

Convention de recherche IFREMER / Région Languedoc Roussillon / Union
Européenne - PESCO / Section Régionale Conchylicole de Méditerranée

RAPPORT FINAL
Septembre 2001

**Qualité des huîtres creuses *Crassostrea gigas* élevées dans le bassin de Thau
et influence de la densité d'élevage sur la qualité
Recommandations pour l'élaboration d'un schéma des structures des
élevages de mollusques du bassin de Thau**

Buestel Dominique, Alunno-Bruscia Marianne, Chabirand Jean Michel, Vercelli Catherine,
Oheix Jocelyne, Pichot Yves, Gangnery Aline



REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la Région Languedoc-Roussillon et le CEPRALMAR, l'Union Européenne (PESCA), la Section Régionale Conchylicole de Méditerranée (SRCM) qui, avec l'IFREMER, ont participé au cofinancement de ce projet. Nous remercions également le Ministère des Affaires Etrangères Français pour l'attribution d'une bourse post-doctorale Chateaubriand (collaboration franco-canadienne), sans laquelle ce projet n'aurait pu être réalisé.

Nous adressons notre plus vive gratitude aux élèves du Lycée de la Mer de Sète, ainsi qu'à leurs enseignants Sylvie Mimosa et François Hivon, pour leur aide précieuse lors de l'opération de collage des huîtres et à l'occasion d'échantillonnages. Nous sommes également reconnaissants à Pierre-Yves Hamon, Maxime Hesschentier, et Corine Trentin d'avoir participé ponctuellement au travail de terrain ou laboratoire. Enfin, nous remercions Gaétan Daigle pour son soutien statistique et Grégory Messiaen pour les tableaux d'analyse des stocks.

RESUME

La densité d'élevage des mollusques est un des facteurs importants qui conditionnent la qualité de la production. Dans le bassin de Thau, une réflexion est actuellement en cours pour mettre en place un schéma des structures encadrant les pratiques conchylicoles de manière à améliorer et régulariser la qualité des huîtres. L'objectif de ce travail est de proposer, sur la base de données les plus objectives possibles, des recommandations en terme de densité d'élevage qui permettraient d'éviter une surcharge aussi bien locale que globale sur le bassin.

Une première étude a consisté à réaliser une expérience, à l'échelle d'une table d'élevage, pour tester l'influence de la densité de population sur la croissance et la qualité de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*) élevée en suspension par collage sur cordes dans le bassin de Thau. Les résultats ont montré que la croissance pondérale des huîtres et les indices de condition, choisis pour représenter la qualité des huîtres, étaient affectés par le nombre de cordes : ralentissement de la croissance et huîtres moins "pleines" avec un nombre croissant de cordes. En revanche, nous n'avons pas mis en évidence d'effet significatif du nombre d'huîtres par corde sur la croissance et la qualité des huîtres durant l'expérience. Cette étude permet de proposer, pour cette table particulière, des mesures de limitation de densité en termes de nombre de cordes par table, charge et longueur de ces cordes, de manière à obtenir une qualité optimale des huîtres en élevage.

L'extension des recommandations à l'échelle de l'ensemble du bassin a nécessité l'utilisation de résultats issus d'études complémentaires : estimation de la qualité de la production *in situ* et commercialisée par les ostréiculteurs, évaluation des stocks en élevage et de la variabilité spatiale de la croissance. De plus, la nécessité de prévention des crises anoxiques a conduit à moduler certaines recommandations.

Une description de la qualité des huîtres produites dans le bassin de Thau a montré des disparités en fonction des techniques d'élevage et des zones de production. Les indices de qualité des huîtres détroquées ou "en pignes" sont en moyenne inférieurs à ceux des huîtres collées. Une extension des élevages d'huîtres collées devrait améliorer la qualité globale des huîtres du bassin. La qualité des huîtres aussi bien en taux de remplissage qu'en qualité de coquille est en moyenne inférieure en zone de Bouzigues. La qualité de coquille est affectée par un phénomène de chambrage à gélatine est caractéristique d'une pollution par les peintures antisalissures au tributylétain (TBT). Ce chambrage est d'autant plus important que le port de Sète est proche. Les problèmes de qualité en terme de taux de remplissage pourraient en revanche provenir d'une surcharge des élevages, particulièrement en zone de Bouzigues. Ces résultats confirment la nécessité de réguler les densités d'élevage. L'ensemble des éléments dont nous disposons à l'heure actuelle permet de préconiser des mesures de limitation de densité pour l'ensemble du bassin et pour les diverses techniques d'élevage. Elles concernent le nombre de cordes par tables, leur charge et leur longueur.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	4
PREMIÈRE PARTIE : INFLUENCE DE LA DENSITÉ D'ÉLEVAGE SUR LA CROISSANCE ET LA QUALITÉ : EXPÉRIMENTATION À L'ÉCHELLE LOCALE	7
1 OBJECTIFS	7
2 MATÉRIEL ET MÉTHODES	8
2.1 Site expérimental	8
2.2 Plan d'expérience	10
2.3 Collecte des données	12
2.4 Analyse des données	17
3. RÉSULTATS	18
3.1 Conditions du milieu	18
3.2 Croissance des huîtres	25
3.3 Qualité des huîtres	33
4. DISCUSSION	38
4.1 Paramètres physico-chimiques et nourriture disponible pour les huîtres	38
4.2 Effet de la densité de cordes sur la croissance et la qualité des huîtres	41
4.3 Interprétation de la relation biomasse-densité	44
5. RECOMMANDATIONS CONCERNANT L'ÉCHELLE LOCALE À L'ISSUE DE CETTE EXPÉRIENCE	45
DEUXIÈME PARTIE : QUALITÉ DES HUÎTRES ÉLEVÉES DANS LE BASSIN DE THAU	48
1. ESTIMATION DE LA QUALITÉ DES HUÎTRES SUR TABLES EN NOVEMBRE 1999	48
1.1 Matériels et méthodes	48
1.2 Matériels et méthodes	48
1.3 Caractéristiques des prélèvements effectués	49
1.4 Résultats concernant les indices de condition	50
1.5 Résultats concernant la qualité de coquille	56
1.6 Conclusions	57
2. ESTIMATION DE LA QUALITÉ DES HUÎTRES SUR TABLES EN OCTOBRE 2000	58
2.1 Matériels et méthodes	58
2.2. Caractéristiques des prélèvements effectués	58
2.3 Résultats concernant les indices de conditions : comparaison de la qualité des huîtres en fonction des strates d'échantillonnage	59
2.4. Résultats concernant la qualité de coquille	59
2.5 Conclusions	60
3 ESTIMATION DE LA QUALITÉ DES HUÎTRES COMMERCIALISÉES EN DÉCEMBRE 1999	61
3.1 Introduction	61
3.2 Matériels et méthodes	61
3.3 Résultats	63
3.4 Conclusions	72
TROISIÈME PARTIE : AJUSTEMENTS DES DENSITÉS À PRATIQUER À L'ÉCHELLE DE L'ENSEMBLE DE L'ÉTANG.....	74
1. RISQUE DE CRISE ANOXIQUE	74
2. VARIABILITÉ SPATIALE DE LA CROISSANCE	75
3. CHARGE EN ÉLEVAGE	75
4. TECHNIQUE D'ÉLEVAGE	76
5. DÉLIMITATION DES DIFFÉRENTES ZONES DE DENSITÉ POUR LES HUÎTRES COLLÉES	81
CONCLUSIONS GÉNÉRALES - RECOMMANDATIONS.....	82
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	85
LISTE DES TABLEAUX.....	94
LISTE DES FIGURES	95
ANNEXES.....	98

Qualité des huîtres creuses *Crassostrea gigas* élevées dans le bassin de Thau et influence de la densité d'élevage sur la qualité

Recommandations pour l'élaboration d'un schéma des structures des élevages de mollusques du bassin de Thau

Introduction

La culture des mollusques occupe une grande place dans le bassin de Thau avec une biomasse totale de 14 000 à 18 000 tonnes suivant la période de l'année (Gangnery, 1999). La production annuelle d'huître creuse *Crassostrea gigas* qui n'est pas connue avec précision serait d'environ 13 000 tonnes (Anonyme, 1998).

Dans le contexte actuel de forte production d'huîtres au niveau national et donc de forte concurrence, la commercialisation des huîtres creuses est difficile et l'ensemble de la profession cherche à valoriser au mieux la production du bassin de Thau. Cette valorisation passe par des pratiques d'élevage favorisant la croissance des coquillages pour mettre sur le marché un produit de la meilleure qualité possible. En dehors des potentialités du milieu qui conditionnent la croissance et la qualité des mollusques en élevage, la densité d'élevage est aussi un facteur prépondérant comme l'ont démontré de nombreuses études et en particulier celles réalisées dans le bassin de Marennes Oléron (Héral, 1991, 1993).

Contrairement aux autres zones ostréicoles où il existe un "schéma des structures" réglementant les densités d'élevage, il n'y a pas dans le bassin de Thau, de critères réglementaires concernant cet aspect densité. Cependant, par expérience, l'organisation professionnelle incite à pratiquer une densité de 1000 cordes par table. Ce nombre n'est en fait appliqué que par une minorité de producteurs : ainsi, en juillet 1997 par exemple, un comptage effectué en zone de Bouzigues montrait que seulement 23 % des tables ne supportaient pas plus de 1000 cordes. Chaque producteur agit en fonction de sa propre expérience. Or certains d'entre eux font périodiquement état d'une baisse de croissance et de qualité des huîtres, posant la question d'une surcharge éventuelle du bassin.

Nous disposons de données préliminaires qui permettent une première réflexion sur la croissance et la qualité des huîtres du bassin de Thau. Le réseau REMORA de suivi de la croissance des huîtres *Crassostrea gigas* apporte en effet des éléments qui permettent de juger

de l'évolution du potentiel des différents sites ostréicoles. Rappelons que ce réseau consiste à placer tous les ans, et dans tous les sites conchylicoles de France, des huîtres d'un même lot dans des conditions standard d'élevage. Les résultats de REMORA (comparaisons intra ou inter-sites et intra ou inter-annuelles) permettent de bien cerner l'évolution des croissances qui reflètent elles-mêmes les conditions générales du milieu. Ce réseau, mis en place depuis 1993 dans la zone de Thau, montre une certaine stabilité des performances de croissance des huîtres et donc, du potentiel de croissance de ce site au cours de ces dernières années (Buestel et Vercelli, 1999, Buestel, 2001 a, Buestel, 2001 b). L'examen de données antérieures comparables confirme la relative stabilité de la croissance depuis une dizaine d'années (Pichot *et al.*, 1997). Cette croissance reste par ailleurs de loin la plus forte de tous les bassins français (Fleury *et al.* 2000).

Cependant, pour le bassin de Thau, les données REMORA ne sont pas représentatives des élevages effectués par les professionnels. En effet, les cordes réservées aux suivis ne concernent qu'un type d'élevage (huîtres collées), sont toujours placées en limite extérieure des tables et comportent une charge en huîtres plus faible que celle pratiquée par la profession. Le réseau donne donc une image des huîtres élevées dans de bonnes conditions au sein du bassin, et son intérêt principal est de fournir des indications sur l'évolution générale du milieu.

Dans le cadre du programme sur la définition d'une grille nationale de la qualité des huîtres creuses, une estimation de la qualité des huîtres commercialisées au niveau du bassin de Thau a été réalisée en décembre 1996 (Buestel *et al.*, 1998). Le taux de remplissage, mesuré par un indice AFNOR moyen de 9,5, est apparu inférieur à celui obtenu au niveau national qui présentait un indice moyen de 10,2. Au vu des données recueillies lors du suivi REMORA, ce résultat ne correspond pas aux performances attendues dans le bassin de Thau où la croissance des huîtres est toujours nettement supérieure à la moyenne nationale. De plus, la qualité intérieure de la coquille peut aussi être qualifiée de moyenne sur la zone de Thau. Il est probable que les mauvaises conditions climatiques précédant l'échantillonnage de décembre 1996 ont pu être à l'origine d'un amaigrissement des huîtres. Il est aussi vraisemblable que des densités d'élevage exagérées ont pu avoir un rôle non négligeable dans ce manque de remplissage.

A un moment où la profession souhaite mettre en place une AOC "bassin de Thau" et s'accorde sur la nécessité de mettre en place une politique des structures, un travail sur ces questions de densité d'élevage liée à la qualité des huîtres s'avérait indispensable.

L'étude présentée ici a pour objectif de définir des recommandations en terme de densité d'élevage qui permettraient d'éviter une surcharge aussi bien locale que globale sur le bassin. Pour cela différentes approches complémentaires ont été menées indépendamment.

Une première approche, qui constitue la part la plus importante de ce travail, a consisté à expérimenter différentes densités d'élevage à un niveau local (à l'échelle d'une table d'élevage) et avec une technique d'élevage (huîtres collées).

Pour passer d'un niveau local à un niveau plus global, il était nécessaire de collecter des informations à l'échelle du bassin. Aussi des estimations de la qualité des huîtres en élevage ont-elles été réalisées, au moment des estimations de stocks pratiquées régulièrement par le laboratoire, en novembre 1999 et octobre 2000. De plus une estimation de la qualité des huîtres commercialisées en décembre 1999 a complété ces informations.

Enfin, des résultats issus des estimations de stocks en élevage et du réseau de suivi de croissance REMORA ont été utilisés. Ils ont permis d'obtenir des informations sur la variabilité spatiale de la charge en élevage et de la croissance ainsi que sur la variabilité de la charge en fonction des techniques d'élevage et des espèces élevées. Il était également indispensable de prendre en compte les travaux de l'IFREMER sur les crises anoxiques.

Les données des expériences de terrain, spécialement mises en œuvre dans le cadre de ce travail, ont pu être complétées par les nombreuses informations acquises ces dernières années par le laboratoire sur l'activité conchylicole. C'est ce faisceau d'informations qui a permis de définir des recommandations basées sur des données précises.

Première partie : Influence de la densité d'élevage sur la croissance et la qualité : expérimentation à l'échelle locale

Dans le bassin de Thau, la seule étude ayant examiné les effets de la densité d'élevage sur la croissance des huîtres creuses (*C. gigas*) n'a pas permis de mettre en évidence d'effets significatifs de la densité (Medelgi, 1988). Cependant, de nombreuses études ont montré, pour diverses espèces de bivalves, que de trop fortes densités d'élevage pouvaient entraîner une diminution de la croissance, et dans de nombreux cas, une augmentation de la mortalité. Ces phénomènes ont été observés à différentes échelles spatiales allant de l'ensemble du bassin d'élevage jusqu'à l'unité de culture proprement dite (Ventilla, 1982 ; Héral *et al.*, 1986 ; Boromthanasart & Deslous-Paoli, 1988; Aoyama, 1989 ; Navarro *et al.*, 1996 ; Heasman *et al.*, 1998 ; Weinberg, 1998 ; Fuentes *et al.*, 2000). Des déclinés dans les performances d'élevages ostréicoles ont notamment été mesurés dans le plus grand bassin de production d'huîtres en Europe, le bassin de Marennes Oléron (Héral, 1991, 1993).

Des modèles ont été développés pour fournir des normes visant à réguler les biomasses cultivées en fonction des potentialités trophiques des écosystèmes (Incze *et al.*, 1981 ; Héral, 1991, 1993). Ces modèles d'écosystème ne permettent cependant pas une analyse aisée de la surcharge biotique lorsque celle-ci survient à des échelles inférieures à celle qui est modélisée. Récemment, une approche basée sur l'étude de la relation entre la biomasse (B) et la densité de peuplement (N), affranchie de ces contraintes d'échelles multiples, a été proposée comme méthode de gestion conchylicole (Fréchette & Lefavre, 1990 ; Fréchette *et al.*, 1994 ; Fréchette & Bacher, 1998). Ce nouveau modèle, ou diagramme $B-N$, a déjà fait l'objet de nombreuses applications (Fréchette *et al.*, 1996a ; 1996b), notamment pour l'analyse bio-économique d'élevages de moules (*Mytilus edulis*). Il vient d'être testé expérimentalement chez *M. edulis* (Alunno-Bruscia *et al.*, 2000).

1 Objectifs

Dans ce contexte, nous avons testé l'hypothèse selon laquelle la diminution de la qualité de l'huître creuse (*C. gigas*) élevée dans le bassin de Thau serait liée à des densités d'élevage trop fortes pratiquées dans certaines zones du bassin. Pour définir la qualité des huîtres, nous avons utilisé deux types de critères : d'une part, des indices de condition permettant de caractériser le remplissage des huîtres, d'autre part, la composition biochimique de la chair d'huîtres. Nous avons, par ailleurs, testé l'influence de la densité d'élevage sur la croissance des huîtres. Pour examiner ces deux hypothèses, nous avons travaillé sur la durée d'un cycle d'élevage et à l'échelle d'une table conchylicole expérimentale en utilisant un plan

d'échantillonnage soigneusement planifié et le diagramme $B-N$ (Fréchette & Lefaiivre, 1990 ; Fréchette & Bacher, 1998).

Les résultats attendus de cette expérience sont de plusieurs ordres :

- contribuer à définir la politique des structures du bassin de Thau du point de vue des densités d'élevage à respecter (nombre de cordes par table, charge et longueur des cordes) ;
- apporter des données précises sur l'évolution de la croissance et de la qualité des huîtres collées en élevage dans le bassin de Thau ; ces données seront utiles à la réflexion entreprise par la profession ostréicole pour définir des critères et normes de qualité des huîtres commercialisées à Thau ;
- établir la forme de la relation entre la biomasse (B) et la densité de peuplement (N), et suivre son évolution tout au long du cycle de production pour améliorer les connaissances actuelles sur la dynamique de croissance des huîtres en fonction de la densité d'élevage.

2 Matériel et méthodes

2.1 Site expérimental

Le bassin de Thau, qui couvre une superficie de 7500 ha entre Sète et Marseillan, s'étend sur 19,5 km de long et 4,5 km de large, parallèlement à la côte selon un axe NE-SW (Figure 1). Il est séparé de la mer par un cordon littoral sableux ou lido, et en communication avec celle-ci par les canaux de Sète au nord-est et dans une moindre mesure par le Grau de Pisses-Saumes dans la partie sud-ouest du bassin. La profondeur moyenne du bassin est de 4 m. Du nord-est au sud-ouest, les zones conchylicoles se différencient spatialement en trois zones aux caractéristiques différentes : la zone de Bouzigues (anciennement appelée zone A), la zone de Mèze au centre du bassin (ou zone B), et la zone de Marseillan à l'extrémité sud-ouest (ou zone C).

Dans le bassin de Thau, les huîtres sont élevées sur des tables qui soutiennent des perches de 5 mètres de longueur, sur lesquelles sont suspendues les cordes d'élevage (Figure 2). Chaque table (longueur 50m, largeur 12m) comprend 100 perches. La densité d'élevage dépend du nombre de cordes par perche, de la longueur des cordes et de leur charge en huîtres.

Deux techniques d'élevage sont pratiquées : huîtres collées et huîtres détachées (ou en pignes). Pour les "collées", les juvéniles d'huîtres, en « une à une » de quelques centimètres

de longueur, sont cimentés sur des cordes par groupes de trois huîtres (essentiellement) ou quatre à intervalles réguliers. Pour les "détrouquées" ou "pignes", le naissain de quelques millimètres de longueur est fixé sur des valves d'huîtres en provenance des zones de captage atlantique. Ces valves sont insérées dans les torons des cordes suspendues aux tables d'élevage. Les huîtres se développent en bouquets, formant des agglomérats ou « pignes ». La qualité des huîtres est différente selon la technique employée : les huîtres collées, moins denses, sont de meilleure qualité que les huîtres détrouquées (Buestel *et al.*, 1998).

Dans cette expérience nous avons choisi d'étudier les huîtres élevées selon la technique du collage sur cordes. La table d'élevage sur laquelle s'est déroulée l'expérience se situe au milieu de la zone de Mèze (colonne 18, ligne 7 ; Figure 1 et Figure 2) où la profondeur moyenne est de 4,2 m et où les performances de croissance des huîtres sont habituellement reconnues comme étant intermédiaires par rapport aux zones de Marseillan (faible croissance) et de Bouzigues (forte croissance) (Figure 1).

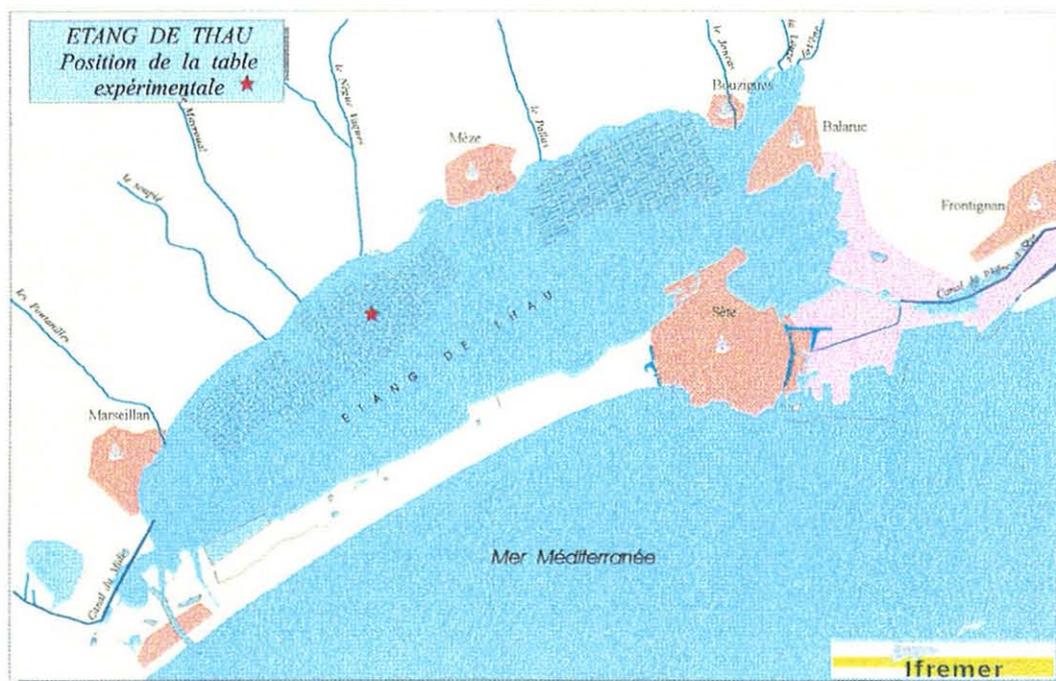


Figure 1 : situation du bassin de Thau : topographie des zones conchylicoles et localisation de la table expérimentale (colonne 18, ligne 7).



Figure 2 : photographie de la table expérimentale située dans la zone de Mèze. La table supporte des perches transversales sur lesquelles sont suspendues les cordes qui portent les huîtres collées.

2.2 Plan d'expérience

L'expérience a consisté à suivre pendant 15 mois, entre mars 1999 et juin 2000, la croissance et la qualité d'huîtres collées, élevées en suspension sur une table expérimentale, en fonction de 4 densités d'élevage (= nombre de cordes par carré, *NC*) et de 2 types de charges d'élevage par densité (= nombre d'huîtres par corde, *NH*).

Les 4 densités initiales ont été ajustées à 30 (*NC30*), 50 (*NC50*), 65 (*NC65*), et 100 (*NC100*) cordes par carré (soit 600, 1000, 1300, 2000 cordes par table), un carré équivalant à un secteur de 5m×5m sur une table (20 carrés par table). Pour chacune des densités, deux charges de cordes par carré ont été pratiquées correspondant à 78 huîtres (*NH78*, faible charge) et 120 huîtres par corde (*NH120*, forte charge). Pour les deux charges, les huîtres ont été collées sur les cordes et espacées à intervalles réguliers par groupe de 3 individus à l'aide d'une pastille de ciment.

Chaque traitement densité*charge (*NC*NH*) était répliqué 2 fois (soit au total : 2 répliqués × 4 densités × 2 charges = 16 carrés). Les 4 densités initiales ont été réparties sur la

table expérimentale pour former un modèle équilibré à 2 blocs aléatoires complets pour le facteur *NC* et à 8 blocs aléatoires complets de 2 carrés pour le facteur *NH*, avec la contrainte de ne pas avoir plus de 2 fois un même traitement densité*charge par bloc (Cochran & Cox, 1957 ; Montgomery, 1976 ; Kirk, 1982). Cette disposition en "blocs" permet de tenir compte *a posteriori* d'un éventuel effet de position du carré (et du traitement de densité qui lui est associé) dans la table sur la croissance et la qualité des huîtres (Figure 3).

Aux deux extrémités de la table, les carrés 1, 11, 10 et 20 portaient des cordes dites de "réserve", qui ont servi à remplacer les cordes prélevées au cours de chaque échantillonnage (Figure 3). La charge des cordes de réserve était de 78 ou 120 huîtres par corde, tandis que la longueur des cordes d'élevage, constante sur l'ensemble de la table, était de 3,5 m.

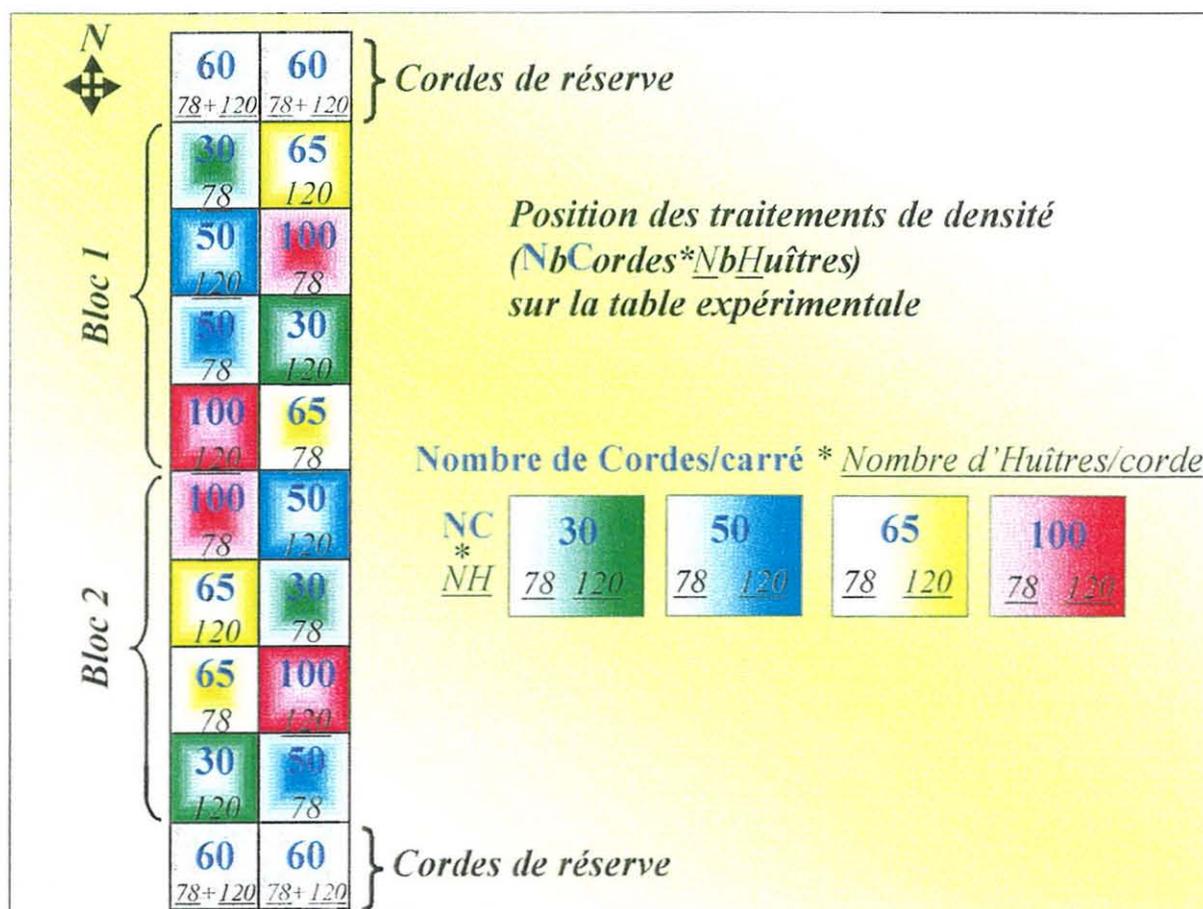


Figure 3 : schéma de la table expérimentale et disposition des huit traitements de densités répartis en deux "blocs". La figure 3 bis est portée en annexe et ne diffère de la figure 3 que par le nombre et la composition des blocs (quatre "blocs" de quatre traitements de densités).

2.3 Collecte des données

Variables environnementales

Un suivi des paramètres physico-chimiques, météorologiques, ainsi que de la concentration en chlorophylle a et de la matière en suspension, a eu lieu tout au long de l'expérience pour connaître les conditions environnementales régnant autour et à l'intérieur de la table expérimentale. Ces paramètres ont été mesurés en cinq points : aux quatre points cardinaux de la table (nord, sud, est, ouest), ainsi qu'en un point au centre de la table.

Pour mesurer les paramètres physico-chimiques (salinité, température, oxygène dissous, pH), deux types d'enregistrement ont été réalisés : *i*) un enregistrement en continu de la température et de la salinité en surface (1 m) et au fond (4 m) réalisé au moyen d'une sonde Micrel placée au niveau du carré 1, et *ii*) des mesures ponctuelles, tous les quinze jours, des paramètres physico-chimiques (température, salinité, turbidité, pH, O₂ dissous) à l'aide d'une sonde Solomat aux quatre points cardinaux de la table.

Des prélèvements d'eau ont été réalisés aux cinq points de la table afin de déterminer la concentration en chlorophylle a, ainsi qu'en matière particulaire totale (organique et inorganique). Pour la chlorophylle, des échantillons d'eau de 50 ml ont été filtrés *in situ* sur filtres GF/C et GF/F ($\varnothing = 25$ mm) à l'aide de seringues Swinex (N. Mazouni, comm. pers.). Pour la matière particulaire, l'eau a été filtrée sur des filtres Whatman GF/C pré-brûlés ($\varnothing = 47$ mm), rincés en fin de filtration avec du formiate d'ammonium isotonique pour éliminer les sels. Les filtres ont ensuite été congelés à -18°C et analysés ultérieurement. Après séchage à 70°C pendant 4h, ils ont été pesés à 0,0001 g près avec une balance Mettler AT261, puis brûlés au four à moufle à 450°C pendant 24h, et finalement repesés. Les matières inorganique (MIP) et organique (MOP) particulières correspondent respectivement aux poids sec et aux poids sec sans cendre des échantillons filtrés (Strickland & Parsons, 1972 ; Fréchette & Grant, 1991).

Enfin, l'ensemble de ces données a été corrélé aux données météorologiques (température de l'air, vents, ensoleillement et précipitations) recueillies auprès de la station météorologique de Mauguio pour les sites de Sète et de Marseillan. A l'occasion de chaque prélèvement bimensuel, les conditions de vent (vitesse et direction) et d'ensoleillement étaient également notées *in situ*.

Croissance des huîtres : mesures biométriques

Le naissain d'huîtres issu d'une éclosérie commerciale (par télécaptage suivi d'un pré-grossissement sur tube en Normandie) a été collé et mis à l'eau du 8 au 19 mars 1999. Ce naissain a été livré en deux lots ("lot 1" : semaine 8-11 mars 1999 ; "lot 2" : semaine 15-18 mars 1999), relativement hétérogènes, présentant des différences dans leur condition générale. En raison de contraintes matérielles, chaque lot a dû être collé dans la semaine même de sa réception. Faute de pouvoir réaliser une répartition au hasard des huîtres des deux lots sur la table, il a été décidé de placer les huîtres du lot 1 sur le bloc 1 et les huîtres du lot 2 sur le bloc 2 (Figure 3). Cette répartition permet de vérifier *a posteriori* l'existence d'un éventuel effet de lot sur la croissance des huîtres.

Neuf échantillonnages se sont alors succédés d'avril 1999 à juin 2000 soit les 19 mai, 15 juin, 3 août, 14 septembre, 2 novembre et 14 décembre 1999 ainsi que les 25 janvier, 14 mars et 7 juin 2000.

A chacune de ces dates, une corde a été prélevée selon un échantillonnage aléatoire stratifié sur une surface centrale prédéfinie à l'intérieur de chaque carré pour éviter d'éventuels effets de bordure (Figure 4). Pour délimiter cette surface centrale, ont été systématiquement exclues du prélèvement : *i*) dans le sens longitudinal de la table (en lignes), toutes les cordes situées sur les deux perches les plus externes d'un carré (perches 1 et 5), *ii*) en colonnes, la première et la dernière rangée de cordes pour *NC30* (6 rangées au total sur *NC30*), les 2 premières et 2 dernières rangées de cordes pour *NC50* (10 rangées au total sur *NC50*), les 3 premières et 3 dernières rangées de cordes pour *NC65* (13 rangées au total sur *NC65*), et les 4 premières et 4 dernières rangées de cordes pour *NC100* (20 rangées au total sur *NC100*). Le nombre de cordes "échantillonnables" était donc de 12, 18, 21 et 36 pour les carrés *NC30*, *NC50*, *NC65* et *NC100* respectivement (Figure 4).

Chaque corde prélevée était remplacée par une corde de réserve de même charge afin de maintenir constante la densité globale sur l'ensemble des carrés expérimentaux.

Sur chacune des 16 cordes échantillonnées, les huîtres ont été détachées et soigneusement nettoyées de leurs épibiontes. La fraction d'épibiontes a été pesée séparément et soumise à une rapide identification taxonomique afin de déterminer les principales espèces présentes.

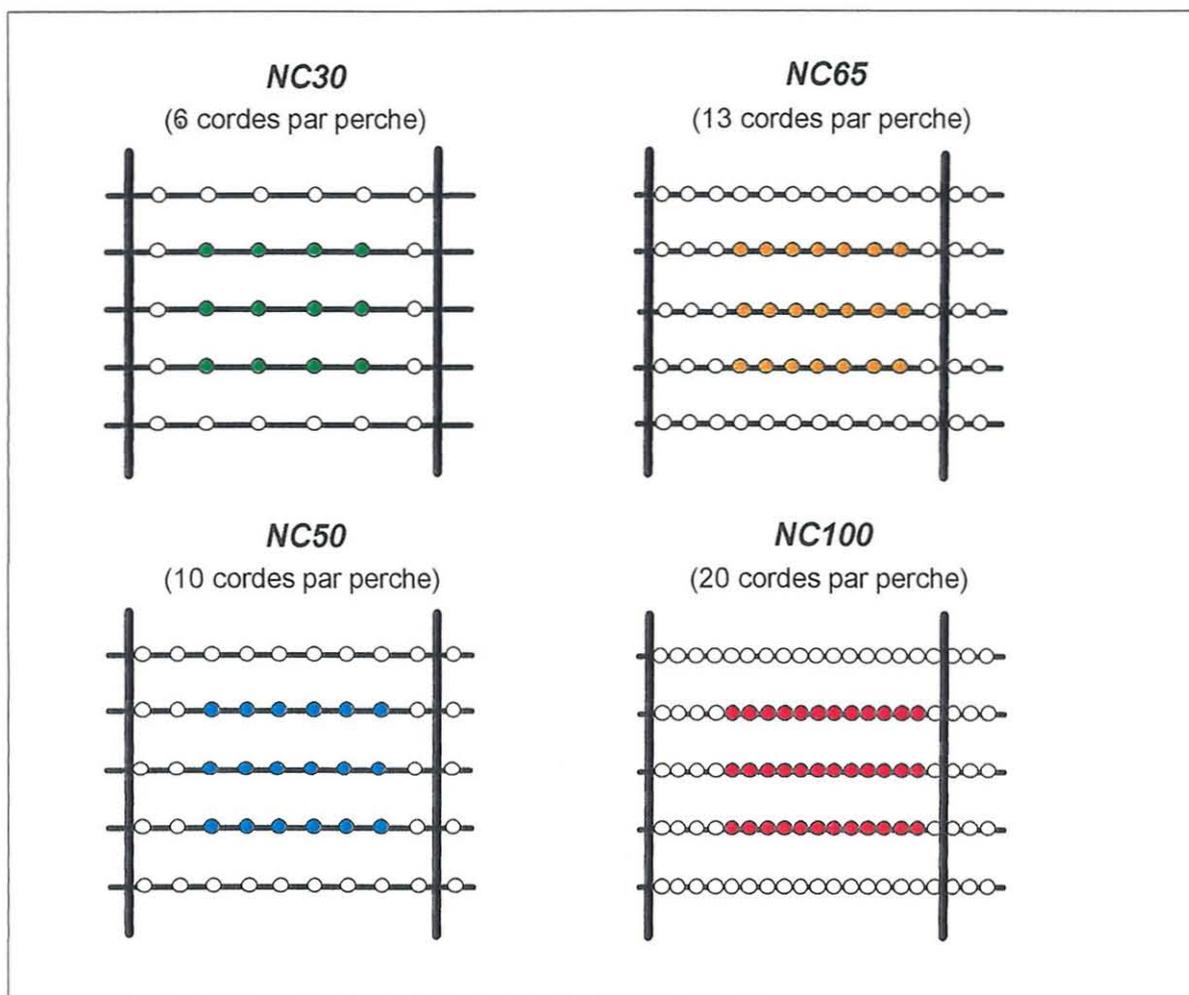


Figure 4 : position des cordes " échantillonnables " (cercles colorés) en fonction du nombre de cordes par carré (NC) : 30 (NC30), 50 (NC50), 65 (NC65) et 100 (NC100) cordes par carré avec respectivement 12, 18, 21 et 36 cordes "échantillonnables". Les carrés sont représentés schématiquement en vue de dessus de la table expérimentale.

