

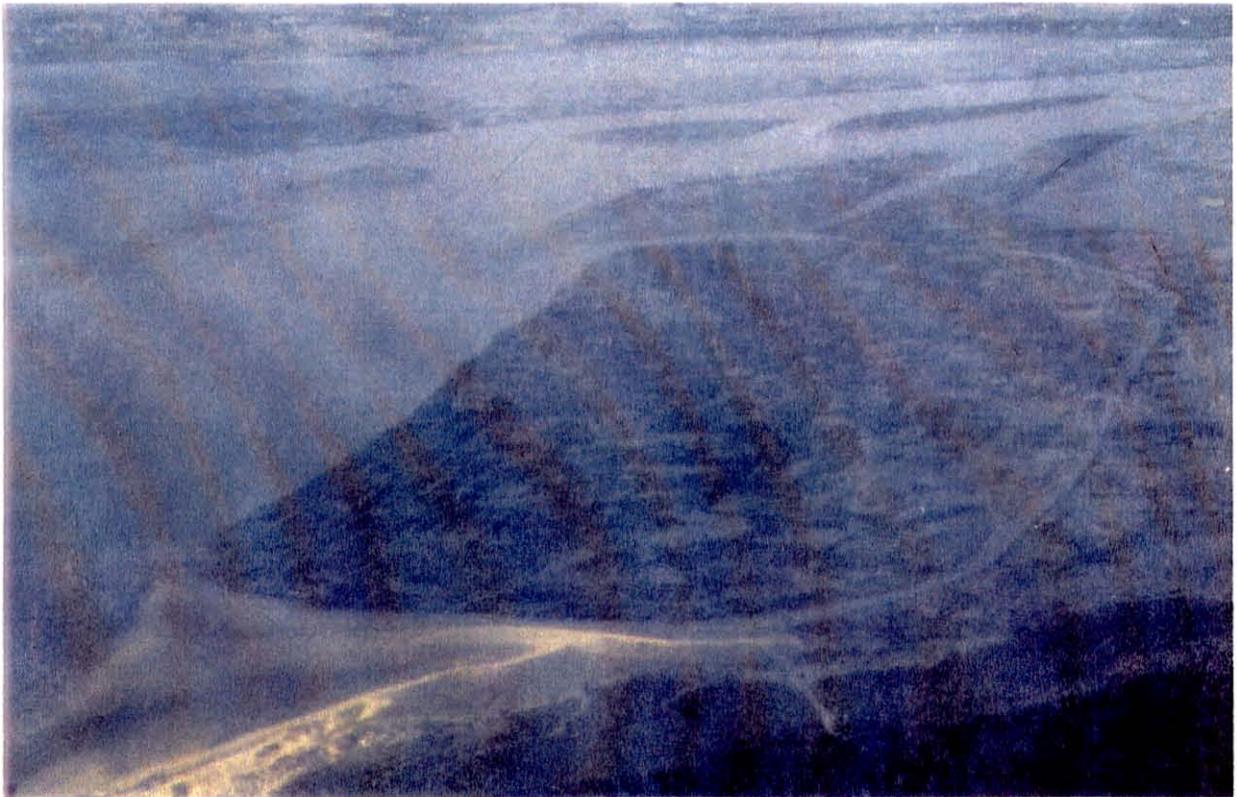
Laboratoire Conchylicole
de Poitou-Charentes
La Tremblade (France)
Institut Français de Recherche pour
l'Exploitation de la Mer

Laboratoire d'Océanologie
Université de Liège
Sart-Tilman
Belgique



ifremer

**LES MORTALITES ESTIVALES D'HUITRES CREUSES *CRASSOSTREA GIGAS* DANS LE
BASSIN DE MARENNES-OLERON (BANC DE RONCE) : PERFORMANCES
ZOOTECHNIQUES EN DIVERS SITES ET ALTITUDES DE LA COLONNE D'EAU.**



**Frédéric MINEUR
D.E.S. en Océanologie
Année académique 1998-1999
Université de Liège**

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION.....	1
1. Le bassin de Marennes-Oléron.....	1
2. L'ostréiculture.....	2
3. Les phénomènes de mortalités.....	3
4. Capacité trophique du bassin de Marennes-Oléron.....	4
5. Choix du site.....	4
6. Etudes antérieures.....	5
7. Objectifs de l'étude menée en 1999.....	7
II. MATERIELS & METHODES.....	8
1. Sites.....	8
2. Matériel biologique.....	9
3. Infrastructures d'élevage.....	9
4. Stratégie d'expérimentation.....	9
5. Travail sur le terrain.....	10
6. Analyses biométriques.....	12
7. Paramètres hydrologiques.....	12
8. Descripteurs de l'étude.....	14
9. Traitements statistiques.....	15
III. RESULTATS.....	16
1. Description des conditions environnementales.....	16
1.1 Température de l'air et de l'eau.....	16
1.2 Salinité.....	17
1.3 Turbidité.....	18
1.4 Facteurs biologiques.....	19
2. Mortalité.....	20
2.1 Radiale Est-Ouest.....	20
2.1.1 Mortalités cumulées.....	20
2.1.2 Taux de mortalités journaliers.....	21
2.2 Profils verticaux.....	23
2.2.1 Mortalités cumulées.....	23
2.2.2 Taux de mortalités journaliers.....	24

3. Biométrie.....	27
3.1 Radiale Est-Ouest.....	27
3.1.1 Poids secs.....	27
3.1.2 Poids de coquille.....	32
3.2 Profils verticaux.....	35
3.2.1 Poids secs.....	35
3.2.2 Poids de coquille.....	39
4. Variations physico-chimiques entre l'interface eau-sédiment et la colonne d'eau.....	42
4.1 Température.....	42
4.2 Salinité.....	43
4.3 Concentration en oxygène dissous.....	43
4.4 Turbidité.....	45
IV. DISCUSSION.....	47
V. CONCLUSION.....	53
VI. BIBLIOGRAPHIE.....	55
ANNEXES	

I. INTRODUCTION

1. Le bassin de Marennes-Oléron

Le bassin de Marennes-Oléron est situé sur le plateau continental des côtes atlantiques françaises, entre Marennes et La Rochelle. Ses limites sont constituées par l'île d'Oléron à l'ouest, le continent à l'est, l'estuaire de la Charente au nord et l'estuaire de la Seudre au sud (figure 1). Sa superficie est de 150 km².

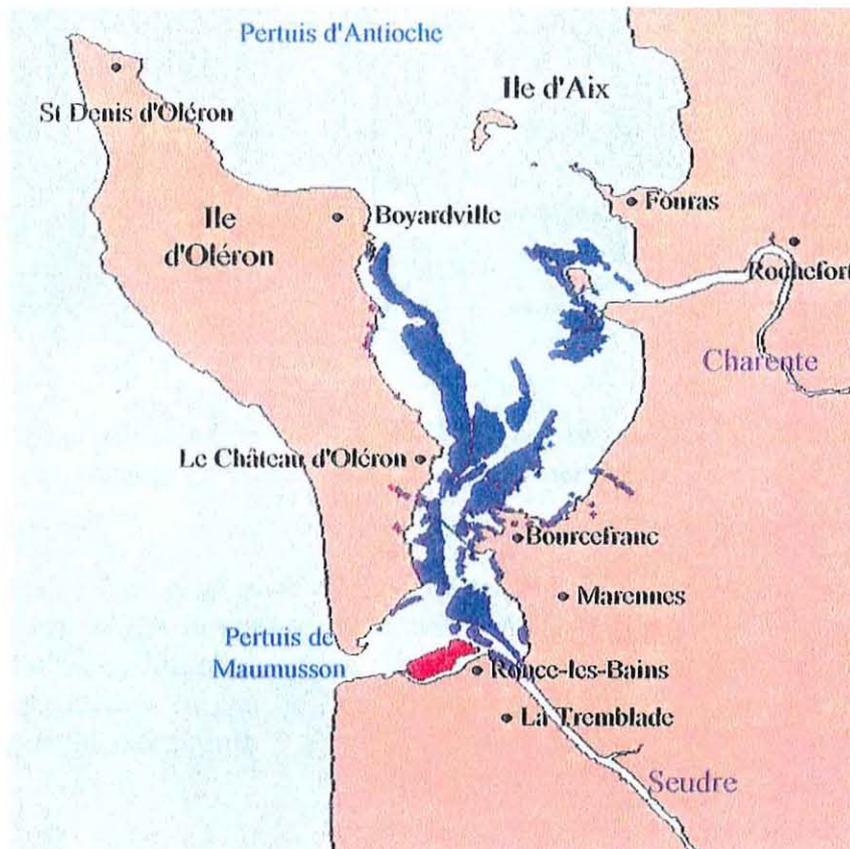


Figure 1 : Bassin ostréicole de Marennes-Oléron.

Les apports d'eau océanique se font au nord par le pertuis d'Antioche et au sud par le pertuis de Maumusson. La circulation générale du bassin est orientée Nord-Sud (Bacher, 1989) (figure 2).

Les apports de la Seudre (débit de 0 à 40 m³s⁻¹) et surtout ceux de la Charente (de 10 à 400 m³s⁻¹) influencent fortement l'écologie du bassin par l'apport de nutriments (Soletchnik *et al.*, 1998a). Lors des grands coefficients, des masses d'eau en provenance de l'estuaire de la Gironde peuvent entrer dans le bassin, par le nord (Dechambenoy *et al.*, 1977).

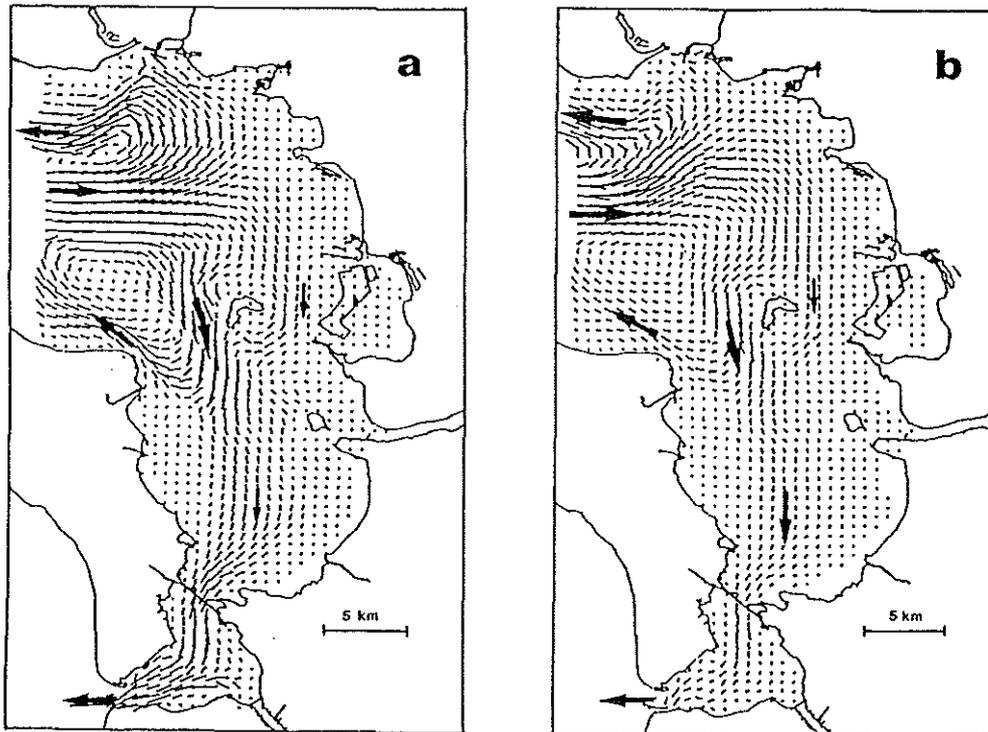


Figure 2 : Flux résiduels eulériens dans le bassin de Marennes-Oléron (a = marées de vives-eaux ; b = marées de mortes-eaux) (d'après Bacher, 1989).

Outre le tourisme, cette zone est principalement valorisée par des activités de type conchylicole (mytiliculture au nord, ostréiculture dans le reste du bassin et, ponctuellement, vénériculture). La frange littorale est parsemée de nombreux marais, pénétrés par des chenaux assurant une alimentation en eau de mer. Ces marais, appelés localement « claires » sont utilisés pour l'affinage des huîtres.

2. L'ostréiculture

L'exploitation de l'huître indigène *Ostrea edulis* (huître plate) remonte à la préhistoire. Cependant, l'ostréiculture proprement dite ne prend son essor qu'à partir de 1850. C'est en effet à cette époque que se développent les techniques de captage du naissain, remplaçant la cueillette des huîtres juvéniles dans les bancs naturels (Héral, 1989).

Suite à des mortalités massives durant les années 20 et à deux parasitoses successives durant les années 70 et 80 (*Bonamia ostreae* et *Marteilia refringens*), l'huître plate a complètement disparu du bassin de Marennes-Oléron. L'ostréiculture de l'huître portugaise *Crassostrea angulata*, introduite accidentellement à la fin du 19ème siècle a connu une expansion phénoménale jusqu'en 1970. C'est à ce moment que les cheptels sont décimés par une épizootie virale appelée « maladie des branchies ». Une opération de grande envergure, appelée Resur, a été entreprise à partir de 1971. Elle consistait en l'importation massive, sous contrôle scientifique strict, de géniteurs d'huîtres creuses du Pacifique *Crassostrea gigas*, en

provenance de Colombie britannique (Canada) (Grizel & Héral, 1991). *Crassostrea gigas* est actuellement la seule espèce d'huître cultivée dans le bassin de Marennes-Oléron.

Sur les estrans des pertuis charentais, 4 500 hectares représentant quelques 32 000 parcelles sont concédées aux activités conchylicoles. Le stock d'huîtres creuses est de 110 000 tonnes pour une production annuelle d'environ 30 000 à 40 000 tonnes (soit 20 % de la production française). Le tonnage affiné (dans les claires) et commercialisé est de 60 000 tonnes (soit 40 % de la production française), ce qui fait de Marennes-Oléron le premier bassin ostréicole européen.

Deux méthodes d'élevage sur estran sont pratiquées à Marennes-Oléron. La première, la plus traditionnelle, est l'élevage dit à plat. Les huîtres sont dispersées à même l'estran, dans des parcs entourés d'un grillage d'une quinzaine de centimètres de hauteur. La seconde, pratiquée depuis un trentaine d'années à Marennes-Oléron, est l'élevage en surélevé. Les huîtres sont mises dans des poches grillagées. Ces poches sont ensuite disposées en rang sur des tables métalliques. Cette pratique zooteknique a été adoptée par les ostréiculteurs locaux en même temps que les premières importations d'huîtres du Pacifique (Grizel & Héral, 1991). Son développement a permis d'accroître la production en utilisant plus intensivement les surfaces concédées.

3. Les phénomènes de mortalité

Les mortalités de bivalves cultivés et en particulier des huîtres sont des phénomènes qui ont maintes fois été observés durant le 20ème siècle. Les mortalités dans les élevages d'huîtres creuses *Crassostrea gigas* ont été régulièrement signalées depuis une cinquantaine d'années, notamment sur la côte Pacifique des USA et au Japon (Mori, 1979 ; Perdue *et al.*, 1981 ; Friedmann *et al.*, 1991 ; Glude, 1975).

A ces épisodes sont souvent associées des conditions hydrobiologiques particulières : températures élevées, stress halin et faible oxygénation (en relation avec la température). Dans la plupart des cas, ce sont les jeunes huîtres (2 à 3 ans), caractérisées par un taux de croissance élevé, un métabolisme intense et par la formation de gonades, qui sont le plus fréquemment affectées.

Les facteurs associés à ces mortalités (printanières ou estivales) ont amené les scientifiques à émettre l'hypothèse d'un stress physiologique (Glude, 1975). Certaines infections parasitaires (*Hexamita sp.*) et bactériennes (*Nocardia sp.*) ont été mises en parallèle à ces événements (Meyers & Short, 1990 ; Friedmann *et al.*, 1991). Cependant, ces maladies ne sont certainement pas à la base des mortalités, mais agissent comme un facteur aggravant (la faiblesse physiologique des huîtres diminuant leur résistance).

Outre les épisodes dramatiques de mortalité de l'huître plate *Ostrea edulis* dans les années 20 (dont le déterminisme n'est à ce jour pas encore totalement expliqué) puis plus tard suite à des parasitoses, et de l'huître portugaise *Crassostrea angulata* suite à une épizootie virale, des mortalités estivales sont observées depuis une vingtaine d'années sur les sites ostréicoles français.

En 1980, on observait dans le bassin d'Arcachon les premières mortalités importantes (15-30 %) d'huîtres creuses *Crassostrea gigas* (Maurer *et al.*, 1987). Dans le bassin de Marennes-Oléron, des mortalités estivales se manifestent également de façon chronique ou à l'occasion de crises importantes, notamment en mai 1988 (Bodoy *et al.*, 1990) et en juin 1993 (Héral, 1993). Aucun agent pathogène ou infectieux, ni aucune trace de pollution aiguë ayant une relation potentielle avec ces événements n'ont été détectés, cela malgré les nombreux programmes de surveillance mis en place. Il est vraisemblable que ces mortalités soient dues à des conditions environnementales particulières.

4. Capacité trophique du bassin de Marennes-Oléron

De nombreuses recherches ont été entreprises pour modéliser le fonctionnement de l'écosystème conchylicole de Marennes-Oléron. La reconstitution de séries historiques permet d'aborder la capacité trophique du bassin (Héral, 1991).

La mise en relation du stock en fonction de la production montre nettement qu'au delà d'une certaine biomasse en culture, la production tend à plafonner à un pallier maximum de 40 000 tonnes. Ce pallier correspond à la capacité maximale de production de l'écosystème, limitée par les capacités trophiques du bassin. Cette production maximale est atteinte avec un stock d'huîtres creuses *Crassostrea gigas* de 80 000 tonnes, ou un stock d'huîtres portugaises *Crassostrea angulata* de 130 000 tonnes. En effet, à biomasse égale, le rendement de production de l'huître japonaise est 1,7 fois supérieur à celui de l'huître portugaise (Héral *et al.*, 1986).

De même, des suivis biométriques réalisés chez des professionnels montrent une augmentation du temps de croissance pour obtenir une huître commercialisable, ainsi qu'une diminution des taux de survie des huîtres mises en élevage. Ces observations sont aussi à mettre en relation avec une augmentation de la biomasse mise en élevage dans le bassin. Il est probable que ce problème de surcharge du bassin puisse favoriser l'apparition de mortalités massives d'huîtres creuses.

5. Choix du site

Les bancs de Ronce Les Bains et de Perquis (banc de Ronce-Perquis) ont été choisis comme sites atelier pour la présente étude. Les bancs de Ronce-Perquis sont exploités par 1 600 ostréiculteurs, occupant 175 ha de concessions. La production y est de 10 000 tonnes par an (Gouilletquer *et al.*, 1998). Ces bancs tiennent une place non négligeable dans l'économie du bassin de Marennes-Oléron.

Situés au sud du bassin, ces bancs sont les derniers irrigués par le courant résiduel de direction nord-sud. Malgré une inversion du courant lors du flot, le volume d'eau sortant par le pertuis de Maumusson est en moyenne 1,7 à 2 fois supérieur à celui entrant (Castaing, 1981).

Des essais de modélisation font ressortir un gradient sud-nord des croissances individuelles de l'huître *Crassostrea gigas* dans le bassin de Marennes-Oléron (Bacher, 1989). En effet, au fur et à mesure de la consommation des particules de matières organiques par les filtreurs, la colonne d'eau s'appauvrit et cette déplétion se répercute de façon sensible au sud du bassin. Ce gradient a été confirmé *in situ* par Bodoy (comm. pers. in Bacher, 1989 & Bacher *et al.*, 1991). Ces observations sont cependant en contradiction avec les résultats obtenus dans le cadre du Réseau de croissance mis en place dans le bassin (Le Moine *et al.*, 1999). Dans cette étude, les meilleures performances sont obtenues sur le banc de Ronce

Depuis 1983, les informations sur les mortalités sont prises en compte par un réseau de suivi de croissance dans le bassin de Marennes-Oléron. Les mortalités « d'arrière-plan », c'est-à-dire dues le plus souvent à une mauvaise gestion zootechnique, étaient fréquentes de 1984 à 1986 (Bodoy, 1986).

Cependant, depuis 1988, pendant les périodes de mai à juillet, les mortalités ont dépassé notablement les valeurs moyennes observées les années précédentes. Ces mortalités affectent de façon hétérogène les rendements de production des élevages à plat (mortalités par taches). Deux grandes crises ont touché les bancs de Ronce-Perquis. En mai 1988, une perte de 7 800 tonnes a été enregistrée dans le sud du bassin, les mortalités atteignant environ 40 % du cheptel (90 % des élevages à plat) sur le banc de Ronce-Perquis (Bodoy *et al.*, 1990). En juin 1993, des mortalités de 15 à 30 % sont enregistrées dans les élevages à plat de ce même banc (Héral, 1993). Ces mortalités ont amené plusieurs fois les professionnels à déposer plainte contre X, considérant que les mortalités résultaient de phénomènes de pollution.

La présente étude s'inscrit dans un programme de recherche mené depuis 1995 sur le banc de Ronce-Perquis et visant à identifier les causes associées à ces mortalités printanières ou estivales. Ce programme fait l'objet d'une contractualisation avec la Section Régionale Conchylicole de Marennes-Oléron.

6. Études antérieures

Les phénomènes de mortalité estivale observés dans le bassin de Marennes-Oléron ont donné cours à diverses hypothèses. L'hypothèse d'une origine toxique a précocement été écartée. En effet, les tests relatifs à la qualité des eaux impliquant une toxicité naturelle phytoplanctonique ou industrielle se sont révélés systématiquement négatifs (Bodoy *et al.*, 1990 ; LABEIM, 1992 ; Héral, 1993). Divers prélèvements ont également été effectués dans le but de réaliser des analyses pathologiques. Des anomalies branchiales ou encore des inclusions intracytoplasmiques ont ponctuellement été observées ; cependant, l'hypothèse d'une cause infectieuse n'a jamais été validée et a parfois même été écartée (LABEIM, 1992).

L'insuffisance des réserves trophiques (évoquée plus haut) a également été soupçonnée comme pouvant être à l'origine des phénomènes de mortalité. Si les modèles élaborés (Héral *et al.*, 1986 ; Héral, 1991) permettent d'expliquer partiellement l'augmentation des mortalités chroniques, ils ne permettent pas d'expliquer l'apparition de mortalités ponctuelles au printemps et en été.

Finalement, la plupart des conclusions font état d'un processus de stress thermique. Celui-ci, en période estivale, est le plus souvent précédé d'une période où l'huître *Crassostrea gigas* présente un potentiel de croissance faible, voire négatif en période de maturation sexuelle avancée (Soletchnik *et al.*, 1997). En effet, les huîtres ont un métabolisme différent en période de gamétogenèse, et elles endurent durant cette période une certaine « détresse physiologique ».

Aucune étude spécifique et locale destinée à rechercher et étudier précisément les causes de mortalité n'avait été entreprise jusqu'en 1995 dans le bassin de Marennes-Oléron. Etant les sites les plus touchés auparavant, les bancs de Ronce et Perquis ont été choisis comme sites ateliers.

En 1995, des suivis de paramètres environnementaux au moyen de sondes océanographiques ont été réalisés directement sur les zones ostréicoles afin d'évaluer les facteurs de stress que pouvaient subir les huîtres en élevage. Une évaluation systématique des taux de mortalité au niveau des cheptels a par ailleurs été engagée afin d'estimer son importance et sa répartition spatiale (Gouletquer, 1995).

En 1996, la démarche a été globale et multifactorielle. La stratégie d'échantillonnage développée prenait en compte une cinquantaine de concessions ostréicoles. En plus des mesures de biométrie et de mortalité, l'origine des lots et l'influence des pratiques culturelles ont également été étudiées (Lodato, 1997).

Devant l'absence de corrélations obtenues en 1996, et face aux difficultés méthodologiques d'échantillonnage de la mortalité sur des populations très hétérogènes, l'axe de recherche privilégié en 1997 a pris en compte un nombre de sites plus restreint (15 sites) sur lesquels ont été distribuées les huîtres en provenance d'un lot parfaitement homogène (Soletchnik *et al.*, 1998b ; Soletchnik *et al.*, 1999). Les résultats de cette étude ont mis en évidence une variabilité de réponse (mortalité, croissance) entre les différents sites de Ronce-Perquis. L'importance de la mortalité associée au mode de culture à plat (observée auparavant) est confirmée. Cependant, aucune relation de cause à effet n'a pu être observée avec la nature du sédiment, son infestation bactérienne, le temps d'exondation des cheptels sur les sites et la température (Soletchnik *et al.*, 1999).

