



Institut **EGID-BORDEAUX III**
IUP Génie de l'Environnement
1, Allée Daguin
33607 PESSAC

IFREMER
Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes
B.P. 133
17390 LA TREMBLADE

Ifremer

**Mémoire de fin d'études pour l'obtention du titre d'Ingénieur - Maître
Patrick MADEC**

**MORTALITE ESTIVALE DE L'HUITRE CREUSE
CRASSOSTREA GIGAS
PERFORMANCES D'ELEVAGE COMPAREES DANS DEUX
ECOSYSTEMES DU BASSIN DE MARENNES-OLERON**



Marais ostréicoles du bassin de Marennes-Oléron

Stage effectué du 8 avril au 6 septembre 2002
Sous la tutelle de **Patrick SOLETCHNIK**

PLAN

INTRODUCTION	1
I. PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL	2
I.1. L'IFREMER	2
I.2. Station IFREMER de La Tremblade.....	3
II. ORGANISATION DE L'ETUDE	5
II.1. Le bassin de Marennes-Oléron : contexte géographique et économique	5
II.2. Les activités ostréicoles	6
II.3. Problématique des mortalités estivales.....	8
II.4. Présentation du programme MOREST.....	9
II.5. Objectifs du stage	10
III. MATERIELS ET METHODES	11
III.1. Sites expérimentaux	11
III.2. Contrôle de l'environnement.....	13
III.3. Matériel biologique	15
III.4. Suivi des paramètres biologiques	15
III.5. Analyse des données	18
IV. RESULTATS	19
IV.1. L'environnement.....	19
IV.2. Mortalité.....	24
IV.3. Biométrie et biochimie.....	29
IV.4. Relation Environnement-Mortalité-Biométrie	40
V. DISCUSSION	45
V.1. Origine et historique d'élevage des cheptels.....	45
V.2. Qualité de l'environnement.....	45
V.3. Réponses Zootechniques	47
CONCLUSION	51
BIBLIOGRAPHIE	52
LEXIQUE	55
LISTE DES FIGURES	56
LISTE DES TABLEAUX	58
TABLE DES MATIERES	59
TABLE DES ANNEXES	61

INTRODUCTION

Le littoral français est caractérisé par diverses activités aquacoles dont l'ostréiculture. Ce secteur a un très fort impact économique dans la région Poitou-Charentes. Ainsi, le bassin de Marennes Oléron correspond au premier bassin ostréicole européen.

Cependant, depuis une dizaine d'années, l'huître creuse *Crassostrea gigas*, utilisée pour la production, apparaît de plus en plus sensible avec une intensification des mortalités. Ces mortalités peuvent être de différentes natures (Mazurié, 2001) :

- ponctuelles, en relation avec des pratiques d'élevages inappropriées,
- locales et parfois massives, fortement influencées par les conditions hydro-climatiques,
- estivales chroniques, affectant plus particulièrement des élevages au sol d'adultes au moment de la maturation sexuelle et sans suspicion d'agent infectieux,
- estivales sur du naissain dans des sites et conditions très diverses.

Afin de mieux comprendre les mortalités estivales, des sources d'information dans différents domaines sont mobilisées afin de réaliser un travail commun dans l'analyse du phénomène. Un projet national a donc été mis en place au sein de l'IFREMER dans la perspective de la caractérisation des MORTalités ESTivales d'huîtres creuses : le programme MOREST. Il favorise une approche multidisciplinaire des mortalités avec trois compartiments principaux : l'environnement, l'hôte et les pathogènes.

L'étude présentée dans ce rapport s'inscrit dans le cadre du programme MOREST et dans la continuité de celles menées les années précédentes au Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes (LCPC). Les relevés zootechniques permettent de suivre la mortalité des élevages en surélevé et ceux à proximité du sédiment. Des sondes multiparamétriques sont placées sur les sites environnementaux et enregistrent en continu les variations de température, d'oxygène dissous, de salinité et de turbidité. Des analyses biométriques et biochimiques sont réalisées afin de suivre la croissance et la maturation de l'huître au cours de la saison. L'étude de l'évolution des indices de qualité peut aider à la compréhension des mortalités.

L'objectif de l'étude est de mettre en relation l'évolution de différents cheptels sur différents sites et de définir les interactions entre les facteurs étudiés. Ainsi, une meilleure caractérisation de la mortalité et l'amélioration des connaissances en terme de zootechnie doivent permettre :

- d'avancer dans la compréhension de la mortalité estivale (MOREST),
- d'envisager un développement pérenne des activités ostréicoles du bassin de Marennes Oléron.

I. PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL

I.1. L'IFREMER

I.1.1 Présentation générale

L'IFREMER, Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER, est un établissement public à caractère industriel et commercial créé par un décret du 5 juin 1984.

Il résulte de la fusion du Centre National d'Exploitation pour les Océans (CNEXO) et de L'ISTPM (Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes). Il est placé sous la tutelle de ministères chargés de la recherche, des pêches et cultures marines, de l'équipement, du logement, des transports.

L'IFREMER gère un budget de près de 1 milliard de francs, dont l'origine provient en majeure partie de la subvention que lui verse l'état et à laquelle s'ajoutent des ressources propres que son statut d'EPIC (Etablissement Public à caractère Industriel et Commercial) lui permet de développer. Les missions de l'IFREMER se concentrent exclusivement sur un travail dans le domaine marin.

I.1.2. Les missions

La recherche finalisée dans tous les domaines de la mer et le développement des technologies d'intervention et de qualification en milieu marin. Il effectue des développements technologiques pour ses propres moyens ou pour le compte de la communauté scientifique et industrielle.

La surveillance, l'observation et l'aide à la gestion des ressources et des milieux. Il assure le suivi des ressources halieutique et aquacole : il établit un diagnostic de l'état des principaux stocks exploitables par les flottes de pêche française. Il contrôle la qualité du milieu et des cheptels pour l'activité aquacole. Il contribue à la protection de l'environnement côtier grâce à des réseaux de surveillance.

Il assure le service public (aide à la décision), le conseil et l'expertise auprès de l'état, des collectivités territoriales, des milieux professionnels de la mer (marins, pêcheurs, aquaculteurs), et aussi des industriels de la transformation et de la valorisation des ressources marines.

I.2. Station IFREMER de La Tremblade

I.2.1. Présentation de la station

Située au cœur du bassin ostréicole de Marennes-Oléron, la station IFREMER de la Tremblade est composée de trois laboratoires qui développent des recherches dans les domaines de l'ostréiculture et de l'environnement littoral (*figure 1*). La station travaille essentiellement pour améliorer les conditions d'élevage des coquillages dans le bassin de Marennes-Oléron et surveiller la qualité de l'environnement marin côtier. Elle se compose de trois laboratoires : le Laboratoire Génétique-Pathologique (LGP), la Direction de l'Environnement et de l'aménagement du Littoral (DEL) et le laboratoire conchylicole de Poitou-Charentes (LCPC).



Figure 1 : Photographie aérienne de la station IFREMER de La Tremblade.

I.2.2. Rôle du LCPC

Son action est tournée vers l'étude de la croissance et de la mortalité des cheptels, afin d'améliorer les productions du bassin et de comprendre les dysfonctionnements de l'écosystème conchylicole.

Les missions du LCPC ont pour objectif :

- d'apporter des avis et des conseils aux exploitants,
- de mettre au point de nouvelles techniques d'élevage,
- d'étudier les conditions d'élevage et les problèmes associés,
- de participer aux différents réseaux de surveillance du littoral.

Les principaux programmes sont les suivants :

- Réseau national de croissance de *Crassostrea gigas* « REMORA ».
- Réseaux régionaux de croissance de moules « REMOULA »
- Etude de la mortalité estivale de l'huître creuse *Crassostrea gigas* (programme « MOREST »).
- Ecosystème conchylicole et mortalité : étude des élevages sur les bancs conchylicoles de Ronce-Perquis, suivis environnementaux automatisés.
- Estimation des stocks conchylicoles et ostréicoles dans le bassin de Marennes-Oléron
- Développement de culture d'huîtres en eaux profondes
- Gestion intégrée de la Bande Côtière – Gestion spécialisée des productions conchylicoles.

II. ORGANISATION DE L'ETUDE

II.1. Le bassin de Marennes-Oléron : contexte géographique et économique

Le bassin de Marennes-Oléron (*figure 2*) est situé entre l'île d'Oléron et la partie continentale. Ses limites Nord et Sud sont définies respectivement par l'estuaire de la Charente et l'estuaire de la Seudre. Les apports d'eau océanique se font au nord par le pertuis d'Antioche et au sud par le pertuis de Maumusson. La circulation générale du bassin est orientée Nord-Sud (Bacher, 1989).

Le bassin a une superficie de 150 km² et il représente le premier bassin de production ostréicole en Europe avec près de 40000 tonnes d'huîtres produites annuellement, soit 25 % de la production nationale. La partie nord présente quelques zones de mytiliculture.

Les apports de la Seudre (débit de 0 à 40 m³s⁻¹) et surtout ceux de la Charente (de 10 à 400 m³s⁻¹) influencent fortement l'écologie du bassin par l'apport de nutriments (Soletchnik *et al.*, 1998a).

La frange littorale est parsemée de nombreux marais pénétrés par des chenaux assurant une alimentation en eau de mer. Ces marais appelés localement "claires"^(L) sont utilisés pour l'affinage des huîtres.

Cet affinage en claire permet la commercialisation de l'huître sous la marque Marennes-Oléron avec la dénomination « huître fine de claire » ou « huître spéciale de claire ». Cette classification est fixée par la norme NF (Afnor, 1985) et est dépendante de la durée d'immersion et du nombre d'huîtres au m².

A Marennes-Oléron, l'affinage, ultime étape de l'élevage, donne son nom au produit. L'huître développe une coloration verte de ses branchies grâce à la présence de la diatomée *Haslea ostrearia* (Blachier *et al.*, 1997).

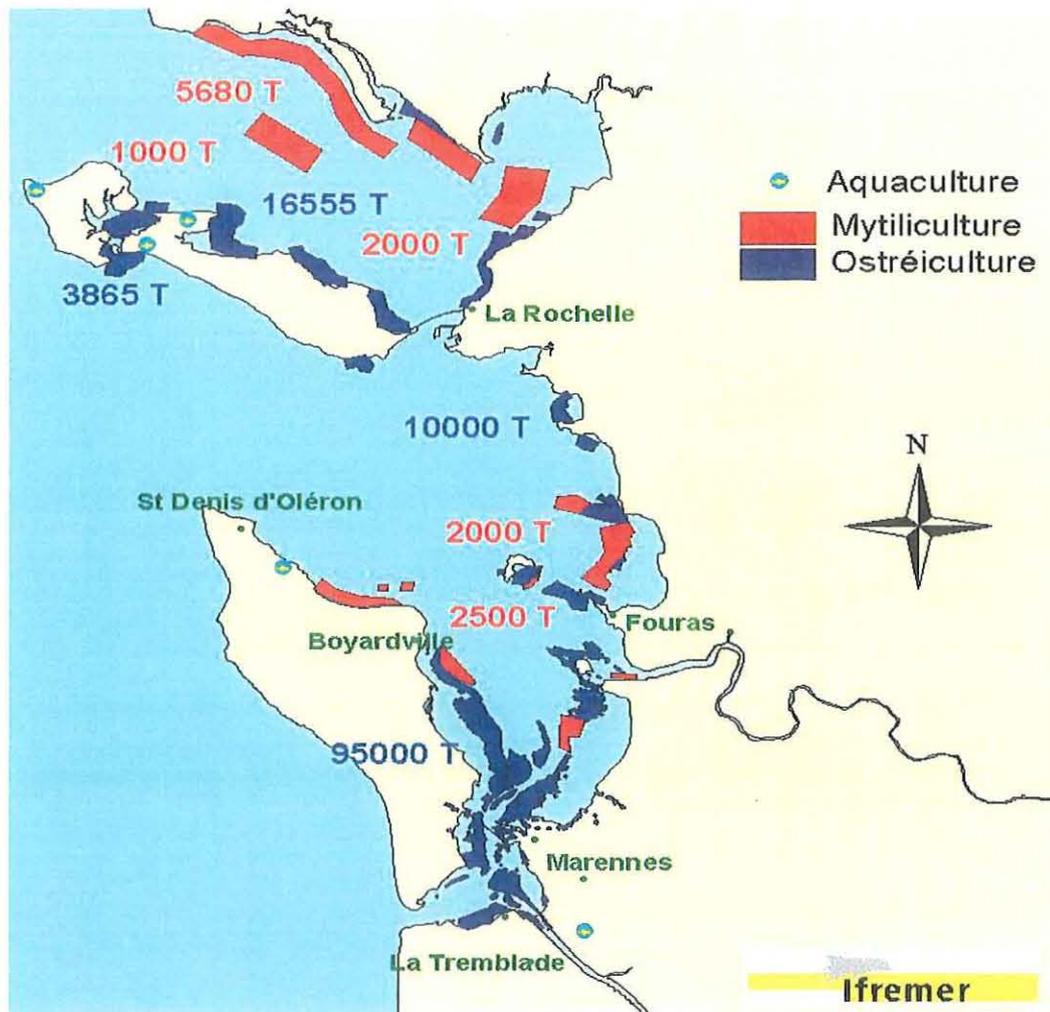


Figure 2 : Les stocks conchycoliques en élevage dans le bassin de Marennes-Oléron.

II.2. Les activités ostréicoles

II.2.1. Généralités sur l'huître creuse *Crassostrea gigas*

L'huître appartient à l'embranchement des mollusques, classe des bivalves ou lamellibranches. Dans le cas de l'huître *Crassostrea gigas* (figure 3), à l'état adulte, la coquille dissoconque est allongée et les dépôts crayeux sont feuilletés. La valve gauche est creuse permettant à la masse viscérale de s'y développer, tandis que la valve droite est plate ornementée d'un certain nombre de "frisure"^(L). Cette huître est ovipare. Elle présente une forte fécondité. Elle vit dans le domaine intertidal, résiste bien à la dessalure et colonise les estuaires (Héral, 1989).

Les huîtres présentent une reproduction sexuée. Chez *Crassostrea gigas*, la sexualité est alternative : l'huître fonctionne comme mâle ou femelle au cours d'une saison donnée avant de changer de sexe l'année suivante. Lorsque les produits sexuels sont mûrs, les géniteurs

expulsent leurs gamètes. La fécondation se produit alors en mer, au gré des courants (Héral, 1989).

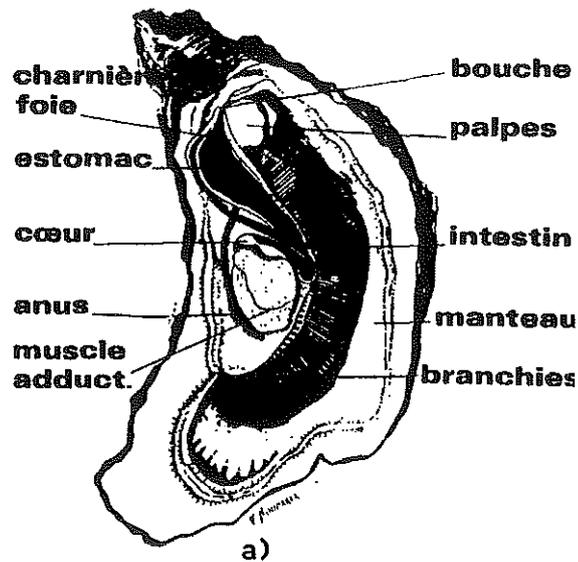


Figure 3 : Anatomie de l'huître creuse *Crassostrea gigas* (Héral, 1989).

II.2.2. Succession des espèces dans le bassin de Marennes-Oléron

L'huître plate *Ostrea edulis*, huître indigène de la France métropolitaine, est consommée depuis des siècles mais l'ostréiculture moderne (maîtrise du captage, prégrossissement et grossissement) n'est apparue en France qu'à la fin du XIX^{ème} siècle (Grelon, 1978). Depuis cette date, plusieurs espèces d'huîtres se sont succédées le long des côtes françaises.

Pour faire face à une pénurie d'huîtres plates, le bassin d'Arcachon importe des huîtres creuses de l'embouchure du Tage au Portugal à partir de 1860. Cette espèce, *Crassostrea angulata*, s'adapte très rapidement aux côtes atlantiques françaises. Une mortalité massive de l'huître plate de 1920 à 1922 entraîne la supplantation de l'huître plate par l'huître creuse.

L'ostréiculture se développe intensivement jusqu'en 1960 (85 000 tonnes de *C. angulata* et 28 000 tonnes de *O. edulis*). De 1966 à 1969, dans les différents bassins ostréicoles français, les huîtres portugaises sont atteintes d'une maladie communément appelée "maladie des branchies". Ensuite, une mortalité massive de 1970 à 1973 fait disparaître l'espèce *Crassostrea angulata* des côtes françaises.

Pour pallier aux conséquences de cette disparition, l'importation d'une nouvelle espèce du Japon et de Colombie britannique est réalisée. La production de l'huître japonaise *Crassostrea gigas* se développe rapidement. En 1984, la production française est de 100 000 tonnes pour 20 000 ha de parcs.

Dans le bassin de Marennes-Oléron, *Crassostrea gigas* est actuellement la seule espèce d'huître cultivée. Il existe ainsi sur estran deux méthodes d'élevage. La première, la plus traditionnelle et correspond à l'élevage à plat : les huîtres sont dispersées à même le sol, dans des parcs généralement entourés d'un grillage. La seconde, développée depuis une trentaine d'années à Marennes-Oléron, est l'élevage en surélevé : les huîtres sont mises dans

des poches ostréicoles et rangées sur des tables métalliques. Cette pratique zootechnique a été adoptée par les ostréiculteurs locaux en même temps que les premières importations d'huîtres du pacifique (Grizel et Héral, 1991). Son développement a permis d'accroître la production en utilisant plus intensément les surfaces concédées.

II.2.3. Evolution de la biomasse en élevage dans le bassin

Les performances au niveau du bassin de Marennes-Oléron sont plus limitées à l'heure actuelle qu'elles ne l'ont été les années passées. En effet, la biomasse dans le bassin augmente progressivement. Le temps d'élevage pour obtenir une huître commercialisable est rallongé. Les données récoltées en ce qui concerne l'année 2000 présente des huîtres aux performances de croissance moyenne (Gouletquer, 2001) en deçà de la moyenne nationale des autres bassins ostréicoles (Fleury *et al.*, 2000).

La mise en relation du stock en fonction de la production montre nettement qu'au-delà d'une certaine biomasse en culture, la production tend à plafonner à un palier maximum de 40 000 tonnes (d'après Héral *et al.*, 1986). Ce "palier" correspond à la capacité maximale de production de l'écosystème, limite par ces capacités trophiques. Ainsi dans les années 1980, l'estimation de la biomasse était supérieure à 80000 tonnes pour atteindre 20 ans plus tard, une valeur supérieure à 110000 tonnes. Ce problème de surcharge du bassin peut favoriser l'augmentation des mortalités.

II.3. Problématique des mortalités estivales

II.3.1. Historique de la mortalité

Les mortalités de bivalves cultivés sont fréquemment observées au cours du 20^{ème} siècle. Les mortalités dans les élevages d'huîtres creuses *Crassostrea gigas* ont été régulièrement signalées depuis une cinquantaine d'années sur la côte française, la côte Pacifique des USA et au Japon (Glude, 1975 ; Mori, 1979 ; Perdue *et al.*, 1981).

