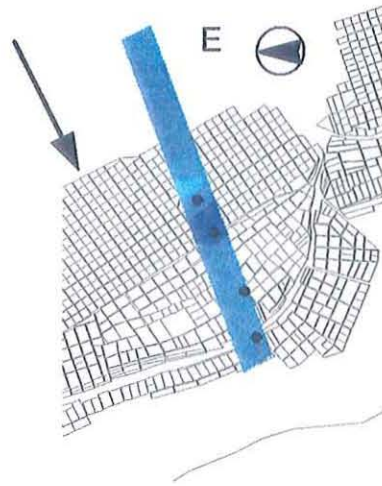
Sortie 2 le 11/05/99



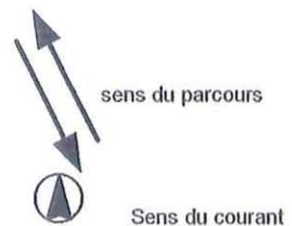
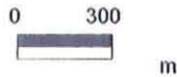
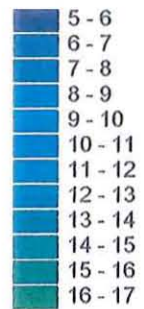
PM



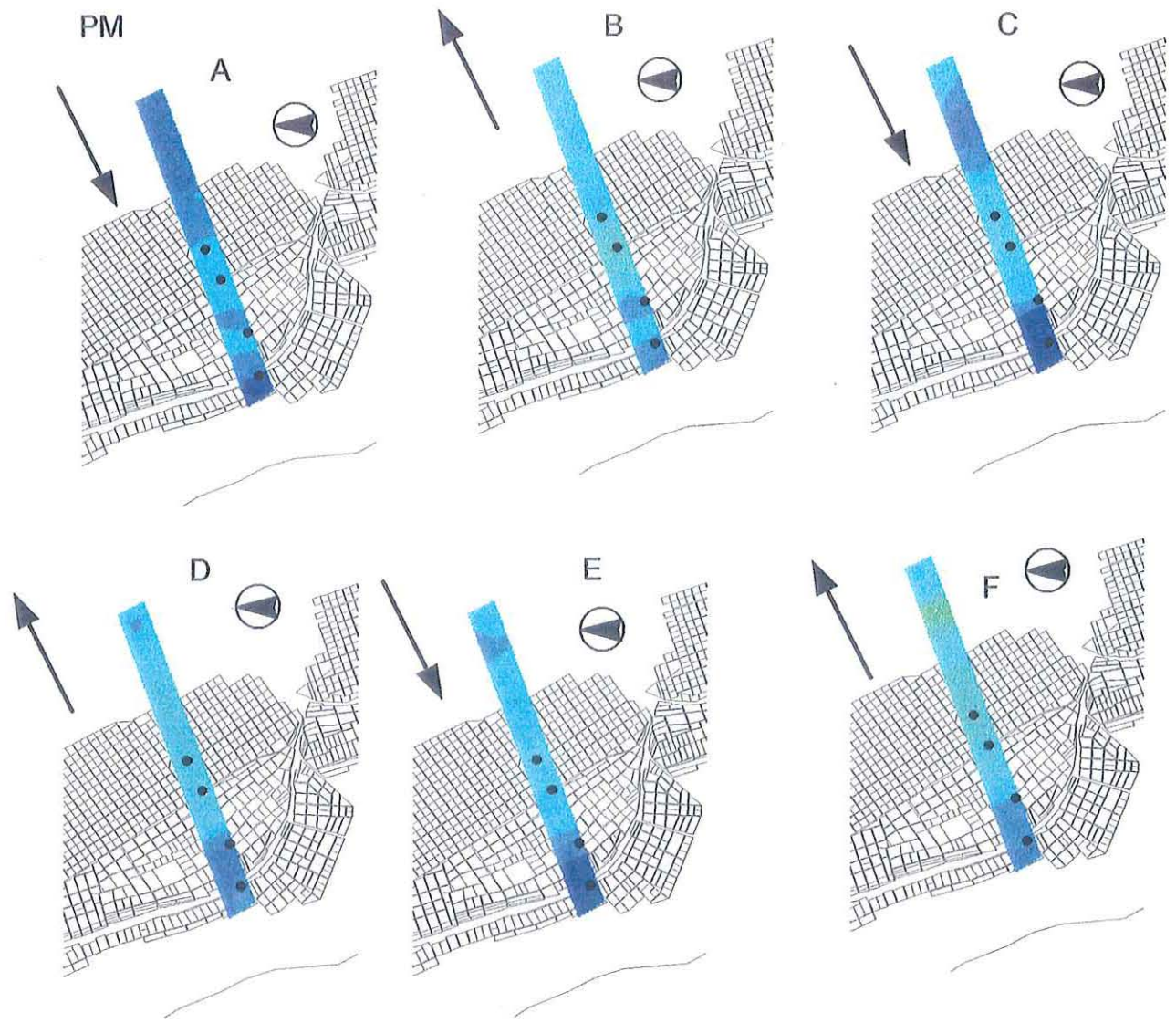
PM



Concentration en chlorophylle a  
et en phéophytine a  
(en microgrammes par litre)