En 1998, 4 sites sont étudiés. Ils sont disposés selon une radiale sud-ouest/nord-est sur le banc de Ronce-Perquis. Cette étude a de nouveau mis en évidence les différences de réponse entre les élevages à plat et les élevages en surélevé. Les différences de croissance entre les sites sont confirmées. Cependant, aucune différence de mortalité entre les sites n'est mise en évidence (Fruchard, 1998).

7. Objectifs de l'étude menée en 1999

Le programme mis en place en 1999 a pour objectifs :

- de confirmer ou infirmer les variabilités de réponse (croissance, mortalité) au niveau des 4 sites de l'étude de 1998, ainsi que les différences entre élevage sur table et élevage à plat.
- d'améliorer la stratégie d'échantillonnage et surtout l'estimation de la mortalité au niveau des élevages à plat, en utilisant la même méthodologie que pour les parcs en surélevé (création de petits parcs où la totalité des huîtres est prise en compte, contrairement à la stratégie aléatoire du quadrat utilisée auparavant).
- d'étudier les variations physico-chimiques au sein de la colonne d'eau durant toute la durée de l'expérimentation (acquisition de données environnementales en continu, à l'interface eau-sédiment et à 50 cm du sol).
- d'étudier les performances zootechniques de l'huître *Crassostrea gigas* (en « une à une » ou en poches) et l'influence du sédiment sur ces performances.

II. MATERIEL ET METHODES

I. Sites

Les sites choisis pour l'étude de 1999 sont identiques à ceux retenus pour l'étude de 1998 (Fruchard, 1998). Ces sites sont dénommés a, b, c et d (figure 3). Les sites a et b sont sur le banc de Ronce, tandis que les sites c et d sont sur le banc de Perquis. Ces 4 sites sont situés à des altitudes décroissantes (tableau 1). Ils sont inclus dans des concessions ostréicoles. Ces parcelles ont été prêtées par des ostréiculteurs, dans le cadre du Comité de gestion du banc de Ronce-Perquis.



Figure 3 : Banc ostréicole de Ronce-Perquis (sites ateliers).

Tableau 1 : Altitude en mètres (par rapport au niveau 0 des cartes marines) et pourcentage d'émerision (au niveau du sol) des 4 sites expérimentaux.

Site	a	b	c	d
Altitude (m)	3,4	2,8	2,5	1,8
Emersion (%)	50	38	33	20

2. Matériel biologique

Une population d'huîtres *Crassostrea gigas* a été captée dans l'estuaire de la Seudre et élevée pendant 3 ans sur le banc de Ronce. Le cheptel présente une forte hétérogénéité de taille (suite à un détroquage tardif). Les individus sont triés à la main afin d'obtenir une classe de taille homogène ($29,3 \text{ g} \pm 0,75 \text{ g}$ en poids total individuel, $n = 100$). Cette population d'huîtres calibrées est mise en place le 1^{er} avril, simultanément sur les 4 sites expérimentaux, après un mois de stabulation sur le banc de la Mortane.

3. Infrastructures d'élevage

Chaque site est équipé d'une table ostréicole (25 cm de hauteur). Cinq poches ostréicoles contenant 200 huîtres chacune sont disposées sur les tables. Deux poches sont prévues pour l'échantillonnage, tandis que les trois autres sont destinées au comptage de la mortalité (figure 4 a).

Chaque site a aussi été doté de trois petits parcs d'élevage à plat (1 m x 0,5 m) comportant 200 huîtres et destinés au comptage de la mortalité (figure 4 b). Des parcs de plus grande taille (2,5 m x 0,5 m) sont aussi disposés sur chaque site. Ils contiennent chacun 1 000 huîtres destinées aux échantillonnages de biométrie. Chaque parc à plat est entouré d'un grillage (maille de 1 cm) d'une hauteur de 20 cm. Au site d, les conditions courantologiques ne permettent pas la mise en place d'un grillage. Les parcs à plat sont seulement délimités par des piquets.

Sur les sites b et c, deux types d'infrastructures supplémentaires sont prévus, en vue d'étudier l'influence de la hauteur d'élevage. Le premier type se constitue d'une table ostréicole de 50 cm de hauteur. Le deuxième type est une infrastructure d'élevage à plat « hors sol ». Il se compose d'une petite table ostréicole enfoncée à raz du sédiment. De nouveau, sur chacune de ces deux infrastructures supplémentaires, 5 poches sont mises en place : 2 pour les prélèvements et 3 pour les comptages de mortalité.

Toutes les poches et tous les parcs à plat sont systématiquement numérotés en vue de leur identification, afin d'effectuer un suivi continu de la mortalité.

4. Stratégie d'expérimentation

L'étude des descripteurs biologiques est orientée selon deux axes constituant les deux volets de l'expérience. D'une part, le premier volet ("Radiale est-ouest") prend en compte l'évolution des différents descripteurs (au niveau des élevages à plat et des élevages sur table de 25 cm) sur les 4 sites. D'autre part, le second volet ("Profils verticaux") porte sur 2 sites (b et c). La variabilité des descripteurs est étudiée pour les quatre conditions d'élevage (plat, table de 0 cm, table de 25 cm et table de 50 cm) présentes dans ces deux sites. Les deux volets de l'expérience, ainsi que les infrastructures d'élevage associées, sont résumés dans le tableau 2.



Figure 4 a : Elevages en surélevé à 25 et 50 cm de hauteur.



Figure 4 b : Parcs à plat expérimentaux.

Tableau 2 : Stratégie expérimentale associée aux différents sites et cheptels mis en place (N.B. : les prélèvements et les comptages effectués pour les élevages à plat et sur table 25 cm des sites b et c sont utilisés pour les expériences).

	Type d'élevage	Cheptel (par site)
1.Radiale Est-Ouest Sites a, b, c, d	Plat	3 petits parcs (3x200) 1 grand parc (1000)
	Table 25	5 poches ostréicoles (5x200)
2.Profils verticaux Sites b et c	Plat	3 petits parcs (3x200) 1 grand parc (1000)
	Table 0	5 poches ostréicoles (5x200)
	Table 25	5 poches ostréicoles (5x200)
	Table 50	5 poches ostréicoles (5x200)

5. Travail sur le terrain

Chaque campagne de prélèvement et de comptage de mortalité est effectuée simultanément sur les 4 sites et pour tous les types d'élevage. Ces campagnes se déroulent lors des marées de vives-eaux. En effet, le site d, plus profond, ne découvre que lors des grands coefficients (coefficients de marée de plus de 100). Les dates des campagnes de terrain délimitent quatre périodes d'inter échantillonnage, pour une durée totale de 103 jours (tableau 3).

Tableau 3 : Dates d'échantillonnage et durées des périodes d'inter échantillonnage (les cheptels ont été mis en place le 1^{er} avril).

Période	Echantillonnages	Durée de la période
1	19 avril	19 jours
2	17 mai	28 jours
3	14 juin	28 jours
4	12 juillet	28 jours

Pour les comptages de mortalité, la même procédure est appliquée à chaque campagne. Les poches et les parcs destinés à cet effet sont intégralement vidés de leur contenu dans des mannes ostréicoles. Ces dernières sont agitées énergiquement dans l'eau (soit dans un chenal situé à proximité, soit dans une flaque d'eau agrandie au râteau) afin d'éliminer tout le sédiment. Il est en effet difficile de distinguer certaines huîtres mortes (valves closes et remplies de vase) des huîtres vivantes sans passer par cette étape. Les valves inférieures (valves creuses) des huîtres mortes sont ensuite comptabilisées. Toutes les coquilles sont enlevées et les huîtres vivantes sont ensuite remises dans leurs parcs respectifs. Les résultats sont ensuite transcrits sur des fiches de terrain (annexe 1).

Les mortalités cumulées tiennent compte du nombre d'huîtres mortes comptabilisées à chaque échantillonnage. Cependant, au niveau des élevages à plat du site d, aucune donnée ne

s'est avérée fiable (absence de grillage et "labourage" du site constaté au deuxième échantillonnage). Un taux de mortalité a donc été calculé (nombre d'individus morts/nombre total d'individus -vivants et morts-), converti ensuite en taux de mortalité journalier. Ce descripteur permet de mieux comparer les périodes expérimentales entre elles.

Les échantillonnages pour la biométrie sont effectués dans les deux poches destinées à cet effet. Trente huîtres vivantes sont prélevées dans une des deux poches, avec alternance pour chaque campagne.

6. Analyses biométriques

A l'arrivée des échantillons au laboratoire, les huîtres sont mises en stabulation dans un dégorgeoir, afin de préserver le contenu en eau intervalvaire. Chaque huître est ensuite passée sous un jet d'eau et brossée afin d'éliminer la vase et les organismes épibiontes (balanes, entéromorphes,...).

Les analyses biométriques concernent, pour chaque individu, l'établissement d'un poids total (g), d'un poids frais (g) (poids de chair égouttée) et d'un poids de coquille vide (g), après un passage de 24 heures à l'étuve (60°C). La mesure d'un poids sec (g) est ensuite effectuée après lyophilisation de chaque huître pendant une durée de 48 à 72 heures (selon la taille des huîtres). Le lyophilisateur utilisé est un LYOLAB.B, modèle LSL SECFROID. Les pesées de chair (poids frais et poids sec) et la lyophilisation sont effectuées dans des petites poches en plastique MINIGRIP®.

7. Paramètres hydrologiques

Le site c, situé sur le banc de Perquis, a été équipé de deux sondes océanographiques multiparamètres SOLOMAT, modèle 803 PS. Ces dernières sont disposées respectivement à 0 cm et à 50 cm du sol, afin de suivre les variations au sein de la colonne d'eau (figure 4 c).

Les sondes SOLOMAT permettent de mesurer en continu la température, l'oxygène dissous, le pH, la conductivité, l'ammonium, l'ammoniaque libre, la turbidité et la profondeur de l'eau. Pour cette étude, seuls la température, l'oxygène dissous, le pH, la conductivité et la turbidité (exprimée en NTU ou unités de turbidité néphélométrique) sont mesurés. Etant donné le dysfonctionnement des électrodes à pH et l'impossibilité d'être fourni par le concessionnaire français, les données de pH ne sont pas prises en compte.

Les sondes sont alimentées par une batterie possédant une autonomie de plusieurs mois et raccordée à un boîtier d'acquisition. Ce dernier comprend un convertisseur analogique/digital (type RS 232). La batterie et le boîtier d'acquisition de chaque sonde sont intégrés dans un caisson cylindrique étanche en PVC (Razet Corp., Etaules). Les caissons sont fixés sur des dalles en béton.

Les mesures des différents paramètres sont enregistrées en continu, avec un pas de temps de 10 mn. Pour assurer une bonne qualité des mesures, les sondes sont ramenées au laboratoire toutes les deux ou trois semaines (figure 4 d), afin de les réétalonner et de récupérer les données. Pour prévenir la détérioration du matériel de mesures par la faune et la flore marine (« biofouling »), un nettoyage est effectué *in situ* toutes les semaines.



Figure 4 c : Sondes hydrologiques placées à l'interface eau-sédiment et à 50 cm du sol ; caissons en PVC contenant le boîtier d'acquisition et la batterie d'alimentation.



Figure 4 d : Transport d'une sonde sur l'estran.

Les informations recueillies (sous forme de fichiers "prn") sont stockées dans un tableur (EXCEL). Les données de conductivité sont automatiquement converties par le boîtier d'acquisition en données de salinité (calcul en fonction de la température). Le signal est ensuite nettoyé (extraction des signaux acquis en période d'immersion).

8 . Descripteurs de l'étude

Les descripteurs biologiques et environnementaux retenus dans cette étude sont résumés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Synthèse des descripteurs analysés.

Descripteurs biologiques		Unité
Mortalité	Mortalité cumulée	%
	Taux de mortalité journalier	%
Biométrie	Poids sec	g
	Poids de coquille	g
	Gain de poids sec journalier	10 ⁻² g
Descripteurs environnementaux		Unité
Température	Température moyenne à l'étales de haute mer	°C
Salinité	Salinité moyenne à l'étales de haute mer	sans unité
Concentration en oxygène dissous	Concentration en oxygène moyenne à l'étales de haute mer	mg/l
	Variation intra tidale de la concentration en oxygène	mg/l
Turbidité	Turbidité moyenne à l'étales de haute mer	NTU
	Turbidité au flot et au jusant	NTU

Les mortalités cumulées, pour chaque date d'échantillonnage, prennent en compte les mortalités des échantillonnages antérieurs. Les taux de mortalité journaliers sont calculés pour chaque période d'inter échantillonnage. Il en est de même des gains de poids sec journaliers.

Concernant les descripteurs environnementaux, outre l'analyse des séries complètes de données (sous forme de graphe), la moyenne de chaque paramètre a été calculée sur un intervalle de quatre heures autour de l'étales de haute mer, pour chaque marée. Les amplitudes des variations intra tidales de la concentration en oxygène, et les turbidités mesurées au flot et au jusant (lors de la remise en suspension des particules) sont également utilisées comme descripteurs secondaires.

9. Traitements statistiques

L'ensemble des traitements statistiques est effectué à l'aide du logiciel STATGRAPHICS PLUS (Version 3.1).

Une première étape consiste à étudier les distributions des différents descripteurs. L'ajustement ou non des variables à la Loi Normale est ainsi vérifié par l'intermédiaire des descripteurs de Skewness et Kurtosis qui permettent de mesurer respectivement le degré d'asymétrie et d'aplatissement de la distribution (Scherrer, 1984).

Des analyses de variance sont réalisées sur les descripteurs qui suivent la loi Normale. Dans l'ensemble des tableaux d'analyse de variance, les différents seuils de significativité ont été codés de la manière suivante : N.S. = non significatif, * = significatif au seuil de 5 %, ** = significatif au seuil de 1 %, *** = significatif au seuil de 1 %.

La distribution des descripteurs de mortalité ne suit pas l'étalement de la loi Normale. Le test de rang de Kruskal-Wallis est utilisé pour étudier la variabilité de ces descripteurs. Des diagrammes en "boîte à moustaches" sont utilisés pour visualiser les quartiles d'une distribution donnée (Tukey, 1977). Les premier et troisième quartiles sont indiqués par les barres horizontales externes de la boîte. La médiane est indiquée par la barre interne à la boîte. La barre verticale ("moustaches") représente les valeurs minimale et maximale de la distribution (étendue de la distribution).

III. RESULTATS

I. DESCRIPTION DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES

Les paramètres environnementaux sont enregistrés du 6 avril jusqu'au 17 juin 1999, trois jours après la date du dernier échantillonnage initialement prévu. Les paramètres hydrologiques pris en compte ici ont été enregistrés par la sonde Solomat située à 50 cm du sol sur le site c (figure 4 c). Les plages de données manquantes correspondent aux périodes où les sondes sont transférées au laboratoire (cf. Matériel et méthodes).

1.1 Température de l'eau et de l'air

Les températures moyennes dans l'air (mesurées à la Rochelle, sous abri) varient de 8 à 23°C en fin d'expérimentation (figure 5). Cependant, selon Météo France (comm. pers.), les températures moyennes du mois d'avril et du mois de mai sont respectivement supérieures de 1,2°C et de 2,1°C par rapport à la normale.

Les températures mesurées dans l'eau suivent l'évolution des températures aériennes, avec des écarts moindres.

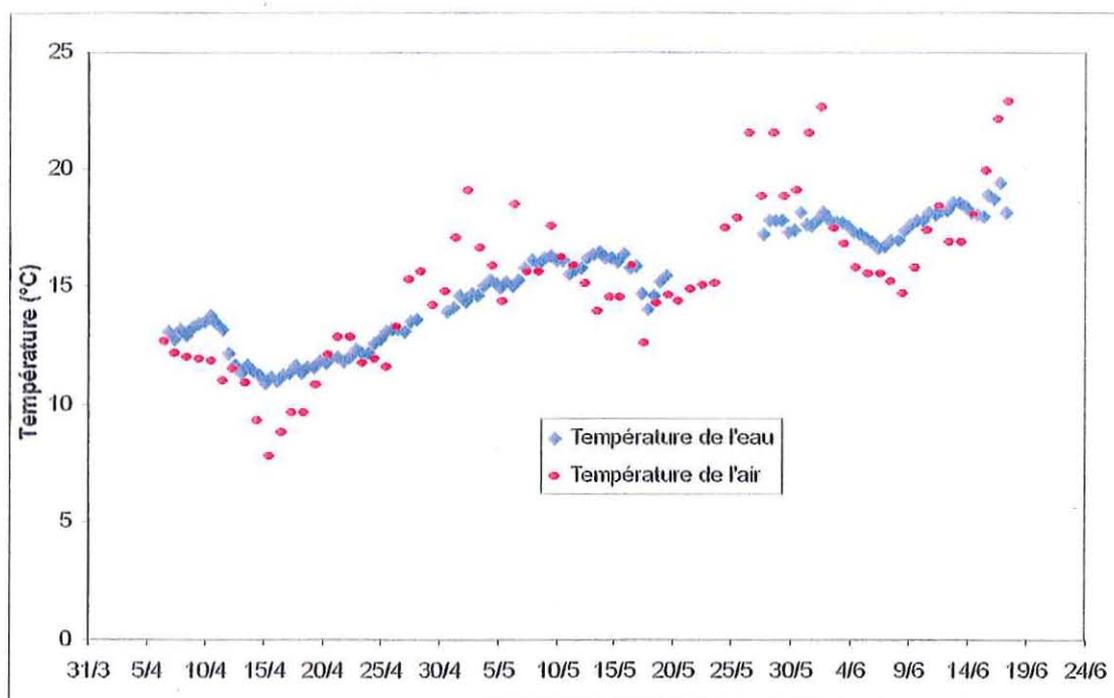


Figure 5 : Evolution des températures mesurées dans l'air (moyenne quotidienne) et dans l'eau (moyenne sur 4 heures autour de l'étale de haute mer) du 6 avril au 17 juin.

1.2 Salinité

Les salinités sont comprises entre 29 et 34 (figure 6). Les variations de salinité semblent liées au coefficient de marée.

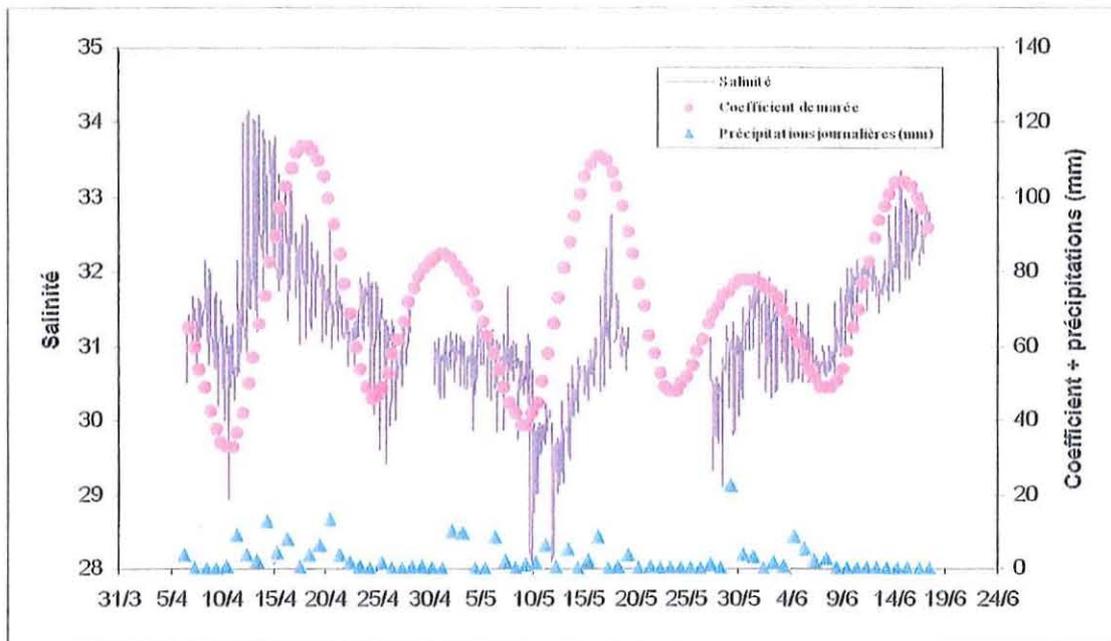


Figure 6 : Evolution de la salinité, du coefficient de marée et des précipitations journalières, du 6 avril au 17 juin.

On observe une forte augmentation de la salinité à partir du 12 avril, atteignant des valeurs de 34. La salinité diminue ensuite progressivement jusqu'à 31. Parallèlement à cette diminution de la salinité, on assiste à une augmentation des précipitations.

La salinité se maintient aux environs de 31 pour descendre à 29 le 12 mai. Ce phénomène est à mettre en relation avec une reprise des précipitations quelques jours auparavant. Après cet épisode, les variations de salinité suivent les variations du coefficient de marée et ne sont plus sous l'influence des précipitations.

1.3 Turbidité

La turbidité moyenne varie entre 10 et 59 NTU entre le 6 et le 25 avril (figure 7). Les variations sont ensuite cantonnées entre 10 et 35 NTU. Ces données ont été lissées sur une période de 24 heures (moyenne mobile).

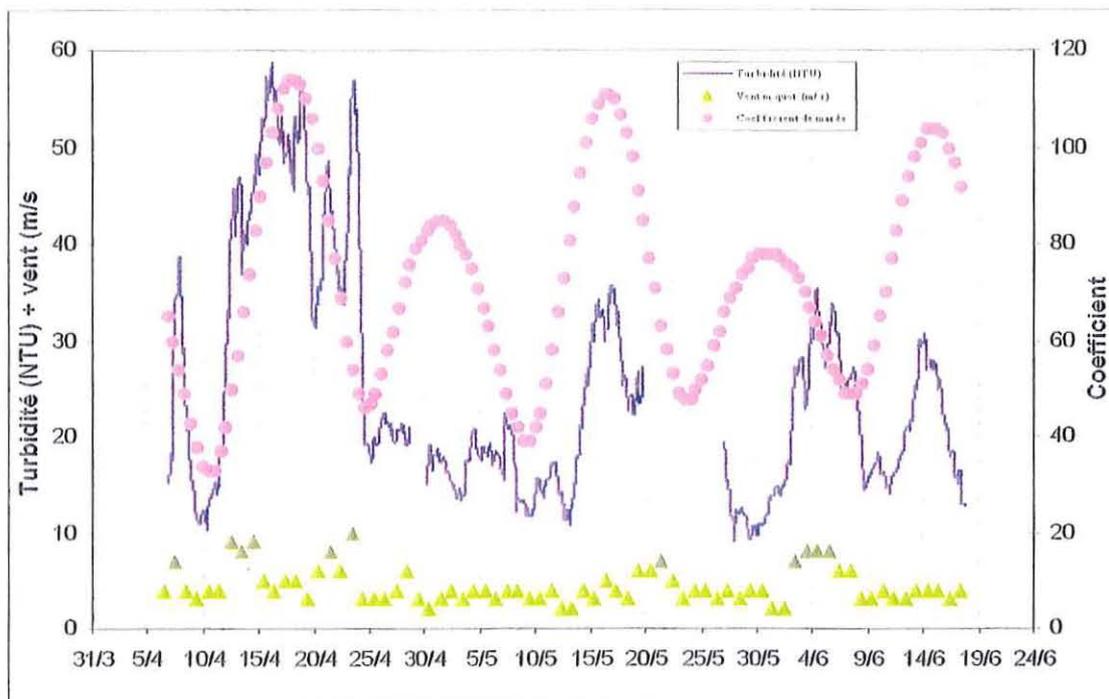


Figure 7 : Evolution de la turbidité (lissage sur 24 heures), du coefficient de marée et des vents quotidiens moyens, du 6 avril au 17 juin.

La turbidité évolue avec les coefficients de marée. Les variations observées sur une échelle temporelle de l'ordre de la semaine semblent liées au vent. En effet, on observe des pics de turbidité lorsque les vents quotidiens moyens sont supérieurs à 6 ms^{-1} . Ce phénomène s'observe surtout du 6 au 25 avril.

1.4 Facteurs biologiques

Les données de la figure 8 proviennent du réseau hydrologique RAZLEC. Les prélèvements ont été effectués dans le puits de Maumusson (entrée sud du bassin), à 50 cm de profondeur.

