IFREMER
BIBLIOTHEQUE
LA TREMBLADE

UNIVERSITE DE ROUEN

RAPPORT DE STAGE

IFREMER
Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes

Etude de la mortalité estivale de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*) sur le banc ostréicole de Ronce-Perquis (bassin de Marennes-Oléron).

DESS ENVIRONNEMENT
SOLS - EAUX CONTINENTALES et MARINES
(1996-1997)

Gwénaëlle FOREST

IFREMER

SOMMAIRE

Pages

REMERCIEMENTS

I. INTRODUCTION 1

1.1. Présentation du Bassin de Marennes-Oléron 1
1.2. Les phénomènes de mortalité 4
1.3. Etudes antérieures 7
1.4. Les objectifs de l'étude 1997 9

II. MATERIELS ET METHODES 13

2.1. Plan d'échantillonnage 13

2.1.1. Le matériel biologique 14
2.1.2. Les sites ateliers 14
2.1.3. La stratégie d'échantillonnage 14
2.1.4. Les contraintes 17

2.2. Les descripteurs de la population d'huîtres 19

2.2.1. Travail sur le terrain 19
2.2.2. Analyses de laboratoire 21

2.3. Suivi des paramètres environnementaux 22

2.3.1. La vase 22
2.3.2. Températures sur les sites ateliers 24
2.3.3. Les paramètres hydrologiques 24

2.4. Traitements informatiques 28

2.4.1. Traitements statistiques 28
2.4.2. Système d'Information Géographique 30

III. RESULTATS 31

3.1. Biométrie 31

3.1.1. Les poids de coquille 31
3.1.2. Les poids secs 32
3.1.3. Les gains de poids sec 35

3.2. Maturation et ponte 37

3.2.1. Maturation 37
3.2.2. "L'effort de ponte" 40

3.3. Composition biochimique de la chair sèche des huîtres 41

3.3.1. Les protéines 42
3.3.2. Les lipides 42
3.3.3. Les glucides 43
3.3.4. Le glycogène 43

3.4. Les mortalités 43

3.4.1. La mortalité cumulée 43
3.4.2. Taux de mortalité journaliers (TMJM) 45

3.5. Analyses des paramètres environnementaux 52

3.5.1. Les mesures de saturation en oxygène et de pH 52
3.5.2. Les mesures des températures 55

IV. DISCUSSION 58

4.1. Méthodologie 58
4.2. Croissance, maturation et ponte 59
4.3. La mortalité estivale 62

V. CONCLUSION 68

VI. BIBLIOGRAPHIE 70

ANNEXES

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout d'abord Monsieur Philippe GOULLETQUER, chef du Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes (LCPC), pour m'avoir accueillie dans son laboratoire, pour l'intérêt qu'il a toujours porté à mon travail et pour sa sympathie.

Je tiens également à remercier Monsieur Patrick SOLETCHNIK, pour avoir encadré mon travail, pour la patience dont il a fait preuve tout au long de mon travail. Ses compétences, sa sportivité au sens propre comme au sens figuré ainsi que ses talents de chanteur m'ont permis de travailler dans de très bonnes conditions.

Je tiens ensuite à remercier Monsieur Olivier LE MOINE, pour ses compétences dans le domaine des Systèmes d'Informations Géographiques et sa connaissance du milieu ostréicole. Sa nonchalante bonne humeur et sa convivialité font également partie de ses qualités.

Je tiens ensuite à remercier Monsieur Daniel RAZET pour ses compétences dans le domaine informatique et sa faculté à comprendre les chimistes. Sa perpétuelle bonne humeur et sa faculté à positiver en toute circonstance m'ont permis d'effectuer un stage très agréable, même si son sens du second degré m'a parfois donné « l'amie gwen »!...

Je tiens à remercier Nicole FAURY, Sylvie TAILLADE, Philippe GEAIRON pour l'aide qu'ils m'ont apportée tout au long de mon travail et leur gentillesse, Paul GRAS pour sa rapidité légendaire à ouvrir les huîtres.

J'exprime enfin toute ma gratitude envers Florence ALBERT-RIVET, Delphine DECK, Franck LAGARDE, Jean-Luc SEUGNET et l'équipe du Département de l'Environnement Littoral.

I. INTRODUCTION

1.1. Présentation du Bassin de Marennes-Oléron

Sur le plan géographique, le **Bassin de Marennes-Oléron** se situe sur la façade Ouest de la France, au bord de l'océan Atlantique (figure 1).

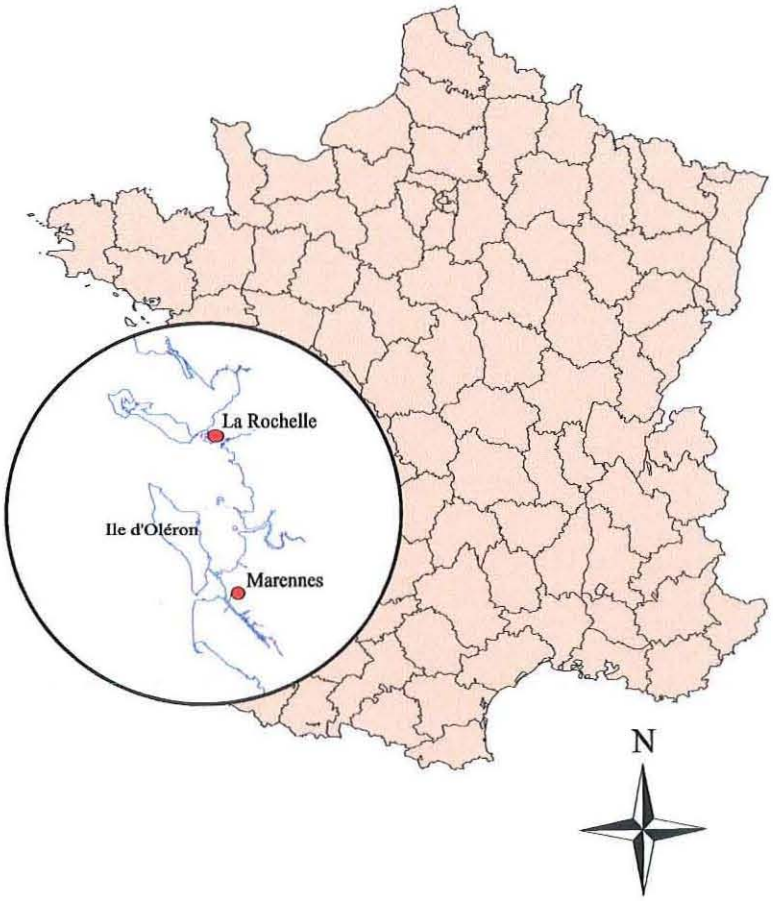


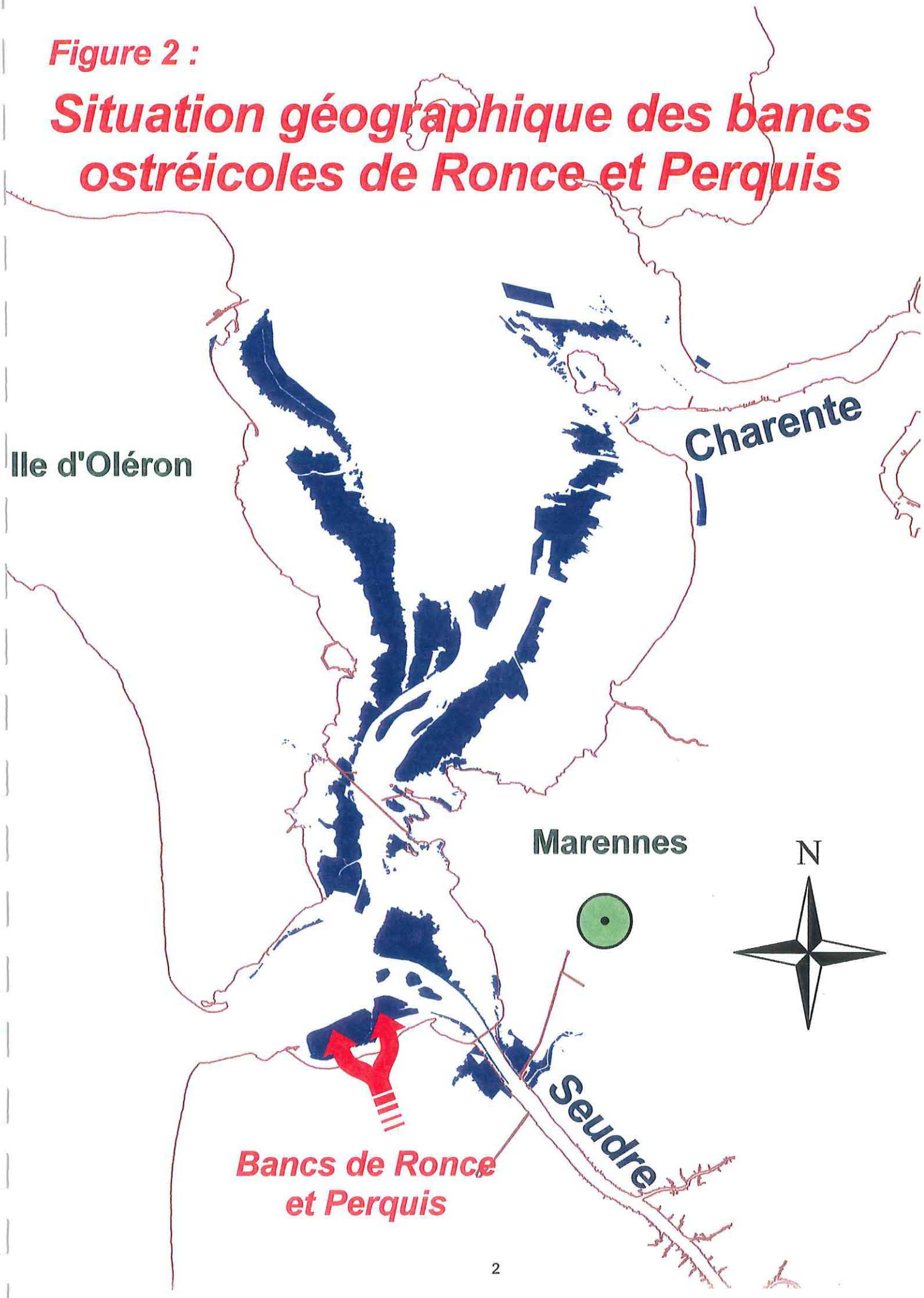
Figure 1 : Situation géographique du Bassin de Marennes-Oléron (d'après Le Moine).

Ces 150 km^2 de superficie limitée au Nord par l'estuaire de la Charente, au Sud par celui de la Seudre, à l'Est par le continent et à l'Ouest par l'Ile d'Oléron abritent, en effet une importante activité conchylicole. Les deux cours d'eau qui se jettent dans ce bassin ont des caractéristiques différentes. En effet, au Nord, la Charente possède un débit important de 10 à 400 m^3 contre 0 à 40 m^3 pour la Seudre plus au Sud (Faury *et al.*, 1993). La frange littorale s'organise en marais pénétrés par de multiples chenaux qui assurent leur alimentation en eau de mer.

Les bancs voisins de Ronce et de Perquis sont quant à eux, inclus sur la rive Sud du pertuis de Maumusson (figure 2).

Figure 2 :

Situation géographique des bancs ostréicoles de Ronce et Perquis



La situation géographique particulière des bancs de Ronce et Perquis par rapport au reste du bassin implique l'existence de paramètres spécifiques de cette zone de culture sur estran.

Ainsi, les bancs de Ronce et Perquis étant situés le plus au Sud du Bassin de Marennes-Oléron, ceux-ci ne se trouvent que peu irrigués par la veine de courant principal de circulation générale Nord-Sud. Les apports d'eau océanique se font au Nord par le large pertuis d'Antioche, et au Sud par l'étroit pertuis de Maumusson. Mais, au niveau du pertuis de Maumusson, la quantité d'eau sortante est 2,2 fois plus importante que l'apport d'eau océanique entrant en période de vives-eaux (Bodoy, 1990).

D'autre part, les bancs de Ronce et Perquis constituent la zone d'élevage située le plus haut sur l'estran dans le Bassin de Marennes-Oléron avec, en terme de marée, un sommet qui découvre par un coefficient de 30. En moyenne annuelle, cette zone découvre environ 30 % du temps (Bodoy, 1990).

En conséquence, les bancs de Ronce et Perquis se caractérisent par un apport courantologique amoindri par rapport au reste du bassin et des temps d'exondation supérieurs. Il s'agit également de deux zones ostréicoles stratégiquement importantes pour tout le Sud du Bassin de Marennes-Oléron. L'endroit est bien protégé des mauvaises conditions météorologiques.

Sur les estrans des pertuis Charentais, 4 500 hectares représentant quelques 32 000 concessions sont concédés en 1996 aux activités conchylicoles (Populus et al., 1996). Les bancs de Ronce et de Perquis représentent 1 600 concessions réparties sur 175 hectares (Fournier com. pers., 1997).

Sur le plan économique, le stock est de 110 000 tonnes d'huîtres creuses, pour une production commercialisée annuellement d'environ 30 000 à 40 000 tonnes (soit 20 % de la production nationale). Le tonnage affiné et commercialisé est de 60 000 tonnes (soit 40 % de la production française). Ainsi le Bassin de Marennes-Oléron est le premier bassin ostréicole européen. Le Bassin de Marennes-Oléron est aussi un site de captage et de demi-élevage. Cette valeur ajoutée à chaque stade de production représente également une donnée économique non négligeable.

Les deux sites de Ronce et Perquis sont responsables de 8 à 10 000 tonnes d'huîtres creuses produites et commercialisées par le bassin.

L'élevage pratiqué sur les bancs de Ronce et Perquis (désignés plus usuellement sous le terme de banc de Ronce) affiche de surcroît, d'excellents taux de croissance comparativement au reste du bassin (Réseau REMORA (Goyard *et al.*, 1997)) (annexe 1).

Les bancs de Ronce et Perquis tiennent donc une place non négligeable dans l'économie du Bassin de Marennes-Oléron. De plus, certaines entreprises ne disposent de parcs de grossissement que sur ce banc.

A ce titre, la chronicité des mortalités d'huîtres creuses observées depuis 1988 est à l'origine de pertes économiques conséquentes pour les entreprises ostréicoles (environ 20 % de la production chaque année).

1.2. Les phénomènes de mortalité

Des mortalités massives de bivalves cultivés ont été communément observées, à travers les temps et à travers le monde (Sindermann, 1976). Il y a encore quelques années, leurs causes étaient souvent classées comme "d'origine inconnue", l'identification de ces dernières étant très difficile. Mais le développement de la recherche pathologique depuis ces quinze dernières années a permis d'identifier plusieurs organismes pathogènes qui étaient à l'origine de mortalités sur des populations de mollusques. Différentes pathologies ont été à l'origine de baisses de production parfois considérables tout au long de l'histoire de la production d'huîtres en France (figure 3).

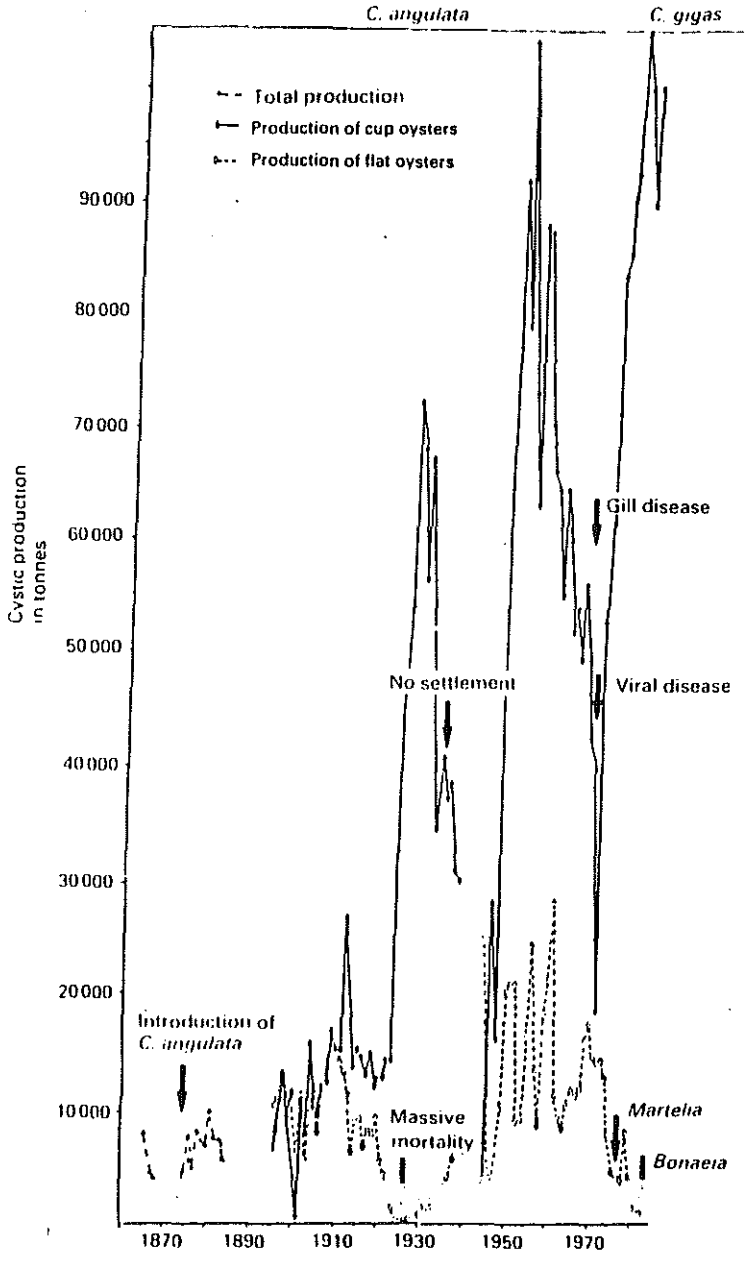


Figure 3 : Evolution de la production d'huîtres en France de 1865 à 1983 (d'après Héral *et al.*, 1986).

Par exemple, de 1966 à 1969, dans plusieurs régions de production française d'huître, l'huître portugaise a été atteinte par une maladie des branchies. L'huître plate, *Ostrea edulis* fut attaquée successivement par *Marteilia refringens* à partir de 1974 et *Bonamia ostreae* à partir de 1979. Les parasites sont apparus sur l'ensemble des centres de production (Héral, 1989).

Les mortalités de mollusques étaient parfois mises en relation avec l'action de facteurs autres que des agents pathogènes. Des populations de prédateurs peuvent dramatiquement augmenter et des changements physico-chimiques dans l'environnement peuvent avoir pour conséquence des mortalités localisées massives, impliquant des aires géographiques restreintes, telles que l'embouchure de rivière (Nikolic, 1964). Plus récemment, des perturbations environnementales ont été mentionnées en tant qu'agents responsables de mortalités d'huître, par exemple, le résultat d'une crise écologique (eutrophisation) (Mori, 1979), ou l'impact de polluants (e.g.,TBT, Héral et al., 1989).

D'après Sindermann (1976), les mortalités d'huîtres et leurs effets peuvent être classés en trois groupes :

- des mortalités "d'arrière plan", intervenant à n'importe quelle étape de l'histoire, souvent liées à une mauvaise gestion zootechnique (Héral, 1986),
- des mortalités massives localisées, touchant des surfaces géographiques restreintes et tuant 100 % de la population (e. g. anoxie),
- des mortalités massives étendues, touchant de larges surfaces géographiques et ayant pour conséquence des diminutions significatives de la production d'huîtres (e. g. épizooties).

Des mortalités appartenant à la dernière catégorie ont été rencontrées depuis quelques années le long des côtes françaises, au moins pour les deux espèces d'huîtres cultivées. A partir de 1967, l'huître portugaise (*Crassostrea angulata*) cultivée principalement dans les baies d'Arcachon et de Marennes-Oléron a été affectée par une maladie caractérisée par des lésions au niveau des branchies. De 1970 à 1972, les huîtres de cette espèce ont développé un second syndrome. Des mortalités massives entre 1970 et 1973 ont causé la disparition de l'huître portugaise des côtes françaises. Les populations d'huîtres plates européennes, *Ostrea edulis*, ont également été décimées par de fortes mortalités, a peu près à la même époque par les deux organismes pathogènes cités précédemment. L'huître japonaise *(Crassostrea gigas)* a été introduite massivement en France dans le but de remplacer l'huître portugaise. Ces importations effectuées de 1971 à 1975 concernent des géniteurs provenant de Colombie Britannique (Canada) et du naissain en provenance du Japon. De bonnes performances de croissance et le succès du captage sur la côte atlantique française traduisent la réussite de l'implantation de cette espèce dont la production atteint dès 1976, 80 000 tonnes (Grizel et Héral, 1991).

Des problèmes de capacités trophiques des bassins conchylicoles ont également été étudiés. Des modèles globaux puis analytiques permettant d'estimer la capacité trophique des écosystèmes cultivés par l'ostréiculture ont été mis en place. Ils tiennent compte, de la valeur nutritive intrinsèque du bassin et de l'impact de la densité des élevages sur la nourriture disponible. Ces modèles représentent l'évolution de la production totale et du rendement (production/biomasse) en fonction de la biomasse présente dans un bassin donné. Cette approche permet de vérifier l'existence de phénomènes de densité-dépendance et de définir

analytiquement les termes de la régulation du cheptel : biomasse, durée du cycle d'élevage et taux de survie. Ainsi, le suivi dans le temps, des performances de croissance montre un allongement marqué des temps de croissance parallèlement à une augmentation des mortalités chroniques (figure 4) aussi bien pour l'huître portugaise que pour l'huître japonaise (Héral, 1991). Ainsi, dans le Bassin de Marennes-Oléron, le seuil de biomasse en culture à ne pas dépasser a été calculé afin de maintenir des rendements de production appropriés.

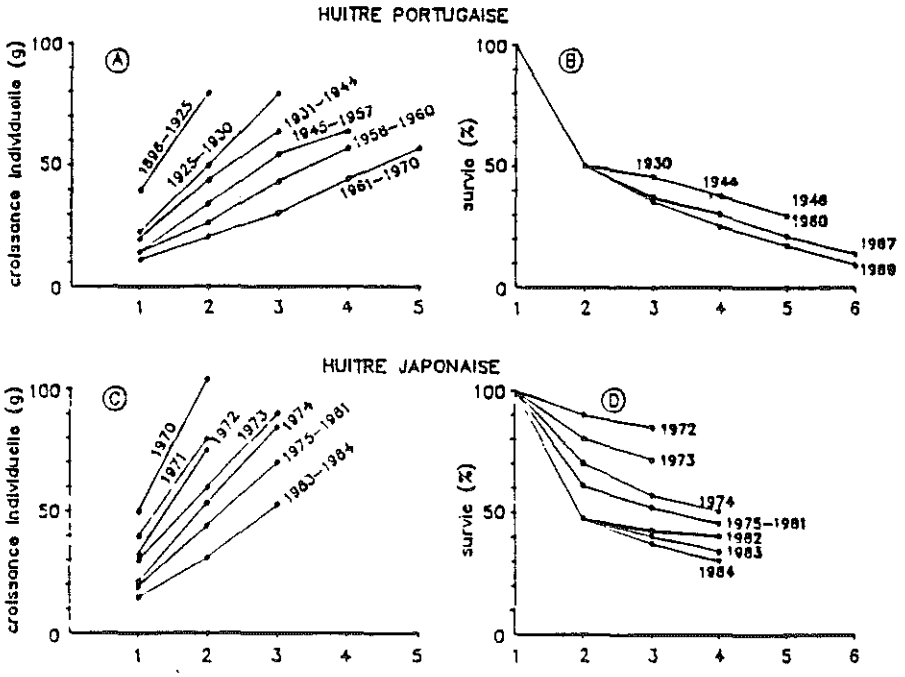


Figure 4 : Evolution des temps de croissance nécessaires pour obtenir une huître commercialisable, (A) huîtres portugaises ; (C) huîtres japonaises et des taux de survie après la première année d'élevage, (B) huîtres portugaises ; (D) huîtres japonaises dans le Bassin de Marennes-Oléron (d'après Héral *et al.*, 1986).

Dans le bassin de Marennes-Oléron, l'information sur les mortalités est prise en compte depuis 1983 par le réseau de suivi de croissance et depuis 1993 par le réseau national REMORA (annexe 1). Depuis 1983, la mortalité augmentant de façon ponctuelle sur certains sites du bassin, des suivis ont été mis en place. S'agissant de suivis ponctuels, la mortalité n'est pas toujours mesurée de la même façon, parfois sur une ou deux marées (cas de la crise de mai 1988 ou juin 1993). Dans d'autre cas, la mortalité est mesurée en mai ou juin (1995,1996) cumulée sur un mois, ou cumulée sur une année (1989,1992) (Soletchnik, com. pers.,1996). Entre 1984 et 1986, des mortalités d'arrière plan étaient fréquentes, pouvant atteindre des valeurs de 21 % par an (Bodoy, 1986). Mais depuis quelques années, les mortalités ont commencé à dépasser notablement les valeurs moyennes enregistrées les années précédentes.

1.3. Etudes antérieures

D'un point de vue historique, il est utile de rappeler que depuis 1988, année où 8 000 tonnes d'huîtres avaient été perdues, des mortalités chroniques sur les bancs de Ronce et Perquis affectent de façon hétérogène les rendements de production en huîtres des élevages à plat. **Des mortalités par tache et d'intensité variable (15 à 50 %) touchent les cheptels d'huîtres adultes chaque année pendant les périodes de juin à juillet.** Ces mortalités ont amené la profession à déposer à plusieurs reprises des plaintes contre X, considérant qu'elles résultaient de phénomènes de pollution. Par ailleurs, aucune mortalité anormale ne semble affecter les élevages d'huîtres dans cette zone.

Ce phénomène de mortalité estivale ainsi décrit a donné cours depuis 1988 à diverses hypothèses explicatives.

L'hypothèse d'une origine toxique a été précocement écartée. En effet, les tests relatifs à la qualité des eaux impliquant une toxicité naturelle phytoplanctonique ou industrielle sont systématiquement négatifs (Bodoy et al., 1990 ; LABEIM, 1992 ; Héral et al., 1993).

Au cours des années précédentes, des prélèvements ont été également effectués pour réaliser des analyses pathologiques. Si des anomalies branchiales ou encore des inclusions intracytoplasmiques ont été ponctuellement observées, l'hypothèse d'une cause infectieuse n'a jamais été validée et parfois même écartée (LABEIM, 1992).

L'insuffisance des réserves trophiques ayant été soupçonnée comme pouvant être à l'origine des phénomènes de mortalité, la modélisation des capacités trophiques a également été mise en relation avec des chutes de production (figure 3). Ces modèles n'ont pas permis d'expliquer les mortalités ponctuelles observées.

Finalement, la plupart des conclusions retenues au cours des années antérieures font état d'un processus de stress thermique précédé d'une "détresse physiologique". D'autre part, en période de maturation sexuelle avancée, *Crassostrea gigas* présente un potentiel de croissance faible, voire négatif qui précise d'une certaine façon cette "détresse physiologique" (Soletchnik et al., 1997). En effet, les huîtres ont un métabolisme différent en période de gamétogénèse.

Aucune étude spécifique et locale, destinée à vérifier des hypothèses n'avait été entreprise jusqu'en 1995 sur les bancs de Ronce et Perquis. La pression socio-économique au sein du secteur ostréicole de Marennes-Oléron aidant, l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER (IFREMER) a donc renforcé ses programmes, confortés par la suite au niveau d'une contractualisation avec les professionnels.

En effet, en 1995 des suivis de paramètres environnementaux au moyen de sondes océanographiques ont été réalisés directement sur les zones ostréicoles concédées afin d'évaluer les facteurs de stress que pouvaient subir les huîtres en élevage. Parallèlement, ce secteur a été considéré comme un site pilote pour le développement d'un Système d'Information Géographique (S.I.G.) sur Marennes-Oléron. 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 (Goulletquer, 1996).

En 1996, le programme spécifique a été élargi afin de rechercher les facteurs pouvant influencer l'apparition des mortalités. A la différence d'une approche expérimentale contrôlant quelques paramètres, la démarche engagée a été globale et multifactorielle. Une méthodologie d'évaluation des taux de mortalité d'un point de vue spatio-temporel a été étudiée en effectuant un prééchantillonnage nécessaire au développement d'une stratégie d'échantillonnage adaptée à ce problème (Lodato, 1997). En plus du contexte d'évaluation, plusieurs actions ont visé à analyser le déterminisme de ces mortalités. Les pratiques culturales et les caractéristiques biologiques et spatiales des élevages ont ainsi été étudiées (Lodato, 1997). L'ensemble des résultats a été incorporé sous forme de bases de données sous Arc View constituant le support du Système d'Information Géographique (S.I.G.). Parallèlement, le contexte environnemental a fait l'objet de suivis en continu au moyen de sondes température, multiparamétrique, et d'un valvomètre. Ces suivis ont permis d'évaluer quantitativement les facteurs stress au niveau des parcs d'élevages présentant des mortalités. **Globalement, l'état physiologique initial des huîtres et l'origine des lots conditionnent peu l'apparition des mortalités. Par contre, les performances biologiques et les pratiques culturales induisent une fragilisation des individus se traduisant ultérieurement par des taux de mortalité supérieurs.** L'élevage en "une à une" pourrait constituer non seulement une cause directe de mortalité mais également un facteur favorisant la fragilisation d'individus ayant subi un stress de manipulation. Compte tenu des différences significatives des taux de mortalité entre un cheptel disposé à plat et en surélevé sur un même site, **il apparaît que les conditions environnementales au niveau de l'interface eau/sédiment constituent un facteur déterminant dans l'apparition des mortalités chroniques et ceci dès l'élévation printanière des températures (figure 5).** La comparaison des fluctuations de température au niveau des élevages en surélevé et à plat a permis de montrer que ces derniers pouvaient subir des températures maximales proches de 50°C et un différentiel thermique proche de 30°C en moins d'une heure et demie.