Au début des années 1980, des mortalités estivales importantes de *Crassostrea gigas* apparaissent dans le bassin d'Arcachon (Maurer *et al.*, 1986). Celles-ci se produisent lorsque l'huître entre dans sa période de reproduction et sont associées à des températures élevées. Le même phénomène est observé dans le bassin de Marennes Oléron (Bodoy, 1986).

Dans le bassin de Marennes Oléron, les mortalités sont enregistrées depuis 1983 par le réseau de suivi de croissance et depuis 1993 par le réseau REMORA. La mortalité a augmenté de façon ponctuelle avec plusieurs crises importantes en mai 1988 sur les adultes (Bodoy *et al.*, 1990) et en juin 1993 sur les juvéniles (Gouletquer *et al.*, 1998). Ainsi, lors de la première crise, le taux de mortalité atteignait presque 50 % (voire 90 % sur certains sites) pour les élevages à plat. Pour la deuxième crise, des mortalités de 15 à 30 % sont enregistrées sur certains élevages à plat. Ainsi sous l'impulsion des ostréiculteurs, la Section Régionale de Conchyliculture (SRC) a porté plainte contre X (Héral, 1993) mais aucune implication humaine n'a pu être mise en relation avec le phénomène.

II.3.2. Etudes réalisées dans le bassin de Marennes Oléron

Les épisodes de mortalités se présentent sans logique apparente et les causes infectieuses n'ont jamais été validées. Les hypothèses d'une quelconque toxicité de l'eau ou de l'action d'un pathogène ne sont donc pas retenues dans les différentes études menées précédemment (LABEIM, 1992 ; Héral, 1993 ; Lodato, 1997 ; Soletchnik *et al.*, 1998b).

L'insuffisance des réserves trophiques du bassin a également été soupçonné. Cependant, les modèles élaborés (Héral *et al.*, 1986) permettent seulement d'expliquer partiellement l'augmentation des mortalités chroniques mais pas celle des mortalités ponctuelle au printemps et en été.

De façon générale, la plupart des conclusions font état d'un processus de stress thermique. Celui-ci en période estivale, est le plus souvent précédé d'une période où l'huître *Crassostrea gigas* présente un potentiel de croissance faible, voire négatif en période de maturation sexuelle avancée en stade pré-ponte (Soletchnik *et al.*, 1997a). Ainsi, les huîtres en période de gamatogénèse endurent une certaine "détresse physiologique".

Le travail effectué en 2002 fait suite à 5 années d'étude de 1997 à 2001 sur un même site expérimental dans le bassin de Marennes Oléron au niveau du banc de Ronce-Perquis.

L'observation en continu des paramètres environnementaux peut permettre de mieux comprendre les stress et les contraintes que subit l'huître au cours de sa maturation. Le matériel permettant le suivi des paramètres correspond à des sondes à haute fréquence située au niveau de l'interface eau-sédiment. De même l'analyse des conditions météorologiques pendant la période d'étude peut aider à la compréhension des mortalités estivales (Forest, 1997 ; Mineur, 1999).

Les expériences mises en œuvre pour comparer les réponses de croissance et de survie des huîtres à différentes hauteurs dans la colonne d'eau. Les performances zootechniques se sont toujours avérées plus importantes pour les élevages surelevés que pour les élevages à plat soit directement sur le sédiment (Forest, 1997 ; Fruchard, 1998 ; Remoué, 2000 ; Soletchnik, 2001) soit sur table à proximité du sédiment (Mineur, 1999).

En claires, la mortalité est généralement faible (Robert *et al.*, 1998). En période d'affinage, en automne, le potentiel de croissance de l'huître est fortement corrélé aux conditions environnementales et à la ressource phytoplanctonique (Soletchnik *et al.*, 1997b).

II.4. Présentation du programme MOREST

Le programme MOREST est un programme national qui implique de nombreux laboratoires côtiers. Il est pluridisciplinaire et met en relation divers travaux de recherches pour une meilleure synergie.

Les épisodes de mortalité anormale de *C. gigas* n'ont pas pu être expliqués par la seule présence d'un agent pathogène. Il est donc important de tenir compte de l'effet des conditions environnementales qui peuvent moduler les interactions qui existent entre l'hôte et ses

pathogènes en modifiant l'état physiologique et immunologique de l'hôte à certains stades critiques. Il existe ainsi un caractère multifactoriel des mortalités (**annexe 1**). Le programme MOREST doit permettre la mise en place d'études "in situ" et des expérimentations sur du matériel commun avec une caractérisation de l'état physiologique et immunologique des animaux et des analyses pathologiques approfondies. Ce projet est orienté sur l'étude des mortalités estivales de juvéniles de l'huître *Crassostrea gigas* mais peut aussi prendre en compte le comportement des individus plus âgés (MOREST, 2002).

II.5. Objectifs du stage

Le thème du stage s'inscrit donc dans le cadre du programme MOREST afin de poursuivre l'étude des mortalités estivales de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. Le travail est effectué au sein du Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes (LCPC). Le programme d'étude mis en œuvre et géré par le LCPC a pour dénomination "Dynamo" et doit permettre :

- De mettre en relation un ensemble de facteurs conditionnant le développement et la survie de l'huître (*figure 4*).
- De suivre l'évolution (croissance, teneur en lipide et la mortalité) de différents cheptels d'huîtres dans différents environnements d'élevage : sur estran (Perquis) à proximité du sédiment et surélevé et un en marais (Artouan) surélevé.
- De comparer des performances zootechniques de différents cheptels (écloserie et captage naturel) avec des types génétiques différents (2 lots de diploïdes et 1 lot de triploïdes). Un travail réalisé en 1999 par Soletchnik (Mazurié, 2001) sur des huîtres juvéniles tend à prouver que les triploïdes sont plus résistantes que les diploïdes pour les mêmes conditions. Les triploïdes asexuées ne consacrent pas d'énergie à la gamatogénèse et n'apparaissent pas fragilisées comme les diploïdes en période estivale.
- D'associer l'ensemble des données environnementales avec l'ensemble des résultats physiologiques afin de mettre en évidence d'éventuelles interactions.
- D'établir une comparaison entre deux écosystèmes : l'estran (banc de Ronce Perquis) et la claire ostréicole (marais d'Artouan). Un suivi des variations hydrologiques est réalisé en continu sur les deux sites expérimentaux (utilisation de sondes multiparamétriques).

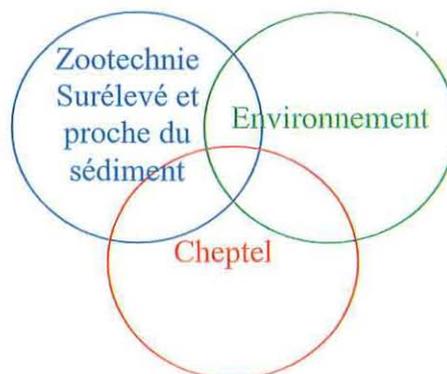


Figure 4 : Mise en relation des différents facteurs de l'étude.

III. MATERIELS ET METHODES

III.1. Sites expérimentaux

III.1.1 Localisation

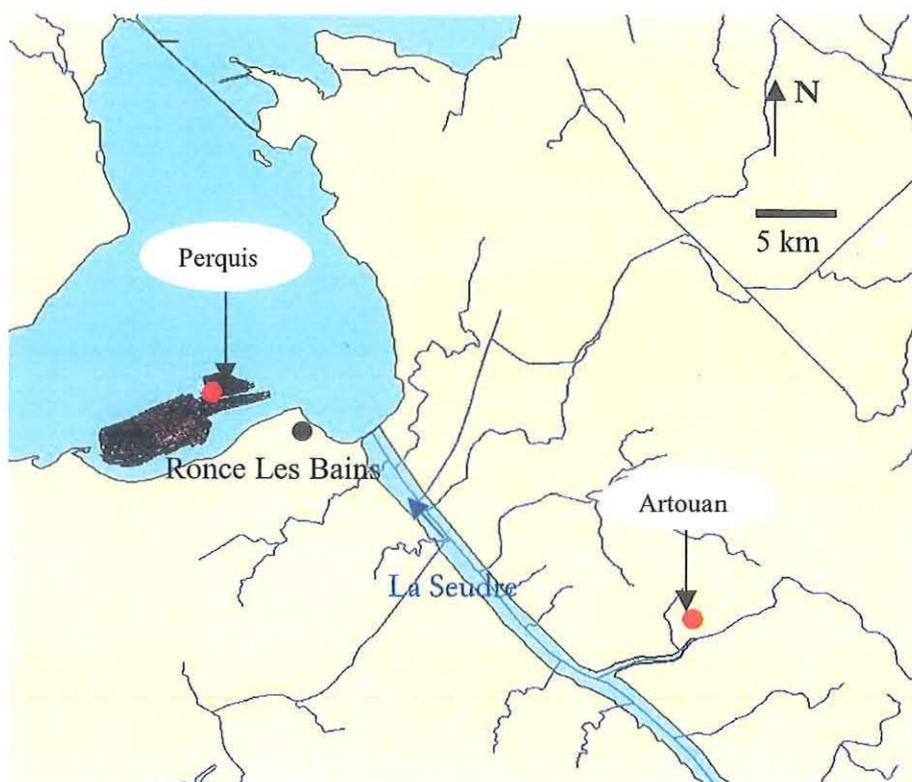


Figure 5 : Localisation des deux sites ateliers dans le bassin de Marennes-Oléron.

Deux sites expérimentaux ont été choisis lors de l'élaboration de l'étude. Le premier est sur estran : le banc de Perquis et le second dans une zone de marais au niveau d'Artouan (figure 5).

III.1.2. Site de Perquis

Le banc ostréicole de Perquis est localisé au sud du bassin de Marennes Oléron et est utilisé comme site atelier depuis 1995. Etant proche du pertuis de Maumusson, la quantité d'eau sortante est 2 fois plus élevée que l'apport océanique en période de vive eaux (Bodoy *et al.*, 1990). De plus, le banc de Perquis constitue, avec une altitude proche de 2.5 m, une des zones les plus élevées dans le bassin. Son sommet découvre aux basses mers avec un

coefficient de 30. Ainsi, cette zone émerge environ 70 % du temps en moyenne annuelle (Bodoy *et al.*, 1990). Ce banc correspond donc à un site ostréicole aux paramètres spécifiques avec un apport courantologique relativement faible et un temps d'exondation important.

Le suivi de croissance et de mortalité des huîtres mises en poches se fait selon deux types d'élevage : un premier surelevé avec des tables métalliques de 70 cm de hauteur ("Per 70") et un second à proximité du sédiment avec des tables de 15 cm ("Per 15"). Le parc comporte ainsi trois rangées de tables pour une longueur de 18 m et une largeur de 4 m (*figure 6*). Un "plan de table" sert de référence lors des sorties de terrain et indique les poches réservées au comptage et les autres spécifiques au prélèvement (*annexe 2*).



Figure 6 : Photographie des deux types d'élevage sur le banc de Perquis : A, table de 70 cm ; B, table de 15 cm.

III.1.3. Site d'Artouan

Le site d'Artouan ("Art") se situe à 40 km de l'embouchure de la Seudre dans une zone de marais et de claires ostréicoles. Le contexte écologique est très particulier car le site correspond à une zone humide avec une forte biodiversité.

Le remplissage de la claire est assuré par un "étier^(L)". En période vives eaux, lorsque les coefficients de marées sont supérieurs à 80, le niveau d'eau s'élève dans l'étier et le surplus passe dans la claire. L'eau est ainsi renouvelée périodiquement. Une pompe est fréquemment activée afin de stabiliser la hauteur de colonne d'eau au-dessus des poches d'huîtres et assurer un niveau constant. La profondeur de la claire est approximativement 1 m. Il existe un système de recirculation d'eau en circuit fermé lors des petits coefficients avec deux autres claires afin d'éviter la stagnation du milieu et les proliférations algales.

La claire mesure approximativement 125 m de long et 20 m de large. Les poches d'huîtres sont placées sur des tables de 50 cm et sont continuellement immergées (*figure 7*). Comme sur Perquis un plan de table est régulièrement mis à jour afin de bien repérer les poches de comptage et celles de prélèvements (**annexe 3**).



Figure 7 : Photographie de la claire expérimentale sur le site d'Artouan.

III.2. Contrôle de l'environnement

Les deux sites expérimentaux sont équipés de deux sondes multiparamètres YSI (Incorporated Yellow Springs) PC6000 (*figure 8*). Ces dernières sont placées à 30 cm du sol sur Perquis et à 50 cm sur Artouan.

Sur Perquis, deux sondes alternent entre chaque sortie de terrain et une seule sur Artouan qui est retirée de la claire le matin et replacée le soir après extraction des données et remise en état. En début d'expérience, le 13/03/02, la récupération des données de sondes est mensuelle. A partir du mois de juin, l'opération devient hebdomadaire.

Les sondes permettent de mesurer en continu dans la colonne d'eau :

- la température (en °C),
- l'oxygène dissous (en %),
- la salinité (en ‰),
- la turbidité (en NTU ou unité de turbidité néphélométrique).

Les mesures des différents paramètres sont enregistrées en continu avec un pas de temps de 15 mn. Pour assurer une bonne qualité des mesures, les sondes sont ramenées régulièrement au laboratoire. Cette opération permet de les nettoyer afin de diminuer les risques de détérioration, de récupérer les données et d'effectuer un réétalonnage. Ainsi, la sonde à oxygène est placée dans une atmosphère humide afin d'obtenir des conditions proches du 100 % d'O₂ théorique. La pression atmosphérique du jour de l'étalonnage sert de référence. Après recalibration, la sonde est à nouveau opérationnelle. Les informations sont stockées dans un tableur (EXCEL). Le signal obtenu est traité avec élimination des valeurs aberrantes et des valeurs à l'émersion sur Perquis.

Différents indices sont calculés à partir des données de température. Un premier indice correspond à l'Indice d'Ecart Thermique (IET). Il correspond à la variance mobile des valeurs de température pour un pas de temps de 4 heures. La valeur maximale journalière donne la valeur de l'IET. Ce dernier est calculé pour l'ensemble des valeurs sur Artouan (huîtres constamment immergées), l'ensemble des valeurs pendant les cycles d'émersion et d'immersion sur Perquis ainsi que pour les données mesurées par la sonde uniquement lors de l'immersion. Un deuxième indice correspond à la somme cumulée des valeurs supérieures à 10 °C auxquelles ont été soustrait 10 °C. Il est défini comme un indice du Cumul des Degrés quart d'heure journalier (CD) et calculé uniquement lorsque les huîtres sont immergées :

$$CD = \text{Somme} [(Valeur \text{ de températures } > 10 \text{ } ^\circ\text{C}) - 10^\circ\text{C}]$$

La valeur de 10 °C correspond à une température à partir de laquelle la gamétogenèse de l'huître est active (Lubet, 1991). A l'émersion, son métabolisme passe en anaérobiose et la température de l'air n'est pas prise en compte dans le calcul.



Figure 8 : Photographie de deux sondes multiparamétriques ISY avec et sans la grille de protection.

III.3. Matériel biologique

Dans le cadre de l'étude, 3 lots d'huîtres *Crassostrea gigas* d'origine et de qualité initiale différente ont été sélectionnés.

Le premier lot correspond à des huîtres diploïdes produites en éclosérie en avril 2001 (cheptel "XS3"). Il correspond à des reliquats de familles utilisés lors du suivi réalisé en 2001 pour le programme MOREST. En février 2002, les huîtres sont "randomnisées^(L)" afin d'obtenir une nouvelle famille homogène à partir d'individus d'origine différente. Ce lot est placé en claire avant sa mise en place sur sites expérimentaux le 13 mars 2002.

Le deuxième lot correspond également à des huîtres diploïdes qui proviennent d'un captage naturel (cheptel "Diplo"). Ces huîtres, achetées à un professionnel, présentent une forte hétérogénéité en terme de taille et de poids en mars. Les individus correspondent à des naissains de la ponte de l'été 2000.

Le troisième lot est caractérisé par des huîtres triploïdes (cheptel "Triplo") qui proviennent du croisement d'huîtres tétraploïdes et d'huîtres diploïdes. Ces huîtres sont donc asexuées. La population a été produite en février 2001 et apparaît très homogène.

En combinant les facteurs d'étude, une condition est définie telle que :

1 Condition = 1 environnement * 1 cheptel.

Il existe ainsi 8 conditions : 6 lots sur estran surélevé et à proximité du sédiment et 2 autres lots en claire. Ainsi, le groupe des XS3 placé à Perquis sur des tables de 15 cm correspond à la condition XS3*Per 15.

III.4. Suivi des paramètres biologiques

III.4.1. Stratégie d'échantillonnage

Les huîtres sont mises en place sur les sites expérimentaux le 13/03/02. Chaque lot est réparti en poches de "mortalité" étant réservées au comptage (3 poches de 200 huîtres pour chaque condition). D'autres poches sont réservées aux prélèvements pour les échantillonnages.

Les prélèvements pour les analyses biométriques et biochimiques ainsi que les comptages mortalités sont effectués à des intervalles de temps définis selon un calendrier préétabli. En effet afin de mieux apprécier l'apparition des mortalités, l'échantillonnage devient hebdomadaire à partir du mois de juin alors qu'une fréquence moins importante était adoptée en début d'expérience (tableau I).

Tableau 1 : Dates d'échantillonnages pendant la période d'étude.

Dates d'échantillonnage	Code-date	Durée d'élevage par période (jours)
13/03/02	T0	0
25/04/02	T1	43
14/05/02	T2	18
28/05/02	T3	14
06/06/02	T4	9
12/06/02	T5	6
20/06/02	T6	8
26/06/02	T7	6
03/07/02	T8	7
10/07/02	T9	7
25/07/02	T10	15
08/08/02	T11	14

III.4.2. Comptage mortalité

Lors des échantillonnages, les huîtres mortes et vivantes sont comptées et seules les huîtres vivantes sont remises en place. Une fiche de terrain regroupe les résultats des trois poches « mortalité » pour chaque condition (**annexe 4**). Le taux de mortalité cumulée (TMC) est déterminé pour chaque poche de comptage. Un taux de mortalité journalier moyen (TMJ) est calculé pour chaque condition.

$TMC = (\text{Somme des individus morts depuis le premier échantillonnage} / 200).$

Pour une période donnée, $TMJ = (\text{nombre d'individus morts} / \text{nombre de jours de la période}).$

III.4.3. Analyses biométriques

Des échantillonnages de 30 individus sont effectués lors de chaque prélèvement et sont placés 24 heures en dégorgeoir avant leur traitement en laboratoire¹. Après nettoyage, le poids total (Ptot) individuel est estimé par pesée. Ensuite la chair est détachée de la coquille et mise à égoutter. Après congélation et lyophilisation de 72 heures, le poids sec est évalué par pesée (Psec). Les coquilles sont séchées 24 heures à l'étuve à 60°C puis pesées (Pcoq).

¹ N.B. : Les échantillons prélevés pour la biométrie et la biochimie le 26 juin (T7) n'ont pas pu être exploités suite à une ponte provoquée accidentellement dans le dégorgeoir.

Afin de comparer les conditions d'élevage entre elles, l'indice de Walne et Mann (I_{WM}) est calculé tel que : $I_{WM} = (P_{sec} / P_{coq}) * 1000$.