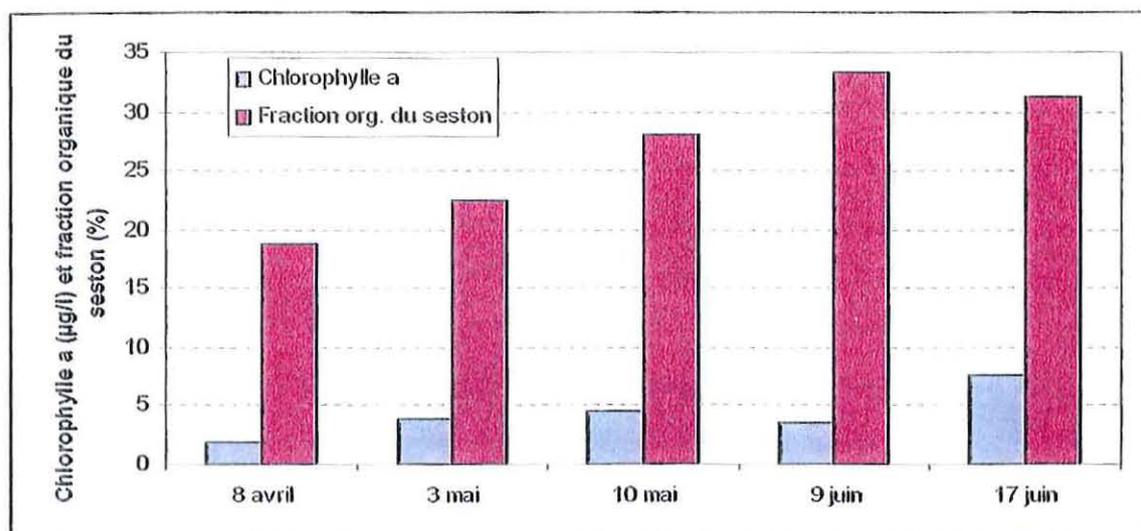


Figure 8 : Evolution de la concentration en chlorophylle a ($\mu\text{g/l}$) et de la fraction organique du seston (%), du 8 avril au 17 juin 1999 (bouée d'Auger, réseau hydrologique RAZLEC)

La concentration en chlorophylle a augmente de $1,9 \mu\text{g/l}$ le 8 avril à $7,7 \mu\text{g/l}$ le 17 juin. La proportion de matières organiques dans le seston suit une évolution parallèle, augmentant sur la période de 19 à 31 %. Le 9 juin, cependant, lorsque la fraction de matière organique est la plus importante (33 %), la concentration de chlorophylle a est relativement faible.

2. MORTALITE

2.1. Radiale Est-Ouest

2.1.1 Mortalités cumulées

Dès le 19 avril, les mortalités cumulées moyennes atteignent des valeurs de 15 à 20 % sur les élevages à plat (figure 9). En fin d'expérimentation, les mortalités sont comprises entre 29 % et 37 %.

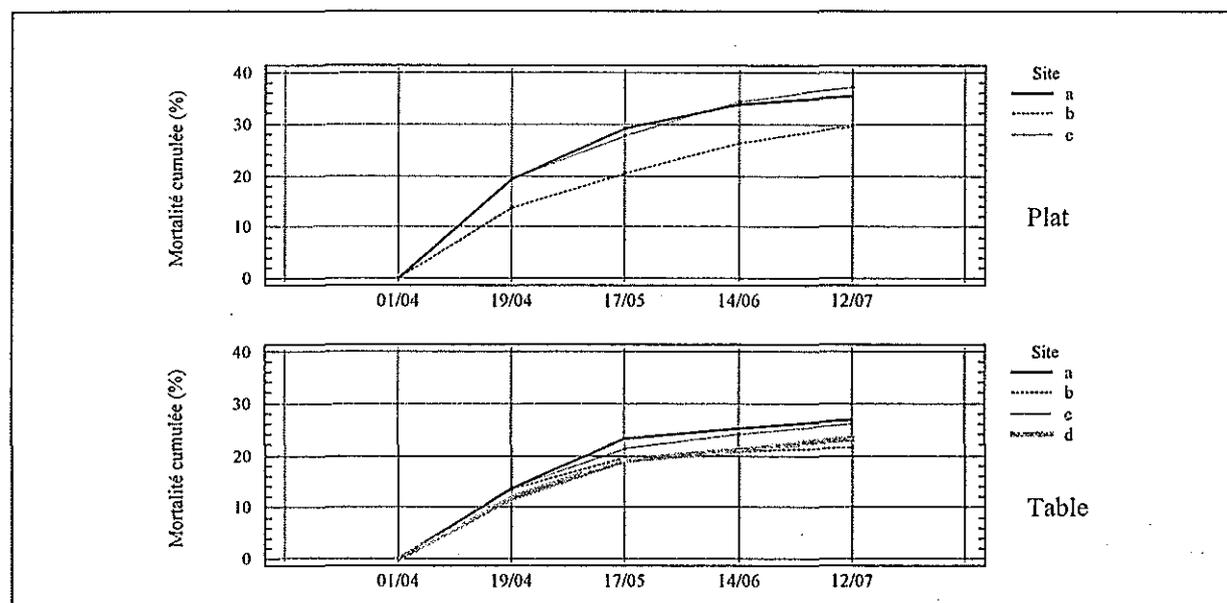


Figure 9 : Evolution des mortalités cumulées pour les élevages à plat et sur table.

Le 19 avril, les mortalités cumulées des élevages sur table se situent entre 12 et 14 %. Elles plafonnent ensuite entre 21 % (site b) et 27 % (site a) le 12 juillet.

Sur les sites a et c, le test de Kruskal-Wallis met en évidence des différences significatives entre les deux types d'élevage, pour chaque date d'échantillonnage (annexe 2 a). Sur le site b, la différence est significative seulement pour le 12 juillet.

On n'observe pas de différence entre les sites pour les élevages sur table ($p = 0,259$). Par contre, pour les élevages à plat, les mortalités mesurées au site b sont significativement inférieures aux sites a et c ($p = 0,039$).

Le détail des mortalités cumulées pour chaque lot (parc ou poche) permet de constater une bonne homogénéité de réponse pour chaque condition (figure 10).

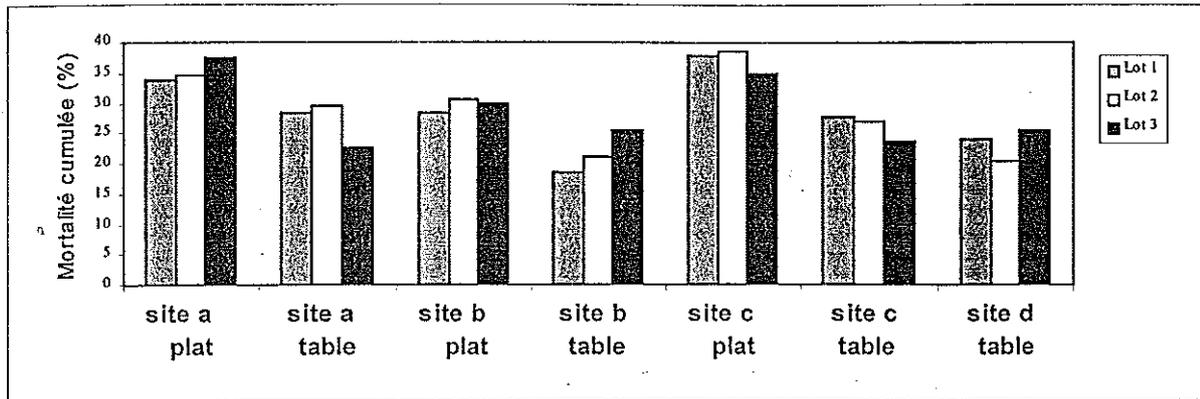


Figure 10 : Mortalités cumulées mesurées le 12 juillet sur les différents réplicats des élevages à plat et en surélevé des quatre sites.

2.1.2 Taux de mortalités journaliers

(N.B. : le détail des "diagrammes en boîte" est donné en annexe 3)

Comparaison entre types d'élevage (plat et table 25 cm)

Une différence significative ($p = 0,007$) des taux de mortalités journaliers en fonction du type d'élevage (toutes périodes confondues) est mise en évidence par le test de Kruskal-Wallis (figure 11).

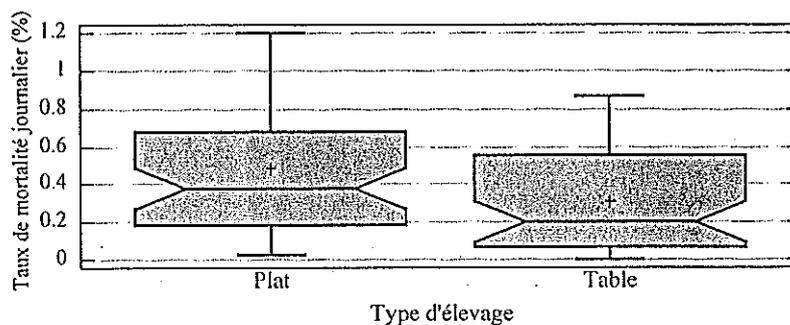


Figure 11 : Médianes, quartiles et intervalles de distribution des taux de mortalités journaliers en fonction du type d'élevage.

Le même test appliqué pour chaque période confirme ce résultat. Les différences sont significatives ($p \leq 0,050$) pour les trois premières périodes d'inter échantillonnage (annexe 2 b).

Comparaison en fonction de la période

+ Elevages à plat

Les taux de mortalités journaliers atteignent 1 % pour la première période, et diminuent jusqu'à 0,12 % pour la dernière période (figure 12).

Le test de Kruskal-Wallis met en évidence une différence hautement significative ($p = 0,000$) des taux de mortalités, en fonction de la période. Chaque période présente un taux de mortalité significativement différent ($p \leq 0,050$) des autres périodes (tests 2 à 2).

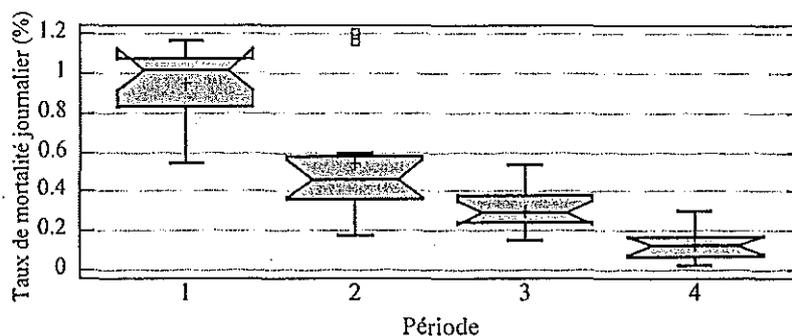


Figure 12 : Médianes, quartiles et intervalles de distribution des taux de mortalité journaliers mesurés sur les élevages à plat en fonction des différentes périodes.

+ Elevages sur table

Les taux de mortalités diminuent dans le temps, depuis des valeurs de 0,75 % jusqu'à 0,06 % (figure 13).

Comme dans le cas des élevages à plat, les taux de mortalité présentent des différences significatives ($p = 0,000$) en fonction de la période. Cependant, les taux de mortalité journaliers des troisième et quatrième périodes ne présentent pas de différence (tests deux à deux).

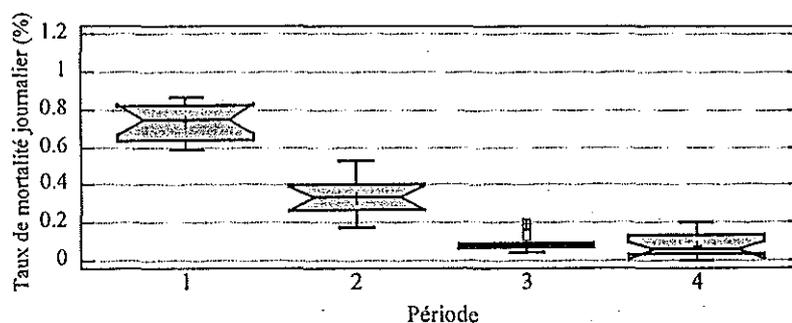


Figure 13 : Médianes, quartiles et intervalles de distribution des taux de mortalité journaliers mesurés sur les élevages sur table en fonction de la période.

Comparaison entre sites

Aucune différence n'a été décelée entre les sites, chaque période et chaque type d'élevage étant analysés séparément ($p > 0,050$) (annexe 2 c). Seule la deuxième période, pour les élevages à plat, fait exception. Le site d s'y distingue par des taux de mortalités supérieurs aux autres sites. Etant donné les difficultés de comptage sur le site d à cette période précise, les données sont probablement biaisées.

2.2 Profils verticaux

2.2.1 Mortalités cumulées

Au 12 juillet, les mortalités cumulées moyennes sont comprises entre 22 et 30 % pour le site b. Elles s'étalent de 24 à 37 % sur le site c (figure 14).

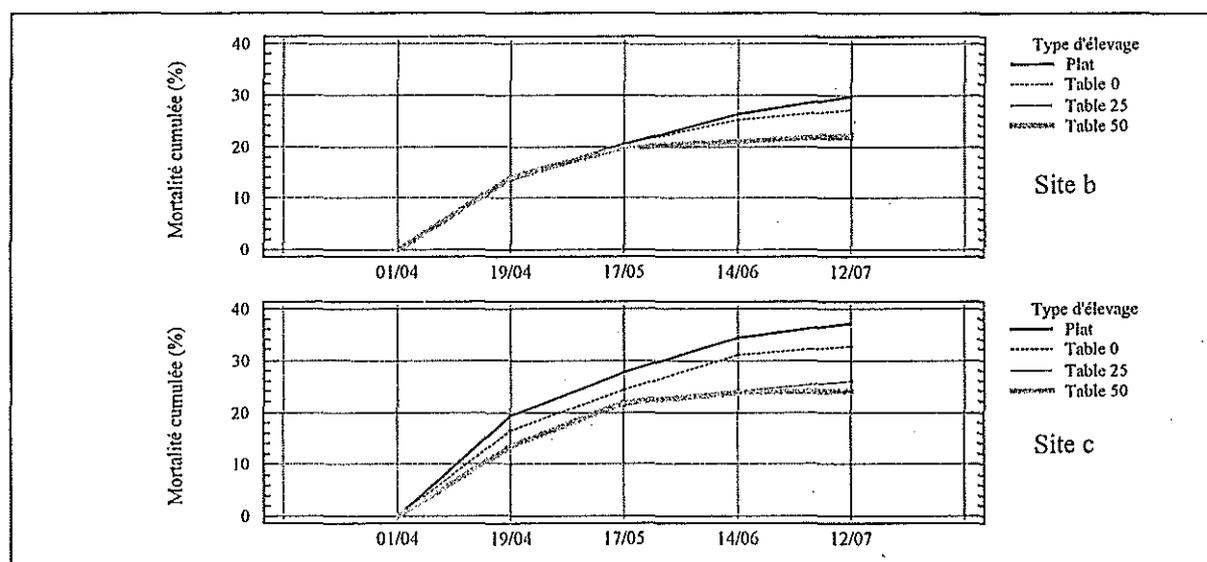


Figure 14 : Evolution des mortalités cumulées sur les sites b et c, pour chaque type d'élevage.

L'évolution des mortalités cumulées moyennes pour chaque type d'élevage souligne la "dichotomie" qui existe entre d'une part les élevages réalisés au niveau du sol (plat et table 0 cm) et d'autre part les élevages en surélévation (tables 25 et 50 cm, dont les mortalités cumulées se superposent parfaitement sur le site b). Ce phénomène s'observe statistiquement ($p \leq 0,050$ entre les différents élevages) dès le 17 mai pour le site c et à partir du 14 juin pour le site b (annexe 2 d).

Comme dans le cas précédent, aucun lot ne s'est comporté de manière anormale. Les différences entre les réplicats (d'une même condition) n'excèdent pas 10 % en fin d'expérience (figure 15).

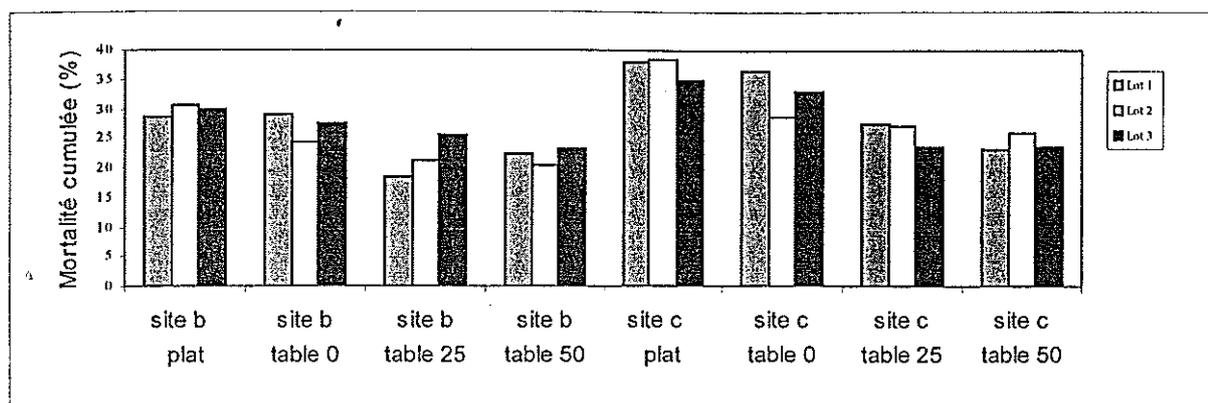


Figure 15 : Mortalités cumulées mesurées le 12 juillet sur les différents réplicats de chaque condition d'élevage des sites b et c.

2.2.2 Taux de mortalité journaliers

(N.B. : le détail des "diagrammes en boîte" est donné en annexe 3)

Comparaison des quatre type d'élevage

Les tests de rang de Kruskal-Wallis ne mettent en évidence aucune différence significative ($p > 0,050$) entre les différents types d'élevage si l'on prend en compte toutes les périodes. Par contre, si l'on analyse chaque période séparément (annexe 2 e), on obtient des différences significatives seulement pour la troisième ($p = 0,001$) et la quatrième période ($p = 0,016$) (figure 16).

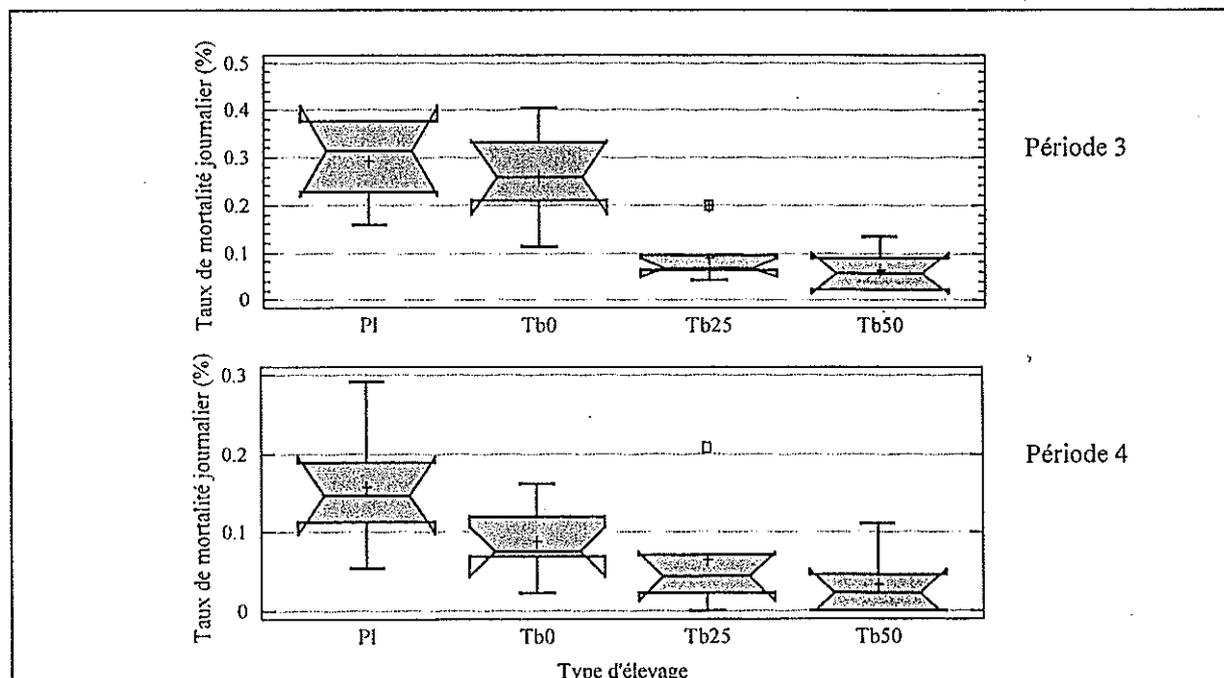


Figure 16 : Médianes, quartiles et intervalles de distribution des taux de mortalité journaliers mesurés pour la troisième et la quatrième période d'inter échantillonnage, en fonction du type d'élevage (sur les sites b et c).

Au cours de la troisième période, on peut distinguer deux groupes distincts : d'une part les deux conditions d'élevage au niveau du sol et d'autre part les élevages en surélevé. Pour la quatrième période, seul l'élevage à plat présente une différence significative par rapport aux deux types d'élevage en surélevé.

Comparaison en fonction de la période

Chaque type d'élevage est comparé en fonction de la période d'inter échantillonnage (figures 17 et 18). Les taux de mortalités diffèrent significativement, pour chaque type d'élevage, en fonction de la période (annexe 2 f).

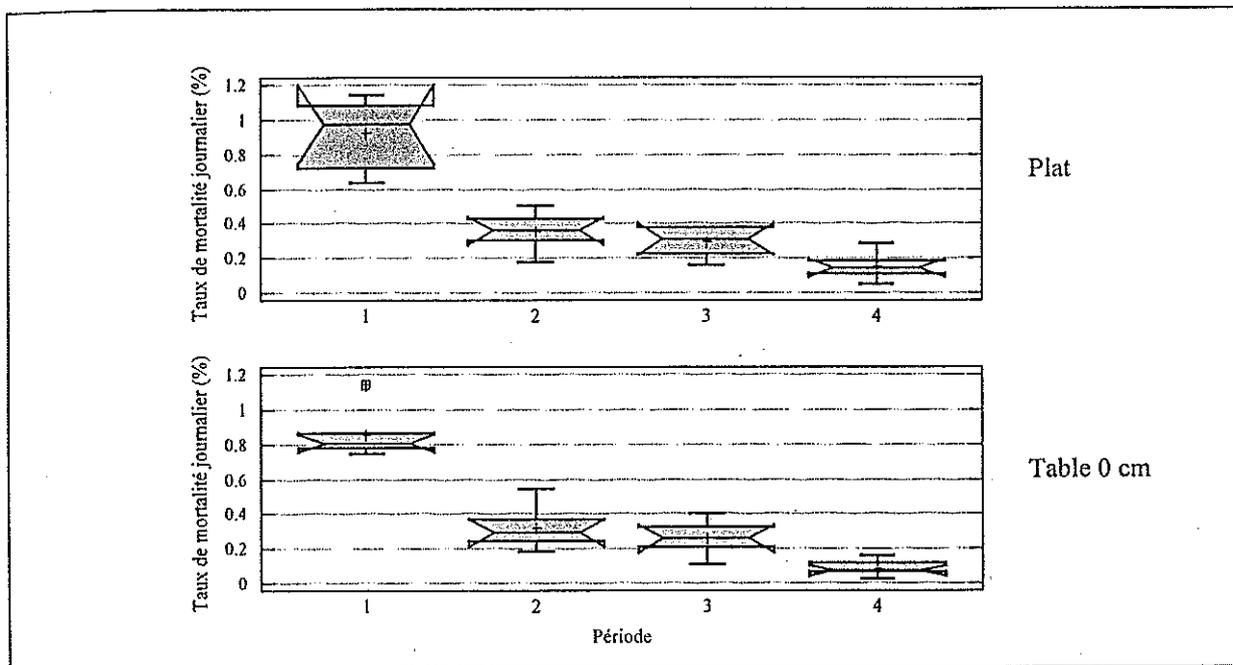


Figure 17 : Médianes, quartiles et intervalles de distribution des taux de mortalité mesurés pour les élevages réalisés au niveau du sol (plat et table 0 cm), en fonction de la période.