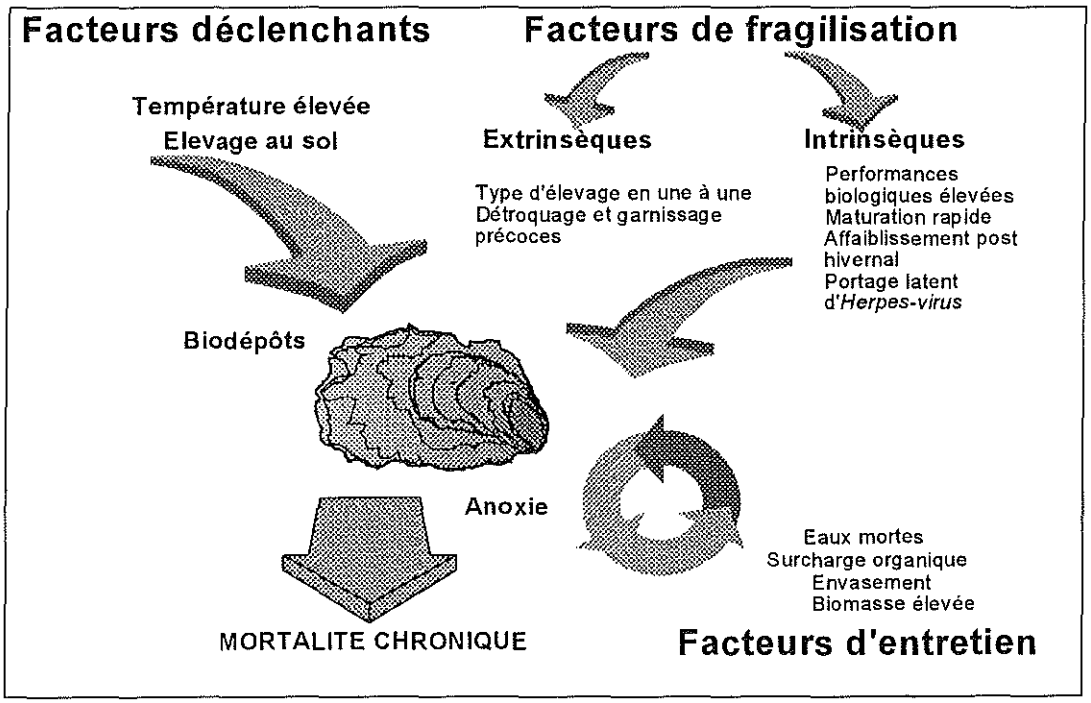


Figure 5 : Proposition explicative du phénomène de mortalité chronique. Influence multifactorielle des paramètres environnementaux, zootechniques et biologiques (Lodato, 1997).

Il est important de souligner que la circulation des eaux dans le secteur est largement altérée. La principale coursière du secteur est entièrement ensablée limitant fortement les mouvements d'eaux entre les concessions et le large. Ce phénomène d'envasement est dû à l'évolution de la bathymétrie sur l'ensemble du Bassin de Marennes-Oléron. Cette évolution entre 1970 et 1994 a entraîné une augmentation moyenne du niveau bathymétrique de 0,5 m dans le Sud du Bassin (Le Moine, com. pers.). L'envasement des bancs ostréicoles a des conséquences directes sur les cheptels de par les modifications des temps d'immersion et d'émersion (figure 6, d'après Prou et Le Moine). La diminution du temps d'immersion entraîne une diminution des temps de filtration des huîtres et par conséquent des modifications de leur croissance.

Parallèlement, des critiques formulées par les professionnels vis à vis du fonctionnement de la station d'épuration de La Tremblade, et en particulier de l'émissaire se déversant à l'embouchure de la Seudre (figure 7), ont amené IFREMER à tester la survie larvaire et adulte en présence des eaux de la lagune de la station.

Aucune mortalité n'a été détectée à partir d'un suivi journalier au cours du mois de juillet 1996 (Lagarde, 1996). Par ailleurs, une étude réalisée par la Communauté de Communes du Pays Royannais a permis de démontrer, au moyen d'un lâcher de rhodamine, que le panache de dilution de cet émissaire atteint le secteur de Perquis avec cependant une dilution importante d'environ 1 000 à 10^6 vis à vis respectivement de l'émissaire et de la station d'épuration (SET Praud, 1996).

L'utilisation d'un valvomètre, enregistrant l'activité valvaire des huîtres *in situ* depuis juillet 1996 n'a détecté aucune anomalie particulière au niveau du site. L'ensemble des données acquises devant servir de contrôle par rapport aux enregistrements de 1997 en périodes critiques de mortalité. Cependant, l'utilisation du valvomètre en tant que sentinelle de l'environnement est encore embryonnaire. Le valvomètre permet la détection d'une toxicité aiguë dans le milieu, mais son efficacité face à des pollutions chroniques de faibles amplitudes n'est pas encore démontrée.

Les suivis réalisés par le laboratoire IFREMER DEL de La Tremblade en coopération avec la DDASS, ont permis de montrer une contamination bactériologique systématique de l'émissaire du pluvial qui se déverse au niveau de la plage de Ronce Les Bains (Roësberg, 1997). Par ailleurs, les mesures réalisées par la DDE mettent en évidence un flux de matière organique important au niveau de ce pluvial en période estivale (Lacroix, com. pers.).

C'est à partir de l'ensemble de ces observations et dans ce contexte général que s'inscrit la présente étude dont les approches et les objectifs sont multiples. L'étude 1997 fait l'objet d'un contrat de valorisation

1.4. Les objectifs de l'étude 1997

L'hypothèse principale étudiée par l'IFREMER lors de cette étude est basée sur le possible enrichissement en matière organique au niveau de l'interface eau-sédiment, résultant :

- du manque de circulation des eaux,
- des rejets au niveau du réseau pluvial,
- de l'absence d'enlèvement des installations ostréicoles.

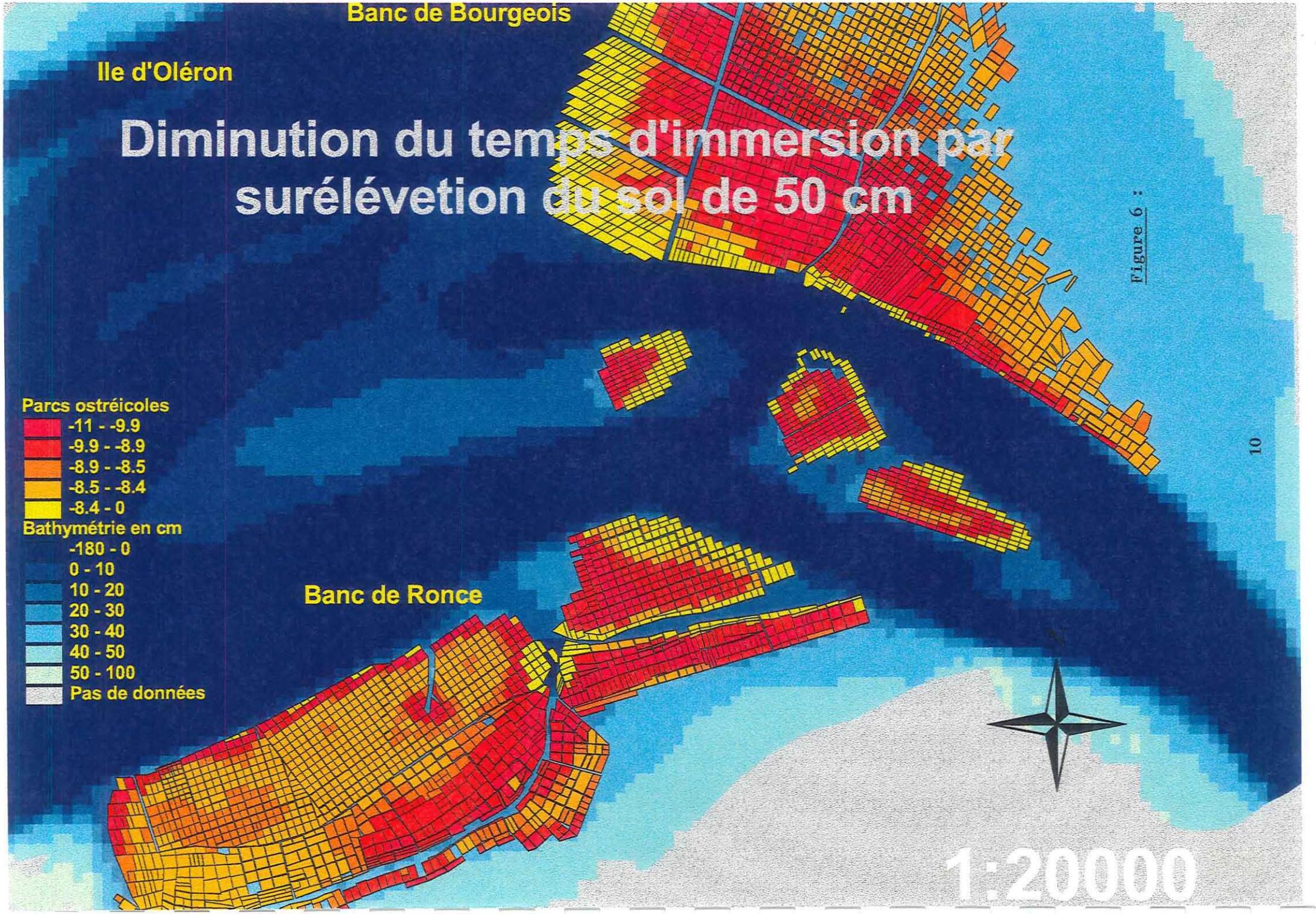

Banc de Bourgeois
Ile d'Oléron
Diminution du temps d'immersion par surélévetion du sol de 50 cm
Parcs ostréicoles
-11 - -9.9
-9.9 - -8.9
-8.9 - -8.5
-8.5 - -8.4
-8.4 - 0
Bathymétrie en cm
-180 - 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
40 - 50
50 - 100
Pas de données
Banc de Ronce
1:20000

Figure 6 :

SItuation géographique de l'émissaire de la station d'épuration de La Tremblade

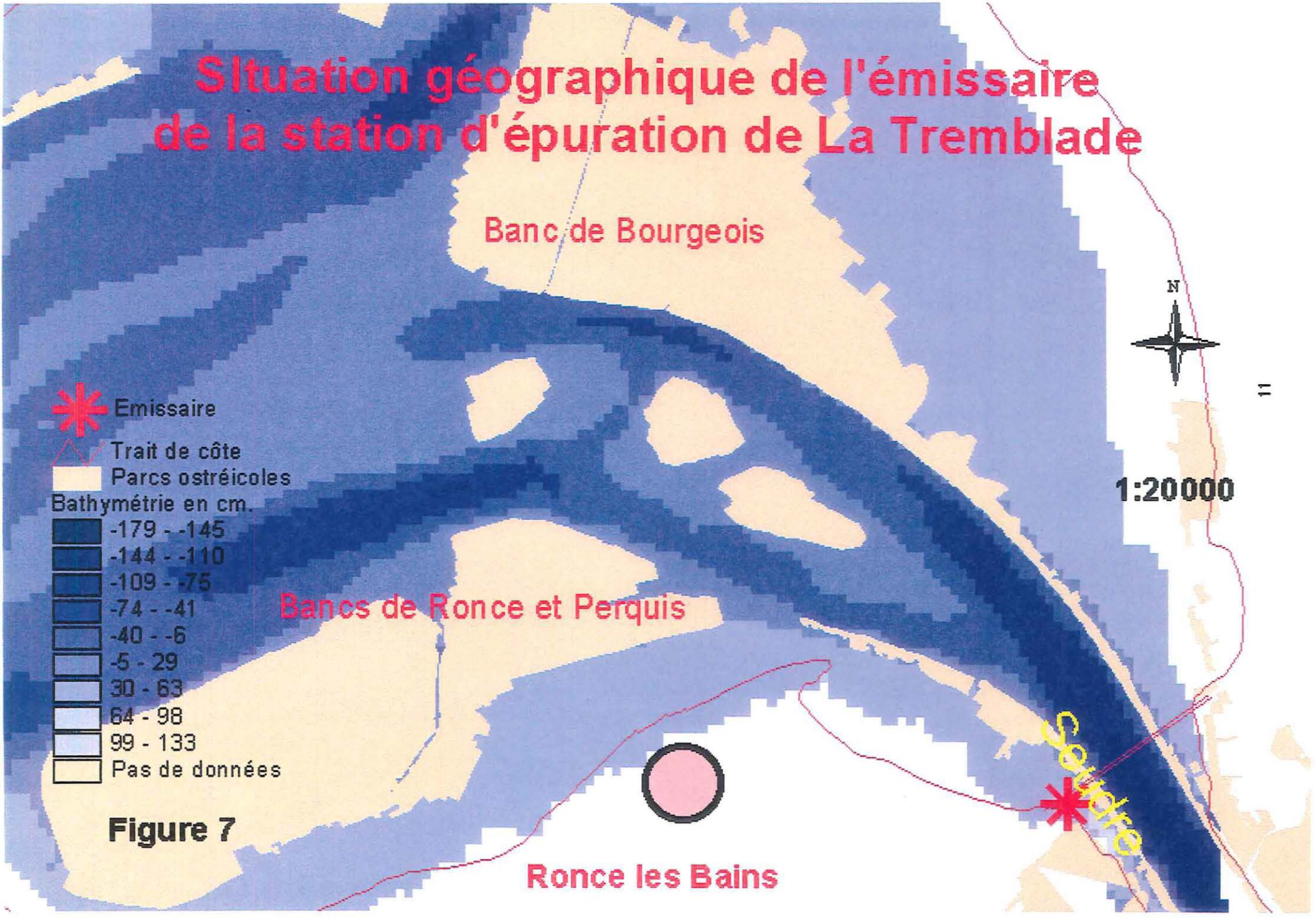


Figure 7

En effet, d'après la réglementation, les sites ostréicoles doivent être soumis à un enlèvement des installations en surélevé pendant la période hivernale à des fins d'entretien et de dévasage (annexe 2). Mais comme les bancs de Ronce et Perquis constituent des sites importants de dépôt d'huîtres, à ce titre ils ne sont pas concernés par cette réglementation.

De plus, la présence des tables ostréicoles entraîne une diminution de moitié de la vitesse des courants de fond. Leur présence tout au long de l'année favorise la biodéposition. Outre les modifications de nature physique (envasement, viscosité, etc), la biodéposition a pour conséquences un apport de composés et d'éléments chimiques qui vont modifier les équilibres chimiques du sédiment (Martin *et al.*, 1989).

Le programme mis en place à donc pour objectifs :

- de tracer un bilan évolutif spatio-temporel le plus fiable possible de la mortalité d'huîtres creuses sur les bancs de Ronce et Perquis pour la période estivale 1997,
- de vérifier les hypothèses soulevées par l'étude menée en 1996 en essayant de rechercher des corrélations entre les taux de mortalité et les différents paramètres suspectés.

Pour ce faire, nous allons suivre les paramètres biologiques des huîtres *Crassostrea gigas* en élevage. Les paramètres environnementaux au niveau de l'interface eau-sédiment seront également observés : une surveillance des paramètres chimiques et microbiologiques de la vase sur les élevages sera effectuée tous les 15 jours, un suivi des températures subies par les huîtres sera aussi mis en place.

II. MATERIELS ET METHODES

2.1. Plan d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage mis en place pour l'étude des bancs de Ronce et Perquis en 1997, découle des conclusions de l'étude menée en 1996 par IFREMER (Lodato, 1997).

L'ensemble des variables suivies durant cette étude est décrit dans le tableau 1. Il s'agit d'un suivi concernant les sites ateliers (situation géographique, temps d'immersion), les pratiques culturales, le sédiment. Concernant la population d'huîtres, des suivis de croissance, de maturation sexuelle et de mortalité sont effectués.

Tableau 1 : Les descripteurs de l'étude.

Type	Code	Signification	Définition
Site	X	Coordonnées relatives des sites ateliers	Z est la bathymétrie (en m) des parcs par rapport au zéro des cartes marines (plus basses mers)
	Y	Coordonnées relatives des sites ateliers	
	Z	Bathymétrie des sites ateliers	
	Zrel	Bathymétrie relative des sites ateliers	Echelle relative de bathymétrie : 1 : de 1,7 m à 2,2 m 2 : de 2,3 m à 2,7 m 3 : de 2,8 m à 3,7 m
	TIMM	Temps d'immersion	% du temps où le parc est immergé
Pratiques culturales	TYEL	Type d'élevage	1 : à plat 2 : surélevé
	OCC	Occupation des parcs environnants	Moyenne des % d'occupation des parcs situés au Nord-Est, Nord-Ouest, Sud-Est et Sud-Ouest du parc expérimental.
Vase	VEAU	Teneur en eau du sédiment	% d'eau dans le sédiment
	VCOL	Teneur en coliformes fécaux	Echelle relative de contamination : 1 : inférieur au seuil de détection 2 : peu contaminé 3 : légèrement contaminé 4: contaminé 5: fortement contaminé
	VSTR	Teneur en streptocoques fécaux	Même échelle relative que pour les coliformes.
	VC	Teneur en carbone de la vase	‰ de carbone
	VCN	Rapport C/N	rapport carbone sur azote
Températures	T20MF	Somme des températures supérieures à 20°C	Somme de températures d'émersion dépassant 20°C (°C/30 min)
	T25MF	Somme des températures supérieures à 25°C	Somme de températures d'émersion dépassant 25°C (°C/30 min)
	T30MF	Somme des températures supérieures à 30°C	Somme de températures d'émersion dépassant 30°C (°C/30 min)
Réponses biologiques	TMJM	Taux de mortalité journaliers mesuré	Nombre d'individus morts/nombre total d'individus/jours
	PSEC	Poids sec	Poids en grammes
	PCOQ	Poids de coquille	
	PTOT	Poids total	
	SMS	Stades de maturation sexuelle	Echelle relative à 8 niveaux.
	GPSJ	Gain de poids sec journalier	Prise de poids sec/jours (g/jour).
	GPCJ	Gain de poids de coquille journalier	Prise de poids de coquille/jours (g/jour).
	GPTJ	Gain de poids total journalier	Prise de poids total/jours (g/jour).
Temps	PERI	Périodes	Deux périodes, des périodes de 15 jours et des périodes de 30 jours.

2.1.1. Le matériel biologique

Il s'agit d'une population homogène d'huîtres de 3 ans, captées sur le banc ostréicole de Bonne Anse et prégrossies sur le banc de la Mortane. Cette population d'huîtres calibrées (2 tonnes) a été mise en place simultanément sur les 15 sites expérimentaux (cf. échelles spatio-temporelles).

2.1.2. Les sites ateliers

Les sites ateliers sont des espaces aménagés par IFREMER sur des parcs ostréicoles. Ces parcs appartiennent à des ostréiculteurs qui ont accepté de collaborer à cette étude en prêtant une partie de leurs terrains. Sur chaque site atelier, sauf exception (cf.contraintes), un parc à plat de 10 m^2 environ a été mis en place, et à peu près 100 kilogrammes d'huîtres y ont été mis en élevage. Un élevage en surélevé a également été installé, sur une table ostréicole deux poches contenant environ 200 huîtres chacune ont été posées (figure 8).

2.1.3. La stratégie d'échantillonnage

- Localisation des sites expérimentaux

Quinze sites ateliers ont été mis en place sur les bancs de Ronce et Perquis selon 3 transversales Est-Ouest, 3 transversales Nord-Sud sur Ronce et 2 sur Perquis. La répartition des sites ateliers se trouve figure 9, les descripteurs associés (X, Y, Z et Zrel) sont présentés dans le tableau 1. Cette répartition spatiale va permettre un échantillonnage selon trois dimensions car elle tient également compte du gradient bathymétrique.

- L'échantillonnage

Concernant les élevages à plat, l'échantillonnage est réalisé par l'intermédiaire d'un quadrat jeté sur la parcelle ostréicole. Les comptages de mortalité sont effectués dans ce quadrat. Pour les analyses biologiques, un lot de 30 huîtres vivantes est prélevé à l'intérieur du quadrat.

L'échelle temporelle relève d'un échantillonnage systématique dans la mesure où des prélèvements et des mesures ont été programmés à intervalles réguliers (tableau 2). Les taux de mortalité, les mesures concernant la vase ont été réalisés environ tous les 15 jours et les analyses biométriques environ tous les mois.

Figure 8 : Présentation d'un site atelier.

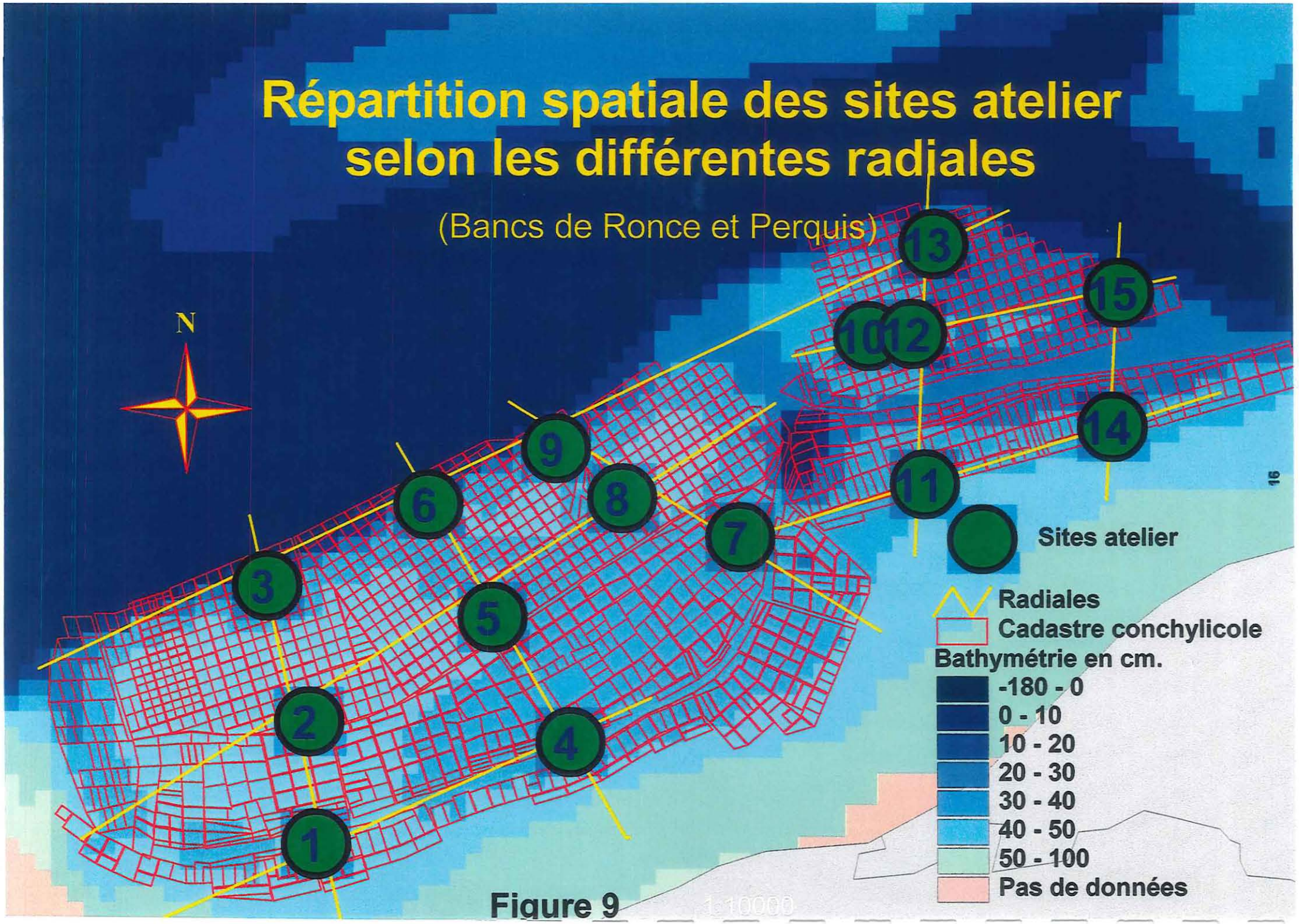

Répartition spatiale des sites atelier selon les différentes radiales
(Bancs de Ronce et Perquis)
N
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
Sites atelier
Radiales
Cadastre conchylicole
Bathymétrie en cm.
-180 - 0
0 - 10
10 - 20
20 - 30
30 - 40
40 - 50
50 - 100
Pas de données
1:10000

Figure 9

Tableau 2 : Périodes d'échantillonnage réparties en deux bases de données, fichiers 15 jours et fichiers 30 jours.

Période 15 jours	Période 30 jours
25 mars	25 mars
	1
7 avril	7 avril
1	
21 avril	2
2	
5 mai	5 mai
3	
22 mai	3
4	
3 juin	3 juin
5	
19 juin	4
6	
7 juillet	7 juillet
7	5
21 juillet	21 juillet
8	
4 août	6
18 août	18 août

2.1.4. Les contraintes

La stratégie d'échantillonnage spatio-temporelle mise en place nécessite le traitement d'un nombre élevé d'échantillons (environ 800 pour les prélèvements biométriques). Sa réalisation fait appel à une forte main d'oeuvre, au laboratoire comme sur le terrain.

Des coefficients de marée suffisants pour permettre l'exondation des parcs, ainsi que des conditions météorologiques satisfaisantes constituent également des contraintes de l'échantillonnage.

La répartition spatiale des types d'élevage sur les bancs de Ronce et Perquis (figure 10) nous a contraints à installer des sites ateliers avec des huîtres uniquement en élevage surélevé sur les sites 3, 6 et 9.

En effet, s'il est possible d'installer une à deux tables ostréicoles sur un élevage à plat pour notre expérience, il n'est par contre pas possible d'aménager un espace entre les rangées de tables.

Repartition spatiale des modes d'élevage sur les bancs de Ronce et Perquis

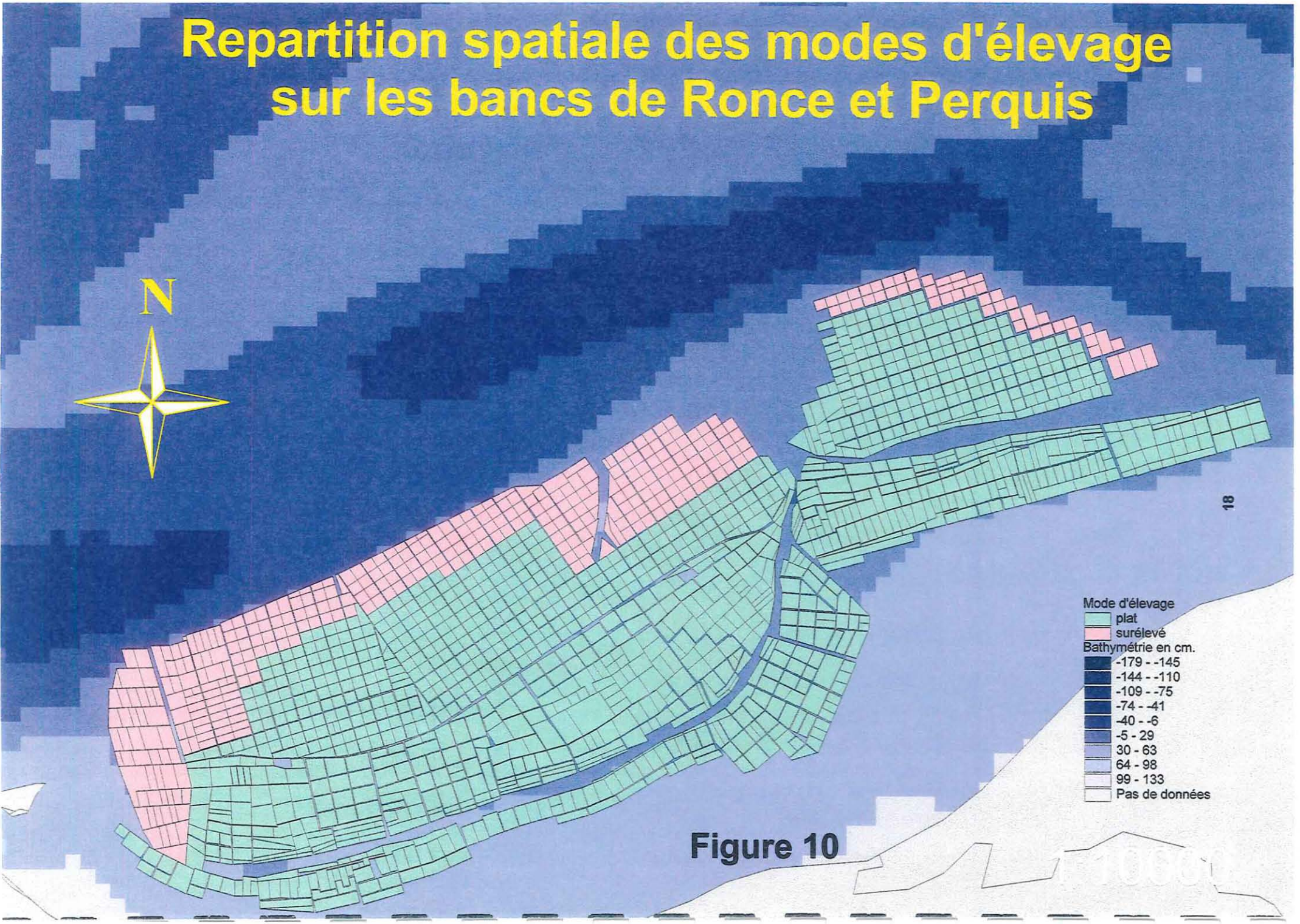


Figure 10

Les conditions environnementales ont également exercé des contraintes sur notre stratégie d'échantillonnage. Sur les sites 10 et 13, les élevages à plat ont été victimes d'un ensablement régulier. Cet ensablement étant à l'origine de forts taux de mortalité, non représentatifs de l'ensemble de la population d'huîtres sur les autres sites ateliers, les élevages à plat des sites 10 et 13 ont été abandonnés pour ne pas fausser les résultats obtenus.

2.2. Les descripteurs de la population d'huîtres

2.2.1. Travail sur le terrain

• Comptage des mortalités

La démarche principale de cette étude a consisté en une détermination précise des taux de mortalité sur chaque site atelier pour les deux types d'élevages tous les 15 jours.

- Pour l'élevage à plat, après avoir choisi aléatoirement un échantillon d'huîtres représentatif à l'aide d'un quadrat de 0,5 m^2 jeté sur le parc (figure 11), le nombre d'individus morts et le nombre d'individus vivants est comptabilisé. Ensuite, l'ensemble des huîtres, vivantes et mortes, est replacé et homogénéisé à l'intérieur du quadrat. Le taux de mortalité calculé est donc représentatif d'une mortalité cumulée.