Après comptage, les huîtres mortes ont été mesurées (longueur de coquille) et jetées. Les huîtres vivantes ont été dénombrées (N), puis pesées au g près (B , poids humide total d'huîtres sur la corde). Parmi les huîtres vivantes, un sous-échantillon de 30 huîtres par corde a été choisi aléatoirement pour mesurer les paramètres biométriques permettant d'estimer la croissance et la qualité des spécimens. Ces paramètres sont : la longueur ($Long$), la largeur ($Larg$), et l'épaisseur ($Epai$) de la coquille, mesurés à 10^{-1} mm près avec un pied à coulisse, le poids total humide ($Ptot$), le poids de chair égouttée ($Phum$) et le poids de coquille sèche (48h après dissection des huîtres et séchage à température ambiante) mesurés à 10^{-1} g près à l'aide d'une balance Sartorius (Tableau 1). Le poids de chair sèche ($Psec$) a été déterminé après congélation à -20°C des échantillons de chair et déshydratation par lyophilisation pendant 36h au moins. L'infestation des coquilles par *Polydora* et chambrage à gélatine ont également été notés selon des échelles spécifiques (cf. nomenclature REMORA, Fleury *et al.* 2000).

Le reste des huîtres vivantes sur chacune des cordes a été mesuré (longueur de coquille uniquement, *Long*) et pesées individuellement (poids total, *Ptot*). Enfin, pour les carrés 5, 7, 12, 18, ces huîtres ont été soigneusement brossées une à une pour estimer le poids de salissures.

Deux indices permettant de caractériser l'engraissement et la qualité de chair des huîtres ont été calculés à partir des paramètres biométriques mentionnés ci-dessus. L'indice Afnor individuel (AFNOR 1985) a été calculé selon l'équation suivante : $100 \times P_{hum} / P_{tot}$ (1). Cet indice est fixé par la profession conchylicole pour la dénomination et la classification de l'huître creuse au moment de sa commercialisation. L'indice de qualité de Walne et Mann (1975) a été calculé comme suit : $1000 \times P_{sec} / P_{coq}$ (2). Une vitesse de croissance journalière, exprimée en pourcentage de la longueur ou du poids des huîtres à un instant t_i , a été estimée d'après l'équation :

$$\Delta Long = 100 \times [(Long_j - Long_i) / Long_i] / (t_j - t_i) \quad (3),$$

avec $Long_i$ et $Long_j$: longueurs moyennes des huîtres respectivement aux jours t_i et t_j où $t_i < t_j$.

Analyses biochimiques sur la chair

Les analyses biochimiques ont porté sur l'ensemble de la chair des 30 huîtres retenues pour la biométrie complète, et uniquement pour les traitements *NC30* et *NC100*. Pour chacun de ces deux traitements, les 30 huîtres ont été broyées après lyophilisation, regroupées par lot (pool) de 10 individus (soit trois lots par corde) et conservées dans une armoire à dessiccation. Les analyses biochimiques ont ensuite porté sur des aliquotes issus de chacun des lots afin de déterminer, selon le traitement de densité, la teneur en lipides (Bligh & Dyer, 1959 ; Marsh & Weinstein 1966), protéines (Lowry *et al.*, 1951) et glucides (Dubois *et al.*, 1956). L'amélioration de la précision des teneurs en carbohydrates et glycogène s'est faite par analyse séparée des échantillons préconisée par Razet *et al.* (1996).

Tableau 1 : descripteurs biologiques et biochimiques utilisés pour quantifier la croissance et la qualité de *C. gigas* dans cette étude.

Descripteurs	Unités	Abréviation
Longueur de coquille	(mm)	<i>Long</i>
Largeur de coquille	(mm)	<i>Larg</i>
Epaisseur de coquille	(mm)	<i>Epai</i>
Poids total humide	(g)	<i>Ptot</i>
Poids de chair égouttée	(g)	<i>Phum</i>
Poids de chair sèche	(g)	<i>Psec</i>
Poids de coquille sèche	(g)	<i>Pcoq</i>
Indice Afnor	(%)	<i>Afnor</i>
Indice de Walne et Mann	(‰)	Walman
Teneur en protéines de la chair	(%)	PROT
Teneur en lipides de la chair	(%)	LIPD
Teneur en glucides totaux de la chair	(%)	GLUC
Teneurs en glycogène	(%)	GLYC

Relation biomasse-densité

Un moyen de représenter la croissance d'individus dépendant à la fois de la densité de population (N) et de leur taille est d'exprimer N en abscisse et la biomasse correspondante (B) en ordonnée pour obtenir une courbe $B-N$ (Westoby, 1981, 1984 ; Fig. 5).

La relation $B-N$, d'abord utilisée comme outil de gestion en sylviculture (Drew & Flewelling, 1979), a récemment été adaptée à la conchyliculture, et notamment à la moule *M. edulis* (Fréchette & Lefaivre, 1990 ; Fréchette *et al.*, 1992, 1996b) et au pétoncle géant *Placopecten magellanicus* dans le cadre d'un programme de repeuplement aux Iles-de-la-Madeleine (e.g. Fréchette *et al.*, 1996a) et pour le développement d'une technique de culture à même les sacs de captage du naissain (Fréchette *et al.*, 1999).

Schématiquement, une courbe $B-N$ est formée de deux régions (Figure 5). La première région correspond à de faibles valeurs de N pour lesquelles la compétition est négligeable, et la biomasse augmente linéairement avec la densité. La pente de la courbe $B-N$ est positive et constante pour les différentes valeurs de N . La croissance et la survie des organismes sont alors indépendantes de la fonction conjointe décrite par B et N . Dans la seconde région, la croissance individuelle ralentit proportionnellement avec l'augmentation des densités sous l'effet de la compétition ; la pente de la relation $B-N$ décroît (Figure 5). D'un point de vue

strictement biologique, les conditions pour un rendement maximal sont atteintes. Lorsque la compétition est telle qu'elle mène à la mort des organismes, les populations concernées sont en autoréduction (« self-thinning », courbe en trait plein sur la Figure 5). La fonction d'autoréduction a été modélisée et testée pour *M. edulis* lorsque l'espace ou la nourriture constituent le facteur régulateur (Fréchette & Lefavre, 1990 ; Alunno-Bruscia *et al.*, 2000).

2.4 Analyse des données

Les conditions physico-chimiques ainsi que la concentration en nourriture disponible (chlorophylle a et seston) ont été comparées entre les différents points échantillonnés autour et à l'intérieur de la table par une ANOVA à 2 critères de classification avec le temps (*DATE*), et la position autour de la table (*POS*) comme effets fixes.

Pour tester l'existence d'un effet de la densité sur la croissance (poids et taille) et sur la qualité (indice de condition et composition biochimique) des huîtres élevées sur la table expérimentale en fonction du temps, nous avons utilisé une analyse de variance (ANOVA) à 4 critères de classification, soit *NC* (= nombre de cordes par carré), *NH* (= nombre d'huîtres par corde) et *DATE* (= date de récolte) considérés comme des effets fixes, et *BLOC* (= position du carré dans la table) défini comme un effet aléatoire. Rappelons que la variable *BLOC* permet de tenir compte d'un effet éventuel de la position des traitements de densité à l'intérieur des blocs, et donc de la table. Les analyses ont été faites après transformation logarithmique des données afin de réduire l'hétéroscédasticité.

La relation entre la densité de peuplement (*N*) et le rendement (*B*) a été représentée graphiquement pour chaque date d'échantillonnage afin d'établir des courbes *B-N*. L'examen de la forme de ces courbes renseigne sur l'intensité de la compétition. L'analyse statistique de *B* et de *N*, en fonction du temps et des densités d'élevage, s'est faite par analyse de variance multivariée (MANOVA).

Pour toutes les analyses, nous avons pris soin de vérifier si les postulats de base étaient respectés. Dans le cas des ANOVA et MANOVA, les observations doivent être indépendantes et les données distribuées normalement (normalité multivariée dans le cas de MANOVA). L'homogénéité des variances (ANOVA) ou des matrices de variance-covariance (MANOVA) entre les échantillons doit par ailleurs être respectée. Dans le cas de la régression multiple, les résidus doivent être indépendants, et suivre une distribution normale avec une variance constante. L'ensemble des analyses statistiques a été effectué au moyen du progiciel SAS version 8.00 (SAS, 1989).

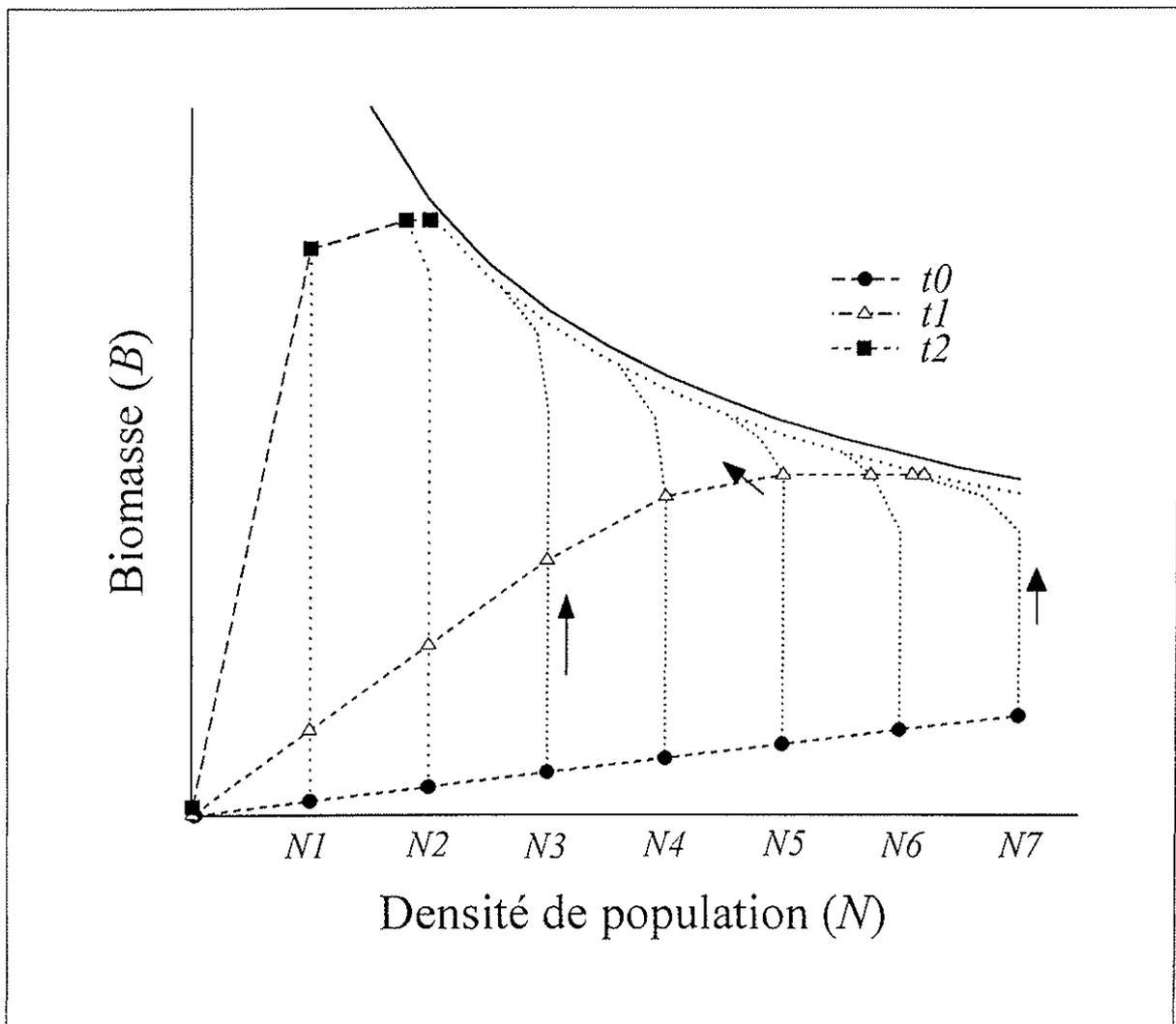


Figure 5 : exemple d'une courbe $B-N$ typique où la biomasse (B) est exprimée en fonction de la densité de population (N). Plusieurs groupes de densité initiale ($N1$ à $N7$) sont échantillonnés à intervalles de temps successifs ($t0$ à $t2$). Ce diagramme peut être analysé de deux manières : d'une part, en examinant la courbe décrite par l'ensemble des points correspondant aux différentes densités pour une date donnée ; d'autre part, en suivant au cours du temps la trajectoire $B-N$ obtenue à chacune des densités de population. La courbe-enveloppe en trait plein correspond à la fonction d'autoréduction. Les flèches indiquent le cours du temps.

3. Résultats

3.1 Conditions du milieu

Données physico-chimiques : température, salinité et oxygène dissous

Une saisonnalité marquée de la température de l'eau est visible dans le bassin de Thau (Figure 6 A). Après un réchauffement progressif amorcé au printemps, les températures

maximales sont atteintes durant l'été (27,2°C en août 1999). Elles chutent progressivement durant l'automne pour atteindre des valeurs minimales en hiver (6,6°C en janvier 1999). L'oxygène dissous a été mesuré à des seuils variant entre 4,1 et 12,5 ppm. Les concentrations en O₂ dissous sont physiquement plus faibles en période estivale (6,3 ppm en moyenne, contre 10,5 ppm en moyenne pendant l'automne et l'hiver) du fait principalement de l'augmentation de la température de l'eau du bassin. Une légère crise anoxique, s'accompagnant d'une coloration blanche verdâtre de l'eau en divers points du bassin, survenue au début du mois de juin 1999 (données REMORA LCM, non publiées) a été suivie par la décomposition du tapis de macroalgues présent sous la table expérimentale. Cet épisode anoxique très bref s'est traduit par une chute assez prononcée des concentrations en O₂ dissous entre mai et début juin 1999, à la fois en profondeur et en surface (Figure 6 A). Quant à la salinité, elle oscille entre 33,0 ‰ et 39,5 ‰ (Figure 6 B). Principalement influencée par la température de l'air et les précipitations, la salinité augmente pendant l'été 1999 et le printemps 2000 (avril-mai) du fait de l'évaporation tandis qu'elle décroît durant l'automne 1999 et l'hiver 2000. La dessalure observée entre la mi-avril et la mi mai 1999 (fin du printemps) coïncide avec les précipitations abondantes enregistrées sur la zone à la même période puisqu'il est tombé en moyenne 180 mm de pluie en 30 jours, soit environ 21 % du volume total des précipitations enregistrées d'avril à décembre 1999 (Figure 6 B).

Pour l'ensemble des paramètres physico-chimiques mesurés aux différents points autour et à l'intérieur de la table expérimentale entre avril 1999 et juin 2000, il n'est apparu aucune différence significative en fonction de la position par rapport à la table, ni en fonction de la profondeur (test *t* apparié, *P* < 0,001). Une très légère stratification thermique entre la surface (1 m) et le fond (4 m) est survenue en mai 1999 et mai 2000.

Nourriture disponible pour les huîtres

Concentrations en chlorophylle a

Les concentrations en chlorophylle a moyennes calculées entre les 5 positions de la table varient entre 0,29 $\mu\text{g.L}^{-1}$ et 1,45 $\mu\text{g.L}^{-1}$ pour les filtres GF/F, et entre 0,30 $\mu\text{g.l}^{-1}$ et 1,91 $\mu\text{g.l}^{-1}$ pour les filtres GF/C, du début avril 1999 à la fin mai 2000 (Figure 7). Ces valeurs sont significativement différentes d'un type de filtre à l'autre (ANOVA, $P < 0,001$) et plus élevées pour les filtres GF/C que les filtres GF/F, avec respectivement 0,77 $\mu\text{g.l}^{-1}$ ($\pm 0,43$) et 0,62 $\mu\text{g.l}^{-1}$ ($\pm 0,34$) pour les moyennes calculées de chacun des deux types de filtres sur l'ensemble de la période étudiée. Cette différence observée entre les concentrations mesurées sur filtres GF/F et GF/C, en faveur des filtres GF/C, ne correspond pas à ce qui est observé habituellement. De par la porosité moyenne de chacun des deux filtres (respectivement 0,7 et 1,2 μm pour GF/F et GF/C), les filtres GF/F retiennent en principe davantage de cellules phytoplanctoniques que les filtres GF/C, pour un même échantillon d'eau de mer. C'est le cas lorsqu'on examine les données de chlorophylle enregistrées dans le bassin de Thau en 1998 (Buestel *et al.* 1999).

Les valeurs maximales de chlorophylle a surviennent le plus souvent après de fortes précipitations et majoritairement pendant la période estivale alors que la température de l'eau du bassin varie entre 19 et 26°C environ (Figure 6 et Figure 7). Un pic de chlorophylle est cependant enregistré fin novembre 1999 alors que la température de l'eau est de 7,3°C. Ces pics (maxima) de chlorophylle pourraient coïncider avec l'apparition de floraisons algales qui surviennent fréquemment durant l'été.

Matière en suspension

Les concentrations de matière en suspension (MES) mesurées entre avril 1999 et juin 2000 varient entre 0,4 et 4,6 mg.l^{-1} , avec une valeur moyenne sur l'ensemble de la période à l'étude de 2,2 mg.l^{-1} ($\pm 0,6$) (Figure 8). Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en juillet 1999, et globalement durant la période estivale (juin à septembre 1999), alors qu'elles déclinent pendant l'automne et l'hiver (Figure 8). La matière organique particulaire (MOP) représente environ (en moyenne) 65 % de la MES pour l'ensemble de la période d'étude, avec des concentrations moyennes comprises entre 0,6 et 2,7 mg.L^{-1} (moyenne = 1,5 $\text{mg.l}^{-1} \pm 0,5$; Figure 8). La matière inorganique particulaire (MIP), correspondant à environ 35 % de la MES totale, varie approximativement entre 0,3 et 1,7 mg.l^{-1} (moyenne = 0,9 $\text{mg.L}^{-1} \pm 0,4$; Figure 8).

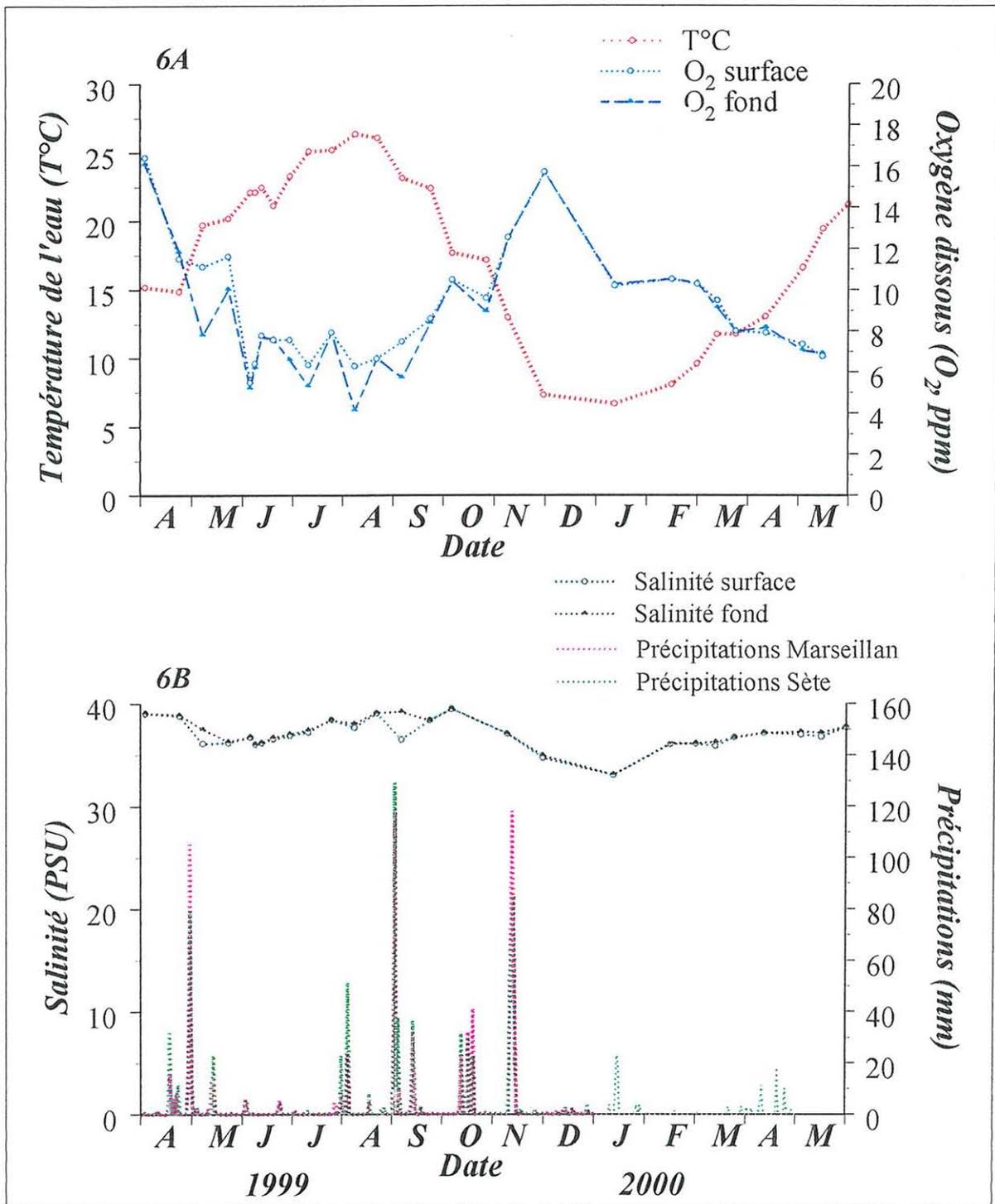


Figure 6 : évolution temporelle des paramètres physico-chimiques (environnementaux) mesurés sur la table expérimentale (zone de Mèze) entre avril 1999 et mai 2000. (6 A) Température (°C) de l'eau et de l'oxygène dissous (ppm) en fonction du temps. (6 B) Salinité (PSU) mesurée sur la table expérimentale et valeurs des précipitations enregistrées aux postes de Sète et de Marseillan (données fournies par la station climatologique départementale de Mauguio, Hérault) en fonction du temps. Pour l'année 2000, seules les valeurs de précipitations à Sète sont disponibles et uniquement jusqu'à fin avril 2000.

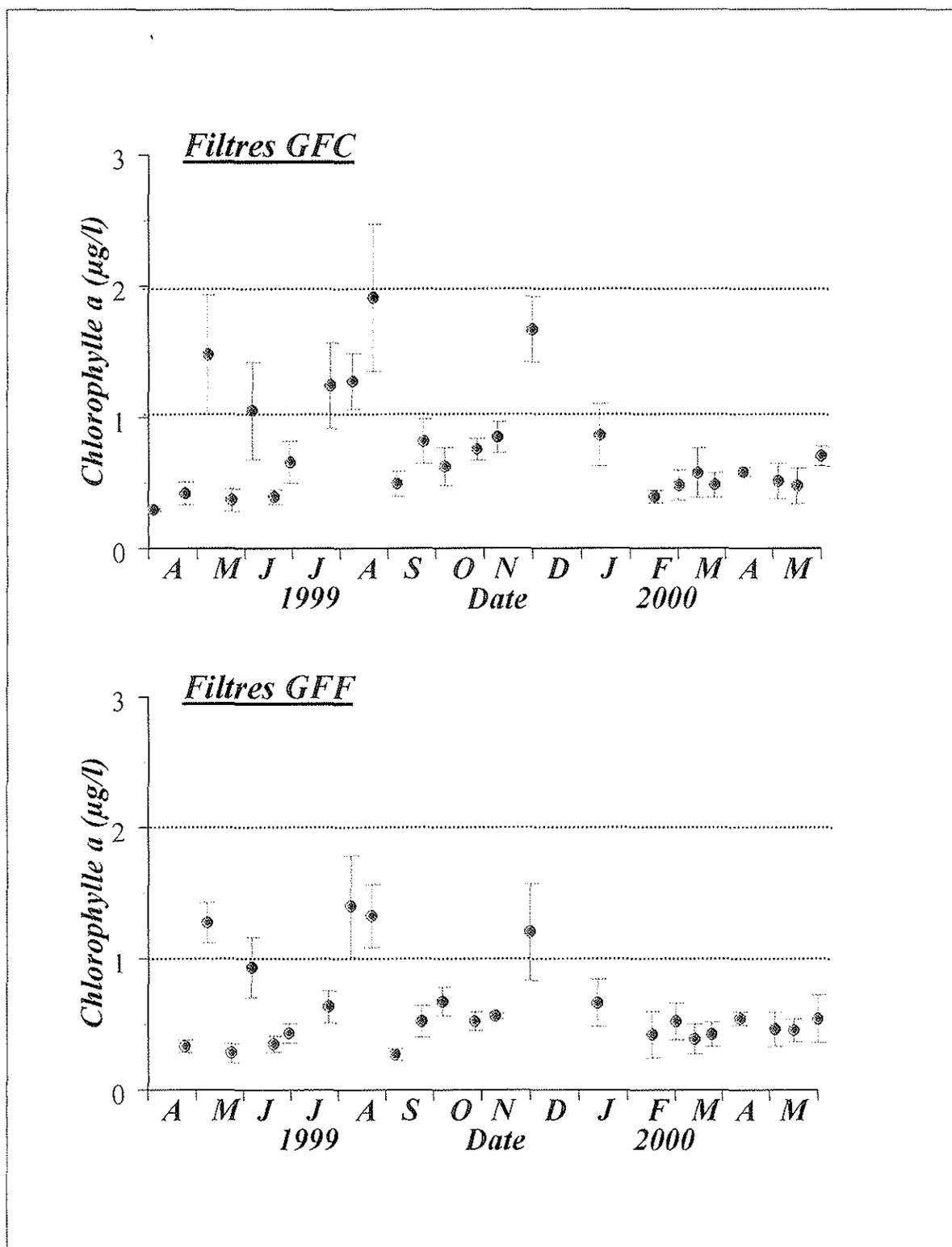


Figure 7 : moyennes des concentrations en chlorophylle a, exprimées en $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$, et calculées entre les 5 positions (sud, ouest, centre, nord, est) de la table expérimentale située en zone de Mèze dans le bassin de Thau, et pour deux types de filtres Whatman : GF/F et GF/C.

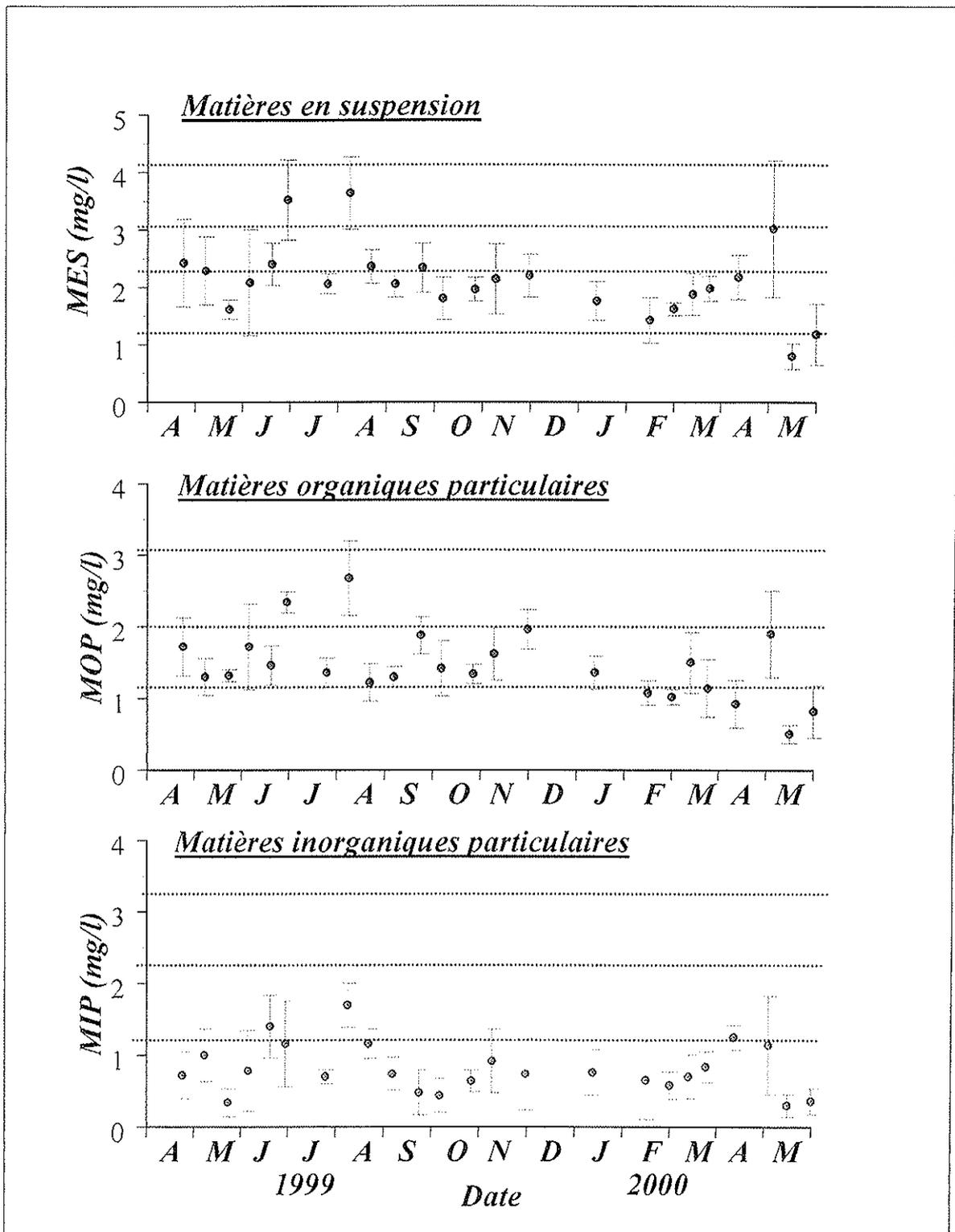


Figure 8 : moyennes des concentrations, exprimées en mg.l^{-1} , de la matière en suspension (MES), de la matière organique (MOP) et inorganique (MIP) particulaires calculées entre les cinq positions de la table expérimentale (sud, ouest, centre, nord, est), entre avril 1999 et mai 2000.

Répartition de la nourriture disponible autour de la table expérimentale

Nous avons vérifié à l'aide d'une ANOVA si la nourriture potentielle pour les huîtres (chlorophylle et matières en suspension) se répartissait de façon homogène dans le temps entre les quatre points cardinaux et le centre de la table expérimentale (Tableau 2).

Pour la chlorophylle a, les concentrations mesurées au cours du temps varient significativement d'une date à l'autre (effet Date, $P < 0,001$). En revanche, la variable position n'agit pas de la même façon sur les concentrations en chlorophylle a selon que l'eau a été filtrée sur filtres GF/C ou GF/F (Tableau 2). Les concentrations en chlorophylle a mesurées sur les filtres GF/C ne sont pas homogènes tout autour de la table expérimentale et changent de façon significative avec la position ($P < 0,05$). Des comparaisons *a posteriori* indiquent que les concentrations en chlorophylle a sur filtres GF/C sont les plus élevées à l'est et les plus faibles au centre de la table (test de Tukey, $P < 0,05$). A l'inverse, les concentrations mesurées sur filtres GF/F ne varient pas de façon significative selon la position autour de la table ($P = 0,084$, Tableau 2).

Pour les matières particulaires en suspension, qu'elles soient d'origine organique (MOP) ou inorganique (MIP), les analyses révèlent que les trois variables MES, MOP et MIP se distribuent de façon inégale autour de la table, avec un effet significatif de la position sur chacune des variables examinées ($P < 0,05$; Tableau 2). Les valeurs de chacune des variables varient également de façon significative en fonction du temps ($P < 0,001$), ce qui traduit les variations temporelles des matières en suspension en fonction de la date d'échantillonnage (Figure 8). Ces variations ne suivent cependant pas les mêmes tendances au cours du temps d'une position de la table à l'autre (interaction temps*position significative, $P < 0,001$). Des comparaisons *a posteriori* indiquent que les concentrations en MES sont significativement plus élevées au sud qu'aux autres stations (test de Tukey, $P < 0,05$), et décroissent comme suit : centre, ouest, nord et est. Les concentrations en MES ne diffèrent cependant pas entre le centre, l'ouest et le nord, ainsi qu'entre le nord et l'est. Pour ce qui est de MOP et MIP, le gradient de concentrations est le même que pour les MES et décroît dans l'ordre : sud, centre, ouest, nord et est (test de Tukey, $P < 0,05$). Dans le cas de MIP, les concentrations mesurées au sud sont nettement plus élevées qu'aux autres stations.

Tableau 2 : ANOVAs à deux critères de classification pour tester l'influence du temps et de la position autour de la table sur les variables trophiques (chlorophylle et matières en suspension). Df, nombre de degrés de liberté ; MS, variance observée ; F, rapport des variances ; $P > F$, seuil de probabilité.