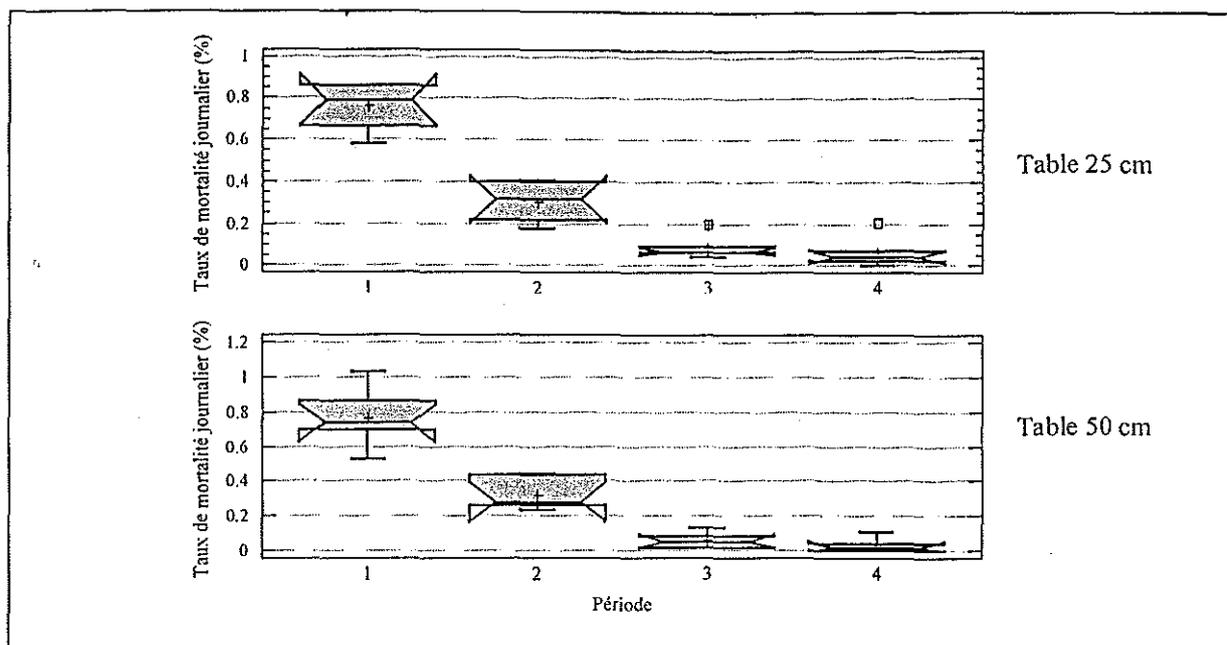


Figure 18 : Médianes, quartiles et intervalles de distribution des taux de mortalité mesurés pour les élevages réalisés en surélevé (tables 25 et 50 cm), en fonction de la période.

Les taux de mortalités journaliers sont compris entre 0,7 % (élevages sur table 50 cm) et 1 % (élevages à plat) pour la première période. Il diminuent ensuite pour se stabiliser, pendant la quatrième période, à des valeurs comprises entre 0,02 % (table 50 cm) et 0,15 % (plat) (figure 16).

On observe, comme dans le cas des mortalités cumulées, deux types d'évolution bien distincts. D'une part, les taux de mortalités journaliers des élevages au sol (plat ou table 0 cm) présentent une diminution significative au cours du temps, mais "stagnent" durant la deuxième et la troisième période (figure 9). D'autre part, dans le cas des élevages en surélevé (tables 25 et 50 cm), la diminution est nette durant les périodes 2 et 3, tandis qu'il y a stabilisation de la mortalité durant la troisième et la quatrième période (figure 18). Les mortalités diminuent donc plus tôt sur ces deux derniers types d'élevage.

Comparaison entre sites

Les tests de rang de Kruskal-Wallis ne permettent pas de déceler de différence significative des taux de mortalités journaliers entre les deux sites étudiés pour les quatre types d'élevage, pour chaque période (annexe 2 g). La seule différence se situe lors de la première période, pour les élevages à plat, où le taux de mortalité journalier sur le site c est supérieur (le même test appliqué sur les élevages à plat de la radiale Est-Ouest, comprenant entre autres les sites b et c, ne permettait pas de déceler cette différence).

3. BIOMETRIE

(N.B. : les moyennes et intervalles de confiance des poids secs et des poids de coquille sont donnés en annexes 4 et 5).

3.1 Radiale Est-Ouest

3.1.1 Poids secs

Au début de la phase d'expérimentation, les poids secs ont des valeurs situées aux alentours de 0,3 g. En fin d'élevage, les poids secs moyens sont compris entre 0,83 g et 1,73 g (figure 19).

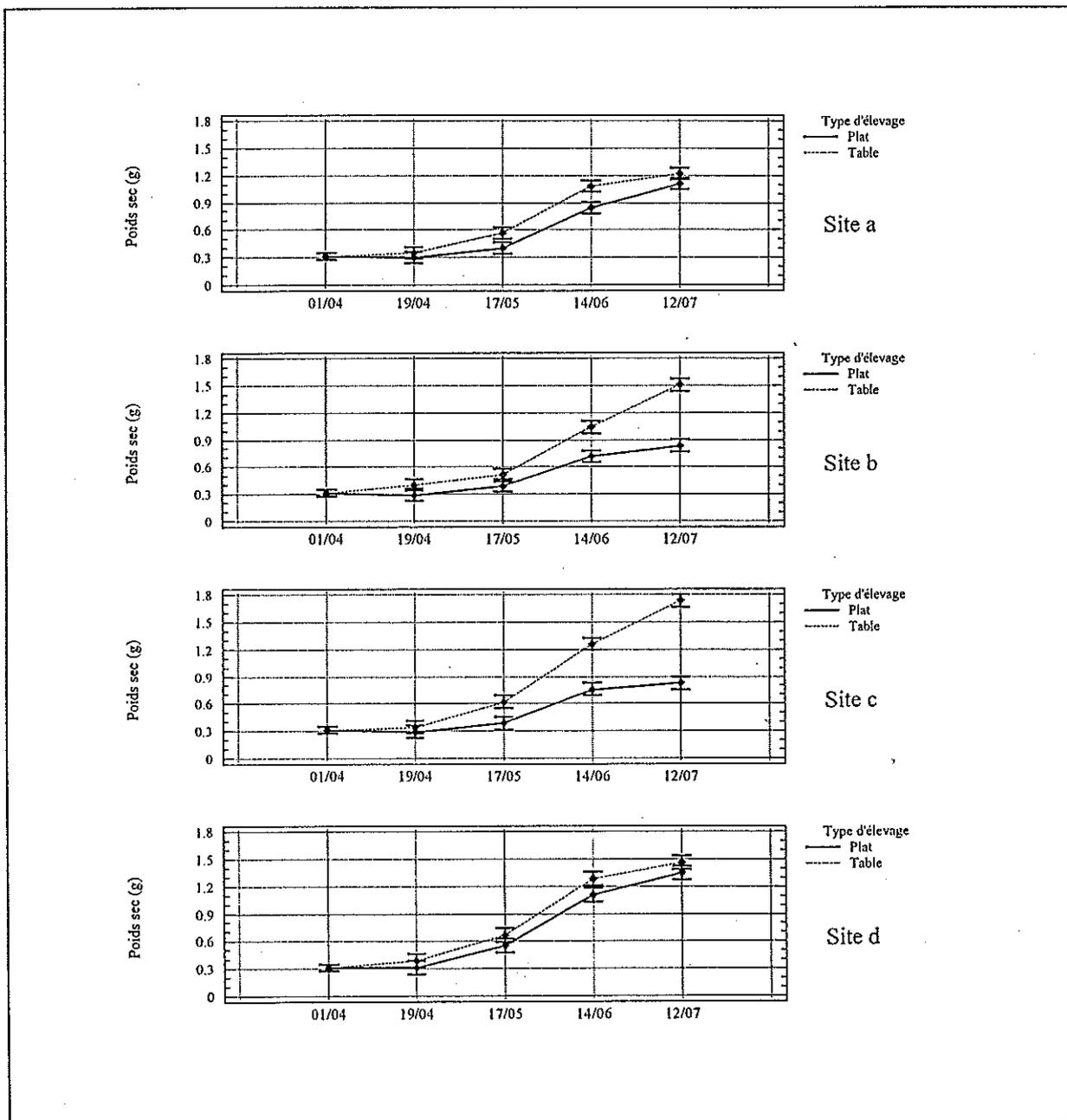


Figure 19 : Croissance de *Crassostrea gigas* en poids sec (moyennes et intervalles de confiance) pour les deux types d'élevage (plat et table 25), sur les sites a, b, c et d.

Comparaison entre types d'élevage

On constate que les poids secs sont presque toujours significativement supérieurs au niveau des élevages sur table, par rapport aux élevages à plat, et ce pour chaque site et chaque date d'échantillonnage (tableau 5).

Tableau 5 : Analyse de variance du poids sec en fonction du type d'élevage, pour chaque site et chaque date d'échantillonnage.

Site	Date	Probabilité	Significativité	Effectif de l'analyse	
				Plat	Table
a	19/04	0,215	N.S.	30	30
	17/05	0,000	***	30	30
	14/06	0,000	***	30	29
	12/07	0,120	N.S.	30	30
b	19/04	0,001	***	30	30
	17/05	0,001	***	30	30
	14/06	0,000	***	30	30
	12/07	0,000	***	30	30
c	19/04	0,026	*	27	30
	17/05	0,000	***	30	30
	14/06	0,000	***	30	30
	12/07	0,000	***	30	30
d	19/04	0,020	*	30	30
	17/05	0,028	*	30	30
	14/06	0,033	*	30	30
	12/07	0,243	N.S.	30	30

Suivant les sites, on observe deux types de réponse. D'une part, sur les sites b et c, la différence entre les deux types d'élevage s'accroît au cours du temps. D'autre part, sur les sites a et d, cette différence reste stable jusqu'à l'échantillonnage du 14 juin, pour ne plus être significative le 12 juillet.

Comparaison entre sites

Les différences entre les sites pour chaque type d'élevage se font ressentir à partir du 14 juin et sont nettement marquées à l'échantillonnage du 12 juillet (figure 20).

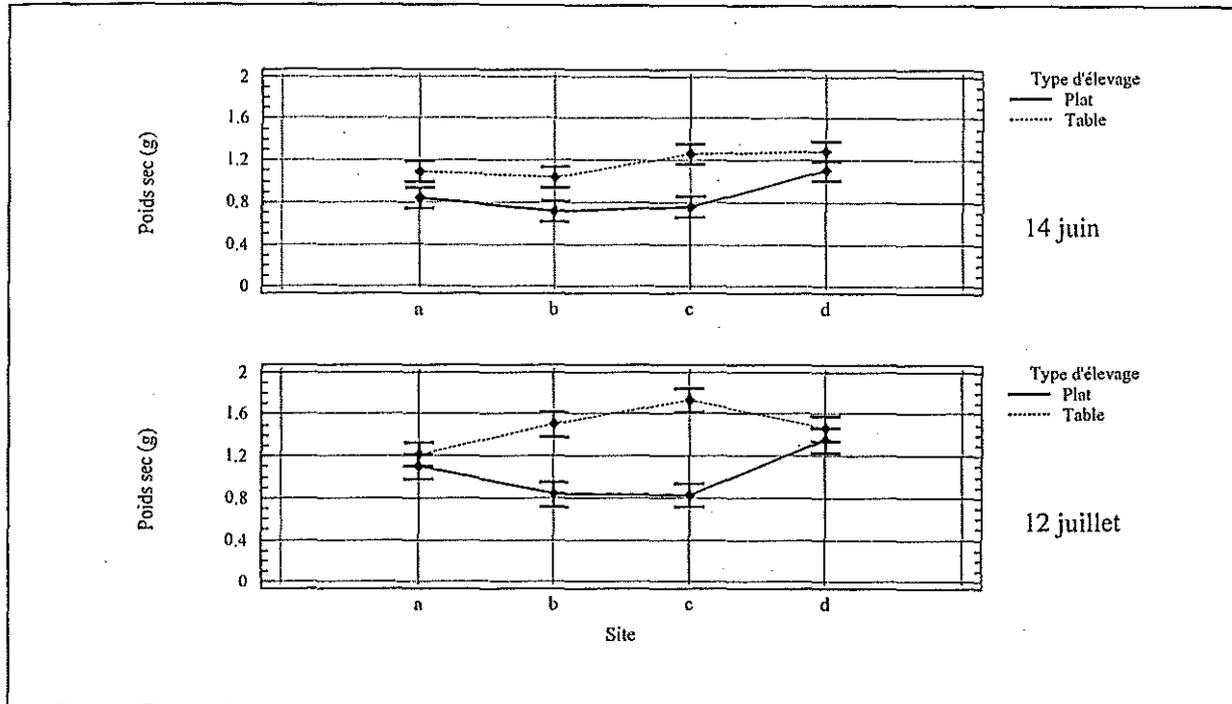


Figure 20 : Comparaison des poids secs (moyennes et intervalles de confiance) entre les sites, pour chaque type d'élevage, le 14 juin et le 12 juillet.

Le 14 juin, les sites c et d se distinguent des sites a et b pour les élevages sur table avec des poids secs aux alentours de 1,25 g (test de rang multiple, tableau 6). Seules les huîtres du site d présentent des poids sec (1,11 g) significativement supérieurs à celles des autres sites.

Tableau 6 : Test de rang multiple (LSD) des poids secs en fonction du site, pour les élevages à plat et les élevages sur table, le 14 juin.

Type d'élevage	Site	Effectif	Moyenne (g)	Groupes homogènes
Plat	b	30	0,72	X
	c	30	0,76	X
	a	30	0,84	X
	d	30	1,11	X
Table	b	30	1,04	X
	a	29	1,09	X
	c	30	1,25	X
	d	30	1,28	X

Le 12 juillet, le test de rang multiple met en évidence trois catégories de poids secs pour les élevages à plat, avec les poids secs les plus élevés sur le site d. Pour les élevages sur table, le site c est le plus performant (tableau 7).

Tableau 7 : Test de rang multiple (LSD) des poids secs en fonction du site, pour les élevages à plat et les élevages sur table, le 12 juillet.

Type d'élevage	Site	Effectif	Moyenne (g)	Groupes homogènes
Plat	c	30	0,83	X
	b	30	0,84	X
	a	30	1,10	X
	d	30	1,35	X
Table	a	30	1,22	X
	d	30	1,46	X
	b	30	1,50	X
	c	30	1,73	X

Des analyses de variance du poids sec en fonction du type d'élevage et du site montrent les contributions respectives de ces deux facteurs et de leur interaction à l'explication de la variance, pour les deux dernières dates d'échantillonnage (tableaux 8 et 9).

Tableau 8 : Analyse de variance des poids secs en fonction du site et du type d'élevage, le 14 juin.

Effectif	Facteur	Probabilité	Contribution (%)
239	Site	0,000	11,9
	Type d'élevage	0,000	21,3
	Interaction	0,010	3,2
	Résidu		63,6

Tableau 9 : Analyse de variance des poids secs en fonction du site et du type d'élevage, le 12 juillet.

Effectif	Facteur	Probabilité	Contribution (%)
240	Site	0,000	5,2
	Type d'élevage	0,000	26,6
	Interaction	0,000	15,6
	Résidu		52,6

Entre le 14 juin et le 12 juillet, on constate d'une part la diminution de la contribution du facteur site à l'explication de la variance et d'autre part l'augmentation des contributions du type d'élevage et de l'interaction des deux facteurs entre les deux échantillonnages.

Gains de poids sec journaliers

Le détail des gains de poids secs durant les périodes 3 et 4, où l'on observe les meilleures performances, permet d'appréhender sous un autre angle les différences qui existent entre chaque condition d'élevage (site et type d'élevage).

Les différences entre les deux types d'élevage (plat ou table 25 cm) sont confirmées durant la troisième période avec des gains de poids secs toujours supérieurs au niveau des élevages sur table. Les différences entre type d'élevage sont plus marquées au niveau des sites b et c (tableau 10).

Tableau 10 : Gains de poids secs mesurés durant la troisième période, pour chaque condition d'élevage, et probabilités associées (analyse de variance en fonction de la date d'échantillonnage).

Site	Type d'élevage	Gain de poids sec journ. (10^{-2} g) (diff. des moy./nbre de jours)	Probabilité	Significativité	Effectif de l'analyse	
					17/05	14/06
a	Plat	1,52	0,000	***	30	30
	Table	1,87	0,000	***	30	29
b	Plat	1,14	0,000	***	30	30
	Table	1,88	0,000	***	30	30
c	Plat	1,32	0,000	***	30	30
	Table	2,25	0,000	***	30	30
d	Plat	1,95	0,000	***	30	30
	Table	2,19	0,000	***	30	30

Durant la quatrième période, les gains de poids secs mesurés sont moins importants, et ce pour toutes les conditions d'élevage. La différence entre les deux types d'élevage est accrue sur les sites b et c. Par contre, au niveau des sites a et d, la tendance s'inverse et les élevages à plat sont plus performants que les élevages sur table (tableau 11).

Tableau 11 : Gains de poids secs mesurés durant la quatrième période, pour chaque condition d'élevage, et probabilités associées (analyse de variance en fonction de la date d'échantillonnage).

Site	Type d'élevage	Gain de poids sec journ. (10^{-2} g) (diff. des moy./nbre de jours)	Probabilité	Significativité	Effectif de l'analyse	
					14/06	12/07
a	Plat	0,94	0,000	***	30	30
	Table	0,47	0,086	NS	29	30
b	Plat	0,43	0,068	NS	30	30
	Table	1,65	0,000	***	30	30
c	Plat	0,24	0,326	NS	30	30
	Table	1,69	0,000	***	30	30
d	Plat	0,86	0,009	**	30	30
	Table	0,65	0,043	*	30	30

3.1.2 Poids de coquille

Les poids de coquille moyens des huîtres augmentent durant la phase expérimentale depuis une valeur initiale de 16,3 g jusqu'à des valeurs comprises entre 17,7 g et 23,1 g selon les conditions d'élevage, le 12 juillet (figure 21).

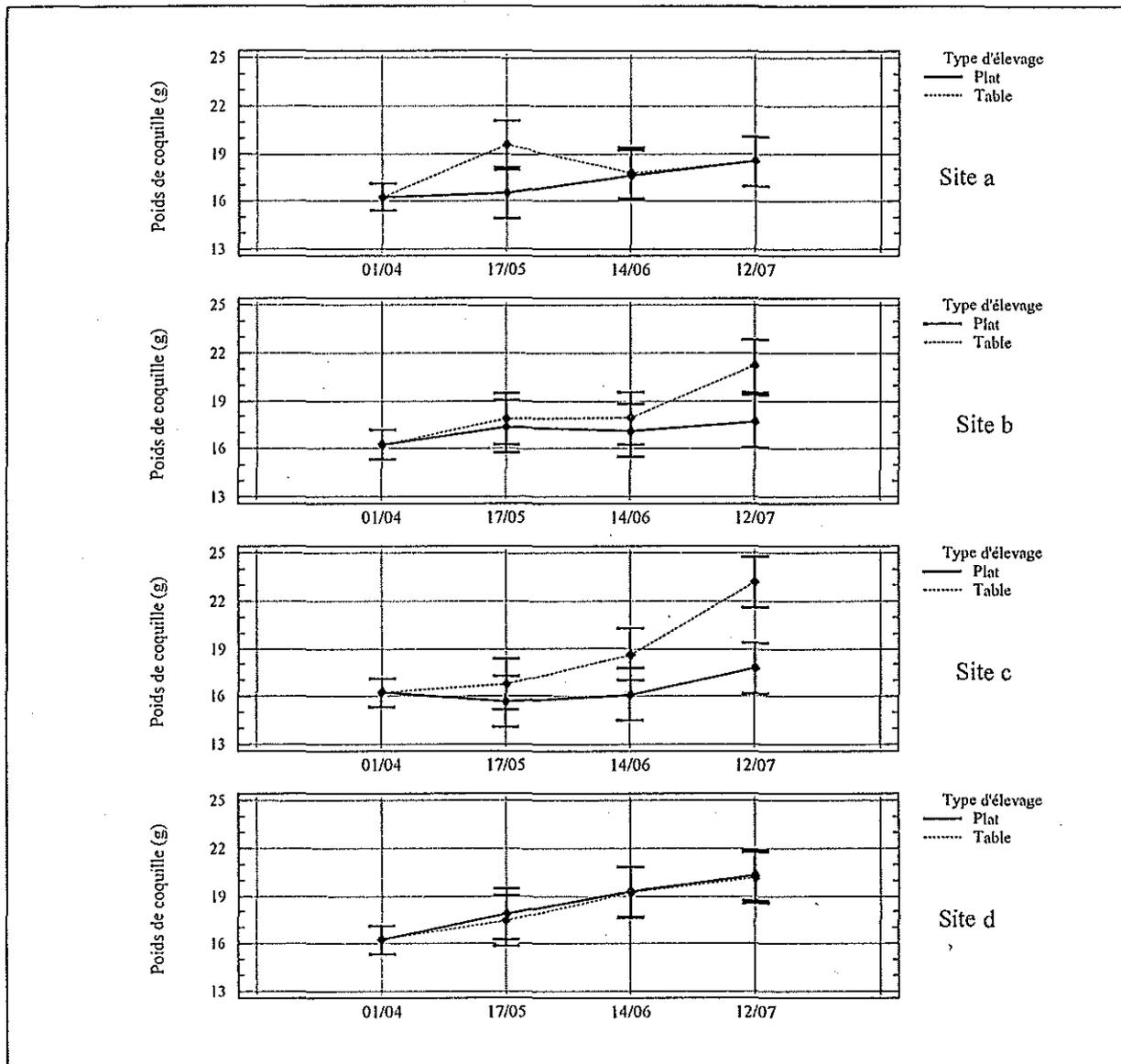


Figure 21 : Croissance de *Crassostrea gigas* en poids de coquille (moyennes et intervalles de confiance) pour les deux types d'élevage (plat et table 25), sur les sites a, b, c et d.

Comparaison entre types d'élevage

Les poids de coquille sont significativement supérieurs ($p = 0,001$) pour les élevages en surélevé si l'on considère tous les échantillonnages (hormis celui du 19 avril pour lequel des données sont manquantes) et toutes les conditions d'élevage.

Si l'on effectue la même analyse de variance, pour chaque site et pour chaque échantillonnage, on constate des différences significatives entre types d'élevage seulement dans quatre cas (tableau 12).

Tableau 12 : Analyse de variance du poids de coquille en fonction du type d'élevage, pour chaque site et chaque date d'échantillonnage.

Site	Date	Probabilité	Significativité	Effectif de l'analyse	
				Plat	Table
a	17/05	0,008	**	30	30
	14/06	0,906	N.S.	30	29
	12/07	0,986	N.S.	30	30
b	17/05	0,707	N.S.	30	30
	14/06	0,463	N.S.	30	30
	12/07	0,004	**	30	30
c	17/05	0,220	N.S.	30	30
	14/06	0,030	*	30	30
	12/07	0,002	**	30	30
d	17/05	0,705	N.S.	30	30
	14/06	0,991	N.S.	30	30
	12/07	0,855	N.S.	30	30

Les tendances mises en évidence par la mesure des poids secs se trouvent ici confirmées, mais avec une réponse plus tardive et plus ténue. Ainsi, sur les sites a et d, la différence de poids de coquille pour les deux types d'élevage est complètement inexistante (mises à part les données quelque peu aberrantes obtenues le 17 mai pour l'élevage sur table du site a). Par contre, au niveau des sites b et c, la différence s'accroît au cours du temps.

Comparaison entre sites

Les différences des poids de coquilles en fonction des sites sont pratiquement inexistantes le 14 juin et ne se font réellement ressentir qu'à l'échantillonnage du 12 juillet (figure 22).