- Pour l'élevage surélevé deux poches sont utilisées. L'une est affectée aux comptages des mortalités, l'autre aux prélèvements pour les analyses biologiques. Les comptages sont donc effectués sur l'ensemble de la poche destinée à cet effet. Contrairement à l'élevage à plat, les huîtres mortes sont jetées après chaque comptage. Le taux de mortalité obtenu est donc un taux de mortalité par période.

Le taux de mortalité est calculé de la façon suivante :

Taux de mortalité = nombre d'individus morts/ nombre total d'individus (vivants et morts)

• Les prélèvements

Des prélèvements d'huîtres sont effectués tous les mois (tableau 2) sur chaque site atelier. Un lot de 30 huîtres a été prélevé pour chaque type d'élevage. Sur le parc à plat, les 30 individus vivants ont été prélevés à l'intérieur du quadrat après avoir été comptabilisés pour le calcul du taux de mortalité. Pour l'élevage surélevé les 30 huîtres vivantes sont ramassées dans la poche destinée à cette fonction.

• Le taux d'occupation

Le taux d'occupation des parcs entourant les sites ateliers est déterminé avec la même périodicité que les taux de mortalité.

Dans les quatre directions, Nord-Ouest, Nord-Est, Sud-Ouest, Sud-Est, le taux d'occupation des parcelles ostréicoles limitrophes est estimé. Les résultats obtenus sont notés sur une fiche terrain (annexe 3).

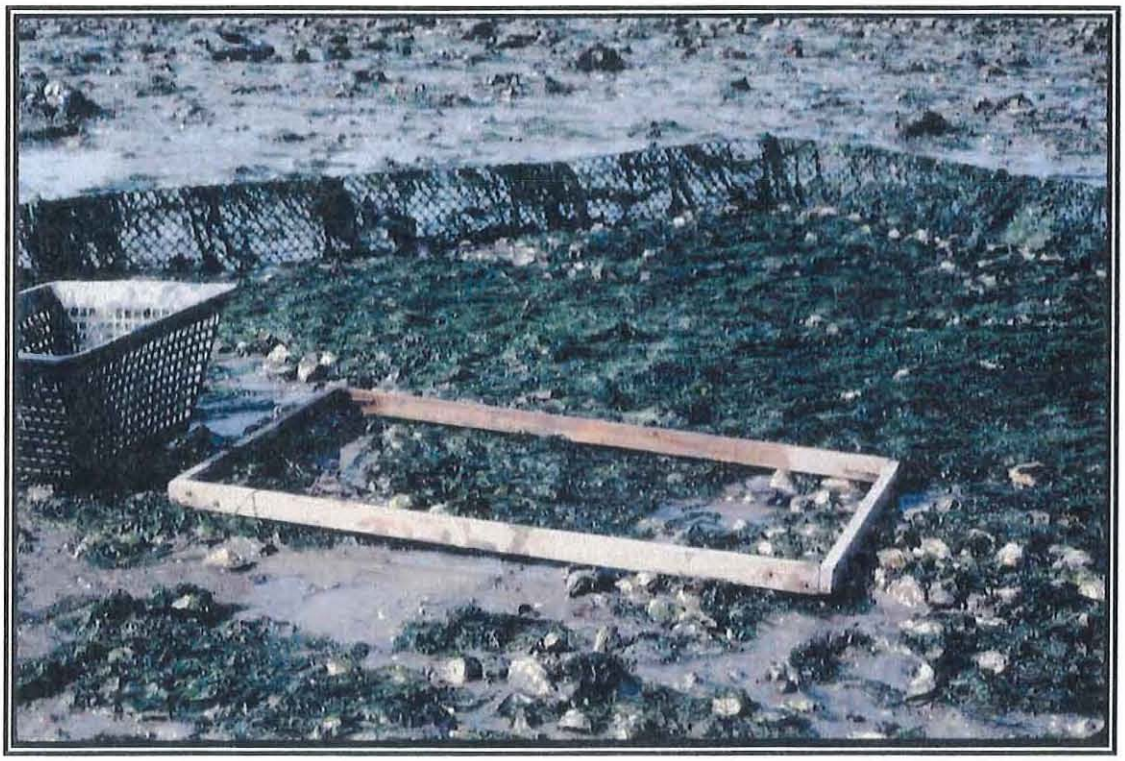


Figure 11 : Quadrat jeté aléatoirement sur un élevage d'huîtres à plat.

2.2.2. Analyses de laboratoire

• Biométrie

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). La mesure d'un poids sec (g) a ensuite été effectuée après lyophilisation de chaque huître pendant 48 heures. Le lyophylisateur utilisé est un LYOLAB.B modèle LSL SECFROID.

• Maturation sexuelle

Les stades de maturation sexuelle des populations de *Crassostrea gigas* sont suivis chaque mois. Les critères macroscopiques et microscopiques retenus pour la détermination des différents stades de maturation sont précisés dans le tableau 3. Sur chaque lot de 30 huîtres prélevé, le suivi de la maturation est effectué sur 15 individus.

Tableau 3 : Détermination des stades de maturité sexuelle chez *Crassostrea gigas* (d'après Soletchnik *et al*, 1997).

Observations macroscopiques	**échelle descriptive**
gonade recouvre la masse viscérale de moins de la moitié.	1
gonade recouvre la masse viscérale de plus de la moitié.	2
gonade recouvre la masse viscérale totalement.	3
Pression	
pas d'émission de gamètes.	1
émission de produits génitaux par forte pression.	2
émission de produits génitaux par pression légère.	3
Sexe	
mâle	1
femelle	2
Observations microscopiques	
mâle	
pas de mobilité des spermatozoïdes	1
mobilité partielle des spermatozoïdes	2
mobilité active de l'ensemble des spermatozoïdes	3
femelle	
stade ovogonie	1
ovocytes en vitellogénèse	2
ovocytes en vitellogénèse avancée (piriforme)	3
Somme des observations macro et microscopiques	**2-9**

• Biochimie

Les analyses biochimiques consistent en un dosage spectrophotométrique des protéines, des lipides, des glucides totaux et du glycogène (Razet *et al.*, 1996). Après avoir effectué les poids secs pour les analyses biométriques, la chair d'huître est réduite en poudre dans un broyeur RETSH type S1000. La méthode de dosage par "pools" a été retenue pour cette étude. Ainsi, lors du broyage, les huîtres sont réunies par groupes de 10 individus. On obtient donc trois échantillons par site et par type d'élevage.

2.3. Suivi des paramètres environnementaux

2.3.1. La vase

Les mesures concernant le sédiment sont effectuées tous les 15 jours.

• Analyses bactériologiques

Un prélèvement est effectué en écrémant la surface du sédiment proche du site atelier sans jamais repasser au même endroit. La vase est prélevée dans un flacon SCHOTT de 100 cm^3 stérile à l'aide d'une spatule également stérile (figure 12).

Au laboratoire, les teneurs en coliformes fécaux et stréptocoques fécaux sont déterminées d'après la norme AFNOR (1981) (NF- V 45-110) et la circulaire n° 8349 du 26/10/77.

• Teneurs en eau

Un prélèvement de vase est réalisé à l'aide du couvercle d'une boîte plastique de 1 litre par écrémage des 5 premiers centimètres du sédiment proche du site atelier (figure 13). Cet échantillon est conservé au frais dans une glacière et ramené au laboratoire.

Afin de déterminer le pourcentage d'eau du sédiment, il faut tout d'abord homogénéiser le contenu de la boîte à l'aide d'une spatule propre. Ensuite prélever une fraction (environ 30 g) de vase et la déposer dans une boîte de pétri prétarée ($\mathbf{m_{tare}}$). L'ensemble est pesé ($\mathbf{m_{total}}$) puis mis à déshydrater, couvercle entrouvert, à l'étuve à 60°C jusqu'à poids constant ($\mathbf{m_{sec}}$) (totale dessiccation). Pour obtenir le pourcentage d'eau ($\mathbf{\%_{eau}}$) il suffit d'effectuer le calcul suivant :

$$\boxed{\%_{eau} = 100*[(m_{vase} - m_{sec})/m_{vase}]}$$

avec $\mathbf{m_{vase} = m_{total} - m_{tare}}$

• Mesures du carbone et de l'azote élémentaires

L'analyseur thermique CHNS/O 2400 permet de déterminer les quantités de carbone, d'hydrogène, d'azote et d'oxygène présentes dans un échantillon. Pour cette étude, seules les concentrations en carbone et en azote présentes dans les sédiments sont mesurées. Pour préparer l'aliquote nécessaire aux mesures, il faut prélever environ 25 mg de sédiment (dans la même boîte que pour les mesures de teneur en eau), les déposer sur un filtre WHATMAN GF type C prétaré. Ensuite, on enveloppe le filtre et le sédiment dans une feuille d'étain que l'on dépose dans le distributeur de l'autoanalyseur du CHN. Le principe du dosage et une description succincte de l'appareil se trouvent en annexe 4. Les résultats sont exprimés en µg/mg (ou mg/g) de sédiment frais puis transformés à l'aide du pourcentage d'eau en µg/mg de poids sec de sédiment (ou ‰).

Figure 12 : Prélèvement de sédiment pour les analyses bactériologiques.

Figure 13 : Prélèvement de sédiment pour la détermination de la teneur en eau.

2.3.2. Températures sur les sites ateliers

• Mesures sur le terrain

Ces mesures ont pour objet de déterminer, sur les sites ateliers, les températures de l'air (pendant les périodes d'émersion) et de l'eau (pendant les périodes d'immersion). Des mesures sont effectuées au niveau de l'interface eau/sédiment pour les élevages à plat (figure 14).

D'autres mesures sont effectuées au niveau des tables pour évaluer la différence d'amplitude des chocs thermiques subis par les huîtres pour les deux types d'élevages.
L'acquisition des données thermiques est réalisée par l'intermédiaire de sondes thermiques Tinytalk ^{TM} Pt 100 Datalogger TINYTAG.

Par le fait d'un nombre insuffisant de sondes, le suivi thermique sur chaque site atelier pour les deux types d'élevages n'a pu être réalisé. Les mesures sur les bancs de Ronce et Perquis sont réalisées selon 3 radiales et quelques sites supplémentaires (figure 15). Les mesures sont effectuées en continu avec une mesure tous les quart d'heure, les sondes possèdent une capacité d'acquisition de 7 900 relevés.

• Données Météo-France

Les données thermiques de Météo-France sont des températures de l'air mesurées sous abri. Ces données sont utilisées pour calculer des sommes de températures d'émersion subies par les huîtres sur les sites ateliers. Tout d'abord le temps d'émersion pour chaque site est déterminé d'après son altitude. Ensuite, d'après les harmoniques de Laplace les hauteurs d'eau (marnages) par rapport au 0 des cartes marines (niveau des plus basses mers) sont déterminées pour chacun des sites. Enfin, pour une période déterminée, connaissant le temps d'émersion et le marnage pour chaque site, le calcul des sommes des températures d'émersion peut être effectué. Plusieurs sommes ont été réalisées : une somme prenant en compte uniquement les températures supérieures à 20°C, une autre les températures supérieures à 25°C, une troisième les températures supérieures à 30°C (tableau 1).

2.3.3. Les paramètres hydrologiques

Le site atelier 12 situé sur le banc de Perquis a été équipé d'une sonde océanographique multiparamètres SOLOMAT, modèle 803 PS (figure 16).

Cette sonde permet de mesurer en continu la température, l'oxygène dissous, le pH, la conductivité, l'ammonium et 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 (unités de turbidité néphélométrique) seront mesurés. La sonde SOLOMAT (annexe 5) est alimentée par une batterie possédant une autonomie de plusieurs mois. Cependant, pour assurer une bonne qualité des mesures, les sondes sont réétalonnées tous les mois au laboratoire. L'encrassement du matériel par la faune et la flore marine (e.g., balanes) pouvant fausser les mesures. La sonde oxymétrique de type galvanique est étalonnée par la

Figure 14 : Mesures thermiques à l'interface eau/sédiment.

Répartition spatiale des sondes de mesures thermiques

(Bancs de Ronce et Perquis)

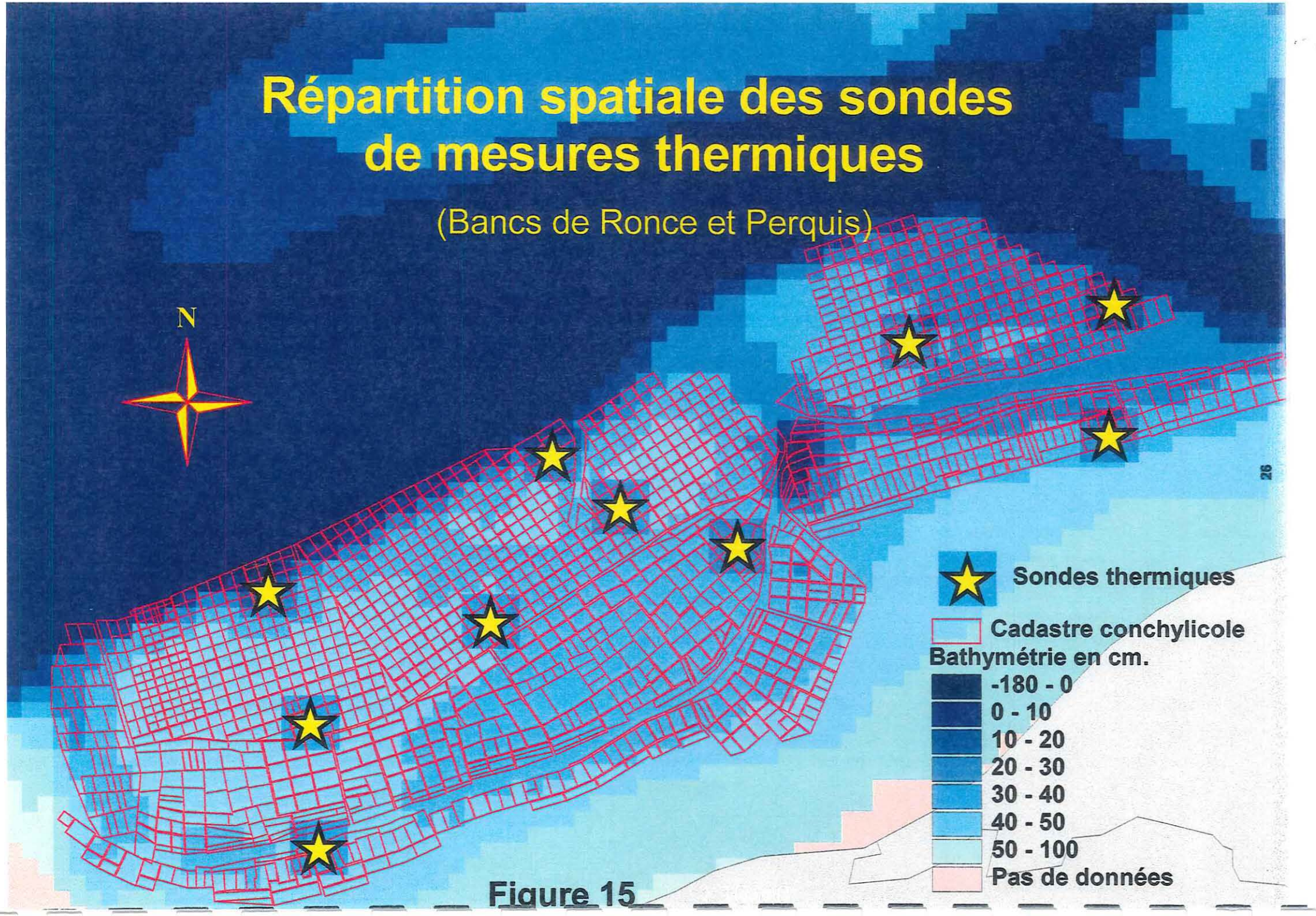


Figure 15

Figure 16 : La sonde SOLOMAT (site atelier 12 du banc de Perquis).

méthode chimique de Winckler (Aminot et Chaussepied, 1983). Le système d'acquisition, placé dans un caisson étanche, se compose d'un convertisseur analogique/digital (type RS 232). Les informations recueillies par ce convertisseur sont ensuite stockées dans un tableur de type EXCEL ou LOTUS. Les conductivités mesurées sont transformées en salinité par étalonnage de standards (Eau de Mer Normale à 35 ‰) (annexe 6).

2.4.Traitements informatiques

2.4.1. Traitements statistiques

L'ensemble des traitements statistiques a été effectué à l'aide du logiciel **"Statgraphics plus"** (version 3).

* 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. Les différents seuils de significativité ont été codés selon le tableau 4.

Tableau 4 : Codes des seuils de significativité pour les analyses de variance.

Seuils de significativité	Codes
1 ‰	***
1 %	**
5 %	*
non significatif	NS

- Concernant, les taux de mortalité, l'étalement de leurs distributions ne suivant pas la Loi Normale, des outils de statistique non paramétrique sont utilisés. Le test de rang de Kruskal-Wallis est effectué pour tester l'effet des descripteurs mesurés sur la réponse taux de mortalité. Des « diagrammes en boîte » (ou « box-plot ») (figure 17) sont aussi utilisés pour visualiser les quartiles d'une distribution.

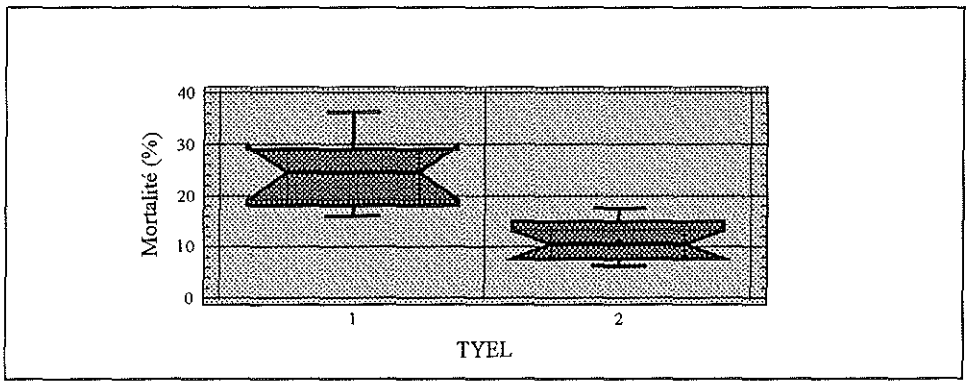


Figure 17 : "Diagramme en boîte".

Les quartiles étant le partage des données en quatre, il y a donc 4 quartiles qui contiennent chacun ¼ de la distribution ordonnée des variables. Le premier quartile est celui contenant les plus faibles valeurs. Le deuxième et troisième quartile constituent les extrémités de la boîte, alors que la médiane est indiquée par l'horizontale proche en général de son milieu. L'étendue de la distribution à chacune des extrémités est indiquée par deux lignes verticales.

* Pour effectuer les analyses statistiques, différentes échelles temporelles sont utilisées. Certaines analyses sont effectuées en fonction des dates, d'autres par période. Pour les analyses par période deux bases de données ont été créées, l'une comprenant des périodes d'environ 15 jours, l'autre des périodes d'environ 30 jours (tableau 2).

* Pour les descripteurs de la vase et la situation géographique des parcs, une analyse factorielle est réalisée. Ce type d'analyse permet de concentrer la variabilité d'un groupe de descripteurs sur un minimum d'axes factoriels. Ainsi, un descripteur vase VAS56 est créé à partir des facteurs VCOL, VSTR, VEAU, VCN, VC. Ce nouveau descripteur permet de représenter à lui seul 56 % de la variabilité de cet ensemble de descripteurs. De même, le facteur XYZ75 représente 75 % de la variabilité des facteurs X, Y et Z.

* Concernant le suivi des températures, les données sur le terrain et les valeurs calculées à partir des données Météo-France étant identiques, lors des analyses, seules les données Météo-France sont utilisées. Les données Météo-France sont conservées car le suivi sur le terrain ne concerne pas l'ensemble des sites (cf Mesures sur le terrain).

* Certaines variables continues ont été transformées en variables discontinues par l'intermédiaire de classes. Les classes sont déterminées de façon à obtenir une répartition homogène du nombre de variables. Les différentes transformations de variables sont présentées en annexe 7, une synthèse des nouvelles variables est présentée tableau 5.

Tableau 5 : Les classes de descripteurs.

Codes	Signification	Nombre de classes
CXYZ75	Classes des descripteurs situation géographique des parcs	3
CVAS56	Classes des descripteurs de la vase	3
CSMS	Classes des stades de maturation sexuelle	4
CGPSJ	Classes des gains de poids sec	3
CT20MF	Classes des températures supérieures à 20°C	3
CT25MF	Classes des températures supérieures à 25°C	3
CT30MF	Classes des températures supérieures à 30°C	2
CTIMM	Classes des temps d'immersion	3
COCC	Classes des taux d'occupation	3
Zrel	Classes de bathymétrie des parcs ostréicoles	3

2.4.2. Système d'Information Géographique

Le S.I.G. employé lors de cette étude utilise le logiciel « Arc View » (version 3). Ce logiciel dont l'acquisition a été effectuée en collaboration avec le groupe SILLAGE (Systèmes d'Informations Localisées pour L'aménagement et la Gestion des Espaces côtiers et marins) doit permettre l'acquisition de données pertinentes, leur traitement et leur restitution sous des formes permettant la prise de décision. Cet outil permet de superposer différentes couches d'informations stockées sous forme de bases de données. Ce logiciel a permis, grâce à un cadastre numérisé des parcelles du Domaine Public, de réaliser des cartes où sont représentées différentes informations (mortalités, croissance, etc...). Ainsi, lors de réunions avec les professionnels, l'évolution des mortalités dans l'espace et dans le temps sur les bancs de Ronce et Perquis a pu être présentée de façon synthétique (annexes 8 et 9). La cartographie de l'évolution de la bathymétrie entre 1970 et 1994 a également été réalisée à partir de ce logiciel. Les données bathymétriques ont ainsi pu être mises en relation avec l'évolution de la croissance ou des mortalités.

III. RESULTATS

3.1. Biométrie

3.1.1. Les poids de coquille

L'analyse de variance des poids de coquille en fonction de la date, de Zrel et du type d'élevage (tableau 6) montre des effets hautement significatifs (1 ‰) de tous les facteurs et des interactions entre la date et le type d'élevage, et entre Zrel et la date. Les interactions entre le type d'élevage et Zrel, et entre les trois descripteurs sont quant à elles significatives au seuil de 1 %. Leurs contributions à l'explication du modèle ne sont pas identiques (tableau 7). La date explique 16,7 % de la variance des poids de coquille quand les autres facteurs ou interactions ne dépassent pas 3 %. Le résidu, c'est-à-dire la partie non expliquée de la variance, représente 73,5 %. Le type d'élevage, Zrel et les différentes interactions ont une contribution faible.

Tableau 6 : Analyse de variance du poids de coquille (PCOQ) en fonction de la date, de Zrel et du type d'élevage (TYEL).

Effectifs de l'analyse	Facteurs	Probabilité	Significativité
4622	TYEL	0,0000	***
	Zrel	0,0000	***
	DATE	0,0000	***
	Interaction TYEL-Zrel	0,0070	**
	Interaction TYEL-DATE	0,0000	***
	Interaction Zrel-DATE	0,0000	***
	Interaction TYEL-Zrel-Date	0,0077	**

Tableau 7 : Variance des poids de coquille expliquée par les différents facteurs.

TYEL	Zrel	DATE	Interaction TYEL-Zrel	Interaction TYEL-DATE	Interaction Zrel-DATE	Interaction TYEL-Zrel-DATE	Résidu
2,2	1,7	16,7	0,2	0,5	2,3	0,4	73,5

- Effet du type d'élevage

La moyenne des poids de coquille est supérieure pour les élevages sur table (26,01 g) par rapport aux élevages à plat (24,17 g) (tableau 8). Globalement, les huîtres des élevages sur tables ont une coquille plus lourde que les huîtres élevées à plat toutes dates et bathymétries confondues.

Tableau 8 : Moyennes et intervalles de confiance des poids de coquille en fonction du type d'élevage.

TYEL	PCOQ (en g)	Limite basse	Limite haute	Effectifs de l'analyse
1	24,17	23,92	24,41	1959
2	26,01	25,82	26,21	2663

• Effet de la bathymétrie des parcs ostréicoles

La moyenne des poids de coquille, pour les parcs dont Zrel=1, est significativement différente des moyennes pour les parcs dont Zrel=2 ou 3 (tableau 9). En effet pour Zrel=1, la moyenne des poids de coquille (26,34 g) est très supérieure aux moyennes de Zrel=2 (24,52 g) et Zrel=3 (24,41 g). **Les huîtres élevées sur des parcs ostréicoles dont Zrel=1 ont donc des coquilles plus lourdes que les autres huîtres toutes dates et bathymétries confondues.**

Tableau 9 : Moyennes et intervalles de confiance des poids de coquille (PCOQ) en fonction de Zrel.

Zrel	PCOQ (en g)	Limite basse	Limite haute	Effectifs de l'analyse
1	26,35	26,03	26,66	1226
2	24,52	24,25	24,78	1427
3	24,41	24,18	24,63	1969

• Effet de l'interaction entre la date et la bathymétrie des parcs ostréicoles

Du 7 avril jusqu'au 3 juin, les poids de coquille ne se différencient pas quelle que soit la bathymétrie (figure 18). C'est le 7 juillet qu'apparaît une différence significative entre la moyenne pour Zrel=1 (27,78 g) et les moyennes pour Zrel=2 (25,30 g) et 3 (24,60 g). Ensuite, jusqu'au 18 août, les moyennes des poids de coquilles continuent d'augmenter. Au 18 août, la moyenne des poids de coquille pour les sites ateliers dont Zrel=1 est de 32,27 g, 28,35 g pour Zrel=2 et 27,65 g pour Zrel=3. Le détail des valeurs des moyennes et des intervalles de confiance de la figure 18 est donné en annexe 10 (Tableau *a*).

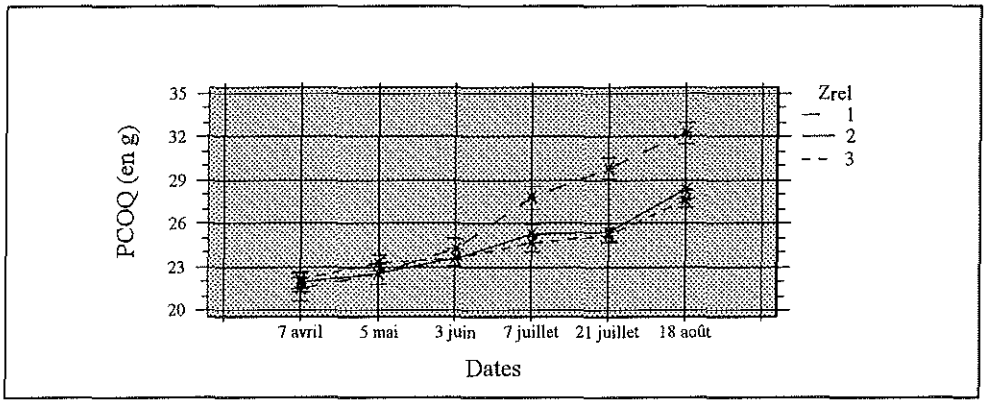


Figure 18 : Moyennes et intervalles de confiance des poids de coquille (PCOQ) en fonction de la date et de la bathymétrie des parcs ostréicoles.

3.1.2. Les poids secs

L'analyse de variance des poids secs en fonction de la date, de Zrel et du type d'élevage met en évidence des effets hautement significatifs (1 ‰) pour les 3 facteurs et leurs interactions (tableau 10). Leurs contributions à l'explication du modèle ne sont pas identiques (tableau 11). La date explique 30,9 % de la variance des poids secs quand les autres facteurs ou interactions

ne dépassent pas 8 %. Le résidu, c'est-à-dire la partie non expliquée de la variance, représente 43,8 %. Le type d'élevage, Zrel et les différentes interactions ont donc une contribution faible.

Tableau 10 : Analyse de variance du poids sec en fonction de la date, de Zrel et du type d'élevage.

Effectifs de l'analyse	Facteurs	Probabilité	Significativité
4618	TYEL	0,0000	***
	Zrel	0,0000	***
	DATE	0,0000	***
	Interaction TYEL-Zrel	0,0000	***
	Interaction TYEL-DATE	0,0000	***
	Interaction Zrel-DATE	0,0000	***
	Interaction TYEL-Zrel-Date	0,0000	***

Tableau 11 : Variance des poids de coquille expliquée par les différents facteurs.

TYEL	Zrel	DATE	Interaction TYEL-Zrel	Interaction TYEL-DATE	Interaction Zrel-DATE	Interaction TYEL-Zrel-DATE	Résidu
4,9	7,7	30,9	0,3	1,3	2,1	1,3	43,8

• Effet du type d'élevage

La moyenne des poids secs est significativement supérieure pour les élevages sur table (1,15 g) par rapport aux élevages à plat (0,89 g) (tableau 12). Globalement, les huîtres des élevages sur table ont des poids secs plus importants que les huîtres élevées à plat toutes dates et bathymétries confondues.

Tableau 12 : Moyennes et intervalles de confiance des poids secs (PSEC) en fonction du type d'élevage.

TYEL	PSEC (en g)	Limite basse	Limite haute	Effectifs de l'analyse
1	0,89	0,88	0,91	1959
2	1,15	1,14	1,17	2659

• Effet de la bathymétrie des parcs ostréicoles

La moyenne des poids secs, pour les parcs dont Zrel=1, est significativement différente des moyennes pour les parcs dont Zrel=2 ou 3 (tableau 13). En effet pour Zrel=1, la moyenne du poids sec est significativement supérieure (1,27 g) aux moyennes pour Zrel=2 (0,90 g) et Zrel=3 (0,90 g). **Les huîtres élevées sur des parcs ostréicoles dont Zrel=1 ont donc un poids sec supérieur aux autres huîtres tous types d'élevages et toutes dates confondus.**

Tableau 13 : Moyennes et intervalles de confiance des poids secs en fonction de Zrel.