Source de variation	df	MS	F	$P > F$
Chlorophylle a : <u>filtres GF/C</u>				
Date (DATE)	24	0,97	176,69	<0,001
Position (POS)	4	0,05	9,89	0,024
Date*Position	90	0,06	10,82	0,015
Chlorophylle a : <u>filtres GF/F</u>				
Date (DATE)	24	0,64	129,95	0,001
Position (POS)	4	0,02	4,63	0,084
Date*Position	90	0,03	6,38	0,041
<u>Matières en suspension (MES)</u>				
Date (DATE)	23	7,60	36,70	<0,001
Position (POS)	4	2,63	12,69	<0,001
Date*Position	90	0,67	3,23	<0,001
<u>Matière organique particulaire (MOP)</u>				
Date (DATE)	23	2,83	18,78	<0,001
Position (POS)	4	0,62	4,12	0,003
Date*Position	90	0,25	1,64	0,002
<u>Matière inorganique particulaire (MIP)</u>				
Date (DATE)	23	1,29	11,24	<0,001
Position (POS)	4	0,89	7,73	<0,001
Date*Position	90	0,27	2,34	<0,001

3.2 Croissance des huîtres

Dynamique de croissance : saisonnalité de la croissance

Croissance en longueur et poids de la coquille

La coquille croît rapidement en longueur au cours de l'été 1999, soit de mai à septembre, avec des taux de croissance journaliers (TCJ) de l'ordre de 0,39 % (entre mai et juin) et 0,26 % (entre juin et septembre) (Figure 9). La croissance en longueur de la coquille ralentit, mais demeure positive, après novembre 1999 et pendant l'hiver 1999-2000 mais avec un TCJ moyen, calculé sur l'ensemble des densités, de 0,07 %. En décembre 1999, les huîtres mesurent, selon les traitements de densité, entre 82,4 et 91,9 mm (Figure 9 A). Enfin, l'augmentation de longueur de la coquille est quasiment nulle entre mars et juin 2000 (Figure 9 A).

Parallèlement, la croissance pondérale de la coquille suit sensiblement la même évolution que la croissance en longueur (Figure 9 B). Les taux de croissance journaliers du poids de la coquille sont les plus élevés de la mi-mai à début novembre 1999 (de l'ordre de

0,85 %) et atteignent une valeur de 1,41 % entre juin et août de la même période. Cette croissance pondérale ralentit ensuite entre novembre 1999 à mars 2000 mais demeure positive avec un taux de croissance hivernal moyen de 0,21 %. Enfin, le gain de poids de coquille semble reprendre à nouveau de façon un peu plus marquée entre mars et début juin 2000 ($TCJ = 0,25 \%$) (Figure 9). Le poids de coquille moyen en fin d'expérience est de 53 g ($\pm 5,3$) contre 9 g ($\pm 0,6$) initialement (mars 1999)

Croissance en poids de chair (humide et sèche) et en poids total

Les poids de chair humide ($Phum$) et sèche ($Psec$) affichent la même saisonnalité que les trois autres descripteurs de croissance, avec cependant un effet hivernal beaucoup plus prononcé qui conduit à des pertes de poids de chair (humide et sèche) entre janvier et juin 2000 (Figure 9 C et D). Dès leur mise à l'eau en mars 1999, les huîtres enregistrent un gain de poids de chair sec positif jusqu'au mois de mai, avec un taux de croissance journalier de 1,01 % pour $Psec$. L'augmentation du poids de chair est la plus prononcée de mi-mai à début septembre 1999. Les huîtres passent alors de 1,68 à 7,57 g pour $Phum$ et de 0,35 à 1,67 g pour $Psec$, en moyenne. Les taux de croissance journaliers moyens sont de 1,74 % et 1,78 % respectivement pour $Phum$ et $Psec$. Au cours de l'automne et jusqu'au début de l'hiver (septembre à décembre 1999), la croissance en poids de chair humide et sèche demeure positive mais ralentit considérablement et le taux de croissance ne dépasse pas 0,57 % et 0,28 %, respectivement pour le poids de chair humide et sèche (Figure 9 C et D). Entre janvier et mars 2000, ce taux chute à une valeur de 0,10 % ($Phum$) et 0,15 % ($Psec$), et devient même négatif entre mars et juin 2000 ($TCJ_{Phum} = -0,13 \%$; $TCJ_{Psec} = -0,23 \%$) (Figure 9 C et D).

L'évolution du poids humide total ($Ptot$) est similaire aux tendances observées pour le poids de coquille et la croissance en longueur des huîtres (Figure 9 E). Mises en élevage avec un poids moyen total de 14,3 g en mars 1999, les huîtres pèsent en moyenne 49,7 ($\pm 3,6$) g en septembre et 75,3 ($\pm 6,4$) g en décembre 1999, quel que soit le traitement de densité considéré. Les accroissements journaliers de $Ptot$ les plus élevés, compris entre 1,01 et 1,91 %, surviennent pendant la période comprise entre mi-mai et début novembre 1999. Au cours de l'hiver 1999-2000, ils ralentissent considérablement et chutent à 0,15 % en moyenne (Figure 9 E). Sur certains carrés, le taux d'accroissement de $Ptot$ est négatif. En fin d'expérience (début juin 2000), le poids humide moyen des huîtres récoltées est de 90,1 ($\pm 8,1$) g ; la chair, exprimée en poids humide également, représente alors 12 % de $Ptot$. Enfin, à partir de septembre 1999, la courbe moyenne des points à faible et forte charge estimée pour

NC100 se situe légèrement en dessous de celles des densités *NC30*, *NC50*, et *NC65* (Figure 9 E).

Pour les cinq descripteurs considérés, longueur et poids de coquille, ainsi que poids de chair humide et sèche et poids humide total, l'évolution temporelle des accroissements montre une saisonnalité de la croissance (Figure 9). Les taux d'accroissement sont les plus élevés entre mi-mai et début novembre 1999. Ils ralentissent ensuite pendant la période de décembre 1999 à mars 2000. La croissance pondérale et en longueur de la coquille demeure positive au cours de la période hivernale, tandis que des pertes de poids de la chair, humide et sèche, sont enregistrées entre janvier et juin 2000 (Figure 9).

Relation *B-N* entre la biomasse (*B*) et la densité en élevage (*N*)

La relation entre la biomasse totale moyenne (*B*, g) et la densité d'huîtres vivantes par corde (*N*) obtenues pour les neuf dates d'échantillonnage entre mai 1999 et mai 2000 est représentée sur la Figure 10. On constate que les courbes *B-N* obtenues pour juin et septembre 1999 sont des segments linéaires de pente positive, indiquant que la biomasse augmente proportionnellement avec le nombre d'huîtres par corde. Le rendement ne semble donc en rien affecté par le nombre d'huîtres par corde à ces deux dates. On se situe dans la première région de la courbe *B-N* théorique décrite précédemment (Figure 5). En décembre 1999 et juin 2000, en revanche, une légère courbure apparaît et les courbes *B-N* sont alors caractérisées par un polynôme d'ordre 2 ($r^2 > 0,95$). Ceci traduit un léger ralentissement du rendement avec la densité qui ne se manifeste qu'à partir de l'hiver 1999 (Figure 10), et qui correspond à la seconde région de la courbe *B-N* (Figure 5). Pour chiffrer le rendement global, les cordes à *NH78* et *NH120* sont passées respectivement d'un poids moyen de 1186 g (± 62 g ; $N = 72$) et 1692 g (± 100 g ; $N = 108$) pour le mois de mai 1999 à 5450 g (± 801 g ; $N = 67$) et 7195 g (± 765 g ; $N = 95$) en décembre 1999, pour atteindre finalement 5583 g (± 436 g ; $N = 60$) et 8048 g (± 929 g ; $N = 91$) en juin 2000.

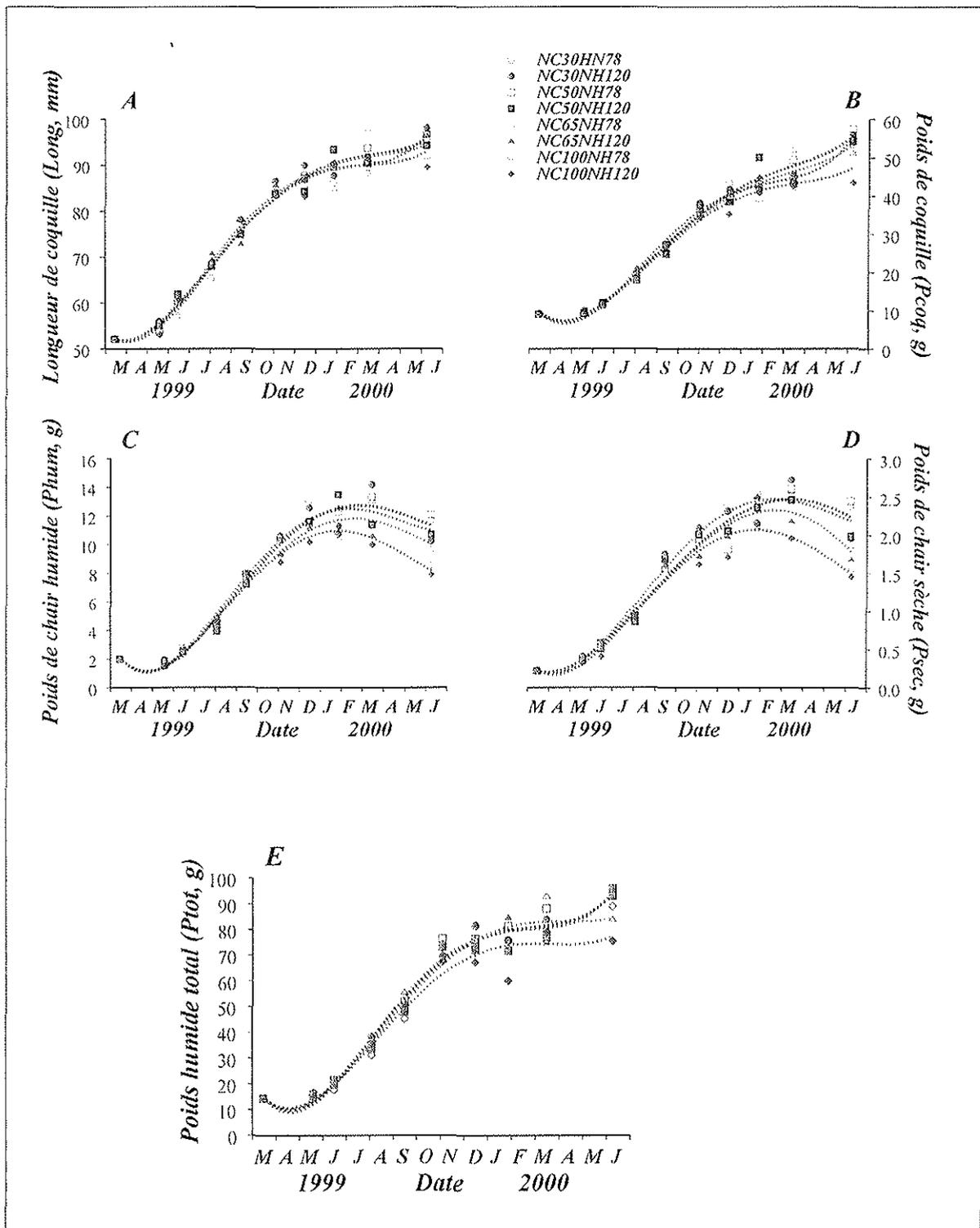


Figure 9 : cinétique de croissance de l'huître creuse (*C. gigas*) élevée selon huit traitements de densités entre mars 1999 et juin 2000. Variations temporelles de la longueur moyenne de coquille (*Long*, mm ; (A)), du poids moyen de coquille (*Pcoq*, g ; (B)), du poids moyen de chair humide (*Phum*, g ; (C)), du poids moyen de chair sèche (*Psec*, g ; (D)), et du poids humide total (*Ptot*, g ; (E)). Pour éviter de surcharger le graphique, les écart-types calculés sur chacun des points n'ont pas été représentés et seules sont figurées les courbes de croissance moyenne pour le facteur *NC*.

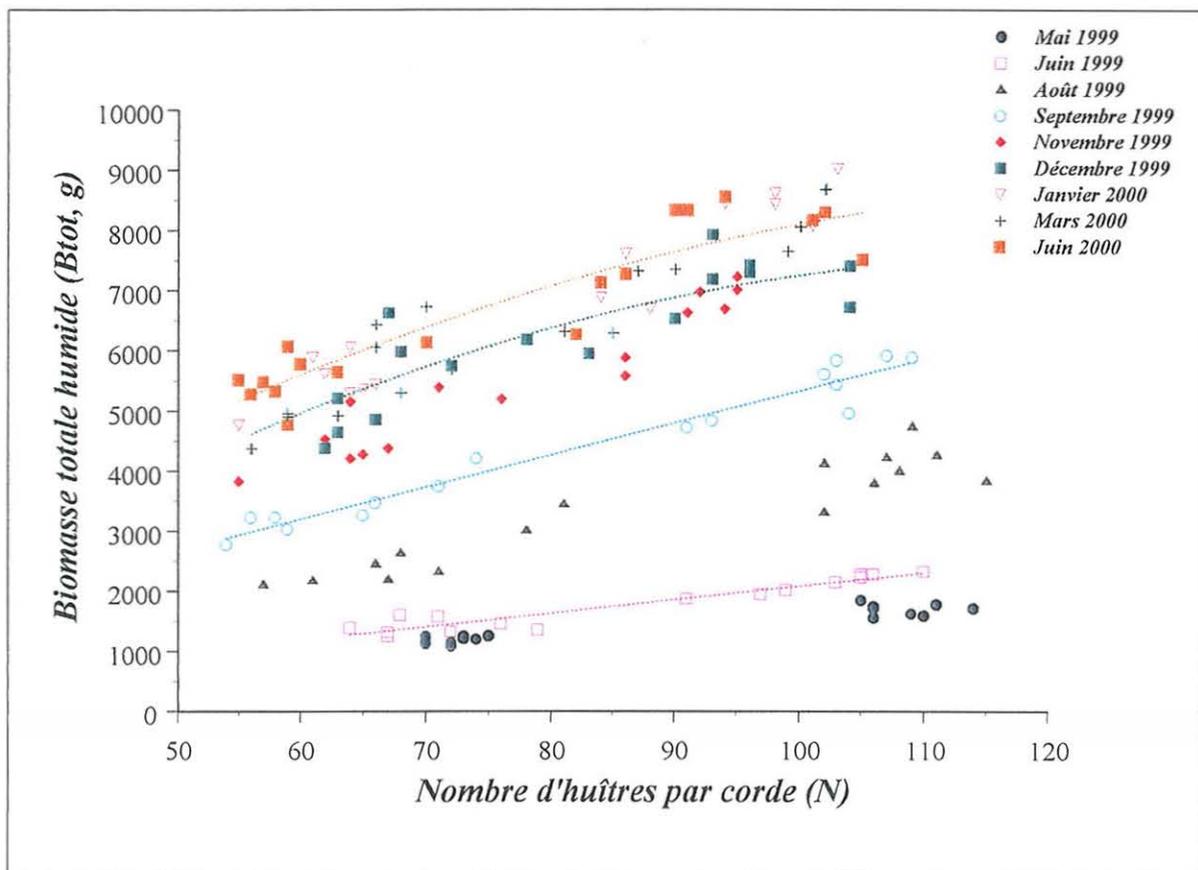


Figure 10 : diagramme B-N. Relation entre le nombre d'huîtres par corde (N) et la biomasse totale humide correspondante (B, g) pour *C. gigas* élevée dans l'étang de Thau à différentes densités d'élevage, entre mars 1999 et juin 2000. Pour éviter de surcharger le graphique, seules les courbes B-N de juin, septembre, décembre 1999 et juin 2000 ont été représentées.

La densité maximale moyenne supportée par les cordes d'élevage sur la table expérimentale décroît progressivement au fur et à mesure du cycle d'élevage (i.e. de la croissance des huîtres) et ne dépasse pas une centaine d'huîtres par corde en fin d'expérience (Figure 10). Le nombre moyen d'huîtres sur les cordes NH120 (charge initiale : 120 huîtres par corde) a diminué progressivement de 108 (± 2) en mai 1999 à 91 (± 7) en juin 2000. Quant aux cordes NH78, la charge d'huîtres moyenne est passée de 72 (± 2) en mai 1999 à 60 (± 5) en juin 2000 (Figure 10). Pour les deux charges de cordes, cela représente une baisse (diminution) d'environ 15 % par rapport aux densités initiales. Ces pertes de 15 % englobent deux termes : *i*) la mortalité moyenne estimée sur l'ensemble des dates d'échantillonnage à 9,6 % par corde, relativement constante quelle que soit la charge considérée et la date d'échantillonnage, et *ii*) par différence, des chutes d'huîtres de l'ordre de 5,4 % qui ont pu survenir soit juste après le collage du naissain et l'installation des cordes sur la table, soit au moment du relevage des cordes lors des échantillonnages.

La mortalité observée est indépendante de la densité d'élevage et est attribuable à trois facteurs. Chronologiquement, la première source de mortalité est liée à l'opération de collage des huîtres et à la condition du naissain après livraison par l'écloserie. La seconde cause de mortalité est à mettre en relation avec l'épisode assez bref d'anoxie des eaux enregistrée début juin 1999 (Figure 5) et qui a entraîné, sur de nombreuses cordes, la mort des deux ou trois bouquets d'huîtres les plus proches du fond (coquilles blanches et vides retrouvées dans le bas des cordes). Enfin, un troisième épisode de mortalité, limité à la zone de Méze, est survenu au début du mois de mai 2000. Les causes des mortalités observées demeurent inconnues même si l'hypothèse d'une épizootie a été écartée (Y. Pichot, LCM, comm. pers.). Ces mortalités ont touché principalement le naissain mis en élevage dans des paniers lanternes au printemps 2000 par les professionnels, mais également une petite fraction d'huîtres adultes. Lors du dernier échantillonnage réalisé au début du mois de juin 2000, nous avons observé sur la table expérimentale des mortalités très récentes (présence de chair déliquescence à l'intérieur de coquilles béantes) estimées à environ 4 %.

Influence de la densité d'élevage sur la croissance des huîtres

Pour tester l'influence de la densité d'élevage sur la croissance des huîtres, nous avons réalisé deux séries d'analyse de variance sur chacun des cinq descripteurs de croissance (*Long*, *Pcoq*, *Phum*, *Psec*, *Ptot*) en changeant la disposition et la composition des blocs au niveau du plan d'expérience (Figure 3 et 3 bis en annexe). De cette façon, nous avons notamment pu dissocier l'effet "bloc" proprement dit (position des carrés à l'intérieur de la table) d'un éventuel effet "lot" des huîtres, en fonction de leur date d'arrivage et de collage. La première série d'ANOVAs repose sur 4 critères de classification : *NC*, *NH* et *DATE* considérés comme des effets fixes ; *BLOC* est défini comme un effet aléatoire et comporte deux niveaux (Figure 3). Dans la seconde série d'ANOVAs, l'effet *NH* n'a pas été pris en compte, n'ayant aucun effet significatif quelle que soit la variable dépendante considérée. La répartition en blocs concerne alors uniquement la variable *NC*, répartie sur la table en quatre blocs aléatoires complets (Figure 3 bis en annexe).

ANOVAs à quatre critères de classification avec deux blocs

Les différents descripteurs (*Long*, *Pcoq*, *Phum*, *Psec*, *Ptot*) choisis pour décrire la croissance de *C. gigas* ne répondent pas tous de la même façon aux différents traitements de densité en fonction du temps (Tableau 3, Figure 9). L'ANOVA révèle en effet que seuls les poids de chair humide (*Phum*) et sèche (*Psec*) sont significativement affectés par *NC* ($P < 0,05$, (Tableau 3), et diminuent avec un nombre croissant de cordes par carré, surtout à partir

de janvier 2000 (Figure 9). L'effet de *NC* sur *Pcoq* et *Ptot* est revanche beaucoup plus marginal et ne peut être considéré comme véritablement significatif (Tableau 3). Quant à la longueur de coquille (*Long*), elle ne varie pas significativement en fonction du nombre de cordes par carré. Le seul élément commun à l'ensemble des descripteurs de croissance est qu'aucun d'entre eux n'est affecté par le nombre d'huîtres par corde *NH*, (Tableau 3). Par ailleurs, le caractère saisonnier de la croissance observé pour les cinq descripteurs considérés (Figure 9) est confirmé par un effet significatif du temps (effet *Date*, $P < 0,001$) sur chacune des variables (Tableau 3). Enfin, un effet de position marqué à l'intérieur de la table se manifeste sur *Phum*, *Psec* (effet *BLOC*, $P < 0,001$), ainsi que sur *Pcoq* ($0,001 < P < 0,05$). Les variables *Long* et *Ptot* ne sont en rien affectées par la position des huîtres sur la table (Tableau 3).

ANOVAs à trois critères de classification avec quatre blocs

Les ANOVAS réalisées sur l'ensemble des descripteurs de croissance, en supprimant le facteur *NH* (effet non significatif) et en changeant la composition et la disposition des blocs, confirment les tendances de la précédente série d'analyses avec des seuils de probabilité beaucoup plus significatifs (Tableau 4). Il ressort que :

i) le nombre de cordes par carré affecte la croissance des huîtres au niveau du poids de chair (humide et sèche), du poids de coquille et du poids humide total (effet *NC*, $P < 0,01$). En revanche, la longueur de coquille n'est pas influencée par la densité ;

ii) la croissance des huîtres varie dans le temps (effet *Date*, $P < 0,001$), et de façon saisonnière (Figure 9) ;

iii) un effet de position marqué se manifeste sur l'ensemble des variables (effet *BLOC*, $P < 0,01$). La croissance des huîtres n'est donc pas homogène d'un endroit à l'autre de la table, et les différences observées dues à l'effet *BLOC* sont attribuables à un effet de position et non à un effet "lot" des huîtres. Pour chaque variable et dans chacun des carrés, les moyennes ajustées ont été calculées et comparées entre les quatre blocs pour chacune des densités d'élevage (*NC30*, *NC50*, *NC65* et *NC100*). Le seuil d'erreur pour ces quatre séries de quatre comparaisons *a posteriori* a été ajusté à une valeur α de Bonferroni corrigée de 0,003125 (= 0,05/16) (Miller, 1981). La puissance des tests a été estimée pour chaque comparaison à plus de 0,95 (Montgomery, 1976 ; Kraemer *et al.*, 1987). Ces comparaisons révèlent que les meilleures croissances ont été enregistrées sur les carrés situés au sud de la table (bloc 4', Figure 3 bis en annexe), c'est-à-dire orientées vers le large, par rapport aux carrés situés plus

au centre (blocs 2' et 3', Figure 3 bis en annexe). Les carrés situés les plus au nord (bloc 1') se caractérisent en revanche par les moins bonnes performances de croissance.

Tableau 3 : comparaison des principaux descripteurs de la croissance de *C. gigas* par ANOVAs à 4 critères de classification en fonction de la position des huîtres dans la table (BLOC), du nombre de cordes par carré (NC), du nombre d'huîtres par corde (NH) et du calendrier d'élevage (Date). df, nombre de degrés de liberté ; MS, variance observée ; F, rapport des variances ; $P > F$, seuil de probabilité. Les rapports de variance F ont été calculés en prenant soin de spécifier les bons termes d'erreurs associés à chacun des termes d'interaction : $BLOC*NC*NH$ pour les interactions $NC*NH$, et $Date*BLOC*NC*NH$ pour les interactions $NC*NH$, $Date*NC*NH$.

Source de variation	Df	MS	F	$P > F$
<u>Longueur de coquille (Long)</u>				
BLOC	1	449,952	3,21	0,073
NC	3	236,755	0,57	0,650
NH	1	51,047	0,12	0,735
$NC*NH$	3	403,476	0,98	0,456
Date	8	100617,872	620,20	<0,001
$Date*NC$	24	237,010	1,46	0,116
$Date*NH$	8	183,966	1,13	0,353
$Date*NC*NH$	24	294,612	1,82	0,031
<u>Poids de coquille sèche (Pcoq)</u>				
BLOC	1	609,269	4,64	0,031
NC	3	1208,714	4,61	0,044
NH	1	381,586	1,46	0,267
$NC*NH$	3	202,304	0,77	0,545
Date	8	116451,195	558,76	<0,001
$Date*NC$	24	331,361	1,70	0,047
$Date*NH$	8	368,344	1,89	0,076
$Date*NC*NH$	24	345,085	1,77	0,036
<u>Poids de chair humide (Phum)</u>				
BLOC	1	269,677	20,66	<0,001
NC	3	258,500	6,06	0,023
NH	1	19,397	0,45	0,522
$NC*NH$	3	7,295	0,17	0,913
Date	8	7910,111	320,57	<0,001
$Date*NC$	24	49,227	2,00	0,015
$Date*NH$	8	24,134	0,98	0,461
$Date*NC*NH$	24	27,712	1,12	0,035
<u>Poids total individuel (Ptot)</u>				
BLOC	1	1597,861	3,38	0,066
NC	3	3866,244	4,36	0,050
NH	1	78,870	0,09	0,744
$NC*NH$	3	717,615	0,81	0,527
Date	8	386637,577	603,20	<0,001
$Date*NC$	24	1244,500	1,94	0,019
$Date*NH$	8	1258,097	1,96	0,066
$Date*NC*NH$	24	1441,224	2,25	0,005

Tableau 4 : comparaison des principaux descripteurs de la croissance de *C. gigas* par ANOVAs à 3 critères de classification en fonction de la position des huîtres dans la table (BLOC), du nombre de cordes par carré (NC) et du calendrier d'élevage (Date). df, nombre de degrés de liberté ; MS, variance observée ; F, rapport des variances ; $P > F$, seuil de probabilité. Les rapports de variance F ont été calculés en prenant soin de spécifier les bons termes d'erreurs associés à chacun des termes d'interaction : Date*BLOC*NC pour les interactions Date*NC*NH.

Source de variation	Df	MS	F	$P > F$
<u>Longueur de coquille (Long)</u>				
BLOC	3	887,260	6,33	<0,001
NC	3	236,755	1,20	0,314
Date	8	100617,812	510,39	<0,001
Date*NC	24	237,010	1,20	0,260
<u>Poids de coquille sèche (Pcoq)</u>				
BLOC	3	521,693	3,98	0,008
NC	3	1208,714	4,91	0,003
Date	8	116451,195	472,81	<0,001
Date*NC	24	331,361	1,34	0,158
<u>Poids de chair humide (Phum)</u>				
BLOC	3	120,853	9,26	<0,001
NC	3	258,500	10,18	<0,001
Date	8	7910,111	311,56	<0,001
Date*NC	24	49,227	1,94	0,013
<u>Poids de chair sèche (Psec)</u>				
BLOC	3	10,355	15,65	<0,001
NC	3	15,779	3,87	0,011
Date	8	264,953	64,56	<0,001
Date*NC	24	5,455	1,33	0,170
<u>Poids total humide (Ptot)</u>				
BLOC	3	1817,542	3,85	0,009
NC	3	3866,244	4,33	0,007
Date	8	386637,577	433,22	<0,001
Date*NC	24	1244,500	1,39	0,131

3.3 Qualité des huîtres

Indices de condition

Évolution temporelle

Les deux indices choisis pour rendre compte de la condition des huîtres (remplissage ou amaigrissement) en fonction des différentes densités pendant le cycle d'élevage suivent à peu près les mêmes tendances (Figure 11). Ils augmentent au cours de l'été 1999 pour atteindre les valeurs moyennes les plus élevées en septembre 1999, avec 64,5 ($\pm 4,7$) pour l'indice de Walne et Mann et 15,0 ($\pm 0,5$) pour l'AFNOR. Celui-ci est également assez élevé

en décembre 1999 avec une valeur moyenne de 15,2 ($\pm 0,8$). Les deux indices ont ensuite tendance à diminuer pendant l'hiver 2000 (janvier à mars), tout en conservant des valeurs assez fortes (53,5 et 14,2 en moyenne, respectivement pour *WalnM* et *Afnor*). Au début du mois de juin 2000, chacun des deux indices retrouve des valeurs à peu près identiques à celles du mois de mai 1999, c'est-à-dire de l'ordre de 36-38 pour *WalnM* et 11 pour *Afnor* (Figure 11). On note en revanche, pour chacune des dates d'échantillonnage, une plus grande dispersion de l'indice AFNOR calculé pour les différents traitements de densité que pour l'indice de Walne et Mann.

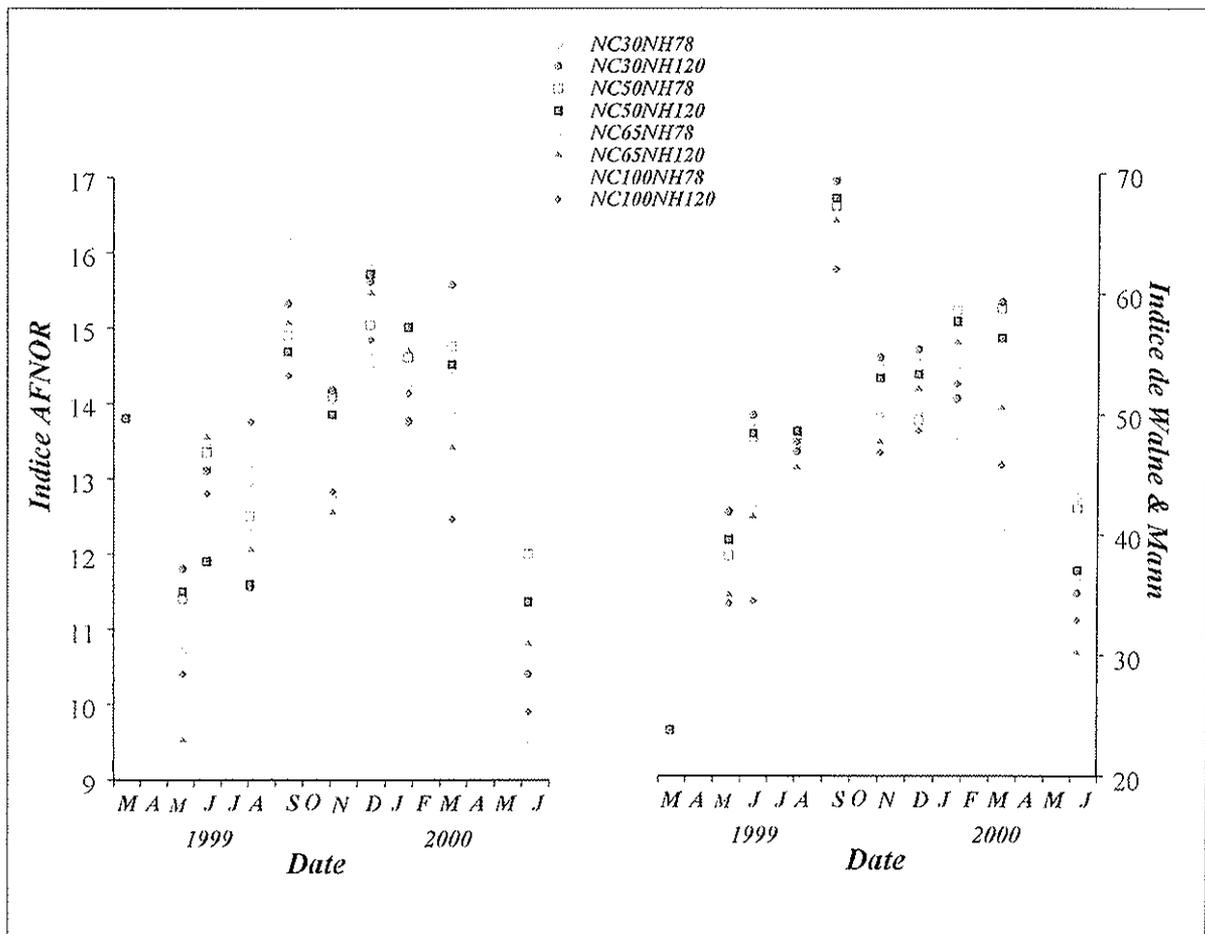


Figure 11 : variations temporelles de l'indice individuel AFNOR et de l'indice de qualité de Walne et Mann (1975) pour des huîtres creuses (*C. gigas*) élevées dans le bassin de Thau à huit traitements de densité entre mars 1999 et juin 2000.

Comparaison entre densités d'élevage

Les résultats de la comparaison par ANOVA des valeurs moyennes de chacun des deux indices en fonction du temps et entre les différents traitements de densité indiquent que le nombre de cordes par carré influe de façon significative à la fois sur l'indice de Walne et Mann et sur l'indice AFNOR ($P < 0,05$). Les huîtres à fortes densités de cordes par carré ont des indices de Walne et Mann et AFNOR ajustés plus faibles pour *NC100* ($WalnM_{ajust} = 46,2$;

$Afnor_{ajust} = 15,3$) que pour $NC30$ ($WalnM_{ajust} = 48,1$; $Afnor_{ajust} = 15,8$) (Figure 11). Les deux indices, $Afnor$ et $WalnM$, varient de façon significative dans le temps ($P < 0,001$) et sont également affectés par la position des cordes sur la table ($P < 0,05$).

Composition biochimique des huîtres

Évolution temporelle

Teneur en protéines de la chair des huîtres

Les protéines constituent la fraction la plus importante du poids de chair sèche des huîtres, puisqu'elles en représentent à elles seules entre 32 et 50 % selon la période de l'année considérée (Figure 12 A). Entre mars et juin 1999, les teneurs en protéines sont les plus élevées et se maintiennent à des valeurs moyennes supérieures à 46,5 % (voisines de 50 %) quel que soit le nombre de cordes par carré, avec très peu de variations (coefficient de variation < 5 %). En août et septembre 1999, elles chutent à 39,7 % en moyenne pour les deux traitements de densités ($NC30$ et $NC100$), pendant une période qui, dans le bassin de Thau, coïncide avec la gamétogenèse (reproduction). En novembre 1999, on observe une légère hausse des teneurs en protéines pour le traitement $NC30$ seulement (moyenne = 44,7 % ; Figure 12 A). Les teneurs en protéines se maintiennent ensuite entre 36 et 40 % en moyenne de décembre 1999 à janvier 2000, puis repassent au-dessus de 40 % à compter de mars 2000 (Figure 12 A). Globalement, l'amplitude des variations des teneurs en protéines est moindre que celles qui sont observées pour les autres constituants biochimiques.

Teneur en lipides de la chair d'huîtres

La teneur en lipides de la chair d'huîtres, mesurée entre mars 1999 et juin 2000, est comprise entre 2 et 17 % du poids de chair sèche. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées entre mi-mai et début août 1999 alors que les plus fortes surviennent au début du mois de novembre 1999 (Figure 12 B). L'évolution générale des teneurs en lipides est la même quelle que soit la densité d'élevage considérée (Figure 12 B, Tableau 4). Elle se caractérise dans un premier temps par une diminution progressive entre mars et août 1999 (de 8,8 à 2,8 % en moyenne), qui coïncide probablement avec l'émission des gamètes, riches en lipides. Cette baisse est suivie, dans un second temps, d'une augmentation marquée entre août et novembre 1999 des teneurs en lipides qui passent de 2-3 % à 11-16 % du poids de chair sèche (Figure 12 B). Il est vraisemblable que durant l'automne 1999, les huîtres reconstituent rapidement leurs réserves lipidiques grâce aux conditions environnementales favorables (températures de l'eau assez élevées, conditions trophiques favorables). Dans un troisième temps, survient une

seconde chute marquée des teneurs moyennes en lipides qui passent de 14,8 % début novembre 1999 à 4,8 % en janvier 2000. Pendant la période hivernale, lorsque les conditions environnementales deviennent moins favorables (températures plus basses et nourriture disponible moins abondante), les réserves lipidiques peuvent être utilisées pour assurer la survie des huîtres. Enfin, on note au printemps 2000 (mars à juin) une nouvelle augmentation de la teneur en lipides à des valeurs moyennes de 10,5 % du poids de chair sèche tandis que les huîtres se préparent à une nouvelle émission des gamètes estivale (Figure 12 B).