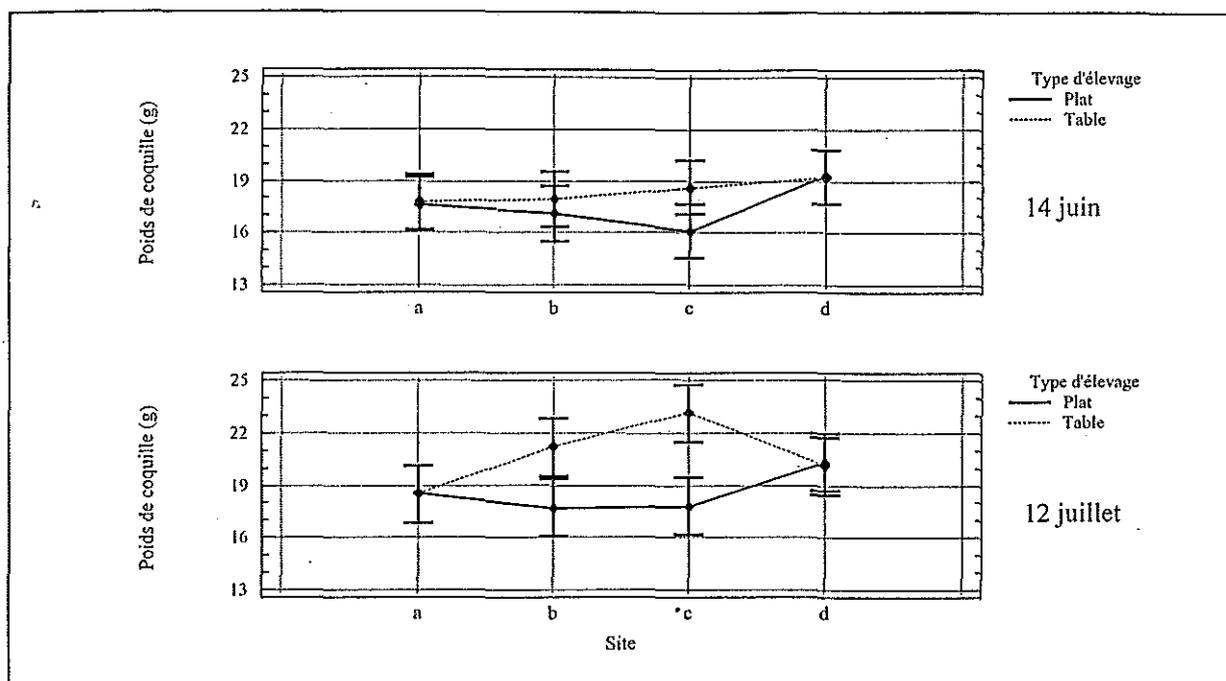


Figure 22 : Comparaison des poids de coquille (moyennes et intervalles de confiance) entre les sites, pour chaque type d'élevage, le 14 juin et le 12 juillet.

Un test de rang multiple appliqué aux échantillons du 12 juillet met en évidence les différences entre les sites, pour les deux types d'élevage (tableau 13).

Tableau 13 : Test de rang multiple (LSD) des poids de coquille en fonction du site, pour les élevages à plat et les élevages sur table, le 12 juillet.

Type d'élevage	Site	Effectif	Moyenne (g)	Groupes homogènes
Plat	b	30	17,7	X.
	c	30	17,8	X
	a	30	18,5	X X
	d	30	20,3	X
Table	a	30	18,5	X
	d	30	20,1	X X
	b	30	21,2	X X
	c	30	23,1	X

Les différences entre les sites sont identiques, pour les deux types d'élevage, aux différences observées pour les poids secs (tableau 7), mais avec moins de contraste.

Une analyse de variance à deux facteurs permet de constater que le résidu (i.e. la partie non expliquée de la variance) est très important, et que la contribution du facteur type d'élevage est supérieure à celle du facteur site, non significatif (tableau 14).

Tableau 14 : Analyse de variance des poids de coquille au 12 juillet, en fonction du site et du type d'élevage.

Effectif	Facteur	Probabilité	Contribution (%)
240	Site	0,086	2,5
	Type d'élevage	0,000	5,0
	Interaction	0,002	5,9
	Résidu		86,6

3.2 Profils verticaux

3.2.1 Poids secs

L'évolution de poids secs pour les quatre types d'élevage (plat, table 0 cm, table 25 cm et table 50 cm), sur les sites b et c est présentée sur la figure 23. Le 12 juillet, les poids secs moyens sont compris entre 0,83 g et 1,73 g (les extrêmes sont représentées par les mêmes échantillons dans le cas de la radiale Est-Ouest).

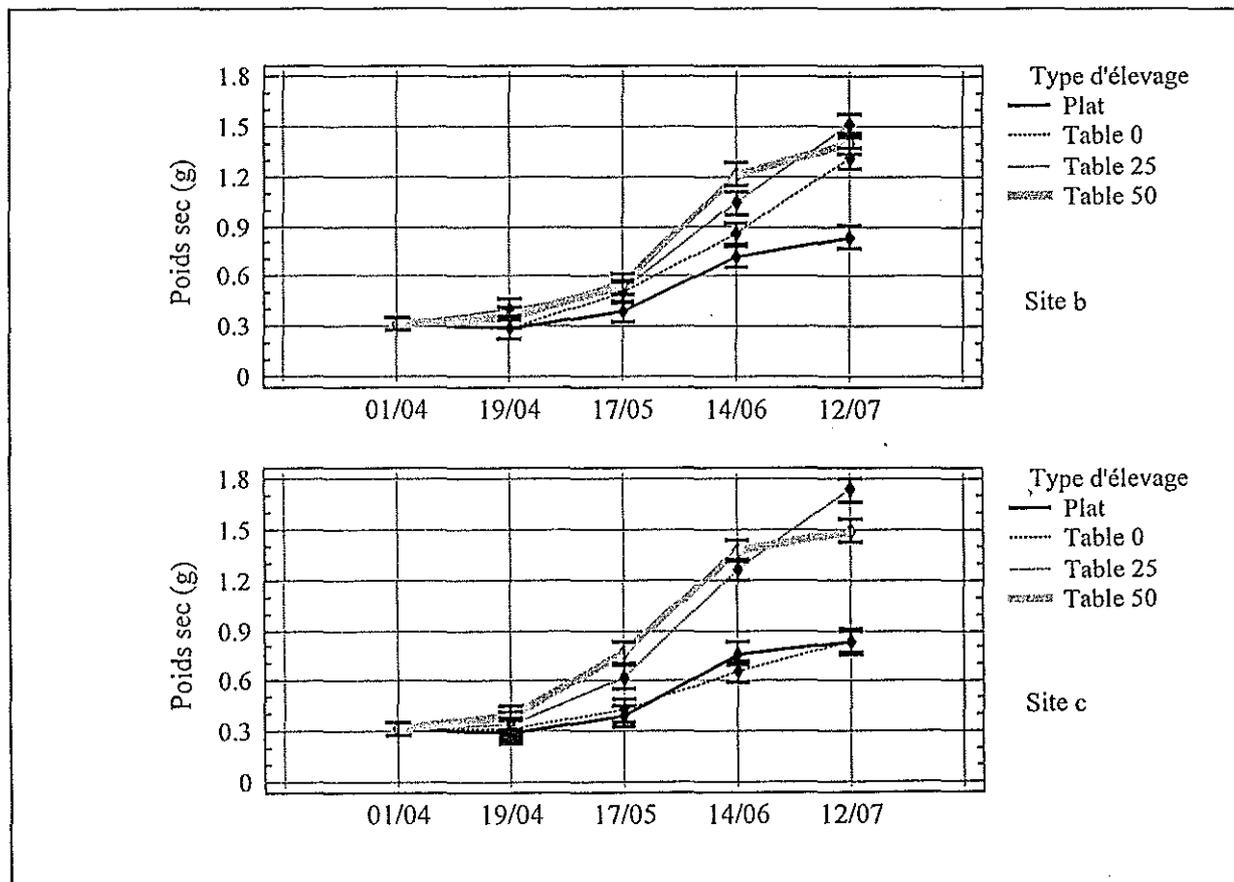


Figure 23 : Croissance de *Crassostrea gigas* en poids secs pour les quatre types d'élevage et pour chaque site (b et c).

Comparaison entre élevages

Le 17 mai, les différences entre types d'élevage commencent à se distinguer. Sur le site b, les huîtres élevées à plat se distinguent de celles des autres élevages par des poids secs inférieurs. Sur le site c, cette tendance est suivie par les huîtres maintenues selon les deux modalités d'élevage au sol (plat et table 0 cm). Les différences sont accrues pour les deux derniers échantillonnages (figure 24).

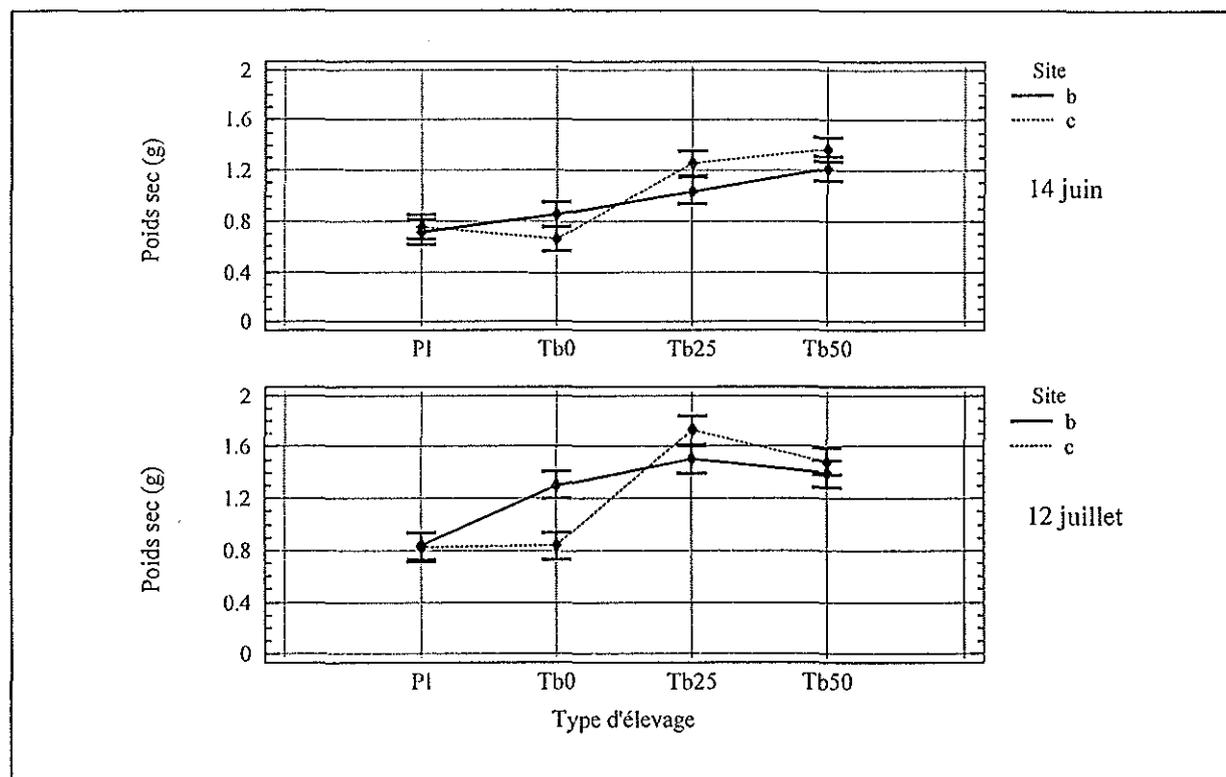


Figure 24 : Comparaison des poids secs (moyennes et intervalles de confiance) entre les types d'élevage, pour chaque site le 14 juin et le 12 juillet.

Le 14 juin, sur le site b, toutes les conditions d'élevage présentent des différences significatives entre elles, et on assiste à un gradient du poids sec (de 0,72 g à 1,21 g) en fonction du type d'élevage et de la distance au sol. Sur le site c, les huîtres élevées au niveau du sol présentent des poids secs significativement inférieurs à ceux des huîtres en surélevé (tables 25 et 50 cm) (tableau 15).

Tableau 15 : Test de rang multiple (LSD) des poids secs en fonction du type d'élevage, pour les sites b et c, le 14 juin.

Site	Type d'élevage	Effectif	Moyenne (g)	Groupes homogènes
b	Plat	30	0,72	X
	Table 0	30	0,85	X
	Table 25	30	1,04	X
	Table 50	30	1,21	X
c	Table 0	30	0,66	X
	Plat	30	0,76	X
	Table 25	30	1,25	X
	Table 50	30	1,37	X

Le 12 juillet, les huîtres élevées à 25 cm ont les poids secs les plus élevés sur les deux sites. Sur le site b, les différences entre les élevages sur tables (0, 25 et 50 cm) s'amenuisent. Au niveau du site c, la distribution en deux groupes (élevages au sol et élevages en surélevé) se maintient, avec cependant une différence significative apparaissant entre les deux élevages en surélevé (tableau 16).

Tableau 16 : Test de rang multiple (LSD) des poids secs en fonction du type d'élevage, pour les sites b et c, le 12 juillet.

Site	Type d'élevage	Effectif	Moyenne (g)	Groupes homogènes
b	Plat	30	0,84	X
	Table 0	30	1,31	X
	Table 50	30	1,39	X X
	Table 25	30	1,50	X
c	Plat	30	0,83	X
	Table 0	30	0,84	X
	Table 50	30	1,49	X
	Table 25	30	1,73	X

Les analyses de variances à deux facteurs, réalisées pour les deux dernières dates montrent la prépondérance du facteur type d'élevage dans l'explication de la variance (tableau 17).

Tableau 17 : Analyse de variance des poids secs, en fonction du site et du type d'élevage, le 14 juin et le 12 juillet.

Echantillon	Effectif	Facteur	Probabilité	Contribution (%)
14 juin	240	Site	0,125	0,5
		Type d'élevage	0,000	41,7
		Interaction	0,000	4,4
		Résidu		53,4
12 juillet	240	Site	0,303	0,2
		Type d'élevage	0,000	47,7
		Interaction	0,000	8,7
		Résidu		43,4

Comparaison entre sites

Pour les deux derniers échantillonnages (14 juin et 12 juillet), les huîtres du site c présentent des poids secs supérieurs au niveau des élevages en surélevé (figure 24). Seules les huîtres des tables de 25 cm présentent des différences significatives entre sites (tableau 18). Les élevages à plat ne présentent pas de différence, et les élevages sur table de 0 cm sont significativement inférieurs sur le site c.

Tableau 18 : Analyse de variance du poids sec en fonction du site (b et c), pour chaque type d'élevage, le 14 juin et le 12 juillet.

Echantillonnage	Type d'élevage	Probabilité	Significativité	Effectif
14 juin	Plat	0,487	N.S.	60
	Table 0	0,005	**	60
	Table 25	0,006	**	60
	Table 50	0,057	N.S.	60
17 juillet	Plat	0,902	N.S.	60
	Table 0	0,000	***	60
	Table 25	0,012	*	60
	Table 50	0,205	N.S.	60

Gains de poids secs journaliers

Les gains de poids secs journaliers sont comparés sur les périodes 3 et 4. Durant la troisième période, la hauteur par rapport au sol semble être le facteur régissant les performances de croissance des huîtres du site b. Sur le site c, le contraste est moins évident, mais on retrouve la différence entre élevages pratiqués au niveau du sol et en surélevé. Au niveau de la première catégorie, les huîtres sur table 0 cm présentent les plus faibles croissances (tableau 19).

Tableau 19 : Gains de poids secs mesurés durant la troisième période, pour chaque condition d'élevage (sites b et c), et probabilités associées (analyse de variance en fonction de la date d'échantillonnage).

Site	Type d'élevage	Probabilité	Significativité	Effectif de l'analyse		Gain de poids sec journ. (10^{-2} g) (diff. des moy./nbre de jours)
				17/05	14/06	
b	Plat	0,000	***	30	30	1,14
	Table 0 cm	0,000	***	30	30	1,24
	Table 25 cm	0,000	***	30	30	1,88
	Table 50 cm	0,000	***	30	30	2,33
c	Plat	0,000	***	30	30	1,32
	Table 0 cm	0,000	***	30	30	0,83
	Table 25 cm	0,000	***	30	30	2,25
	Table 50 cm	0,000	***	30	30	2,16

Durant la quatrième période, les performances de croissance chutent chez les huîtres élevées dans les conditions "extrêmes" (plat et table 50 cm) (tableau 20). Au niveau des élevages intermédiaires (tables 0 et 25 cm), la croissance est stable, quoique légèrement plus faible, par rapport à la troisième période.

Tableau 20 : Gains de poids secs mesurés durant la quatrième période, pour chaque condition d'élevage (sites b et c), et probabilités associées (analyse de variance en fonction de la date d'échantillonnage).

Site	Type d'élevage	Probabilité	Significativité	Effectif de l'analyse		Gain de poids sec journ. (10^{-2} g) (diff. des moy./nombre de jours)
				14/06	12/07	
b	Plat	0,068	N.S.	30	30	0,43
	Table 0 cm	0,000	***	30	30	1,61
	Table 25 cm	0,000	***	30	30	1,65
	Table 50 cm	0,019	*	30	30	0,65
c	Plat	0,326	N.S.	30	30	0,24
	Table 0 cm	0,010	*	30	30	0,64
	Table 25 cm	0,000	***	30	30	1,69
	Table 50 cm	0,159	N.S.	30	30	0,41

3.2.2 Poids de coquille

L'évolution des poids de coquille (figure 25) suit approximativement l'évolution des poids secs. Cependant, la fabrication de coquille semble plus précoce chez les huîtres du site c, élevées sur table de 50 cm.

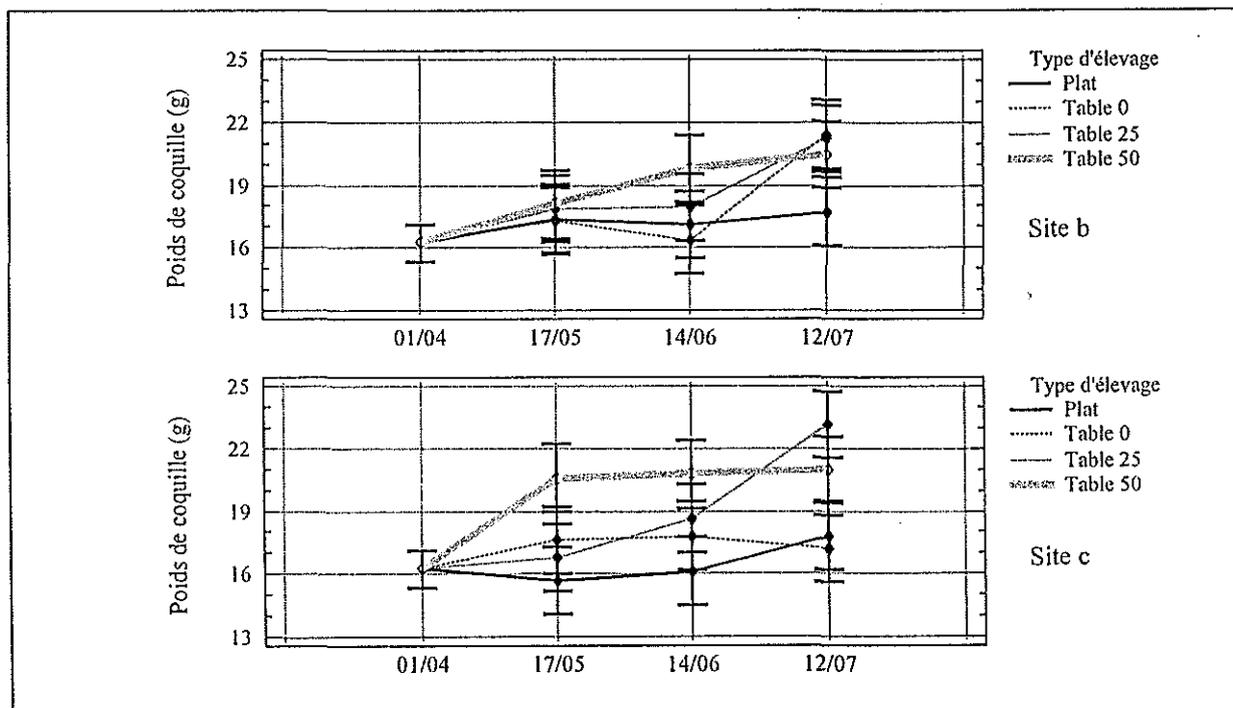


Figure 25 : Croissance de *Crassostrea gigas* en poids de coquille pour les quatre types d'élevage et pour chaque site (b et c).

Comparaison entre types d'élevage

Les constatations faites précédemment (§ 3.1.2) restent d'application dans le cas présent. En effet, la réponse est plus tardive (excepté le cas particulier des huîtres à 50 cm sur le site c) et il faut attendre l'échantillonnage du 12 juillet (figure 26) pour constater des tendances déjà bien établies le 17 mai au niveau des poids secs (à savoir, des poids de coquille significativement inférieurs pour les élevages à plat standard, et pour l'élevage "hors sol" du site c, par rapport aux poids de coquille mesurés sur les tables de 25 cm et 50 cm) (tableau 21).

D'autre part, les intervalles de distribution des poids de coquille sont relativement plus importants que ceux mesurés pour les poids secs, masquant ainsi certaines différences. Le signal de réponse est alors plus amoindri.

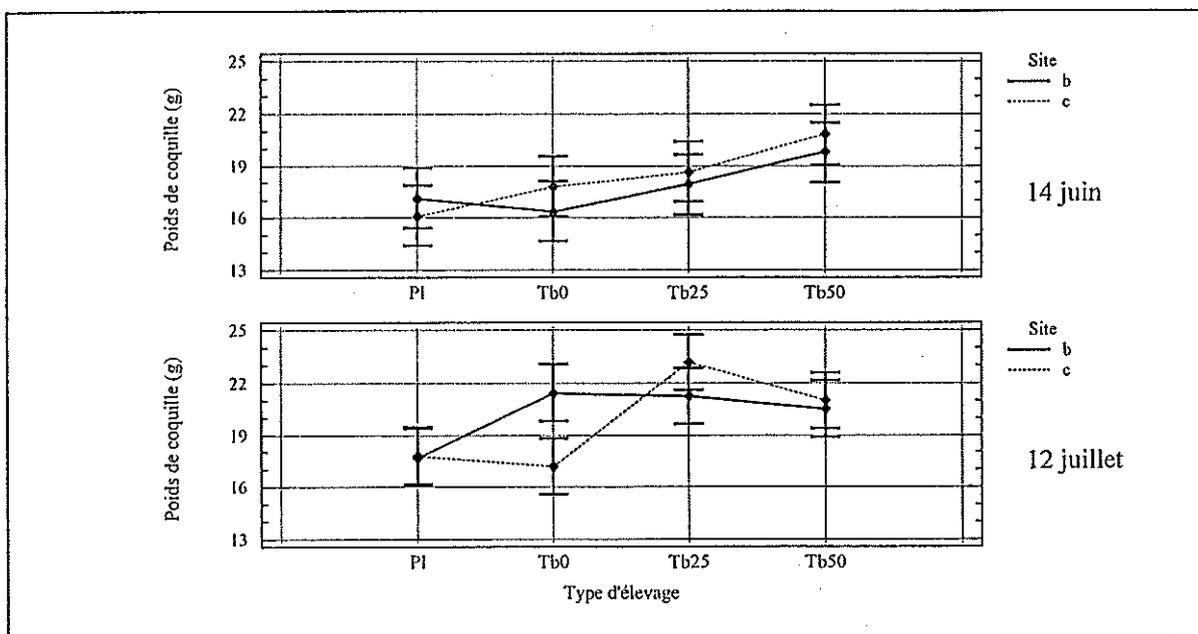


Figure 26 : Comparaison des poids de coquille (moyennes et intervalles de confiance) entre les types d'élevage, pour chaque site le 14 juin et le 12 juillet.

Tableau 21 : Test de rang multiple (LSD) des poids de coquille en fonction du type d'élevage, pour les sites b et c, le 12 juillet.

Site	Type d'élevage	Effectif	Moyenne (g)	Groupes homogènes
b	Plat	30	17,7	X
	Table 50	30	20,5	X
	Table 25	30	21,2	X
	Table 0	30	21,4	X
c	Table 0	30	17,2	X
	Plat	30	17,8	X
	Table 50	30	21,0	X
	Table 25	30	23,1	X

Une analyse de variance à deux facteurs met en évidence la contribution du facteur type d'élevage à l'explication de la variance, et aussi l'importance de la partie non expliquée de la variance (tableau 22).

Tableau 22 : Analyse de variance des poids de coquille au 12 juillet, en fonction du site et du type d'élevage.

Effectif	Facteur	Probabilité	Contribution (%)
240	Site	0,461	0,2
	Type d'élevage	0,000	11,4
	Interaction	0,002	5,6
	Résidu		82,8

Comparaison entre les sites

La seule différence entre les sites b et c se situe au niveau des élevages sur table (0 cm), où les huîtres du site c présentent des poids de coquille significativement inférieurs ($p = 0,000$) le 12 juillet. Cette différence était déjà apparente le 14 juin au niveau des poids secs (tableau 18).