Zrel	PSEC (en g)	Limite basse	Limite haute	Effectifs de l'analyse
1	1,27	1,25	1,29	1223
2	0,90	0,88	0,92	1426
3	0,90	0,89	0,92	1969

- Effet de l'interaction entre la date et la bathymétrie des parcs ostréicoles selon le type d'élevage

Les élevages à plat

Du 7 avril au 3 juin, les moyennes des poids secs augmentent pour les trois bathymétries relatives, pour atteindre au 3 juin : 1,29 g pour Zrel=1, 0,84 g pour Zrel=2, 0,80 g pour Zrel=3 (figure 19). Les moyennes des poids secs pour la bathymétrie Zrel=1 sont significativement supérieures dès le 5 mai. Les moyennes des poids secs entre le 3 juin et le 21 juillet continuent d'augmenter. Au 21 juillet, les moyennes des poids secs atteignent pour Zrel=1, 2, 3 respectivement 2,35, 1,40 et 1,29 g. La moyenne des poids secs pour les parcs dont Zrel=1 est toujours significativement supérieure par rapport aux parcs dont Zrel=2 ou 3. Entre le 21 juillet et le 18 août les moyennes des poids secs diminuent. Au 18 Août, les moyennes sont de 1,29 g pour Zrel=1, 0,90 g pour Zrel=2 et 0,82 g pour Zrel=3. Il y a toujours une différence significative entre les parcs dont Zrel=1 et les parcs dont Zrel=2 et 3. Le détail des valeurs des moyennes et des intervalles de confiance de la figure 19 est donné en annexe 10 (Tableau *b*).

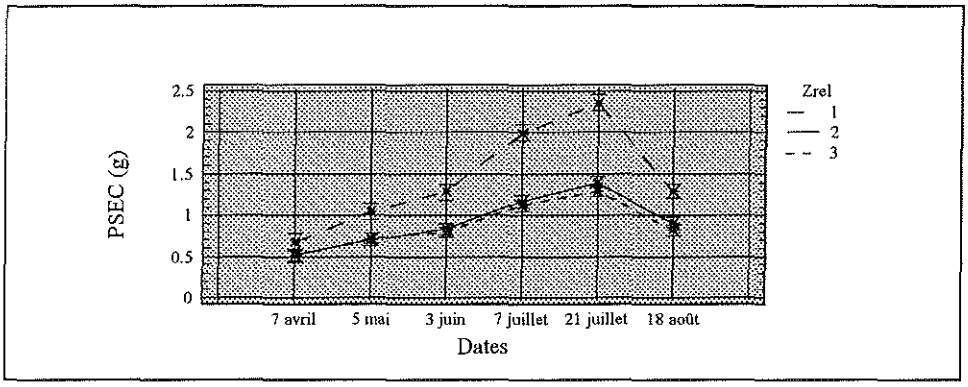


Figure 19 : Moyennes et intervalles de confiance des poids secs (PSEC) en fonction de la date et de la bathymétrie des parcs ostréicoles pour les élevages à plat.

Les élevages sur table

Du 7 avril au 3 juin, les moyennes des poids secs augmentent pour les trois bathymétries relatives pour atteindre au 3 juin : 1,31 g pour Zrel=1, 0,74 g pour Zrel=2, 0,89 g pour Zrel=3 (figure 20). Les moyennes des poids secs pour les différentes bathymétries sont significativement différentes les unes des autres dès le 3 juin. Entre le 3 juin et le 21 juillet, les moyennes continuent d'augmenter, pour les parcs dont Zrel=2 et 3 (1,21 g pour Zrel=2 et 1,50 g pour Zrel=3. Par contre, pour les parcs dont Zrel=1, les moyennes augmentent entre le 3 juin et le 7 juillet (1,91 g au 7 juillet). Ensuite, au 21 juillet, pour ces parcs les moyennes des poids secs diminuent (1,49 g). Pour les parcs dont Zrel=2 et 3, à partir du 18 août, les moyennes des poids secs diminuent pour atteindre respectivement 0,91 g et 0,84 g. La moyenne des poids

secs pour les parcs dont Zrel=1 (1,20 g) est toujours significativement supérieure au 18 août. Le détail des valeurs des moyennes et des intervalles de confiance de la figure 20 est donné en annexe 10 (Tableau *c*).

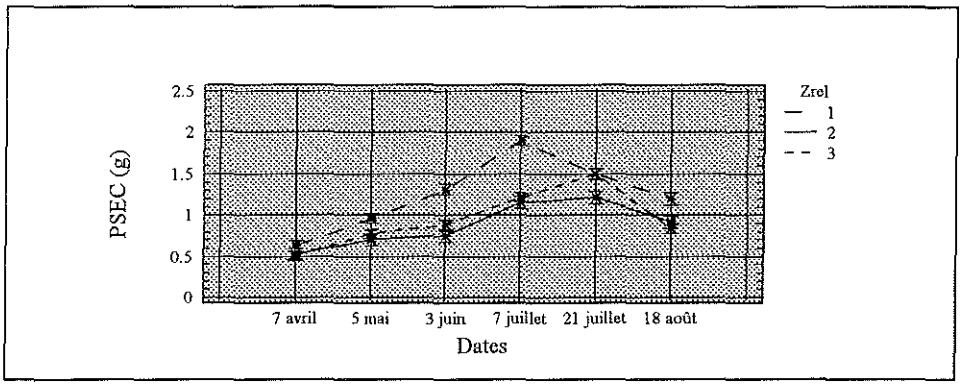


Figure 20 : Moyennes et intervalles de confiance des poids secs (PSEC) en fonction de la date et de la bathymétrie des parcs ostréicoles pour les élevages sur table.

3.1.3. Les gains de poids sec

Des tests de rang de Kruskal-Wallis sur les gains de poids sec en fonction de la période ont été effectués pour chacun des types d'élevage.

- Elevages à plat

Ce test met en évidence une différence hautement significative (1 ‰) des gains de poids sec selon la période considérée (tableau 14).

Tableau 14 : Tests de Kruskal-Wallis sur les gains de poids sec journaliers en fonction de la période.

Probabilité	Périodes	Effectifs
0,0000	1	11
	2	11
	3	11
	4	11
	5	11
	6	11

Concernant le gain de poids sec, la période 3 présente une médiane significativement inférieure à la période 4 (figure 21). La période 6 possède également une médiane de gains de poids sec significativement inférieure à celles des autres périodes. L'intervalle de la distribution des gains de poids sec est très étalé pour les périodes 4, 5 et 6. Le détail des valeurs des médianes, des quartiles et des intervalles de la distribution de la figure 21 est donné en annexe 11 (Tableau *a)*.

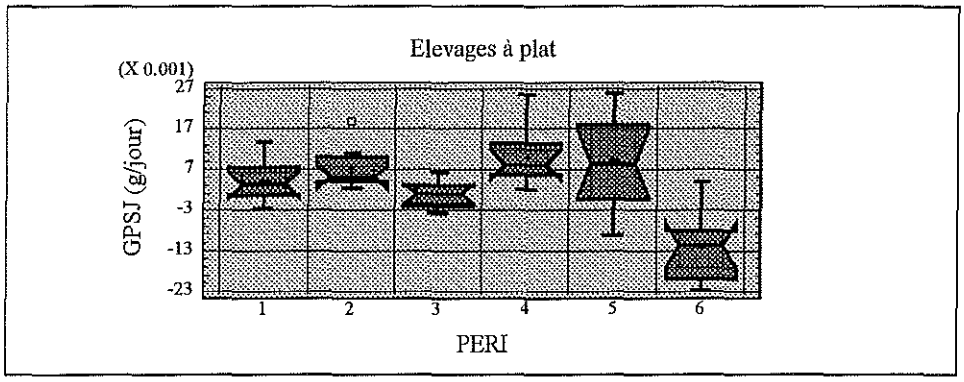


Figure 21 : Médianes, quartiles et intervalles de distribution des gains de poids sec journaliers (GPSJ) en fonction des différentes périodes (PERI).

- Elevages sur table

Ce test permet de mettre en évidence une différence hautement significative (1 ‰) des gains de poids sec selon la période considérée (tableau 15).

Tableau 15 : Tests de Kruskal-Wallis sur les gains de poids sec journaliers (GPSJ) en fonction de la période.

Probabilité	Périodes	Effectifs
0,0000	1	14
	2	14
	3	15
	4	15
	5	12
	6	14

Concernant le gain de poids sec, la période 6, qui correspond à la période de ponte, possède une médiane de gains de poids sec significativement inférieure à celles des autres périodes (figure 22). Les périodes 1, 2 et 3 présentent également des médianes de gains de poids sec significativement inférieures à celle de la période 5. L'intervalle de la distribution des gains de poids sec est assez étalé pour les périodes 4, 5 et surtout 6. Le détail des valeurs des médianes, des quartiles et des intervalles de la distribution de la figure 22 est donné en annexe 11 (Tableau *b)*.

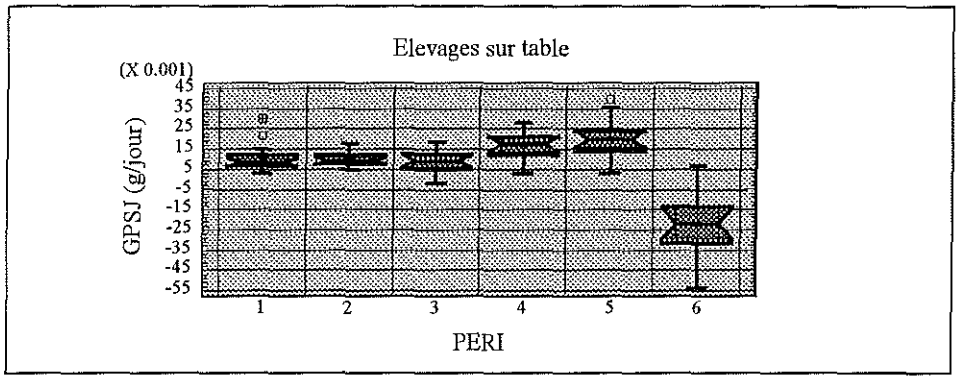


Figure 22 : Médianes, quartiles et intervalles de distribution des gains de poids sec journaliers (GPSJ) en fonction des différentes périodes.

3.2. Maturation et ponte

3.2.1. Maturation

L'analyse de variance des stades de maturation sexuelle en fonction de la date, du type d'élevage et de Zrel met en évidence des effets hautement significatifs (1‰) des trois facteurs et de leurs interactions mise à part l'interaction entre le type d'élevage et Zrel, qui est significative au seuil de 1 % (tableau 16). Leurs contributions à l'explication du modèle ne sont pas identiques (tableau 17). La date explique 66,3 % de la variance des stades de maturation quand les autres facteurs, ou interactions ne dépassent pas 1 %. Le résidu, c'est-à-dire la partie non expliquée de la variance, représente 21,1 %. Le type d'élevage, Zrel et les différentes interactions ont une faible contribution.

Tableau 16 : Analyse de variance des stades de maturation sexuelle (SMS) en fonction de la date, du type d'élevage (TYEL) et Zrel.

Effectifs de l'analyse	Facteurs	Probabilité	Significativité
2719	TYEL	0,0000	***
	Zrel	0,0000	***
	DATE	0,0000	***
	Interaction TYEL-Zrel	0,0017	***
	Interaction TYEL-DATE	0,0000	***
	Interaction Zrel-DATE	0,0000	***
	Interaction TYEL-Zrel-Date	0,0000	***

Tableau 17 : Variance des stades de maturation sexuelle expliquée par les différents facteurs.

TYEL	Zrel	DATE	Interaction TYEL-Zrel	Interaction TYEL-DATE	Interaction Zrel-DATE	Interaction TYEL-Zrel-DATE	Résidu
0,6	0,2	66,3	0,1	0,5	0,5	0,4	21,1

• Effet du type d'élevage

La moyenne des stades de maturation est très supérieure pour les élevages sur table (5,28) par rapport aux élevages à plat (4,86) (figure 23 et tableau 18). Globalement, les huîtres des élevages sur table sont plus matures que les huîtres élevées à plat toutes dates et bathymétries confondues.

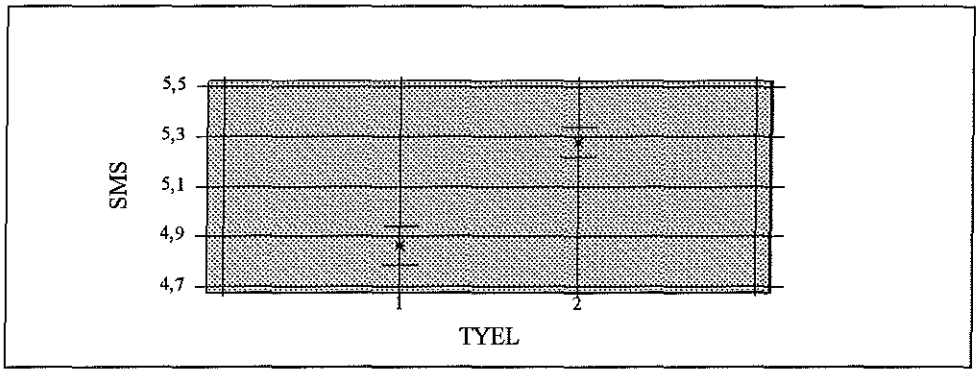


Figure 23 : Moyennes des stades de maturation sexuelle en fonction du type d'élevage.

Tableau 18 : Moyennes et intervalles de confiance des stades de maturation sexuelle en fonction du type d'élevage.

TYEL	SMS	Limite basse	Limite haute	Effectifs de l'analyse
1	4,86	4,79	4,94	1147
2	5,28	5,22	5,34	1572

• Effet de la bathymétrie des parcs ostréicoles

La moyenne des stades de maturation sexuelle, pour les parcs dont Zrel=1, est significativement différente des moyennes pour les parcs dont Zrel=2 ou 3 (tableau 19). En effet pour Zrel=1, la moyenne des stades de maturation est significativement supérieure (5,26) aux moyennes pour Zrel=2 (4,94) et Zrel=3 (5,01). **Les huîtres élevées sur des parcs ostréicoles dont Zrel=1 sont donc plus matures que les autres, tous types d'élevage et toutes dates confondus.**

Tableau 19 : Moyennes et intervalles de confiance des stades de maturation sexuelle (SMS) en fonction de Zrel.

Zrel	SMS	Limite basse	Limite haute	Effectifs de l'analyse
1	5,26	5,17	5,36	734
2	4,94	4,86	5,02	833
3	5,01	4,94	5,08	1152

- Effet de l'interaction entre la date et la bathymétrie des parcs ostréicoles selon le type d'élevage

Les élevages à plat

Entre le 25 mars et le 7 avril, les moyennes des stades de maturation sont comprises entre 2 et 2,3 pour les trois bathymétries relatives (figure 24). Les huîtres sont immatures. Entre le 7 avril et le 7 juillet, les moyennes augmentent pour atteindre au 7 juillet : 8,07 pour Zrel=1, 7,45 pour Zrel=2, 7,80 pour Zrel=3). A la date du 5 mai, la moyenne des stades pour la bathymétrie Zrel=1 est significativement supérieure à la moyenne pour les parcs dont Zrel=3. Au 7 juillet, les huîtres sont en gamétogénèse avancée. Entre le 7 juillet et le 18 août les moyennes des stades de maturation diminuent du fait de la ponte des huîtres. Au 18 Août, les moyennes sont de 4,23 pour Zrel=1, 3,97 pour Zrel=2 et 3,03 pour Zrel=3. Une différence significative entre les parcs dont Zrel=1 et 2 et le parc dont Zrel=3 est apparue le 18 août. Le détail des valeurs des moyennes et des intervalles de confiance de la figure 24 est donné en annexe 12 (Tableau *a*).

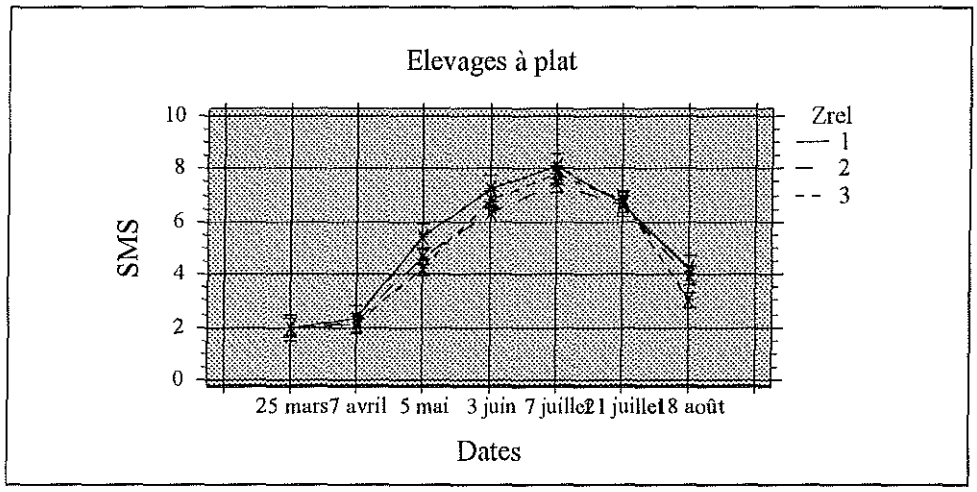


Figure 24 : Moyennes et intervalles de confiance des stades de maturation sexuelle (SMS) en fonction de la date et de la bathymétrie relative (Zrel) des parcs ostréicoles.

Les élevages sur table

Entre le 25 mars et le 7 avril, les moyennes des stades de maturation sont comprises entre 2 et 2,3 pour les trois bathymétries relatives (figure 25). Les huîtres sont immatures. Entre le 7 avril et le 3 juin, les moyennes augmentent pour atteindre au 3 juin : 7,96 pour Zrel=1, 7,92 pour Zrel=2, 7,35 pour Zrel=3. A la date du 5 mai, la moyenne des stades pour la bathymétrie Zrel=1 est significativement supérieure aux moyennes pour les parcs dont Zrel=2 et 3. Au 3 juin, les huîtres sont en gamétogénèse avancée. Entre le 3 juin et le 7 juillet, les moyennes des parcs dont Zrel=1 et 2 n'augmentent pas de façon significative. Seule la moyenne des parcs dont Zrel=3, augmente significativement. Au 7 juillet, les moyennes des stades de maturation des parcs dont Zrel=1, 2 et 3 sont respectivement de 8,15, 8,05 et 8,43. Entre le 7 juillet et le 18 août les moyennes des stades de maturation diminuent significativement. A la date du 21 juillet, la moyenne des parcs dont Zrel=3 est significativement supérieure par rapport aux moyennes des autres parcs. Les résultats obtenus avec les poids secs ont mis en évidence une ponte des huîtres sur les parcs dont Zrel=1 à partir du 7 juillet, et à partir du 21 juillet pour les

parcs dont Zrel=2 et 3. Au 18 Août, les moyennes sont de 4,77 pour Zrel=1, 4,60 pour Zrel=2 et 4,99 pour Zrel=3. Le détail des valeurs des moyennes et des intervalles de confiance de la figure 25 est donné en annexe 12 (Tableau *b*).

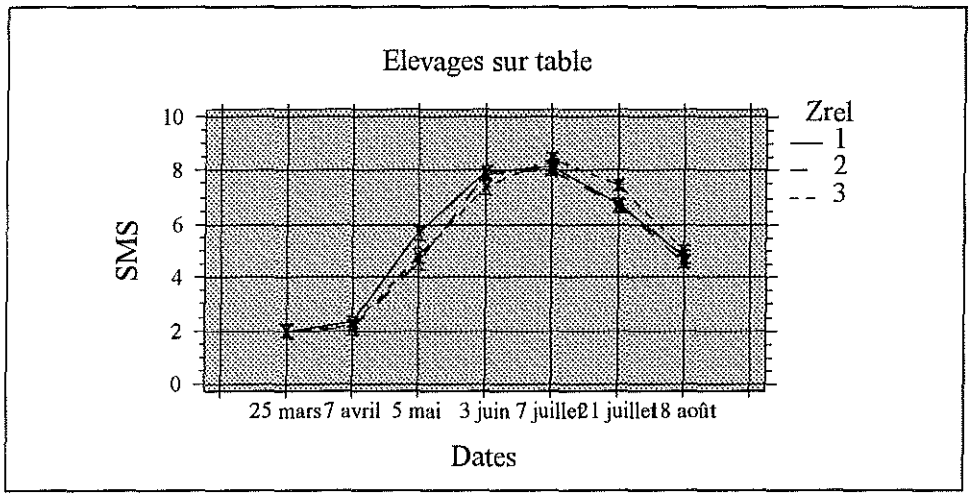


Figure 25 : Moyennes et intervalles de confiance des stades de maturation sexuelle (SMS) en fonction de la date et de la bathymétrie relative (Zrel) des parcs ostréicoles.

3.2.2. "L'effort de ponte"

Quantitativement la ponte a été estimée par « l'effort de ponte » calculé par la différence des poids secs entre le 18 août (post-ponte) et le 21 juillet (pré-ponte) (tableau 20 et figure 26).

Tableau 20 : Quantification de l'effort de ponte en fonction de la bathymétrie relative (Zrel) et du type d'élevage.

Zrel	TYEL	PSEC au 21 juillet	PSEC au 18 août	Différences de PSEC entre le 21 juillet et le 18 août
1	1	1,82	1,20	0,62
1	2	2,03 (*)	1,23	0,80
2	1	1,03	0,85	0,18
2	2	1,58	0,95	0,63
3	1	1,04	0,67	0,37
3	2	1,69	0,96	0,73

(*) Ce poids sec correspond à la date du 7 juillet car, pour Zrel=1, et les élevages sur table, la période de ponte a déjà commencé entre 7 et le 21 juillet.

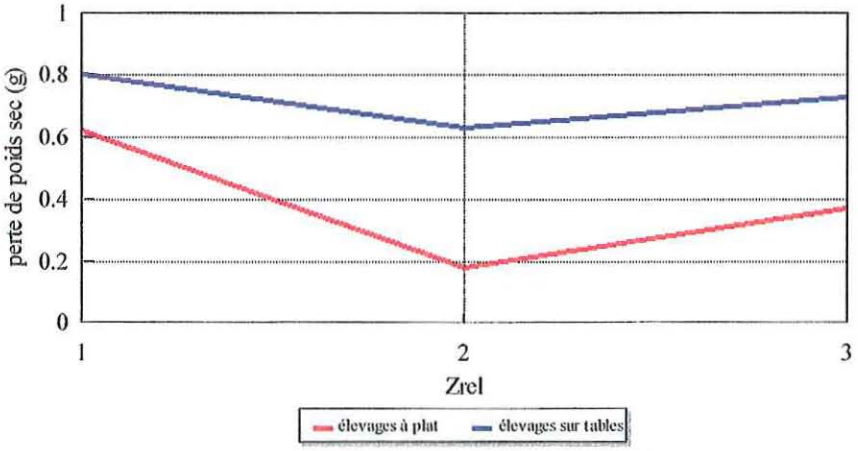


Figure 26 : L'effort de ponte en fonction de Zrel et du type d'élevage.

L'effort de ponte estimé à partir de la perte de poids sec, montre que la ponte a été globalement plus importante pour les élevages sur table que pour les élevages à plat. Pour les huîtres élevées à plat, comme pour les huîtres élevées sur table la ponte a été plus importante pour les parcs dont la bathymétrie est la plus faible.

3.3. Composition biochimique de la chair sèche des huîtres

L'effet de la date et du type d'élevage sur la teneur en protéines, lipides, glucides et glycogène, sont analysés à partir d'analyses de variance. L'interaction entre ces deux facteurs est également testé (tableau 21). Tous les effets sont significatifs au seuil de 1 % ou 1 ‰, exception faite de l'interaction entre la date et le type d'élevage pour la teneur en protéines.

Tableau 21 : Analyses de variance de la composition biochimique de la chair des huîtres en fonction de la date et du type d'élevage

Facteurs	Protéines	Lipides	Glucides	Glycogène	Effectifs de l'analyse
DATE	0,000	0,000	0,000	0,000	
TYEL	0,006	0,000	0,000	0,000	1515
interaction DATE-TYEL	0,115	0,003	0,000	0,003	

3.3.1. Les protéines

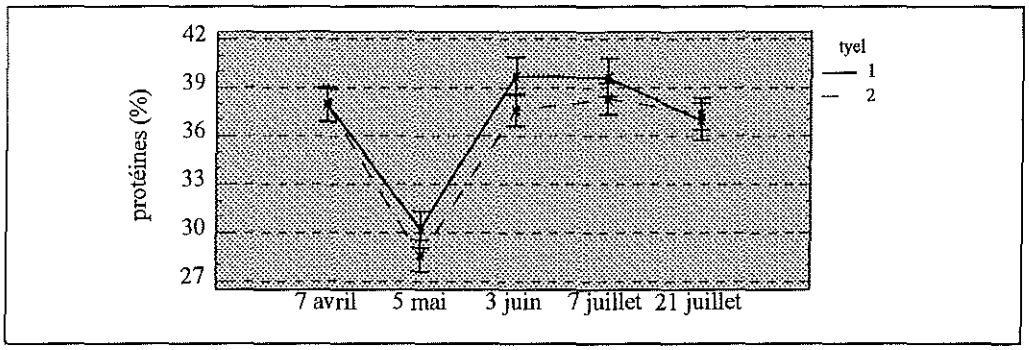


Figure 27 : Teneur en protéines de la chair sèche des huîtres

La teneur en protéines est comprise entre 36 et 40 % au cours de l'élevage, exception faite de la date du 5 mai ou les valeurs tombent autour de 30 % (figure 27). Aucune différence significative n'apparaît entre les deux types d'élevage, plat et table.

3.3.2. Les lipides

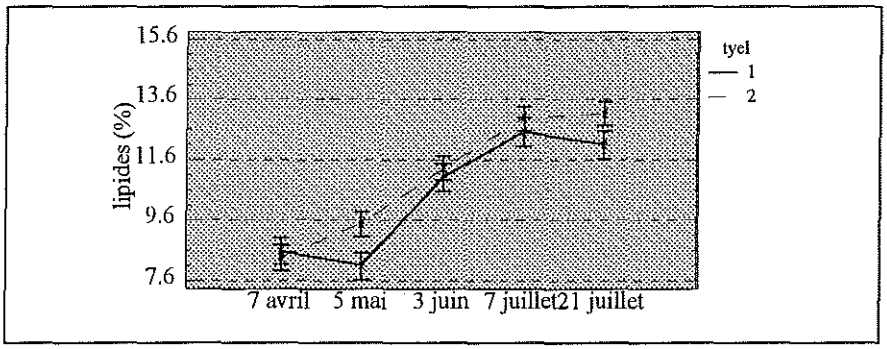


Figure 28 : Teneur en lipides de la chair sèche des huîtres

La teneur en lipides augmente de 8 % à 12-13 % entre le 7 avril et le 7 juillet, et demeure aux alentours de ces valeurs le 21 juillet (figure 28). A cette date, une différence significative apparaît entre les élevages à plat (11,6 - 12,6 %) et les élevages sur table (12,8- 13,6 %). De même, le 5 mai, la teneur en lipides sur le plat a peu évolué par rapport à la situation du 7 avril (environ 8 %).

3.3.3. Les glucides

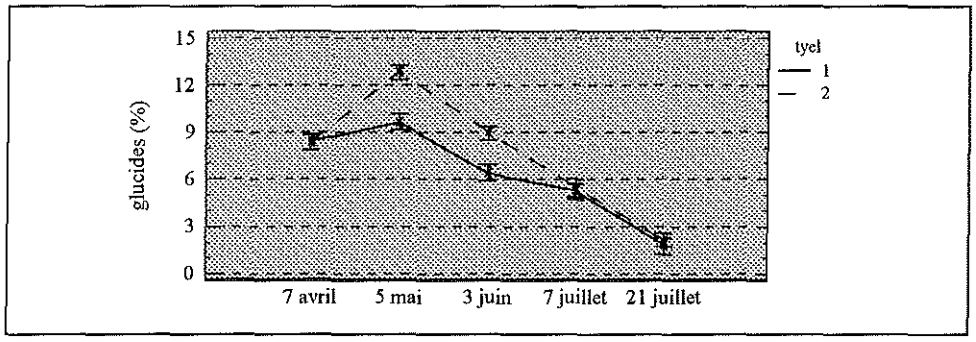


Figure 29 : Teneur en glucides de la chair sèche des huîtres

La teneur en glucides passe de 8,5 % le 7 avril à 9,5 et 13 % le 5 mai, respectivement pour les huîtres à plat et sur table. Le 21 juillet, la teneur est de 2 % pour l'ensemble des cheptels (figure 29). Ainsi, entre le 5 mai et le 3 juin, les concentrations en glucides sont très différentes entre les élevages à plat et sur table.

3.3.4. Le glycogène

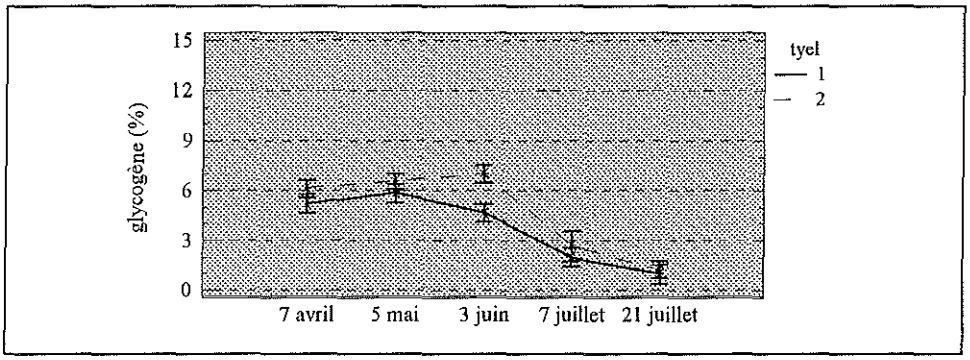


Figure 30 : Teneur en glycogène de la chair sèche des huîtres

La teneur en glycogène se maintient aux environ de 6 % entre le 7 avril et le 3 juin. Puis elle chute aux environs de 1 % à la date du 21 juillet (figure 30). La mobilisation des réserves de glycogène semble toutefois démarrer un peu plus tôt pour les élevages à plat (dès le 5 mai).

3.4. Les mortalités

3.4.1. La mortalité cumulée

Dés le 21 Avril, la mortalité cumulée pour les élevages à plat est supérieure à la mortalité des élevages sur table (test de Kruskal-Wallis), pour toutes les dates d'échantillonnage.