Teneur en sucres et glycogène de la chair des huîtres

Les sucres totaux et le glycogène (saccharose de réserve) évoluent de façon similaire de mars 1999 à juin 2000, pour les quatre traitements de densité étudiés, dans un intervalle de 4,5 à 22,7 % du poids de chair sèche en glucides totaux, et de 1,9 à 19,4 % du glycogène (Figure 12 C et D). Après un accroissement printanier (mi-mars à mi-mai 1999) de 4 et 6 % en moyenne, respectivement pour les glucides totaux et le glycogène, les teneurs en glucides et glycogène chutent au mois de juin 1999 à des seuils assez voisins de 6,7 et 5,8 %. Ceci correspond à une période de consommation des réserves glucidiques pour l'élaboration des gamètes. Les minima des réserves en sucres totaux et glycogène sont atteints juste avant ceux des lipides (Figure 12 B, C et D). Après juin 1999, les teneurs en sucres totaux et glycogène recommencent ensuite à augmenter jusqu'en septembre 1999 pour atteindre des valeurs maximales moyennes respectives de 19,5 et 17,4 %. Enfin, une baisse plus ou moins importante survient au cours de l'hiver 1999 et se poursuit jusqu'au début du mois de juin 2000. Les teneurs en sucres totaux sont alors de 9,2 % contre 7,8 % pour le glycogène (Figure 12 C et D).

Le glycogène représente, en fonction de la période du cycle d'élevage, entre 41,5 et 98,9 % de la quantité de sucres totaux. Par ailleurs, le coefficient de variation de la teneur en glucides (glycogène) est de 3 à 5 fois supérieur à celui associé aux mesures des lipides et protéines.

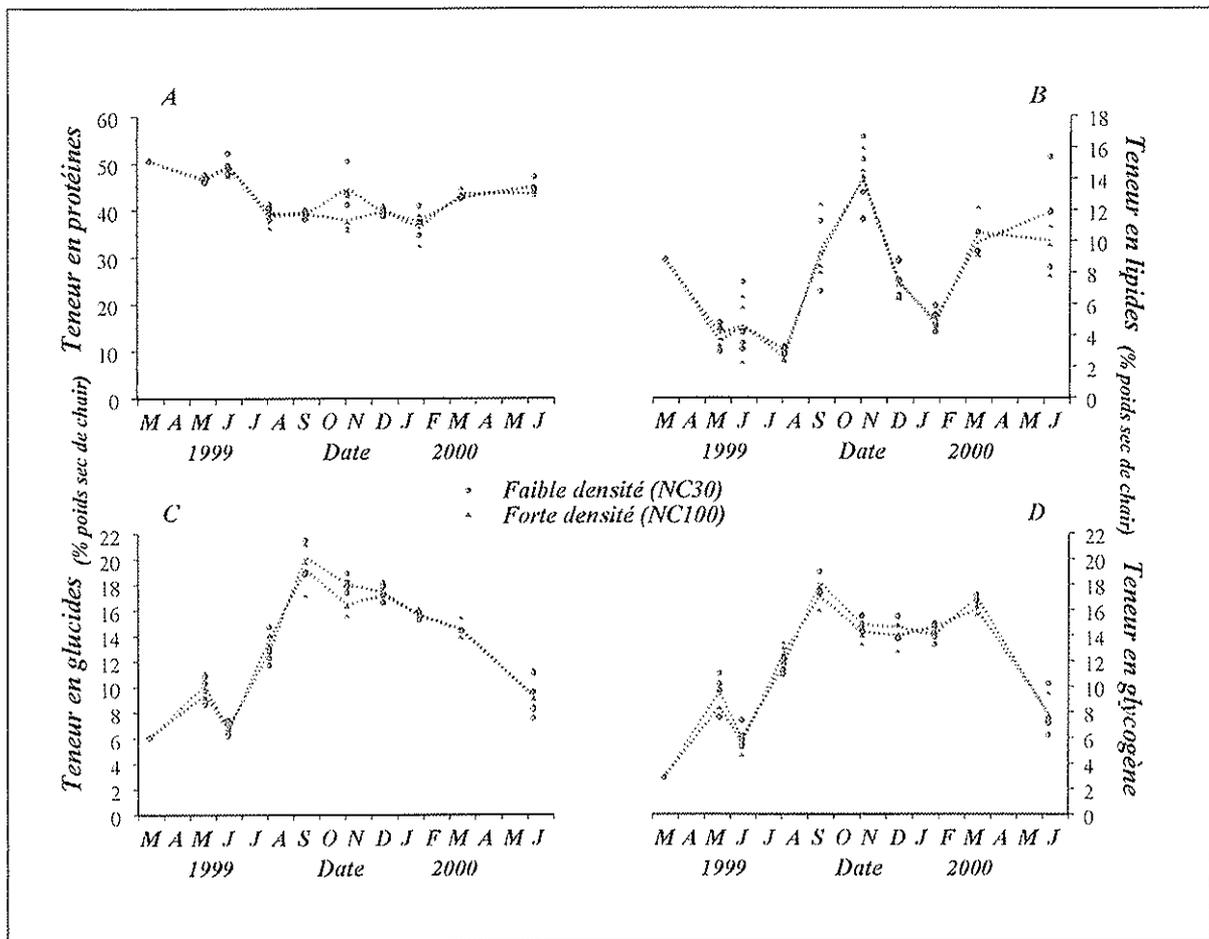


Figure 12 : évolution de la composition biochimique des huîtres élevées dans le bassin de Thau selon deux densités d'élevage : 30 cordes par carré (NC30,*) et 100 cordes par carré (NC100,▲). Teneur en protéines (A), en lipides (B), glucides totaux (C) et glycogène (D) de la chair d'huîtres, exprimées en % du poids de chair sèche.

Comparaison entre densités d'élevage

Les teneurs mesurées pour les différents constituants biochimiques de la chair d'huîtres ont été comparées par ANOVA entre les quatre traitements de densité retenus pour les dosages biochimiques (NC30-NH78, NC30-NH120, NC100-NH78 et NC100-NH120), aux neuf dates d'échantillonnage (Tableau 5, Figure 12). Tout comme pour les descripteurs de croissance et les indices de condition, nous n'avons noté aucun effet significatif du facteur NH sur les différents constituants biochimiques considérés. Nous ne présentons donc que les résultats de l'ANOVA à trois critères de classification.

L'ANOVA ne révèle aucune variation dans les teneurs des différents constituants biochimiques avec le traitement de densité NC (Tableau 5). Les teneurs en lipides de la chair d'huîtres (effet BLOC, $P < 0,001$), et plus marginalement du glycogène ($P = 0,038$), ne sont pas homogènes selon la position des carrés sur la table. Par ailleurs, les teneurs en chacun des

quatre constituants biochimiques dosés varient de façon significative d'une date d'échantillonnage à l'autre (Figure 12, Tableau 5). Cette évolution temporelle de la composition biochimique de la chair d'huîtres est à mettre en relation avec le cycle de reproduction de *C. gigas* dans le bassin de Thau et l'utilisation possible des réserves lipidiques durant la période hivernale.

Tableau 5 : comparaison des teneurs en principaux constituants biochimiques de la chair d'huîtres (*C. gigas*) par ANOVAs à 3 critères de classification en fonction de la position des huîtres dans la table (BLOC), du nombre de cordes par carré (NC) et du calendrier d'élevage (Date). df, nombre de degrés de liberté ; MS, variance observée ; F, rapport des variances ; $P > F$, seuil de probabilité. Les rapports de variance F ont été calculés en prenant soin de spécifier les bons termes d'erreurs associés à chacun des termes d'interaction : Date*BLOC*NC pour les interactions Date*NC*NH.

<i>Source de variation</i>	<i>Df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P > F</i>
Glucides totaux (lnGLUT)				
BLOC	3	0,007	0,77	0,514
NC	1	0,012	0,75	0,393
Date	8	2,905	183,20	<0,001
Date*NC	8	0,015	0,95	0,486
Glycogène (lnGLYC)				
BLOC	3	0,039	2,89	0,038
NC	1	0,023	0,86	0,359
Date	8	3,119	116,75	<0,001
Date*NC	8	0,023	0,88	0,542
Lipides (lnLIPD)				
BLOC	3	0,130	13,79	<0,001
NC	1	0,137	0,97	0,331
Date	8	6,930	49,02	<0,001
Date*NC	8	0,037	0,26	0,974
Protéines (lnPROT)				
BLOC	3	0,007	1,65	0,181
NC	1	0,023	2,93	0,094
Date	8	0,208	26,49	<0,001
Date*NC	8	0,018	2,31	0,037

4. Discussion

4.1 Paramètres physico-chimiques et nourriture disponible pour les huîtres

Les valeurs des différents paramètres physico-chimiques (température, salinité, oxygène dissous) mesurés autour de la table expérimentale coïncident avec les mesures moyennes enregistrées aux différentes époques de l'année à Thau entre 1987 et 1994 (OXYTHAU : Anonyme, 1996 ; données REMORA, LCM, non publiées). Ces valeurs

reflètent assez bien les caractéristiques générales du bassin de Thau : *i*) une saisonnalité marquée des températures de l'eau directement influencées par celles de l'air, *ii*) des fluctuations de la salinité qui sont principalement dépendantes de l'évaporation et des précipitations à caractère souvent torrentiel (PNOC-OXYTHAU : Anonyme, 1996). On note en revanche, pour toute la période de début septembre à fin octobre 1999, que la température de l'eau du bassin était supérieure de 1,5°C en moyenne par rapport aux valeurs enregistrées en 1998 pour cette même période (18,8°C enregistrées en 1998 contre 20,3°C en 1999). A ces températures plus chaudes se sont ajoutées des précipitations pour septembre et octobre plus importantes en 1999, avec 298,6 mm de pluie/m² contre 94,4 mm/m² en 1998.

Les concentrations de chlorophylle a, mesurées dans notre étude, sont plus faibles que celles qui sont habituellement rapportées dans le bassin de Thau et qui se situent généralement entre 0,5 et 5 µg.l⁻¹ (Tournier & Pichot, 1985; Anonyme, 1996 ; Vaquer *et al.*, 1997). Tournier & Pichot (1985) ont estimé à 1,52 µg.l⁻¹ la concentration moyenne annuelle en chlorophylle en 1986, pour une station très voisine de notre table expérimentale (station 8, Tournier & Pichot, 1985). Ces différences sont vraisemblablement dues à la méthodologie que nous avons utilisée pour filtrer nos échantillons d'eau de mer (seringues Swinex, Mazouni, comm. pers.) et qui sous-estimerait les quantités réelles de chlorophylle a estimées dans le bassin de Thau (Gangnery, comm. pers.). Cette sous-estimation ne remet cependant pas en cause les résultats et conclusions de nos analyses puisque nous nous intéressons à une comparaison des valeurs obtenues entre différentes positions de la table, c'est-à-dire aux concentrations relatives de la chlorophylle sur le site d'élevage. La méthodologie utilisée a cependant été modifiée afin d'éviter une estimation erronée de la quantité de chlorophylle lors de suivis ultérieurs pour estimer les conditions trophiques régnant dans le bassin de Thau. Les résultats inhabituels que nous avons obtenus concernant les concentrations en chlorophylle a, plus faibles sur filtres GF/F que sur filtres GF/C, sont vraisemblablement dus également à des problèmes méthodologiques : la pression exercée sur les filtres GF/F aurait été trop forte, provoquant un éclatement des cellules phytoplanctoniques. Les débris les plus fins seraient alors passés au travers des mailles des filtres GF/F, entraînant alors une sous-estimation de la quantité de chlorophylle a.

Les valeurs de matières en suspension totales enregistrées à proximité de la table expérimentale sont du même ordre de grandeur, mais légèrement inférieures à celles rapportées entre 1986 et 1991 pour le bassin de Thau (Grenz, 1989 ; Pichot *et al.*, 1995, 1997). Dans l'étude de Pichot *et al.* (1995) qui a eu lieu dans la zone de Mèze à proximité de

notre table expérimentale, les valeurs moyennes de MES estimées pour 1988 et 1989 sont de 3,50 mg·l⁻¹. Les concentrations de matière inorganique mesurées dans notre étude sont également nettement inférieures à celles précédemment mentionnées (moy = 2,39 mg·l⁻¹ ± 2,68, Pichot *et al.* 1995). La matière organique particulaire est en revanche très voisine de celle déjà rapportée par Pichot *et al.* (1995, 1997), mais la fraction organique de la matière en suspension calculée dans notre étude est deux fois plus élevée. Les concentrations en seston mesurées dans le bassin de Thau sont légèrement inférieures à celles rapportées pour un autre site conchylicole méditerranéen, l'Anse de Carteau (Grenz, 1989). Par rapport à d'autres sites français qui supportent une activité conchylicole importante, les valeurs de MES mesurées à Thau se situent globalement entre celles enregistrées dans le lagon de Takapoto en Polynésie Française (Pouvreau *et al.*, 1999, 2000) pour les minima, et celles du bassin d'Arcachon (Gouletquer *et al.*, 1999), ou de Marennes Oléron pour les maxima (Zurburg *et al.*, 1994 ; Barillé *et al.*, 1997).

La répartition non homogène du seston et de la chlorophylle a (sur filtre GF/C uniquement) autour de la table expérimentale permet d'expliquer que la croissance des huîtres a été en partie affectée par la position des cordes sur la table, indépendamment de la densité par carré. Les différences observées au niveau des gradients de nourriture entre matières en suspension et chlorophylle sont cependant contradictoires. Les imprécisions liées à la méthode de prélèvement d'eau pour estimer la concentration en chlorophylle a ont introduit des variations importantes au niveau de la réplication de certaines mesures (coefficients de variation moyens de 16 à 37 % selon les dates de prélèvement) et soulèvent des incertitudes sur la validité des résultats concernant la chlorophylle a. En revanche, le gradient de seston, décroissant du sud vers le nord et l'est, semble cohérent avec les différences de croissance observées entre les huîtres du "large" (sud de la table) les plus "poussantes", et les huîtres élevées à terre (nord de la table) à croissance moins forte.

La nourriture disponible, ainsi que la température sont considérées comme les deux facteurs les plus importants pour la croissance des mollusques (Coe & Fox, 1942 ; Bayne, 1976 ; Pieters *et al.*, 1980). Ceci a été démontré pour bon nombre de mollusques dont, entre autres, les moules (Navarro *et al.*, 1991 ; Pérez Camacho *et al.*, 1995), les huîtres (Héral & Deslous-Paoli, 1991) et les pétoncles (Kirby-Smith & Barber, 1974). Dans le cas de notre expérience, il semble que les conditions trophiques et de température, notamment durant l'automne 1999, ont été propices à une production primaire importante, favorisant ainsi la croissance des huîtres non seulement pour la zone de Mèze mais aussi pour les autres zones

d'élevage dans le bassin comme en attestent les données du réseau de suivi REMORA (LCM, données non publiées). Par ailleurs, la zone de Mèze qui se caractérise en général par des conditions de pousse moyenne par rapport à celles des deux autres zones d'élevage, a montré en 1999 des performances de croissance et des indices de remplissage significativement supérieurs à ceux enregistrés dans les secteurs de Bouzigues comme le montrera la suite de ce rapport.

4.2 Effet de la densité de cordes sur la croissance et la qualité des huîtres

Contrairement aux résultats d'une précédente étude réalisée sur le bassin de Thau (Medelgi, 1988), nous avons montré que la densité de cordes par carré pouvait influencer la croissance en poids de chair humide et sèche, en poids de coquille ainsi qu'en poids humide total des huîtres sur un cycle d'élevage de 15 mois (Figure 9). Dans notre étude, les effets négatifs de la densité sur la croissance ont commencé à se manifester principalement pendant l'hiver, c'est-à-dire à partir de décembre 1999, pour s'accroître par la suite en janvier et mars 2000, voire juin 2000 (Figure 9). De mai à décembre 1999, comme en témoignent les conditions environnementales favorables discutées ci-dessus, la nourriture ne constituait probablement pas un facteur limitant de la croissance des huîtres, et ce en dépit des densités pratiquées. A l'échelle du site expérimental, la population d'huîtres en élevage ne devait donc pas excéder les limites de capacité trophique locale. Au début de l'année 2000, en revanche, le ralentissement observé au niveau de la croissance des huîtres indique que la nourriture est vraisemblablement devenu un facteur régulateur de la croissance. La compétition entre les huîtres pour la ressource trophique est alors d'autant plus marquée que le nombre de cordes par carré est élevé (Figure 9).

Les différences notables observées entre les résultats de notre étude et ceux de l'étude de Medelgi (1988) peuvent être liées à plusieurs facteurs parmi lesquels l'origine des huîtres, la technique d'élevage utilisée, la situation des tables testées et le plan expérimental ont probablement joué un rôle important. D'une part, l'origine des huîtres, que nous nous sommes efforcés de contrôler dans notre étude, n'était pas homogène dans le travail de Medelgi (1988). D'autre part, les effets de densité que nous avons observés concernent des huîtres collées alors que Medelgi (1988) a travaillé avec des huîtres en pignes dont la variabilité de croissance est plus grande. Par ailleurs, il est possible que les charges en cordes par carré pratiquées dans l'étude de Medelgi (1988), équivalant à 67, 60 et 56 cordes par carré, n'aient pas été suffisamment élevées et distinctes pour faire apparaître des effets statistiques significatifs de la densité sur la croissance des huîtres. Enfin, notre étude a révélé que la durée de l'expérience

et la fréquence des échantillonnages étaient deux facteurs déterminants pour voir apparaître des effets de densité. Or, dans le travail mené par Medelgi (1988), l'échantillonnage des huîtres situées au centre des tables n'a été fait qu'en début (16/03/88) et en fin d'expérience (15/09/88).

Les effets de la densité se sont également répercutés sur les indices de condition, et donc le remplissage des huîtres. Des effets similaires ont été rapportés pour l'huître américaine (*Crassostrea virginica*) élevée en sacs, et pour laquelle une baisse de 20 % de l'indice de condition a été enregistrée en doublant la densité d'huîtres par sac de 2,5 à 5 kg (Rheault & Rice, 1996). Il a également été démontré que des moules (*M. edulis*) élevées en conditions expérimentales à fortes densités de population et soumises à un faible régime alimentaire avaient un indice de condition plus faible que des moules placées à faibles densités ou sans limitation de la nourriture (Alunno-Bruscia *et al.*, sous presse). Dans le bassin de Thau, ces effets négatifs de la densité sur la croissance ne sont pas sans conséquence pour les ostréiculteurs, dont l'intérêt est bien sûr de produire des huîtres de qualité avec un taux de remplissage élevé. Notons cependant les valeurs des indices de condition (Walne et Mann, et AFNOR) obtenus pour notre site d'étude au cours l'année 1999 restent de loin plus élevées que celles des indices relevés dans les autres bassins conchylicoles français pour la même période (Fleury *et al.*, 2000). Ce résultat est néanmoins à nuancer compte tenu des bonnes conditions climatiques et trophiques rencontrées dans le bassin de Thau en 1999.

Les effets négatifs de la densité de population sur la croissance, voire la survie de mollusques, ont été rapportés dans de nombreuses études et pour un grand nombre d'espèces, tant pour des populations naturelles (Olafsson, 1986 ; Vincent *et al.*, 1989 ; Jensen, 1993) qu'aquacoles (Ventilla, 1982 ; Orensanz, 1986 ; Aoyama, 1989 ; Widman & Rhodes, 1991 ; Parsons & Dadswell, 1992 ; Côté *et al.*, 1993 ; Holliday *et al.*, 1993 ; Mgaya & Mercer, 1995 ; Cigarría & Fernandez, 1998). Heasman *et al.* (1998) mentionnent une diminution du taux de croissance et de la production de *Mytilus galloprovincialis* élevée sur des radeaux en fonction de l'espacement des cordes d'élevage, et donc la densité de charge par radeau, dans un bassin conchylicole d'Afrique du Sud. Boromthanarat & Deslous-Paoli (1988) préconisent quant à eux un contrôle de la densité d'élevage de la moule bleue (*Mytilus edulis*) élevée sur des bouchots dans la baie de Marennes-Oléron pour optimiser le taux de croissance et maximiser la récolte. Même si de nombreuses études ont avancé l'hypothèse de la surcharge de bassins d'élevage pour expliquer des baisses de croissance observées dans les élevages

ostréicoles, très peu se sont intéressées précisément aux effets de la densité d'élevage sur la croissance et la survie de l'huître. Pour l'huître plate *Ostrea edulis*, deux études font état de ralentissement de la croissance avec la densité (Tanita & Kikuchi, 1957 ; Sheldon, 1968). Hollyday *et al.* (1993) ont montré par ailleurs que la croissance des juvéniles de l'huître *Saccostrea commercialis* était dépendante de la densité. Notre étude est cependant la première du genre en France à avoir montré l'existence *in situ* d'effets de la densité sur la croissance et la qualité de *C. gigas* élevée en suspension.

Deux des descripteurs utilisés dans notre expérience pour caractériser la croissance et la qualité des huîtres n'ont cependant pas été affectés par le nombre de cordes par carré : la longueur de coquille (*Long*, mm) et la composition biochimique des huîtres. La longueur de coquille est reconnue comme étant une variable biologique beaucoup moins sensible aux conditions du milieu et aux changements environnementaux que les caractéristiques pondérales des organismes (e.g. Singh & Zouros, 1978 ; Legay *et al.*, 2000). Dans notre expérience, les coefficients de variation calculés sur les variables de dimensions (*Long*, *Larg*, *Epai*) étaient de l'ordre de 10 à 15 % tout au long de l'expérience, ce qui témoigne d'une variabilité "normale" entre les individus et ne mérite normalement aucune explication autre que biologique. En revanche, pour l'ensemble des variables pondérales utilisées pour caractériser la croissance des huîtres (Figure 9), les coefficients de variation étaient de l'ordre de 30 à 40 %. Ces fortes valeurs, signes d'une variabilité importante entre les huîtres, témoignent d'une grande sensibilité et d'une réponse rapide des facteurs pondéraux aux changements des conditions du milieu, et notamment aux variations saisonnières de la ressource trophique (Widdows *et al.*, 1979 ; Bayne & Newell, 1983 ; Page & Hubbard, 1987), ainsi qu'aux besoins énergétiques des individus (Gabbott, 1976 ; Bayne & Worrall, 1980 ; Peterson & Fegley, 1986). Des travaux rapportent, par ailleurs, une croissance de la coquille chez des mollusques sous-alimentés ou privés de nourriture (Orton, 1925 ; Pannella & MacClintock, 1968 ; Thompson, 1975 ; Strömngren & Cary 1984 ; Alunno-Bruscia *et al.*, sous presse), même lorsque la croissance des tissus s'est révélée négative (Lewis & Cerrato, 1997). Ceci pourrait révéler une stratégie destinée à augmenter le volume "habitable" des coquilles pour anticiper sur une croissance future des tissus (Palmer, 1981 ; Rodriguez & Lopez, 1985 ; Vercelli, *et al.*, 2000).

Concernant la composition biochimique des huîtres, nos résultats semblent indiquer qu'elle réagit avant tout aux variations saisonnières de l'état bioénergétique de *C. gigas*, et non à la densité d'élevage. Les huîtres sont en effet capables de synthétiser et de stocker des

éléments biochimiques sous forme de protéines, lipides et sucres pendant les périodes où la nourriture est abondante. Ces réserves peuvent être ensuite utilisées quand la ressource trophique se raréfie pour répondre à des besoins liés à des variations saisonnières de leur état physiologique, et notamment, au moment de la gamétogenèse (Gabbott, 1975, 1976). Les réserves de glycogène jouent un rôle majeur dans la formation des gamètes et le métabolisme de maintenance chez les bivalves marins, particulièrement lorsque les ressources trophiques s'appauvrissent (Beninger & Lucas, 1984). Des niveaux de glycogène plus faibles ont été enregistrés dans la chair d'huîtres creuses stockées à fortes charges par rapport à des individus maintenus à faibles charges à Marennes-Oléron (Deslous-Paoli & Héral, 1988). De la même façon, des teneurs en glycogène plus faibles ont été observées dans la chair d'huîtres (*C. gigas*) provenant d'un site d'élevage coréen caractérisé par une faible disponibilité en nourriture (Kang et al., 2000). Le glycogène constitue également le constituant biochimique principal qui détermine la qualité gustative des huîtres. Or, dans notre expérience, la teneur en glycogène pendant la période de commercialisation des huîtres (décembre 1999 à mars 2000) s'est maintenue à un seuil de 14 % en moyenne quelle que soit la charge de cordes par carré (Figure 12A), ce qui est assez élevé en comparaison avec les valeurs rapportées dans d'autres sites conchyliques pour la même période (e.g. Le Moine et al., 2000). Nos résultats actuels seraient néanmoins à compléter par l'analyse des traitements de densité correspondant à 50 (*NC50*) et 65 (*NC65*) cordes par carré. Cela permettrait d'une part d'améliorer la puissance des analyses, en augmentant notamment le nombre de degré de liberté sur le facteur *NC*, et d'autre part les rendre conformes à celles réalisées sur les autres descripteurs de croissance.

4.3 Interprétation de la relation biomasse-densité

L'analyse de la relation biomasse-densité suggère que jusqu'à la fin de l'année 1999, la compétition entre les huîtres était négligeable et n'affectait en rien le rendement des cordes (Figure 10). En revanche, à partir de décembre 1999, la pente des courbes *B-N* décroît légèrement, ce qui traduit un début de ralentissement de la biomasse totale d'huîtres sur les cordes aux densités les plus élevées. Ce ralentissement faible, mais néanmoins perceptible, corrobore les observations faites sur la croissance pondérale individuelle des huîtres affectée par la densité d'élevage (i.e. nombre de cordes par carré). On notera également que les phénomènes de compétition qui se manifestent au travers de la relation biomasse-densité ne surviennent qu'à partir de l'hiver, c'est-à-dire lorsque les conditions trophiques et de température deviennent probablement moins favorables au développement des huîtres. Le même phénomène a été observée chez la moule bleue (*M. edulis*) élevée en conditions

expérimentales (Alunno-Bruscia *et al.* 2000). Mais signalons que les conditions trophiques ne sont pas toutes identiques d'une année à l'autre dans le bassin de Thau (Jarry *et al.* 1990, 1991 ; PNOC-OXYTHAU - anonyme, 1996) et que pour des années de faible disponibilité en nourriture, les phénomènes de compétition que nous avons observés sur les cordes pourraient survenir plus précocement dans le cycle d'élevage et/ou se manifester avec davantage d'intensité.

Aucune information n'est actuellement disponible dans la littérature pour quantifier la proportion d'huîtres susceptibles d'être perdues, c'est-à-dire s'étant détachées des cordes, lors des différentes opérations du calendrier d'élevage. Deux professionnels que nous avons consultés (A. Molina & J. Granal, comm. pers.) estiment à environ 2-3 % de pertes (mortalités réelles et chutes d'huîtres) par rapport au naissain initialement collé dans leurs exploitations respectives. Dans le cas de notre expérience, des chutes d'huîtres ont pu être occasionnées principalement par deux événements : le collage des huîtres en mars 1999 suivi de la mise à l'eau des cordes rendue difficile par de mauvaises conditions météorologiques, et le relevage des cordes lors des échantillonnages. Pour cette dernière opération, nous avons utilisé une potence à l'inverse des ostréiculteurs qui remontent les cordes d'huîtres commercialisables habituellement avec un tapis roulant. Cette dernière technique occasionne très vraisemblablement moins de perte que la méthode de la potence.

5. Recommandations concernant l'échelle locale à l'issue de cette expérience

Cette étude a permis de montrer qu'en manipulant les densités de cordes par carré à l'échelle d'une table d'élevage située dans la zone de Mèze, des effets locaux de la densité peuvent apparaître et se manifester par un ralentissement de la croissance des huîtres et une diminution de leur indice de condition. Ces effets négatifs sur la croissance des huîtres ont été observés principalement pour des densités de 65 et 100 cordes par carré, équivalant à 1300 et 2000 cordes par table, quel que soit le nombre d'huîtres présentes sur les cordes (78 ou 120 huîtres par corde). Ces deux densités de cordes sont supérieures à la densité "conseillée" de 1000 cordes par table. Elles ne sont cependant pas rares sur le bassin puisque les évaluations de stocks réalisées en 1999 ont révélé que 17,3 % (avril 1999) et 10,6 % (novembre 1999) du nombre de carrés échantillonnés portaient 65 cordes et plus (Gangnery, comm. pers.).

Dans les conditions de notre expérience, c'est-à-dire pour des huîtres collées, élevées au centre de la zone de Mèze, nos résultats indiquent clairement que les densités à pratiquer dans cette zone et pour cette technique d'élevage ne doivent pas excéder 65 cordes par carré,

soit 1300 cordes par table. Par ailleurs, la densité équivalant à 1000 cordes par table (*NC50*) fournit des résultats optimaux en termes de performance de croissance et de qualité des huîtres car ils sont identiques à ceux obtenus avec une faible densité de 600 cordes (*NC30*). Cette densité de 1000 cordes par table paraît donc appropriée pour des huîtres collées élevées dans cette zone. Cependant, l'examen des courbes de la Figure 9 montre qu'une extrapolation des résultats peut se justifier entre 1000 et 1300 cordes. Une densité de 1100 cordes par table donnerait vraisemblablement des résultats assez proches de ceux obtenus avec 1000 cordes. On remarquera que cette densité de 1100 cordes correspond à la charge moyenne des tables sur le bassin (Gangnery, 1999), en particulier en zone de Mèze où, comme on le verra plus loin, la qualité des huîtres est bonne. La préconisation de cette densité de 1100 cordes par table (11 cordes par perche) nous semble donc raisonnable et réaliste pour cette zone moyenne du bassin.

Concernant le nombre d'huîtres par corde, il est plus difficile de statuer sur la charge maximale à pratiquer. Il ressort cependant de notre étude, et notamment de l'analyse de la relation biomasse-densité, que pour des cordes de 3,5 m semblables à celles que nous avons utilisées et des élevages situés en zone de Mèze, la charge optimale supportée par une corde est de 91 huîtres par corde en moyenne. Ceci correspond à 27 huîtres (soit 9 bouquets de 3 huîtres) par mètre de corde, charge peu différente de celle qui est pratiquée de façon empirique par les professionnels, soit 30 huîtres par mètre de corde.

Pour la longueur des cordes fixée à 3,5 m sur un fond de 4.2 m, la mortalité observée en bas de corde au moment de la diminution de la concentration en oxygène montre qu'il aurait été préférable d'utiliser des cordes de 3 m de longueur et ce d'autant plus que le fond n'est pas strictement horizontal et que certaines cordes en étaient quasiment à le toucher. Ce raccourcissement des cordes correspond également au souci de diminuer le risque de propagation des anoxies de fond.

D'un point de vue strictement économique, dans les conditions de notre expérience, avec un poids moyen final d'environ 90 g et une mortalité d'environ 15 % (plus élevée que chez les professionnels), la densité de 1000 cordes par table, 120 huîtres par corde au départ (pour 100 en final) et 3,5m de longueur aboutit à une production de 9 tonnes d'huîtres de bonne qualité (AFNOR à 11-12) après 15 mois d'élevage. Ces résultats semblent tout à fait satisfaisants.

En diminuant la longueur des cordes à 3 m et en augmentant la densité en nombre de cordes à 1100, la charge globale obtenue en fin d'élevage sera peu différente des conditions de notre expérience. Cet ajustement de la longueur des cordes qui diminue la biomasse globale sur la table renforce l'argumentation permettant de choisir une densité de 1100 cordes par table pour cette zone.

En résumé, les résultats de cette expérience permettent de situer les conditions d'élevage optimales pour cette zone centrale de Mèze, de profondeur 4,2 m et pour des huîtres collées :

Densité de 1100 cordes par table soit 11 cordes par perche

Charge de 30 huîtres par mètre de corde

Longueur de corde de 3 mètres

Une partie des prélèvements d'huîtres creuses de taille supérieure à 7cm (grosses) a été sélectionnée de façon systématique au cours de l'échantillonnage (un échantillon tous les cinq). Chaque huître du prélèvement a fait l'objet d'une analyse plus approfondie : poids total, poids de chair humide, poids de coquille humide, qualité de la coquille (présence ou non de chambrage). Deux indices de condition ont été calculés : l'indice AFNOR est le pourcentage du poids de chair rapporté au poids total et un deuxième indice constitué par le pourcentage du poids de chair rapporté au poids de coquille (indice PCH/PCOQ). Les prélèvements ont été effectués entre les 15 et 19 novembre et les 22 et 26 novembre 1999. Ils ont été traités en laboratoire avec un décalage d'une semaine après un stockage en bassin pendant la semaine des prélèvements puis un stockage à sec, à température ambiante, pendant la semaine de l'analyse.

L'analyse statistiques des résultats a été effectuée avec le logiciel Systat.

1.3 Caractéristiques des prélèvements effectués

Le Tableau 6 donne les caractéristiques des prélèvements effectués. Il n'a pas été possible d'obtenir des effectifs équivalents et suffisants pour toutes les strates et en particulier les strates 1 et 5 ont été sous échantillonnées. Aussi, des regroupements de données ont du être faits en fonction des objectifs recherchés.

Tableau 6 : caractéristiques des huîtres échantillonnées sur parcs en novembre 1999. Les chiffres entre parenthèses représentent le nombre d'huîtres dont le pourcentage d'eau est supérieur à 20%.

Strate	Nombre de carrés d'huîtres collées échantillonnés	Nombre d'huîtres collées mesurées	Nombre de carrés d'huîtres détroquées échantillonnés	Nombre d'huîtres détroquées mesurées
1	3	31 (31)	2	29 (25)
2	8	112 (95)	4	82 (71)
(1+2) Bouzigues terre	11	143 (126)	6	111 (96)
3 Bouzigues large	12	166 (147)	7	142 (131)
4	9	126 (86)	6	116 (58)
5	4	61 (48)	1	12 (6)
(4+5) Mèze	13	187 (134)	7	128 (64)
6 Marseillan	8	108 (66)	8	135 (68)

Le stockage des coquillages à sec pendant plusieurs jours pour certains lots a occasionné un perte d'eau inter valvaire variable suivant les individus. Cette perte peut fausser le calcul des indices de condition en modifiant le poids total. Ceci peut entraîner une surestimation de l'indice AFNOR et une sous estimation de l'indice PCH/PCOQ. Pour

vérifier la validité des résultats donnés par les indices, seul les coquillages dont le pourcentage d'eau était supérieur à 20% ont été conservés en considérant que, dans ce cas, le poids de chair n'est pas modifié.

Le Tableau 7 montre que la perte d'eau a eu plus d'influence sur les zones de Mèze et Marseillan (prélèvements de la deuxième semaine) avec une légère surestimation de l'indice AFNOR due à la diminution du poids total. L'indice PCH/PCOQ en principe moins sensible à cette perte d'eau donne des valeurs proches pour les deux types de calcul.

Tableau 7 : indices de condition calculés lors de l'estimation des stocks de novembre 1999. Les chiffres indiquent respectivement l' effectif, la moyenne et l'écart type de l'échantillon.

Strate	Indice AFNOR	Indice AFNOR 2 (% eau>20)	Indice PCH/PCOQ	Ind. PCH/PCOQ 2 (% eau>20)
BOUZIGUES TERRE	254 - 9,5 - 2,9	213-9,1 - 2,3	245 - 15,0 - 4,9	213 - 14,7 - 4,3
BOUZIGUES LARGE	308 - 9,1 - 2,5	278 - 8,9 - 2,4	308 - 14,4 - 4,2	278 - 14,4 - 4,1
MEZE	315 - 13,8 - 3,5	198 - 12,9 - 2,8	315 - 21,8 - 6,1	198 - 21,5 - 5,3
MARSEILLAN	243 - 13,1 - 2,5	134 - 12,6 - 2,3	243 - 20,0 - 4,3	134 - 20,7 - 4,2

1.4 Résultats concernant les indices de condition

Indices de condition : analyse de l'ensemble des huîtres commercialisées sans tenir compte de la technique d'élevage

Pour les besoins de cette analyse et pour obtenir des effectifs suffisants dans chaque groupe, les résultats des strates 1 et 2 et 4 et 5 ont été regroupés, ce qui donne 4 zones : Bouzigues terre (1et 2), Bouzigues large (3), Mèze (4 et 5) et Marseillan (6). La Figure 14 donne les valeurs moyennes de l'indice AFNOR calculées sur les huîtres ayant un pourcentage d'eau supérieur à 20. Les valeurs de l'indice PCH/PCOQ correspondantes sont données à titre de comparaison.