4. VARIATIONS PHYSICO-CHIMIQUES ENTRE L'INTERFACE EAU-SEDIMENT ET LA COLONNE D'EAU

Les paramètres physico-chimiques sont enregistrés par les sondes Solomat, à l'interface eau-sédiment et dans la colonne d'eau, à 50 cm du sol. Ces paramètres sont comparés pour la période du 6 avril au 17 juin. Les séries complètes sous forme de graphes sont données dans les annexes 6 et 7.

Pour chaque descripteur, une analyse de variance en fonction des deux conditions, est réalisée. Cette analyse porte sur les moyennes obtenues, pour chaque marée, sur une durée de 4 heures autour de l'étape de haute mer (Matériel et méthodes). Les données acquises pour chaque période d'inter échantillonnage (périodes 1 à 3) sont étudiées séparément.

4.1 Température

La comparaison des températures moyenne en immersion ne permet de déceler aucune différence entre l'interface eau-sédiment et le reste de la colonne d'eau (tableau 23).

Tableau 23 : Analyse de variance des températures moyennes en immersion, en fonction de la hauteur, pour les périodes 1 à 3.

Période	Probabilité	Température moyenne	
		0 cm	50 cm
1	0,8388	12,1±0,40	12,1±0,41
2	0,8021	14,4±0,45	14,5±0,45
3	0,4866	17,4±0,39	17,5±0,7

Cependant, l'évolution continue des températures (i.e. temps d'émersion compris) met en évidence d'importantes variations (figure 27). Ces variations ("pics" et "creux") correspondent aux exondations des sondes.

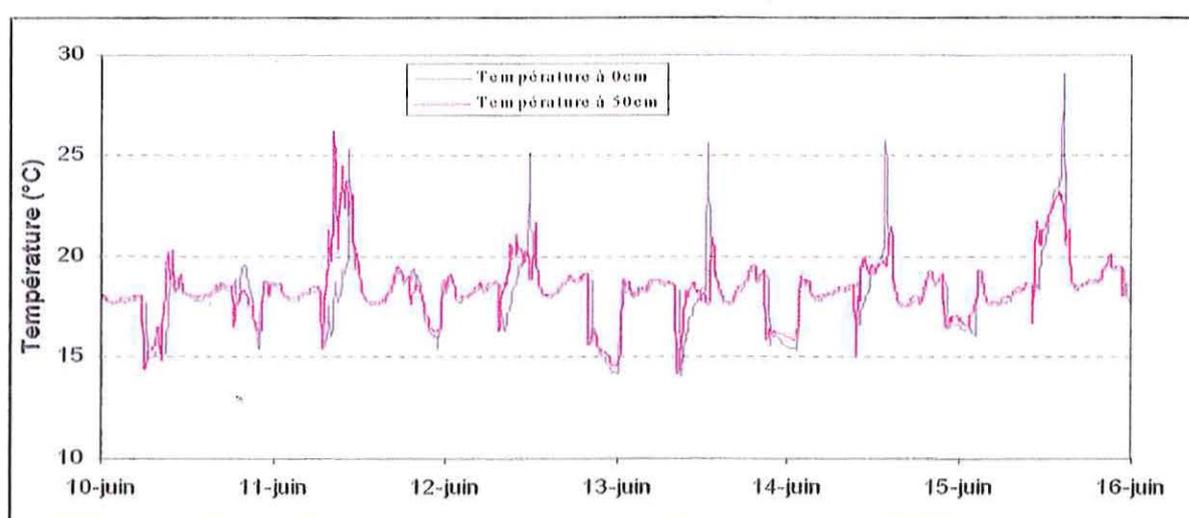


Figure 27 : Evolution des températures (°C) à 0 et 50 cm du sol sur le site b, du 10 juin (0 h) au 16 juin (0 h).

Les pics, correspondant aux exondations diurnes, sont d'amplitude plus importante au niveau de l'interface eau-sédiment. Les différences peuvent atteindre 5°C pour la période mise en évidence (du 10 au 16 juin).

4.2 Salinité

Aucune différence de salinité entre la colonne d'eau et l'interface eau-sédiment n'a pu être mise en évidence sur le site b (tableau 24).

Tableau 24 : Analyse de variance des salinités moyennes en immersion, en fonction de la hauteur, pour les périodes 1 à 3.

Période	Probabilité	Salinité moyenne	
		0 cm	50 cm
1	0,7034	32,5±0,44	32,4±0,39
2	0,3166	31,0±0,24	30,8±0,22
3	0,3791	31,2±0,3	31,4±0,26

4.3 Concentration en oxygène dissous

Lors des deux premières périodes, l'analyse de variance ne montre aucune différence significative des concentrations en oxygène (comprises entre 9 et 10 mg/l) (tableau 25). Par contre, pendant la troisième période d'inter échantillonnage, les concentrations diminuent (jusqu'à 8 mg/l), et sont significativement supérieures à l'interface eau-sédiment.

Tableau 25 : Analyse de variance des concentration moyennes en oxygène dissous (mg/l) en immersion, en fonction de la hauteur, pour les périodes 1 à 3.

Période	Probabilité	Concentration moyenne en oxygène (mg/l)	
		0 cm	50 cm
1	0,7341	9,7±0,19	9,7±0,17
2	0,3605	9,5±0,46	9,3±0,13
3	0,001	8,59±0,19	8,11±0,15

L'analyse de variance ne met pas en évidence certains phénomènes. En effet, à partir du 19 avril (début de la période 2), on observe une augmentation subite de la concentration en oxygène à l'interface eau -sédiment, alors que celle de la colonne d'eau (50 cm) reste stable (figure 28).

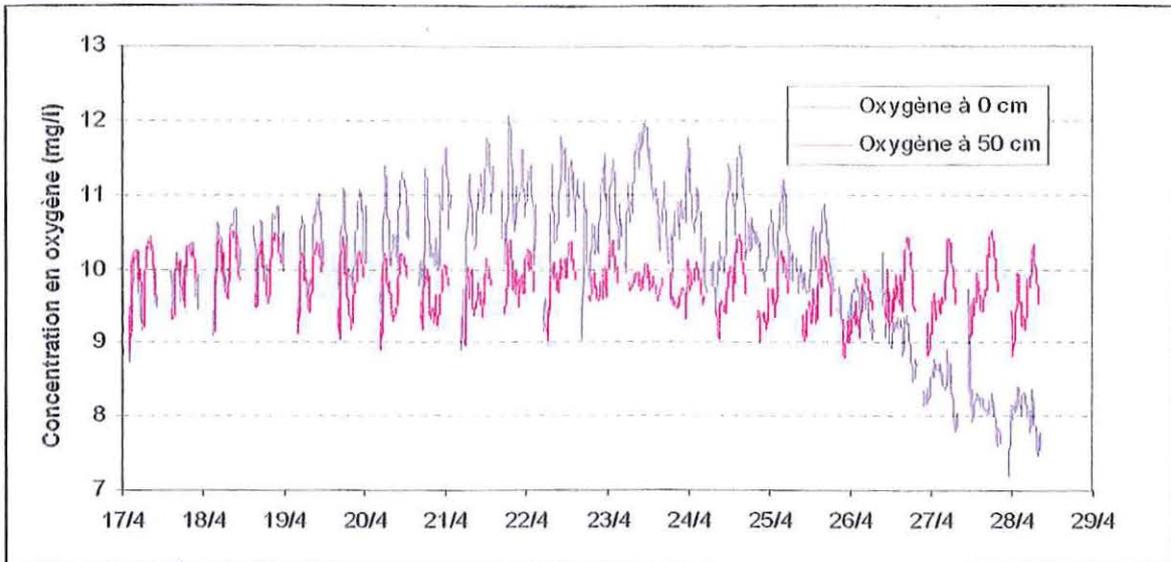


Figure 28 : Evolution de la concentration en oxygène dissous (mg/l) à 0 et à 50 cm du sol sur le site b, du 17 avril (0 h) au 29 avril (0 h).

La concentration à l'interface eau-sédiment atteint des valeurs de 12 mg/l, alors qu'elles sont légèrement supérieures à 10 mg/l au niveau de la colonne d'eau. La concentration à 0 cm diminue ensuite dès le 23 avril, pour chuter jusqu'à 7,5 mg/l le 28 avril.

Les variations intra tidales (au cours d'une marée) de la concentration en oxygène mettent en évidence des différences entre les deux niveaux étudiés. Les amplitudes entre les minima et les maxima enregistrés au cours d'une marée sont plus importants au niveau du sol (figure 29).

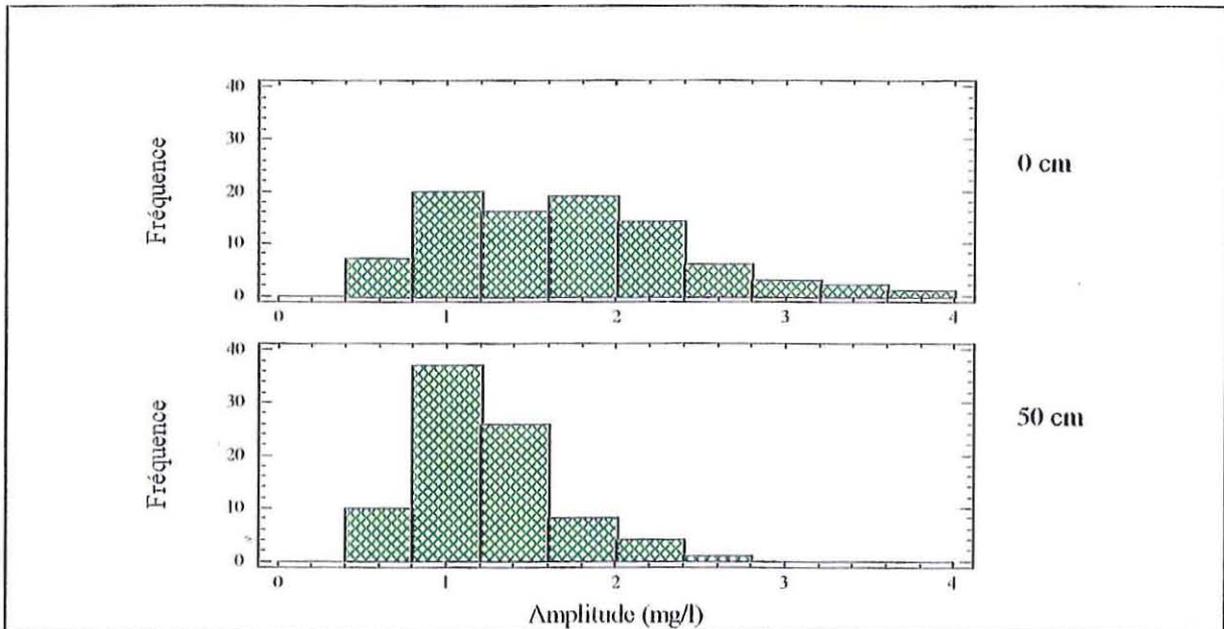


Figure 29 : Histogrammes de fréquences des variations intra tidales de la concentration en oxygène dissous (mg/l) à 0 et à 50 cm, du 6 avril au 17 juin.

Au niveau de la colonne d'eau, les variations sont généralement comprises entre 0,4 et 2 mg/l. Par contre, à l'interface eau-sédiment, ces variations sont supérieures et peuvent atteindre dans certains cas 4 mg/l.

4.4 Turbidité

L'analyse de variance des turbidités mesurées 4 heures autour de l'étale de haute mer permet de mettre en évidence une différence significative pendant la troisième période d'échantillonnage (tableau 26). Les valeurs sont comprises entre 8,5 et 13,3 NTU à l'interface eau-sédiment et entre 14,8 et 18 NTU à 50 cm.

Tableau 26 : Analyse de variance des turbidités moyennes (NTU) en immersion, en fonction de la hauteur, pour les périodes 1 à 3.

Période	Probabilité	Turbidité moyenne (NTU)	
		0 cm	50 cm
1	0,9069	25,8±6,16	26,3±5,29
2	0,3268	17,0±2,95	19,0±2,88
3	0,0002	10,9±2,38	16,9±2,10

Par contre, les pics de turbidité enregistrés au flot et au jusant (au moment où le sédiment est remis en suspension) sont plus importants au niveau de l'interface eau-sédiment.

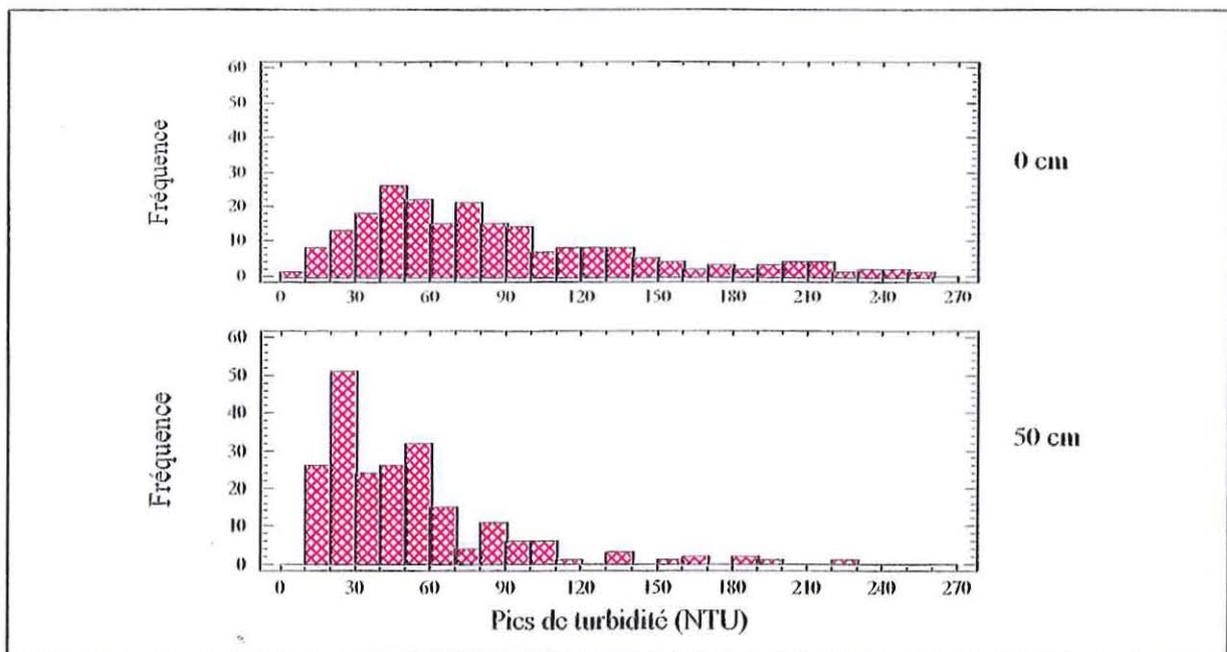


Figure 30 : Histogrammes de fréquences des pics de turbidité (NTU) à 0 et à 50 cm, du 6 avril au 17 juin.

La plupart des pics enregistrés dans la colonne d'eau n'excèdent pas 100 NTU. Au niveau de l'interface eau-sédiment, les valeurs peuvent atteindre jusqu'à 260 NTU.

Par ailleurs, on observe une diminution de ces maxima de turbidité, au fur et à mesure des périodes d'inter échantillonnage. De même, les écarts observés entre les deux niveaux ont tendance à s'amenuiser (figure 31).

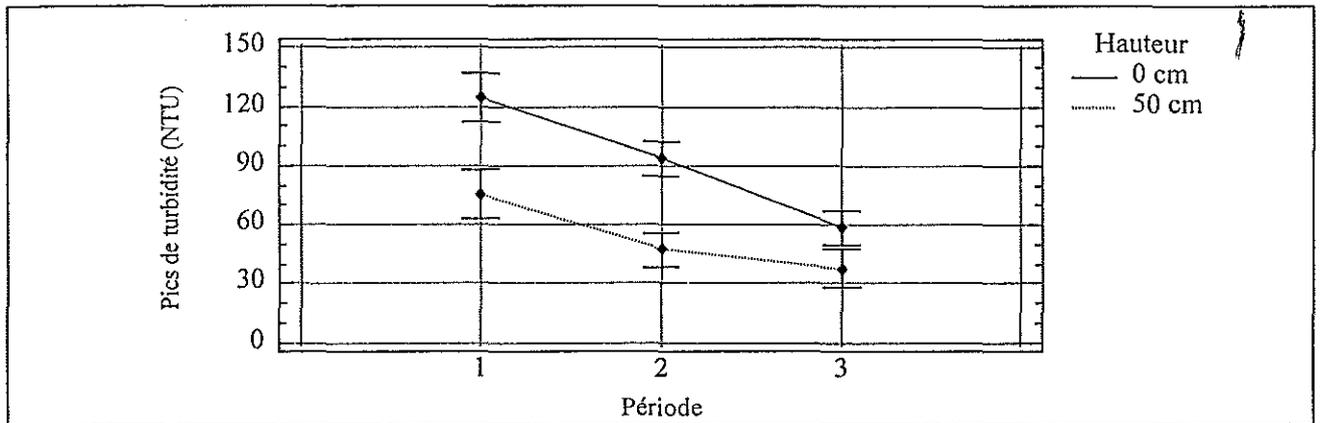


Figure 31 : Evolution des pics de turbidité moyens (NTU) en fonction des périodes d'inter échantillonnage, à 0 et à 50 cm du sol.

IV. DISCUSSION

Méthodologie d'expérimentation

La fiabilité de réponse dans les réplicats de mesure de mortalité montre que des progrès ont été réalisés, durant la présente étude, concernant le comptage des mortalités à plat. La stratégie aléatoire du quadrat jeté dans les parcs, utilisée dans les études antérieures, comportait le risque d'échantillonner une zone sujette à accumulation de coquilles vides (surestimation de la mortalité). La confection de petits parcs à plat, d'une surface identique à celle d'une poche ostréicole, constitue une innovation. La reproductibilité entre les réplicats est équivalente à celle des élevages en surélevé.

Cependant, ces parcs ne respectent pas les conditions « standard » des élevages à plat. Le grillage confine une petite surface et modifie les conditions courantologiques et la sédimentation. Il n'en a pas été tenu compte dans le comptage des mortalités. Par contre, les échantillonnages destinés aux analyses biométriques, dans des plus grands parcs, ont été effectués à une cinquantaine de centimètres du grillage, pour éviter cet « effet de bordure » (les huîtres situées à proximité du grillage étant transférées, après l'échantillonnage, vers le centre du parc).

Sur le site c, l'envasement des huîtres placées dans des poches ostréicoles au raz du sédiment (table 0 cm) constitue une "entorse" au protocole expérimental. Ce biais méthodologique a toutefois permis de mettre en évidence, pour une même condition d'élevage, l'effet "physique" du sédiment sur les cheptels.

L'acquisition de données hydrologiques en continu, bien qu'ayant prouvé son efficacité, ne se révèle pas infaillible. Certains dysfonctionnements, inévitables, sont à déplorer (pannes,...). Ainsi, aucune donnée de pH ne s'est avérée fiable. Le « biofouling », plus important au niveau du sol, est à l'origine d'une dérive des sondes oxymétriques. Les données "suspectes" ont été éliminées des traitements.

Influence des variations saisonnières de l'environnement sur les réponses biologiques des cheptels

Les deux premières périodes expérimentales sont caractérisées, pour toutes les conditions d'élevage (site et type d'élevage), par de faibles croissances et d'importants taux de mortalité. Les mortalités cumulées sont comprises entre 20 et 30 % le 17 mai. Ces valeurs sont de loin supérieures à celles obtenues pour la même date au cours de l'étude de 1997 (entre 0 et 10 %) (Forest, 1997). La mauvaise condition initiale des cheptels explique essentiellement ces différences (détroquage tardif, conditions défavorables de l'année 1998, stress dû aux manipulations précédant la mise en élevage). Dès le 19 avril, on observe une diminution des mortalités, et à partir du 17 mai, une reprise de la croissance (fin de la phase d'acclimatation). Certains cheptels affichent des taux de croissance (en poids de chair sèche) supérieurs à 100 % pour la période du 17 mai au 14 juin (de 0,41 g à 0,84 g dans les élevages à plat du site a ; de 0,51 g à 1,04 g dans les élevages sur table de 25 cm du site b).

Selon Lucas (1982), la production des bivalves marins peut se diviser selon 3 compartiments : la production somatique, la production de gamètes et la production de matière organique de la coquille. Dans la présente étude, les deux premiers compartiments sont représentés par le poids sec. Le troisième est décrit par le poids de coquille (comprenant aussi bien la matière organique qu'inorganique). Etant donné l'état initial des cheptels, il est probable que l'énergie de production soit principalement allouée aux deux premiers compartiments (la phase d'acclimatation serait aussi une phase de « récupération »), au détriment de la production de coquille. Les retards de croissance et les faibles réponses observées au niveau de ce dernier descripteur tendent à confirmer cette hypothèse.

Durant toute l'expérimentation, la température de l'eau augmente régulièrement pour atteindre, à partir du 28 mai, des valeurs de 16 à 20 °C dans l'eau. Cette plage de températures correspond aux conditions optimales de filtration de l'huître creuse *Crassostrea gigas* (Bougrier *et al.*, 1995). Cette évolution saisonnière contribue à l'importante reprise de production de chair observée à la fin du printemps.

Les fluctuations de la salinité sont sous l'influence des masses d'eau en présence. Le temps de résidence théorique des masses d'eau dans le bassin de Marennes-Oléron est de 6 à 9 jours, selon le coefficient de marée (LCHF, 1975). En période de vives-eaux, l'influence océanique est prépondérante et la salinité peut atteindre 34. En mortes-eaux, le renouvellement des masses d'eau est plus long. L'influence de la Seudre et de la Charente se traduit alors par une diminution de la salinité (jusqu'à 28 sur le site b).

Ces variations, perceptibles à une échelle de plusieurs jours, ne permettent cependant pas d'expliquer la différence de réponse des cheptels en fonction des périodes d'inter-échantillonnage. L'huître *Crassostrea gigas*, adaptée aux milieux estuariens, peut en effet supporter de très faibles salinités, même inférieures à 20 (Brown & Hartwick, 1988).

Les variations de la turbidité résultent de l'action synergique des courants de marée et du vent sur la remise en suspension des matières particulaires. Les vents augmentent localement la turbidité, mais ne semblent intervenir qu'à partir de 7 ms⁻¹ (de moyenne quotidienne). Ces observations sont en accord avec Héral *et al.* (1989) qui estiment le seuil d'influence du vent à 8 ms⁻¹. La quantité de sédiment remis en suspension est aussi proportionnelle à la surface d'estran balayée par la marée, et donc au coefficient de marée. En outre, plus le coefficient est élevé, plus les courants sont rapides. On assiste alors à des phénomènes d'érosion augmentant la charge sestonique.

Les turbidités les plus élevées sont mesurées au début du printemps, ce qui confirme la diminution de turbidité habituellement observée dans le bassin de Marennes-Oléron du mois de février au mois de juillet (Héral *et al.*, 1983).

Alors que la turbidité diminue, on assiste à une augmentation de la biomasse microphytique (concentration en chlorophylle *a*). La charge organique du seston suit une évolution parallèle, sauf le 9 juin, qui correspondrait à la fin d'un bloom, et à l'apparition de matières organiques détritiques (consécutive à la dégradation des organismes microphytiques).

Les matières organiques particulaires constituent l'essentiel du régime alimentaire de l'huître *Crassostrea gigas*, malgré une absorption de substances dissoutes pouvant atteindre 25 % (Raillard *et al.*, 1993). L'abondance de nourriture, couplée à des taux de filtration élevés, explique les meilleures performances de croissance observées à la fin du printemps.

Influence du site sur les réponses biologiques des cheptels

La présente étude ne met en évidence aucun effet du facteur site sur les mortalités, durant les périodes cibles (fin du printemps et début de l'été). Aucun phénomène anormal de mortalité estivale n'a d'ailleurs été signalé sur le banc de Ronce durant l'étude. Les taux de mortalités sont respectivement compris entre 2 et 9 % du 17 mai au 14 juin et entre 1 et 4 % du 14 juin au 12 juillet. Les taux de mortalités journaliers varient sur ces deux périodes de 0,06 à 0,31 %. Ces données sont du même ordre de grandeur que celles des années 1997 (valeurs entre 0,15 et 0,35 %) et 1998 (entre 0,12 et 0,41 %) (Forest, 1997 ; Fruchard, 1998).

Les performances de croissance sont étroitement liées au site. Le 14 juin, les cheptels du site d, le plus profond, présentent les poids secs les plus élevés (aussi bien à plat, que sur table de 25 cm). Etant plus longtemps immergées, les huîtres élevées sur ce parc ont des temps de filtration plus élevés, et par conséquent un meilleur accès à la ressource trophique. L'étude menée en 1998 montrait des résultats similaires pour les élevages en surélevé (Fruchard, 1998).