• Elevages à plat

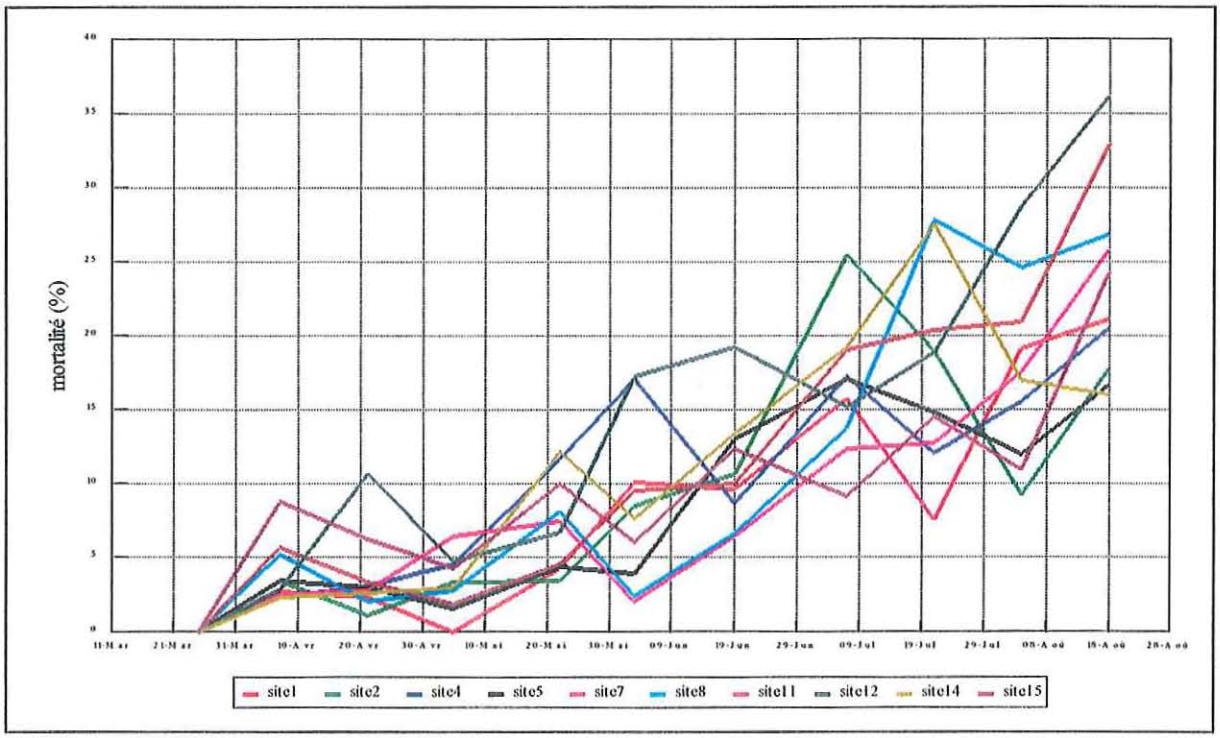


Figure 31 : Mortalités cumulées pour les élevages à plat.

Les mortalités cumulées sont présentées figure 31. En fin d'échantillonnage, les valeurs pour l'ensemble des sites ateliers s'étalent de 16 % pour le site 14 à 36 % pour le site 12. Le détail des mortalités cumulées est présenté en annexe 13 (Tableau *a*).

• Elevages sur table

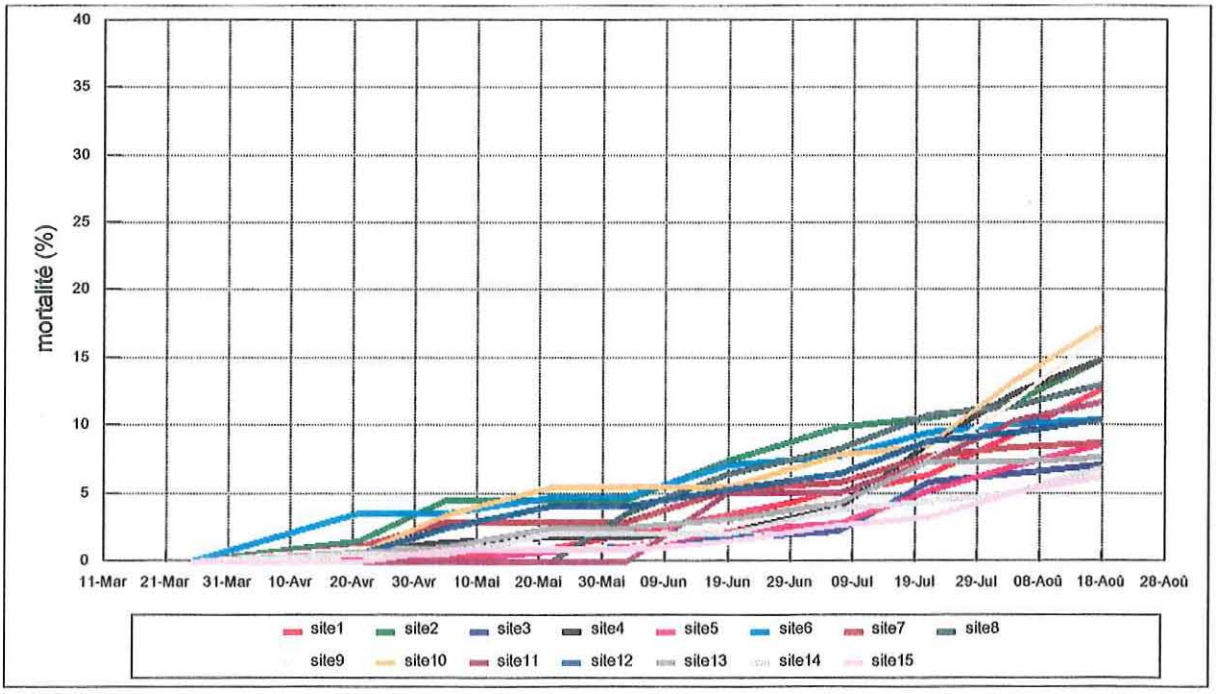


Figure 32 : Mortalités cumulées pour les élevages sur table.

Les mortalités cumulées sont présentées figure 32. En fin d'échantillonnage, les valeurs pour l'ensemble des sites ateliers s'étalent de 6 % pour le site 15 à 17 % pour le site 11. Le détail des mortalités cumulées est présenté en annexe 13 (Tableau *b*).

• Comparaison élevages à plat et sur table

Un test de rang de Kruskal-Wallis met en évidence une différence hautement significative (1 ‰) de la mortalité cumulée au 18 août selon le type d'élevage (tableau 22).

Tableau 22 : Tests de Kruskal-Wallis sur la mortalité cumulée au 18 août en fonction du type d'élevage (TYEL).

Probabilité	TYEL	Effectifs
0,0000	1	11
	2	15

La médiane de la mortalité cumulée au 18 août pour les élevages sur table est significativement inférieure à celle des élevages à plat (figure 33). L'intervalle de la distribution de la mortalité cumulée est assez étalé pour les élevages à plat. Le détail des valeurs des médianes, des quartiles et des intervalles de la distribution de la figure 33 est donné en annexe 13 (Tableau c*)*.

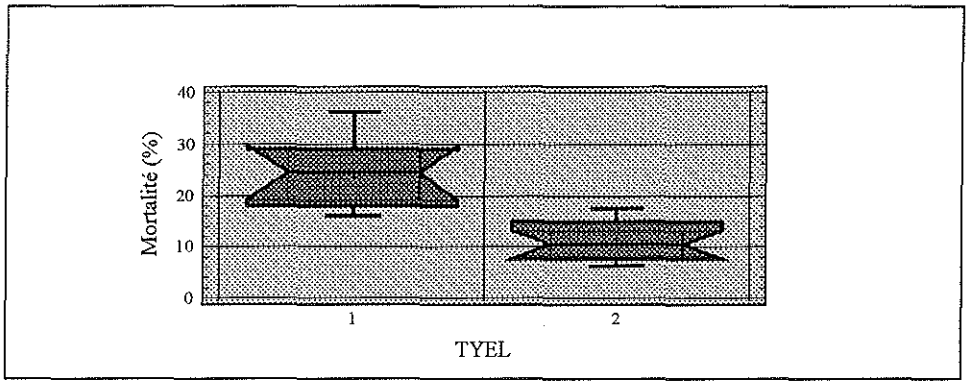


Figure 33 : Médianes, quartiles et intervalles de distribution de la mortalité cumulée au 18 août en fonction du type d'élevage.

3.4.2. Taux de mortalité journaliers (TMJM)

• En fonction des descripteurs biologiques, environnementaux et du type d'élevage

Des tests de rang de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité en fonction des classes des descripteurs biométriques (CSMS, CGPSJ), vase (CVAS56), situation géographique des parcs (CXYZ75), températures (CT20MF, CT25MF, CT30MF), temps d'immersion (CTIMM) et occupation des parcs (COCC) ont été effectués pour les deux types d'élevages.

Elevages à plat

Les résultats obtenus lors des différents tests sont présentés dans le tableau 23. Ces tests ne montrent aucun effet significatif des facteurs sur la réponse « taux de mortalité journalier » pour les élevages à plat.

Tableau 23 : Tests de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité journaliers en fonction des différents facteurs.

Facteurs	Probabilité	Classes	Effectifs
CT20MF	0,6459	1	28
		2	18
		3	9
CT25MF	0,9025	1	27
		2	18
		3	10
CT30MF	0,3545	1	44
		2	11
CTIMM	0,5443	1	18
		2	36
		3	12
CSMS	0,4751	1	15
		2	14
		3	28
		4	9
CGPSJ	0,2338	1	20
		2	35
		3	11
COCC	0,6001	1	10
		2	15
		3	19
CXYZ75	0,5049	1	24
		2	18
		3	24
CVASAF59	0,5731	1	10
		2	21
		3	21

Elevages sur table

Les résultats obtenus lors des différents tests sont présentés dans le tableau 24. Ces tests montrent un effet significatif (5 %) des facteurs sommes des températures supérieures à 20 et 25°C sur la réponse « taux de mortalité journalier » pour les élevages sur table. Un autre effet significatif (5 %) est également mis en évidence pour les stades de maturation sexuelle (CSMS)

Tableau 24 : Tests de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité journaliers en fonction des différents facteurs.

Facteurs	Probabilité	Classes	Effectifs
CT20MF	0,0392	1	42
		2	20
		3	13
CT25MF	0,0292	1	37
		2	24
		3	14
CT30MF	0,0636	1	60
		2	15
CTIMM	0,8369	1	18
		2	42
		3	29
CSMS	0,0243	1	15
		2	15
		3	44
		4	15
CGPSJ	0,2438	1	12
		2	34
		3	38
COCC	0,5566	1	14
		2	25
		3	21
CXYZ75	0,4514	1	24
		2	41
		3	24
CVASAF59	0,5994	1	20
		2	30
		3	21

⇒ Effet des classes de maturation sexuelle sur les taux de mortalité pour les élevages sur table

Les huîtres appartenant aux classes 1 et 4 de maturation sexuelle présentent des médianes de mortalité significativement supérieures aux huîtres de la classe 2 (figure 34). L'intervalle de la distribution des taux de mortalité est très étalé pour les classes de maturation 1 et 4. Le détail des valeurs des médianes, des quartiles et des intervalles de la distribution de la figure 34 est donné en annexe 14 (Tableau *a*).

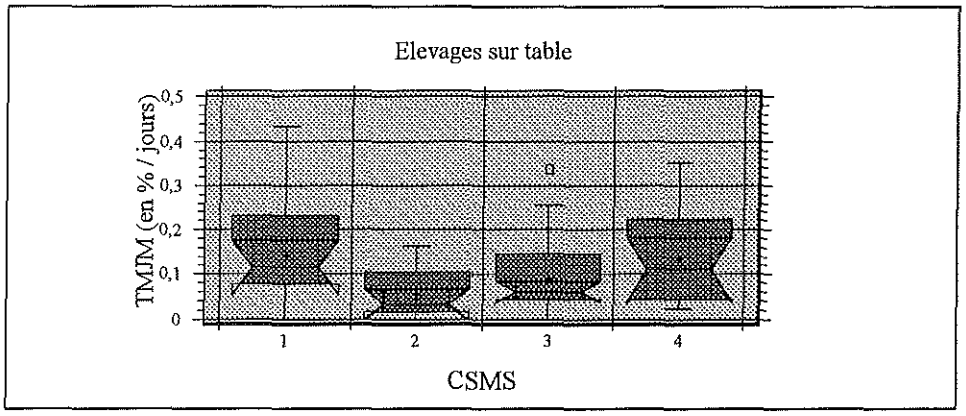


Figure 34 : « Diagramme en boîte » des taux de mortalité journaliers mesurés (TMJM) en fonction des classes de maturation sexuelle (CSMS).

⇒ Effet des classes de températures sur les taux de mortalité

Les huîtres appartenant à la classe 1 des températures supérieures à 20°C présentent des médianes de mortalité significativement inférieures aux huîtres de la classe 3 (figure 35). L'intervalle de la distribution des taux de mortalité est très étalé pour les classes 2 et 3. Les résultats obtenus avec les classes des températures supérieures à 25°C sont identiques, il y a également une distinction entre les classes 1 et 3. Le détail des valeurs des médianes, des quartiles et des intervalles de la distribution de la figure 35 est donné en annexe 14 (Tableau *b)*.

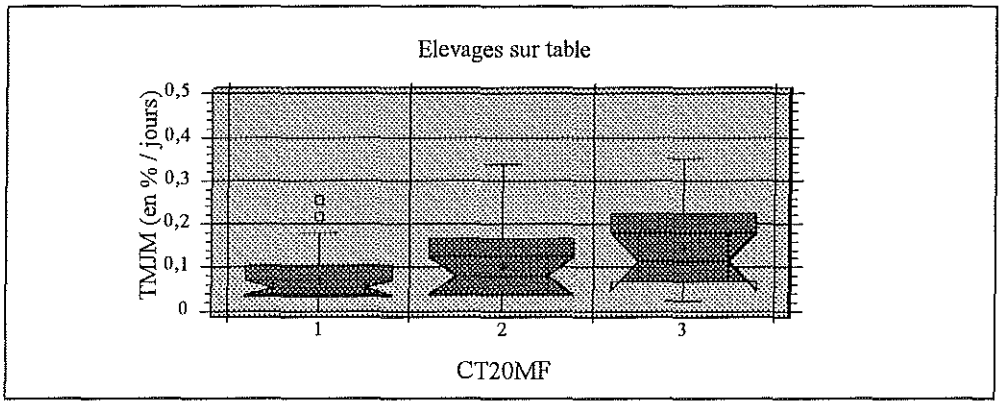


Figure 35 : « Diagramme en boîte » des taux de mortalité journaliers mesurés (TMJM) en fonction des classes des températures supérieures à 20°C (CT20MF).

• En fonction des périodes et du type d'élevage

Des tests de rang de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité en fonction de la période ont été effectués pour chacun des types d'élevage.

Elevages à plat

Ce test ne met en évidence aucune différence significative des taux de mortalité selon la période considérée (tableau 25).

Tableau 25 : Tests de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité journaliers en fonction de la période.

Probabilité	Périodes	Effectifs
0,1765	1	10
	2	10
	3	10
	4	10
	5	10
	6	10
	7	8
	8	7

Les périodes 1 et 2 présentent des médianes de mortalité significativement inférieures à celles des périodes 3 et 6 (figure 36). L'intervalle de la distribution des taux de mortalité est très étalé pour les périodes 2, 4, 7 et 8. Le détail des valeurs des médianes, des quartiles et des intervalles de la distribution de la figure 36 est donné en annexe 14 (Tableau c*)*.

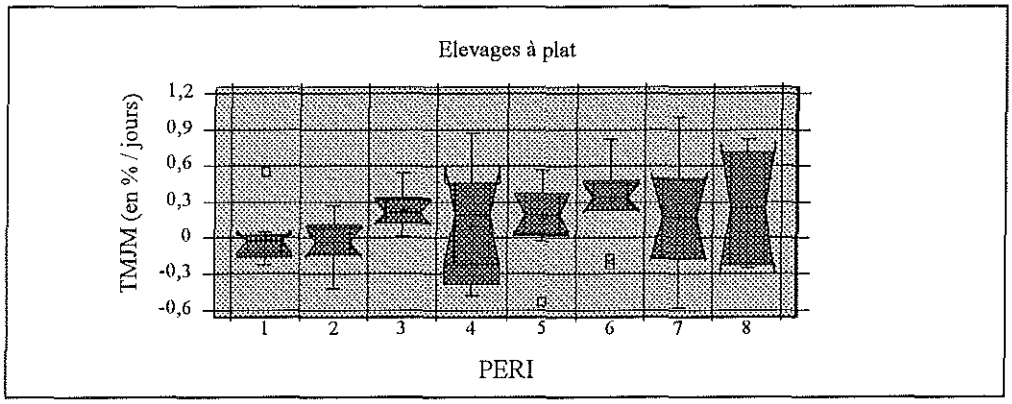


Figure 36 : Médianes, quartiles et intervalles de distribution des taux de mortalité journaliers mesurés (TMJM) en fonction des différentes périodes.

Elevages sur table

Ce test permet de mettre en évidence une différence hautement significative (1 ‰) des taux de mortalité selon la période considérée (tableau 26).

Tableau 26 : Tests de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité journaliers en fonction de la période.

Probabilité	Périodes	Effectifs
0,0000	1	15
	2	15
	3	15
	4	15
	5	15
	6	15
	7	15
	8	15

La période 4 présente une médiane de mortalité significativement inférieure à celle des périodes 1, 5, 6, 7 et 8 (figure 37). L'intervalle de la distribution des taux de mortalité est assez étalé pour les périodes 2, 5, 7 et 8. Le détail des valeurs des médianes, des quartiles et des intervalles de la distribution de la figure 37 est donné en annexe 14 (Tableau *d)*.

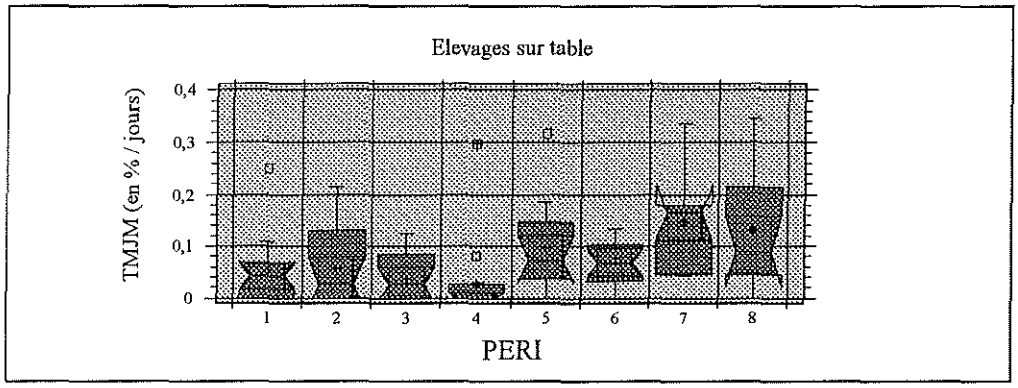


Figure 37 : Médianes, quartiles et intervalles de distribution des taux de mortalité journaliers mesurés (TMJM) en fonction des différentes périodes.

- En fonction des sites ateliers

Des tests de rang de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité en fonction des sites ateliers ont été effectués pour chacun des types d'élevage.

Elevages à plat

Ce test ne met en évidence aucune différence significative des taux de mortalité selon le site considéré (tableau 27).

Tableau 27 : Tests de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité journaliers en fonction du site.

Probabilité	Sites	Effectifs
0,9686	1	8
	2	6
	4	8
	5	6
	7	8
	8	8
	11	8
	12	8
	14	7
	15	8

Les sites ne présentent pas de médianes de mortalité significativement différentes selon les périodes (figure 38). L'intervalle de la distribution des taux de mortalité est très étalé pour les sites 1, 2, 4, 8, 12 et 14. Le détail des valeurs des médianes, des quartiles et des intervalles de la distribution de la figure 38 est donné en annexe 14 (Tableau *e).*

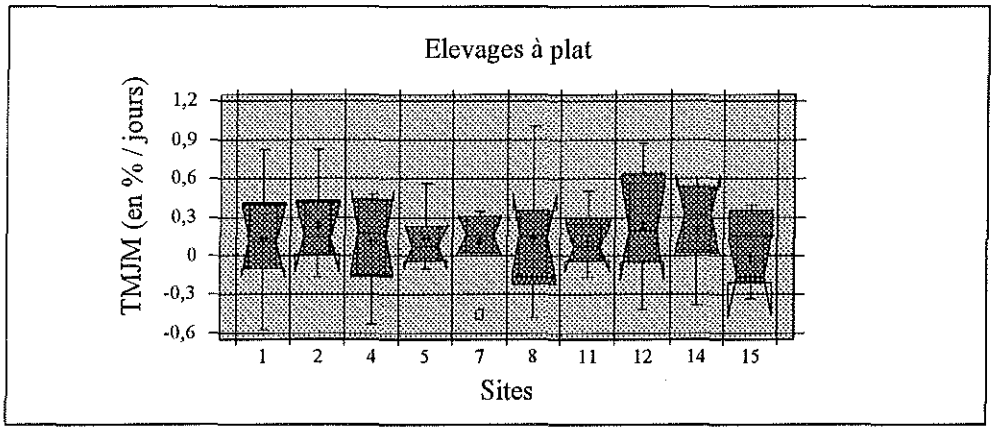


Figure 38 : Médianes, quartiles et intervalles de distribution des taux de mortalité journaliers mesurés (TMJM) en fonction des différents sites.

Elevages sur table

Ce test ne met en évidence aucune différence significative des taux de mortalité selon le site considéré (tableau 28).

Tableau 28 : Tests de Kruskal-Wallis sur les taux de mortalité journaliers en fonction du site.

Probabilité	Sites	Effectifs
0,9493	1	8
	2	8
	3	8
	4	8
	5	8
	6	8
	7	8
	8	8
	9	8
	10	8
	11	8
	12	8
	13	8
	14	8
	15	8

Les sites ne présentent pas de médianes de mortalité significativement différentes selon les périodes (figure 39). L'intervalle de la distribution des taux de mortalité est assez étalé pour les sites 4, 8, 9, 10 et 11. Le détail des valeurs des médianes, des quartiles et des intervalles de la distribution de la figure 39 est donné en annexe 14 (Tableau *f*).

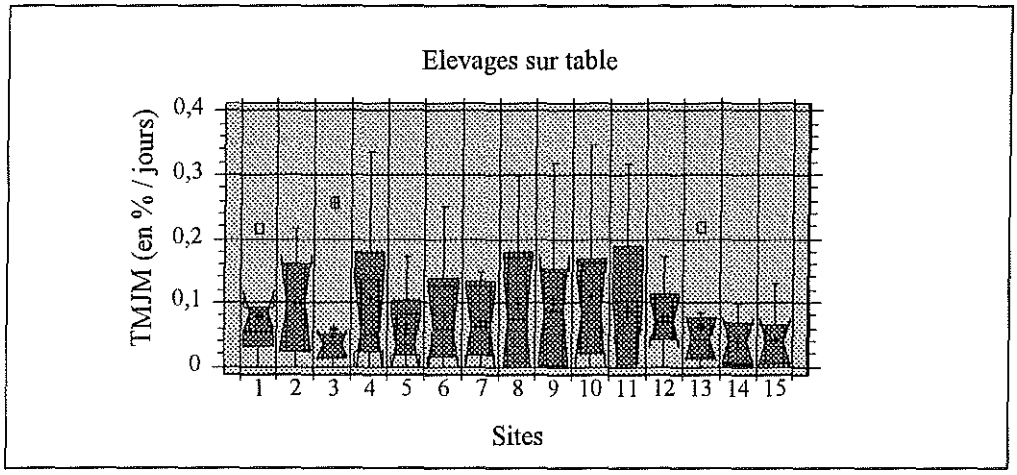


Figure 39 : Médianes, quartiles et intervalles de distribution des taux de mortalité journaliers mesurés (TMJM) en fonction des différents sites.

3.5. Analyses des paramètres environnementaux

3.5.1. Les mesures de saturation en oxygène et de pH

Les mesures du pH et de la saturation en oxygène permettent de mettre en évidence les phénomènes de blooms phytoplanctoniques se produisant pendant la durée de l'étude. Lors d'un bloom, le pH connaît de fortes variations entre le jour et la nuit et la concentration en oxygène augmente fortement le jour du fait de la photosynthèse et chute la nuit du fait de la

respiration du phytoplancton. D'après ces mesures, un premier bloom phytoplanctonique se serait produit aux alentours du 6 juin (figure 40).

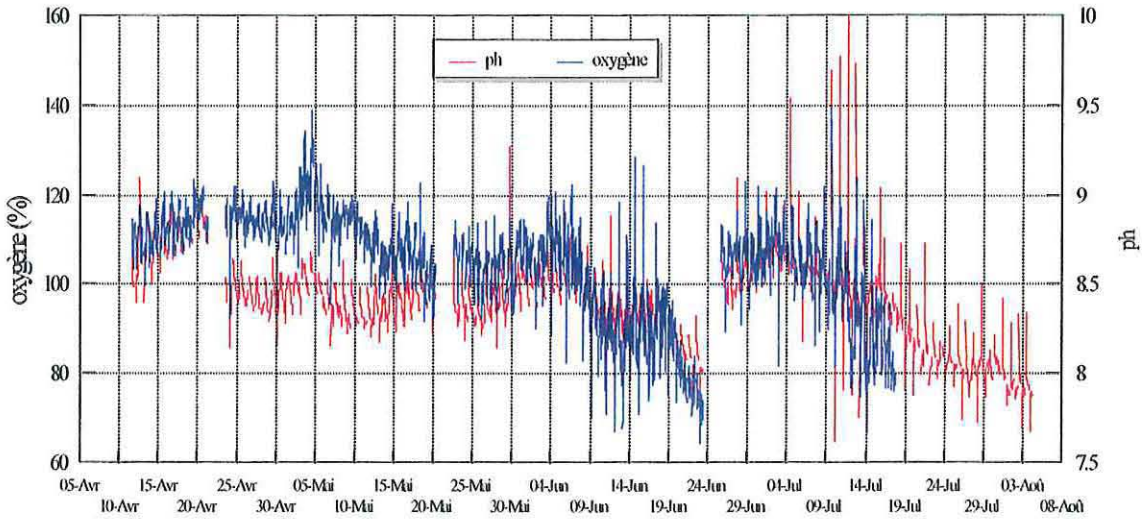


Figure 40 : Mesures du pH et de la concentration en oxygène effectuées sur le site atelier 12 sur le banc de Perquis par la sonde SOLOMAT (*).

(*) Les discontinuitées dans les mesures correspondent à des périodes où la sonde SOLOMAT a été ramenée au laboratoire pour réétalonnage.

A partir du 6 juin, on observe une diminution de la concentration en oxygène. Un second bloom phytoplanctonique a eu lieu vers le 18 juin, un troisième le 9 juillet. Ces blooms phytoplanctoniques sont très importants, car ils permettent l'apport de nourriture pour les huîtres dans le bassin. Ces mesures ont été comparées aux résultats de prélèvements discrets obtenus à la bouée d'Auger (figure 41) dans le cadre du réseau REPHY sur le bassin de Marennes-Oléron (Fouché com. pers.) (figure 42).

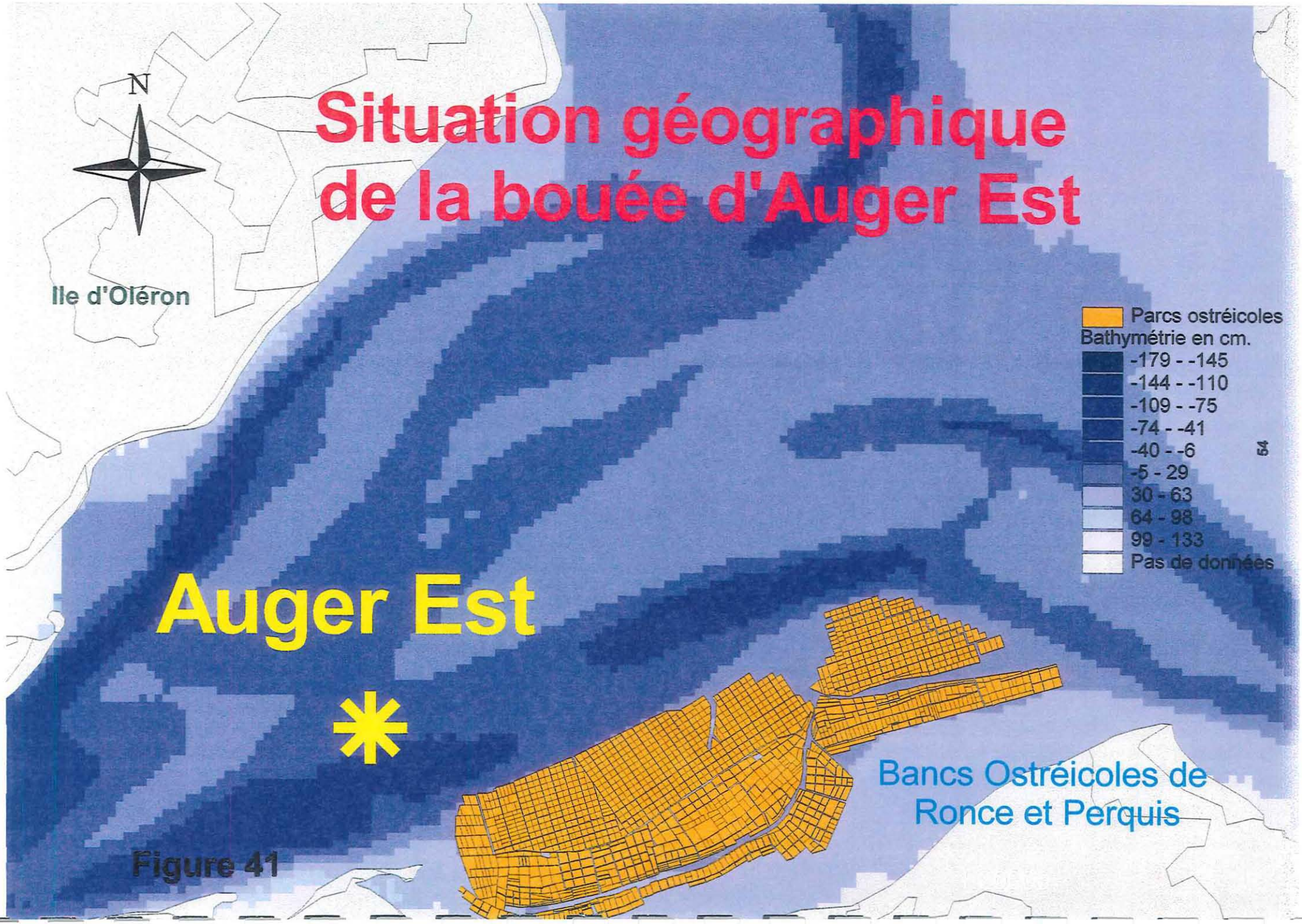

N
Situation géographique
de la bouée d'Auger Est
Ile d'Oléron
Parcs ostréicoles
Bathymétrie en cm.
-179 - -145
-144 - -110
-109 - -75
-74 - -41
-40 - -6
-5 - 29
30 - 63
64 - 98
99 - 133
Pas de données
64
Auger Est
*
Bancs Ostréicoles de
Ronce et Perquis

Figure 41

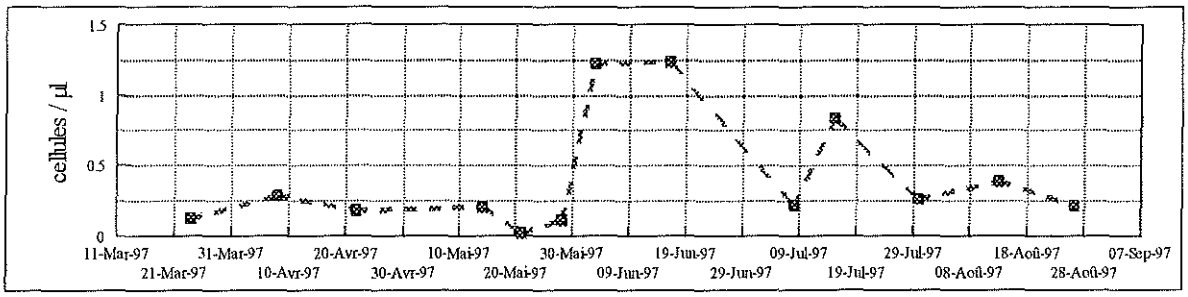


Figure 42 : Suivi des blooms phytoplanctoniques dans le Bassin de Marennes-Oléron. Mesures effectuées à la bouée d'Auger (d'après Fouché).