III.4.4. Dosage des lipides

Le dosage des lipides se fait selon la méthode de Bligh et Dyer (1959) en ce qui concerne l'extraction et la purification de l'échantillon. Le dosage au sens strict est réalisé selon la méthode spectrophotométrique de Marsh et Weinstein (1966). L'hydrolyse acide et à chaud permet de libérer les acides gras. Elle révèle la formation d'un complexe de coloration brune plus ou moins foncée en fonction de sa concentration. Cette coloration brune a un maximum d'absorption aux environs de 360 nm.

Des prélèvements de 5 à 10 mg sur la chair lyophilisée sont déposés dans des tubes en verre préalablement chloroformés. 1 mL et 2 mL de méthanol sont ajoutés avant homogénéisation et centrifugation (2000 tr/mn pendant 10 mn). Le surnageant est prélevé et placé dans un autre tube. La même opération est effectuée dans les tubes contenant la chair. Le surnageant est rajouté au précédent puis 4 mL d'eau distillée sont introduits avant homogénéisation et centrifugation (2000 tr/mn pendant 10 mn). Seule la phase inférieure est conservée et laissée évaporer en étuve (36 à 42°C) pendant 24 heures. Ensuite, 10 mL d'acide sulfurique sont ajoutés à l'extrait sec et les tubes sont laissés 20 mn à 200°C. Après refroidissement et dépôt des échantillons sur microplaque, un appareil spécifique (Labysystems iEMS Reader MF) mesure les densités optiques à 360 nm. Les valeurs obtenues sont associées à une gamme étalon (**annexe 5**).

Les résultats de teneur en lipide sont exprimés en pourcentage du poids sec (%lip).

III.4.5. Les descripteurs

L'ensemble des descripteurs de l'étude sont regroupés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Récapitulatif des différents descripteurs.

Descripteurs biologiques		Symbole	Unité
Mortalité	Mortalité cumulée	TMC	%
	Taux de mortalité journalier	TMJ	%
Biométrie	Poids total	Ptot	G
	Poids de coquille	Pcoq	G
	Poids sec	Psec	G
	Indice de Walne et Mann	I _{WM}	‰
Biochimie	Teneur en lipide / Psec	%lip	%
Descripteurs environnementaux		Symbole	Unité
Données brutes	Température	T	°C
	Oxygène dissous	O2	%
	Salinité	S	‰
	Turbidité	Tu	NTU
Données traitées	Indice d'écart thermique	IET	Sans unité
	Cumul des degrés 1/4 h	CD	°C
	Ecart d'oxygène journalier	EO	%

III.5. Analyse des données

Les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel « STAGRAPHICS PLUS VERSION 5 ». Des analyses de variances sont effectuées sur les descripteurs de type "paramétriques". Les moyennes des différentes séries de données sont comparées avec la méthode LSD (Least Significant Differences). Les relations entre les descripteurs sont déterminées par le logiciel et permettent de valider ou non l'existence d'une interaction.

Les seuils de validité pour les tests sont présentés de la manière suivante :

- NS : non significatif,
- * : significatif au seuil de 5 %,
- ** : significatif au seuil de 1 %,
- *** : significatif au seuil de 0,1 %.

IV. RESULTATS

IV.1. L'environnement

IV.1.1. Données hydrologiques "hautes fréquences"

a) Température

La température de l'eau augmente au cours de la saison au niveau des deux écosystèmes (*figure 9A*). En marais, début mars, la température de l'eau est proche de 12°C et, fin juillet, elle avoisine 23°C. Sur estran, elle est de 10°C en début d'expérimentation et de 20°C à la fin. L'augmentation de température au cours de l'étude est donc d'environ 11°C sur Artouan et 10°C sur Perquis.

Les augmentations de la température pendant la journée et les diminutions pendant la nuit sont plus importantes sur Artouan que sur Perquis. La sonde est continuellement immergée sur Artouan et les données obtenues sont continues. Les données de température concernant Perquis sont variables selon la durée d'immersion. Cette dernière est fonction de la marée et du coefficient associé.

La température "chute" à certaines périodes sur Artouan. Ainsi, la température passe de 24°C à 16°C du 26/07 au 27/07. Entre le 09/05 et le 11/05 ou entre le 17/05 et le 18/05, la température de l'eau diminue de 6°C. Des diminutions de 8°C sont observables entre le 02/06 et le 06/06 ainsi qu'entre le 22/06 et le 24/06. Une augmentation rapide de la température sur Artouan est remarquable entre le 13/06 et le 14/06 : la valeur passe de 19°C à 25°C.

La température est globalement plus élevée en période de mortes eaux (avec un faible coefficient de marées) que pendant les vives eaux quel que soit l'écosystème considéré.

Remarque : les points de température élevés au début de certaines immersions, correspondent à des valeurs non filtrées lors du traitement des données. Ces dernières correspondent à une valeur intermédiaire entre la fin de l'émersion et le début de l'immersion.

b) Oxygène dissous

Comme pour la température, les cycles de l'oxygène présentent de plus grandes amplitudes de variation sur Artouan que sur Perquis (*figure 9B*).

Le signal n'apparaît pas continu ni sur Artouan, ni sur Perquis. Ainsi, la valeur moyenne de la teneur en O₂ sur estran est proche de 110 % au cours de la saison et descend en dessous de 90 % la dernière semaine de Juillet. Il y a deux périodes avec des valeurs supérieures à la moyenne : la première avec une teneur en O₂ proche de 140 % entre le 29/05 et le 06/06 et la seconde avec une teneur en O₂ supérieure à 160 % entre le 12/06 et le 20/06. Ces deux événements sont compris entre des changements de sondes et correspondent à des périodes de mortes eaux.

Les fluctuations journalières sont de plus grande amplitude sur Perquis à partir du 13 juin pendant les périodes de mortes eaux. Ce phénomène est également observable sur Artouan de façon plus marquée. L'augmentation de l'amplitude des fluctuations débute fin mai et passe de

30 à 90 %. Les oscillations sont moindres entre le 6 et le 12 juin et redeviennent importantes les semaines suivantes.

Sur Artouan, la teneur en O₂ varie en moyenne entre 90 % et 70%. Cependant, entre le 15/05 et le 29/05 ainsi qu'entre le 06/06 et 12/06, la teneur est proche de 60 %. Ces diminutions se déroulent en période de vives eaux. Entre le 29/05 et le 06/06 ainsi qu'entre le 12/06 et le 20/06, la teneur en oxygène sur Perquis est proche respectivement de 140 % et 160 %. Les conditions environnementales sur les deux sites apparaissent donc différentes au cours de ces périodes.

c) Salinité

La salinité sur Perquis est relativement constante tout au long de l'étude avec une valeur de 33 ‰ fin mars, 32 ‰ vers la mi-juin et 34 ‰ fin juillet (*figure 10A*). Une légère variation de la salinité est remarquable lors de chaque marée. L'écart entre le début et la fin de la marée est d'autant plus grand que le coefficient de marée est important (concentration au jusant et diminution au flot). Les valeurs ponctuelles de faible salinité correspondent à des valeurs intermédiaires de fin d'émersion et début d'immersion.

Sur Artouan, la salinité augmente progressivement au cours de la saison entre 26 ‰ début mars et 42 ‰ fin juillet. Cette augmentation est relativement continue avec un "plateau" de mi-mai à mi-juin et un second durant les deux premières semaines de juillet.

d) Turbidité

L'évolution de la turbidité suit celle du rythme de la marée et des courants de marée, notamment sur Perquis (*figure 10B*). Ainsi, lorsque la vitesse des courants augmente en période de vives eaux, le nombre de particules en suspension est plus important. Cet effet est limité en marais où seule l'influence d'un vent fort pourrait remettre en suspension le sédiment. Les valeurs moyennes de turbidité oscillent entre 0 et 100 NTU sur Perquis et entre 0 et 15 NTU sur Artouan.

Sur Perquis, la matière en suspension peut être corrélée à la matière particulaire. Lors de grands coefficients et à la pleine mer, la matière minérale en suspension sédimente et la turbidité est seulement fonction de la matière organique. Sur Artouan, la turbidité est généralement inférieure à 10 NTU et son évolution est difficilement quantifiable.

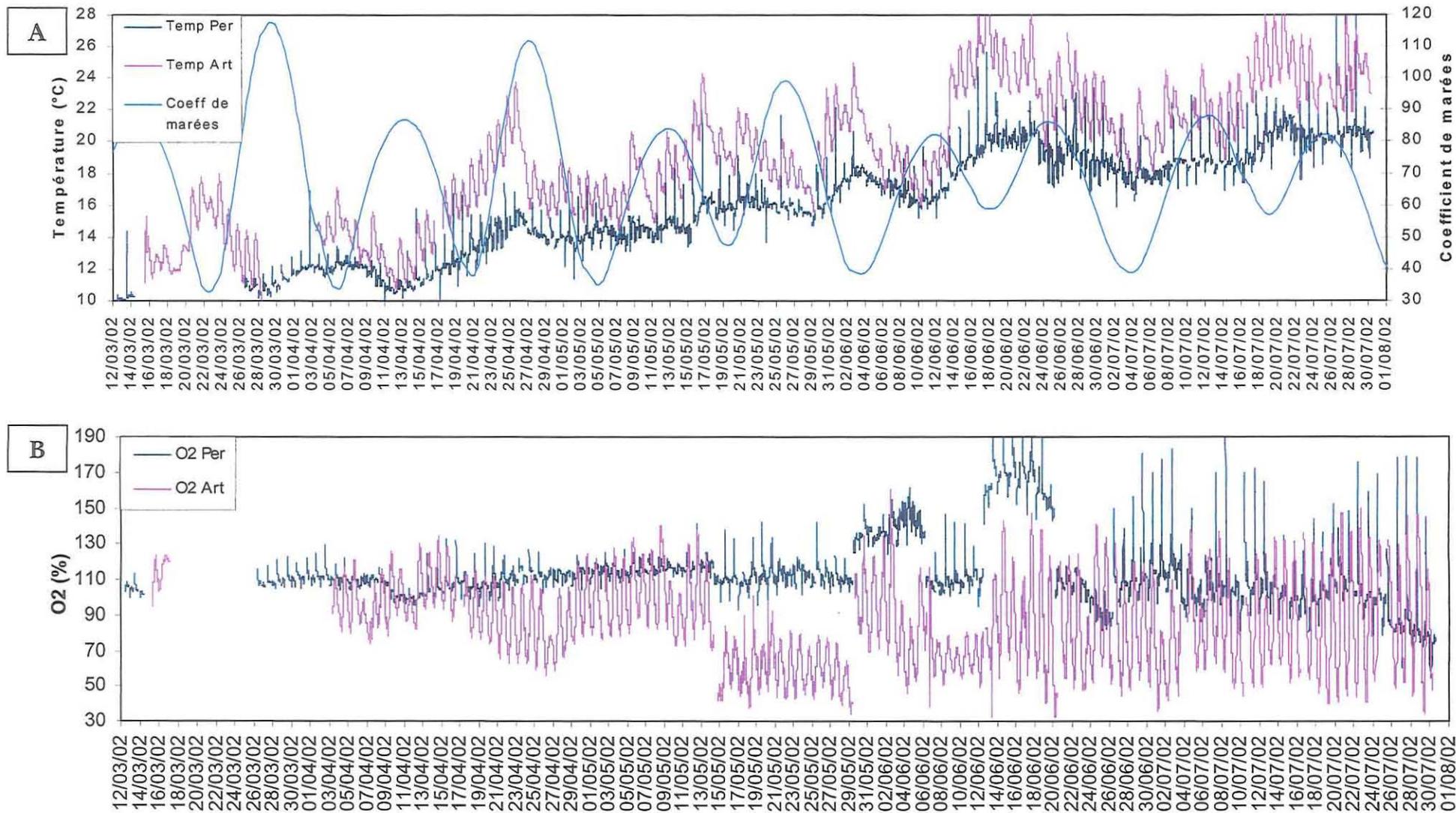


Figure 9 : Température (A) et oxygène dissous (B) de l'eau de mer sur Perquis et Artouan.

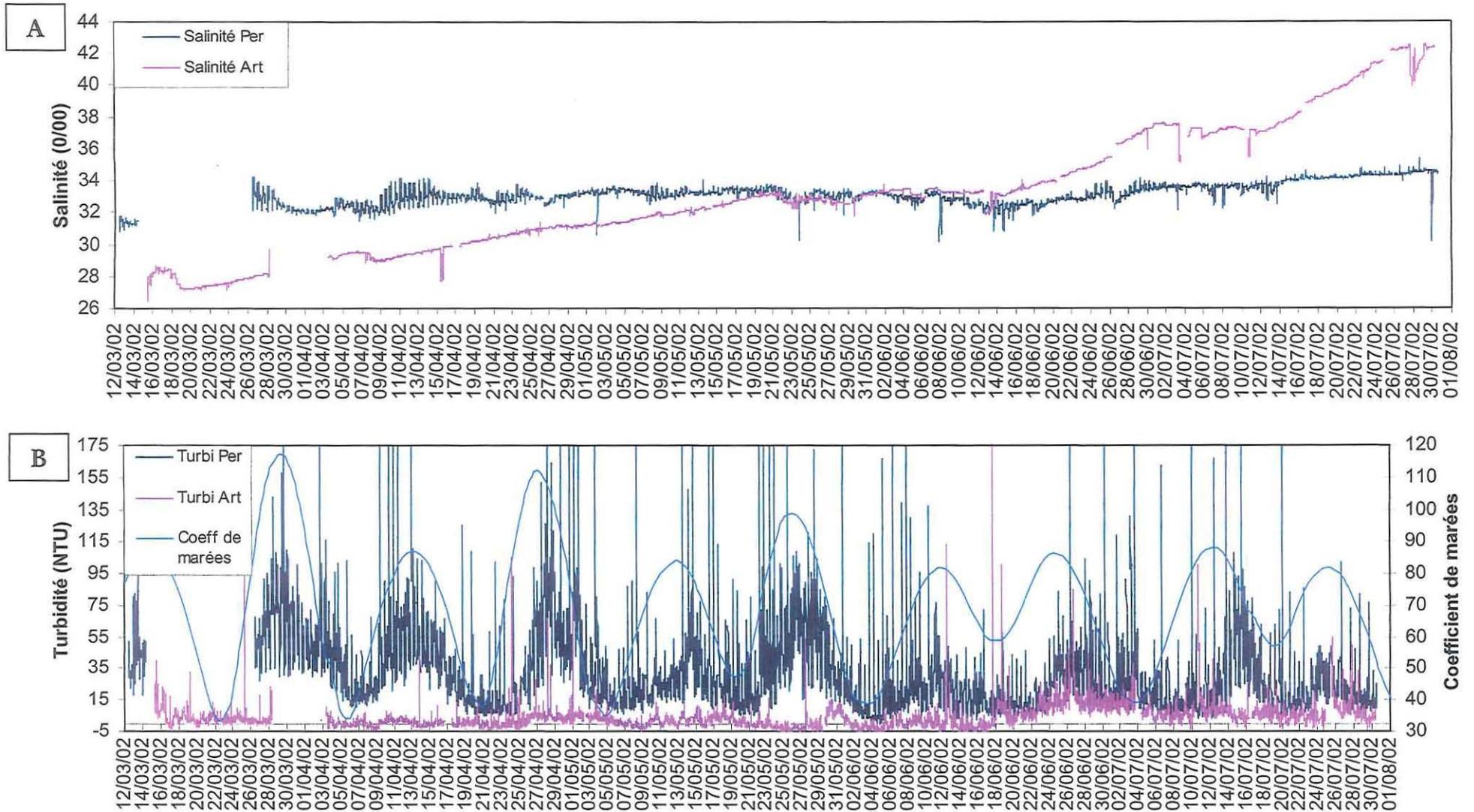


Figure 10 : Salinité (A) et turbidité (B) de l'eau de mer sur Perquis et Artouan.

IV.1.2. Données Hydrologiques : moyennes journalières de température et d'oxygène

La température moyenne journalière augmente rapidement sur Artouan et atteint 21°C le 24/04 (figure 11). L'évolution est plus progressive sur Perquis avec un pic de 15°C à la même date. Après une diminution relative pendant deux semaines, deux nouveaux pics de températures de 21 et 20°C apparaissent autour du 18/05. Le 03/06, une nouvelle élévation au dessus de 20°C est observable sur Artouan. Sur Perquis la température atteint 20°C seulement vers le 19/06. A la même date sur Artouan, après une augmentation rapide à partir du 11/06, la température atteint presque 28°C. Ensuite elle se stabilise autour de 19°C sur Perquis et oscille toujours sur Artouan avec des valeurs comprises entre 20 et 27°C.

Les fluctuations observées sur Artouan apparaissent moins marquées sur Perquis et à des températures inférieures.

La teneur moyenne en oxygène est proche de 110 % au cours de l'expérimentation sur Perquis. La teneur est supérieure à 130 % entre le 28/05 et le 06/06 et entre le 12/06 et le 20/06. Les oscillations journalières de la teneur en oxygène sont plus importantes sur Artouan et la valeur moyenne est environ 80 % pendant la période d'étude. Dans le marais, les valeurs moyennes de teneur en oxygène diminuent fortement entre le 14/05 et le 29/05 et passent de 100 à 60 %. Une diminution de 10 % est observable durant la même période sur Perquis.

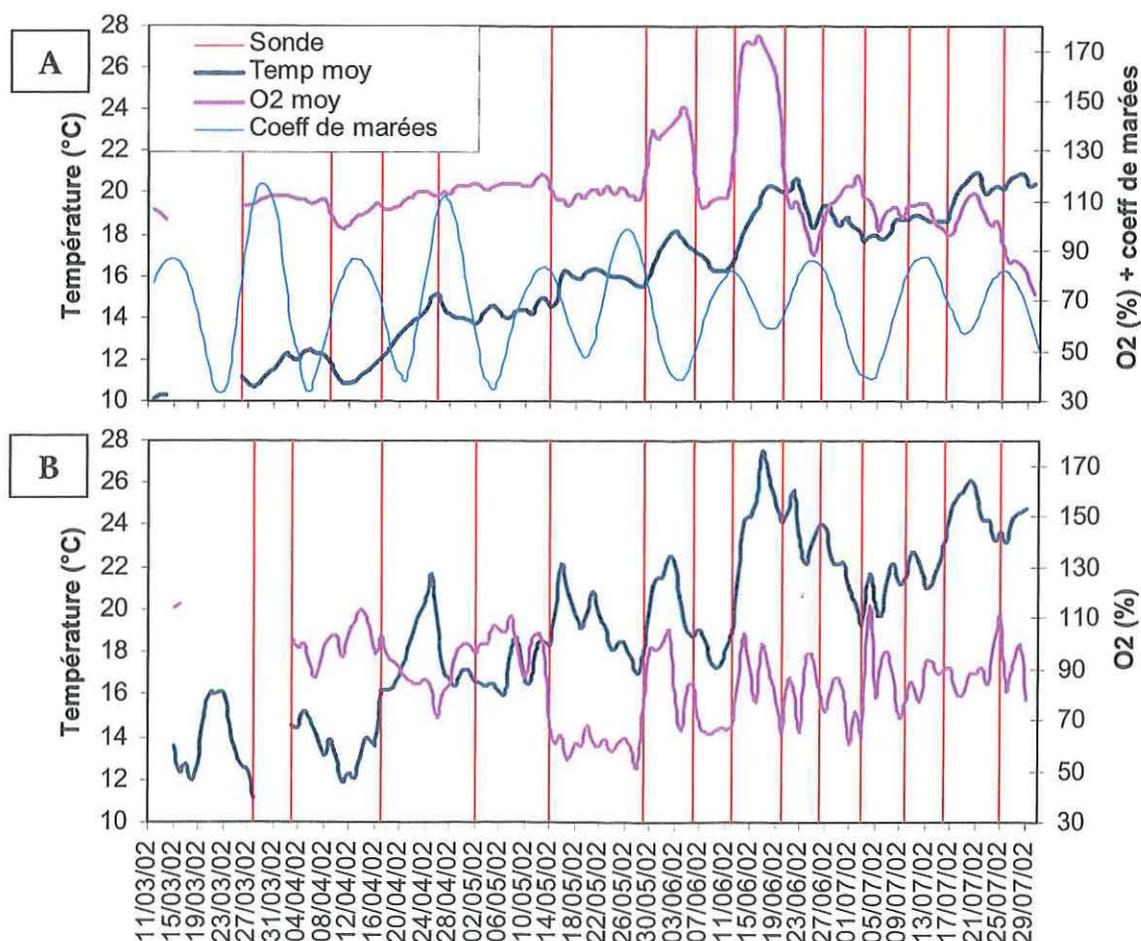


Figure 11 : Valeurs de température et d'O₂ moyennes journalières de l'eau de mer : A, Perquis ; B, Artouan.