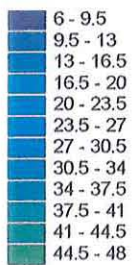
Sortie 3 le 25/05/99



Source : IGN, Affaires Maritimes

0 300 m

Concentrations  
en chlorophylle a et en péophytine  
(en microgrammes par litre)



PM: heure de pleine mer

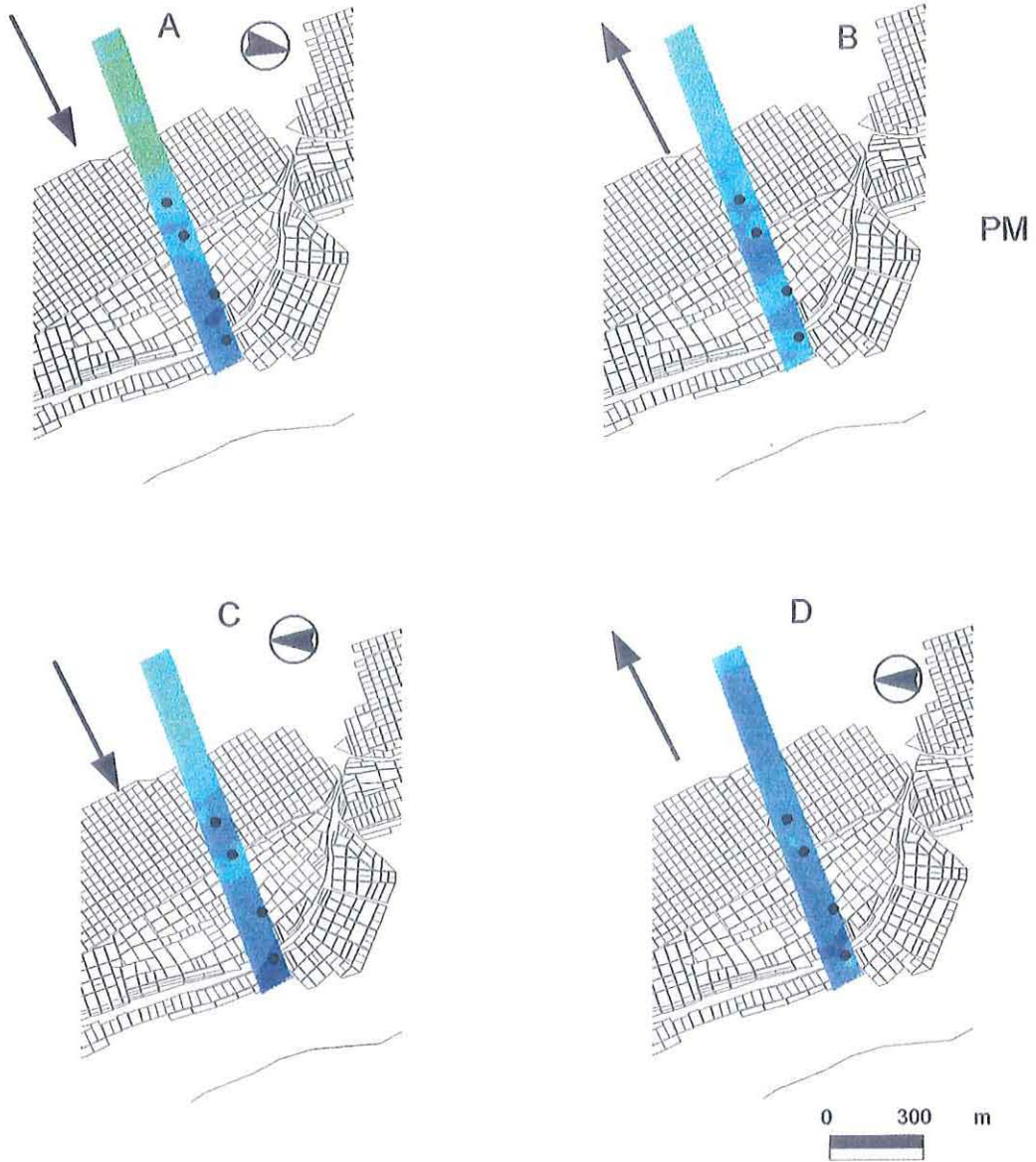


Sens du courant



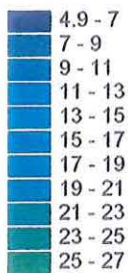
sens du parcours

Sortie 4 le 08/06/99



Source : IGN, Affaires Maritimes

Concentration  
en chlorophylle a et en phéophytine a  
(en microgrammes par litre)



sens du parcours



Sens du courant



PM: heure de pleine mer

Sortie 5 : le 24/06/99