D'après ces mesures, un premier bloom a eu lieu entre le 28 mai et le 3 juin, un second entre le 3 juin et le 16 juin, un troisième entre le 8 juillet et le 15 juillet.

Globalement, les résultats à la bouée d'Auger du réseau REPHY confirment les mesures effectuées sur le banc de Perquis. Les deux premiers blooms semblent avoir été mesurés légèrement plus tôt à la bouée d'Auger.

La mesure de la concentration en oxygène permet également de mettre en évidence les phénomènes d'hypoxies, c'est-à-dire de pourcentages de concentration en oxygène anormalement faibles. Ces phénomènes d'hypoxies pouvant être à l'origine de la mortalité des huîtres, une attention toute particulière leur sera apportée. **D'après la figure 40, les concentrations en oxygène sont descendues régulièrement en dessous de 80 % pendant deux périodes. La première période s'étale du 9 au 23 juin avec des valeurs pouvant descendre en dessous de 70 % le 12 et le 13 juin. La seconde s'étale du 12 au 18 juillet avec également une valeur inférieure à 70 % au 14 juillet.**

3.5.2. Les mesures des températures

- Températures sur les sites ateliers

La mesure des températures sur les sites ateliers pour les deux types d'élevages (sol et table) met en évidence une variation très importante dans les températures subies par les huîtres (figure 43).

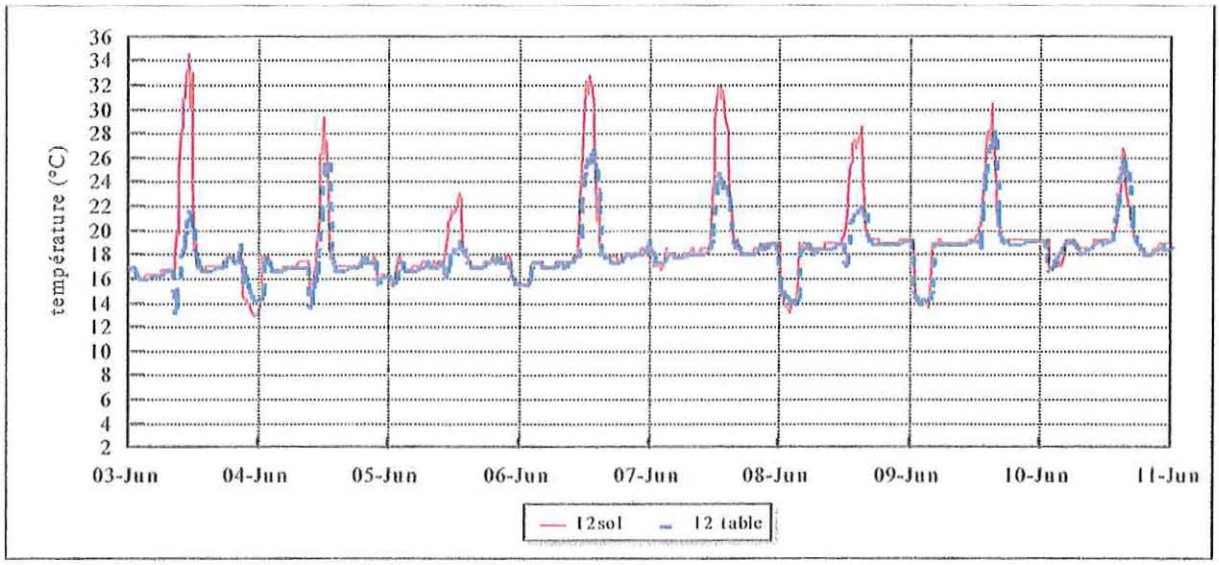


Figure 43 : Températures relevées sur le site atelier 12 du banc de Perquis, « à plat » et sur table.

Pendant les périodes nocturnes, les températures sont identiques pour les deux types d'élevage. Pendant le jour, lors des périodes d'émersion, les températures subies par les huîtres à plat sont très nettement supérieures aux températures subies par les huîtres sur table. Les températures au niveau de l'interface eau/sédiment peuvent atteindre 34°C. Sur table, elles ne dépassent pas 28°C.

- Températures de l'air

Les différentes périodes de 30 jours ont été représentées figure 44.

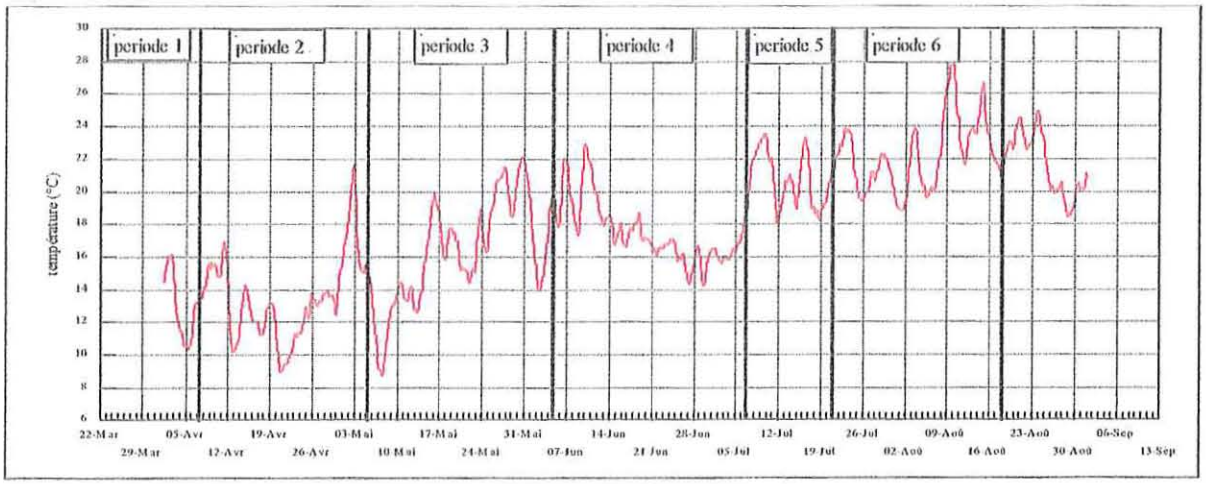


Figure 44 : Températures de l'air entre le 22 mars et le 1er septembre 1997 (d'après Météo-France).

Un pic de température (22°C) est observé début mai (c'est-à-dire à la fin de la 2ème période), suivi de températures froides (9°C) en début de période 3. A la fin de la période 3, début juin, une légère baisse des températures a été observée. La période 4, entre le 3 juin et le 7 juillet, a été globalement une période assez froide. Entre le 7 juillet et le 18 août (périodes 5 et 6), les températures ont augmenté pour atteindre des valeurs de 28°C à la mi-août.

IV. DISCUSSION

4.1. Méthodologie

Des relations entre les taux de mortalité et des descripteurs suivis lors de cette étude ont pu être établies pour les huîtres élevées sur table et non pas pour celles élevées à plat. Ce constat peut s'expliquer par la très grande variabilité des taux de mortalité journaliers mesurés sur les élevages à plat. Cette grande variabilité des mesures peut être liée à plusieurs causes :

- *Un problème d'homogénéisation des huîtres après les comptages.*

En effet, si après un comptage de mortalité, les huîtres sont replacées à l'intérieur du quadrat sans homogénéisation, un biais peut être introduit. Lors du comptage suivant, si le quadrat est lancé de nouveau au même endroit, une concentration anormale d'huîtres mortes ou d'huîtres vivantes peut être rencontrée. Le taux de mortalité se trouve alors biaisé.

- *Les conditions météorologiques peuvent également perturber les comptages de mortalité.*

Lors de forts coups de vent, les coquilles des huîtres mortes sur les élevages à plat peuvent être déplacées. Si ces coquilles vides s'amoncellent dans un coin du parc et que le quadrat « tombe » à cet endroit, le taux de mortalité peut être faussé.

- *La pose d'un grillage autour de certains parcs peut modifier les conditions courantologiques.*

La présence d'un grillage accélère la sédimentation à proximité. L'envasement de certaines huîtres peut augmenter le taux de mortalité.

L'ensemble de ces problèmes méthodologiques rencontrés lors du comptage des mortalités pour les élevages à plat, explique la forte variabilité enregistrée sur les mesures. De plus, le fait de n'effectuer qu'un comptage par site augmente l'imprécision de la mesure. Toutefois, si l'imprécision sur la détermination demeure un facteur important pour l'interprétation des résultats obtenus, l'évaluation de la mortalité sur les parcs à plat des bancs de Ronce et Perquis a été plus précise en 1997 qu'en 1996. En effet, en 1996, la stratégie d'échantillonnage était basée sur une mesure de la mortalité sur une parcelle choisie aléatoirement à partir d'un parc dont les cheptels avaient une « histoire » différente. Les taux de mortalités mesurés étaient donc difficilement mis en relation avec une situation géographique très précise. La mortalité en tache observée a renforcé l'imprécision de la mesure effectuée de façon aléatoire (Lodato, 1997). Pour cette raison, la stratégie retenue en 1997 consistant en une comparaison de cheptels à l'origine identique, semble être plus appropriée à la problématique.

Dans cette étude, la stratégie d'échantillonnage a été déterminée en fonction des contraintes liées aux marées. En comparaison avec l'étude menée en 1996 (Lodato, 1997), une augmentation importante du nombre d'échantillons a été réalisée. L'échantillonnage des mortalités passe de 3 périodes à 8 périodes. Concernant les suivis de biométrie et maturité sexuelle, le pas de temps de 30 jours ne permet peut-être pas de mesurer assez finement les évolutions survenues et en particulier, de cerner la période de ponte pour chacune des

conditions d'élevage (bathymétrie, type d'élevage...). Cependant, compte tenu de la très forte variabilité spatio-temporelle de la croissance et de la maturation, seul un accroissement systématique du nombre d'échantillon paraît envisageable, au détriment du nombre de sites retenus.

La réalisation des analyses statistiques a permis de soulever un autre problème méthodologique. Les résultats concernant les taux de mortalité à une période donnée ont été mis en relation avec les différents paramètres biologiques et environnementaux mesurés à cette même période. Or, en comparant les résultats obtenus à partir des deux bases de données constituées pour les deux pas de temps d'observation, il apparaît des résultats différents. Cette observation soulève le problème de l'inertie de la réponse « mortalité » sur les populations d'huîtres. En effet, si un phénomène, par exemple de fortes chaleurs, est le facteur déclenchant d'une mortalité observée 45 jours plus tard. Notre méthode d'analyse ne permettra pas de mettre en évidence cette corrélation. Des analyses statistiques complémentaires devront être réalisées en décalant les résultats des suivis biologiques et environnementaux par rapport à la réponse "taux de mortalité".

L'effort réalisé concernant le suivi des paramètres de la vase n'a pas permis de mettre en évidence des relations avec la mortalité des élevages à plat. Il semble probable que la trop grande imprécision de la mesure des taux de mortalité sur ces élevages soit à l'origine de ce résultat.

4.2. Croissance, maturation et ponte

Les travaux concernant la maturation sexuelle de *Crassostrea gigas* effectués en 1995-1996 par Soletchnik *et al.* (1997) n'ont pas mis en évidence de différences significatives sur la biométrie des huîtres selon le sexe. Lors de cette étude, aucune distinction n'a été faite entre les mâles et les femelles.

En début d'étude, le 21 mars et le 7 avril, les huîtres sont immatures (stade 2). Durant le mois de mai, la gamétogénèse se caractérise par une baisse des réserves en glucides et en glycogène au profit des lipides des gamètes (Gabbott, 1976). Le processus de gamétogénèse s'est déroulé de façon progressive avec, entre le 5 mai et le 3 juin, une maturation plus rapide des huîtres élevées sur table par rapport aux huîtres à plat. Cette observation met en évidence de meilleures conditions de gamétogénèse des huîtres élevées sur table. Les huîtres élevées sur table à 20 ou 30 cm au-dessus du sol profitent de ressources trophiques plus importantes que les huîtres élevées à plat. La nourriture est transportée par l'intermédiaire de la masse d'eau. L'hydrodynamisme est plus important à 20 cm au-dessus du sol qu'au niveau de l'interface eau/sédiment où les courants sont ralentis au contact de la vase. L'accès à la ressource trophique des huîtres élevées sur table est supérieur du fait des flux d'eau pendant les périodes d'immersion. Les huîtres élevées à plat ont un accès restreint à ces ressources du fait de leur positionnement à l'interface eau/sédiment. De plus, au niveau du sol, une turbidité importante est souvent observée du fait de la remise en suspension de particules. Cette forte turbidité perturbe la filtration des huîtres élevées à plat. Par conséquent, même si les huîtres élevées à plat, du fait d'une bathymétrie plus faible, connaissent des temps d'immersion plus prolongés, leur croissance et leur maturation sont moins bonnes que celles des huîtres élevées sur table.

Une anomalie de croissance (perte de poids sec) a été mise en évidence pour les huîtres élevées à plat entre le 5 mai et le 3 juin et ne peut correspondre à une émission de gamètes.

Pour les élevages sur table, une stagnation du gain de poids sec a été observée pendant cette période. Il semble donc que les conditions environnementales aient freiné la croissance des huîtres entre le 5 mai et le 3 juin. Ce phénomène peut être expliqué par un manque de ressources trophiques. En effet, le premier bloom phytoplanctonique a été observé aux environs du 6 juin. La croissance s'est poursuivie de façon normale après ce bloom. Cette observation met en évidence une fragilisation des huîtres suite à cet épisode. Pour les huîtres élevées sur table, le gain de poids a stagné sur cette période alors qu'il a diminué pour les huîtres élevées à plat. Ce phénomène s'explique par la différence (évoquée précédemment) de la disponibilité des ressources trophiques pour les deux types d'élevage. Cette différence implique une fragilisation encore plus importante des élevages à plat par rapport aux élevages sur table.

Concernant la maturation, pour les élevages à plat au 3 juin, un net retard de maturation est observé par rapport aux élevages sur table. Entre le 3 juin et le 7 juillet, les huîtres des élevages à plat, poursuivant leur gamétogénèse, atteignent un niveau de maturation équivalent à celui des huîtres sur table. Il semble donc qu'il y ait eu des conditions défavorables pour les huîtres élevées à plat au niveau de l'interface eau/sédiment pendant la période du 5 mai au 3 juin. Ce problème a été observé sur les parcs ostréicoles de bathymétrie comprise entre 1,7 m et 2,7 m, mais surtout de façon très significative pour les parcs de bathymétrie comprise entre 2,3 m et 2,7 m. La majorité des parcs, où cet événement a été observé se trouve sur le banc de Perquis. Les parcs les plus sensibles à cet événement sont généralement sur les bords Sud des bancs de Ronce et Perquis, c'est-à-dire proche du continent. La maturation sexuelle et la croissance sont deux phénomènes liés. L'anomalie de la maturation observée le 3 juin et les anomalies de croissance évoquées précédemment (observées surtout pour les élevages à plat) pourraient donc avoir les mêmes origines. Le manque de ressources trophiques jusqu'au 9 juin aurait donc perturbé la maturation sexuelle des d'huîtres élevées à plat sur les bancs de Ronce et Perquis.

Après le 7 juillet, les huîtres ont commencé à pondre, mais uniquement celles élevées sur table et sur des parcs de bathymétries les plus faibles. Les huîtres élevées sur table et sur les parcs les plus immergés ont donc effectivement de meilleures conditions de maturation. Le reste des huîtres a pondu après le 21 juillet. Ce décalage dans le début de la ponte semble découler de ces constatations. De plus, les températures observées aux deux dates de ponte montrent une élévation de température nécessaire à la ponte (figure 49).

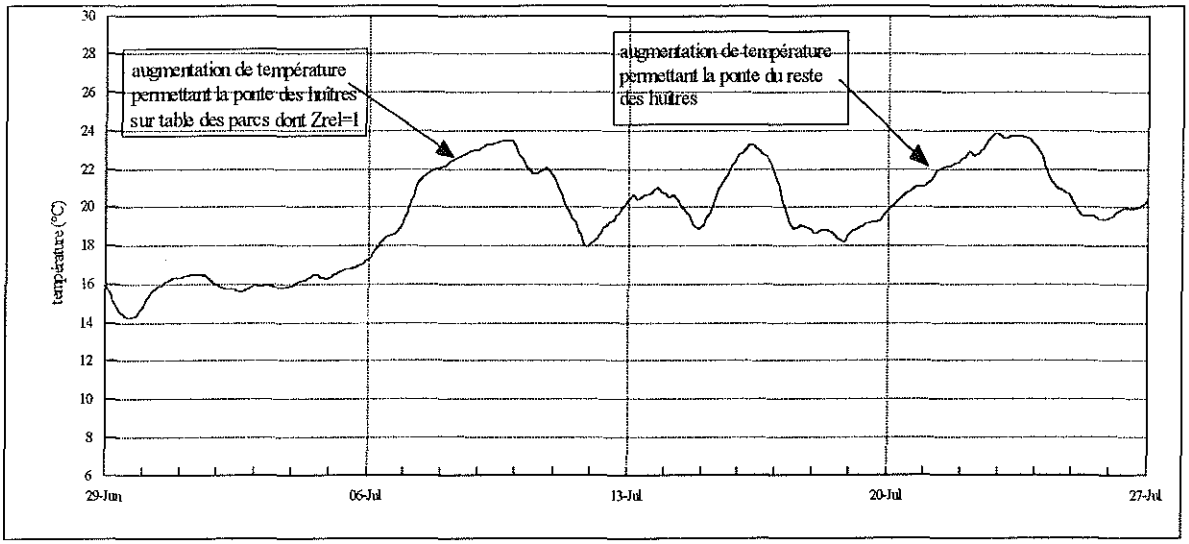


Figure 49 : Températures au moment de la ponte des huîtres (données de Météo-France).

Les analyses biochimiques ont mis en évidence des teneurs anormalement faibles en protéines et en lipides de la chair sèche des huîtres élevées aussi bien à plat que sur table à la date du 5 mai. Il est peu classique d'observer un tel phénomène de perte de qualité générale des huîtres. Aucun phénomène particulier concernant le suivi environnemental n'a été mis en évidence à cette période. Il apparaît d'après ces résultats que les huîtres ont rencontré des conditions défavorables lors du début de la gamétogénèse, entre le 7 avril et le 5 mai.

Entre le 7 et le 21 juillet, la composition biochimique (protéines, lipides, glucides totaux et glycogène) des huîtres montre une situation "d'attente de ponte", la teneur en sucres continue de baisser (jusqu'à environ 1 %), alors que la teneur en lipides n'augmente plus. Cette situation devient rapidement critique, l'huître se trouvant alors à cours de "réserves énergétiques". Entre le 7 et le 21 juillet une fragilisation de l'ensemble du cheptel à plat et sur table est donc apparue. Cette fragilisation de l'huître en stade de maturation sexuelle confirme les travaux sur la maturation de *Crassostrea gigas* (Soletchnik *et al.*, 1997).

Concernant la ponte, les résultats des analyses biochimiques ont mis en évidence une teneur de la chair des huîtres en lipides, significativement différente en fin de gamétogénèse, pour les deux types d'élevages. La teneur en lipides de la chair des huîtres pour les élevages à plat est significativement inférieure à celle des huîtres des élevages sur table. Cette observation laisse supposer une quantité et (ou) une qualité de ponte différente pour les deux types d'élevages. La confirmation ou l'infirmation de cette hypothèse nécessiterait l'analyse d'autres facteurs comme la composition en acides gras. D'après les relations entre la bathymétrie et les ressources trophiques, les huîtres ayant le plus de nourriture ont un effort de ponte supérieur. Or, pour les deux types d'élevages, les huîtres élevées sur les parcs dont Zrel=2 ont les pontes les moins importantes. Il semble donc qu'il y ait pour les parcs de bathymétrie comprise entre 2,3 m et 2,7 m, des conditions défavorables pour la maturation et la ponte des huîtres. La majorité de ces parcs se trouvent sur le bord des bancs de Ronce et Perquis, du côté le plus proche du continent.

Après la ponte, une différence des stades de maturation sexuelle a été observée entre les huîtres des élevages à plat et sur table. Au 18 août, les individus élevés sur table présentent des

stades de maturation sexuelle significativement supérieurs à ceux rencontrés sur les individus élevés à plat. Certaines huîtres des élevages sur table ont entamé un nouveau cycle de gamétogénèse. L'échelle établie pour la détermination des stades de maturation ne permet pas de faire une différenciation entre un stade atrésique (régression gonadique) et un stade de début de gamétogénèse. Cependant, les observations microscopiques ont permis d'identifier des stades de gamétogénèse en cours le 18 août pour les huîtres élevées sur table.

Concernant la croissance, de meilleures performances biologiques ont été observées pour les huîtres élevées sur table par rapport aux huîtres élevées à plat sur l'ensemble de l'étude. De plus, la croissance a été meilleure pour les parcs de bathymétrie plus faible. Ces constatations confirment les relations entre la bathymétrie et les ressources trophiques évoquées précédemment.

4.3. La mortalité estivale

L'huître creuse (*Crassostrea gigas*) subit des mortalités estivales qui diffèrent selon qu'elles touchent les populations d'huîtres adultes ou juvéniles. Tandis que des mortalités affectent les taux de survie du naissain sur l'ensemble du littoral français depuis 1991, une mortalité chronique frappe les productions d'huîtres adultes sur quelques sites nationaux. A ce titre, le site de Pen Bé en Bretagne Sud (annexe 15) ainsi quelques secteurs du Bassin d'Arcachon (Maurer *et al.*, 1986) présentent l'été des pertes analogues à celles des bancs de Ronce et Perquis dans le Bassin de Marennes-Oléron. Sur le plan international, le Japon et la côte Ouest des Etats-Unis ont connu, dans les années 1960 et 1970, des mortalités estivales d'ampleur importante sur les élevages de *Crassostrea gigas* (destruction de 60 % du stock certaines années) (Glude, 1975 ; Koganazawa, 1975).

Le phénomène de mortalités estivales anormales est décrit sur les bancs de Ronce et Perquis depuis 1988, année de fortes pertes ostréicoles pour ces sites (8 000 tonnes) (Bodoy *et al.*, 1988). L'ensemble des données relatives à ce phénomène depuis 1988 a été résumé dans le tableau 38.

Tableau 38 : Bilan des données existantes sur le phénomène de mortalités estivales des bancs de Ronce et Perquis (d'après Bodoy *et al.*, 1988 ; LABEIM, 1992 ; Héral *et al.*, 1993 ; URAPC, 1995 ; Lodato, 1996).

Années	Périodes	Taux de mortalité (%)	Hypothèses écartées	Hypothèses retenues
1988	31 mai 31 juillet	41 50	Toxicité naturelle ou industrielle Maladie infectieuse	Niveau trophique insuffisant
1992	Début: 4 juin	60 (maximum)	Maladie infectieuse Qualité des eaux (substance toxique, bactériologie, pesticides...)	Epuisement rapide des réserves glycogéniques
1993	Début: 17 juin	30 (extrémités du banc) 10-15 (centre du banc et fin juin)	Qualité du milieu	Pas de conclusion définitive mais stress thermique après hiver doux
1995	Début juin à mi-juillet 14 juin 28 juin 17 juillet	 15 (Ronce); 23 (Perquis) 19 (Ronce); 24 (Perquis) 19 (Ronce)	Anomalies biochimiques	Idem
1996	15 avril au 15 juillet	18 (Ronce); 22 (Perquis)	Etat physiologique post-hivernal Origine des lots d'huîtres	Fragilisation des cheptels induite par des performances biologiques élevées et les pratiques culturales Conditions environnementales à l'interface eau/sédiment au moment du réchauffement printanier

En terme de croissance, la station du réseau de surveillance REMORA de Ronce a affiché entre 1986 et 1996 des résultats supérieurs à la moyenne observée dans le Bassin de Marennes-Oléron (Le Moine com. pers.). Des études réalisées au Japon et aux Etats-Unis ont mis en évidence une prédisposition à subir les phénomènes de mortalités estivales pour les huîtres à fort potentiel de croissance (Glude, 1975; Koganezawa, 1975).

Même si les caractéristiques des mortalités sont désormais relativement bien connues, aucune hypothèse sur la cause réelle de ces pertes n'a jamais été corroborée. Pour les élevages sur table, entre le 21 avril et le 5 mai, une variabilité importante des taux de mortalités est observée. Il semble donc que de fortes mortalités aient affecté certains sites. Or, entre le 1er et le 4 mai, des températures très importantes pour la saison ont été mesurées, pouvant atteindre 22°C (figure 51).

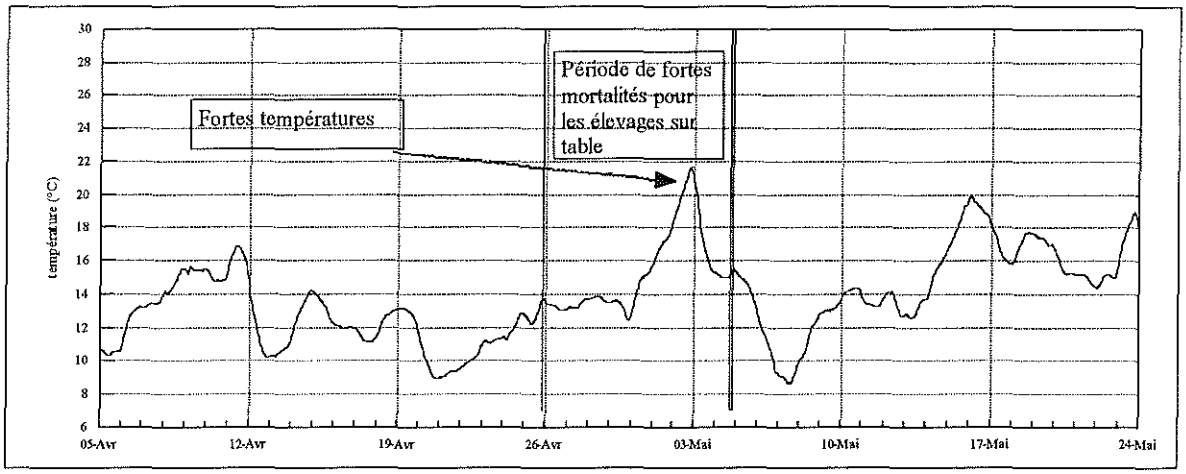


Figure 51 : Température de l'air entre le 5 avril et le 24 mai (données météo-France).

Les analyses statistiques ont mis en relation les taux de mortalités des élevages sur tables et les températures (tableau 32). De plus, les 3 sites les plus touchés par les mortalités sont des sites à bathymétrie haute où les temps d'émersion sont les plus prolongés. On peut donc à nouveau constater que les fortes températures sont corrélées à ces mortalités.

Une variabilité très importante des taux de mortalité journaliers a été observée sur les élevages à plat entre le 22 mai et le 3 juin par rapport aux périodes précédentes. Cette observation indique que sur certains sites, le taux de mortalité a fortement augmenté pendant que sur d'autres sites, il a diminué. Les forts taux de mortalité de certains sites pourraient être mis en relation avec la fragilisation des huîtres mise en évidence par le suivi des paramètres de croissance et de maturation. Mais, la diminution des taux de mortalité sur d'autres sites implique des conditions environnementales particulières sur les sites touchés par les mortalités. Ces conditions particulières, qui n'ont pu être précisées, ont contribué à la fragilisation des huîtres sur certains sites. Un déficit alimentaire ajouté à ces conditions environnementales pourrait être à l'origine d'une mortalité particulière des huîtres des élevages à plat entre le 22 mai et le 3 juin. De plus, l'analyse des mouvements valvaires par la méthode de décomposition de séries chronologiques a permis de déceler une modification comportementale d'huîtres élevées à plat sur le banc de Perquis autour du 9 juin (Soletchnik, com. pers., 1997). Pour les élevages sur table, les taux de mortalité ont augmenté de façon significative entre le 3 et le 19 juin. Une augmentation de la variabilité des taux de mortalité a également été observée. Par ailleurs, les taux de mortalité des élevages sur table suivent de façon décalée l'évolution observée pour les élevages à plat. En effet, c'est entre le 3 et le 19 juin (15 jours plus tard) que la variabilité du taux de mortalité a fortement augmenté pour les élevages sur table. On peut donc supposer que les huîtres élevées sur table subissent de façon plus tardive le même phénomène que les élevages à plat. Cette hypothèse laisse alors penser que l'état de fragilisation subit par les huîtres élevées sur table a entraîné des modifications irréversibles de leur état physiologique. Pour les élevages sur table la mortalité a été multipliée par 2,5 entre la période du 7 au 21 juillet et la période précédente. L'augmentation significative des mortalités peut être due à la fragilisation mise en évidence pendant la période de gamétogénèse avancée. De plus, les mesures de la concentration en oxygène ont montré qu'une hypoxie importante s'était produite le 14 juillet. Ce phénomène a été accompagné de fortes températures (22°C) (figure 52).