IV.2. Mortalité

IV.2.1. Mortalités cumulées

Pour l'élevage sur table de 70 cm sur estran, la mortalité des XS3 est faible jusqu'au 20/06, le taux de mortalité cumulée (TMC) est inférieur à 5 % (*figure 12A*). Ensuite la mortalité dépasse les 10 % et reste stable jusqu'à fin juillet. Les Diplo présentent une mortalité plus élevée que les autres cheptels qui dépasse 10 % le 20/06 (*figure 12B*). Ensuite, le taux de mortalité augmente et dépasse 15 %. Les Triplo ne témoignent pas de période de mortalité et leur TMC reste inférieur à 10 % pendant l'expérimentation (*figure 12C*). Pour l'environnement Perquis 70 cm, le cheptel Diplo est le plus touché par la mortalité.

Pour l'environnement Perquis 15 cm, la mortalité cumulée des XS3 est inférieure à 10 % jusqu'au 20/06 (*figure 13A*). Le TMC atteint environ 40 % après le 26/06. Les Diplo sont caractérisés par une mortalité cumulée inférieure à 15 % le 20/06 et d'environ 30 % le 27/07 (*figure 13B*). Le TMC des Triplo est inférieur à 5 % avant la période du 20 au 26 juin (*figure 13C*). Le dernier comptage révèle une mortalité d'environ 10 %. Le cheptel X-S3 est donc le plus touché par la mortalité pour l'environnement Perquis 15 cm.

Lors de l'élevage en claire, le TMC des XS3 passe de 10 à environ 18 % entre le 25/04 et 14/05 (*figure 14A*). Il atteint ensuite une valeur proche de 40 % le 28/05. Il est approximativement de 50 % à la fin de l'expérience. Les trois poches de comptage de mortalité présente des résultats relativement différents variant entre 40 et 60 % en valeur de TMC fin juillet. Le taux de mortalité cumulée des Diplo atteint de 15 % le 14/05 et environ 32 % le 28/05 (*figure 14A*). En fin d'expérience, sa valeur est de 45 %. La survie des XS3 est plus faible sur Artouan que celle des Diplo.

Un épisode de mortalité a donc lieu sur Perquis durant la période du 20/06 au 25/06 (fin de mort d'eau, début de vive eau). Sur Artouan, les premières mortalités se manifestent à partir du 25/04 et se sont accentuées après le 14/05. Ensuite, à partir du 28/05, le TMC est "stabilisé". La survie des cheptels est différente selon les environnements. Les Triplo sont plus résistants que les deux autres cheptels quel que soit l'environnement sur Perquis. Entre les trois environnements, les plus fortes mortalités sont enregistrées sur Artouan et les plus faibles sur Perquis 70 cm quel que soit le cheptel considéré.

IV.2.2. Taux de mortalité journalier

Pour l'environnement Perquis 70 cm, la mortalité est faible pour les différents cheptels (*figure 15A*). Ainsi, le taux de mortalité journalier (TMJ) est très proche de 0 tout au long de l'expérimentation en ce qui concerne les Triplo. Pour les Diplo, il y a une légère augmentation avec un taux égale à $0.5 \text{ \%} \cdot \text{j}^{-1}$ au moment de la période de mortalité. Une augmentation similaire est observable avec les XS3 la semaine suivante.

Sur les tables à 15 cm du sol sur estran, le TMJ est quasi nul sauf durant la période comprise entre le 20/06 et le 26/06 (*figure 15B*). Les Triplo sont caractérisés par un taux de $0.5 \text{ \%} \cdot \text{j}^{-1}$ durant cette période. Le TMJ des XS3 est très important et atteint presque $5 \text{ \%} \cdot \text{j}^{-1}$. Les Diplo présentent également un pic de mortalité avec un taux supérieur à $2 \text{ \%} \cdot \text{j}^{-1}$.

Sur Artouan, la période de mortalité est plus longue que celle observée sur estran. Le pic dans les valeurs du taux de mortalité journalier est plus "évasé". Les XS3 passe d'un taux de 0.6 à 1.8 $\% \cdot j^{-1}$ entre le 14/05 et le 28/05. Ensuite la valeur du taux diminue et est inférieure à 0.5 après le 20/06. De même pour les Diplo, le pic est caractérisé par un taux égal à 1.4 $\% \cdot j^{-1}$. La valeur devient inférieure à 0.5 $\% \cdot j^{-1}$ le 06/06. Une légère augmentation du taux est enregistrée la semaine suivante. Les valeurs sont ensuite quasi nulles à partir de fin juin.

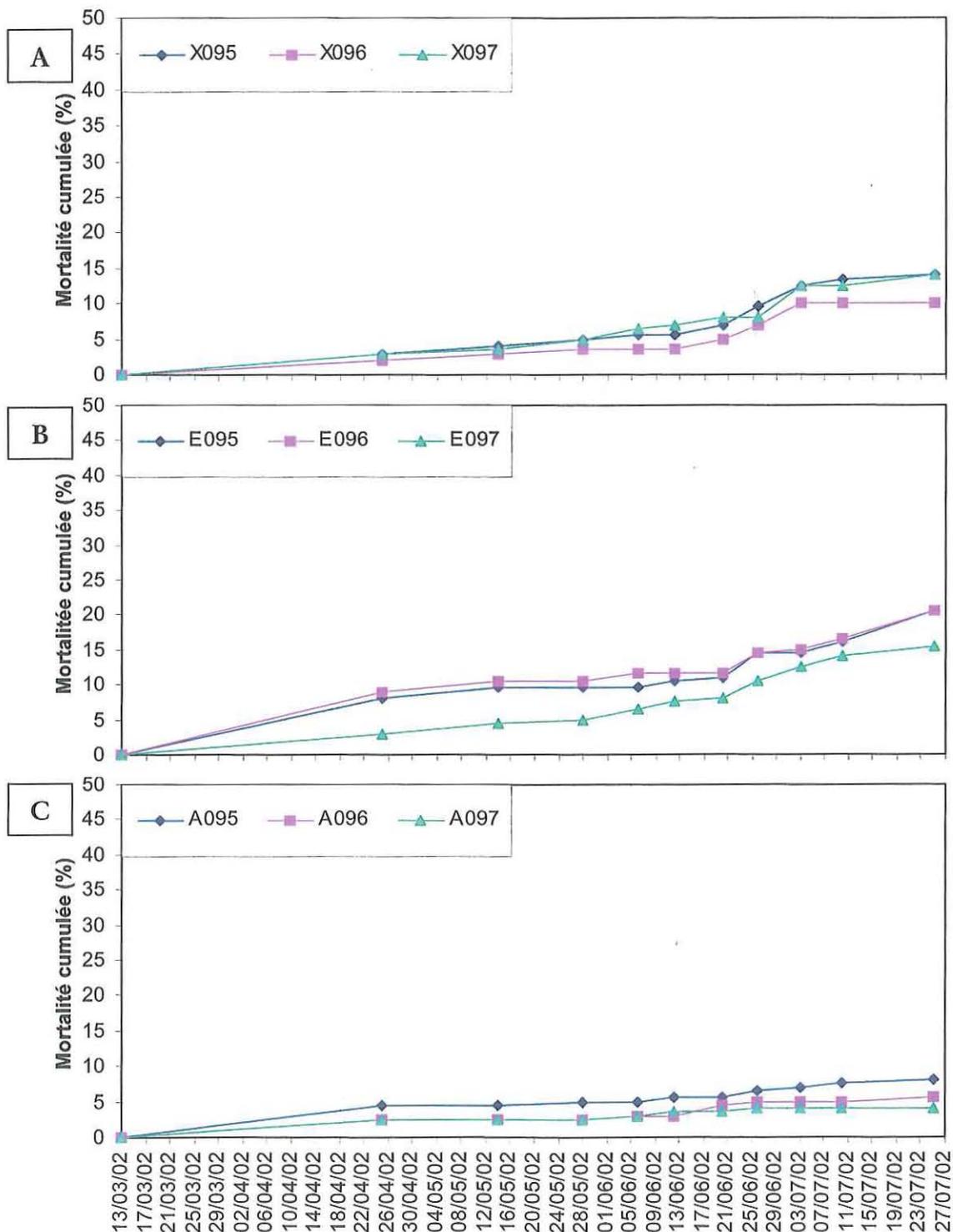


Figure 12 : Taux de mortalité cumulée (TMC) dans les poches de comptage des cheptels sur Perquis 70 cm : A, XS3 ; B, Diplo ; C, Triplo.

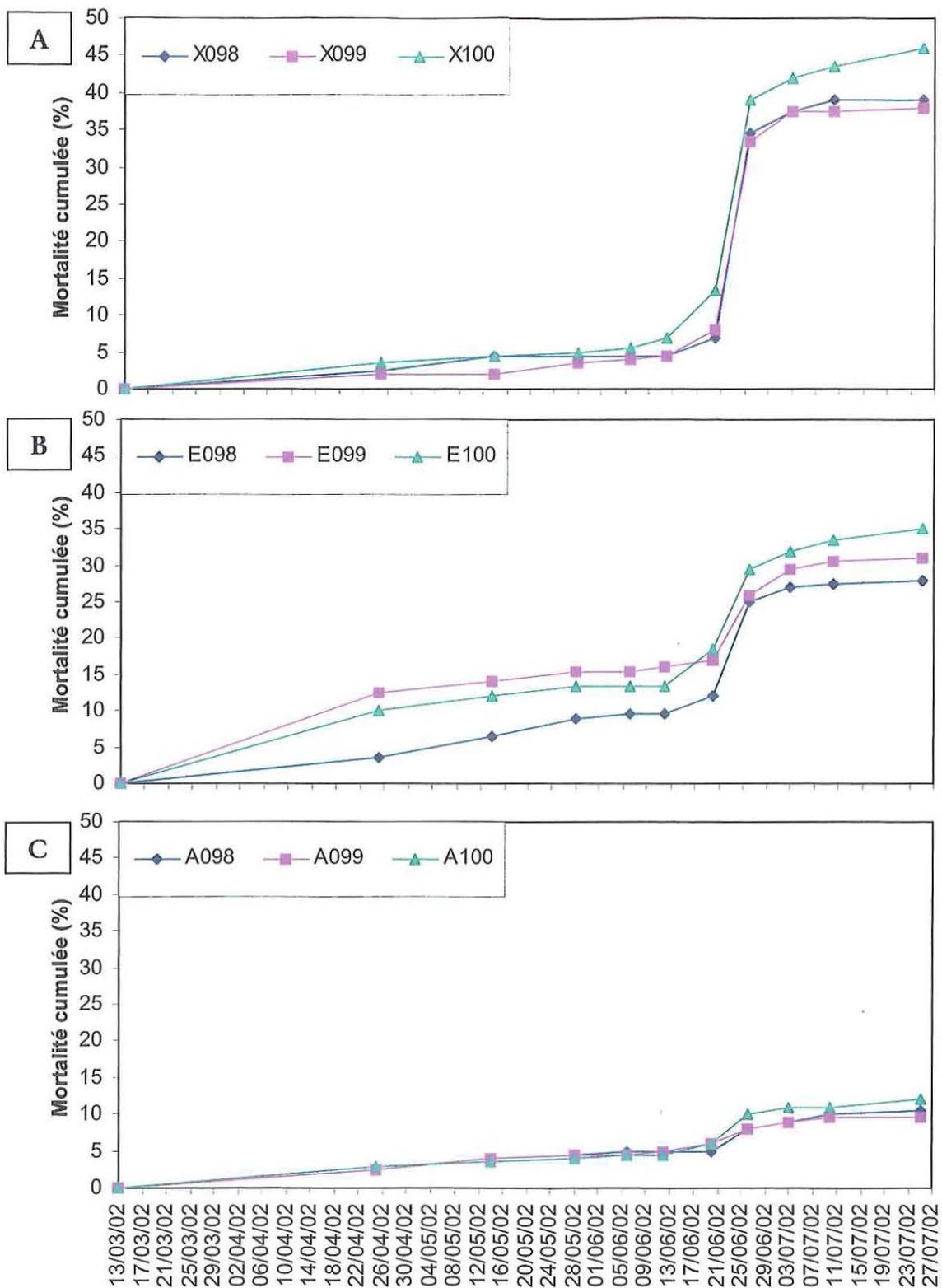


Figure 13 : Taux de mortalité cumulée (TMC) dans les poches de comptage des cheptels sur Perquis 15 cm : A, XS3 ; B, Diplo ; C, Triplo.

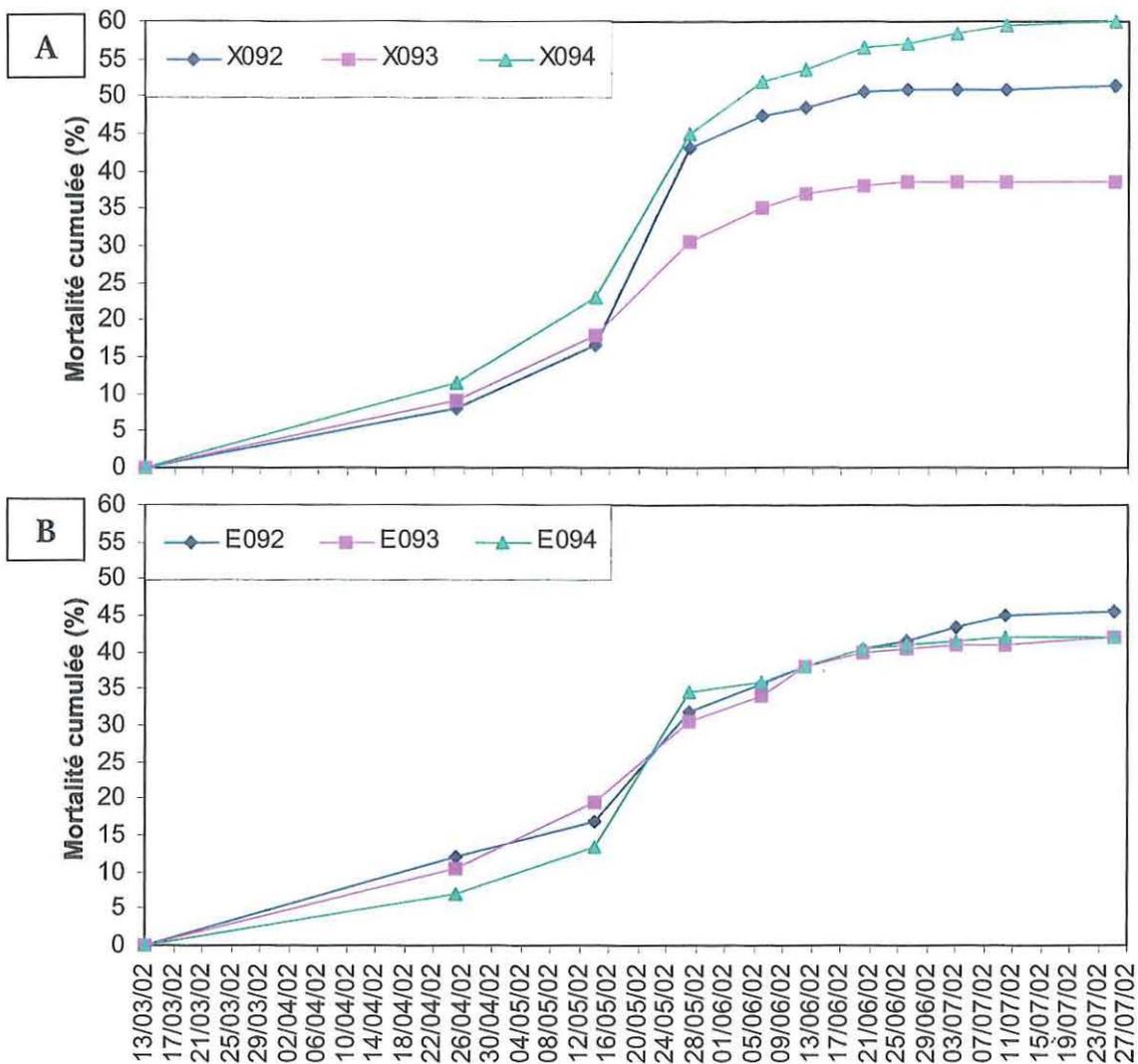


Figure 14 : Taux de mortalité cumulée (TMC) dans les poches de comptage des cheptels sur Artouan : A, XS3 ; B, Diplo.

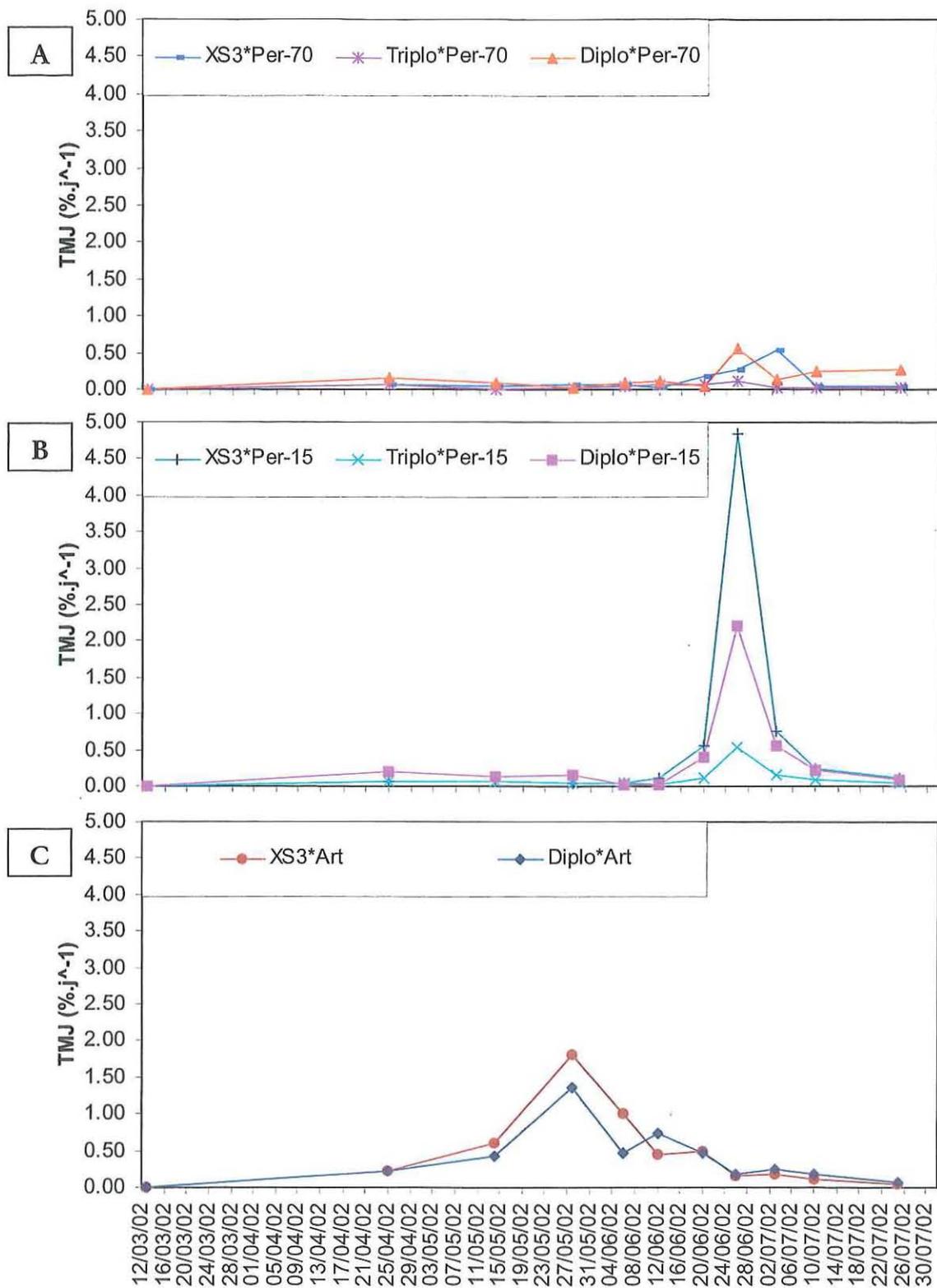


Figure 15 : Taux de mortalités journaliers moyens (TMJ) des cheptels : A, sur Perquis 70 cm ; B, sur Perquis 15 cm ; C, sur Artouan.