Par contre, pour l'échantillonnage du 12 juillet, l'altitude des parcs ne semble plus être le facteur prépondérant. Les sites b et c, présentant des taux d'exondation intermédiaires, sont les plus productifs au niveau des élevages sur table (1,5 et 1,73 g de poids sec final moyen) et les moins productifs au niveau des élevages à plat (0,84 et 0,83 g). Les écarts entre les deux types d'élevage sont extrêmes au niveau des sites a et d (0,12 et 0,11 g de différence entre les poids secs moyens). Le comportement "antagoniste", entre d'une part les site b et c, et d'autre part les sites a et d, est confirmé par l'analyse des gains de poids secs journaliers (tableau 11).

Les sites b et c sont caractérisés par des sédiments vaseux, tandis que le site a présente un substrat rocailleux et le site c est de type sableux (dur). En outre, sous l'interface eau-sédiment, les deux premiers sites présentent une couche anoxique noirâtre. Les mesures de potentiels d'oxydo-réduction sur les quatre sites, réalisées en 1997, confirment ces observations pour les sites a, b et c (tableau 1).

Tableau 27 : Potentiels d'oxydo-réduction (valeurs minimales et maximales dans les sédiments des sites a, b, c et d, d'avril à août 1997) (d'après Soletchnik *et al.*, 1998).

Site	a	b	c	d
Potentiel d'oxydo-réduction (mVeh)	-240 à -180	-350 à -150	-300 à -150	-300 à -160

Les potentiels d'oxydo-réduction mesurés en 1997 sur le site d sont caractéristiques d'un sédiment anoxique. En 1998, les poids secs mesurés sur les élevages à plat et en surélevé de ce site présentent un écart non négligeable (0,46 g le 22 juin, après 54 jours d'élevage). D'autre part, d'importants travaux de nettoyage du site ont été entrepris par les professionnels au début du printemps de cette année (utilisation du "cercle", consistant à labourer le substrat et à l'oxygéner). Les sédiments du site d ont donc probablement subi des modifications physico-chimiques, expliquant ainsi les performances identiques au niveau des élevages à plat et en surélevé.

Le sédiment apparaît donc comme le premier facteur régissant les différences de performances entre les élevages à plat et les élevages sur table, en fonction des sites.

Influences de l'altitude et des facteurs zootechniques

Les conditions d'élevage supplémentaires (tables au raz du sédiment et tables de 50 cm), expérimentées sur les sites b et c, soulignent l'influence des facteurs zootechniques sur la réponse des cheptels.

Les mortalités constatées au niveau des élevages en surélevé (entre 22 et 25 % de mortalité cumulée le 12 juillet) sont inférieures à celles des élevages réalisés au niveau du sol (entre 28 et 38 %). La hauteur dans la colonne d'eau (25 ou 50 cm) pour les élevages en surélevé, ou la disposition des cheptels (en une à une, ou dans des poches ostréicoles) pour les élevages au sol, ne semblent pas avoir une influence. Par contre, la croissance des huîtres suit un gradient de performance, orienté de l'interface eau-sédiment vers la colonne d'eau (de 0,72 à 1,21 g de poids sec sur le site b, de 0,76 à 1,37 g sur le site c, le 14 juin). Plusieurs hypothèses sont avancées pour comprendre ces phénomènes.

La première impliquerait les chocs thermiques, plus importants au niveau du sol, observés durant les exondations diurnes. Cette hypothèse a partiellement été retenue pour justifier les mortalités plus importantes sur les élevages à plat (Lodato, 1997). En effet, l'élévation de température induit un besoin accru en oxygène chez l'huître *Crassostrea gigas* (Gouletquer *et al.*, 1998). Si l'huître est en phase de maturation, la détresse physiologique en est d'autant plus importante (Lagarde, 1997).

L'amplitude des chocs thermiques est en relation avec la durée de l'émersion. L'étude réalisée en 1997 ne met cependant pas en relation la mortalité de *Crassostrea gigas* avec la fréquence et l'amplitude des stress thermiques (Soletchnik *et al.*, 1999). La présente étude tend aussi à écarter définitivement cette hypothèse. Néanmoins, l'amplitude des « pics » mis en évidence n'excède pas 11°C (de 18°C en immersion à 29°C en émersion). Par ailleurs, l'huître *Crassostrea gigas* possède des mécanismes de défense. Le plus étudié à l'heure actuelle est la synthèse de protéines de stress thermique (HSP-70), induisant une « thermotolérance » de l'organisme (Shamseldin *et al.*, 1997 ; Clegg *et al.*, 1998).

Le facteur température ne semble pas expliquer non plus les différences de performances de croissance entre les élevages au sol et les élevages en surélevé. En effet, les cheptels du site a, soumis à des périodes d'exondation de longue durée, sont sujets à des stress thermiques de plus forte amplitude. Or, aucun écart significatif des descripteurs biométriques (poids sec et poids de coquille) n'apparaît, en fin d'expérimentation, entre les deux types d'élevage.

L'enregistrement en continu de l'oxygène dissous au niveau de l'interface eau-sédiment et de la colonne d'eau (à 50 cm) n'a permis de détecter aucun phénomène d'anoxie (les concentrations sont toujours supérieures à 6 mg/l, et à 80 % de saturation). L'évolution plus irrégulière au niveau de l'interface eau-sédiment de la concentration en oxygène (variations intra tidales) traduit une importante activité biologique (bactéries, meiofaune,...). Gouletquer *et al.* (1994) soulignent une importante production d'oxygène par le microphytobenthos dans l'eau interstitielle. Cette production peut expliquer l'augmentation de la concentration en oxygène au sol, du 19 avril au 23 avril, et en début d'été. D'importantes biomasses microphytobenthiques sont mises en évidence sur les estrans de Marennes-Oléron, et notamment sur le banc de Ronce-Perquis (Guarini *et al.*, 1998). En outre, après remise en suspension, le microphytobenthos constitue une ressource trophique non négligeable pour la

production secondaire (principalement représentée par les huîtres) dans le bassin de Marennes-Oléron (Blanchard *et al.*, 1997).

Toutefois, ces constatations ne permettent pas de comprendre les différences de réponse des cheptels entre l'interface eau-sédiment et la colonne d'eau. Il faut cependant signaler que la sonde oxymétrique a toujours été placée juste au-dessus (1 à 2 cm) de la surface du sédiment. Or, les huîtres élevées à plat sur les sites b et c, ainsi que les huîtres sur table de 0 cm du site c, ont souvent été soumises à des envasements. Les anoxies éventuellement subies par ces cheptels n'ont donc pas été décelées. Ces enfouissements prolongés constituent une voie explicative des faibles performances de croissance mesurées sur les élevages à plat des sites b et c (et sur les tables de 0 cm du site c).

La remise en suspension des sédiments, au moment du flot et du jusant, favorisée par le clapot, constitue une voie intéressante pour justifier les faibles performances au sol et le gradient de croissance en fonction de l'altitude. En effet, la turbidité, lors de l'immersion (ou de l'émersion), est significativement plus élevée à l'interface eau-sédiment.

Un modèle linéaire, réalisé à partir de données hydrologiques du bassin de Marennes-Oléron (bouée d'Auger) permet de convertir les données néphélogométriques (en NTU) en charge sestonique (en mg/l). Il est établi comme suit :

$$\text{Seston (mg/l)} = 3,59 + 2 \times \text{Turbidité (NTU)} \text{ avec } R^2 = 95,55 \% \text{ et } n = 48$$

Ainsi, la charge sestonique (au flot et au jusant) est le plus souvent comprise entre 24 et 144 mg/l (10 et 70 NTU) à 50 cm (83 % des pics de turbidité), et entre 44 et 204 mg/l (20 et 100 NTU) (67 %) à l'interface eau-sédiment (des valeurs supérieures, jusqu'à 500 mg/l y sont couramment observées). Or l'efficacité de rétention des particules filtrées, chez *Crassostrea gigas*, commence à diminuer, en laboratoire, pour des charges sestoniques de 70 mg/l (Barillé *et al.*, 1993). Des expériences similaires, réalisées *in situ*, démontrent une diminution de la filtration de 25 % pour des charges sestoniques de 100 mg/l (Soletchnik *et al.*, 1991). Le colmatage des branchies, empêchant l'accès à la ressource trophique particulaire, est constaté à partir de 192 mg/l (Barillé & Prou, 1993). Les huîtres élevées au sol subissent un effet inhibiteur lié à une trop forte charge sestonique.

En outre, les cheptels à plat des sites a et d ne sont pas soumis au même stress. Les substrats étant essentiellement « durs » (respectivement graveleux et sableux, présentant une meilleure cohésion), la remise en suspension des sédiments y est moindre (aucune mesure de granulométrie et de néphélogométrie n'a cependant été réalisée). Cette hypothèse constitue une voie explicative des similarités de croissance des élevages à plat et en surélevé sur ces sites.

D'autre part, et comme il a été dit antérieurement, les sites b et c présentent une couche anoxique importante. Ces milieux sont propices au développement des bactéries sulfato-réductrices, produisant du sulfure d'hydrogène (H₂S). Or ce gaz a une toxicité bien établie (Anonyme, 1985). Son influence néfaste sur la filtration des huîtres et la survie larvaire a été démontrée (Ito & Imaï, 1955 ; Caldwell, 1975).

Dans le bassin de Marennes-Oléron, la concentration en H₂S peut atteindre 200 mg/kg dans le sédiment (Sornin *et al.*, 1983). Aucune mesure n'a été entreprise dans la colonne d'eau. Cependant, il est probable que ce gaz s'oxyde très rapidement au contact de la colonne d'eau. Toutefois, les sulfures peuvent être piégés, sous forme de FeS, dans les particules du

sédiment (Caumette, comm. pers.). Suite à la remise en suspension de ces particules, les huîtres pourraient absorber les sulfures. Ce phénomène, bien que les sulfures soient à des concentrations largement sublétales, pourrait avoir une influence sur les performances de croissance, conjointement au stress « particulaire » précédemment évoqué.

Influence de la maturation sexuelle

L'analyse des gains de poids sec au début de l'été (période 4) met en évidence des différences entre les cheptels élevés à 25 et à 50 cm, sur les sites b et c, avec de meilleures performances à 25 cm. Les huîtres sur table de 0 cm du site b, non enfouies dans le sédiment, ont des gains de poids sec similaires à celles des tables de 25 cm (tableau 20).

Ainsi, les huîtres élevées à 50 cm, ayant auparavant les meilleures performances, se retrouvent freinées dans leur croissance. Or, la période 4 (entre juin et juillet) correspond à une phase de maturation avancée des huîtres *Crassostrea gigas* (âgées de plus d'un an) dans le bassin de Marennes-Oléron. Il est donc probable que les huîtres présentant les poids secs les plus élevés le 14 juin soient les plus matures (allocation de l'énergie de production au compartiment "gamètes"). Soletchnik *et al.* (1997) mesurent une augmentation de la demande en oxygène (et donc du métabolisme), consécutivement à la prise de poids liée à la maturation. Par contre, la fonction de filtration est maintenue au niveau d'activité de stade immature. Il en résulte un bilan de production faible, voire négatif. Les huîtres des sites a et d (plat et table 25 cm), des élevages à plat et sur table de 0 cm du site c et des élevages à plat du site b réagissent probablement de la même façon.

V. CONCLUSION

L'étude de 1999 n'a permis de détecter aucun phénomène anormal de mortalité, exceptée celle inhérente à la mauvaise condition du cheptel expérimental lors de la mise en élevage. D'autre part, la reprise de croissance, au début de la saison estivale, a été particulièrement remarquable. La satisfaction générale des ostréiculteurs en dit long à ce sujet. Cependant, la production ostréicole du bassin de Marennes-Oléron n'est pas à l'abri d'une nouvelle crise.

L'étude des mortalités estivales d'huîtres *Crassostrea gigas* est entreprise depuis 1996 par le Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes. Même si il n'a pas encore mis à jour le déterminisme exact des mortalités, le premier volet du programme de 1999 s'intègre dans une approche globale de la dynamique de l'écosystème conchylicole du bassin de Marennes-Oléron. Le choix d'un site de surveillance (le banc de Ronce), pris comme référence, révèle toute son importance dans cette vision à long terme.

Le deuxième volet de l'étude met en évidence un effet néfaste des sédiments vaseux sur les performances de croissance de l'huître *Crassostrea gigas*. Or, la production ostréicole intensive est elle-même responsable de l'envasement des surfaces d'estran exploitées. La pose de tables ostréicoles est responsable de modifications courantologiques favorisant la sédimentation. D'autre part, la production de pseudofécès (particules filtrées mais non ingérées, enrobées de mucus) et de fécès par l'huître *Crassostrea gigas* provoque une importante biosédimentation, modifiant la composition biochimique du sédiment (Deslous-Paoli *et al.*, 1992). L'apport consécutif de matières organiques accroît la décomposition bactérienne et le relargage de substances toxiques telles que les sulfures.

Néanmoins, pour confirmer les hypothèses émises, l'étude des performances zootechniques nécessite une analyse plus fine et la contribution de descripteurs environnementaux supplémentaires.

Dans ce sens, plusieurs voies peuvent être suivies simultanément :

- + Détection et quantification des substances toxiques (sulfures, ammoniac,...) dans le sédiment, la colonne d'eau et les matières particulaires en suspension ; confirmation de la toxicité (ou du moins de l'influence sur les performances de croissance et sur la fragilisation des cheptels) de ces substances sur l'huître *Crassostrea gigas*.
- + Relation entre la nature du sol et la quantité de sédiments remise en suspension, à différentes hauteurs de la colonne d'eau.
- + Quantification des ressources trophiques (phytoplancton, phytobenthos, bactéries, matières organiques dissoutes) à différents niveaux de la colonne d'eau.

Cependant, de telles études nécessitent un investissement considérable (en temps et en moyens). De plus, elles sont géographiquement très localisées. Seraient-elles aussi en adéquation avec les attentes directes de la profession ostréicole ?

Les résultats obtenus à ce stade sont déjà conséquents. Ils confirment certaines priorités concernant la gestion des bancs ostréicoles, tel que l'enlèvement des infrastructures d'élevage et l'entretien des parcs mis en friche, ou la diminution des biomasses de filtreurs. D'autre part, cette étude met en avant les relations existant entre les performances de croissance des cheptels et leur position dans la colonne d'eau. Les implications de ces résultats au niveau de la profession concernent le choix plus judicieux de la hauteur des tables d'élevage.

VI. BIBLIOGRAPHIE

- Anonyme, 1985. Guide pour les déversements de produits dangereux. Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada : 716 pp.
- Bacher C., 1989. Capacité trophique du bassin de Marennes-Oléron : couplage d'un modèle de transport particulaire et d'un modèle de croissance de l'huître *Crassostrea gigas*. Aquat. Living Resour., 2 : 199-214.
- Bacher C., M. Héral, J.-M. Deslous-Paoli & D. Razet, 1991. Modèle énergétique uniboite de la croissance des huîtres (*Crassostrea gigas*) dans le bassin de Marennes-Oléron. J. Fish. Aquat. Sci., 48 : 391-404.
- Barillé L. & J. Prou, 1993. Modeling Japanese oyster physiological processes under natural tidal variation in suspended particulate matter. ICES CM/F22.
- Barillé L., M. Héral & A.-L. Barillé-Boyer, 1997. Modélisation de l'écophysiologie de l'huître *Crassostrea gigas* dans un environnement estuarien. Aquat. Living Resour., 10 : 31-48.
- Blanchard G.F., P.-G. Sauriau, V. Cariou-Le Gall, D. Gouleau, M.-J. Garet & F. Olivier, 1997. Kinetics of tidal resuspension of microbiota: testing the effects of sediment cohesiveness and bioturbation using flume experiments. Mar. Ecol. Prog. Ser., 151 : 17-25.
- Bodoy A., 1986. Assessments of natural mortality of cultivated oysters (*Crassostrea gigas*) in the bay of Marennes-Oleron (France). ICES CM/K38.
- Bodoy A., J. Garnier, D. Razet & P. Geairon, 1990. Mass mortalities of oysters (*Crassostrea gigas*) during spring 1988 in the bay of Marennes-Oléron, related to environmental conditions. ICES CM / K11.
- Bougrier S., P. Geairon, J.-M. Deslous-Paoli, C. Bacher & G. Jonquières, 1995. Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg). Aquaculture, 134 : 143-154.
- Brown J.R. & E.B. Hartwick, 1988. Influences of temperature, salinity and available food upon suspended culture of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* II. Condition index and survival. Aquaculture, 70 : 253-267.
- Caldwell R.S., 1975. Hydrogen sulfide effects on selected larval and adult marine invertebrate. Water Resources, Research Institut, 31 : 27 pp.
- Castaing P., 1981. Le transfert à l'océan des suspensions estuariennes. Cas de la Gironde. Thèse, Université de Bordeaux I : 450 pp.

- Clegg J.S., K.R. Uhlinger, S.A. Jackson, G.N. Cherr, E. Rifkin & C.S. Friedmann, 1998. Induced thermotolerance and the heat shock protein-70 family in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Mol. Mar. Biol. and Biotechnology*, 7(1) : 21-30.
- Dechambenoy C., L. Pontier, F. Sirou & J. Vouve, 1977. Apport de la thermographie infrarouge aéroportée à la connaissance de la dynamique superficielle des estuaires (système Charente, Seudre, Anse de l'Aiguillon). *C.r Acad. Sci., Paris* 184 : 1269-1272.
- Forest G., 1997. Etude de la mortalité de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*) sur le banc ostréicole de Ronce-Perquis (bassin de Marennes-Oléron). Rapport de stage : 72 pp. + annexes.
- Deslous-Paoli J.-M., A.-M. Lannou, P. Geairon, S. Bougrier, O. Raillard & M. Héral, 1992. Effects of feeding behaviour of *Crassostrea gigas* (Bivalve Molluscs) on biosedimentation of natural particulate matter. *Hydrobiologia*, 231 : 85-91.
- Friedman C.S., J.H. Beattie, R.A. Elston & R.P. Hedrick, 1991. Investigation of the relationship between the presence of a Gram-positive bacterial infection and summer mortality of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* Thunberg. *Aquaculture*, 94 : 1-15.
- Fruchard P., 1998. Contribution à l'étude de la mortalité estivale de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*) en baie de Marennes-Oléron sur le banc de Ronce-Perquis. Rapport de stage : 35 pp.
- Glude J.B., 1975. A summary report of Pacific coast oyster mortality investigations (1965-1972). Proceedings of the 3rd US Japan meeting on aquaculture at Tokyo, Japan, October, 1974 ; 1-28.
- Gouleau D., G. Blanchard & V. Cariou-Le Gall, 1994. Oxygen production and consumption on an intertidal mudflat during emersion. *Vie Milieu*, 44(2) : 109-115.
- Gouletquer P., 1995. Etat des mortalités sur Ronce les Bains dans le bassin de Marennes-Oléron au 21 juin 1995. *L'Echo des Cabanes*, 10 : 7-8.
- Gouletquer P., P. Soletchnik, O. Le Moine, D. Razet, P. Geairon, N. Faury & S. Taillade, 1998. Summer mortality of the Pacific cupped oyster *Crassostrea gigas* in the bay of Marennes-Oléron (France). ICES Mariculture Committee CM / CC : 14.
- Grizel H. & M. Héral, 1991. Introduction into France of the Japanese oyster (*Crassostrea gigas*). *J. Cons. int. Explor. Mer*, 47 : 399-403.
- Guarini J.-M., G.F. Blanchard, C. Bacher, P. Gros, P. Riera, P. Richard, D. Gouleau, R. Galois, J. Prou & P.-G. Sauriau, 1998. Dynamics of spatial patterns of microphytobenthic biomass : inferences from a geostatistical analysis of two comprehensive surveys in Marennes-Oleron bay (France). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 166 : 131-141.
- Héral, 1989. L'ostréiculture française traditionnelle. *Aquaculture*, vol. 1 (Editeur Barnabé – Ed. Lavoisier TEC &DOC) : 342-387.

Héral M., 1991. Approches de la capacité trophique des écosystèmes conchylicoles : synthèse bibliographique. ICES mar. Sci. Symp., 192 : 48-62.

Héral M., 1993. Mortalités de Ronce les Bains : Etat au 23 juin 1993. Rapport provisoire DRV/RA, DEL : 3pp.

Héral M., J. Prou & J.M. Deslous-Paoli, 1986. Dynamique des productions et des biomasses des huîtres creuses cultivées (*Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas*) dans le bassin de Marennes-Oléron depuis un siècle. ICES CM / F41.

Héral M., D. Razet, J.-M. Deslous-Paoli, J.-P. Berthomé & J. Garnier, 1983. Caractéristiques saisonnières du complexe estuarien de Marennes-Oléron. Rev. Trav. Inst. Pêches Marit., 46 : 97-119.

Héral M., D. Razet & J. Prou, 1989. Acquisition de données en continu sur la matière particulaire de la baie estuarienne de Marennes-Oléron pendant le bloom printanier planctonique : effet sur le taux de filtration de l'huître *Crassostrea gigas*. ICES CM / K34.

Ito S. & T. Imai, 1955. Ecology of oyster bed on the decline of productivity due to repeated cultures. The Tohoku Journal of Agricultural Research, 4 : 251-268.

LABEIM, 1992. Rapport sur les mortalités d'huîtres observées dans la première semaine du mois de juin 1992, sur le banc de Ronce les Bains (commune de la Tremblade) : 10 pp. + annexes.

Laboratoire Central d'Hydraulique de France (LCHF), 1975. Etude sur modèle réduit des phénomènes hydrauliques régissant le bassin ostréicole de Marennes-Oléron. Rapport d'étude LCHF-DDE Charente-Maritime, Maison Alfort : 108 pp.

Lagarde F., 1997. Eléments de l'écophysiologie de l'huître creuse *Crassostrea gigas* issue du banc ostréicole de Ronce. IFREMER-Intechmer, rapport de stage : 42 pp.

Le Moine O., P. Geairon, P. Soletchnik, N. Faury, N. Faury, P. Gouletquer, D. Razet, S. Robert, S. Heurtebise & S. Taillade, 1999. Croissance de l'huître creuse *Crassostrea gigas* (Thunberg) dans le bassin de Marennes-Oléron entre 1987 et 1998. Rapport interne DRV/IFREMER : 32 pp., *sous presse*.

Lodato M., 1997. Mortalité estivale de l'huître creuse *Crassostrea gigas* sur les bancs ostréicoles de Pérquis et Ronce (Bassin de Marennes-Oléron) : Etude des pratiques culturales et des caractéristiques biologiques et spatiales des élevages. Thèse pour le diplôme d'Etat de Docteur Vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes : 127 pp.

Lucas M., 1982. Remarques sur les rendements de production chez les bivalves marins. Haliotis, 61 : 283-288.

Maurer D., M. Comps, E. His, 1987. Caractéristiques des mortalités estivales de l'huître *Crassostrea gigas* dans le bassin d'Arcachon. Haliotis, 15 : 309-317.

Meyers T.R. & S. Short, 1990. Summer mortalities and incidental parasitisms of cultured Pacific oysters in Alaska. *Journal of Aquat. Animal Health*, 2 : 172-176.

Mori K., 1979. Effects of artificial eutrophication on the metabolism of the Japanese oyster *Crassostrea gigas*. *Marine biology*, 53 : 361-369.

Perdue J.A., J.H. Beattie & K.K. Chew, 1981. Some relationships between gametogenic cycle and summer mortality phenomenon in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in Washington State. *Journal of Shellfish Research*, 1 (1) : 9-16.

Raillard O., J.-M.; Deslous-Paoli, M. Héral & D. Razet, 1993. Modélisation du comportement nutritionnel et de la croissance de l'huître japonaise *Crassostrea gigas*. *Oceanologica acta*, 16 (1) : 73-82.

Scherrer, 1984. *Biostatistiques*. Gaëtan Morin Ed. : 850 pp.

Shamseldin A.A., J.S. Clegg, C.S. Friedmann, G.N. Cherr & M.C. Pillai, 1997. Induced thermotolerance in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *J. Shellfish Res.*, 16(2) : 487-491.

Soletchnik P., J. Prou, M. Héral, L. Barillé, D. Razet & L. Guezennec, 1991. Influence de la charge particulaire sur la filtration d'une population d'huîtres *Crassostrea gigas* dans le bassin estuarien de Marennes-Oléron (France) : analyse de deux cycles de marée. ICES CM/F53.