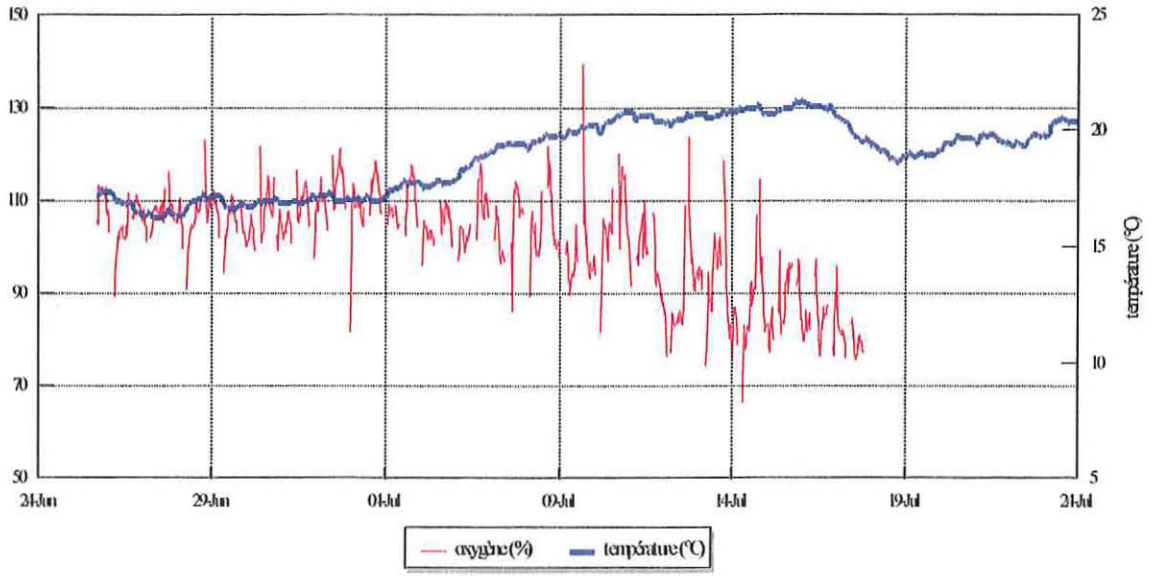


Figure 52 : Concentrations d'oxygène et températures de l'air observées entre le 7 et le 21 juillet.

Une situation de faiblesse physiologique (induite par une maturation sexuelle avancée) amplifiée par des conditions environnementales défavorables pourrait donc être à l'origine de la mortalité des élevages sur table. Ces observations confirmeraient les résultats des tests de rang mettant en relation les taux de mortalité, la maturation sexuelle et les températures d'immersion pour les élevages sur table (tableau 32). La variabilité des taux de mortalité a également doublé sur cette période par rapport à la période précédente. Cette constatation semble indiquer que le phénomène observé serait plus ou moins sensible selon les sites.

Pour les élevages à plat, sur la période du 7 au 21 juillet, la médiane de la mortalité baisse d'un facteur 2 par rapport à la période précédente. Dans le même temps, la dispersion des taux de mortalité est multipliée par 2,5. Il semble donc que les mortalités ne touchent pas l'ensemble du cheptel élevé à plat. Il faut souligner que même si la médiane des taux de mortalité diminue, elle reste importante. Sur cette période s'étalant du 7 au 21 juillet, les médianes des taux de mortalité sont identiques pour les deux types d'élevages. La mortalité mesurée sur cette période semble avoir les mêmes origines que celle des élevages sur table.

La mortalité (cumulée) des élevages à plat, enregistrée vers la mi-juillet, est comparable aux résultats obtenus sur le même site de Ronce et Perquis en 1996 (Lodato, 1997) (figure 53). Les résultats de 1996 et 1997 mettent en évidence des médianes de taux de mortalité d'environ 19 %.

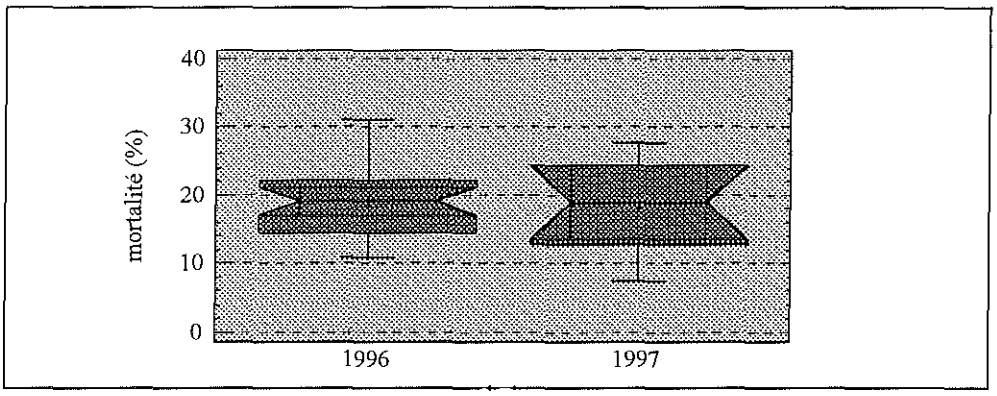


Figure 53 : « Diagramme en boîte » des pourcentages de mortalité cumulée des élevages à plat du 15 juillet 1996 et du 21 juillet 1997.

En 1996, un phénomène de mortalité aiguë avait été observé à partir du 14 juin. En 1997, la mortalité a augmenté de manière continue tout au long de l'étude. Il n'y a pas eu de « crise » de mortalité. Contrairement à l'étude 1996 où la mortalité avait surtout été étudiée pour des élevages à plat, en 1997, le suivi des mortalités a été effectué à la fois sur des élevages à plat et des élevages surélevés (sur tables). Les conclusions de l'étude 1996 avaient mis en évidence des mortalités différentes selon le mode d'élevage, à plat ou en « une à une » ou en « paquets » (huîtres "tapées du collecteur", mais non « détroquées »). En 1997, la comparaison des médianes de mortalités cumulées au 18 août met en évidence une mortalité des élevages à plat significativement supérieure par rapport à celle observée pour les élevages sur table (figure 54) (9-12 % sur les tables, contre 25 % ± 5 % sur le plat).

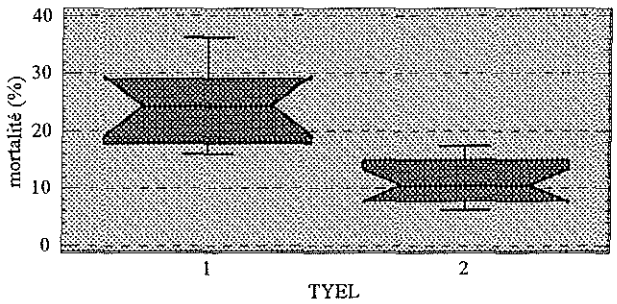


Figure 54 : Mortalité cumulée comparée entre les élevages à plats et en surélevé (sur table) le 18 août.

En 1997, les causes suspectées pour expliquer cette différence de mortalité sont surtout les conditions environnementales rencontrées au niveau de l'interface eau/sédiment et les températures d'émersion. En effet, les températures subies par les huîtres pendant les périodes d'émersion sont très supérieures pour les élevages à plat par rapport aux élevages sur table. Pourtant, aucune relation n'a pu être mise en évidence entre les taux de mortalité des élevages à plat et la somme des températures d'émersion observées. Concernant les conditions environnementales au niveau de l'interface eau/sédiment, l'accumulation de biodépôts entraîne des modifications géochimiques du sédiment sous-jacent non négligeable avec une augmentation pouvant atteindre 83 % de la teneur en carbone organique (Sornin *et al.*, 1983). Des phénomènes locaux d'anoxie peuvent donc être envisagés par le recyclage de quantités importantes de matières organiques et la consommation d'oxygène qu'elle entraîne(Sornin *et al.*, 1983). De plus, après des blooms phytoplanctoniques et en période d'hydrodynamisme faible, le phytoplancton sédimente induisant une consommation d'oxygène supplémentaire qui

peut perturber l'environnement (e. g. anoxie à l'interface eau/sédiment). Les mesures des concentrations d'oxygène ont été effectuées par la sonde SOLOMAT à 15 cm au-dessus de la surface du sédiment. On peut donc supposer que les hypoxies observées sont encore plus aiguës au niveau du sol. De plus, consécutivement au manque d'oxygène, la vase devient réductrice favorisant ainsi l'ammonification et la réduction des sulfates en sulfures. Des teneurs en H_2S quatre fois plus importantes ont ainsi été observées dans les zones de cultures intensives d'huîtres (Sornin *et al.*, 1983). Or, d'après une étude effectuée par Ito et Imaï, le dégagement d'H_2S est néfaste à la filtration des huîtres (Ito et Imaï, 1995). La biodéposition constitue également un « concentrateur » de particules fines au niveau du sédiment dont l'impact concerne non seulement les taux de matières organiques, mais aussi l'éventuelle concentration de métaux et d'hydrocarbures (Martin *et al.*, 1989). Tous ces facteurs peuvent favoriser la mortalité importante observée pour les élevages à plat. Des prélèvements effectués en parallèle de cette étude vont permettre de valider cette hypothèse.

En 1997, les moyennes des mortalités cumulées sont de 15,7 % sur le banc de Ronce et 18,1 % sur Perquis. Les mortalités rencontrées sur les deux bancs ne sont pas significativement différentes. Les mortalités cumulées de 1995, 1996 et 1997 sont comparables (tableau 29). La chronicité du phénomène de mortalités estivales a donc été confirmée à nouveau en 1997.

V. CONCLUSION

Les mortalités chroniques qui ont lieu sur les bancs ostréicoles de Ronce et Perquis depuis 1988, résultent d'une conjugaison et de synergies complexes de facteurs. La mortalité sur certains sites fait suite à des conditions environnementales défavorables (fortes températures, hypoxies) sur des huîtres fragilisées par un déficit alimentaire en période de gamétogénèse avancée.

Les descripteurs de la vase (teneur en eau, en carbone), ainsi que d'autres descripteurs du site comme l'occupation des parcs avoisinants ou la concentration en streptocoques fécaux, varient d'un site à l'autre, et donc caractérisent d'une certaine façon ce site, mais évoluent peu ou pas dans le temps. Aucune corrélation entre ces descripteurs et les mortalités n'a pu être établie qu'il s'agisse des élevages à plat ou sur table. Seule la mortalité sur table a pu être mise en relation, mais dans une certaine mesure seulement avec d'une part l'environnement, et plus particulièrement la température cumulée sur le site en période d'exondation (relation avec le site, la bathymétrie en particulier et la température saisonnière) et d'autre part le stade de maturité sexuelle des huîtres. La relation entre les réponses physiologiques de *C. gigas* et les différents stades de maturité sexuelle a déjà été abordée en conditions de laboratoire (Soletchnik *et al.*, 1996 et 1997). La « fragilité » physiologique de l'huître à un stade de maturité sexuelle avancé a été confirmée *in situ*. Un des résultats de cette étude est donc de conforter ce résultat *in situ*, dans des conditions environnementales naturelles. De plus, dans cette étude, cette « fragilité » est également mise en relation avec la température. Récemment, sur la même espèce, Lagarde (1997) a montré comment des stress thermiques de 28°C, identiques à ceux rencontrés dans le milieu naturel sur le plat, entraînent une augmentation du niveau de respiration, au détriment du bilan énergétique de l'huître.

Sur le plat, la mortalité des huîtres est nettement supérieure à celle enregistrée sur les tables. Dans le cadre de cette étude, aucune relation entre cette mortalité et les différents descripteurs étudiés, n'a pu être mis en évidence. Seule une relation existe avec le temps, relation qui montre que durant les premiers 30-45 jours, la mortalité est relativement faible. Elle se situe ensuite à partir du début mai et jusqu'à mi-août (fin de l'étude) à un taux de + 0,3 % par jour, avec toutefois une grande amplitude de variation pouvant faire monter ce taux à + 0,9 %.

Dès l'élévation des températures, les conditions environnementales au niveau de l'interface eau/sédiment constituent le facteur déterminant des mortalités pour les élevages à plat. Cependant, le problème de précision sur la détermination du taux de mortalité pour cet élevage limite nos conclusions. Un ensemble de facteurs est venu perturber l'échantillonnage *in situ* de ce type d'élevage. Une amélioration de la précision des mesures de mortalité sur les élevages à plat semble donc être une clef des futures recherches effectuées à ce sujet. Néanmoins, l'élevage ostréicole est un domaine difficilement contrôlable dans la mesure où il est entièrement soumis à un milieu extérieur en constante évolution. Si les mortalités chroniques survenant sur les bancs de Ronce et Perquis sont dues à cette évolution, il convient de prendre des dispositions adaptées. En particulier, la réalisation de travaux de désenvasement des principales coursières des bancs de Ronce et Perquis semble importante et nécessaire.

Concernant l'absence de relations avec les descripteurs de l'environnement, plusieurs hypothèses peuvent être avancées :

- Les agents, responsables de la mortalité sont autres que ceux mesurés, et non pas été identifiés (études pour les années à venir...),
- La cause des mortalités agit peut être sur des périodes trop brèves (pollution aiguë) pour être décelée avec notre échelle d'observation de 15 jours (stratégie d'échantillonnage à améliorer),
- La mortalité ne peut être due à une pollution de la colonne d'eau qui aurait affecté simultanément sur le même site, l'élevage à plat et l'élevage en surélevé, à moins d'une stratification particulièrement forte et improbable d'un quelconque élément polluant...

Si le suivi bactériologique effectué sur les bancs de Ronce et Perquis n'a pas mis en évidence de contaminations aiguës, une contamination ponctuelle de certains sites a été détectée. Les résultats de travaux complémentaires concernant les rejets du réseau pluvial permettront peut être d'expliquer l'origine de cette pollution tellurique.

Pour ce rapport, l'accent a été mis sur une recherche de relations entre la mortalité et la bathymétrie. En effet, la bathymétrie est en relation directe avec les temps d'émersion et la disponibilité des ressources trophiques. Néanmoins, cette étude devra être prolongée pour examiner les relations entre la mortalité et la situation géographique des parcs.

VI. BIBLIOGRAPHIE

AFNOR, 1981. Association Française de NORmalisation. Dénombrement des coliformes fécaux dans les eaux conchylicoles et dans les coquillages marins vivants. NF V 45-110, 11 p.

Aminot A. & Chaussepied M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. *CNEXO*, 395 p.

Bodoy A., 1986. Assessments of natural mortalities of cultivated oysters (*Crassostrea gigas*) in the bay of Marennes-Oléron (France). *ICES*, C. M. 1986/K : 38.

Bodoy A., Garnier J., Razet D. & Geairon P., 1990. Mass mortalities of oysters (*Crassostreas gigas*) during spring 1988 in bay of Marennes-Oleron, related to environmental conditions. *CIEM*, Ref E + F, 26 p.

Faury N., Ratiskol J. & Ratiskol G., 1993. Bilan de la surveillance du bassin de Marennes-Oléron et de la rive droite de la Gironde (avril 1989 - décembre1992). RI-DEL/93-13/La Tremblade, 30 p.

Gabbot P.A., 1975. Storage cycle in Marine bivalve molluscs: a hypothesis concerning the relationships between glycogen metabolism and gametogenesis. Proceedings of the 9th European Marine Biology Symposium, Oban, Scotland. H. Barnes Editor. Aberdeen University Press : pp. 191-211.

Glude J. B., 1975. A summary report of the Pacific coast oyster mortality investigations 1965-1972. Proc. third U.S. - Japan Meeting Aquaculture at Tokyo, Japan, October 15-16, 1974 : 1-28.

Goulletquer P., 1996. Liste des opérations de recherche en cours sur les bancs ostréicoles de Ronce et Perquis. *L'Echo des Cabanes*, 22 (5) : 71-80.

Goyard *et al.*, 1996. Réseau REMORA, bilan national de la croissance de l'huître creuse de 1993 à 1995. Avril 1996, 30 p.

Goyard E. *et al.*, 1997. REMORA 96. Réseau de suivi de la croissance de l'huître creuse sur les côtes françaises. Résultats nationaux, année 1996. Avril 1997, 34 p.

Grizel H. & Héral M., 1991. Introduction into France of Japanese oyster (*Crassostrea gigas*). *J. Cons. Explor. Mer.* 47: 399-403.

Héral M., 1986. Evolution et état du cheptel ostréicole dans le Bassin de Marennes-Oléron : Intéret d'une régularisation. RI-DRV 86-06-AQ/La Tremblade, 35 p.

Héral M., 1989. Traditional oyster culture in France. Aquaculture, vol. 1 (Editeur Barnabé - Ed. Lavoisier TEC & DOC) : 342-387.

Héral M., Deslous-Paoli J. M. & J. Prou, 1986. Dynamique des productions et des biomasses des huîtres creuses cultivées (*Crassostre angulata* et *Crassostrea gigas*) dans le Bassin de Marennes-Oléron depuis un siècle. *ICES,* C.M. : F, 41 p.

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

Héral M. *et al.*, 1993. Mortalité de Ronce les Bains : Etat au 23 juin 1993. Rapport provisoire DRV/RA, DEL, 3 p.

Ito S. & Imaï T., 1955. Ecology of oyster bed on decline of productivity due to repeated cultures. *The Tohuku Journal of Agriculture Research,* 4 : 251-268.

Koganazawa A., 1975. Present status of studies on the mass mortality of cultural oysters in Japan and its prevention. Proc Third U.S.- Japan Meeting on Aquaculture at Tokyo, Japan, October 15-16 : 29-34.

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 p. + annexes.

Lagarde F., 1996. Tests préliminaires de toxicité des effluents de la station d'épuration de la Tremblade sur l'huître creuse (*Crassostrea gigas*). Rapport de stage INTECHMER/IFREMER URAPC, 18 p.

Lagarde F., 1997. Eléments d'écophysiologie d'huîtres *Crassostrea gigas* issues du Bassin de Marennes-Oléron. Rapport de stage INTECHMER/IFREMER LCPC, 43 p.

Lodato, 1997. Mortalité estivale de l'huître creuse, *Crassostrea gigas*, sur les bancs ostréicoles de Perquis 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 p.

Martin J. L., Sornin J. M., Delmas D., El Sayed M. & Berthet B., 1989. La biodéposition dans les aires ostréicoles. Son rôle dans la concentration de la matière organique et de contaminants potentiels. Son impact sur le sédiment. RI DRV-89-013-RA/CREMA-L'Houmeau. 60 p. + annexes.

Maurer D., Comps M. & His E., 1986. Caractéristiques des mortalités estivales de l'huître *Crassostrea gigas* dans le bassin d'Arcachon. *Haliotis*, 15 : 309-317.

Mori K., 1979. Effect of artificial eutrophication on the metabolism of the Japanese oyster *Crassostrea gigas. Bull. Eur. Ass. Fish. Pathol.* 12 (1) : 11-13.

Nikolic M., 1964. Causes of oyster mass mortality. Limski Kanal, Istra, 1960. *Acta Adriatica*, 11 (31) : 227-38.

Populus J., Loubersac L., Prou J. & Goulletquer P., 1996. Système d'Informations Localisées pour la Conchyliculture. Note thématique du groupe SILLAGE/TM/04. Mars 1996, 18 p.

Razet D., Faury N., Geairon P., Soletchnik P. & Goulletquer P., 1996. Les Notes Techniques de l'Unité de Recherche Aquacole Poitou-Charentes, NT/URAPC/96-01-02-03. RIDRV/RA 96-11 La Tremblade, 40 p.

Roësberg D., 1997. Suivi de la qualité bactériologique des eaux pluviales rejetées à la mer sur les sites de Ronce-Les-Bains et S$^{t.}$ Pierre-d'Oléron. Rapport de la Direction de l'Environnement et du Littoral, Laboratoire de La Tremblade, 18 p.

SET Praud, 1996. Etude d'impact : extension de la station d'épuration des eaux usées de La Tremblade réalisée pour la Communauté de Communes du Pays Royannais, Département de la Charente-Maritime, 165 p.

Sinderman C. J., 1976. Oyster mortalities and their control. In : Pillay T.V.R. and Dill W.M., eds. Advances in Aquaculture. Fishing News Brooks Farnham, England : 349-361.

Sherrer, 1984. Biostatistiques. Gaëtan Morin Ed., 850 p.

Soletchnik P., Geairon P., Razet D. & Goulletquer P., 1996. Physiologie de la maturation et de la ponte chez l'huître creuse, *Crassostrea gigas.* RI DRV-96-05-RA/La Tremblade, 27 p.

Soletchnik P., Razet D., Geairon P., Faury N. & Goulletquer P., 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 Res.*, 10 : 177-185.

Sornin J. M., Feuillet M., Héral M. & Deslous-Paoli J. M., 1983. Effet des biodépôts de l'huîtres *Crassostrea gigas* (Thunberg) sur l'accumulation de matières organiques dans les parcs du bassin de Marennes-Oléron. *J. Moll. Stud., Suppt.*, 12A : 185-197.

URAPC, 1995. Bilan des mortalités d'huîtres creuses *Crassostrea gigas* en 1995 en Charente-Maritime. Rapport de laboratoire. 9 p. + annexes.

ANNEXE 1 :

Résultats des gains de poids global, rendements et taux de survie des huîtres adultes du Réseau REMORA en 1996 (Goyard *et al.*, 1997)

Station	Localisation	Poids moyen individuel (g)	Survie (%)	Biomasse finale (kg)	Rendement
NORMANDIE					
B. Veys 01	Grandcamp	62,0	96 %	13,7	**1,90**
B. Veys 02	Gefosse	67,4	90 %	13,9	**1,93**
B. Veys 03	Utah Beach	60,7	95 %	13,3	**1,84**
St Vaast 01	Crasville	59,4	96 %	13,2	**1,83**
St Vaast 02	Cul de Loup	53,5	96 %	11,8	**1,64**
St Vaast 03	La Coulège	52,6	88 %	10,7	**1,48**
Côte W. 01	St Germain	40,8	97 %	9,1	**1,27**
Côte W. 02	Gouville	40,9	91 %	8,5	**1,19**
Côte W. 03	Blainville	44,1	93 %	9,5	**1,32**
BRETAGNE NORD					
Cancale 02	Terrelabouet	62,6	94 %	13,6	**1,88**
Paimpol 03	Boulguief	65,7	91 %	13,7	**1,91**
Morlaix 03	Penn Al Lann	66,8	94 %	14,4	**2,00**
Aber Benoit 02	Port du Vil	83,0	91 %	17,4	**2,42**
Brest 03	Roscanvel	59,2	84 %	11,4	**1,58**
BRETAGNE SUD					
Etel 02	Mane Hellec	68,9	91 %	14,5	**2,01**
Quiberon 01	Penthièvre	49,6	85 %	9,7	**1,35**
Quiberon 02	Mener Roué	80,2	78 %	14,4	**2,00**
G. Morb 02	Baden	64,3	92 %	13,7	**1,90**
Pernef 02	Tour du Parc	54,4	85 %	10,6	**1,47**
Pen Bé 02	Chenal	70,3	79 %	12,8	**1,78**
VENDEE					
B. Bouin 01	Gril	54,5	96 %	12,0	**1,67**
B. Bouin 02	Coupelasse	52,3	92 %	11,0	**1,53**
B. Bouin 03	Moutiers	54,5	93 %	11,6	**1,61**
B. Bouin 04	Gresseloup	55,3	94 %	12,0	**1,66**
RE & MARENNES-OLERON					
Ré 01	Ars	53,6	93 %	11,4	**1,59**
Ré 02	Fosse	50,2	96 %	11,1	**1,55**
Ré 03	Martray	59,8	96 %	13,2	**1,84**
Fouras	Fouras	66,9	91 %	14,0	**1,94**
Marennes 01	Les Doux	52,5	97 %	11,8	**1,63**
Marennes 02	Mortanne	57,3	94 %	12,3	**1,71**
Marennes 03	D'Agnas	nd	nd	nd	**nd**
Marennes 04	Bourgeois	51,2	86 %	10,1	**1,40**
Marennes 05	Ronce	55,9	91 %	11,7	**1,62**
ARCACHON					
Cap Ferret		63,4	88 %	12,9	**1,79**
Arguin		66,0	89 %	13,5	**1,87**
Tès		66,2	89 %	13,5	**1,88**
ETANG DE THAU					
Thau 01	Sète	105,8	81 %	19,6	**2,73**
Thau 02	Bouzigue	102,5	93 %	22,0	**3,05**
Thau 03	Marseillan	86,7	84 %	16,8	**2,34**
	MOYENNE	62,1	91 %	12,9	**1,8**

ANNEXE 2 :
Extrait du schéma des structures, 1989

Article 16 : Caractéristiques des tables

Quelle que soit leur affectation, les tables supportant les collecteurs ou les conteneurs, doivent répondre aux caractéristiques suivantes :

a) matériaux utilisés : les tables doivent être entièrement métalliques. Dans les zones envasées ou à forte pente, afin d'éviter leur enfoncement ou leur déplacement par la mer, les pieds des tables peuvent être fixés sur des entretoises en bois ou en tout autre matériau approprié.
Les entretoises ne doivent pas dépasser le niveau du sol et ne pas entraver un enlèvement rapide des tables.

b) Dimensions des tables sauf dispositions particulières :

- hauteur libre minimum sous table : 0,50 m,
- hauteur maximum hors tout : 1,00 m,
- largeur maximum hors tout : 1,20 m.

c) Epaisseur des collecteurs et conteneurs :

- conteneurs : 0,25 m,
- collecteurs : 0,40 m.

d) Orientation et disposition des tables :

Sauf avis contraire et motivé du Comité de Banc intéressé et de l'I.F.R.E.MER :

- les tables sont disposées parallèlement les unes aux autres et orientées dans le sens du courant ou de la lame, ou suivant les dispositions justifiées par le terrain et définies par Décision du Directeur Départemental des Affaires Maritimes, prise après avis du Comité de banc et de la Section Régionale,

- les rangées de tables sont normalement composées de deux files parallèles séparées par un couloir d'exploitation de 1 mètre. Chaque rangée de deux files est séparées de ses voisines par un intervalle de 3 mètres.

e) Maintien, déplacement ou enlèvement des installations

Pour des motifs d'entretien des sols et suivant l'affectation du terrain, le déplacement ou l'enlèvement périodique des tables, s'effectue aux époques précisées dans des décisions du Directeur des Affaires Maritimes, prises sur propositions de la Section Régionale de la Conchyliculture.

ANNEXE 3 :

Fiche terrain de l'étude 1997

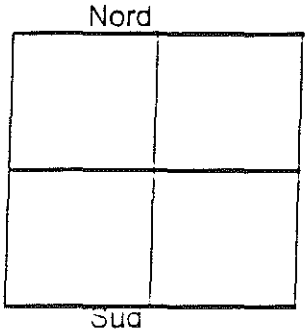
N° Point: Date:

Lot à plat Quadrat :	Lot sur table :
Nb de mortes (coquilles)	**Nb de mortes (coquilles)**
Nb de mortes (avec chair) :	**Nb de mortes (avec chair) :**
Nb de vivantes :	**Nb de vivantes :**

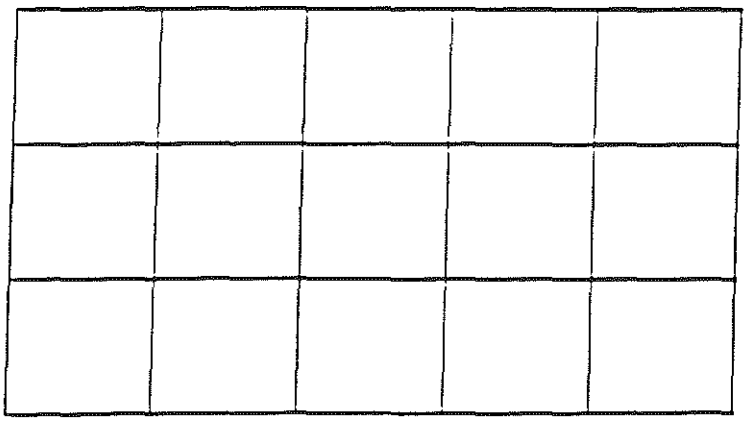
Occupation des parcs (en %) :

(Positionner notre parc par rapport à ses voisins)

Voisins :



'Mesures à l'EH-mètre :



Observations:

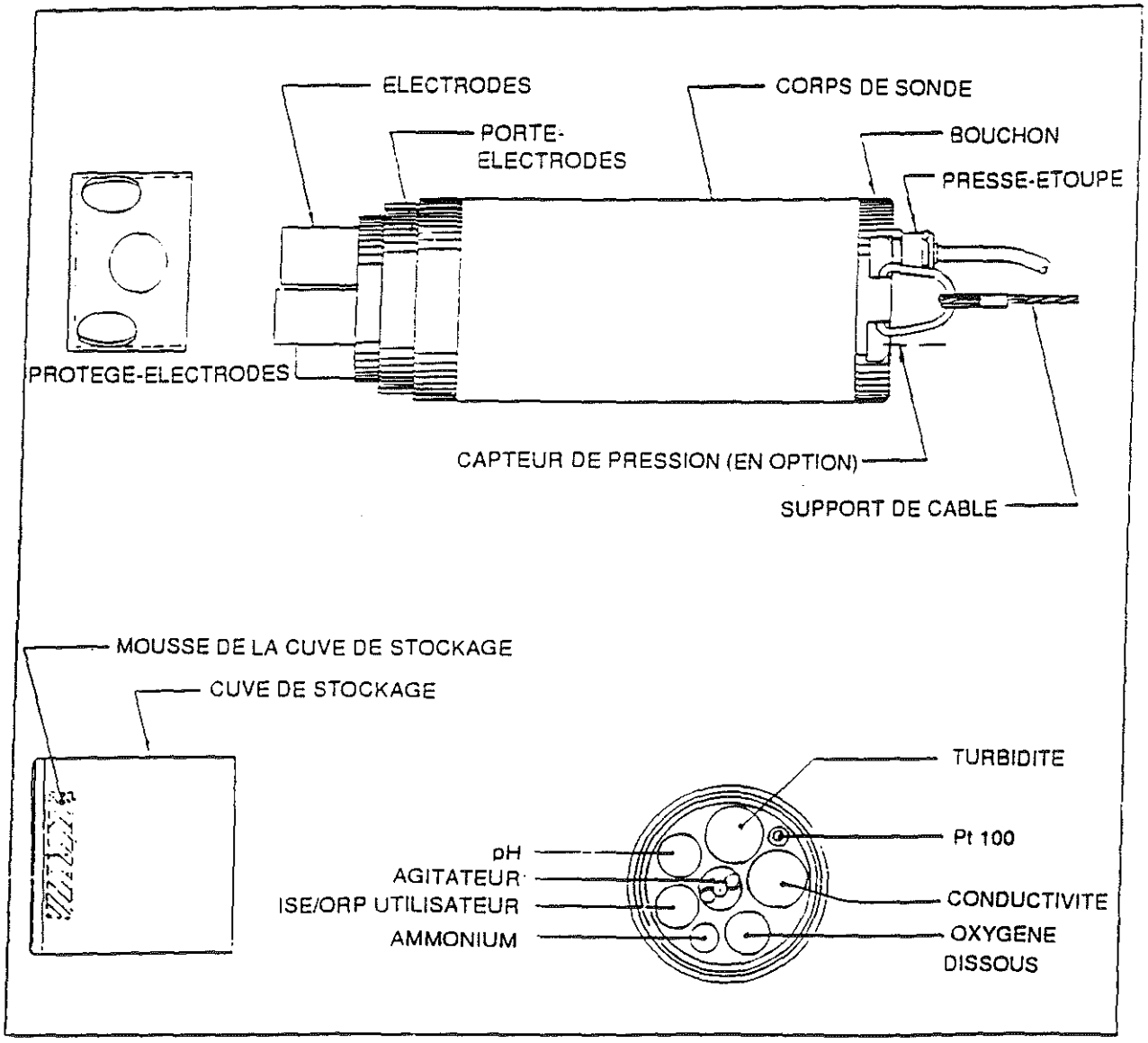
ANNEXE 4 :
Principe du dosage de l'analyseur CHN (Razet *et al.*, 1996)

Principe :

L'échantillon (filtre et matière organique) contenu dans une petite capsule d'aluminium est introduit automatiquement dans un four maintenu à la température de 925°C et dans lequel passe un courant d'hélium. Lors de l'introduction, ce courant d'hélium est enrichi par une quantité déterminée d'oxygène pur pour permettre la combustion éclair (Flash combustion) de la capsule et de l'échantillon. Les gaz de combustion, entrainés par le courant d'hélium, passent sur un catalyseur (Cr_2O_3) qui les oxyde en CO_2 et NO_2. Ces gaz résultants sont ensuite réduits (colonne de cuivre à réduction à 640°C) pour éliminer l'excès d'oxygène et réduire NO_2 en N_2. De plus, ils sont homogénéisés et contrôlés afin que leur pression, température et volume soient constants. Ces gaz sont ensuite séparés par chromatographie en phase gazeuse et quantifiés en fonction de leur conductivité thermique.