IV.3. Biométrie et biochimie

IV.3.1. Descripteurs de croissance

- Poids totaux

En début d'expérience, les poids totaux des XS3 et Triplo sont proches de 13 g et de 10 g pour les Diplo (*figure 16*). Le lot de XS3 sur Artouan a le poids total moyen le plus élevé en fin d'expérience avec une valeur supérieure à 45 g. Les lots de Diplo sur Artouan et de Triplo pour Perquis 15 cm ont un poids total proche de 35 g en fin d'élevage. Les valeurs les plus faibles sont inférieures à 25 g. Elles sont observées fin juillet pour les lots de Diplo sur Perquis 15 cm et 70 cm et pour les X-S3 sur Perquis 15 cm.

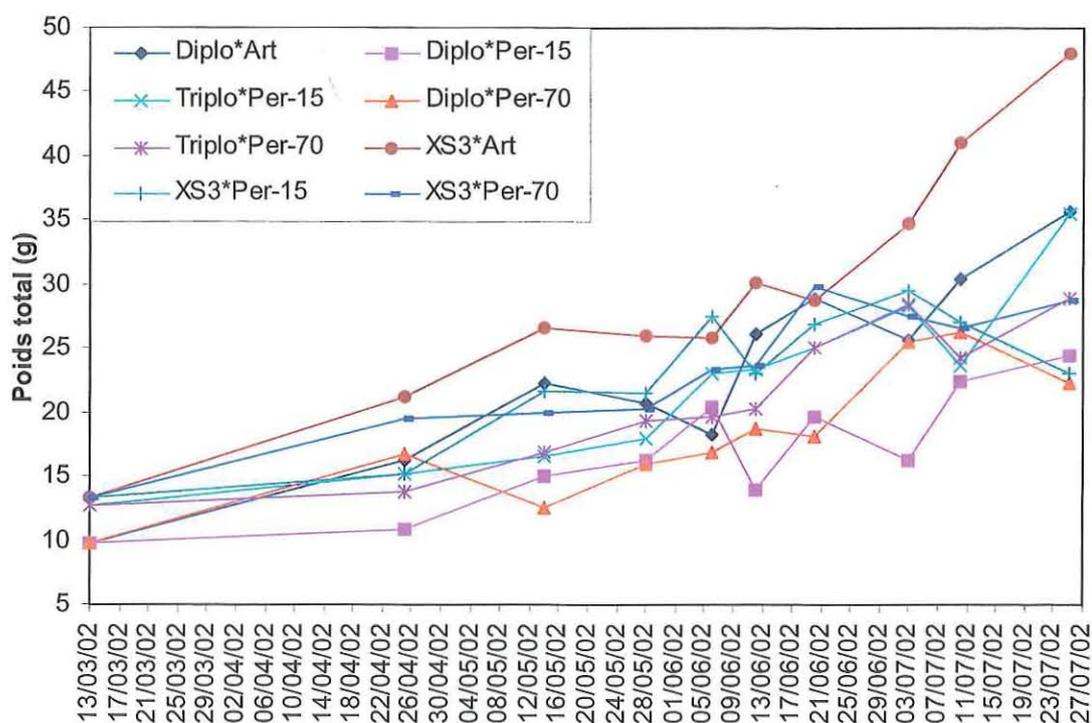


Figure 16 : Poids totaux au cours du temps pour les différentes conditions.

- Poids de coquille

En début d'expérience (T0), le lot de XS3 est constitué d'individus au poids de coquille moyen de 8.4 g et les deux autres lots ont un poids moyen initial compris entre 5 et 6 g (*figure 17*). A la fin d'expérimentation, les huîtres du lot X-S3 sur Artouan ont un poids de coquille moyen de 27 g, largement supérieur aux autres lots. Les lots de Diplo sur Artouan et de Triplo sur Perquis 15 cm ont un poids moyen proche de 20 g. Les lots de XS3 sur Perquis 15 cm et ceux de Diplo sur Perquis 70 cm présentent les plus faibles poids de coquille avec des valeurs inférieures à 14 g fin juillet.

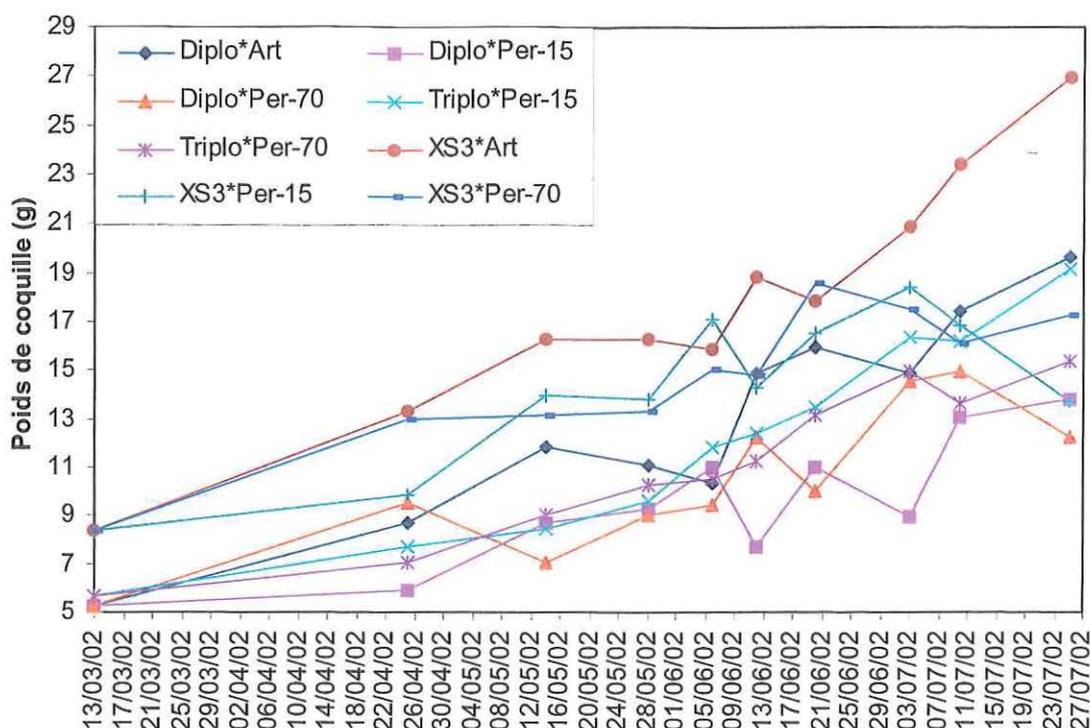


Figure 17 : Poids de coquille au cours du temps pour les différentes conditions.

- Poids secs

Les poids secs moyens initiaux sont de 0.26 g pour les lots XS3, 0.12 g pour les lots Diplo et 0.16 g pour les Triplo (figure 18).

Sur Perquis 70 cm, la prise de poids des Triplo est régulière avec un léger ralentissement après début juillet (figure 18A). Les individus du lot pèsent 0.71 g à la fin de l'expérience. Le comportement des deux lots diploïdes apparaît différent. En ce qui concerne les XS3, l'augmentation est continue entre la mi mars et fin juillet. Le poids final est d'environ 1 g. Pour les Diplo, la prise de poids est moins régulière avec un régression début mai et début juillet. Après une augmentation plus marquée entre fin juin et début juillet, le poids sec diminue légèrement jusqu'à 0.7g.

Dans le cas de l'environnement Perquis 15 cm, la prise de poids des Triplo est aussi régulière sur les tables surélevées et après le 25/06, le poids sec a une valeur proche de 0.8 g (figure 18B). La prise de poids pour les XS3 se révèle être moins régulière avec 2 périodes de diminution marquée début juin et entre fin juin et fin juillet. Le poids sec final est proche de 0.8 g. Pour les Diplo, après une augmentation progressive, une première perte de poids sec intervient la deuxième semaine de juin et une seconde entre le 20/06 et le 07/07. Le poids sec augmente ensuite rapidement et a une valeur de 0.88 g fin juillet.

La prise de poids sur Artouan est plus rapide que sur Perquis. Ainsi, la valeur de 1 g comme poids sec est atteinte fin mai pour les XS3 et avant la mi juin pour les Diplo (figure 18C). Ce lot présente une perte de poids début juin qui marque un ralentissement de croissance. Ensuite, la croissance est très marquée entre le 20/06 et le 10/07 et se stabilise mi juillet pour les XS3. L'augmentation du poids sec est très faible entre le mi juin et fin juillet pour les Diplo. Les poids finaux sont respectivement 2.01 g et 1.15 g.

Les différences entre la croissance sur table de 70 cm et celle sur table de 15 cm sont minimales. L'environnement sur Artouan apparaît plus favorable au développement des huîtres. Les poids secs en fin d'expérience des deux lots de diploïdes sont supérieurs à ceux obtenus sur estran.

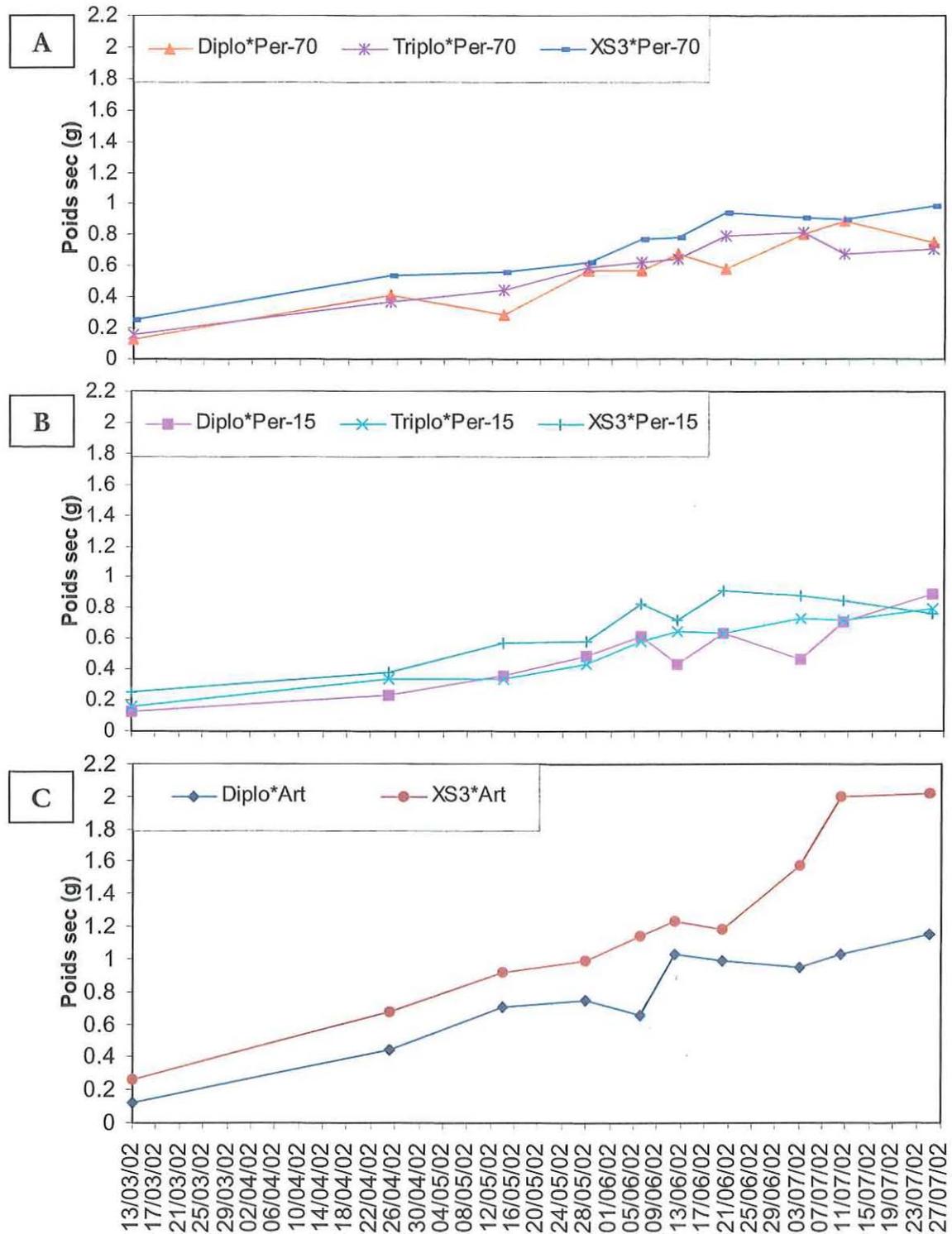


Figure 18 : Poids secs des cheptels au cours du temps : A, sur Perquis 70 cm ; B, sur Perquis 15 cm ; C, sur Artouan.

IV. 3.2. Indice de qualité Walne et Mann

Les indices de Walne et Mann sont des indices de qualité. Ils précisent le taux du remplissage de chair dans la coquille. Ils permettent de suivre la maturation et la qualité "globale" de l'huître. Les valeurs initiales des indices de Walne et Mann sont comprises entre 25 et 30 (*figure 19*).

Sur l'environnement estran à 70 cm du sol, l'augmentation de l'indice est progressive pour le cheptel XS3 (*figure 19A*). Son indice est proche de 57 fin juillet. L'indice de qualité des Diplo augmente très rapidement entre le 14/05 et 28/05. Ensuite il diminue et réaugmente à partir du 03/07 jusqu'à une valeur supérieure à 60. L'indice de Walne et Mann des Triplo augmente entre le 13/03 et le 26/04. Sa valeur se stabilise autour de 54, augmente légèrement et atteint 60 le 20/06. Ensuite l'indice diminue et est proche de 45 fin juillet.

L'augmentation de l'indice de qualité est assez régulière pour les Diplo entre le 13/03 et le 20/06 sur les tables à 15 cm du sol sur estran (*figure 19B*). L'indice passe d'une valeur de 25 à 57 et diminue jusqu'à environ 52 le 10/07. Après une nouvelle augmentation, la valeur finale fin juillet est de 65. L'indice de Walne et Mann augmente moins rapidement pour les XS3 et est moins régulier entre début juin et début juillet. La valeur de l'indice est de 55 le 25/07. Après une augmentation progressive depuis mi-mars (valeur initiale proche de 28), l'indice des Triplo sur Perquis 15 cm diminue progressivement après le 12/06. Sa valeur est proche de 41 fin juillet.

Sur Artouan, l'augmentation de l'indice de Walne et Mann est rapide pour les deux cheptels diploïdes entre le 13/03 et le 28/05 (*figure 19C*). L'indice pour les XS3 continue d'augmenter et est supérieur à 85 le 10/07. Ensuite il diminue et atteint 75 fin juillet. L'indice des Diplo diminue avec d'importantes fluctuations jusqu'à la fin juillet. La valeur finale de l'indice de qualité est de 57.

Les Triplo ont les plus bas indices de qualité à la fin de l'expérience avec des valeurs comprises entre 42 et 47 sur les deux environnements de Perquis. Les plus fortes valeurs sont enregistrées dans le cas du lot XS3 sur Artouan (valeur de 75) et des deux lots de Diplo sur Perquis (valeurs proches de 65).

Une première série d'analyse de variable à deux facteurs est réalisée afin de comparer les 3 cheptels entre eux sur les 2 environnements de Perquis (15 cm et 70 cm). Les effets "cheptel" et "site" et les interactions "cheptel * site" existantes sont présentées dans le tableau 3 et dans l'**annexe 6**.

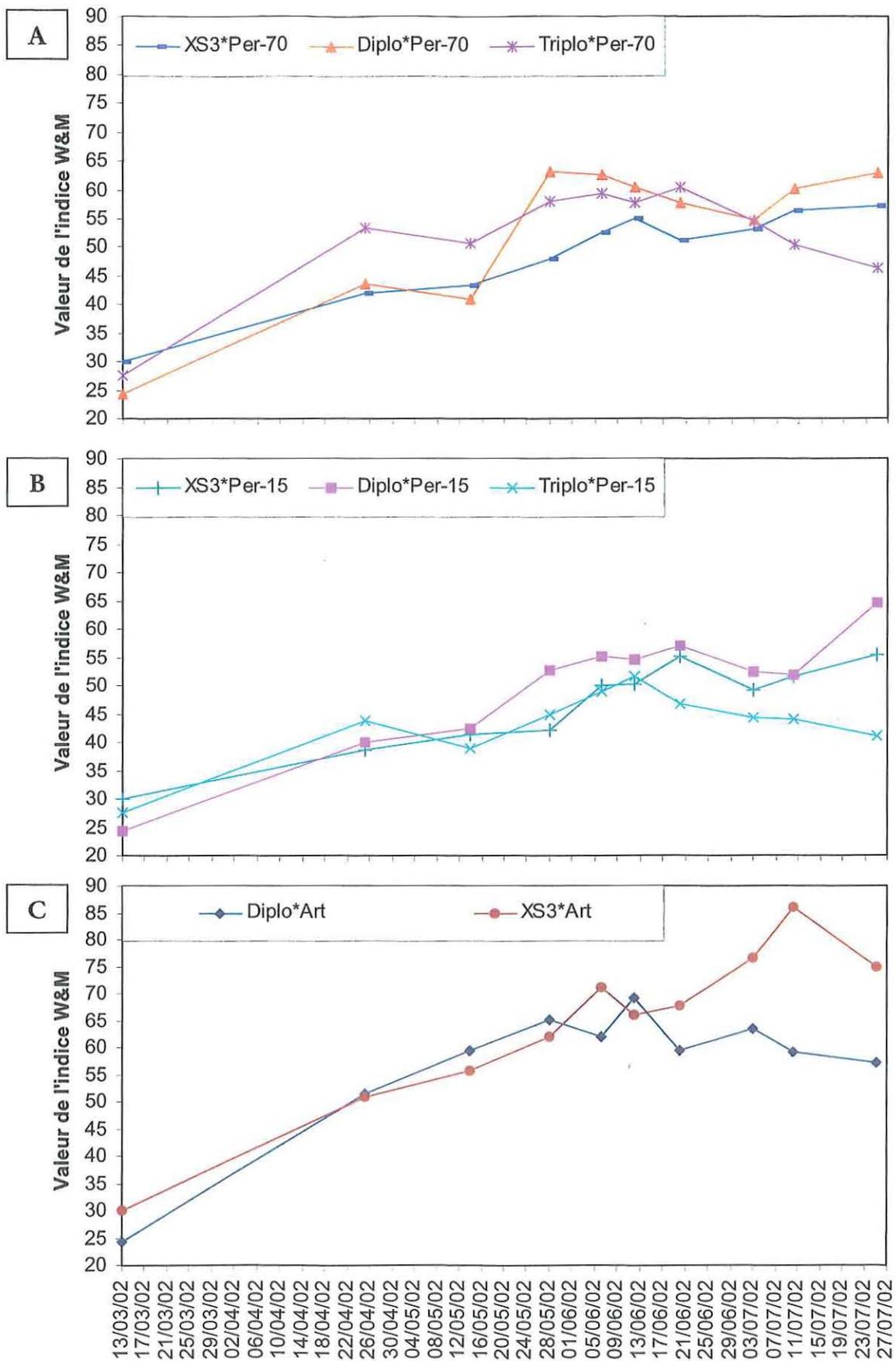


Figure 19 : Indices de Walne et Mann des cheptels au cours du temps : A, sur Perquis 70 cm ; B, sur Perquis 15 cm ; C, sur Artouan.