Une comparaison des moyennes par analyse de variance (Tableau 8) donne un résultat hautement significatif : les indices de condition moyens sont comparables à Mèze et Marseillan avec une valeur approchant 13. La zone de Bouzigues présente des indices moyens nettement moins élevés avec une valeur d'environ 9.

Tableau 8 : analyse de variance sur la variable indice Afnor en fonction des strates pour l'ensemble des huîtres ayant un pourcentage d'eau supérieur à 20.

Source	Somme des carrés	Degré de liberté	Carré moyen	F	P
Strate	2797,2	3	932,4	155,7	0,000
Erreur	4903,1	819	6		

La Figure 15 montre que si environ 90% des huîtres de Mèze et Marseillan peuvent être classées en spéciales ou super spéciales, seulement 50 % de celles de Bouzigues peuvent prétendre au classement spéciale. Alors que la qualité des huîtres des Mèze et Marseillan peut être qualifiée de très bonne, elle n'est que très moyenne pour la zone de Bouzigues.

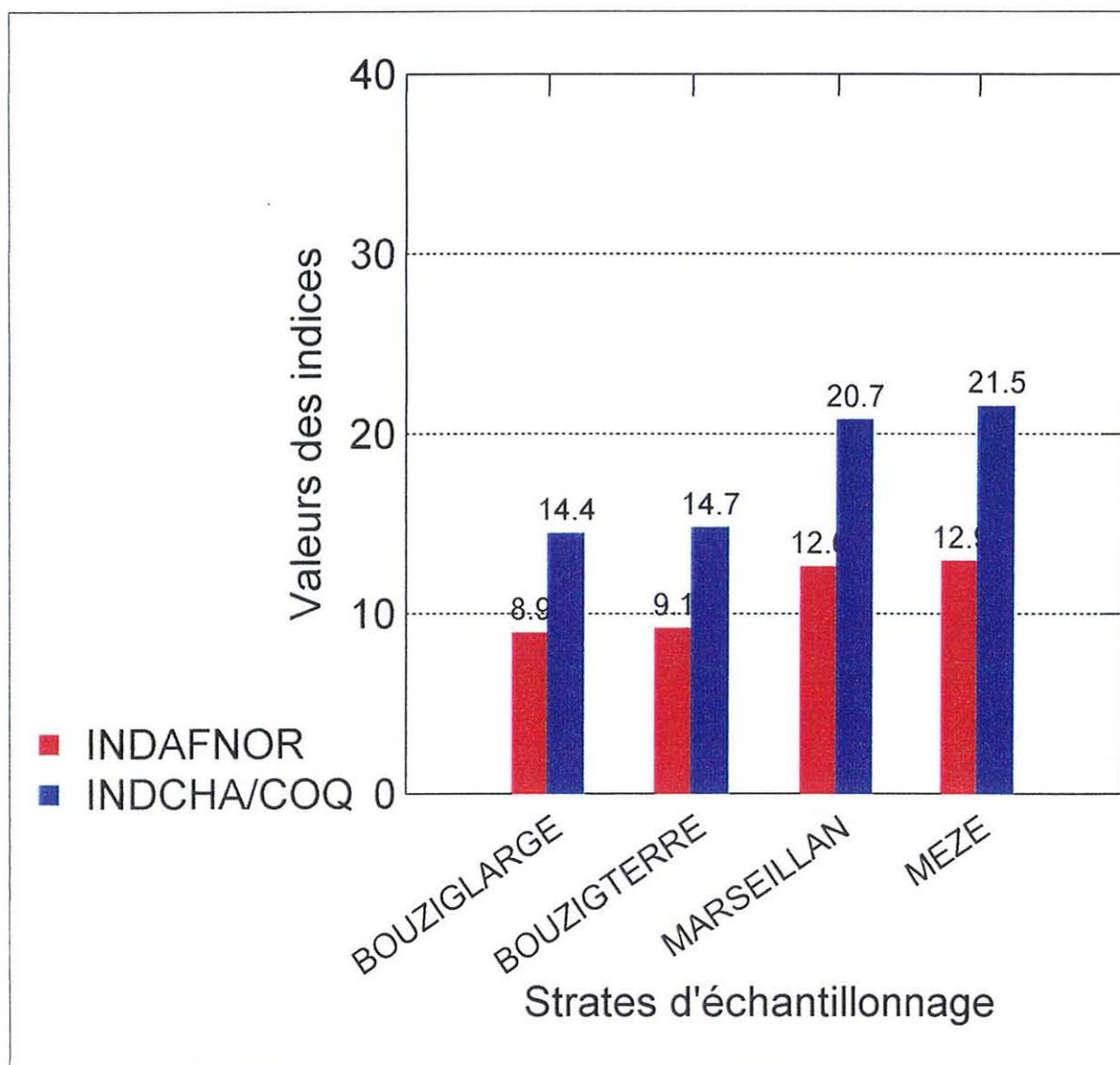


Figure 14 : indices de condition moyen des huîtres du bassin de Thau en Novembre 1999 (Indice Afnor et indice poids de chair sur poids de coquille calculés sur les huîtres ayant un pourcentage d'eau supérieur à 20).

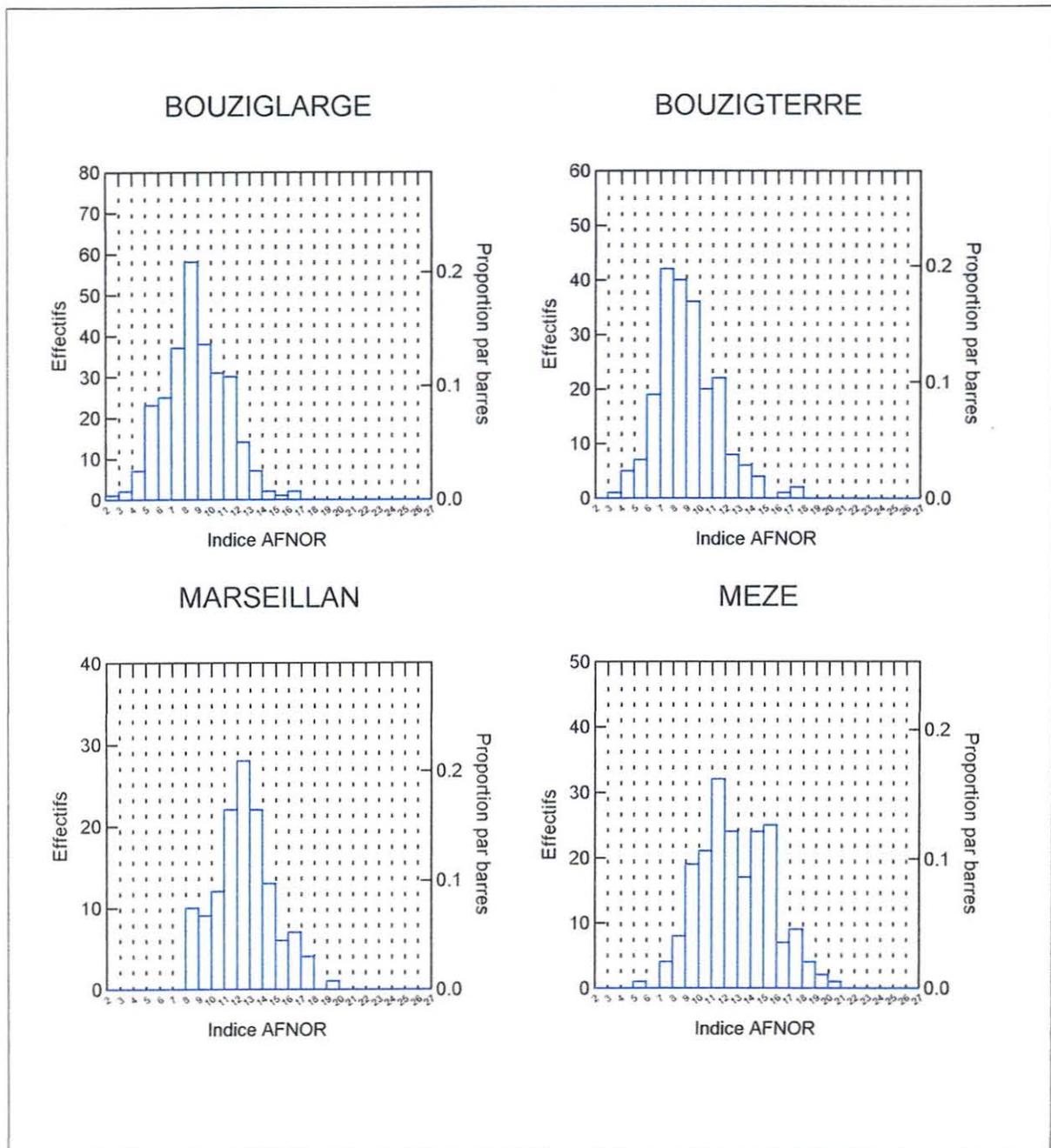


Figure 15 : histogrammes de fréquences des valeurs de l'indice AFNOR pour les différentes zones du bassin de Thau (huîtres ayant un pourcentage d'eau supérieur à 20).

Comparaison des indices de condition pour les huîtres collées en fonction des strates

Il est possible de préciser la différence de condition entre les strates en comparant statistiquement l'indice POCH/PCOQ (moins sensible aux variations d'eau inter-valvaire) pour les huîtres collées. Les effectifs (respectivement 22, 112, 166, 126, 51, 108 pour les strates 1,2,3,4,5,6) sont en effet suffisants (à l'exception de la strate 1).

Les résultats de l'analyse de variance sont donnés dans le Tableau 9 et la Figure 16. Il y a une différence significative entre les strates. Cette analyse confirme les résultats précédents en montrant une différence de qualité très nette entre la zone de Bouzigues et les autres zones de Mèze et Marseillan.

Tableau 9 : analyse de variance sur la variable indice de condition (poids de chair/ poids de coquille) pour les huître collées dans les différentes strates d'échantillonnage.

Source	Somme des carrés	Degré de liberté	Carré moyen	F	P
Strate	12577	5	2515	105	0.000
Erreur	26479	1105	24		

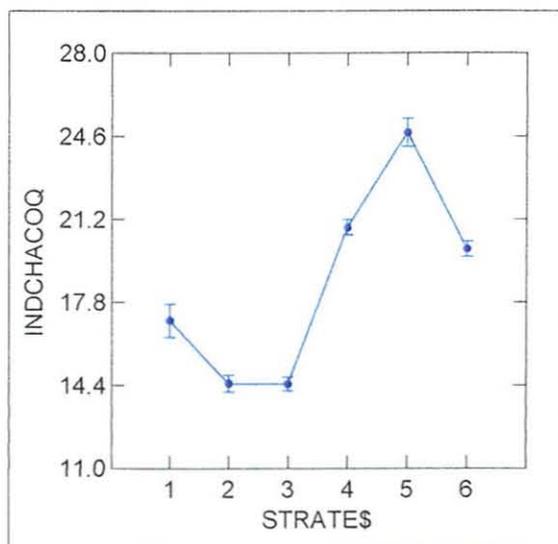


Figure 16 : indice moyen de poids de chair sur poids de coquille pour les huîtres collées et pour les différentes strates.

Comparaison des indices de condition pour l'ensemble des huîtres en fonction des strates 2,3,4,6 et des types d'élevage

Les effectifs (Tableau 6) sont suffisants sur ces quatre strates pour faire une analyse globale incluant les facteurs strates et type d'élevage (collées et détachées). Le Tableau 10 et la Figure 17 donnent les résultats de l'analyse de variance.

Tableau 10 : analyse de variance pour la variable indice de condition (poids de chair/ poids de coquille) pour l'ensemble des huîtres sur les strates 2,3,4 et 6 en fonction des facteurs strates et types d'élevage.

Source de variation	Somme des carrés	Degrés de liberté	Carré moyen	F	P
Strate	9102	3	3034	148	0,000
Type élevage	1446	1	1445	71	0,000
Interaction strate et type élevage	497	3	165	8	0,000
Erreur	19994	979	20		

Les différences globales entre zones sont confirmées aussi bien pour les huîtres collées et détachées avec une qualité nettement inférieure en zone de Bouzigues. Les huîtres collées et détachées ne se comportent pas de la même manière dans chacune des strates comme le montrent le graphique des interactions et l'effet significatif de l'interaction entre les facteurs. La qualité des huîtres collées en strate 3 est supérieure à celle de la strate 2 alors que c'est l'inverse pour les huîtres détachées. Ces différences sont difficiles à interpréter : il est possible qu'il existe des effets locaux au niveau des tables désavantageant les huîtres détachées. La différence de qualité globale entre collées et détachées vient essentiellement du mauvais indice trouvé en strate 3.

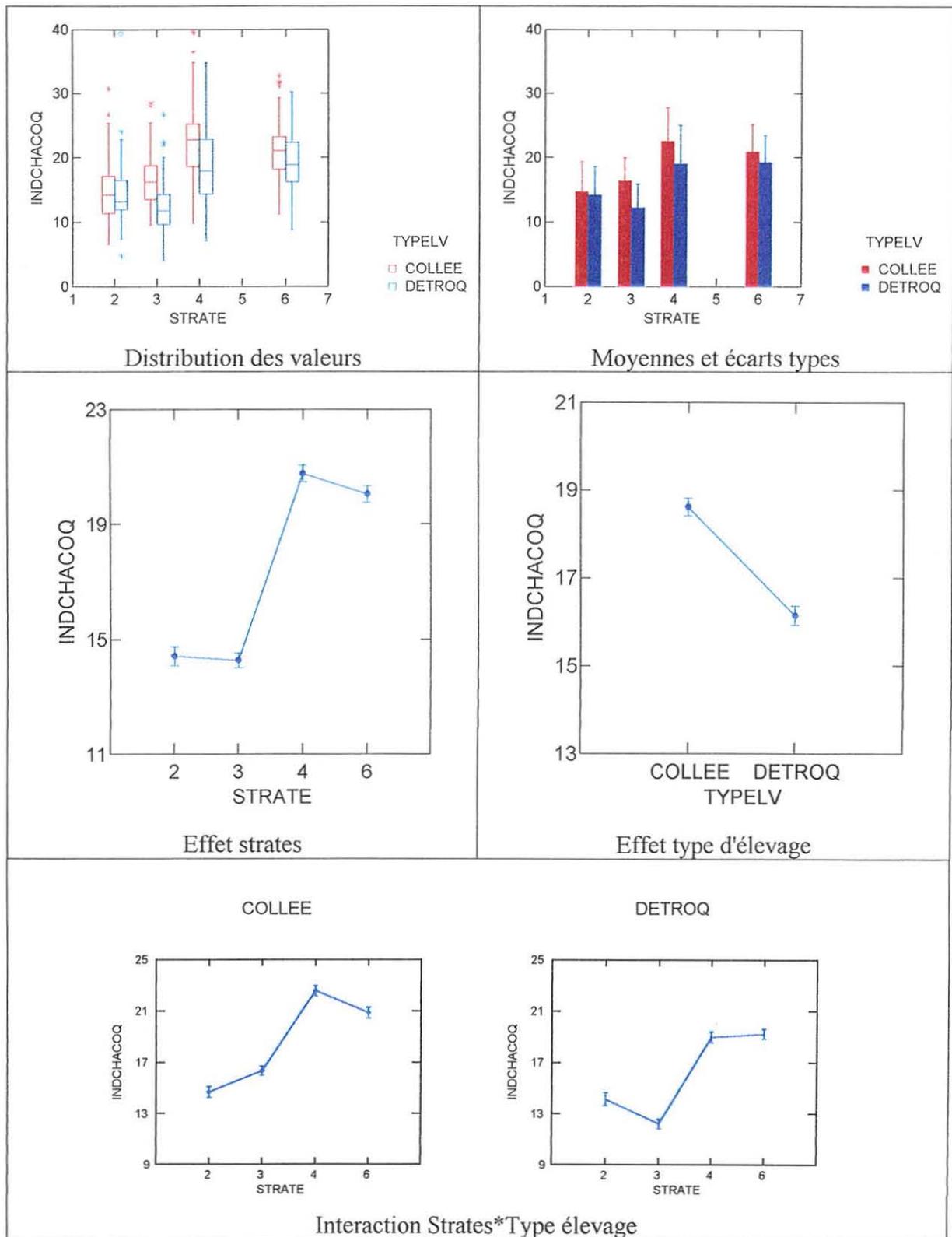


Figure 17 : distribution des données et résultats de l'analyse de variance sur l'indice de condition (poids de chair / poids de coquille) en fonction des strates 2,3,4,6 et du type d'élevage (collées et détachées).

1.5 Résultats concernant la qualité de coquille

Une partie du cheptel était affectée par un chambrage à gélatine. La Figure 18 donne les pourcentages moyens de chambrage à gélatine dans les différentes zones du bassin. Le chambrage à gélatine, négligeable à Mèze et Marseillan, est plus important à Bouzigues, spécialement dans la zone du large. Les cartes jointes en Annexe 2 donnent les valeurs du chambrage en fonction des sites. Le nombre de données est insuffisant pour faire une cartographie très précise mais il apparaît clairement qu'il existe un gradient Sète Marseillan, la zone sud-est de Bouzigues, la plus proche de Sète étant la plus touchée.

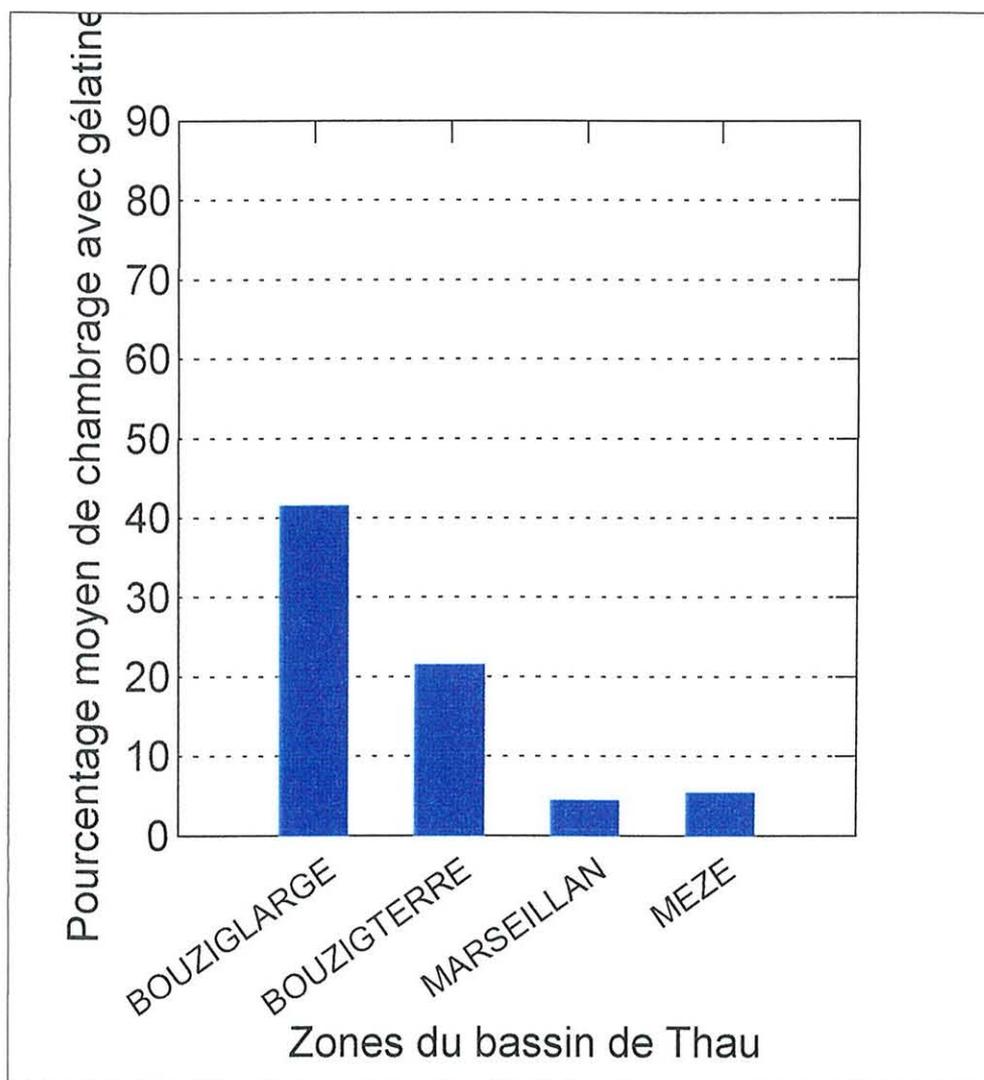


Figure 18 : chambrage à gélatine dans le bassin de Thau en novembre 1999.

La relation éventuelle entre l'intensité du chambrage et la valeur de l'indice de condition PCH/PCOQ est étudiée sur la Figure 19. Les deux variables semblent indépendantes mais un effectif plus important serait nécessaire pour conclure. De la même façon il n'apparaît pas sur la Figure 19 de relation entre la valeur de cet indice et le nombre de

cordes par carré. Là encore, l'effectif de l'échantillon est insuffisant pour mettre en évidence cette relation qui existe comme l'a démontré l'expérience décrite en première partie de ce travail.

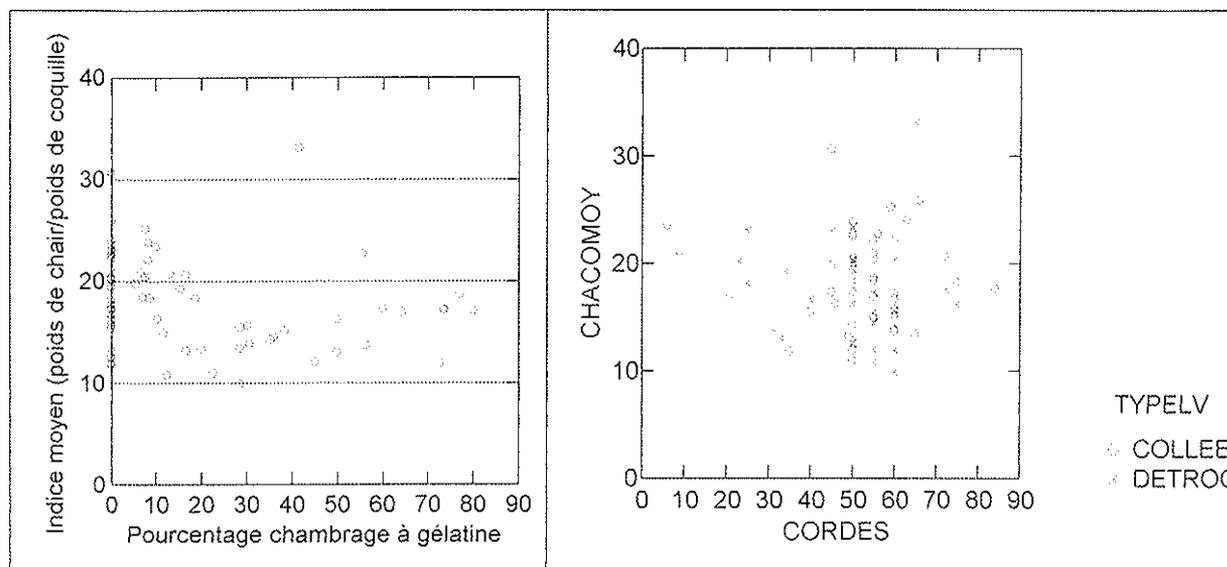


Figure 19 : relation entre le chambrage à gélatine et le nombre de cordes par carré et l'indice de condition des huîtres en novembre 1999 à Thau (71 points de l'étang).

1.6 Conclusions

En novembre 1999, le taux de remplissage et la qualité de la coquille diffèrent suivant la technique d'élevage et les différentes zones du bassin. La qualité des huîtres détroquées apparaît en moyenne inférieure à celles des huîtres collées. La zone de Bouzigues, en principe la plus riche au niveau trophique, présente en moyenne les performances les plus faibles, avec des indices de condition faibles et un chambrage à gélatine parfois important. Les huîtres des zones de Mèze et Marseillan présentent une très bonne qualité, tant du point de vue du remplissage de chair que de la qualité de la coquille.

Il y a donc un problème dans la zone de Bouzigues qui n'a pas profité comme les autres zones des bonnes conditions climatiques de l'année 1999 (température et pluviosité). Cette situation est préoccupante dans la mesure où les deux tiers des coquillages de Thau sont produits dans cette zone.

Quelle peut être l'origine de cette contre performance?

Pour le chambrage, il n'est pas possible d'invoquer une croissance trop rapide (Rodriguez et Lopez, 1985). En effet, en 1999, la croissance a été rapide dans tout le bassin alors que le chambrage est distribué de manière très inégale.

Le chambrage à gélatine chez les huîtres est caractéristique d'une pollution due à des peintures antisalissures au tributyl étain (TBT), Alzieu, 1991. Les dosages les plus récents effectués en 1997 dans le bassin de Thau donnent un gradient de concentration dans les zones conchylicoles : 0,6 ng/l à Marseillan, 1,6 ng/l à Méze et 3,9 ng/l à Bouzigues (Michel et Averty, 1998). Sachant que le chambrage de la coquille intervient avec environ 2ng/l (Alzieu *et al*, 1989) les concentrations de TBT mesurées correspondent tout à fait au gradient de chambrage observé dans le bassin de Thau. Une pollution par les peintures anti-salissures contenant du TBT serait donc la cause de cette mauvaise qualité de la coquille dans le bassin de Thau. En revanche ces concentrations semblent trop faibles pour perturber significativement la croissance et la survie des huîtres (Alzieu *et al*, 1989, Chagot *et al*, 1990). Il reste à vérifier que ces concentrations n'ont pas augmenté fortement ces derniers temps.

Pour expliquer les indices de conditions médiocres en zone de Bouzigues, l'hypothèse d'une surcharge globale de la zone peut être posée mais reste à vérifier.

2. Estimation de la qualité des huîtres sur tables en octobre 2000

2.1 Matériels et méthodes

Un échantillonnage du même type que celui de 1999 a été pratiqué durant l'estimation des stocks réalisée en octobre 2000. Pour éviter les problèmes de stockage en eau avec les pertes d'eau perturbant le calcul des indices, les prélèvements d'huîtres entières ont été congelés en attendant leur analyse. Une fois les huîtres congelées, la mesure du poids total est peu fiable. Aussi, seul l'indice PCH/PCOQ a été calculé.

2.2. Caractéristiques des prélèvements effectués

Tableau 11 : prélèvements qualité effectués en octobre 2000 à Thau.

Strate	Nombre de carrés d'huîtres collées échantillonnés	Nombre d'huîtres collées analysées	Nombre de carrés d'huîtres détachées échantillonnés	Nombre d'huîtres détachées analysées
1	20	254	14	203
2	14	139	18	91
3	3	36	4	50
4	8	102	1	15
5	13	169	1	11
6	10	131	8	105

Le Tableau 11 donne les caractéristiques des prélèvements effectués en 2000. Des problèmes d'échantillonnage n'ont pas permis d'obtenir des effectifs suffisants pour certaines strates limitant, comme en 1999, les possibilités d'analyse.

2.3 Résultats concernant les indices de conditions : comparaison de la qualité des huîtres en fonction des strates d'échantillonnage

Les huîtres collées sont une bonne qualité en octobre 2000 excepté pour la strate 2 et dans une moindre mesure, pour la strate 6 (le résultat obtenu en strate 3 est à prendre avec précaution du fait d'un effectif insuffisant). En revanche, la qualité des huîtres détachées est nettement moins bonne, sauf en strate 1 où elle est peu différente de celle des huîtres collées (Figure 20).

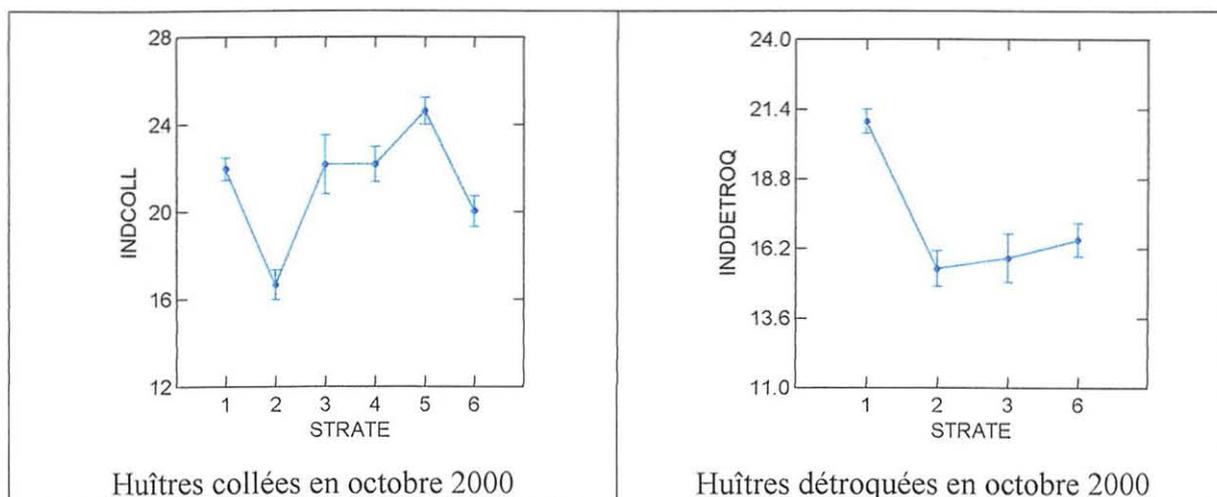


Figure 20 : indices de condition PCH/PCOQ moyens des huîtres collées et détachées en octobre 2000 à Thau.

2.4. Résultats concernant la qualité de coquille

En octobre 2000, à la différence de l'année précédente, les chambres ne contenaient pas systématiquement de la gélatine. Ces chambres étaient vides ou contenaient de l'eau. Elles présentaient cependant la structure feuilletée caractéristique du chambrage au TBT. Dans la mesure où le chambrage, qu'il y ait de la gélatine ou non, reste un inconvénient majeur, les deux résultats ont été regroupés et apparaissent sur la Figure 21.

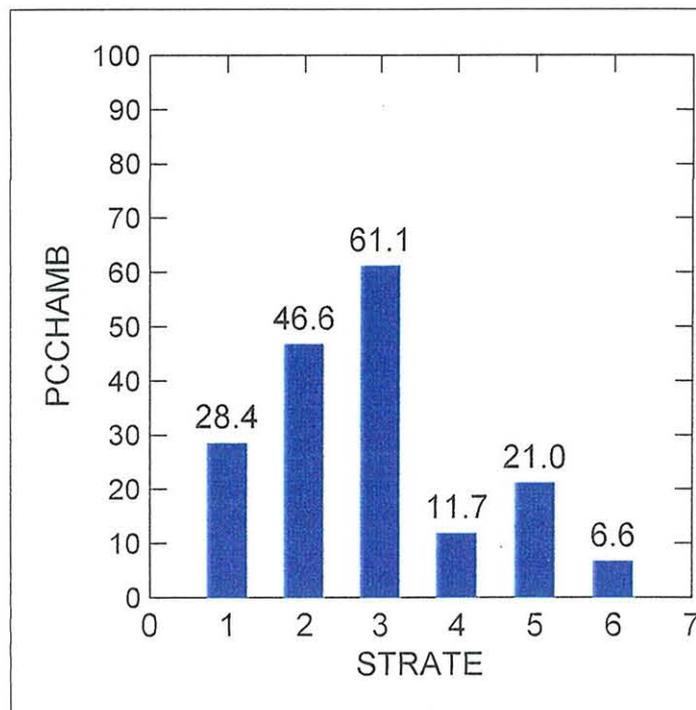


Figure 21 : chambrage des huîtres (en % du total des huîtres échantillonnées) à Thau en octobre 2000.

En octobre 2000, la distribution du chambrage est similaire à celle observée 1999 mais il y a une augmentation de ce chambrage puisque le pourcentage maximum atteint 60 % dans la strate 3. De la même façon, la zone de Mèze est aussi plus atteinte avec 20 % dans la strate 5 et 12 % dans la strate 4. Seule la zone de Marseillan reste relativement peu touchée avec 7 % d'huîtres chambrées.

2.5 Conclusions

Les données concernant le taux de remplissage sont incomplètes. Cependant elles confirment la moindre qualité des huîtres détériorées. Elles semblent indiquer, en 2000, de meilleures conditions en strates 1 et 3 de Bouzigues par rapport à la strate 2 (respectivement terre et large de la zone de Bouzigues *versus* centre de la zone). La zone de Mèze garde de bons indices de condition alors que les performances en zone de Marseillan sont nettement moins bonnes que pour l'année 1999. L'année 2000 est une année de croissance moyenne et les données du réseau REMORA confirment cette tendance (Buestel, 2001 b). La qualité des huîtres est donc largement fluctuante selon les années.

L'intensification du chambrage apparaît clairement en zone de Bouzigues et aussi sur la zone de Mèze peu touchée jusqu'à présent. Elle fait craindre une augmentation de l'utilisation des peintures au TBT.

3 Estimation de la qualité des huîtres commercialisées en décembre 1999

3.1 Introduction

L'étude effectuée dans le cadre de la définition d'une grille nationale de qualité de l'huître creuse en décembre 1996 avait montré que la qualité des huîtres commercialisées dans le bassin de Thau semblait en deçà de ce que l'on pouvait en attendre par rapport aux potentialités du site (Buestel *et al.*, 1998). En effet les données du réseau de suivi REMORA montraient que les performances de croissance et la qualité des huîtres de Thau étaient largement supérieures aux résultats moyens nationaux (Goyard, 1997). Or les indices de condition observés en 1996 sur les huîtres commercialisées atteignaient à peine la valeur de l'indice moyen national. Le réseau REMORA montrait aussi que l'année 1996 était une année médiocre du point de vue de la croissance des huîtres pour l'ensemble des bassins ostréicoles. Aussi il semblait intéressant de compléter les résultats de l'étude 1996 par une autre estimation, effectuée dans des conditions comparables, sur une autre année. C'est pourquoi une telle estimation de la qualité des huîtres commercialisées dans le bassin de Thau a été proposée dans le cadre du programme densité qualité. Ce travail a été réalisé en décembre 1999 en mesurant les descripteurs classiques de la croissance et de la qualité.

3.2 Matériels et méthodes

Stratégie d'échantillonnage

La méthode d'échantillonnage est identique à celle mise en œuvre en 1996 (Buestel *et al.*, 1998) dont nous rappellerons les points principaux.

L'échantillonnage a été réalisé ponctuellement un peu avant les fêtes de fin d'année entre le 6 et le 10 décembre 1999, l'objectif étant d'obtenir un échantillon représentatif de la production d'huîtres commercialisée à cette époque. Le lieu de prélèvement est l'établissement d'expédition de façon à obtenir des huîtres sur la chaîne d'emballage juste avant le transport pour la vente. Les prélèvements sont effectués dans la catégorie d'huître la plus vendue par le producteur au moment de notre échantillonnage. Une étude préalable a montré qu'un lot de 10 huîtres prélevé dans chaque entreprise sélectionnée était suffisant (Baud et Goyard, 1996).