Le CHN utilisé est un PERKIN-ELMER Séries II CHN/O Analyser qui se compose d'un CHN, d'une microbalance, d'une unité centrale et son clavier, d'un moniteur couleur et d'une imprimante.

ANNEXE 5 :
Composants de la sonde SOLOMAT



ANNEXE 6 :

Transformation des conductivités en salinités (Aminot et Chaussepied, 1983)

La salinité (S‰) est calculée à partir à partir de la relation suivante :

$$S‰ = - 0,08996 + 28,29720\ R_{15} + 12,80832\ R^2_{15} - 10,678\ R^3_{15} + 5,98624\ R^4_{15} - 1,32311\ R^5_{15}.$$

R 15 est le rapport entre la conductivité de l'eau de mer analysée et celle d'une Eau de Mer Normale à 35 ‰ de salinité, les deux échantillons étant à 15°C et sous une pression de 1 bar. A une température t °C le rapport est R_t et on obtient R_{15} (permettant de calculer S) d'après $R_{15} = R_t + \Delta R$ avec :

$$\Delta R = 10^{-5}\ R_t\ (R_t - 1)\ (t - 15)\ [\ 96,7 - 72,0\ R_t + 37,3\ R^2_t - (0,63 + 0,21\ R^2_t)\ (t - 15)].$$

ANNEXE 7 :
Les classes de descripteurs

Tableau a : Classes du descripteur situation géographique des parcs ostréicoles.

CXYZ75	Description des classes
1	XYZ75 < -1
2	-1 ≤ XYZ75 < 1,5
3	1,5 ≤ XYZ75 < 7

Tableau b : Classes du descripteur vase.

CVAS56	Description des classes
1	CVAS56 < -2
2	-2 ≤ CVAS56 < 2
3	2 ≤ CVAS56 < 9

Tableau c : Classes des stades de maturation sexuelle.

CSMS	Description des classes
1	individus immatures
2	début de gamétogénèse
3	gamétogénèse avancée
4	post-ponte

Tableau d : Classes de gain de poids sec journalier.

CGPSJ	Description des classes (en g/jours)
1	CGPSJ < 0
2	0 ≤ CGPSJ < 0,01
3	0,01 ≤ CGPSJ < 0,06

Tableau e : Classes des sommes des températures supérieures à 20°C.

CT20MF	Description des classes (en °C/30 min)
1	CT20MF < 2 000
2	2 000 ≤ CT20MF < 5 000
3	5 000 ≤ CT20MF < 12 000

Tableau f : Classes des sommes des températures supérieures à 25°C.

CT25MF	Description des classes (en °C/30 min)
1	CT25MF < 800
2	800 ≤ CT25MF < 1 500
3	1 500 ≤ CT25MF < 3 400

Tableau g : Classes des sommes des températures supérieures à 30°C.

CT30MF	Description des classes (en °C/30 min)
1	CT30MF < 0
2	0 ≤ CT30MF < 1 000

Tableau h : Classes des temps d'immersion.

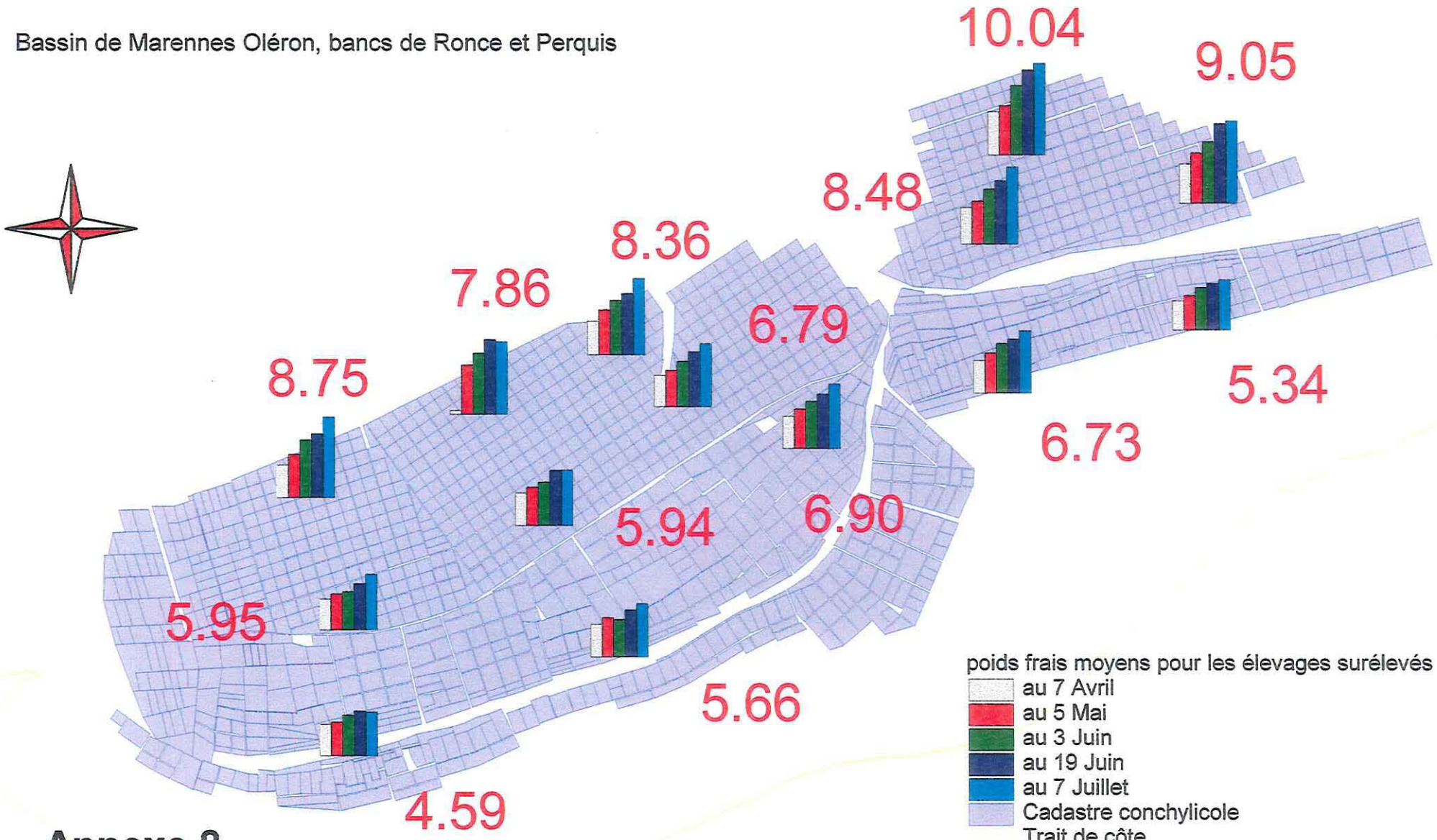
CTIMM	Description des classes (en %)
1	CTIMM < 59
2	59 ≤ CTIMM < 70
3	70 ≤ CTIMM < 86

Tableau i : Classes des taux d'occupation.

COCC	Description des classes (en %)
1	COCC < 40
2	40 ≤ COCC < 70
3	70 ≤ COCC < 120

Poids frais moyens pour les élevages surélevés (Crassostrea gigas)

Bassin de Marennes Oléron, bancs de Ronce et Perquis

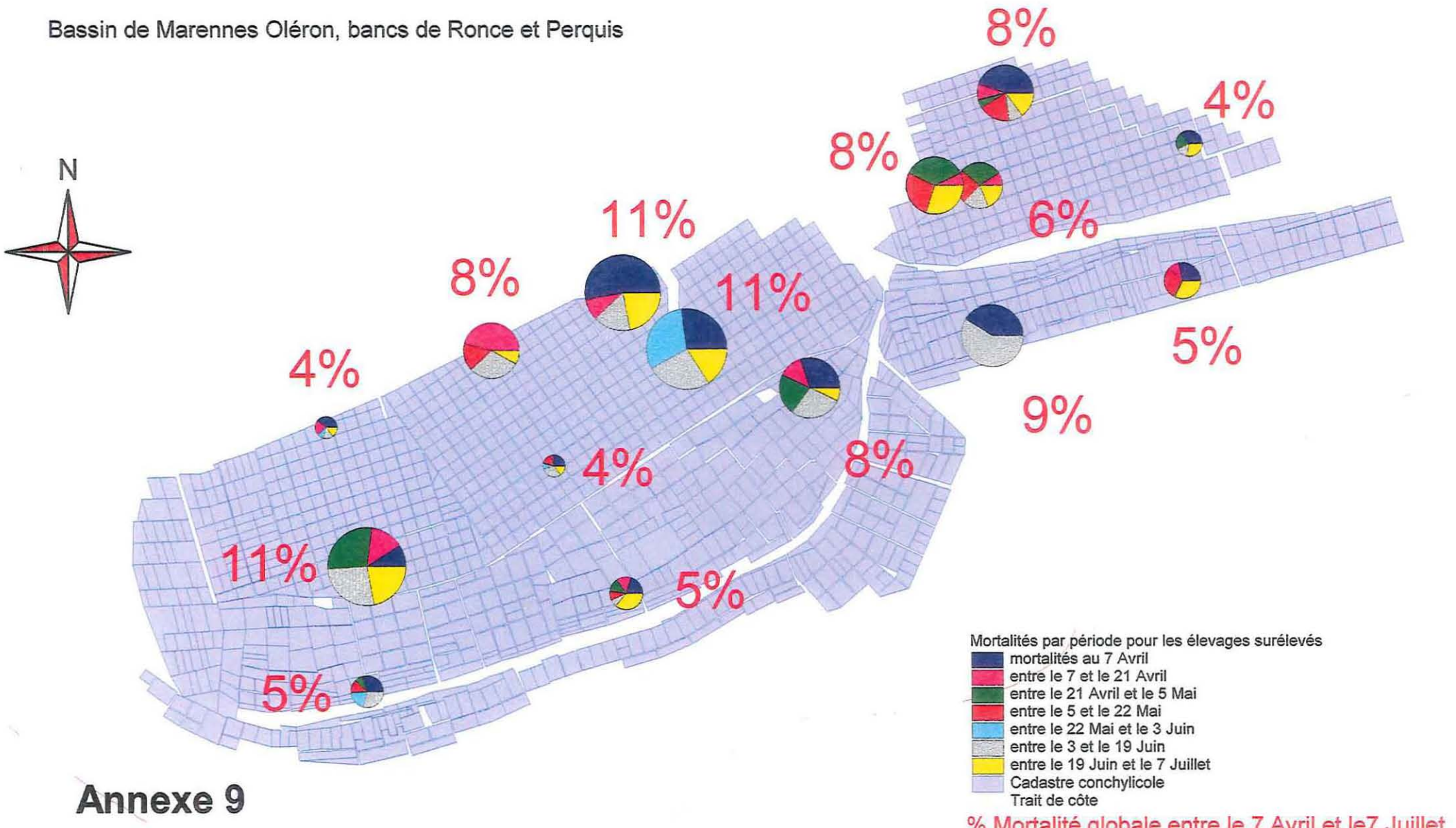


Annexe 8

10.04: poids frais moyens au 7 Juillet 1997

Taux de mortalité par période pour les élevages surélevés (Crassostrea gigas)

Bassin de Marennes Oléron, bancs de Ronce et Perquis



Annexe 9

ANNEXE 10 :

Moyennes et intervalles de confiance des poids de coquille et des poids secs

Tableau a : Valeurs des moyennes et des intervalles de confiance des poids de coquille en fonction de l'interaction entre la date et Zrel.

Dates	Zrel	PCOQ (en g)	Limite basse	Limite haute	Effectifs de l'analyse
1	1	21,44	20,65	22,24	179
1	2	21,90	21,25	22,55	239
1	3	22,08	21,53	22,64	329
2	1	22,56	21,79	23,32	210
2	2	22,50	21,85	23,14	239
2	3	23,28	22,73	23,83	330
3	1	24,21	23,45	24,97	210
3	2	23,62	22,97	24,26	238
3	3	23,62	23,07	24,18	327
4	1	27,76	27,00	28,53	210
4	2	25,30	24,65	25,95	237
4	3	24,60	24,04	25,15	329
5	1	29,82	29,06	30,59	209
5	2	25,40	24,76	26,05	239
5	3	25,18	24,62	25,73	328
6	1	32,26	31,49	33,03	208
6	2	28,35	27,70	29,00	235
6	3	27,64	27,09	28,20	326

Tableau b : Valeurs des moyennes et des intervalles de confiance des poids secs en fonction de l'interaction entre la date et Zrel pour les élevages à plat.

Dates	Zrel	PSEC (en g)	Limite basse	Limite haute	Effectifs de l'analyse
1	1	0,68	0,58	0,78	57
1	2	0,52	0,45	0,59	120
1	3	0,50	0,44	0,57	149
2	1	1,05	0,95	1,14	60
2	2	0,71	0,64	0,73	120
2	3	0,72	0,66	0,78	150
3	1	1,29	1,19	1,39	60
3	2	0,84	0,77	0,90	118
3	3	0,80	0,74	0,86	150
4	1	2,00	1,90	2,09	60
4	2	1,17	1,10	1,24	118
4	3	1,12	1,06	1,18	149
5	1	2,35	2,26	2,45	60
5	2	1,40	1,33	1,47	120
5	3	1,29	1,23	1,35	148
6	1	1,29	1,21	1,38	78
6	2	0,90	0,83	0,97	119
6	3	0,82	0,75	0,89	112

ANNEXE 11 :

Détails des « diagrammes en boîte » des gains de poids sec journaliers

Tableau a : « Diagramme en boîte » des gains de poids sec journaliers (GPSJ) en fonction des périodes pour les élevages à plat.

Périodes	Effectifs de l'analyse	Médiane	Distribution		Quartiles	
			Maximum	Minimum	Supérieur	Inférieur
1	11	0,003	0,014	- 0,003	0,008	0,001
2	11	0,005	0,019	0,003	0,010	0,004
3	11	0,001	0,006	- 0,004	0,003	- 0,002
4	11	0,008	0,025	0,002	0,014	0,006
5	11	0,008	0,026	- 0,009	0,018	- 0,000
6	11	- 0,012	0,004	- 0,023	- 0,008	- 0,020

Tableau b : « Diagramme en boîte » des gains de poids sec journaliers (GPSJ) en fonction des périodes pour les élevages sur table.

Périodes	Effectifs de l'analyse	Médiane	Distribution		Quartiles	
			Maximum	Minimum	Supérieur	Inférieur
1	14	0,008	0,030	0,003	0,012	0,007
2	14	0,009	0,018	0,005	0,012	0,008
3	15	0,009	0,018	- 0,002	0,012	0,005
4	15	0,018	0,028	0,003	0,021	0,012
5	12	0,020	0,039	0,003	0,024	0,014
6	14	- 0,022	0,007	- 0,054	- 0,014	- 0,032

ANNEXE 12 :

Moyennes et intervalles de confiance des stades de maturation sexuelle

Tableau a : Valeurs des moyennes et des intervalles de confiance des stades de maturation sexuelle en fonction de l'interaction entre la date et Zrel pour les élevages à plat.

Dates	Zrel	SMS	Limite basse	Limite haute	Effectifs de l'analyse
0	1	2,00	1,52	2,48	30
0	2	2,00	1,66	2,34	60
0	3	2,00	1,69	2,31	75
1	1	2,34	1,85	2,84	29
1	2	2,18	1,84	2,53	60
1	3	2,09	1,79	2,40	75
2	1	5,43	4,95	5,92	30
2	2	4,68	4,34	5,03	60
2	3	4,24	3,93	4,55	75
3	1	7,27	6,78	7,75	30
3	2	6,31	5,96	6,65	59
3	3	6,84	5,53	7,15	74
4	1	8,07	7,58	8,55	30
4	2	7,45	7,10	7,80	58
4	3	7,80	7,49	8,11	74
5	1	6,70	6,22	7,18	30
5	2	6,65	6,31	6,99	60
5	3	6,83	6,52	7,13	75
6	1	4,23	3,75	4,72	30
6	2	3,97	3,62	4,31	58
6	3	3,03	2,72	3,33	75

Tableau b: Valeurs des moyennes et des intervalles de confiance des stades de maturation sexuelle en fonction de l'interaction entre la date et Zrel pour les élevages sur table.

Dates	Zrel	SMS	Limite basse	Limite haute	Effectifs de l'analyse
0	1	2,00	1,76	2,24	75
0	2	2,00	1,73	2,27	60
0	3	2,00	1,78	2,22	90
1	1	2,33	2,09	2,57	75
1	2	2,13	1,87	2,40	60
1	3	2,20	1,98	2,42	90
2	1	5,68	5,44	5,92	75
2	2	4,58	4,31	4,85	59
2	3	4,82	4,60	5,04	90
3	1	7,96	7,72	8,20	75
3	2	7,92	7,65	8,18	60
3	3	7,36	7,14	7,57	90
4	1	8,15	7,91	8,39	75
4	2	8,05	7,78	8,32	59
4	3	8,43	8,21	8,65	89
5	1	6,73	6,49	6,97	75
5	2	6,68	6,42	6,95	60
5	3	7,49	7,27	7,71	90
6	1	4,77	4,53	5,01	75
6	2	4,60	4,33	4,87	60
6	3	4,99	4,77	5,21	90

ANNEXE 13 :
Mortalités cumulées

Tableau a : Mortalités cumulées pour l'élevage à plat (%).

Date	site1	site2	site4	site5	site7	site8	site11	site12	site14	site15
25/03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
07/04	2,68	3,42	2,36	3,42	2,53	5,26	5,73	2,90	2,27	8,77
21/04	2,29	1,12	3,06	3,00	2,78	2,05	3,40	10,69	2,61	6,25
05/05	0,00	3,32	4,55	1,53	6,47	2,79	1,85	4,79	2,99	4,31
22/05	4,26	3,40	11,69	4,42	7,50	8,15	4,55	6,78	12,22	10,00
03/06	10,09	8,53	17,12	3,93	2,04	2,41	9,57	17,24	7,64	6,03
19/06	9,64	10,69	8,70	13,02	6,49	6,62	10,00	19,29	13,46	12,41
07/07	15,79	25,51	17,24	17,09	12,40	13,76	19,08	15,25	19,23	9,18
21/07	7,59	18,97	12,15	14,83	12,75	27,81	20,39	18,87	27,59	14,52
04/08	19,19	9,27	15,58	12,05	17,54	24,62	21,00	28,81	17,00	10,99
18/08	21,15	17,86	20,59	16,67	25,81	26,87	32,97	36,25	16,09	24,39

Tableau b : Mortalités cumulées pour les élevages sur table (%).

Date	site1	site2	site3	site4	site5	site6	site7	site8	site9	site10	site11	site12	site13	site14	site15
25/03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21/04	0,00	1,53	0,83	0,77	0,18	3,52	1,05	0,00	0,95	0,58	0,00	0,59	0,68	0,52	0,00
05/05	0,40	4,53	0,83	1,41	0,18	3,52	2,89	0,00	0,95	3,45	0,00	2,50	1,06	0,52	0,92
22/05	1,04	4,53	0,83	1,85	0,76	4,76	2,89	0,00	0,95	5,56	0,00	4,07	2,51	2,06	0,92
03/06	2,01	4,53	1,12	1,85	1,07	4,76	2,89	3,55	0,95	5,56	0,00	4,07	2,51	2,10	0,92
19/06	3,42	7,47	1,71	2,21	2,24	7,11	5,24	6,50	2,63	5,56	5,05	5,25	3,11	2,10	1,50
07/07	5,07	9,89	2,31	3,97	2,84	7,71	5,86	8,33	4,92	7,91	5,05	6,44	4,32	3,86	2,68
21/07	6,36	10,51	5,88	8,67	5,22	9,52	7,75	10,81	7,42	8,51	7,36	8,85	7,39	4,46	3,28
04/08	9,39	11,77	6,50	12,35	7,05	10,14	8,39	11,45	11,88	13,36	10,30	9,47	7,39	5,07	5,09
18/08	12,77	14,92	7,12	14,85	8,59	10,44	8,72	13,04	16,81	17,38	11,78	10,41	7,70	6,92	6,31

Tableau c : « Diagramme en boîte » de la mortalité cumulée au 18 août en fonction du type d'élevage.

TYEL	Effectifs de l'analyse	Médiane	Distribution		Quartiles	
			Maximum	Minimum	Supérieur	Inférieur
1	11	24,39	36,25	16,09	29,07	17,86
2	15	10,44	17,38	6,31	14,85	7,70

ANNEXE 14 :
Détails des « diagrammes en boîte » des taux de mortalité journaliers

Tableau a : « Diagramme en boîte » des taux de mortalité (TMJM) en fonction des classes des stades de maturation sexuelle (CSMS).

CSMS	Effectifs de l'analyse	Médiane	Distribution		Quartiles	
			Maximum	Minimum	Supérieur	Inférieur
1	15	0,115	0,434	0,000	0,231	0,077
2	15	0,033	0,162	0,000	0,,103	0,014
3	44	0,059	0,336	0,000	0,144	0,043
4	15	0,110	0,352	0,022	0,225	0,044

Tableau b : « Diagramme en boîte » des taux de mortalité (TMJM) en fonction des classes des températures supérieures à 20°C (CT20MF).

CT20MF	Effectifs de l'analyse	Médiane	Distribution		Quartiles	
			Maximum	Minimum	Supérieur	Inférieur
1	42	0,052	0,255	0,000	0,103	0,032
2	20	0,080	0,336	0,000	0,168	0,037
3	13	0,114	0,352	0,022	0,225	0,067

Tableau c : « Diagramme en boîte » des taux de mortalité (TMJM) en fonction des périodes pour les élevages à plat.

Périodes	Effectifs de l'analyse	Médiane	Distribution		Quartiles	
			Maximum	Minimum	Supérieur	Inférieur
1	10	- 0,029	0,557	- 0,229	0,224	- 0,167
2	10	- 0,039	0,264	- 0,422	0,106	- 0,138
3	10	0,210	0,543	0,005	0,335	0,117
4	10	0,189	0,872	- 0,478	0,453	- 0,382
5	10	0,199	0,568	- 0,527	0,364	0,027
6	10	0,335	0,824	- 0,224	0,475	0,226
7	8	0,176	1,004	- 0,585	0,489	- 0,169
8	7	0,245	1,828	- 0,252	0,710	- 0,229

Tableau d : « Diagramme en boîte » des taux de mortalité (TMJM) en fonction des périodes pour les élevages sur table.

Périodes	Effectifs de l'analyse	Médiane	Distribution		Quartiles	
			Maximum	Minimum	Supérieur	Inférieur
1	15	0,042	0,251	0,000	0,068	0,000
2	15	0,027	0,214	0,000	0,131	0,000
3	15	0,026	0,124	0,000	0,085	0,000
4	15	0,000	0,296	0,000	0,025	0,000
5	15	0,074	0,316	0,000	0,147	0,037
6	15	0,067	0,134	0,000	0,102	0,033
7	15	0,165	0,336	0,043	0,179	0,045
8	15	0,090	0,346	0,000	0,216	0,044

Tableau e : « Diagramme en boîte » des taux de mortalité (TMJM) en fonction des sites pour les élevages à plat.

Sites	Effectifs de l'analyse	Médiane	Distribution		Quartiles	
			Maximum	Minimum	Supérieur	Inférieur
1	8	0,111	0,828	- 0585	0,414	- 0,096
2	6	0,146	0,824	- 0,164	0,427	0,005
4	8	0,176	0,475	- 0,527	0,437	- 0,157
5	6	0,070	0,568	- 0,105	0,226	- 0,041
7	8	0,162	0,342	- 0,455	0,303	0,021
8	8	0,158	1,004	- 0,478	0,356	- 0,229
11	8	0,068	0,505	- 0,167	0,289	- 0,042
12	8	0,193	0,872	- 0,422	0,634	- 0,053
14	7	0,321	0,597	- 0,382	0,543	0,024
15	8	- 0,159	0,398	- 0,330	0,358	- 0,216

Tableau f : « Diagramme en boîte » des taux de mortalité (TMJM) en fonction des sites pour les élevages sur table.

Sites	Effectifs de l'analyse	Médiane	Distribution		Quartiles	
			Maximum	Minimum	Supérieur	Inférieur
1	8	0,085	0,216	0,000	0,092	0,033
2	8	0,100	0,214	0,000	0,159	0,023
3	8	0,035	0,255	0,000	0,052	0,013
4	8	0,051	0,336	0,000	0,181	0,024
5	8	0,034	0,170	0,000	0,103	0,019
6	8	0,059	0,251	0,000	0,138	0,017
7	8	0,061	0,147	0,000	0,133	0,017
8	8	0,074	0,296	0,000	0,181	0,000
9	8	0,087	0,318	0,000	0,153	0,000
10	8	0,084	0,346	0,000	0,168	0,021
11	8	0,000	0,316	0,000	0,188	0,000
12	8	0,070	0,172	0,000	0,114	0,043
13	8	0,044	0,219	0,000	0,076	0,014
14	8	0,040	0,098	0,000	0,068	0,002
15	8	0,040	0,129	0,000	0,066	0,000

ANNEXE 15 :

Evolution des mortalités cumulées sur l'année, observées sur le réseau REMORA de 1993 à 1995 (Goyard *et al.*, 1996)

paramètre	mortalités		
support	poche		
classe d'âge	adultes		
année	1993	1994	1995
B.Veys 01	10%	18%	6%
B.Veys 02	9%	30%	17%
B.Veys 03	7%	15%	11%
St Vaast 01	2%	6%	9%
St Vaast 02	2%	8%	17%
St Vaast 03	2%	8%	6%
Côte W. 01	5%	10%	6%
Côte W. 02	6%	5%	5%
Côte W. 03	9%	9%	9%
Cancale 02	3%	3%	19%
Paimpol 03	8%	6%	10%
Morlaix 02	11%	5%	-
Aber Benoit 02	26%	24%	13%
Brest 03	7%	8%	25%
Etel 02	3%	5%	11%
Quiberon 01	5%	5%	19%
Quiberon 02	7%	6%	15%
G. Morb 02	5%	9%	32%
Penerf 02	6%	11%	43%
Pen Bé 02	19%	24%	51%
B. Bouin 01	7%	-	14%
B. Bouin 02	5%	11%	20%
B. Bouin 03	2%	16%	27%
B. Bouin 04	3%	7%	21%
Ré 01	-	16%	18%
Ré 02	-	27%	14%
Ré 03	-	19%	9%
Fouras	-	31%	17%
Marennes 01	12%	-	23%
Marennes 02	4%	14%	18%
Marennes 03	6%	9%	27%
Marennes 04	7%	16%	18%
Marennes 05	16%	33%	33%
Cap Ferret	6%	14%	19%
Jacquets	7%	25%	27%
Tès	9%	16%	28%
Thau 01	4%	11%	34%
Thau 02	3%	7%	31%
Thau 03	4%	7%	23%
Moyennes	**7%**	**13%**	**19%**

Tableau c : Valeurs des moyennes et des intervalles de confiance des poids secs en fonction de l'interaction entre la date et Zrel pour les élevages sur table.

Dates	Zrel	PSEC (en g)	Limite basse	Limite haute	Effectifs de l'analyse
1	1	0,62	0,55	0,70	119
1	2	0,53	0,46	0,60	119
1	3	0,50	0,45	0,56	180
2	1	0,96	0,90	1,02	150
2	2	0,70	0,63	0,77	119
2	3	0,77	0,72	0,83	180
3	1	1,31	1,25	1,37	150
3	2	0,74	0,67	0,81	120
3	3	0,89	0,83	0,95	177
4	1	1,91	1,84	1,97	150
4	2	1,15	1,08	1,23	119
4	3	1,22	1,16	1,28	180
5	1	1,49	1,43	1,56	149
5	2	1,21	1,14	1,28	119
5	3	1,50	1,44	1,56	180
6	1	1,20	1,13	1,27	112
6	2	0,91	0,84	0,98	115
6	3	0,84	0,79	0,89	214