Tableau 3 : Analyse de variance des indices de Walne et Mann selon les facteurs : cheptel, site et interaction (cheptel * site).

Code Date	Effet Cheptel	Effet Site	Interaction Cheptel * Site	Durée d'élevage par période (jours)
T1 (25/04)	***	***	*	43
T2 (14/05)	NS	**	***	18
T3 (28/05)	***	***	NS	14
T4 (06/06)	***	***	*	9
T5 (12/06)	*	***	NS	6
T6 (20/06)	*	**	***	8
T8 (03/07)	*	***	*	13
T9 (10/07)	***	***	NS	7
T10 (25/07)	***	NS	NS	15
Global	***	***	***	133

Après 1 mois et demi d'élevage (T1), le lot des Triplo sur Per 70 est caractérisé par un indice de Walne et Mann (I_{WM}) plus élevé que le lot sur Per 15 avec une valeur de 53 par rapport à 44 (*figure 19*)². En ce qui concerne les lots diploïdes, la différence est minime avec une valeur autour de 42 pour les Diplo et 40 pour les XS3. Lors du deuxième point d'échantillonnage (T2), la différence apparaît toujours marquée entre les lots triploïdes sur l'environnement Per 70 et ceux sur Per 15 qui présentent l'indice le plus faible quelque soit le cheptel. Le troisième point (T3), après 2 mois et demi d'élevage, présente une première différence notable pour les lots de Diplo sur Per 70 par rapport à ceux sur Per 15, respectivement 63 et 53. Les I_{WM} des lots XS3 évoluent peu quelque soit l'environnement. La situation le 6 juin (T4) est équivalente à celle rencontrée à T3. Le cinquième point d'échantillonnage (T5) présente une première différence importante entre les lots XS3 sur Per 70 et ceux sur Per 15. Les valeurs sont respectivement 55 et 50. Ces indices sont faibles par rapport aux autres cheptels. Le 20 juin (T6) correspond à une augmentation importante des indices sur Per 15 pour les lots diploïdes. Ces derniers sont équivalents à ceux sur Per 70 avec des valeurs autour de 57 pour les Diplo. Ils sont supérieurs dans le cas des XS3. L'indice du lot sur Per 15 est de 55 et celui sur Per 70 de 51. L'indice des Triplo sur Per 15 reste constant autour de 47 et celui des Triplo sur Per 70 est proche de 60. Pour les lots diploïdes, il y a une augmentation des valeurs d'indice, surtout dans le cas de l'environnement Per 15 lors du huitième point (T8). Le point du 10 juillet (T9) met en évidence une diminution de l'indice de qualité pour les Triplo sur Per 70 qui atteint 50 et est proche de celui du lot sur Per 15 avec un indice de 44. Ce sont les plus faibles valeurs quelle que soit la condition. Ainsi, l'augmentation se poursuit dans le cas des diploïdes avec des indices autour de 52 sur Per 15. Le dernier point (T10) confirme cette observation avec des valeurs d'indices autour 64 pour les Diplo et de 56 pour les XS3 sur les deux environnements. Les indices les plus faibles

² Le T0 (13/03) n'a pas été pris en compte car l'objectif de l'analyse est de tester les performances d'élevage et non pas la qualité initiale des cheptels.

correspondent à ceux des Triplo qui sont légèrement plus élevés sur Per 70 que sur Per 15 avec respectivement des valeurs de 46 et de 41.

L'analyse de tous les échantillonnages confondus (tableau 4 et figure 20) met en évidence :

- un effet cheptel significatif ($p < 0.001$) avec trois valeurs moyennes d'indice de qualité distinctes,
- un effet site significatif ($p < 0.001$),
- une interaction site-cheptel significative ($p < 0.001$). L'indice de Walne et Mann des Triplo est beaucoup plus faible sur Per 15 que sur Per 70 alors que la différence est moindre pour les autres cheptels. L'indice moyen des Triplo sur Perquis 70 cm est proche de 55. L'indice moyen des Triplo sur Perquis 15 cm est plus faible avec une valeur proche de 45.

Tableau 4 : Analyse de la variance des indices de Walne et Mann entre les trois cheptels sur les deux environnements de Perquis, toutes dates prises en compte sauf T0 (nombre total d'individus = 1597).

Facteur	Somme des carrés (SC)	Degré de liberté (DDL)	Valeur du test de Fisher (VF)	Valeur de la probabilité (VP)
Cheptel (C)	7736.45	2	35.04	0.0000
Site (S)	11640.4	1	105.44	0.0000
Interaction C*S	3503.49	2	15.87	0.0000
Calcul résiduel	175760.0	1592		

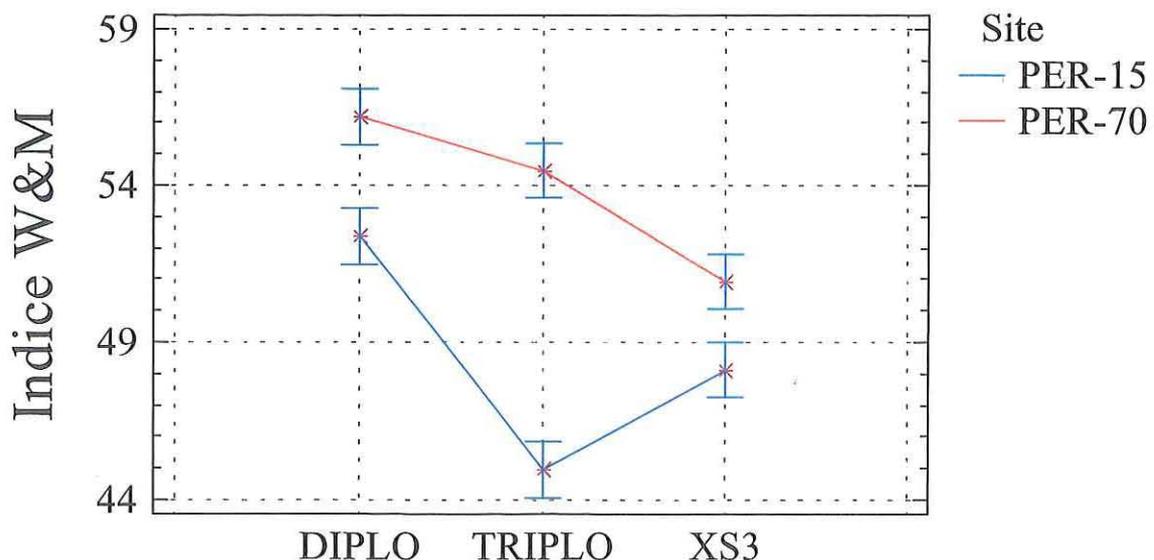


Figure 20 : Analyse de la variance des indices de Walne et Mann des trois cheptels sur les deux environnements de Perquis toutes dates prises en compte sauf T0.

Une deuxième série d'analyse de variance vise à comparer l'indice de qualité Walne et Mann des deux cheptels diploïdes (XS3 et Diplo) sur les trois environnements. Comme lors de la première analyse, le T0 n'est pas retenu.

L'analyse de tous les échantillonnages confondus (tableau 5 et *figure 21*) met en évidence :

- un effet cheptel non significatif masqué par une interaction très forte.
- un effet site significatif ($p < 0.001$),
- Une interaction significative ($p < 0.001$) prouve l'impact déterminant du site sur les performances zootechniques des cheptels. Ainsi l'indice de qualité moyen des XS3 est meilleur sur Artouan que sur Perquis. L'indice moyen des XS3 sur Perquis 15 cm est de 47 et de 68 sur Artouan. La différence entre les deux valeurs est donc d'environ 40 %. Cette différence est inférieure à 20 % pour les Diplo avec un indice moyen de 52 sur Perquis 15 cm et de 61 sur Artouan.

Tableau 5 : Analyse de la variance des indices de Walne et Mann des deux lots diploïdes sur les trois environnements, toutes dates prises en compte sauf T0 (nombre total d'individus = 1594).

Effet	Somme des carrés (SC)	Degré de liberté (DDL)	Valeur du test de Fisher (VF)	Valeur de la probabilité (VP)
Cheptel (C)	207.652	1	1.10	0.2938
Site (S)	57019.2	2	151.30	0.0000
Interaction C*S	13031.4	2	34.58	0.0000
Calcul résiduel	299420.0	1589		

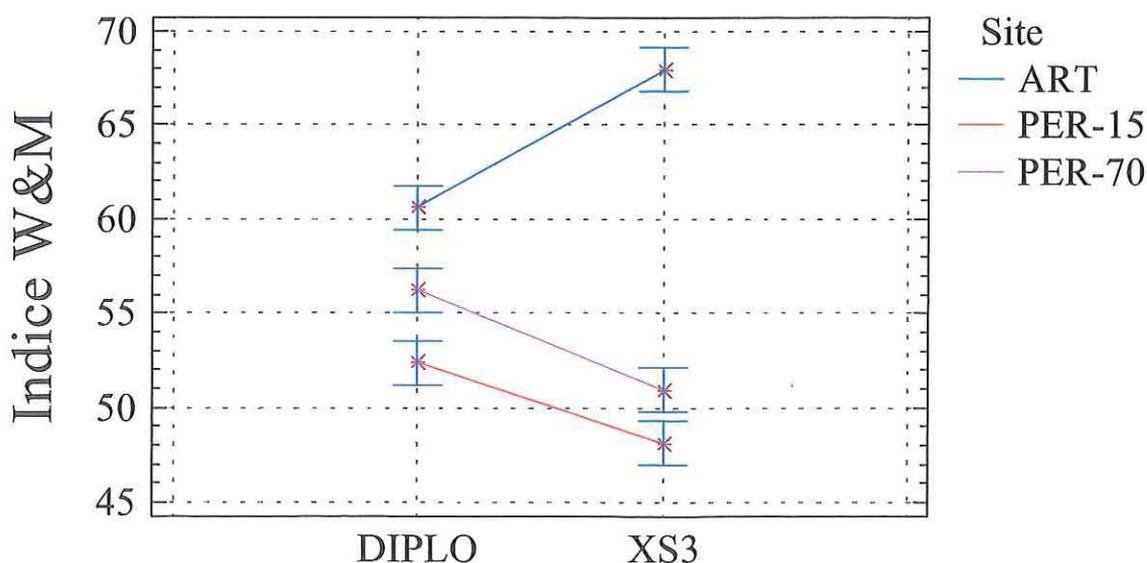


Figure 21 : Analyse de la variance des indices de Walne et Mann entre les deux cheptels diploïdes sur les 3 environnements toutes dates prises en compte sauf T0.

Les indices de Walne et Mann les plus élevés sont obtenus sur Artouan et les plus faibles sur Perquis 15 cm. Ainsi, la valeur moyenne de l'indice est proche de 64 sur Artouan, autour de 53 sur Perquis 70 cm et inférieure à 51 sur Perquis 15 cm (*figure 22*).

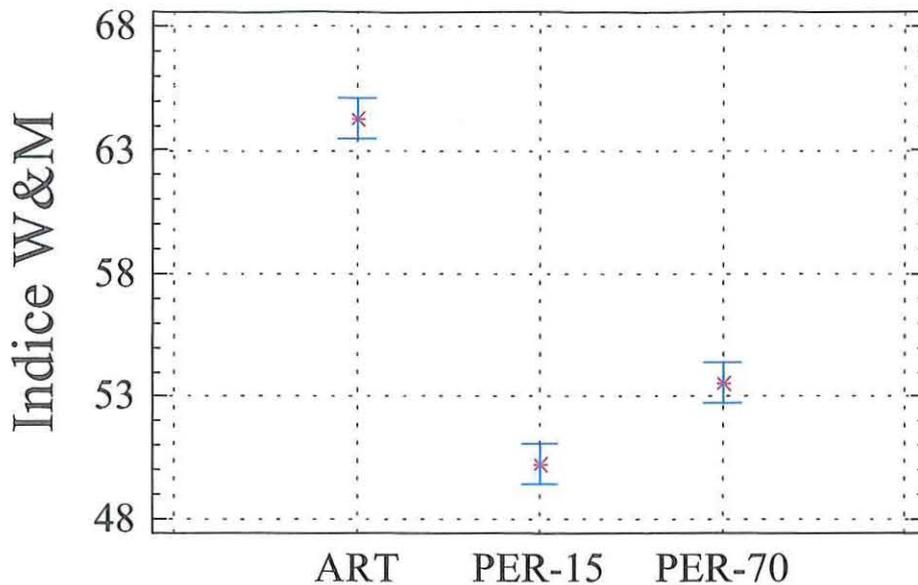


Figure 22 : Comparaison de l'indice de Walne et Mann moyen des lots diploïdes sur les 3 environnements toutes dates prises en compte sauf T0.

IV.3.3. Analyse biochimique : la teneur en lipides

La teneur en lipide représente un indicateur de la maturation sexuelle. Elle permet de comparer l'état d'avancement de la maturation des cheptels sur les différents environnements au cours du temps.

- Lot XS3

La teneur en lipide au début de l'expérience est proche de 8 % du poids de chair (*figure 23A*). L'évolution de la teneur en lipides est progressive et plus rapide sur Artouan que sur Perquis. Ainsi, la valeur des 12 % est presque atteinte vers la mi mai pour les huîtres du marais et début juin pour les lots sur l'estran. Après une baisse importante fin mai, les huîtres sur Artouan sont caractérisées par une teneur en lipides d'environ 15 % début juin. A la même date, elle est comprise entre 12 et 13 % pour les lots sur Perquis. Une diminution de la teneur est observée la deuxième semaine de juin pour le lot sur Artouan et celui sur Per 15. La teneur en lipides augmente ensuite plus rapidement pour le lot sur Per 15 que celui sur Per 70 jusqu'à fin juillet. La valeur se stabilise autour de 15 % pour le lot sur Artouan à partir du 10/07. La teneur en lipide atteint presque 14 % pour le lot sur Per 70 et presque 16 % pour celui sur Per 15.

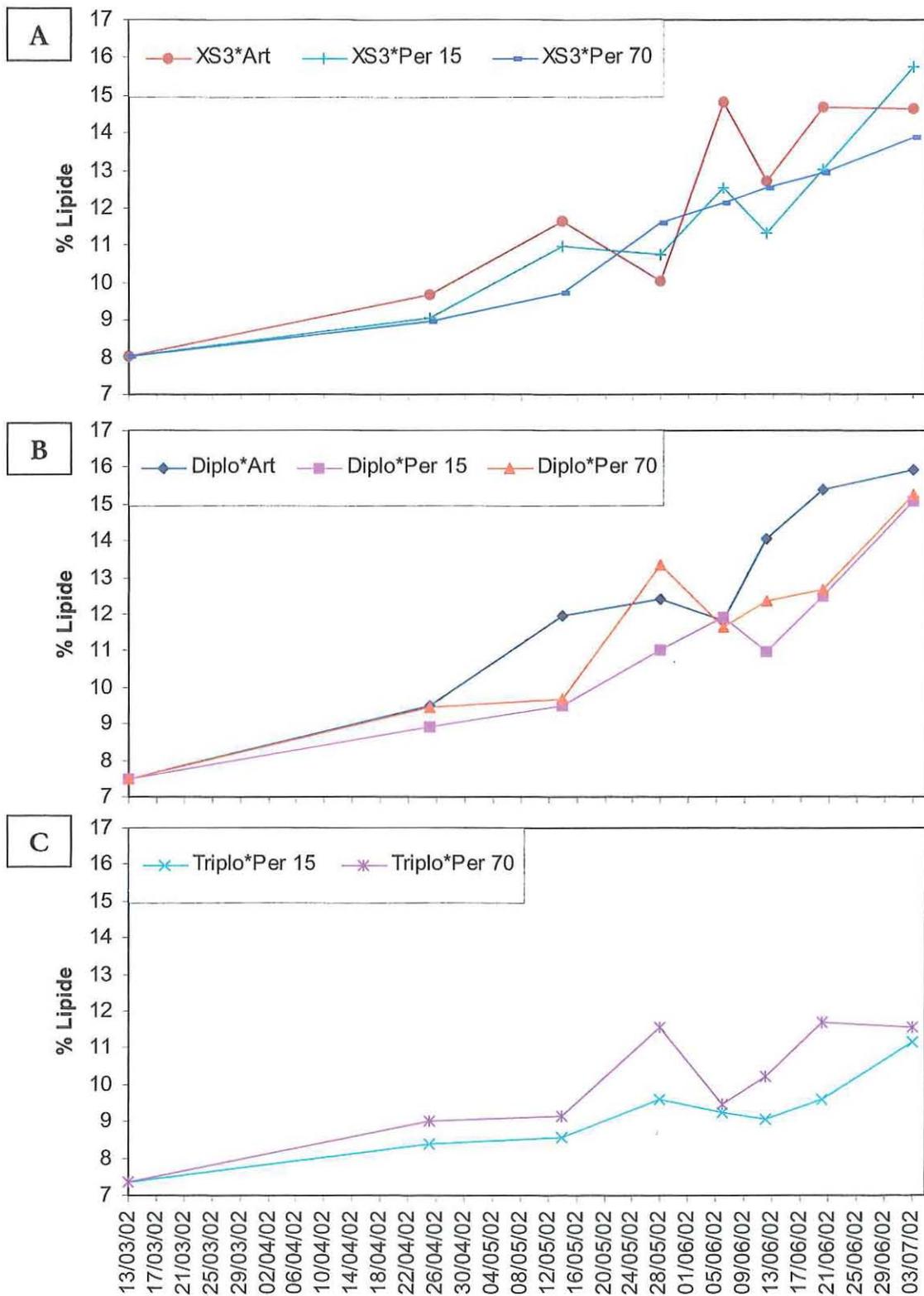


Figure 23 : Teneurs en lipides des cheptels au cours du temps : A, XS3 ; B, Diplo ; C, Triplo.