Le principe de l'échantillonnage est un tirage avec remise et probabilité proportionnelle à la taille des entreprises. Une liste de tous les établissements expéditeurs avec en regard leur production a été établie pour le tirage au sort. La base de données définitive des établissements a été constituée en reprenant les fichiers des expéditeurs de la

Direction des Services Vétérinaires de Sète. Elle regroupe 295 établissements d'expédition pour l'ensemble de la zone de Thau. Comme en 1996, la production potentielle de ces entreprises a été calculée en tenant compte du nombre de tables et de la productivité de ces tables (échelle de 3, 5 ou 7 tonnes de production annuelle selon l'emplacement de ces tables).

Quarante entreprises ont été visitées ce qui représente un taux d'échantillonnage de 13,5 %. Une fiche d'enquête a été conçue pour fournir des informations sur les huîtres et les techniques d'élevage.

Paramètres mesurés

Données qualitatives

- *Techniques d'élevage : huîtres collées ou détachées (= en pignes).*

Poids total frais

- *Poids total frais = Coquille + chair + eau inter valvaire*

Il est pesé à 10^{-1} g près.

Mensurations et descripteurs de forme

- Longueur, largeur, épaisseur : *mesurées à 10^{-1} mm au pied à coulisse*

Trois indices ont été définis pour caractériser la forme des huîtres :

- Coefficient d'épaisseur = $100 \times \text{épaisseur} / ((\text{longueur} + \text{largeur})/2)$
- Coefficient de largeur = $100 \times \text{largeur} / ((\text{longueur} + \text{épaisseur})/2)$
- Coefficient de longueur = $100 \times \text{longueur} / ((\text{largeur} + \text{épais})/2)$

Descripteurs de la coquille

- *Poids de coquille fraîche (ou humide)*

Pesée à 10^{-1} g après égouttage 24 h à température ambiante.

- *Part de la coquille par rapport au poids total frais*
= $100 \times \text{poids de coquille} / \text{poids total}$.

La face interne de la coquille de l'huître peut être atteinte par différents parasites, comme le ver *Polydora sp.* qui perce la coquille et peut produire en cas de forte infestation des chambres. D'autres chambres d'origine différente existent également : chambres à vase ou à gélatine. Les chambres sont situées à l'intérieur de la coquille sous forme de poches refermant parfois un liquide d'odeur nauséabonde.

Les échelles de mesure utilisées sont les suivantes (Baud et Goyard, 1996) :

- *Indice du chambrage à Polydora :*

Il est déterminé sur la valve la plus atteinte.

0, aucun ver et aucune chambre.

- 1, galeries à *Polydora* visibles, mais pas de chambre.
- 2, quelques chambres d'extension limitée (<10 %).
- 3, nombreuses galeries (>10 %) et/ou chambres étendues (>10 %).
- 4, galeries et vase très étendues (>25 % de la surface).

- *Indice du chambrage à vase :*

- 0, absence.
- 1, présence.

- *Indice du chambrage à gélatine :*

La présence de gélatine est détectée en exerçant une forte pression du pouce sur la face nacrée de la coquille.

0, absence.

1, présence sur une valve.

2, présence sur les deux valves

- *Indice d'aspect intérieur de la coquille ou qualité interne de coquille*

Cet indice global est donné par : Q.c.i. = note *Polydora*/2 + note gélatine + note vase x2. Pour des valeurs de 0 et 0,5 la qualité est considérée comme bonne, pour 1 et 1,5 elle est moyenne et elle est mauvaise au dessus de 1,5.

Descripteurs de la qualité de la chair

- *Poids de chair fraîche (ou humide)*

Elle est pesée à 10^{-1} g après égouttage et séchage pendant 5 minutes entre 2 feuilles de papier absorbant.

- *Indice AFNOR (part de la chair fraîche par rapport au poids total)*

Il se calcule par la formule : AFNOR = 100 x (poids de chair égouttée / poids total frais).

- *Poids de chair sèche*

C'est le poids de matière sèche de la chair après lyophilisation et pesée à 0.01 g.

- *Teneur en matière sèche de la chair*

C'est le poids de matière sèche par rapport au poids de chair fraîche : 100 x (poids de chair sèche / poids de chair fraîche).

- *Indice de condition Lawrence et Scott (1982)*

Indice LS = 1000 x (poids de chair sèche / (poids total frais – poids de coquille frais)).

- *Indice de condition Walne et Mann (1975)*

Indice WM =: 1000 x (poids de chair sèche / poids de coquille frais).

3.3 Résultats

Chaque lot d'huîtres analysé a fait l'objet d'une fiche « produit » qui a été expédiée après analyse à chacun des producteurs visités. Un exemple de cette fiche est présenté en Annexe 3. Elle regroupe de façon synthétique l'ensemble des données récoltées sur le lot d'huîtres étudié et permet de faire une comparaison avec la moyenne régionale obtenue en décembre 1996 et en décembre 1999. Cette fiche permet donc aux professionnels de « situer » leur lot d'huîtres par rapport aux données moyennes de production.

Proportion des huîtres collées et détachées

Sur les 40 entreprises visitées, 33 commercialisaient des huîtres collées et 7 des huîtres détachées. Ces chiffres marquent une tendance au développement des huîtres collées par rapport à 1996 (50 % lors de l'échantillonnage).

Analyse des descripteurs de croissance

Le détail des résultats est donné pour l'ensemble des huîtres de Thau regroupant huîtres collées et détachées. Le petit nombre d'échantillons obtenu pour les huîtres détachées rend difficile une comparaison entre les deux techniques. Aussi, les résultats globaux seront-ils étudiés et comparés à ceux de 1996 (Buestel *et al*, 1998). En revanche les résultats obtenus en fonction des différentes zones échantillonnées (Bouzigues / Loupian, Mèze et Marseillan) seront comparés pour certains paramètres.

Poids total

Les catégories de poids utilisées habituellement jusqu'à présent pour les huîtres creuses sont données dans le Tableau 12.

Tableau 12 : ancienne classification des catégories de poids des huîtres creuses.

Catégories	Intervalle de poids (g)
P6	30-40
P5	40-50
M4	50-65
M3	65-80
G2	80-110
TG1	=ou>110

Un calcul de fréquences des poids a permis de répartir les huîtres échantillonnées dans les différentes classes présentées dans le Tableau 12. Les pointillés verticaux sur la Figure 22 délimitent les différentes classes d'huîtres : P6 et P5 pour les petites, M4 et M3 pour les moyennes, G2 pour les grosses et TG1 pour les très grosses.

A partir de l'année 2000, les professionnels ont décidé de supprimer les sous-catégories et de ne conserver que quatre classifications en réajustant les grammages (Tableau 13). Les deux extrémités de la gamme, les TG1 et les P6 disparaissent de la nomenclature. Les TG pourront cependant être commercialisées mais à part, comme les huîtres "longues" peu estimées.

Tableau 13 : nouvelles catégories de poids des huîtres creuses utilisées à partir de janvier 2000.

Catégories	Intervalle de poids (g)
P5	30-50
M4	50-65
M3	65-80
G2	80-110
TG	=ou>110

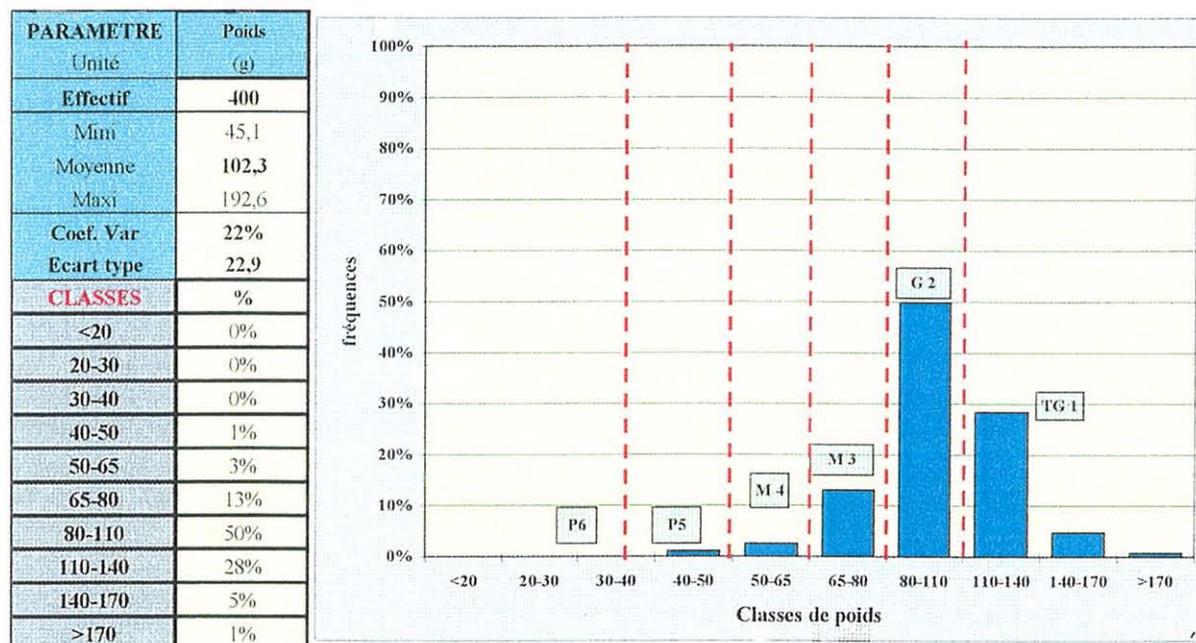


Figure 22 : distribution de fréquence du poids total pour l'ensemble de l'étang de Thau.

Le poids total moyen des huîtres échantillonnées est de 102 g avec un écart type de 22,9 g et un poids total maximal de 192 g. Il est représentatif de la classe "G2" qui totalise 50 % des huîtres. Pour le reste, 34 % des huîtres sont classés en "TG", et seulement 17 % en "M" et "P". Par rapport à 1996, la courbe est décalée vers les plus gros individus (moins de M4 et M3 et plus de TG1), d'où une différence de 7 g sur les poids moyen (95 g en 1996).

Les poids moyens élevés mesurés témoignent des conditions de croissance particulièrement favorables durant l'année 1999 comme le confirment les données du réseau REMORA (Buestel, 2001 a).

Un poids total élevé constitue une des caractéristiques des huîtres de Méditerranée. En effet, 84 % des huîtres commercialisées sur l'étang de Thau sont supérieures à 80 g et donc classées en grosses et très grosses. Par ailleurs, les lots analysés indiquent que le calibrage des huîtres n'est pas très élaboré. Seuls 35 % des producteurs interrogés ont classé leurs huîtres

dans la bonne catégorie, les autres producteurs donnant l'impression de faire un calibrage un peu plus approximatif.

Descripteurs de forme

Les caractéristiques en longueur, largeur et épaisseur sont présentées Tableau 14. La Figure 23 fournit la distribution des coefficients de forme.

Tableau 14 : caractéristiques statistiques des mesures de longueur, largeur et épaisseur des huîtres du bassin de Thau en décembre 1999.

Bassin de Thau Décembre 1999						
PARAMETRE	Longueur		Largeur		Epaisseur	
Unité	mm		mm		mm	
Effectif échantillon	400		400		400	
Mini	60,0		40,0		24,0	
MOYENNE	102,5		57,8		38,7	
Maxi	157,0		80,9		60,0	
Coef. var.	12%		11%		14%	
Ecart-type	11,9		6,3		5,5	
CLASSES	<30	0%	<20	0%	<10	0%
	30-40	0%	20-30	0%	10-20	0%
	40-50	0%	30-40	1%	20-30	6%
	50-60	0%	40-50	12%	30-40	60%
	60-70	0%	50-60	57%	40-50	32%
	70-80	2%	60-70	28%	50-60	3%
	80-90	14%	70-80	3%	60-70	0%
	90-100	30%	80-90	0%	70-80	0%
	100-110	32%	90-100	0%	80-90	0%
	>110	23%	>100	0%	>90	0%

Les résultats de 1999 sont pratiquement identiques à ceux de 1996 : seule l'épaisseur est plus forte en 1999 (39 mm contre 36 mm). Les résultats sont plus homogènes que pour les poids avec des coefficients de variation plus faibles.

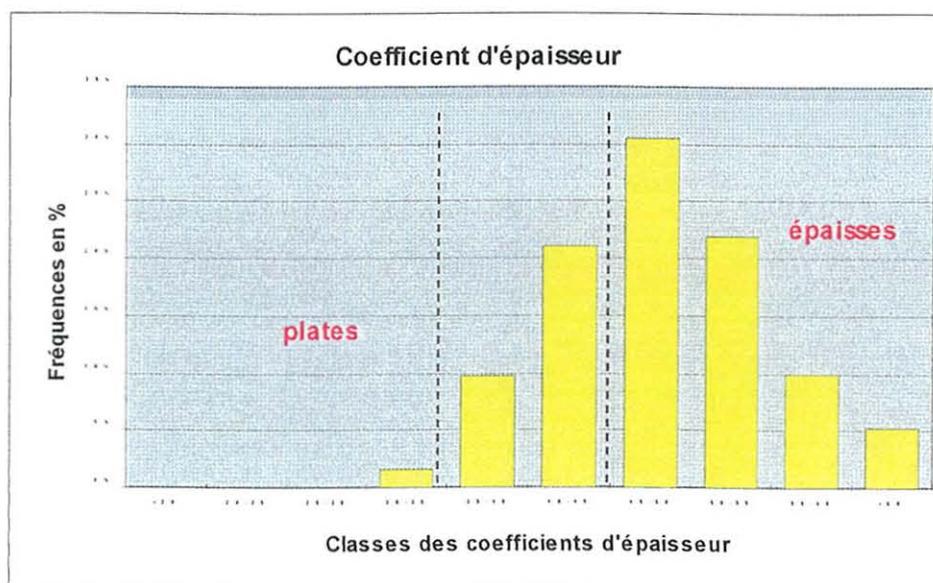
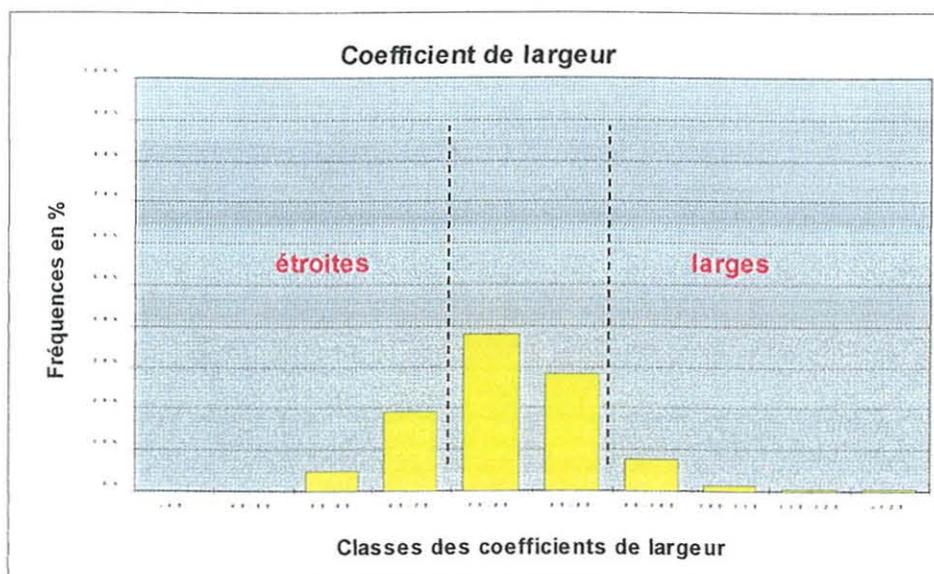
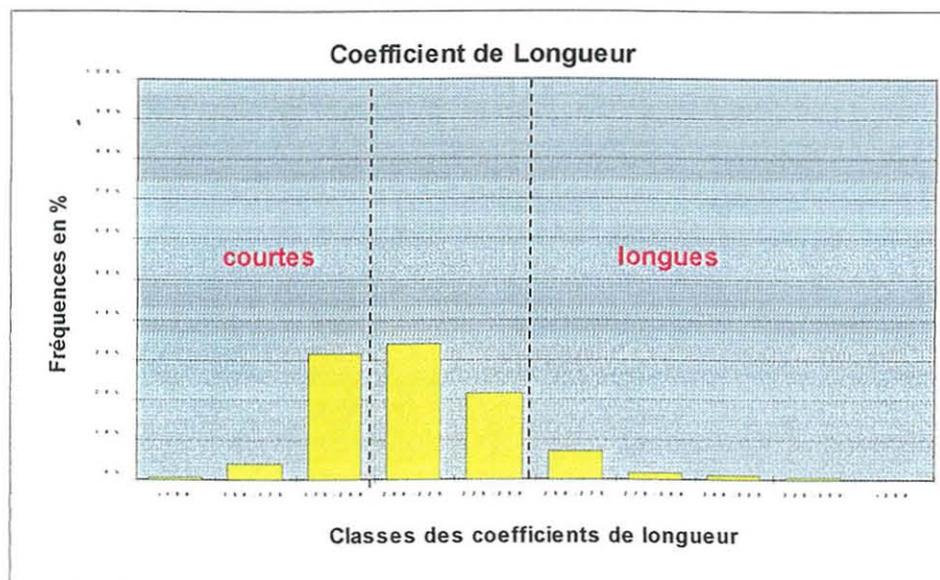


Figure 23 : coefficients de formes des huîtres du bassin de Thau en décembre 1999.

La Figure 23 montre que si les longueurs et largeurs sont relativement équilibrées, ce n'est pas le cas pour l'épaisseur avec un décalage vers les huîtres épaisses qui s'est accentué encore depuis 1996. Cette épaisseur notable est une des caractéristiques des huîtres de Thau. Il est probable que les fortes concentrations de TBT mesurées à Thau ont une influence sur ce critère (Goyard, 1997).

Qualité de la coquille

Les données recueillies pour les deux techniques d'élevage sur la qualité intérieure de la coquille figurent dans le Tableau 15.

Tableau 15 : distribution des indices d'aspect intérieur de la coquille pour l'ensemble des huîtres du bassin de Thau en décembre 1999.

PARAMETRE Unité	Polydora		Gélatine		Vase		Qualité intérieure de coquille (Qci)	
	-	-	-	-	-	-	-	-
Effectif échantillon	400		400		400		400	
Classes et Fréquences en %	0	33%	0	76%	0	92%	0	21%
	1	64%	1	22%	1	8%	0,5	46%
	2	4%	2	2%	-	-	1	10%
	3	0%	-	-	-	-	1,5	13%
	4	0%	-	-	-	-	2	5%
	-	-	-	-	-	-	2,5	5%
	-	-	-	-	-	-	3	1%
	-	-	-	-	-	-	3,5	1%
	-	-	-	-	-	-	4	0%
	-	-	-	-	-	-	4,5	0%

- *Indice Polydora*

Une majorité d'huîtres (67 %) présente une atteinte légère par le *Polydora* avec des galeries visibles sur la coquille (indice *Polydora* 1). Ces valeurs sont légèrement plus faibles qu'en 1996 où l'on comptabilisait 72 % d'huîtres infestées par le *Polydora* pour l'ensemble de la Méditerranée. Cette légère infestation n'est pas gênante pour la commercialisation. Dans la classe moyenne (indice *Polydora* 2), l'infestation reste faible : elle est de 4 % chez les huîtres collées et seulement 1 % chez les huîtres détachées. Ceci dénote dans l'ensemble une bonne qualité intérieure de la coquille pour ce critère.

- *Indice de chambrage à Gélatine.*

Le chambrage à gélatine touche 24 % des huîtres du bassin. Ce pourcentage est plus faible que le pourcentage moyen de 35 % calculé en 1996. Cependant, une comparaison entre zones échantillonnées montre qu'il y a une forte hétérogénéité au niveau du chambrage avec

respectivement 40 %, 12 % et 3 % de chambrage à gélatine pour les zones de Bouzigues, Mèze et Marseillan. Ceci rejoint les résultats présentés plus haut.

- *Qualité interne de la coquille*

Le Tableau 15 donne l'indice de qualité interne de coquille : comme en 1996 un tiers des huîtres présentent une qualité médiocre (23 %) ou mauvaise (10 %).

Qualité et quantité de chair

- *Poids et part relative des composants de l'huître*

Tableau 16 : poids des composants frais de l'huître.

PARAMETRE Unité	Poids coquille (g)		Eau intervalvaire (g)		Poids frais de chair (g)	
Effectif échantillon	400		399		400	
Mini	27,9		2,3		4,0	
MOYENNE	63,9		25,8		12,6	
Maxi	127,3		51,0		26,1	
Coef. var.	25,2%		32,1%		33,7%	
Ecart-type	16,1		8,3		4,3	
CLASSES	<20	0%	<5	0%	<2	0%
	20-30	1%	5-10	3%	2-4	0%
	30-40	4%	10-15	5%	4-6	2%
	40-50	15%	15-20	15%	6-8	8%
	50-60	25%	20-25	26%	8-10	21%
	60-70	26%	25-30	23%	10-12	22%
	70-80	16%	30-35	15%	12-14	15%
	80-90	8%	35-40	9%	14-16	11%
	90-100	4%	40-45	3%	16-18	9%
	>100	3%	>45	2%	>18	13%

Tableau 17 : part relative de la coquille et de l'eau intervalvaire.

PARAMETRE Unité	% Pcoq (% poids total)		% eau intervalvaire (% poids total)	
Effectif échantillon	400		399	
Mini	46,7		3,0	
MOYENNE	62,4		25,2	
Maxi	89,0		42,5	
Coef. var.	9,3%		23,5%	
Ecart-type	5,8		5,9	
CLASSES	<40	0%	<5	0%
	40-45	0%	5-10	1%
	45-50	1%	10-15	4%
	50-55	7%	15-20	11%
	55-60	29%	20-25	27%
	60-65	34%	25-30	38%
	65-70	21%	30-35	14%
	70-75	6%	35-40	4%
	75-80	1%	40-45	0%
	>80	1%	>45	0%

Là encore, les résultats présentés dans les tableaux 16 et 17 sont comparables à ceux de 1996 sauf en ce qui concerne le poids moyen de chair supérieur en 1999 (13 g contre 9,1 g). Le pourcentage de coquille restant équivalent (62,2 % contre 62,4 %), le pourcentage d'eau inter valvaire diminue logiquement en 1999 (25 % contre 28).

- *Poids et pourcentage de chair sèche*

On retrouve (tableau 18) une grande variabilité au niveau du poids de chair sèche qui varie de 0,6 g à 5,7 g avec un coefficient de variation de 41 %. Cela traduit une forte hétérogénéité de la production en terme de remplissage.

Tableau 18 : distribution de fréquence du poids et du pourcentage de chair sèche.

PARAMETRE	Poids de chair sèche		% de chair sèche	
Unité	(g)		(/ poids de chair fraîche)	
Effectif échantillon	400		400	
mini	0,6		11	
MOYENNE	2,4		18	
maxi	5,5		24	
Coef. var.	41%		13%	
Ecart-type	0,97		2,45	
CLASSES	<0,25	0%	<10	0%
	0,25-0,5	0%	10-12	1%
	0,5-0,75	1%	12-14	5%
	0,75-1	3%	14-16	12%
	1-1,5	17%	16-18	26%
	1,5-2	23%	18-20	29%
	2-2,5	21%	20-22	23%
	2,5-3	12%	22-24	4%
	3-4	17%	24-26	0%
	>4	7%	>26	0%

Indices de condition

Le Tableau 19 et la Figure 24 donnent les caractéristiques des indices utilisés au plan commercial (AFNOR) et au plan scientifique (Walne et Mann et Laurence et Scott). Suivant l'indice AFNOR 3% des huîtres ne sont pas classées, 14 % sont classées en fines et 83 % sont classées en spéciales. Pour les indices scientifiques, 62 % des huîtres sont classées de bonne qualité pour Walne et Mann (>30) et 64 % pour Laurence et Scott (>50). La qualité moyenne des huîtres de Thau est donc bonne en 1999, bien meilleure qu'en 1996 où l'indice AFNOR moyen n'était que de 9,7 contre 12,5 en 1999.

Tableau 19 : distribution de fréquence des indices de condition.

PARAMETRE	Afnor	Ind W&M	Ind L&S			
Unité	(% poids total)	-	-			
Effectif échantillon	400	400	400			
Mini	4,4	7,7	19,1			
MOYENNE	12,5	37,9	63,1			
Maxi	22,3	92,1	204,4			
Coef. var.	28,6%	39,9%	40,2%			
Ecart-type	3,6	15,1	25,3			
CLASSES	<3	0%	<10	1%	<20	0%
	3-5	1%	10-20	9%	20-30	6%
	5-6,5	2%	20-30	28%	30-40	10%
	6,5-7,75	4%	30-40	22%	40-50	20%
	7,75-9	10%	40-50	20%	50-60	15%
	9-11	23%	50-60	13%	60-70	14%
	11-13	19%	60-70	6%	70-80	12%
	13-15	18%	70-80	2%	80-90	10%
	15-18	16%	80-90	0%	90-100	5%
	>18	8%	>90	0%	>100	8%

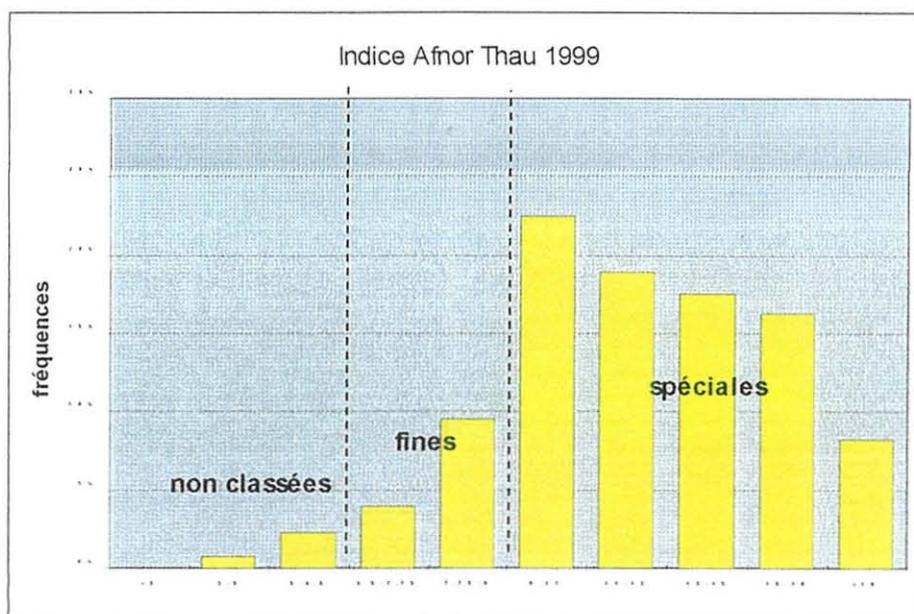


Figure 24 : distribution de fréquence de l'indice AFNOR à Thau en novembre 1999.

Comparaison entre zones échantillonnées

La distribution du chambrage ayant montré une différence entre les zones échantillonnées, il était intéressant de faire une comparaison entre les différents sites de production (zones des mas ostréicoles) pour l'indice de qualité Afnor (voir carte Figure 1).

Tableau 20 : indice AFNOR dans les différentes zones échantillonnées.

Indice Afnor (% poids total)			
Zones d'échantillonnage	Bouzig/Loup	Mèze	Marseillan
Effectif échantillon	190	140	70
Mini	4,4	5,0	8,0
MOYENNE	10,9	14,1	13,5
Maxi	20,4	22,3	21,3
Coef. Var.	28%	26%	22%
Ecart-type	3,1	3,6	2,9
CLASSES	Bouzig/Loup	Mèze	Marseillan
<3	0%	0%	0%
3-5	1%	1%	0%
5-6,5	3%	2%	0%
6,5-7,75	7%	2%	0%
7,75-9	15%	5%	3%
9-11	34%	9%	19%
11-13	18%	16%	27%
13-15	11%	23%	26%
15-18	7%	28%	17%
>18	4%	14%	9%

Le Tableau 20 montre que le taux de remplissage est plus faible sur la zone de Bouzigues réputée la plus riche au niveau trophique. La zone de Mèze a un indice AFNOR particulièrement fort avec 42 % des huîtres se situant dans la classe Afnor de 15-18, alors que ces proportions sont de 26 % pour Marseillan et seulement 11 % pour Bouzigues.

3.4 Conclusions

La tendance à produire plus d'huîtres collées, déjà notée en 1996, paraît se confirmer en 1999. Cependant, il est possible que le pourcentage d'huîtres collées de l'échantillon (77 %) soit surestimé. Une idée plus précise de ce pourcentage peut être obtenue grâce à l'estimation des stocks en élevage de novembre 1999 qui a montré une prépondérance de la biomasse d'huîtres collées avec environ 60 % du cheptel (9000 tonnes contre 6000). Cette tendance va dans le sens d'une amélioration de la qualité globale de la production d'huîtres du bassin de Thau. Elle rejoint les préconisations du projet d' AOC qui ne prendrait en compte que les huîtres collées.

Les caractéristiques moyennes des différents descripteurs des huîtres mesurés en 1999 sont extrêmement proches de celles mesurées en 1996 à l'exception du taux de remplissage des huîtres, nettement supérieur en 1999.

Cette différence dans la qualité des huîtres ressort principalement de cette étude. De ce point de vue, l'année 1999 s'est révélée exceptionnelle comme le confirment les résultats du réseau REMORA (Fleury *et al*, 2000, Buestel, 2001 a). Le remplissage des huîtres de REMORA a été remarquable, surtout sur les zones de Mèze et Marseillan avec des indices de

14 à 17, les meilleurs enregistrés jusqu'à présent à Thau. Ces performances s'expliquent par des conditions climatiques favorables, en particulier en automne qui a été chaud et pluvieux, favorisant ainsi la croissance et la qualité des huîtres. Ceci confirme que la variabilité de la qualité des huîtres à Thau dépend beaucoup des conditions météorologiques à court terme.

Si la qualité moyenne des huîtres de Thau est bonne en 1999, il existe cependant une forte disparité entre zones : le remplissage des huîtres est inférieur dans entreprises exploitant la zone de Bouzigues alors que le chambrage à gélatine y est plus important. Le réseau de suivi REMORA confirme cette tendance, surtout dans la zone située au large de Bouzigues où 47 % des huîtres étaient atteintes sur les deux valves en décembre 1999. Ces résultats corroborent les données du travail précédent et renforcent la suspicion de pollution par les peintures antisalissures au tributyl étain.

En dehors de ces différents points, cette étude confirme les caractéristiques des huîtres du bassin de Thau déjà décrites en 1996. La majorité des huîtres commercialisées est à classer dans la catégorie des grosses huîtres puisque 83 % des huîtres de Thau sont au-delà des 80 g de poids moyen. En dehors du problème de chambrage à gélatine qui affecte essentiellement la zone de Bouzigues, la qualité de la coquille est bonne, le Polydora n'affectant que très légèrement les huîtres. En moyenne (il existe des différences suivant la technique d'élevage), les huîtres sont équilibrées en longueur et largeur. En revanche, elles sont particulièrement épaisses et il est possible que le TBT puisse expliquer cette anomalie.

Troisième partie : Ajustements des densités à pratiquer à l'échelle de l'ensemble de l'étang

Notre expérience concernant l'influence de la densité d'élevage sur la croissance et la qualité des huîtres a été réalisée à une micro-échelle (au niveau d'un carré d'élevage et d'une table), pour une zone bien précise du bassin, la zone centrale de Mèze. Pour l'ensemble de l'étang, ces conclusions de base doivent être pondérées par plusieurs éléments : le risque de crise anoxique ou malaïgue, la disparité spatiale de la croissance, la technique d'élevage et les charges des différentes zones d'élevage (en quantité et en qualité). Nous examinerons ces différents points pour affiner nos recommandations.

1. Risque de crise anoxique

Un premier point concerne le risque des "malaïgues" ou crises anoxiques qui surviennent épisodiquement dans le bassin de Thau. Le travail effectué après la malaïgue de 1997 (Souchu *et al*, 1998) montre que les risques de déclenchement de crises anoxiques proviennent essentiellement de foyers situés sur les bords de l'étang. La transmission de l'anoxie aux tables conchylicoles est, entre autres causes, d'autant plus facilitée que le confinement au niveau des tables est important (Chapelle *et al*, 2001). Différentes mesures de gestion ont été proposées par l'IFREMER pour tenter de prévenir le risque de crise anoxique (groupe de travail "Malaïgue"). Parmi ces mesures, le principe d'une diminution des densités d'élevage a été proposé (Chapelle *et al*, 2001). Compte tenu de ces éléments, il semble judicieux de diminuer la charge en bordure du bassin d'élevage : pour les huîtres collées, le nombre de cordes pourrait être limitée à 1000 par table pour les zones situées "en terre".

D'autre part, l'aspect longueur des cordes doit être aussi abordé. En effet, quelle que soit la zone d'élevage, des cordes qui sont tout près du fond forment un écran et limitent la circulation de l'eau et donc l'oxygénation des fonds. Les mortalités estivales en bas de cordes sont d'ailleurs assez fréquentes, en particulier dans les zones profondes. Aussi, pour améliorer la circulation générale au niveau des tables, il nous semble primordial de laisser un espace suffisant entre le bas des cordes et le fond avec le principe que plus on va vers le large plus l'espace doit être important (l'anoxie est plus à craindre dans les zones profondes). Le Tableau 21 suivant constitue une proposition établie de manière empirique.

Tableau 21 : proposition de limitation de la longueur des cordes d'élevage en fonction de la bathymétrie

Profondeur au niveau de la table	Longueur maximum des cordes
3 m	2 m
4 m	3 m
5 m	3,5 m
6 m	4 m
7 m et plus	5 m

2. Variabilité spatiale de la croissance

Avant de tirer des conclusions définitives quant aux densités d'élevage à pratiquer sur l'ensemble du bassin de Thau, il est primordial d'examiner ce qui se passe à différentes échelles spatiales du bassin. De nombreux travaux ont en effet démontré l'existence d'effets de la densité sur la croissance et la survie de différents mollusques exploités à plusieurs échelles spatiales, allant de la simple unité de culture (micro-échelle Fuentes *et al.*, 1992 ; Navarro *et al.*, 1996 ; Heasman *et al.*, 1998), à la strate d'élevage (méso-échelle : Kamermans, 1993), et jusqu'à l'ensemble du bassin conchylicole (macro-échelle : Ventilla, 1982 ; Aoyama, 1989 ; Héral *et al.*, 1986 ; Héral, 1993 ; Kopp *et al.*, 1998).

Des disparités au niveau des performances de croissance, et donc, en amont, au niveau de la répartition des richesses trophiques, sont régulièrement rapportées entre les trois zones d'élevage de Thau et à l'intérieur d'une même zone, entre les tables du large (Figure 13) et celles situées plus au centre ou à terre (Tournier *et al.*, 1982, Pichot *et al.*, 1997, données du réseau REMORA). Le critère "large" des zones conchylicoles apparaît le plus constant et il doit donc aussi être pris en compte pour ajuster les densités qui peuvent être supérieures sur les tables situées au large. Pour les huîtres collées, un nombre de 1200 cordes par table serait ainsi choisi pour le large.

3. Charge en élevage

Il semble que le gradient de croissance habituellement observé en faveur de la zone de Bouzigues par rapport aux secteurs de Mèze puis de Marseillan soit moins marqué depuis deux ans, en particulier en ce qui concerne le centre de la zone de Bouzigues (REMORA, LCM, données non publiées). Une première estimation d'un indice de biomasse calculé en

Kg/m^3 dans les différentes zones d'élevage a été faite à partir des données de l'évaluation des stocks réalisé en octobre 2000 selon la méthode décrite dans Gangnery (1998, 1999).