Soletchnik P., D. Razet, P. Geairon, N. Faury & P. Gouletquer, 1997. Ecophysiologie de la maturation sexuelle et de la ponte de l'huître creuse *Crassostrea gigas* : réponses métaboliques (respiration) et alimentaires (filtration, absorption) en fonction des différents stades de maturation. *Aquat. Living Resour.*, 10 : 177-185.

Soletchnik P., N. Faury, D. Razet & P. Gouletquer, 1998a. Hydrobiology of the Marennes-Oléron bay. Seasonal indices and analysis of trends from 1978 to 1995. *Hydrobiologia*, 386 : 131-146.

Soletchnik P., O. Le Moine, N. Faury, D. Razet, P. Geairon, P. Gouletquer & G. Forest, 1998b. Mortalités printanières et estivales de l'huître creuse *Crassostrea gigas* dans le bassin de Marennes-Oléron : étude des élevages situés sur les bancs ostréicoles de Ronce-Perquis. Rapport interne DRV/IFREMER : 56 pp.

Soletchnik P., O. Le Moine, N. Faury, D. Razet, P. Geairon & P. Gouletquer, 1999. Mortalité de l'huître *Crassostrea gigas* dans le bassin de Marennes-Oléron : étude de la variabilité spatiale de son environnement et de sa biologie par un système d'informations géographiques (SIG). *Aquat. Living Resour.*, 12(2) : 1-13

Sornin J.-M., M. Feuillet, M. Héral & J.-M. Deslous-Paoli, 1983. Effets 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.*, Suppl. 12A : 185-197.

Tukey J.W., 1977. *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley, Reading Mass.

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche de terrain

Annexe 2 : Tests de Kruskal-Wallis effectués sur les mortalités cumulées et les taux de mortalité journaliers

Annexe 3 : Détail des "diagrammes en boîte" des taux de mortalité journaliers

Annexe 4 : Moyennes et intervalles de confiance des poids secs

Annexe 5 : Moyennes et intervalles de confiance des poids de coquille

Annexe 6 : Evolution de la température et de la salinité à l'interface eau-sédiment et dans la colonne d'eau

Annexe 7 : Evolution de la concentration en oxygène dissous et de la turbidité à l'interface eau-sédiment et dans la colonne d'eau

ANNEXE 1

Fiche de terrain de l'étude 1999

DATE :																					
ACTEURS :	M : manipulation m : mortalité P : prélèvement SONDE : vérifier si la sonde est ignote Taux oc : taux d'occupation																				
SITE	M1										M2										
	Plat					Table (50cm)					Table (0cm)					Table (25 cm)					
	P	m1	m2	m3	Sonde (y/n)	P	m1	m2	m3	Sonde (y/n)	P	m1	m2	m3	Sonde (y/n)	P	m1	m2	m3	Sonde (y/n)	Taux oc
a																					
b																					
c																					
d																					

- N.B. : -Les fiches de terrains sont divisées selon les deux volets de l'expérience (M1 et M2).
 -Les triplicats des cheptels destinés au comptage des mortalités sont dénommées m1, m2 et m3 (pour chaque condition).

ANNEXE 2

Tests de Kruskal-Wallis effectués sur les mortalités cumulées et les taux de mortalité journaliers

Tableau a : Test de Kruskal-Wallis sur les mortalités cumulées (%) en fonction du type d'élevage (plat ou table) pour chaque site et chaque période.

Site	Période	Probabilité	Effectif
a	1	0,046	6
	2	0,049	6
	3	0,049	6
	4	0,049	6
b	1	0,827	6
	2	0,513	6
	3	0,126	6
	4	0,049	6
c	1	0,049	6
	2	0,049	6
	3	0,049	6
	4	0,049	6

Tableau b : Test de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité journaliers, par période, en fonction du type d'élevage.

Période	Probabilité	Type d'élevage	Effectif
1	0,012	Plat	12
		Table	12
2	0,032	Plat	12
		Table	12
3	0,000	Plat	12
		Table	12
4	0,057	Plat	12
		Table	12

Tableau c : Test de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité journaliers en fonction des sites, pour chaque type d'élevage et pour chaque période.

Type d'élevage	Période	Probabilité	Effectif
Plat	1	0,128	12
	2	0,033	12
	3	0,362	12
	4	0,408	12
Table	1	0,507	12
	2	0,513	12
	3	0,275	12
	4	0,827	12

Tableau d : Test de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité cumulées en fonction du type d'élevage (plat, table 0, 25 ou 50 cm), pour les sites b et c, pour chaque période.

Site	Période	Probabilité	Effectif
b	1	0,965	12
	2	0,855	12
	3	0,098	12
	4	0,042	12
c	1	0,191	12
	2	0,058	12
	3	0,029	12
	4	0,024	12

Tableau e : Test de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité journaliers en fonction du type d'élevage, pour chaque période, sur les sites b et c.

Période	Probabilité	Type d'élevage	Effectif
1	0,393	Plat	6
		Table 0	6
		Table 25	6
		Table 50	6
2	0,787	Plat	6
		Table 0	6
		Table 25	6
		Table 50	6
3	0,001	Plat	6
		Table 0	6
		Table 25	6
		Table 50	6
4	0,016	Plat	6
		Table 0	6
		Table 25	6
		Table 50	6

Tableau f : Test de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité journaliers en fonction de la période, pour les différents types d'élevage.

Type d'élevage	Probabilité	Période	Effectif
Plat	0,000	1	6
		2	6
		3	6
		4	6
Table 0 ou plat "hors sol"	0,000	1	6
		2	6
		3	6
		4	6
Table 25	0,000	1	6
		2	6
		3	6
		4	6
Table 50	0,000	1	6
		2	6
		3	6
		4	6

Tableau g : Test de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité journaliers en fonction du site (b ou c), pour chaque type d'élevage et pour chaque période.

Type d'élevage	Période	Probabilité	Effectif
Plat	1	0,049	6
	2	0,275	6
	3	0,275	6
	4	0,513	6
Table 0	1	0,507	6
	2	0,513	6
	3	0,275	6
	4	0,827	6
Table 25	1	1,000	6
	2	0,275	6
	3	0,127	6
	4	0,513	6
Table 50	1	0,513	6
	2	0,275	6
	3	0,275	6
	4	1,000	6

ANNEXE 3

Détail des « diagrammes en boîte » des taux de mortalités journaliers

Tableau a : « Diagramme en boîte » des taux de mortalité journaliers (%) en fonction du type d'élevage (toutes périodes confondues (figure 11)).

Type d'élevage	Effectif	Médiane	Distribution		Quartiles	
			Minimum	Maximum	Inférieur	Supérieur
Plat	48	0,38	0,03	1,20	0,18	0,68
Table	48	0,20	0,00	0,86	0,07	0,56

Tableau b : « Diagramme en boîte » des taux de mortalité journaliers (%) en fonction de la période pour les élevages à plat (figure 12).

Période	Effectif	Médiane	Distribution		Quartiles	
			Minimum	Maximum	Inférieur	Supérieur
1	12	1,02	0,54	1,17	0,83	1,07
2	12	0,47	0,18	1,20	0,36	0,58
3	12	0,30	0,15	0,53	0,24	0,38
4	12	0,12	0,03	0,31	0,07	0,17

Tableau c : « Diagramme en boîte » des taux de mortalité journaliers (%) en fonction de la période pour les élevages sur table 25 cm (figure 13).

Période	Effectif	Médiane	Distribution		Quartiles	
			Minimum	Maximum	Inférieur	Supérieur
1	12	0,75	0,58	0,86	0,64	0,82
2	12	0,33	0,18	0,53	0,27	0,40
3	12	0,09	0,04	0,20	0,07	0,09
4	12	0,06	0,00	0,21	0,03	0,14

Tableau d : « Diagramme en boîte » des taux de mortalité journaliers (%) en fonction du type d'élevage pour les périodes 3 et 4 (sites b et c) (figure 16).

Période	Type d'élevage	Effectif	Médiane	Distribution		Quartiles	
				Minimum	Maximum	Inférieur	Supérieur
3	Plat	6	0,31	0,16	0,38	0,23	0,38
	Table 0	6	0,26	0,11	0,40	0,21	0,33
	Table 25	6	0,07	0,04	0,20	0,07	0,09
	Table 50	6	0,06	0,02	0,13	0,02	0,09
4	Plat	6	0,15	0,05	0,29	0,11	0,19
	Table 0	6	0,08	0,02	0,16	0,07	0,12
	Table 25	6	0,04	0,00	0,21	0,02	0,07
	Table 50	6	0,02	0,00	0,11	0,00	0,05

Tableau e : « Diagrammes en boîte » des taux de mortalité journaliers (%) en fonction de la période, pour chaque type d'élevage (sites b et c) (figures 17 et 18).

Type d'élevage	Période	Effectif	Médiane	Distribution		Quartiles	
				Minimum	Maximum	Inférieur	Supérieur
Plat	1	6	0,97	0,34	1,14	0,72	1,08
	2	6	0,36	0,18	0,51	0,31	0,43
	3	6	0,31	0,16	0,38	0,23	0,38
	4	6	0,15	0,05	0,29	0,11	0,19
Table 0	1	6	0,81	0,75	1,14	0,78	0,86
	2	6	0,29	0,19	0,55	0,25	0,37
	3	6	0,26	0,11	0,40	0,21	0,33
	4	6	0,08	0,02	0,16	0,07	0,12
Table 25	1	6	0,79	0,58	0,86	0,67	0,86
	2	6	0,32	0,18	0,41	0,22	0,40
	3	6	0,07	0,04	0,20	0,07	0,09
	4	6	0,04	0,00	0,21	0,02	0,07
Table 50	1	6	0,74	0,53	1,02	0,69	0,86
	2	6	0,28	0,24	0,44	0,26	0,43
	3	6	0,06	0,02	0,13	0,02	0,09
	4	6	0,02	0,00	0,11	0,00	0,05

ANNEXE 4

Moyennes et intervalles de confiance des poids secs

Tableau a : Moyennes et intervalles de confiance des poids secs (g) sur le site a (en fonction de la date et des deux types d'élevage).

Date	TYEL	Poids sec (en g)	Limite inf.	Limite sup.	Effectif de l'analyse
1/4	Plat	0,32	0,29	0,36	30
1/4	Table	0,32	0,29	0,36	30
19/4	Plat	0,31	0,25	0,37	30
19/4	Table	0,35	0,29	0,41	30
17/5	Plat	0,41	0,35	0,47	30
17/5	Table	0,56	0,50	0,63	30
14/6	Plat	0,84	0,78	0,90	30
14/6	Table	1,09	1,02	1,15	29
12/6	Plat	1,10	1,04	1,16	30
12/6	Table	1,22	1,16	1,28	30

Tableau b : Moyennes et intervalles de confiance des poids secs (g) sur le site b (en fonction de la date et des deux types d'élevage).

Date	TYEL	Poids sec (en g)	Limite inf.	Limite sup.	Effectif de l'analyse
1/4	Plat	0,32	0,29	0,36	30
1/4	Table	0,32	0,29	0,36	30
19/4	Plat	0,30	0,23	0,36	30
19/4	Table	0,41	0,34	0,47	30
17/5	Plat	0,40	0,33	0,46	30
17/5	Table	0,51	0,45	0,58	30
14/6	Plat	0,72	0,65	0,78	30
14/6	Table	1,04	0,97	1,11	30
12/6	Plat	0,84	0,77	0,90	30
12/6	Table	1,50	1,44	1,57	30

Tableau c : Moyennes et intervalles de confiance des poids secs (g) sur le site c (en fonction de la date et des deux types d'élevage).

Date	TYEL	Poids sec (en g)	Limite inf.	Limite sup.	Effectif de l'analyse
1/4	Plat	0,32	0,29	0,36	30
1/4	Table	0,32	0,29	0,36	30
19/4	Plat	0,30	0,23	0,37	27
19/4	Table	0,35	0,28	0,41	30
17/5	Plat	0,39	0,32	0,46	30
17/5	Table	0,62	0,56	0,69	30
14/6	Plat	0,76	0,69	0,83	30
14/6	Table	1,26	1,19	1,32	30
12/6	Plat	0,83	0,76	0,90	30
12/6	Table	1,73	1,66	1,80	30

Tableau d : Moyennes et intervalles de confiance des poids secs (g) sur le site d (en fonction de la date et des deux types d'élevage).

Date	TYEL	Poids sec (en g)	Limite inf.	Limite sup.	Effectif de l'analyse
1/4	Plat	0,32	0,29	0,36	30
1/4	Table	0,32	0,29	0,36	30
19/4	Plat	0,32	0,25	0,40	30
19/4	Table	0,39	0,31	0,46	30
17/5	Plat	0,56	0,48	0,64	30
17/5	Table	0,67	0,59	0,74	30
14/6	Plat	1,11	1,03	1,18	30
14/6	Table	1,28	1,21	1,36	30
12/6	Plat	1,35	1,27	1,42	30
12/6	Table	1,46	1,39	1,54	30

Tableau e : Moyennes et intervalles de confiance des poids secs (g) sur le site b (en fonction de la date et des quatre types d'élevage).

Date	TYEL	Poids sec (en g)	Limite inf.	Limite sup.	Effectif de l'analyse
1/4	Plat	0,32	0,29	0,36	30
1/4	Table 0	0,32	0,29	0,36	30
1/4	Table 25	0,32	0,29	0,36	30
1/4	Table 50	0,32	0,29	0,36	30
19/4	Plat	0,30	0,23	0,36	30
19/4	Table 0	0,29	0,23	0,36	30
19/4	Table 25	0,41	0,34	0,47	30
19/4	Table 50	0,36	0,29	0,42	30
17/5	Plat	0,40	0,33	0,46	30
17/5	Table 0	0,51	0,44	0,57	30
17/5	Table 25	0,51	0,45	0,58	30
17/5	Table 50	0,56	0,49	0,63	30
14/6	Plat	0,72	0,65	0,78	30
14/6	Table 0	0,85	0,79	0,92	30
14/6	Table 25	1,04	0,98	1,11	30
14/6	Table 50	1,21	1,15	1,28	30
12/7	Plat	0,84	0,77	0,90	30
12/7	Table 0	1,31	1,24	1,37	30
12/7	Table 25	1,50	1,44	1,57	30
12/7	Table 50	1,39	1,33	1,46	30

Tableau f : Moyennes et intervalles de confiance des poids secs (g) sur le site c (en fonction de la date et des quatre types d'élevage).

Date	TYEL	Poids sec (en g)	Limite inf.	Limite sup.	Effectif de l'analyse
1/4	Plat	0,32	0,29	0,36	30
1/4	Table 0	0,32	0,29	0,36	30
1/4	Table 25	0,32	0,29	0,36	30
1/4	Table 50	0,32	0,29	0,36	30
19/4	Plat	0,30	0,23	0,37	27
19/4	Table 0	0,32	0,25	0,38	30
19/4	Table 25	0,35	0,28	0,41	30
19/4	Table 50	0,39	0,32	0,45	30
17/5	Plat	0,39	0,33	0,46	30
17/5	Table 0	0,43	0,36	0,49	30
17/5	Table 25	0,62	0,56	0,69	30
17/5	Table 50	0,77	0,70	0,83	30
14/6	Plat	0,76	0,69	0,83	30
14/6	Table 0	0,66	0,59	0,72	30
14/6	Table 25	1,26	1,19	1,32	30
14/6	Table 50	1,37	1,31	1,44	30
12/7	Plat	0,83	0,76	0,89	30
12/7	Table 0	0,84	0,77	0,90	30
12/7	Table 25	1,73	1,66	1,79	30
12/7	Table 50	1,49	1,42	1,55	30

ANNEXE 5

Moyennes et intervalles de confiance des poids de coquille

Tableau a : Moyennes et intervalles de confiance des poids de coquille sur le site a (en fonction de la date et des deux types d'élevage).

Date	TYEL	Poids de coquille (en g)	Limite inf.	Limite sup.	Effectif de l'analyse
1/4	Plat	16,3	15,4	17,1	30
1/4	Table	16,3	15,4	17,1	30
17/5	Plat	16,5	15,0	18,1	30
17/5	Table	19,5	18,0	21,1	30
14/6	Plat	17,7	16,1	19,2	29
14/6	Table	17,8	16,2	19,4	30
12/6	Plat	18,5	17,0	20,1	30
12/6	Table	18,5	17,0	20,1	30

Tableau b : Moyennes et intervalles de confiance des poids de coquille sur le site b (en fonction de la date et des deux types d'élevage).

Date	TYEL	Poids de coquille (en g)	Limite inf.	Limite sup.	Effectif de l'analyse
1/4	Plat	16,3	15,4	17,1	30
1/4	Table	16,3	15,4	17,1	30
17/5	Plat	17,4	15,8	19,0	30
17/5	Table	17,9	16,3	19,5	30
14/6	Plat	17,1	15,5	18,8	30
14/6	Table	18,0	16,3	19,6	30
12/6	Plat	17,7	16,1	19,4	30
12/6	Table	21,2	19,6	22,8	30

Tableau c : Moyennes et intervalles de confiance des poids de coquille sur le site c (en fonction de la date et des deux types d'élevage).

Date	TYEL	Poids de coquille (en g)	Limite inf.	Limite sup.	Effectif de l'analyse
1/4	Plat	16,3	15,4	17,1	30
1/4	Table	16,3	15,4	17,1	30
17/5	Plat	15,7	14,1	17,3	30
17/5	Table	16,8	15,2	18,4	30
14/6	Plat	16,2	14,6	17,8	30
14/6	Table	18,7	17,1	20,3	30
12/6	Plat	17,8	16,2	19,4	30
12/6	Table	23,1	21,5	24,7	30

Tableau d : Moyennes et intervalles de confiance des poids de coquille sur le site d (en fonction de la date et des deux types d'élevage).

Date	TYEL	Poids de coquille (en g)	Limite inf.	Limite sup.	Effectif de l'analyse
1/4	Plat	16,3	15,4	17,1	30
1/4	Table	16,3	15,4	17,1	30
17/5	Plat	17,9	16,3	19,4	30
17/5	Table	17,5	15,9	19,1	30
14/6	Plat	19,3	17,7	20,8	30
14/6	Table	19,2	17,7	20,8	30
12/6	Plat	20,3	18,7	21,9	30
12/6	Table	20,1	18,5	21,7	30

Tableau e : Moyennes et intervalles de confiance des poids de coquille sur le site b (en fonction de la date et des quatre types d'élevage).

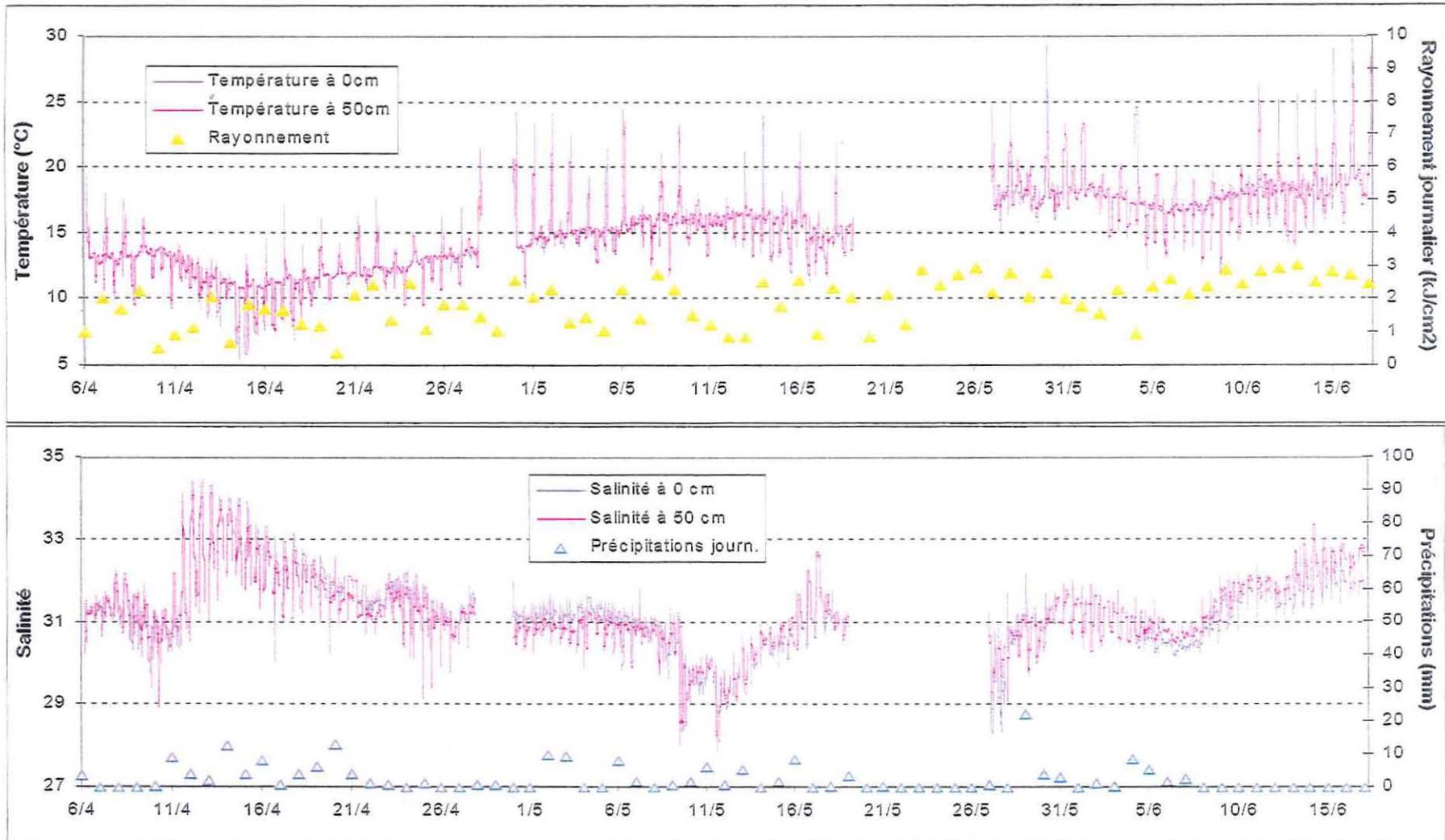
Date	TYEL	Poids de coquille (en g)	Limite inf.	Limite sup.	Effectif de l'analyse
1/4	Plat	16,3	15,4	17,1	30
1/4	Table 0	16,3	15,4	17,1	30
1/4	Table 25	16,3	15,4	17,1	30
1/4	Table 50	16,3	15,4	17,1	30
17/5	Plat	17,4	15,8	19,0	30
17/5	Table 0	17,3	15,7	18,9	30
17/5	Table 25	17,9	16,3	19,5	30
17/5	Table 50	18,1	16,5	19,7	30
14/6	Plat	17,1	15,5	18,7	30
14/6	Table 0	16,4	14,8	18,0	30
14/6	Table 25	18,0	16,4	19,6	30
14/6	Table 50	19,8	18,2	21,4	30
12/7	Plat	17,7	16,2	19,3	30
12/7	Table 0	21,4	19,8	23,0	30
12/7	Table 25	21,2	19,6	22,8	30
12/7	Table 50	20,5	18,9	22,1	30

Tableau f : Moyennes et intervalles de confiance des poids de coquille sur le site c (en fonction de la date et des quatre types d'élevage).

Date	TYEL	Poids de coquille (en g)	Limite inf.	Limite sup.	Effectif de l'analyse
1/4	Plat	16,3	15,4	17,1	30
1/4	Table 0	16,3	15,4	17,1	30
1/4	Table 25	16,3	15,4	17,1	30
1/4	Table 50	16,3	15,4	17,1	30
17/5	Plat	15,7	14,1	17,3	30
17/5	Table 0	17,6	16,0	19,2	30
17/5	Table 25	16,8	15,2	18,4	30
17/5	Table 50	20,6	19,0	22,2	30
14/6	Plat	16,2	14,6	17,8	30
14/6	Table 0	17,8	16,2	19,4	30
14/6	Table 25	18,7	17,1	20,3	30
14/6	Table 50	20,8	19,2	22,4	30
12/7	Plat	17,8	16,2	19,4	30
12/7	Table 0	17,2	15,6	18,8	30
12/7	Table 25	23,1	21,5	24,7	30
12/7	Table 50	21,0	19,4	22,9	30

ANNEXE 6

Evolution de la température et de la salinité à l'interface eau-sédiment et dans la colonne d'eau (50 cm)



ANNEXE 7

Evolution et de la concentration en oxygène dissous et de la turbidité à l'interface eau-sédiment et dans la colonne d'eau (50 cm)