- Lot Diplo

La teneur en lipide lors de la mise sur site est de 7.5 % (*figure 23B*). La maturation est plus rapide sur Artouan que sur estran. De même que pour XS3, la valeur des 12 % est atteinte sur Artouan vers la mi mai. Cette valeur est dépassée fin mai pour les Diplo sur Per 70 et à la fin de la première semaine de juin pour le lot Diplo sur Per 15. A la date du 6 juin, les valeurs sont équivalentes quelque soit l'environnement. Ensuite, il y a augmentation rapide de la teneur en lipide sur Artouan avec une valeur supérieure à 15 % le 20 juin. Sur Per 70, le taux diminue en dessous de la valeur des 12 % et l'atteint de nouveau après la mi juin. Pour le lot sur Per 15, la teneur en lipide est proche de 13 % le 20/06. L'augmentation de la teneur en lipide est ensuite rapide jusqu'à début juillet pour les deux lots sur Perquis. Les teneurs sont supérieures à 15 % sur Artouan et sur estran en fin d'expérimentation.

- Lot Triplo

La teneur en lipide lors du premier échantillonnage est comprise entre 7 et 7.5 % (*figure 23C*). L'évolution est relativement lente quelle que soit la condition jusqu'à mi juin avec valeurs autour de 9 %. Ensuite la teneur augmente plus rapidement sur Per 70 que sur Per 15 : la teneur est respectivement de 11.5 % et de 9.5 % pendant la deuxième quinzaine de mai. Il y a une diminution de la teneur avec un retour à une valeur proche de 9 % pour les deux lots de Triplo. Ensuite, la teneur en lipide augmente et se stabilise à partir du 20/06 autour d'une valeur de 11.5 % pour les Triplo sur Per 70. La teneur augmente plus régulièrement pour les Triplo sur Per 15 et est comprise entre 11 et 11.5 % début juillet.

- Comparaison inter cheptel

Après la première semaine de juin, la teneur en lipide pour les lots diploïdes sur Artouan est supérieure à celle des lots sur estran. La valeur des 15 % est atteinte plus rapidement sur Artouan par les XS3 que par les Diplo (début juin par rapport à mi juin). Sur Perquis, elle est atteinte pour les deux cheptels à partir de juillet. Le valeur des 12 % de teneur en lipide n'est pas atteinte dans le cas des Triplo, contrairement aux autres cheptels.

De mi mai à mi juin, plusieurs fluctuations importantes de la teneur en lipides de la chair des cheptels apparaissent. Les valeurs pour les lots diploïdes sur les deux environnements de Perquis apparaissent équivalentes au cours du temps. La teneur en lipides du lot de Triplo sur Per 70 est supérieure à celle du lot de Triplo sur Per 15 au cours de l'expérimentation.

IV.4. Relation Environnement-Mortalité-Biométrie

La mise en relation entre les différents paramètres environnementaux, les descripteurs de croissance et de biochimie ainsi que les taux de mortalité peut permettre une meilleure compréhension du phénomène de mortalité.

IV.4.1. Ecart journaliers de la teneur en oxygène de l'eau

La teneur en oxygène constitue un indicateur de l'abondance phytoplanctonique (Savenkoff *et al.*, 1995). Sur Artouan, les valeurs des Ecart journaliers d'Oxygène (EO) sont plus élevées que sur Perquis entre mars et juin (*figure 24*). Le milieu des marais est plus confiné et plus propice au développement phytoplanctonique que l'estran. Les activités de photosynthèse et de respiration sont plus marquées. Les premiers "blooms"^(L) phytoplanctoniques apparaissent fin mai avec une augmentation de la valeur des écarts qui passent de 40 à 80 % en moyenne. Après un ralentissement début juillet, les activités des phytoplanctoniques redeviennent importantes avec des EO supérieures à 100 %.

Les valeurs des écarts sont relativement faibles sur Perquis (inférieures à 50 %) jusqu'à la deuxième semaine de juin. Ensuite, une augmentation des EO est observée jusqu'au 21/06. Un bloom se développe à nouveau fin juin après une période de faible activité phytoplanctonique. Les valeurs des écarts varient de 30 et 120 % jusqu'à la fin juillet. La teneur en oxygène sur estran présente une plus grande variabilité au cours des semaines. Le développement du phytoplancton est dépendant des variations des marées.

La mortalité observée sur Artouan s'est déroulée avant l'apparition du premier bloom phytoplanctonique. La mort des individus est plus à corrélée avec un stress thermique associé probablement à d'autres causes environnementales et physiologiques.

La mortalité observée sur Perquis le 26/06 peut être les conséquences des EO importants observés à partir du 16/06. La mort des individus n'est pas instantanée. La réaction de l'individu est décalée par rapport à la période de stress. Les effets ne sont pas observables le 20/06 mais seulement lors du prélèvement du 26/06.

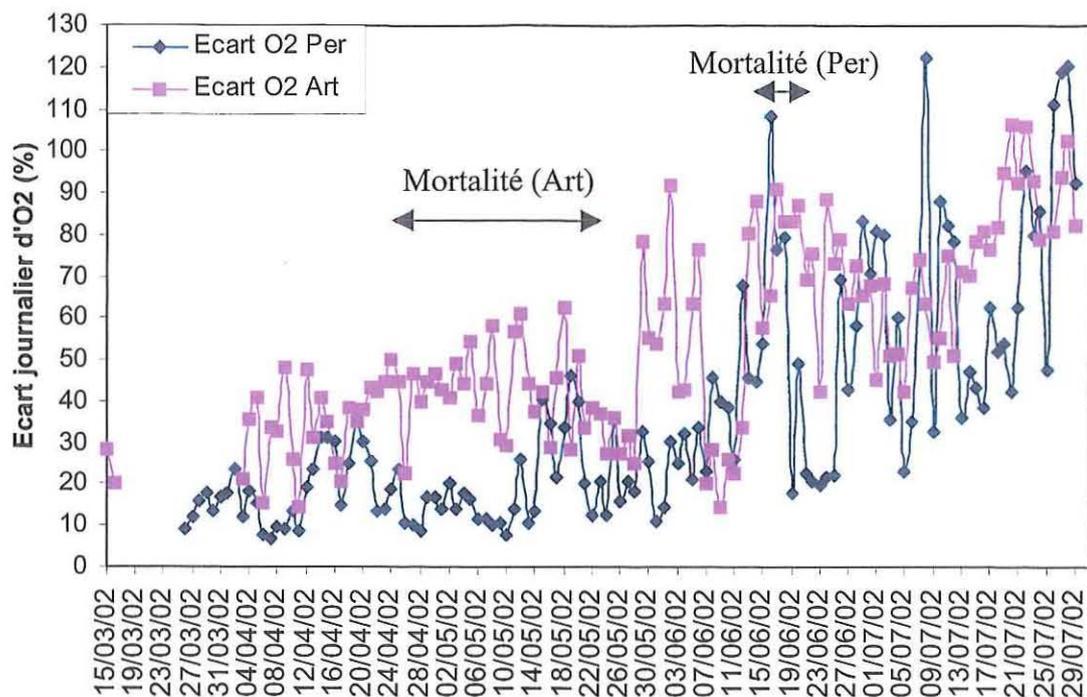


Figure 24 : Ecarts journaliers d'oxygène (EO) sur Perquis et Artouan.

IV.4.2. Indice d'Ecart Thermique

L'Indice d'Ecart Thermique (IET) est la plus grande variation thermique journalière subit par les huîtres à l'immersion (*figure 25*). Il est calculé pour un pas de temps de 4 heures. Sur Artouan, plusieurs jours sont définis par un IET supérieur à 1. Ainsi, la troisième semaine d'avril est caractérisée par des journées à fort IET. Les mortalités des huîtres sur Artouan apparaissent la semaine suivante. Le phénomène se prolonge en mai après deux autres journées avec un IET supérieur à 1. Ensuite, les huîtres sont moins sensibles aux stress thermiques durant les mois de juin et de juillet.

Les valeurs maximales d'IET sur Perquis sont plus élevées que celles observées sur Artouan. Les variations de température au cours des périodes d'immersion sont relativement importantes. Sur le pas de temps de 4 heures, la température de l'eau peut augmenter très rapidement en fonction de l'ensoleillement et de la hauteur de la colonne d'eau au dessus des huîtres. Les IET au cours de l'étude sont généralement inférieurs ou égaux à 1. Il existe cependant des journées avec un indice supérieur à 2 : le stress thermique subit par les huîtres est relativement élevé. Ainsi, vers la mi juin, il y a 2 jours caractérisés par des IET compris entre 2.5 et 3. Cet événement précède la période de mortalité et peut en être un des déclencheurs. De même au cours de la semaine de "crise" de mortalité, les valeurs d'IET sont par deux fois supérieures à 2.5.

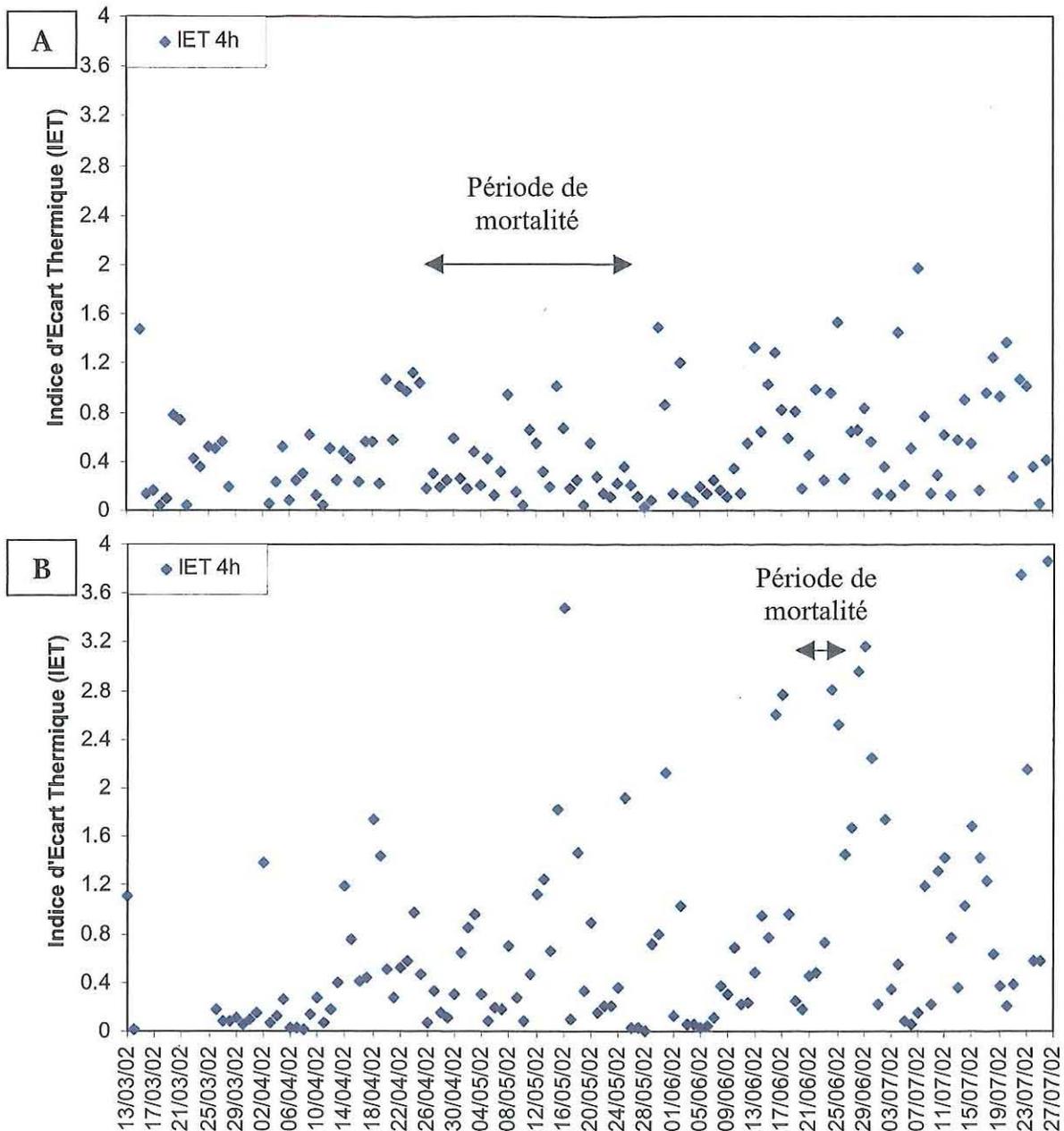


Figure 25 : Indice d'Ecart Thermique (IET) maximal en immersion : A, sur Artouan ; B, sur Perquis.

IV.4.3. Cumul des degrés jours

Le Cumul des Degrés jours est un cumul de "degrés quarts d'heure journaliers" dans l'eau (CD). L'augmentation du CD est plus rapide sur Artouan que sur Perquis (figure 26). Les valeurs passent de 0 à plus de 100 000 °C en 4 mois et demi d'expérimentation en marais et de 0 à plus de 50 000 °C sur estran. Ainsi aux alentours du 10/07, le cumul est de 90 000 °C sur Artouan et 42 000 °C sur Perquis. Il y a presque un rapport de 1 à 2 entre les valeurs de CD des deux écosystèmes.

Le CD peut représenter un indicateur "d'effet thermique" agissant sur d'autres facteurs (notamment la maturation) associés à la mortalité des huîtres. Dans le cas de cette étude, pour deux écosystèmes différents, une crise de mortalité survient lorsque le cumul a dépassé 30 000 °C. Ce phénomène se retrouve sur les deux écosystèmes avec un décalage d'environ 1 mois.

Le cheptel XS3 est celui qui a connu les plus forts taux de mortalité sur Artouan et Perquis. Il est donc utilisé comme référence dans l'étude et la compréhension de la mortalité.

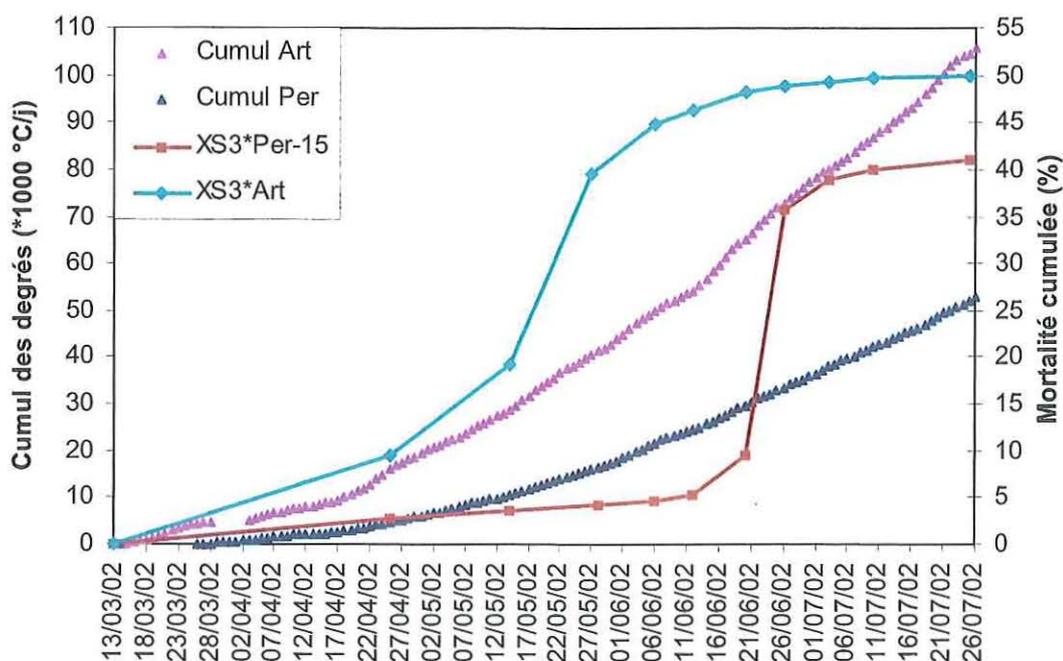


Figure 26 : Cumul des degrés quarts d'heure (CD) au cours du temps sur l'estran et en marais en relation avec la mortalité du cheptel XS3 (moyenne des 3 poches de comptage).

IV.4.4. Association indice de qualité – température – mortalité

Sur Artouan, les phénomènes de mortalité apparaissent après une période de deux jours (le 24/04 et le 25/04) caractérisés par des températures supérieures à 20 °C (figure 27A). Ensuite à partir du 15/05 jusqu'au 22/05, la température est autour de 20°C : la mortalité s'accélère. Les températures augmentent ensuite dans la saison mais le stade de maturation critique est passé. La valeur de l'indice de Walne et Mann ne varie pas en fonction de la température. La hausse de température jusqu'à 27°C le 17 juin n'est pas suivie d'une diminution de l'indice de qualité. L'indice augmente jusqu'à 85 le 10 juillet puis diminue et atteint 75 fin juillet. Le taux de mortalité cumulée n'évolue plus et stagne autour de 50 % lors de ce pic de température.

Sur Perquis, la mortalité se déclenche également à partir d'une certaine valeur de température. Ainsi, entre le 17 et le 22 juin, la température est proche de 20 °C et la forte augmentation du taux de mortalité survient entre le 20 et le 26 juin. Le pic de température n'a pas entraîné une forte diminution de l'indice de qualité de l'huître. L'augmentation des valeurs de l'indice est régulière au cours du temps. L'indice passe de 30 à 55 avec de légères

fluctuations en juin. Lorsque la température dépasse une nouvelle fois 20°C fin juillet, le niveau de mortalité n'augmente plus.