Il apparaît sur la Figure 25 que les indices de charge sont plus forts dans les zones de Bouzigues et à Mèze au large que dans les zones de Mèze (terre et demi large) et Marseillan. Il semble donc bien exister une charge en élevage supérieure en zone de Bouzigues par rapport aux autres zones de l'étang. Un des facteurs contribuant à cette surcharge est la différence de largeur des grands couloirs en zone de Bouzigues : 100 m contre 150 m dans les autres zones. Cette "surcharge" peut expliquer en partie les problèmes de qualité rencontrés dans cette zone depuis quelques années. Un allègement de la charge d'élevage est donc spécialement recommandé pour cette zone.

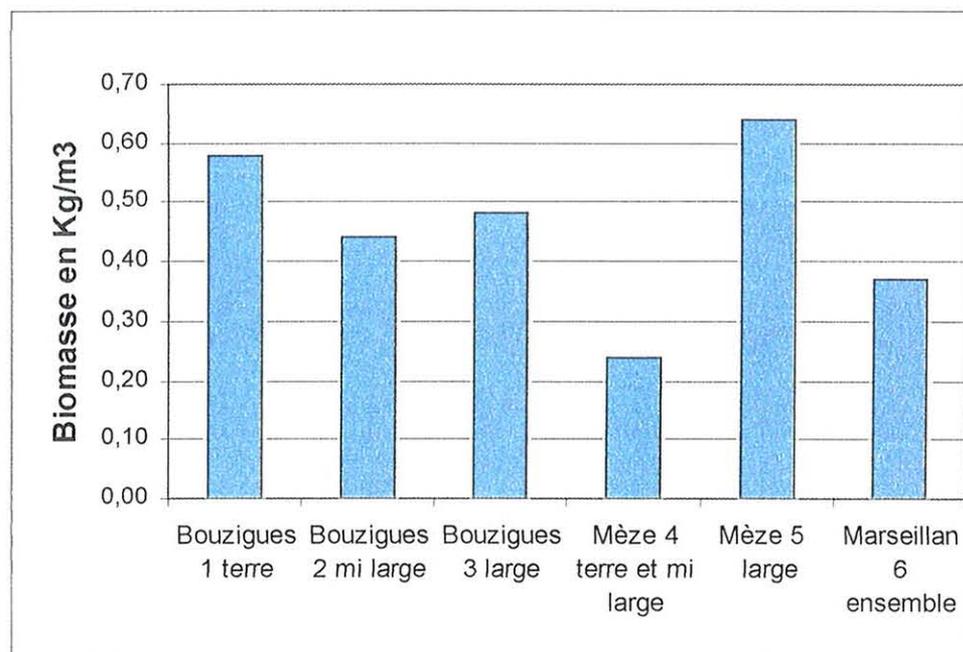


Figure 25 : indice de charge des différentes zones de Thau. La biomasse totale de mollusques en kg (huîtres et moules) est estimée dans chaque strate et divisée par le volume d'élevage en m³. Le volume d'élevage est estimé en multipliant la surface de chaque strate par la longueur moyenne des cordes des carrés échantillonnés dans cette strate (voir carte des strates Figure 13).

4. Technique d'élevage

Les techniques d'élevage doivent également être prises en compte : pour un même nombre de cordes, la charge d'une table en moules ou en huîtres élevées en "pignes" est nettement supérieure à celle d'une table d'huîtres collées. Ces données sont confirmées par l'estimation des stocks en élevage d'octobre 2000 : la Figure 26 montre que le nombre d'huîtres en élevage dans une table varie beaucoup en fonction de la technique d'élevage (de 150 000 à 300 000 huîtres par table pour les huîtres détachées et de 80 000 à 150 000 huîtres

par table pour les huîtres collées). Sachant qu'une huître de taille moyenne filtre très grossièrement 10 l/h, le volume filtré sera deux à trois fois plus important pour les huîtres détachées. De ce fait la croissance sera plus lente : 18 à 24 mois pour atteindre la taille commerciale contre 12 mois pour les collées. La même situation s'observe avec les moules qui exercent une activité de filtration encore plus forte du fait d'un nombre d'individus beaucoup plus grand (environ un million de moules par table filtrant chacune environ 4 l/h). La pression qui s'exerce sur le milieu est donc beaucoup plus forte lorsqu'on élève des huîtres détachées ou des moules.

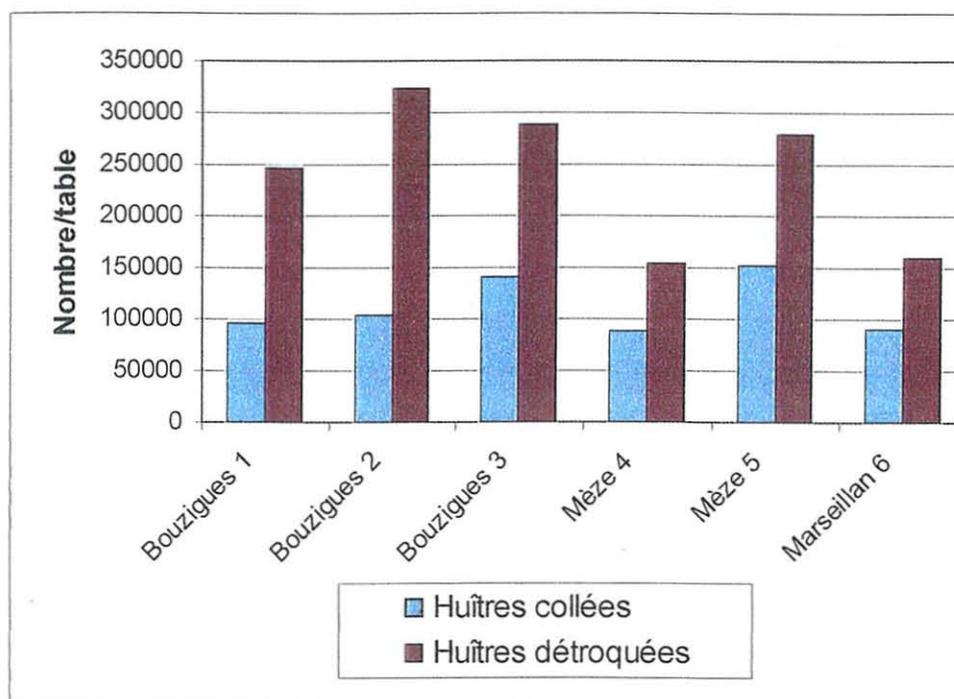


Figure 26 : nombre d'huîtres en élevage par table entièrement chargée, dans les différentes strates échantillonnées en octobre 2000 et en fonction des catégories collées et détachées.

Les données d'évaluation des stocks en 2000 permettent également de calculer le pourcentage des différentes catégories d'élevage dans les différentes zones. Pour chaque strate d'échantillonnage a été calculée la proportion de carrés contenant des huîtres collées, détachées et des moules par rapport au total des carrés échantillonnés. La Figure 27 montre que les pourcentages d'huîtres élevées en collées sont plus élevés en zone de Mèze qui présente les meilleures performances en terme de qualité. Les huîtres détachées sont plus abondantes à Marseillan et à Bouzigues. Les moules sont aussi plus abondantes dans la zone de Bouzigues.

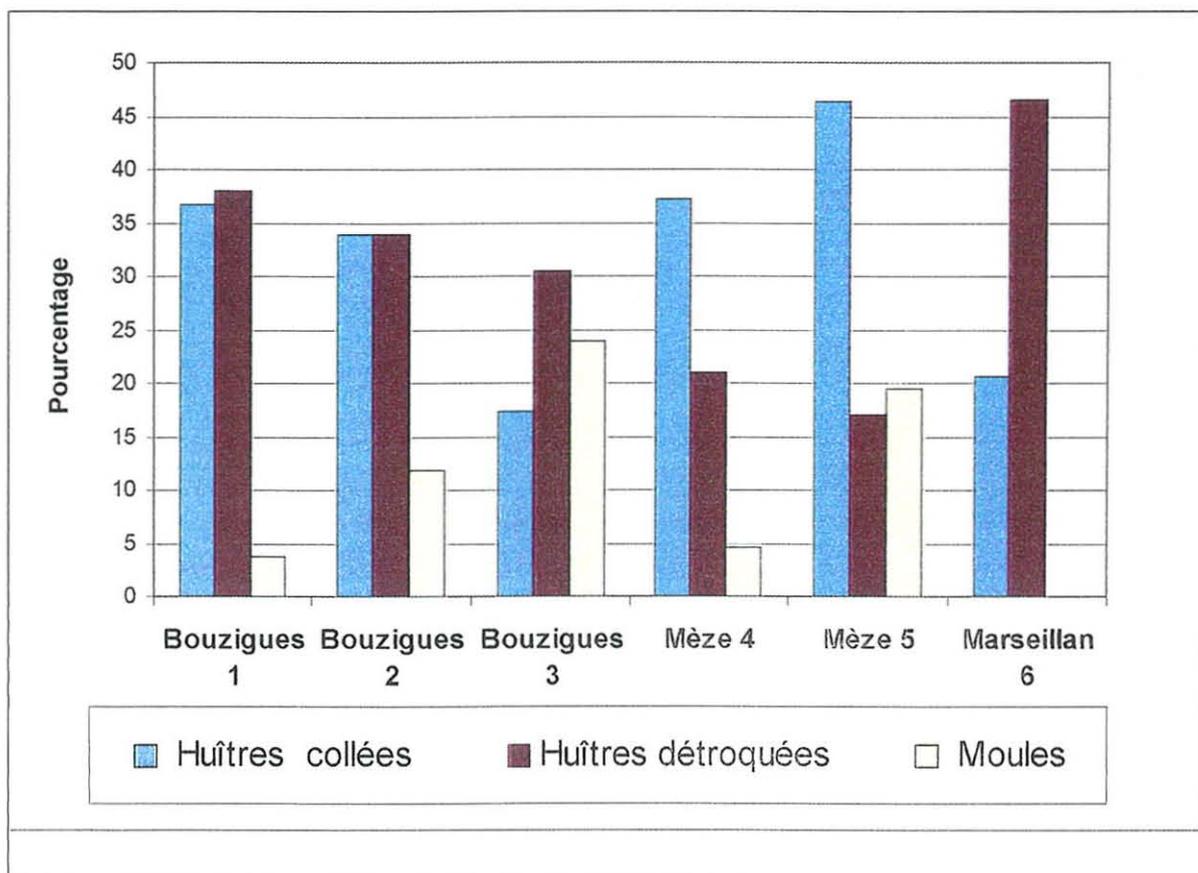


Figure 27 : proportion des différentes catégories d'élevage (nombre de carrés contenant les différentes catégories d'élevage par rapport au nombre total de carrés échantillonnés dans chaque strate d'échantillonnage) dans les différentes zones échantillonnées en octobre 2000.

La Figure 28 montre l'évolution de la répartition des différentes catégories d'élevage en biomasse entre 1999 et 2000. Si la proportion d'huîtres collées était en augmentation en 1999, la tendance s'est inversée en 2000 avec une plus grande abondance d'huîtres détachées. De plus la tendance est également à l'augmentation de la biomasse de moules. Cette évolution récente tend vers une surcharge du bassin.

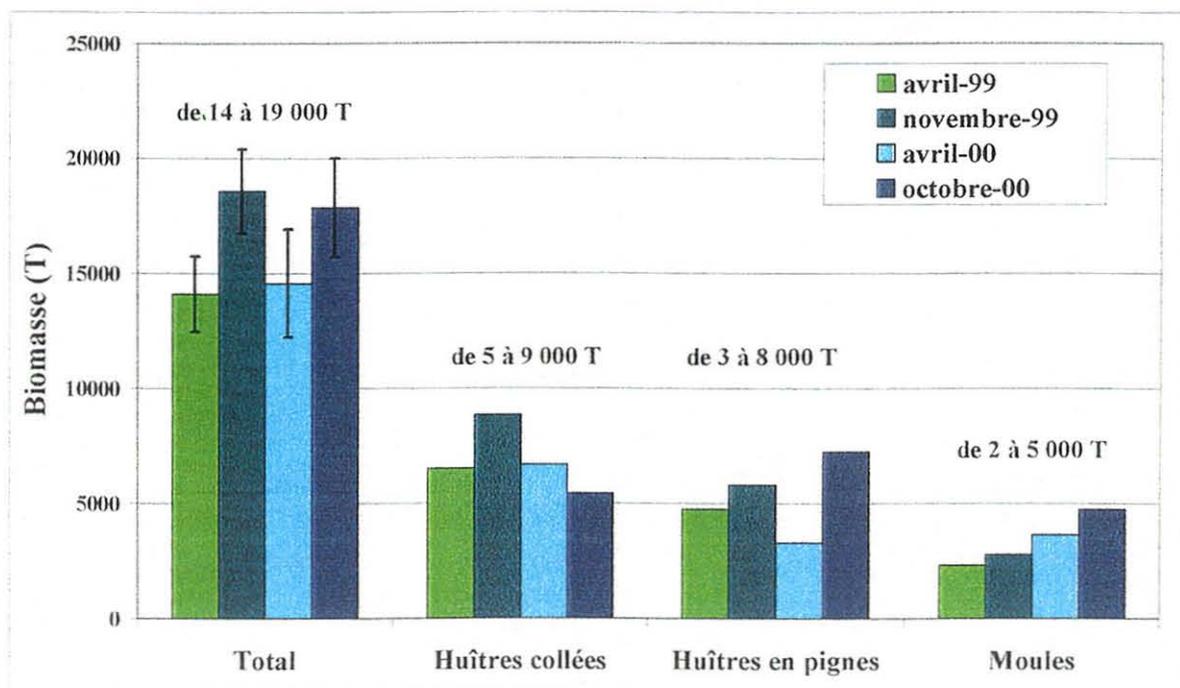


Figure 28 : biomasse en élevage dans le bassin de Thau en 1999 et 2000.

En terme de densité d'élevage, il convient donc de limiter la pression sur le milieu des huîtres détachées et des moules. Il est donc proposé de limiter le nombre de cordes à 900 par table pour les catégories huîtres détachées et moules et ce pour l'ensemble de l'étang. Ce nombre de 900 cordes est choisi en observant que cette densité raisonnable et rentable est pratiquée sur le bassin par une minorité de professionnels. Une telle densité appliquée à l'ensemble du bassin (alliée au respect des limitations des longueurs de corde), devrait permettre de diminuer significativement la surcharge, en particulier au niveau de la zone de Bouzigues.

Pour les moules, la densité d'ensemencement de 3 kg par mètre linéaire de corde proposée lors des réflexions concernant le cahier des charges de l'AOC pourrait être généralisée (Anonyme, 1998). Pour les huîtres détachées, le problème est complexe car la charge varie en fonction du nombre de naissain fixé sur les coquilles et de son évolution et aussi de l'espacement entre les coquilles collectrices. Il serait possible d'ajuster cette charge en augmentant l'espacement entre les coquilles (actuellement d'environ 20 cm) mais nous n'avons pas de données précises permettant de statuer sur cet aspect. Les pratiques actuelles pourraient être conservées.

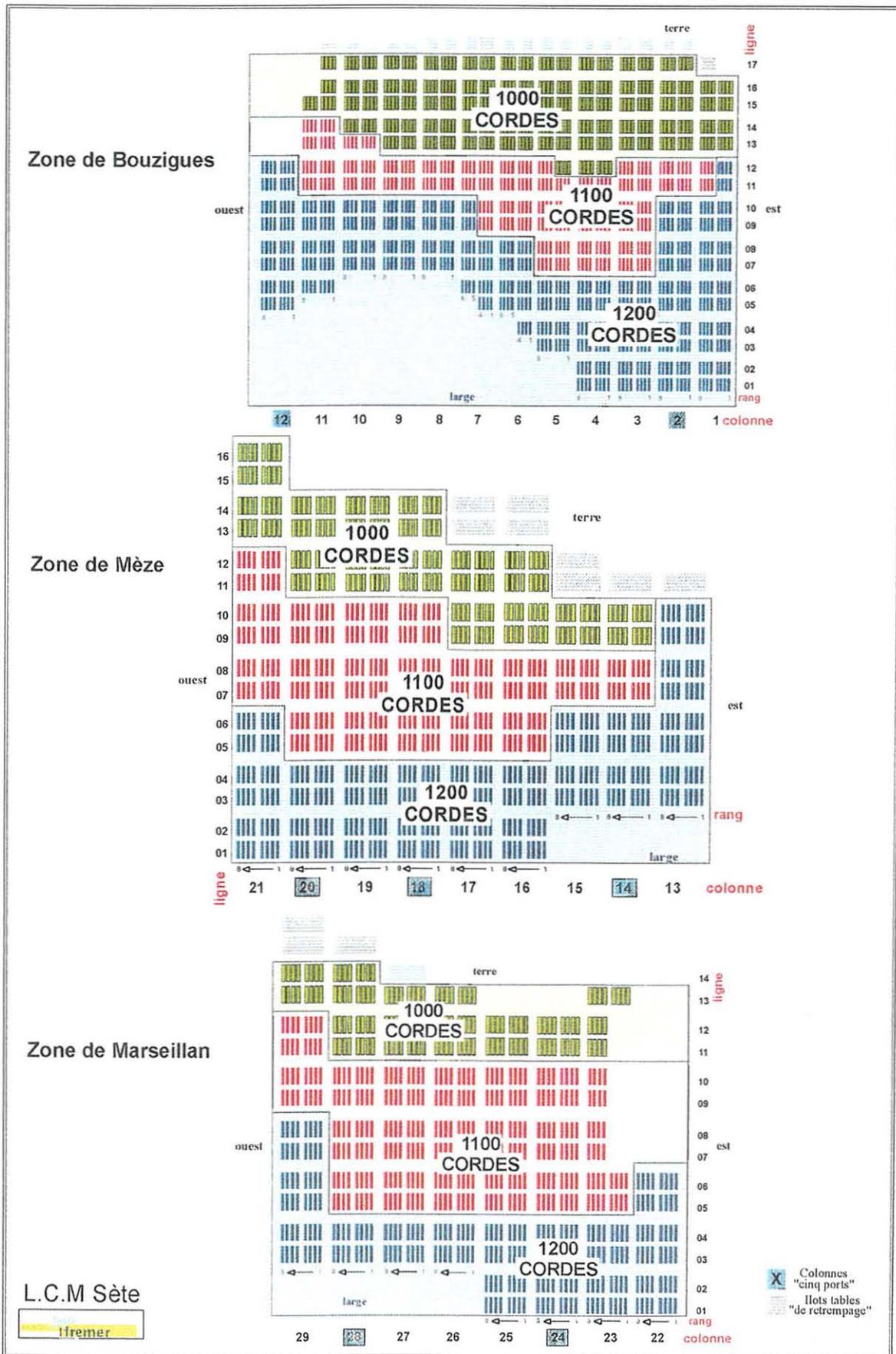


Figure 29 : proposition de répartition des densités d'élevage en nombre de cordes par table pour les huîtres collées dans le bassin de Thau.

5. Délimitation des différentes zones de densité pour les huîtres collées

Cette question ne se pose que pour les huîtres collées puisque qu'une densité unique pour l'ensemble du bassin est préconisée pour les huîtres détachées et les moules.

La délimitation des zones de densité pourrait se calquer sur les strates d'échantillonnages, basées essentiellement sur la bathymétrie, telles qu'elles apparaissent sur la Figure 13. Il nous a semblé préférable d'utiliser la carte des zones de productivité du bassin établie par un travail des représentants professionnels et visant à différencier les concessions en fonction de la productivité et de l'emplacement. Cette classification répartit les tables en 7 catégories qualitatives indicées de 1 pour les zones les plus productives à 7 pour les moins productives. Cette classification est utilisée officiellement pour fixer l'échelle des prix de la reprise des concessions entre professionnels (commission de cultures marines du 19/9/84). La carte délimitant les différentes zones est donnée en Annexe 4. Aux zones classées en 6 et 7 est affectée la densité de 1000 cordes, à celles situées en 4 et 5 correspond 1100 cordes, le reste supportant 1200 cordes (des modifications mineures ont été apportées par rapport à la carte de l'Annexe 4 pour obtenir des zones homogènes). La Figure 29 montre la localisation des zones de densité proposées pour les huîtres collées.

Conclusions générales - Recommandations

La croissance et la qualité des huîtres du bassin fluctuent d'année en année selon les conditions climatiques. Malgré ces fluctuations qui jouent surtout sur le taux de remplissage de chair, les caractéristiques moyennes des huîtres du bassin de Thau restent bien marquées : huîtres de gros calibre, de forme assez équilibrée pour les collées (bien que relativement épaisses), de bonne qualité de coquille en dehors du problème de chambrage à gélatine. Nous confirmons les meilleures performances des huîtres collées par rapport aux huîtres détachées : une généralisation de cette technique d'élevage permettrait d'augmenter fortement la qualité globale des huîtres dans le bassin de Thau.

Il existe cependant des disparités de qualité des huîtres en fonction des zones du bassin : les huîtres élevées en zone de Bouzigues (en particulier en zone centrale) présentent une moindre qualité, aussi bien au niveau de la coquille qu'au niveau du taux de remplissage. La zone de Mèze semble présenter la qualité la meilleure et la plus constante, devant Marseillan puis Bouzigues. Dans cette dernière zone, la partie qui paraît la plus sensible est la zone centrale. Les données obtenues lors des estimations de biomasse en élevage montrent une charge en élevage plus élevée dans la zone de Bouzigues. Il est très probable que cette surcharge ait une influence primordiale dans la baisse de qualité observée dans cette zone de Bouzigues depuis quelques années.

Le problème du chambrage de la coquille des huîtres est à rapprocher des concentrations en TBT, issu des peintures antisalissures, et qui sont apparemment en augmentation. Il ne semble pas que les concentrations en TBT mesurées en 1997 puissent jouer un rôle dans la baisse de croissance et de qualité de la chair des huîtres. Une campagne de dosages du TBT en différents points du bassin est prévue en 2001 pour déterminer les niveaux de concentration actuel. D'ores et déjà, il convient d'identifier la source de cette pollution.

L'expérience pratiquée sur les huîtres collées montre clairement l'influence de la densité d'élevage en terme de nombre de cordes sur la croissance et la qualité des huîtres. Cette étude est la première, en France, à montrer une telle influence directe de la densité sur la croissance et la qualité. Cette rareté peut s'expliquer par la très grande variabilité de la croissance et de la qualité en terme de remplissage observée d'une manière générale chez les huîtres. Il est donc indispensable de mettre en œuvre des protocoles d'expérience très lourds pour mettre en évidence ces différences. Les résultats obtenus sur une zone moyenne de l'étang (situation, profondeur, richesse trophique) permettent de proposer pour cette zone, en

fonction de critères biologiques, un ajustement de la densité en termes de nombre de cordes par table, charge des cordes, longueur des cordes. Avec des critères complémentaires obtenus grâce aux diverses données rassemblées sur Thau (estimation de la qualité des huîtres, réseau de suivi de croissance REMORA, estimation des stocks en élevage), il est possible de pondérer les résultats moyens obtenus expérimentalement pour proposer des ajustements de densité pour l'ensemble de l'étang et pour les différents élevages pratiqués. Les recommandations issues de cette étude sont résumées dans la fiche jointe ci-après.

Les mesures proposées s'appuient pour une grande part sur des données expérimentales. Ce sont aussi des mesures de bon sens. En effet, la situation sur certaines zones du bassin pose problème et il nous semble urgent de prendre des mesures de limitation de densité. C'est d'autant plus indispensable que les tendances actuelles (augmentation des élevages d'huîtres détroquées, augmentation des élevages de moules) vont à l'inverse des allègements de charge préconisés.

Il conviendrait, d'autre part, d'encourager la production d'huîtres collées qui, comme il est possible de le voir au niveau de la zone de Mèze, produit des huîtres de très bonne qualité. Il faut inverser la tendance actuelle qui revient à la production d'huîtres détroquées avec l'inconvénient d'exercer une forte pression sur le milieu pour fournir, après 2 ans d'élevage, des produits qui ont souvent une qualité très médiocre. Signalons aussi que la technique de pré grossissement en lanterne de naissain d'écloserie permet d'obtenir du naissain à coller d'excellente qualité pour un coût limité. Cette pratique serait aussi à encourager.

**Schéma des structures pour les élevages de mollusques du bassin de Thau.
Recommandations de l'IFREMER à l'issue de l'étude de l'influence de la
densité d'élevage sur la croissance et la qualité des huîtres creuses
Septembre 2001**

1) Favoriser l'élevage des huîtres collées

2) Limitation des densités en terme de nombre de cordes par tables

- **Pour les huîtres détachées et les moules**
 - *Au plus 900 cordes par table pour l'ensemble de l'étang*
- **Pour les huîtres collées**
 - *Au plus 1000 cordes par table pour les zones situées "en terre"*
 - *Au plus 1100 cordes par table pour les zone situées "mi large"*
 - *Au plus 1200 cordes par table pour les zone situées "large"*

3) Limitation de la charge des cordes

- **Pour les huîtres collées**
 - *Au plus 30 huîtres par mètre de corde*
- **Pour les moules**
 - *Au plus 3 kg de naissain par mètre ce corde*
- **Pour les huîtres détachées**
 - *Pas de limitation par rapport aux pratiques actuelles*

4) Limitation de la longueur des cordes

• Profondeur table	• Longueur des cordes
3 m	2 m
4 m	3 m
5 m	3,5 m
6 m	4 m
7 m et plus	5 m

NB : nous rappellerons ici que des mesures complémentaires de gestion du bassin ont été proposées par l'IFREMER pour réduire les risques de crises anoxiques ou "malaïgues".

Références bibliographiques

- AFNOR.** 1985. Norme française huîtres creuses. Dénomination et classification. NF V 45 056, 5 p.
- Alunno-Bruscia, M., M. Fréchette & E. Bourget.** Sous presse. Shell allometry and length/body mass relationship for *Mytilus edulis* in an experimental food-regulated situation. Mar. Ecol. Prog. Ser.
- Alunno-Bruscia, M., P. Petraitis, E. Bourget & M. Fréchette.** 2000. Body-size density relationship for *Mytilus edulis* in an experimental food-regulated situation. Oikos, 90 : 28-42.
- Alzieu, C.** 1991. Environmental problems caused by TBT in France : Assessment, Regulations, Prospects. Marine Environ. Res. 32 : 7-17.
- Alzieu, C., M. Héral, J. P. Dreno.** 1989. Les peintures antisalissures et leur impact sur l'ostréiculture. Equinoxe N° 24, Déc./Janv. 1989.
- Anonyme, 1998.** Bilan d'activités 1992-1997. Rapport du CEPRALMAR. 95p.
- Anonyme, 1998.** Vers une AOC pour les productions conchylicoles du bassin de Thau. Groupe de pilotage, mars 1998, 10p.
- Anonyme, 1996.** Programme National d'Océanographie Côtière - OXYTHAU. Le bassin de Thau : relations milieu-ressources dans les secteurs conchylicoles. Importance des mécanismes d'échanges verticaux. Compte-rendu intermédiaire des résultats. Septembre 1994. SS 68/1996 DEL-ECO, 74 p.
- Aoyama, S.** 1989. The Mutsu Bay Scallop fisheries : scallop culture, stock enhancement, and resource management. In : Caddy, J.F. & J. Wiley (Eds.), Marine invertebrate fisheries : Their assessment and management, New York, 525-539.
- Barillé, L., J. Prou, M. Héral & D. Razet.** 1997. Effects of high natural seston concentrations on the feeding, selection, and absorption of the oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 212 : 149-172.
- Baud, J.P., E. Goyard.** 1996. Programme qualité mollusques 1995. Opération grille nationale de qualité des huîtres creuses *Crassostrea gigas*. Rap. interne IFREMER, 59p.
- Bayne, B.L.** 1976. Marine mussels : their ecology and physiology. Cambridge University Press, London.
- Bayne, B.L. & R.C. Newell.** 1983. Physiological energetics of marine molluscs. In : Saleuddin, A.S.M. & K.M. Wilbur (Eds.), The Mollusca. Academic Press, New York, 407-515.

- Bayne, B.L. & C.M. Worrall.** 1980. Growth and production of mussels *Mytilus edulis* from two populations. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 3 : 317-328.
- Beninger, P.G. & A. Lucas.** 1984. Seasonal variations in condition, reproductive activity and gross biochemical composition of two species of adult clam reared in a common habitat : *Tapes decussatus* L. (Jeffreys) and *Tapes philippinarum* (Adams & Reeve). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 79 : 19-37.
- Bligh, E.G. & W.J. Dyer.** 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, 37 : 911-917.
- Boromthanasarat, S. & J.-M. Deslous-Paoli.** 1988. Production of *Mytilus edulis* L. reared on bouchots in the bay of Marennes-Oleron : comparison between two methods of culture. *Aquaculture*, 72 : 255-263.
- Buestel D., J.-M. Chabirand., J. Oheix, Y. Pichot, C. Vercelli.** 1998. Grille Nationale de qualité des huîtres creuses *Crassostrea gigas*. Analyse des huîtres commercialisées en Méditerranée. *In Rap. Int. DRV/RA/98-07a-SETE* – 42 p.
- Buestel D., C. Vercelli.** 1999. Rapport d'activité du laboratoire Conchylicole de Méditerranée en 1998. *Doc. Int. IFREMER*, 25p.
- Buestel, D.** 2001 a. Rapport d'activité du laboratoire Conchylicole de Méditerranée en 1999. *Doc. Int. IFREMER*, 31p.
- Buestel, D.** 2001 b. Rapport d'activité du laboratoire Conchylicole de Méditerranée en 2000. *Doc. Int. IFREMER*, 9p.
- Chagot, D., C. Alzieu, J. Sanjuan, H. Grizel.** 1990. Sublethal and histopathological effects of trace levels of tributyl fluoride on adult oysters *Crassostrea gigas*. *Aquat. Liv. Res.* 1990, 3 : 121-130.
- Chapelle, A., P. Lazure & P. Souchu.** 2001. Modélisation numérique des crises anoxiques (malaïgues) dans la lagune de Thau (France). *Oceanologica Acta*, 24 : S87-S97.
- Cigarría, J. & J. Fernandez.** 1998. Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) culture in oyster bag : influence of density on survival, growth and biometric relationships. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 78 : 551-560.
- Cochran, W.G. & G.M. Cox.** 1957. *Experimental designs*, Second edition, John Wiley & Sons, New York.
- Coe, W.R. & D.L. Fox.** 1942. Biology of the California sea-mussel (*Mytilus californianus*). I. Influence of temperature, food supply, sex and age on the rate of growth. *J. Exp. Zool.*, 90 : 1-30.

- Côté, J., J.H. Himmelman, M. Claereboudt & J.C. Bonardelli.** 1993. Influence of density and depth on the growth of juvenile sea scallops (*Placopecten magellanicus*) in suspended culture. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50 : 1857-1869.
- Deslous-Paoli, J.-M. & M. Héral.** 1988. Biochemical composition and energy value of *Crassostrea gigas* (Thunberg) cultured in the bay of Marennes-Oléron. *Aquat. Living Resour.* 1 : 239-249.
- Drew, J.T. & J.W. Flewelling.** 1979. Stand density management : an alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. *For. Sci.*, 25 : 518-532.
- Dubois, M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers & F. Smith.** 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analyt. Chem.*, 28 : 350-356.
- Fleury, P.G., F. Cornette, S. Claude, H. Palvadeau, S. Robert, F. d'Amico, C. Vercelli & J.-M. Chabirand.** 2000. REMORA : Réseau de suivi de la croissance de l'huître creuse sur les côtes françaises. Résultats des stations nationales. Rapport IFREMER RI/DRV/RA/RST/00.16, 48 p.
- Fréchette, M. & D. Lefaivre.** 1990. Discriminating between food and space limitation in benthic suspension feeders using self-thinning relationships. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 65 : 15-23.
- Fréchette, M. & J. Grant.** 1991. An in situ estimation of the effect of wind-driven resuspension on the growth of the mussel *Mytilus edulis* L. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 148 : 201-213.
- Fréchette, M., A.E. Aitken & L. Pagé.** 1992. Interdependence of food and space limitation of a benthic suspension feeder: consequences for self-thinning relationships. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 83 : 55-62.
- Fréchette, M., L. Pagé & P. Bergeron.** 1994. Vers un nouvel outil de gestion en aquiculture. *Rapp. Can. Ind. Sci. Hal. Aquat.* Ministère des Pêches et Océans Canada, 221 vii + 17.
- Fréchette, M., M. Alunno-Bruscia & M. Fournier.** 1996a. Étude comparative de différentes méthodes d'élevage de la moule bleue en suspension et développement d'un critère pour le choix des méthodes. *Rapp. Can. Ind. Sci. Hal. Aquat.*, deuxième étape. Ministère des Pêches et Océans Canada, 20, 23 p.
- Fréchette, M., P. Bergeron & P. Gagnon.** 1996b. On the use of self-thinning relationships in stocking experiments. *Aquaculture*, 145 : 91-112.
- Fréchette, M. & C. Bacher.** 1998. A simulation study of body-size relationships in food regulated experimental mussel populations. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 219 : 241-255.

- Fréchette, M., M. Gaudet & S. Vigneau.** 1999. Estimating optimal population density for intermediate culture of scallops in spat collector bags. *Aquaculture*, 183 : 105-124.
- Fuentes, J., I. Reyero, C. Zapata & G. Alvarez.** 1992. Influence of stock and culture site on growth rate and mortality in mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk.) in Galicia, Spain. *Aquaculture*, 105 : 131-142.
- Fuentes, J., V. Gregorio, R. Giráldez & J. Molaes.** 2000. Within raft-variability of the growth rate of mussels, *Mytilus galloprovincialis*, cultivated in the Ría de Arousa (NW Spain). *Aquaculture*, 189 : 39-52.
- Gabbott, P.A.** 1975. Storage cycle in marine bivalve molluscs : a hypothesis concerning the relationship between glycogen metabolism and gametogenesis. In : Barnes, H. (Ed.), 9th European Marine Biology Symposium. Aberdeen University Press, 191-211.
- Gabbott, P.A.** 1976. Energy metabolism. In: Bayne, B.L. (Ed.), *Marine mussels : their ecology and physiology*. Cambridge University Press, Cambridge, 293-355.
- Gangnery, A.** 1998. Estimation des stocks de bivalves en élevage et des épibiontes dans la lagune de Thau en 1998. Evolution depuis 1980. mémoire de fin d'études ENSAR. 89p.
- Gangnery,** 1999. Estimation des stocks de bivalves en élevage et des épibiontes dans la lagune de Thau et modélisation de la dynamique des populations d'huîtres creuses (*Crassostrea gigas*, Thunberg). Rapport DEA, Université Paris 6.
- Gouletquer, P., R. Robert & G. Trut.** 1999. Manila clam *Tapes philippinarum* culture : sediment-clam interactions. *Aquat. Living Resour.*, 12 : 45-56.
- Goyard E.** 1997. Réseau de suivi de la croissance de l'huître creuse sur les côtes françaises. REMORA. Résultats nationaux. Année 1996. Rap. int. IFREMER, 28p.
- Grenz, C.** 1989. Quantification et destinée de la biodéposition en zone de production conchylicole intensive en Méditerranée. Rapport final, contrat IFREMER (DERO) 871420002, 77 p.
- Heasman, K.G., G.C. Pitcher, C.D. McQuaid & T. Hetcht.** 1998. Shellfish mariculture in the Benguela system : raft culture of *Mytilus galloprovincialis* and the effect of rope spacing on food extraction, growth rate, production, and condition of mussels. *J. Shellfish Res.*, 17 : 33-39.
- Héral, M.** 1991. Approches de la capacité trophique des écosystèmes conchylicoles : synthèse bibliographique. ICES of Marine Sciences Symposium, 192 : 48-62.
- Héral, M.** 1993. Why carrying capacity models are useful tools for management of bivalve molluscs culture. In : Dame, R.F. (Ed.), *Bivalve filter feeders in estuarine and coastal ecosystem processes : NATO ASI Series*. Springer-Verlag, Berlin, 455-477.

- Héral, M. & J.-M. Deslous-Paoli.** 1991. Oyster culture in european countries. In : Menzel, W. (Ed.), Estuarine and marine bivalve mollusk culture. CRC Press, Boca Raton, Florida, 153-190.
- Héral, M., J.-M. Deslous-Paoli & J. Prou.** 1986. Dynamique des productions et des biomasses des huîtres creuses cultivées (*Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas*) dans le bassin de Marennes-Oléron depuis un siècle. ICES, CM86/F : 14 p.
- Holliday, J.E., G.L. Allan & J.A. Nell.** 1993. Effects of stocking density on juvenile Sydney rock oysters, *Saccostrea commercialis* (Iredale & Roughley), in cylinders. Aquaculture, 109 : 13-26.
- Incze, L.S., R.A. Lutz & E. True.** 1981. Modeling carrying capacities for bivalve molluscs in open, suspended-culture system. J. World Mar. Soc. 12 : 143-155.
- Jarry, V., M. Fiala, G.F. Frisoni, G. Jacques, J. Neveux & M. Panouse.** 1990. The spatial distribution of phytoplankton in a Mediterranean lagoon (Etang de Thau). Oceanologica Acta. 13 : 503-512.
- Jarry, V., G.F. Frisoni, & P. Legendre.** 1991. Organisation spatiale et modélisation écologique d'un peuplement phytoplanctonique de lagune (étang de Thau, France). Oceanologica Acta. 14 : 473-488.
- Jensen, K.T.** 1993. Density-dependent growth in cockles (*Cerastoderma edule*) : evidence from interannual comparisons. J. Mar. Biol. Assoc. U.K., 73 : 333-342.
- Kamermans, P.** 1993. Food limitation in cockles (*Cerastoderma edule* (L.)) : influences of location on tidal flat and of nearby presence of mussel beds. Neth. J. Sea Res., 31 : 71-81.
- Kang, C.-H., M. S. Park, P.-Y. Lee, W.-J. Choi, W.-C. Lee.** 2000. Seasonal variations in condition, reproductive activity, and biochemical composition of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg), in suspended culture in two coastal bays of Korea. J. Shellfish Res. 19 : 771-778.
- Kirby-Smith, W.W. & R.T. Barber.** 1974. Suspension feeding aquaculture systems : effects of phytoplankton concentration and temperature on growth of the bay scallop. Aquaculture, 3 : 133-145.
- Kirk, R.E.** 1982. Experimental design : procedures for the behavioral sciences. Brooks/Cole Company, Pacific Grove.
- Kopp, J., J.-P. Joly, E. Le Gagneur & F. Ruelle.** 1998. Atouts et contraintes de la conchyliculture normande : 1 – La côte ouest du Contentin. Rapport IFREMER RI/DRV/RA/RST/98-03, 240 p. + annexes.

- Kraemer, H.C., S. Thiemann & V.H. Deneberg.** 1987. How many subjects ? : statistical power analysis in research. Sage Publications, Newbury Park.
- Lawrence, D.R., G.I. Scott.** 1982. The determination and use of condition index of oysters. *Estuaries*, 5 (1) : 23-27.
- Legay, J.M., A. Heizman & C. Thiriôt-Quévieux.** 2000. Dissymétrie et taux de croissance des valves de la coquille chez les jeunes huîtres de *Crassostrea gigas*, Thunberg. C. R. Acad. Sci. Paris, 323 : 537-542.
- Le Moine, O., P. Geairon, P. Soletchnik, N. Faury, P. Gouletquer, S. Robert, D. Razet, S. Heurtebise & S. Taillade, S.** 2000. Réseau de surveillance de la croissance et production de l'huître creuse *Crassostrea gigas* dans le bassin de Marennes-Oléron : bilan de 12 années de suivi (1986-1998). IFREMER R.INT.DRV/RA/RST/2000.02, 45 p. + annexes.
- Lewis, D.E. & R.M. Cerrato.** 1997. Growth uncoupling and the relationship between shell growth and metabolism in the soft shell clam *Mya arenaria*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 158 : 177-189.
- Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, A.L. Farr & R.J. Randall.** 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193 : 107-116.
- Marsh, J.B. & D.B. Weinstein.** 1966. Simple charring method for determination of lipids. *J. Lipid Res.*, 7 : 574-576.
- Medelgi, A.** 1988, Influence de la densité d'élevage sur la croissance de l'huître creuse *Crassostrea gigas* Thunberg dans l'étang de Thau, Mémoire INAT, Institut Agronomique de Tunisie, Tunis.
- Mgaya, Y.D. & J.P. Mercer.** 1995. The effects of size grading and stocking density on growth performance of juvenile abalone, *Haliotis tuberculata* Linnaeus. *Aquaculture*, 136 : 297-312.
- Michel, P., Averty, B.** 1998. Bilan 1997 de la contamination des eaux côtières françaises par les composés organostanniques. Rapport interne IFREMER DEL/98.05/Nantes : 39p.
- Miller, R.G.Jr.** 1981. Simultaneous statistical inference. Springer-Verlag, New York.
- Montgomery, D.C.** 1976. Design and analysis of experiments, 3^{ème} Edition. John Wiley & Sons, New York.
- Navarro, E., J.I.P. Iglesias, A. Perez Camacho, U. Labarta & R. Beiras.** 1991. The physiological energetics of mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk) from different cultivation rafts in the Ria de Arosa (Galicia, N.W. Spain). *Aquaculture*, 94 : 197-212.

- Navarro, E., J.I.P. Iglesias, A. Pérez Camacho & U. Labarta.** 1996. The effect of diets of phytoplankton and suspended bottom material on feeding and absorption of raft mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lmk). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 198 : 175-189.
- Olafsson, E.B.** 1986. Density dependence in suspension-feeding and deposit-feeding populations of the bivalve *Macoma balthica*: a field experiment. *J. Anim. Ecol.*, 55 : 517-526.
- Orensanz, J.M.** 1986. Size, environment, and density : the regulation of a scallop stock and its management implications. In : Jamieson, G.S. & N. Bourne (Eds.), North Pacific Workshop on stock assessment and management in invertebrates. *Can. Spec. Pub. Fish. Aquat. Sci.*, pp. 195-227.
- Orton, J.H.** 1925. The conditions for calcareous metabolism in oysters and other marine animals. *Nature*, 116 : 13.
- Page, H.M. & D.M. Hubbard.** 1987. Temporal and spatial patterns of growth in mussels *Mytilus edulis* on an offshore platform: relationships to water temperature and food availability. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 111 : 159-179.
- Palmer, A.R.** 1981. Do carbonate skeletons limit the rate of body growth ? *Nature*, 292 : 150-152.
- Pannella, G. & C. MacClintock.** 1968. Biological and environmental rhythms reflected in molluscan shell growth. *The Paleontological Society, Memoir*, 2 : 64-79.
- Parsons, G.J. & M.J. Dadswell.** 1992. Effect of stocking density on growth, production, and survival of the giant scallop, *Placopecten magellanicus*, held in intermediate suspension culture in Passamaquody Bay, New Brunswick. *Aquaculture*, 103 : 291-309.
- Pérez Camacho, A., U. Labarta & R. Beiras.** 1995. Growth of mussels (*Mytilus edulis galloprovincialis*) on cultivation rafts : influence of seed source, cultivation site and phytoplankton availability. *Aquaculture*, 138 : 349-362.
- Peterson, C.H. & S.R. Fegley.** 1986. Seasonal allocation of resources to growth of shell, soma, and gonads in *Mercenaria mercenaria*. *Biol. Bull. (Woods Hole)*, 171 : 597-610.
- Pichot, P., J.-M. Deslous-Paoli & C. Juge.** 1995. Matière en suspension et sédimentation dans la lagune de Thau. IFREMER, RIDEL 96.01, Sète, France, 36 p.
- Pichot, P., S. Landrein & C. Juge.** 1997. Croissance et qualité de l'huître creuse *Crassostrea gigas* dans le bassin de Thau (Hérault) : résultats d'une étude réalisée en 1990-1991. Rapport IFREMER, Direction de l'Environnement et de l'Aménagement littoral, 39 p. + annexes.

- Pieters, H., J.H. Kluytmans, D.I. Zandee & G.C. Cadée. 1980. Tissue composition and reproduction of *Mytilus edulis* in relation to food availability. Neth. J. Sea Res., 14 : 349-361.
- Pouvreau, S., G. Jonquière & D. Buestel. 1999. Filtration by the pearl oyster, *Pinctada margaritifera*, under conditions of low seston load and small particle size in a tropical lagoon habitat. Aquaculture, 176 : 295-314.
- Pouvreau, S., J. Tiapari, A. Gangnery, F. Lagarde, M. garnier, H. Teissier, G. Haumani, D. Buestel & A. Bodoy. 2000. Growth of the black pearl oyster, *Pinctada margaritifera*, in suspended culture under hydrobiological conditions of Takapoto lagoon (French Polynesia). Aquaculture, 184 : 133-154.
- Razet, D., N. Faury, P. Geairon, P. Soletchnik & P. Gouletquer. 1996. Les notes techniques de l'Unité de Recherche Aquacole Poitou-Charentes : les analyses biochimiques de protéines, lipides, et glucides sur l'huître creuse *Crassostrea gigas* : amélioration des méthodes d'analyse. NT/URAPC/96-01-02-03. IFREMER, RIDRV RA 96-11, La Tremblade, France, 40 p.
- Rheault, R.B. & M.A. Rice. 1996. Food-limited growth and condition index in the eastern oyster, *Crassostrea virginica* (Gmelin 1791), and the bay scallop, *Argopecten irradians irradians* (Lamarck 1819). J. Shellfish Res., 15 : 271-283.
- Rodriguez, C. & F.C. Lopez. 1985. Formation de chambres dans la coquille de l'huître plate *Ostrea edulis* L. cultivée dans les rias de Galice. Rev. Trav. Inst. Pêches Marit. 47 : 89-93.
- SAS, Institute. 1989. SAS/STAT user's guide. Release 6.12 edition. SAS Institute, Cary, N.C.
- Sheldon, R.W. 1968. The effect of high population density on the growth and mortality of oysters (*Ostrea edulis*). J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer, 31 : 352-363.
- Singh, S.M. & E. Zouros. 1978. Genetic variation associated with growth rate in the American oyster (*Crassostrea virginica*). Evolution, 32 : 342-353.
- Souchu, P., E. Abadie, C. Vercelli, D. Buestel, J.C. Sauvagnargues. 1998. La crise anoxique du bassin de Thau de l'été 1997. Rapp. IFREMER DEL/98.04/Sète.
- Strickland, J.D.H. & T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis, Second edition. Fish. Res. Board Can. Bull. 167 : 310 p.
- Strömngren, T. & C. Cary. 1984. Growth in length of *Mytilus edulis* L. fed on different algal diets. J. Mar. Biol. Assoc. U.K., 76 : 23-34.

- Tanita, S. & S. Kikuchi.** 1957. On the density effect of the raft cultured oysters. I. The density effect within one plate. Bull. Tohoku Regi. Fish. Lab. Res., 9 : 133-142.
- Thompson, I.** 1975. Biological clocks and shell growth in bivalves. In : Rosenberg, G.D. & S.K. Runcorn (Eds.), Growth rhythms and the history of the earth's rotation. John Wiley & Sons, London, pp. 149-161.
- Tournier, H. & Y. Pichot.** 1987. Répartition de la chlorophylle a dans l'étang de Thau : richesse nutritive pour les mollusques d'élevage. Rev. Trav. Inst. Pêches Marit., 49 : 13-24.
- Tournier, H., P.-Y. Hamon & S. Landrein.** 1982. Synthèse des observations réalisées par l'ISTPM sur les eaux et le plancton de l'étang de Thau de 1974 à 1980. Rev. Trav. Inst. Pêches Marit. 45 : 283-318.
- Vaquer, A., M. Trousselier, C. Courties & B. Bibent.** 1997. Standing stock and dynamics of picoplankton in the Thau lagoon (northwest Mediterranean coast). Limnol. Oceanogr. 41 : 1821-1828.
- Ventilla, R.F.** 1982. The scallop industry in Japan. Adv. Mar. Biol., 20 : 309-382.
- Vercelli, C., J.-M. Chabirand, J. Oheix, Y. Pichot & D. Buestel.** 2000. Programme de diversification des productions conchylicoles en Languedoc-Roussillon. Projet Huître creuse *Crassostrea gigas*. Test de triploïdes. Rapport final convention IFREMER - Région Languedoc Roussillon - Union Européenne Pesca. 56p.
- Vincent, B., D. Joly & C. Brassard.** 1989. Effets de la densité sur la croissance du bivalve *Macoma balthica* (L.) en zone intertidale. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 126 : 145-162.
- Walne, P.R. & R. Mann.** 1975. Growth and biochemical composition in *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas*. Proc. 9th EMBS Aberdeen, H. Barnes Ed., 587-607.
- Weinberg, J.R.** 1998. Density-dependent growth in the Atlantic surfclam, *Spisula solidissima*, off the coast of the Delmarva Peninsula, USA. Mar. Biol., 130 : 621-630.
- Westoby, M.** 1981. The place of the self-thinning rule in population dynamics. Am. Nat., 118 : 581-587.
- Westoby, M.** 1984. The self-thinning rule. Adv. Ecol. Res., 14 : 167-225.
- Widdows, J., P. Fieth & C.M. Worrall.** 1979. Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. Mar. Biol., 50 : 195-207.
- Widman, J.C. & E.W. Rhodes.** 1991. Nursery culture of the bay scallop, *Argopecten irradians irradians*, in suspended mesh nets. Aquaculture, 99 : 257-267.
- Zurburg, W., A.C. Smaal, M. Héral & N. Dankers.** 1994. Seston dynamics and bivalve feeding in the bay of Marennes-Oléron (France). Neth. J. Aquat. Ecol., 28 : 459-466.

Liste des tableaux

- Tableau 1** : descripteurs biologiques et biochimiques utilisés pour quantifier la croissance et la qualité de *C. gigas* dans cette étude. 16
- Tableau 2** : ANOVAs à deux critères de classification pour tester l'influence du temps et de la position autour de la table sur les variables trophiques (chlorophylle et matières en suspension). Df, nombre de degrés de liberté ; MS, variance observée ; F , rapport des variances ; $P > F$, seuil de probabilité. 25
- Tableau 3** : comparaison des principaux descripteurs de la croissance de *C. gigas* par ANOVAs à 4 critères de classification en fonction de la position des huîtres dans la table (*BLOC*), du nombre de cordes par carré (*NC*), du nombre d'huîtres par corde (*NH*) et du calendrier d'élevage (*Date*). df, nombre de degrés de liberté ; MS, variance observée ; F , rapport des variances ; $P > F$, seuil de probabilité. Les rapports de variance F ont été calculés en prenant soin de spécifier les bons termes d'erreurs associés à chacun des termes d'interaction : *BLOC*NC*NH* pour les interactions *NC*NH*, et *Date*BLOC*NC*NH* pour les interactions *NC*NH*, *Date*NC*NH*. 32
- Tableau 4** : comparaison des principaux descripteurs de la croissance de *C. gigas* par ANOVAs à 3 critères de classification en fonction de la position des huîtres dans la table (*BLOC*), du nombre de cordes par carré (*NC*) et du calendrier d'élevage (*Date*). df, nombre de degrés de liberté ; MS, variance observée ; F , rapport des variances ; $P > F$, seuil de probabilité. Les rapports de variance F ont été calculés en prenant soin de spécifier les bons termes d'erreurs associés à chacun des termes d'interaction : *Date*BLOC*NC* pour les interactions *Date*NC*NH*. 33
- Tableau 5** : comparaison des teneurs en principaux constituants biochimiques de la chair d'huîtres (*C. gigas*) par ANOVAs à 3 critères de classification en fonction de la position des huîtres dans la table (*BLOC*), du nombre de cordes par carré (*NC*) et du calendrier d'élevage (*Date*). df, nombre de degrés de liberté ; MS, variance observée ; F , rapport des variances ; $P > F$, seuil de probabilité. Les rapports de variance F ont été calculés en prenant soin de spécifier les bons termes d'erreurs associés à chacun des termes d'interaction : *Date*BLOC*NC* pour les interactions *Date*NC*NH*. 38
- Tableau 6** : caractéristiques des huîtres échantillonnées sur parcs en novembre 1999. Les chiffres entre parenthèses représentent le nombre d'huîtres dont le pourcentage d'eau est supérieur à 20%. 49
- Tableau 7** : indices de condition calculés lors de l'estimation des stocks de novembre 1999. Les chiffres indiquent respectivement l' effectif, la moyenne et l'écart type de l'échantillon. . 50
- Tableau 8** : analyse de variance sur la variable indice Afnor en fonction des strates pour l'ensemble des huîtres ayant un pourcentage d'eau supérieur à 20. 51
- Tableau 9** : analyse de variance sur la variable indice de condition (poids de chair/ poids de coquille) pour les huître collées dans les différentes strates d'échantillonnage. 53
- Tableau 10** : analyse de variance pour la variable indice de condition (poids de chair/ poids de coquille) pour l'ensemble des huîtres sur les strates 2,3,4 et 6 en fonction des facteurs strates et types d'élevage. 54
- Tableau 11** : prélèvements qualité effectués en octobre 2000 à Thau. 58
- Tableau 12** : ancienne classification des catégories de poids des huîtres creuses. 64

Tableau 13 : nouvelles catégories de poids des huîtres creuses utilisées à partir de janvier 2000.....	65
Tableau 14 : caractéristiques statistiques des mesures de longueur, largeur et épaisseur des huîtres du bassin de Thau en décembre 1999.....	66
Tableau 15 : distribution des indices d'aspect intérieur de la coquille pour l'ensemble des huîtres du bassin de Thau en décembre 1999.....	68
Tableau 16 : poids des composants frais de l'huître.....	69
Tableau 17 : part relative de la coquille et de l'eau intervalvaire.....	69
Tableau 18 : distribution de fréquence du poids et du pourcentage de chair sèche.....	70
Tableau 19 : distribution de fréquence des indices de condition.....	70
Tableau 20 : indice AFNOR dans les différentes zones échantillonnées.....	71
Tableau 21 : proposition de limitation de la longueur des cordes d'élevage en fonction de la bathymétrie.....	75

Liste des figures

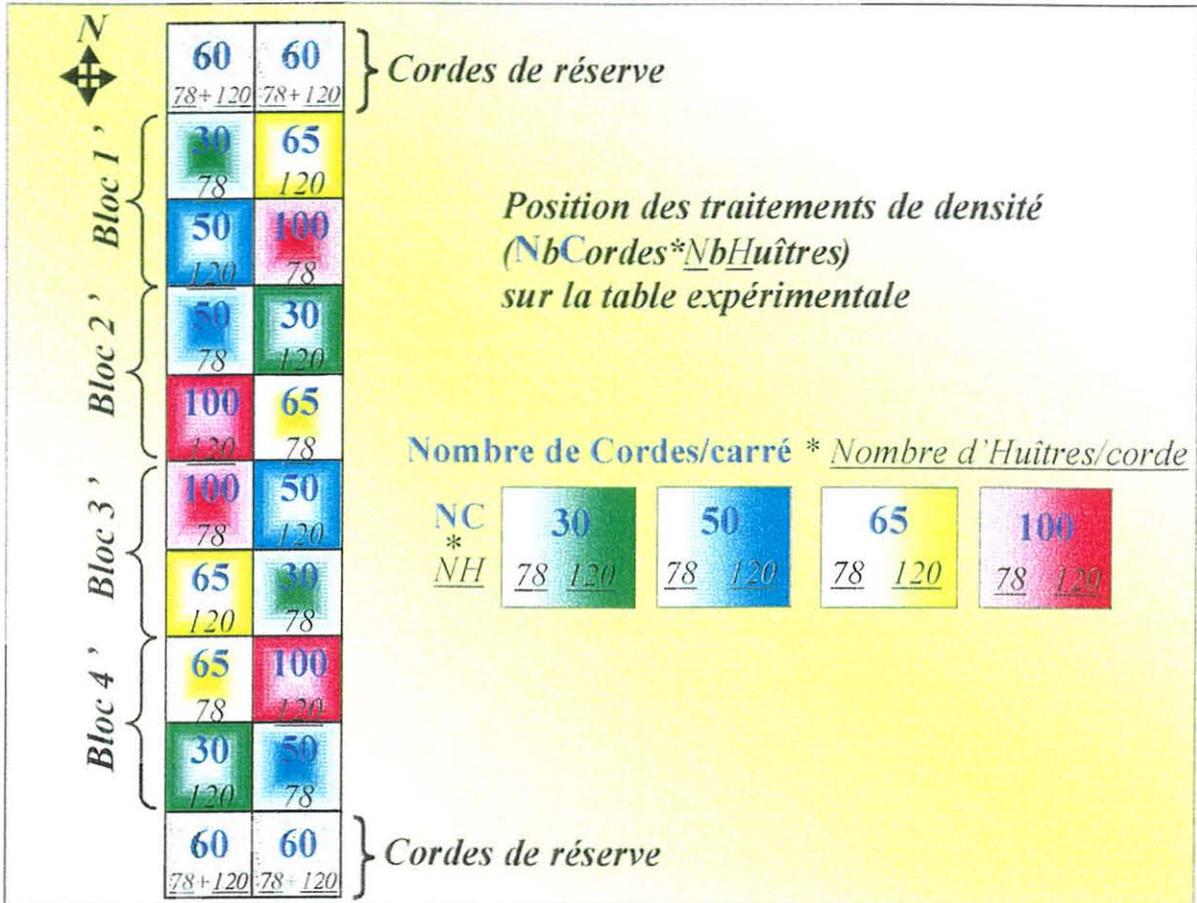
Figure 1 : situation du bassin de Thau : topographie des zones conchylicoles et localisation de la table expérimentale (colonne 18, ligne 7).....	9
Figure 2 : photographie de la table expérimentale située dans la zone de Mèze. La table supporte des perches transversales sur lesquelles sont suspendues les cordes qui portent les huîtres collées.....	10
Figure 3 : schéma de la table expérimentale et disposition des huit traitements de densités répartis en deux "blocs". La figure 3 bis est portée en annexe et ne diffère de la figure 3 que par le nombre et la composition des blocs (quatre "blocs" de quatre traitement de densités)..	11
Figure 4 : position des cordes " échantillonnables " (cercles colorés) en fonction du nombre de cordes par carré (<i>NC</i>) : 30 (<i>NC30</i>), 50 (<i>NC50</i>), 65 (<i>NC65</i>) et 100 (<i>NC100</i>) cordes par carré avec respectivement 12, 18, 21 et 36 cordes "échantillonnables". Les carrés sont représentés schématiquement en vue de dessus de la table expérimentale.....	14
Figure 5 : exemple d'une courbe <i>B-N</i> typique où la biomasse (<i>B</i>) est exprimée en fonction de la densité de population (<i>N</i>). Plusieurs groupes de densité initiale (<i>N1</i> à <i>N7</i>) sont échantillonnés à intervalles de temps successifs (<i>t0</i> à <i>t2</i>). Ce diagramme peut être analysé de deux manières : d'une part, en examinant la courbe décrite par l'ensemble des points correspondant aux différentes densités pour une date donnée ; d'autre part, en suivant au cours du temps la trajectoire <i>B-N</i> obtenue à chacune des densités de population. La courbe-enveloppe en train plein correspond à la fonction d'auto-réduction. Les flèches indiquent le cours du temps.....	18
Figure 6 : évolution temporelle des paramètres physico-chimiques (environnementaux) mesurés sur la table expérimentale (zone de Mèze) entre avril 1999 et mai 2000. (6 A) Température (°C) de l'eau et de l'oxygène dissous (ppm) en fonction du temps. (6 B) Salinité (PSU) mesurée sur la table expérimentale et valeurs des précipitations enregistrées aux postes de Sète et de Marseillan (données fournies par la station climatologique départementale de Mauguio, Hérault) en fonction du temps. Pour l'année 2000, seules les valeurs de précipitations à Sète sont disponibles et uniquement jusqu'à fin avril 2000.....	21

Figure 7 : moyennes des concentrations en chlorophylle a, exprimées en $\mu\text{g.l}^{-1}$, et calculées entre les 5 positions (sud, ouest, centre, nord, est) de la table expérimentale située en zone de Mèze dans le bassin de Thau, et pour deux types de filtres Whatman : GF/F et GF/C.....	22
Figure 8 : moyennes des concentrations, exprimées en mg.l^{-1} , de la matière en suspension (MES), de la matière organique (MOP) et inorganique (MIP) particulières calculées entre les cinq positions de la table expérimentale (sud, ouest, centre, nord, est), entre avril 1999 et mai 2000.	23
Figure 9 : cinétique de croissance de l'huître creuse (<i>C. gigas</i>) élevée selon huit traitements de densités entre mars 1999 et juin 2000. Variations temporelles de la longueur moyenne de coquille (<i>Long</i> , mm ; (A)), du poids moyen de coquille (<i>Pcoq</i> , g ; (B)), du poids moyen de chair humide (<i>Phum</i> , g ; (C)), du poids moyen de chair sèche (<i>Psec</i> , g ; (D)), et du poids humide total (<i>Ptot</i> , g ; (E)). Pour éviter de surcharger le graphique, les écart-types calculés sur chacun des points n'ont pas été représentés et seules sont figurées les courbes de croissance moyenne pour le facteur <i>NC</i>	28
Figure 10 : diagramme <i>B-N</i> . Relation entre le nombre d'huîtres par corde (<i>N</i>) et la biomasse totale humide correspondante (<i>B</i> , g) pour <i>C. gigas</i> élevée dans l'étang de Thau à différentes densités d'élevage, entre mars 1999 et juin 2000. Pour éviter de surcharger le graphique, seules les courbes <i>B-N</i> de juin, septembre, décembre 1999 et juin 2000 ont été représentées. 29	
Figure 11 : variations temporelles de l'indice individuel AFNOR et de l'indice de qualité de Walne et Mann (1975) pour des huîtres creuses (<i>C. gigas</i>) élevées dans le bassin de Thau à huit traitements de densité entre mars 1999 et juin 2000.	34
Figure 12 : évolution de la composition biochimique des huîtres élevées dans le bassin de Thau selon deux densités d'élevage : 30 cordes par carré (<i>NC30</i> , ●) et 100 cordes par carré (<i>NC100</i> , ▲). Teneur en protéines (A), en lipides (B), glucides totaux (C) et glycogène (D) de la chair d'huîtres, exprimées en % du poids de chair sèche.....	37
Figure 13 : délimitation des strates d'échantillonnages dans les différentes zones d'élevage du bassin de Thau.	48
Figure 14 : indices de condition moyen des huîtres du bassin de Thau en Novembre 1999 (Indice Afnor et indice poids de chair sur poids de coquille calculés sur les huîtres ayant un pourcentage d'eau supérieur à 20).....	51
Figure 15 : histogrammes de fréquences des valeurs de l'indice AFNOR pour les différentes zones du bassin de Thau (huîtres ayant un pourcentage d'eau supérieur à 20).....	52
Figure 16 : indice moyen de poids de chair sur poids de coquille pour les huîtres collées et pour les différentes strates.	53
Figure 17 : distribution des données et résultats de l'analyse de variance sur l'indice de condition (poids de chair / poids de coquille) en fonction des strates 2,3,4,6 et du type d'élevage (collées et détachées).	55
Figure 18 : chambrage à gélatine dans le bassin de Thau en novembre 1999.....	56
Figure 19 : relation entre le chambrage à gélatine et le nombre de cordes par carré et l'indice de condition des huîtres en novembre 1999 à Thau (71 points de l'étang).....	57
Figure 20 : indices de condition PCH/PCOQ moyens des huîtres collées et détachées en octobre 2000 à Thau.	59

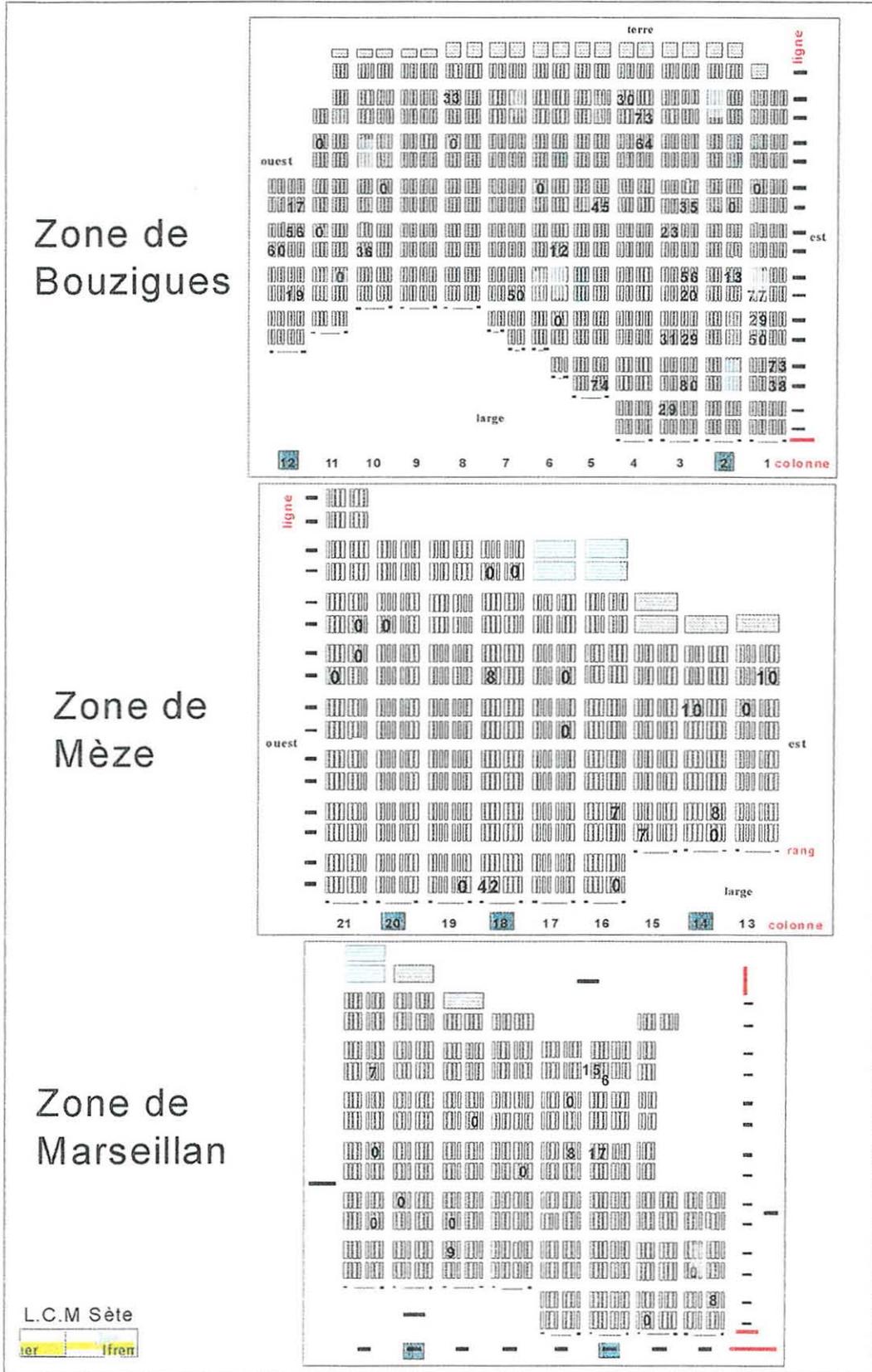
Figure 21 : chambrage des huîtres (en % du total des huîtres échantillonnées) à Thau en octobre 2000.....	60
Figure 22 : distribution de fréquence du poids total pour l'ensemble de l'étang de Thau.	65
Figure 23 : coefficient de formes des huîtres du bassin de Thau en décembre 1999.	67
Figure 24 : distribution de fréquence de l'indice AFNOR à Thau en novembre 1999.	71
Figure 25 : indice de charge des différentes zones de Thau. La biomasse totale de mollusques en kg (huîtres et moules) est estimée dans chaque strate et divisée par le volume d'élevage en m ³ . Le volume d'élevage est estimé en multipliant la surface de chaque strate par la longueur moyenne des cordes des carrés échantillonnés dans cette strate (voir carte des strates Figure 13).....	76
Figure 26 : nombre d'huîtres en élevage par table entièrement chargée, dans les différentes strates échantillonnées en octobre 2000 et en fonction des catégories collées et détachées. .	77
Figure 27 : proportion des différentes catégories d'élevage (nombre de carrés contenant les différentes catégories d'élevage par rapport au nombre total de carrés échantillonnés dans chaque strate d'échantillonnage) dans les différentes zones échantillonnées en octobre 2000.	78
Figure 28 : biomasse en élevage dans le bassin de Thau en 1999 et 2000.	79
Figure 29 : proposition de répartition des densités d'élevage en nombre de cordes par table pour les huîtres collées dans le bassin de Thau.	80

Annexes

Annexe 1 : (figure 3 bis) schéma de la table expérimentale et disposition des huit traitements de densités répartis en quatre "blocs" de quatre densités (en ne tenant compte que du nombre de cordes par carré).



Annexe 2 : distribution du chambrage à gélatine caractéristique d'une pollution au TBT dans le bassin de Thau en novembre 1999



Annexe 3 : exemple de fiche résultats expédiée au conchyliculteur dont l'entreprise a fait l'objet d'un échantillonnage de la qualité des huîtres

							FICHE PRODUIT				DESCRIPTION COQUILLE			
	N°	Longueur	Largeur	Épaisseur	Poids total	Poids coquille	Poids de chair fraîche	Poids de chair sèche	% Pcoq	% Ps	Indice Afnor	Polydora	Gélatine	Vase
H. creuses "M" Collées	1	108	66	40	128,9	69,8	9,7	1,6	54,2	16,5	7,5	0	0	0
	2	91	61	41	105,2	65,1	8,1	1,3	61,9	16,2	7,7	1	1	0
	3	94	55	31	65,6	34,8	5,9	0,9	53,0	15,4	9,1	1	0	0
	4	104	60	35	108,8	65,4	11,0	1,6	63,0	14,4	10,6	1	0	0
	5	120	56	34	100,0	63,1	6,0	1,0	63,1	16,6	6,0	1	1	0
	6	97	61	41	129,3	74,2	16,2	2,8	57,4	17,1	12,6	0	0	0
G = grosses	7	100	62	51	142,2	90,0	13,1	2,4	63,3	18,0	9,2	0	1	0
M = moyennes	8	90	58	32	90,2	56,0	6,1	1,1	62,1	17,7	6,7	1	0	0
P = petites	9	108	63	38	111,0	67,9	10,1	2,0	61,2	19,5	9,1	0	0	0
	10	99	66	36	117,9	65,7	9,9	2,4	55,7	24,0	8,4	0	0	0

Moyenne producteur 1999	101	61	38	109,4	65,2	9,6	1,70	59,5	17,56	8,7
Moyenne régionale 1999	101	58	39	100,5	62,6	12,4	2,3	62,2	18,2	12,5
Moyenne régionale 1996	101	56	36	94,8	59	9,1	1,6	62,2	17,7	9,7

Indice Afnor

(Poids de chair/Poids total) x 100

"non classées" = < 6,5

"fines" = 6,5 à 9

"spéciales" = > 9

% Pcoq
% Ps

Pourcentage de poids de coquille

Pourcentage de poids de chair sèche

Polydora (galeries noires)

De 0 (absence) à 4 (très atteint)

Chambre à gélatine

De 0 (absence) à 2 (très atteint)

Chambre à vase

De 0 (absence) à 1 (présence)

Annexe 4 : Cartographie des tables de Thau classées de 1 à 7 en fonction de leur valeur estimée.