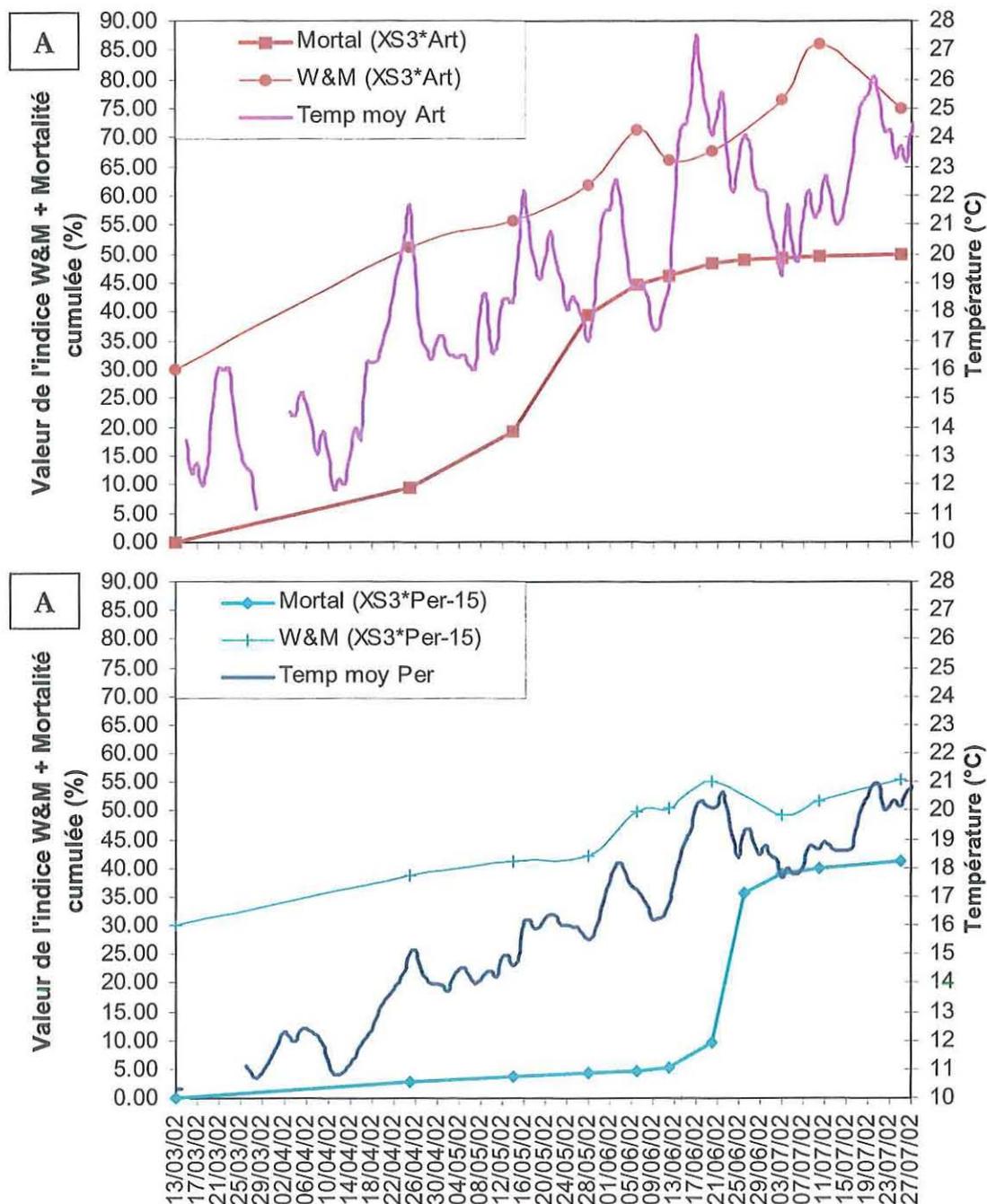


Figure 27 : Indice de Walne et Mann associé à la mortalité du cheptel XS3 et à la température de l'eau de mer : A, sur Artouan ; B, sur Perquis.

V. DISCUSSION

V.1. Origine et historique d'élevage des cheptels

La forte variabilité génétique des huîtres diploïdes d'origine naturelle est à opposer à celle des XS3 et des triploïdes. En effet ces lots proviennent d'écloserie et ont une variabilité génétique faible. Ainsi les XS3 proviennent du croisement de 6 mâles avec 24 femelles et les Triplo du croisement de 2 mâles et 17 femelles. Dans le cas des Diplo, la fécondation s'est déroulée dans le bassin avec le croisement des gamètes de centaines de milliers d'huîtres. Le brassage génétique a donc été très important.

Le cheptel XS3 a toujours vécu en marais et ne s'est pas adapté à un nouveau milieu de vie. Normalement, les performances de croissance doivent être meilleures à proximité du sédiment car le temps de résidence dans l'eau est plus important. Cependant, pour les XS3, la différence est de moins de 4 % en terme de prise d'indice Walne et Mann et de 10 % pour les Diplo. Ce résultat tend à montrer que le cheptel XS3 a "gardé en mémoire" ses conditions d'élevage antérieures.

XS3 n'avait jamais exprimé de mortalité depuis le stade naissain. Les Diplo et les Triplo ont déjà passé une année sur estran et ont connu une première sélection naturelle. Les individus trop sensibles n'ont pas survécu. Ainsi les individus XS3 placés dans un nouvel environnement ont dû s'acclimater ou "périr". Il y a passage d'un métabolisme aérobie en marais à une alternance aérobie-anaérobie sur estran. Les résultats de mortalité sont donc plus élevés chez les individus diploïdes XS3 que ceux des Diplo.

V.2. Qualité de l'environnement

- Influence de la température et de la salinité

Trois hausses de températures importantes sont suivies de fortes diminutions sur Artouan. Elles se sont déroulées pendant la période de mortalité. Ainsi, l'élévation de la température induit un besoin accru en oxygène chez l'huître *Crassostrea gigas* (Goulletquer *et al.*, 1998) et peut s'avérer critique en période de maturation (Soletchnik *et al.*, 1997a). Le stress thermique apparaît donc être un facteur très important de déclenchement de mortalité et est à corrélérer avec la fragilité des huîtres en période pré-ponte.

La mortalité s'est déclenchée pratiquement au même moment sur Perquis et Artouan en terme de cumul de degré quart d'heure. La valeur "seuil" de 30 000 °C est vérifiée pour les deux écosystèmes alors que l'immersion est totale en marais et seulement de 70 % du temps sur estran. L'influence des stress thermiques en exondation apparaît donc limitée dans le déclenchement des mortalités.

La température associée aux mortalités est supérieure ou égale à 19°C (MOREST, 2002). Dans le cadre de l'étude, une température de 20 °C qui précède une période de mortalité quel que soit le site expérimental.

La claire est un milieu fermé et une augmentation de la température accélère l'évaporation. La salinité du milieu augmente. A certaines dates, les diminutions brutales de la salinité du

marais peuvent s'expliquer par un apport d'eau douce lors des précipitations. L'augmentation de la salinité dans le marais peut favoriser le développement des mortalités.

- Teneur en oxygène et blooms phytoplanctoniques

Les variations journalières de la teneur en O₂ et en particulier l'augmentation de l'O₂ durant l'après-midi sont associées au développement du phytoplancton. Le phytoplancton produit de l'O₂ le jour et le consomme la nuit : phénomène de photosynthèse et de respiration.

Les écarts d'O₂ sont plus importants entre le jour et la nuit à partir de mi-juin dans la claire. Un bloom phytoplanctonique se développe dans ce milieu confiné. La prolifération du phytoplancton est la cause directe de l'augmentation des écarts journaliers de la teneur en oxygène.

Les fluctuations journalières d'O₂ sont plus marquées sur Artouan que sur Perquis. Sur estran, les fluctuations sont plus importantes en période de mortes eaux que de vives eaux. Les périodes de mortes eaux sont caractérisées par un faible taux de renouvellement d'eau, ce qui favorise le développement des blooms phytoplanctoniques. Le milieu est alors plus confiné. Le temps de résidence de la masse d'eau devient plus important. Les fluctuations d'O₂ augmentent et le milieu devient plus "fragile". En vives eaux, le courant est plus important, le milieu plus agité et le développement des blooms est limité.

Les résultats tendent à prouver qu'au dessus de 18 °C, le déclenchement d'un bloom phytoplanctonique peut survenir. Celui-ci est favorisé à des taux de salinité élevés dans un environnement relativement calme (Kautsky, 1995). De plus de faibles turbidités sont également favorables au bloom (Christou *et al.*, 1995). Une surcharge phytoplanctonique peut s'avérer néfaste pour le milieu et le développement des huîtres. Des phénomènes d'hypoxie peuvent survenir la nuit si la consommation en oxygène est trop importante.

Des phénomènes "d'hypoxie^(L)" ont été observés sur Artouan lors de la deuxième quinzaine de mai et de la deuxième semaine de juin. Des conditions météorologiques particulières peuvent expliquer ce phénomène : dans le cas d'une dépression, la pression atmosphérique est faible et l'eau est dessaturée en O₂ (données Météo France, 2002). Les hypoxies sont amplifiées en marais. Le bassin a un rôle tampon sur le banc de Perquis. Le milieu estran est plus ouvert que celui d'Artouan.

- Méthodologie

Les changements de sonde ne permettent pas d'obtenir une mesure parfaitement "continue". La valeur moyenne à la date du changement est calculée avec un nombre restreint de données.

Le calibrage de la sonde à oxygène s'est souvent révélé délicat. En effet, la pression atmosphérique au moment de l'étalonnage sert de référence pendant la période entre deux échantillonnages. Ce protocole induit donc un biais car la pression atmosphérique n'est pas constante au cours du temps. Ainsi, le 100 % d'oxygène théorique peut varier entre deux échantillonnages de plus ou moins 10 %. Les données manquantes sur les graphiques traduisent des altérations de la sonde à oxygène.

Les espaces vides au début des courbes de cumul des degrés indiquent une absence de données. Au début de l'expérimentation, la température de l'eau est rarement supérieure à 10 °C. Le valeur du CD est faible au cours des mois de mars et avril.

La mortalité en claire est très importante contrairement aux résultats obtenus précédemment par Robert *et al.* (1998). Un problème dans la gestion de l'eau peut être évoqué. En effet, le renouvellement d'eau a été réduit pendant pratiquement 3 semaines durant le mois de mai et les huîtres étaient immergées dans une faible lame d'eau. Les huîtres ont donc subi des contraintes environnementales très particulières et un épisode de mortalité est survenu. La claire devait servir de témoin sans mortalité par rapport à l'estran mais les problèmes techniques ont contrarié les hypothèses expérimentales.

Sur Perquis, 2 périodes sont caractérisées par des teneurs en oxygène supérieures à 140 %, la première semaine et la troisième semaine de juin. Il peut y avoir une explication technique (mauvais étalonnage) ou une cause biologique (bloom phytoplanctonique). Les données de chlorophylle dans le bassin (directement liée à l'activité photosynthétique du phytoplancton), issues de la base hydrologique du LCPC valident vraisemblablement la deuxième hypothèse (Soletchnik, com. pers.).

Les suivis environnementaux effectués en 2002 sont les plus précis obtenus depuis 1997. En effet, la période d'étude est plus longue que les années précédentes et les mesures des sondes "YSI" se sont révélées fiables pour les deux environnements. Le protocole expérimental mis en place cette année avec alternance de deux sondes chaque semaine sur Perquis permet l'enregistrement d'un grand nombre de mesures hydrologiques.

V.3. Réponses Zootechniques

- Comparaison avec les années précédentes

Les résultats obtenus en 2002 sont comparables à ceux obtenus les années passées. Les taux de mortalités cumulées sont compris entre 9 et 19 % pour l'élevage surélevé et entre 27 et 42 % pour celui à moins de 15 cm du sol (tableau 6).

Le taux de mortalité cumulée sur table en 2002 est de 19 %. Il est important mais reste inférieur à la valeur de 24 % observée par Mineur en 1999. La valeur de 31 % apparaît être du même ordre de grandeur que celle enregistrée par Forest (1997), Fruchard (1998) et Mineur (1999). Le plus fort taux de mortalité pour l'élevage à plat est de 42 % (Remoué, 2000). La valeur la plus faible est de 25 % (Soletchnik, 2001). Les taux de mortalité en 1997 et 2001 sont relativement faibles et du même ordre de grandeur quel que soit l'élevage considéré.

Les études sur la mortalité réalisées en 1999 (Mineur, 1999) et en 2002 sont caractérisées par un élevage à proximité du sédiment. Les autres études depuis 1997 permettaient la comparaison entre l'élevage surélevé et à plat. De plus, les tables ostréicoles ont une hauteur de 50 cm sauf dans le cadre de l'étude 2002 avec un élevage à 70 cm du sol. Les conditions d'élevage à 70 cm ne semblent pas différentes de celles à 50 cm avec des taux de mortalité équivalents. Les résultats sont également du même ordre de grandeur entre l'élevage à plat en contact direct avec le sédiment et celui sur table légèrement surélevé.

Tous les cheptels référencés sont d'origine naturelle avec un captage dans le bassin de Marennes Oléron. La période d'élevage sur le banc de Perquis est d'environ 5 mois (début mars à début août) et les individus sont âgés d'environ 2.5 ans sauf dans le cas de l'étude en 2002 avec des individus de presque 2 ans.

Tableau 6 : Taux de mortalité cumulée des cheptels issus du captage naturel lors des suivis de 1997 à 2002.

Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Elevage sur table	10 %	16 %	24 %	15 %	9 %	19 %
Elevage à plat	29 %	27 %	32 %	42 %	25 %	31 %

Les périodes d'échantillonnage au cours de l'étude menée en 2002 sont précisément définies. Ainsi, la fréquence d'échantillonnage augmente pendant le mois de juin avec un point de mesure hebdomadaire. Lors de la crise de mortalité, le taux de mortalité journalier apparaît plus élevé que pour les autres années car la fréquence est alors bi mensuelle. Le taux supérieur à $2 \%.j^{-1}$ pour les Diplo sur Perquis 15 cm est donc un des plus forts depuis les premiers suivis de mortalité.

La prise de poids sec des élevages sur table est plus importante que celle des élevages à 15 cm du sédiment. La différence dans le cas des huîtres diploïdes est d'environ 0.3 g entre les deux types d'élevage en fin d'expérimentation (Forest, 1997 ; Fruchard, 1998 ; Mineur, 1999 ; Remoué, 2000). L'étude des indices de Walne et Mann confirme cette tendance . Cependant la différence entre les deux types d'élevage apparaît moins nette. Il s'agissait cette année de comparer les performances zootechniques entre l'élevage sur table de 70 cm et celui sur table de 15 cm. Les travaux dans les années passées portent sur la comparaison entre élevage surélevé et élevage à plat directement sur le sédiment. Les huîtres à 15 cm du sol ne sont pas en contact direct avec le sédiment. Leur croissance est meilleure et la différence avec l'élevage en surélevé est moindre. Seuls les lots de Triplo se développent de façon très différente entre l'élevage surélevé et celui proche du sédiment. Un effet site est surtout observé entre l'environnement en marais et ceux sur l'estran.

- Effet Altitude

La mortalité est plus importante à proximité du sédiment que sur table avec des taux de mortalité cumulée respectivement de 31 % et 19 %. Le contact avec le sédiment est prolongé et la filtration peut être inhibée par la turbidité durant certaines périodes de flot et de jusant. Les huîtres surélevées subissent moins de perturbations et peuvent consommer une meilleure qualité et une plus grande abondance de matériel organique particulaire. A pleine mer, les huîtres surélevées accèdent plus facilement au phytoplancton que celles à 15 cm du sol. Les phytoplanctons sont plus proches de la surface pour leurs activités photosynthétiques. De plus, les chocs thermiques en immersion à proximité du sédiment sont plus importants qu'en surélevé et peuvent expliquer un plus grand taux de mortalité (Lodato, 1997).

Les mesures de concentrations en oxygène ont été effectuées à 30 cm du sol, les teneurs mesurées sont vraisemblablement supérieures à celles à 15 cm. Les phénomènes d'hypoxie doivent être plus importants au niveau du sol. Ainsi, consécutivement à un manque d'oxygène, la vase devient réductrice et favorise l'ammonification et la réduction des sulfates en sulfure. Dans des zones de cultures intensives d'huître, des teneurs très élevées sont détectées (Sornin *et al.*, 1983). Or, le dégagement d' H_2S peut s'avérer néfaste à la filtration de l'huître (Ito et Imaï, 1955). Ces différents facteurs peuvent expliquer les plus forts taux de mortalité observés pour les élevages à plat ou à proximité du sédiment.

Les données de températures mesurées sont utilisées pour le calcul théorique des cumuls de degrés jours. Les huîtres proches du sédiment sont plus souvent en eau que celles surélevées. Elles accumulent donc plus de degrés jours en immersion et sont plus fragilisées.

- Effet Condition

Les indices de Walne et Mann tous échantillonnages confondus sont inférieurs de 5 % pour les XS3 entre les élevages sur table de 70 cm et ceux sur table de 15 cm. Ils sont supérieurs de 10 % pour les Diplo et de 20 % pour les Triplo. L'interaction "cheptel*site" s'explique par le comportement particulier des Triplo pour les deux types d'élevage.

L'indice de Walne et Mann des Triplo sur l'environnement Perquis 15 cm est faible tout au long de l'expérimentation. Les autres cheptels ne résistent pas à la pression environnementale et présentent un pic de mortalité fin juin sur les tables de 15 cm. Ce lot de Triplo survit mais présente une faible croissance. Il doit consacrer beaucoup d'énergie à se "défendre" dans un environnement hostile. La physico-chimie du milieu d'élevage se révèle une nouvelle fois importante. Les chocs thermiques sur estran (Lodato, 1997), diverses hypoxies (Fruchard, 1998) et la présence de pathogènes peuvent être des exemples d'agressions extérieures.

Les prises de poids sec sont plus élevées sur Artouan que sur Perquis. Les indices de Walne et Mann pour le cheptel XS3 sont 40 % supérieurs pour l'élevage en claire par rapport à l'élevage à proximité du sédiment. Cette différence entre les deux environnements est de 20 % pour le cheptel Diplo. Les Diplo apparaissent donc mieux adaptés à l'élevage sur l'estran et les XS3 à celui en marais.

L'année 2002 est une année plus froide que la moyenne des 5 dernières années (**annexe 7**). Ceci peut se traduire par de moins bonnes performances zootechniques. La croissance sur table se rapproche de celle à proximité du sédiment pour les huîtres diploïdes. Un certain "gel" de la croissance est donc observé quel que soit l'environnement considéré.

- Effet Maturation

La différence de résistance des huîtres diploïdes par rapport aux triploïdes observées par Soletchnik en 1999 (Mazurié, 2001) est vérifiée. Les triploïdes expriment peu ou pas de mortalité quel que soit l'environnement d'élevage. La sensibilité des huîtres diploïdes est probablement associée à la maturation.

Les indices de Walne et Mann sont des indices de qualité. En période printanière, ils traduisent en partie la maturation de l'huître pendant la gamétogénèse. Durant la période estivale, associés à d'autres descripteurs comme la teneur en lipide, ils reflètent la qualité physiologique de l'huître. La croissance en poids sec, observée chez les adultes, est alors principalement liée à la maturation des gamètes (Soletchnik *et al.*, 1997a).

Les résultats d'augmentation de la teneur en lipides sont équivalents à ceux observés en 2000 (Faury *et al.*, 2001). Une teneur supérieure à 14 % chez les diploïdes est observable à partir de début juillet. Ensuite, en 2000, après la ponte vers la mi juillet, il y a une diminution de 5 % de la teneur en lipide chez l'huître. Ce phénomène n'est pas observable au cours de la période d'étude en 2002.

Un décalage de la maturation sur Perquis par rapport à Artouan est observé quel que soit le cheptel diploïde. Le seuil des 15 % en teneur lipidique est un indicateur de maturation avancée. En fin de maturation, les teneurs en lipides atteignent 17 % de la chair sèche.

Sur Perquis, il y a un retard de maturation pour des lots proches du sédiment par rapport à ceux sur table. Après deux mois et demi d'élevage, l'effet table apparaît pour les Diplo. Cet effet n'est pas observable de façon très marquée pour les XS3.

Les huîtres triploïdes ne mûrent pas et leur teneur en lipide est plus stable que pour les lots diploïdes, notamment pendant la période de crise dans la deuxième quinzaine de juin. Leur teneur reste inférieure à 12 %.

Les fluctuations de la teneur en lipide au cours de l'expérimentation sont des réponses de l'huître aux contraintes environnementales. Ainsi, l'individu puise dans ses réserves lorsque le stress est trop important.

Le site de Perquis est à proximité d'une zone d'échantillonnage hydrologique (Soletchnik *et al.*, 1998a). Les relevés de la teneur en chlorophylle permettent de comprendre l'augmentation rapide de la teneur en lipide observée à partir de mi juin. En effet, un pic de chlorophylle survient la deuxième semaine de juin et est lié à un bloom phytoplanctonique (Soletchnik, com. pers.). Les huîtres ont eu accès à une quantité importante de nutriments.

Les huîtres n'ont pas résisté aux stress thermiques imposés fin mai lors de l'élevage en marais et fin juin sur l'estran pour les tables de 15 cm. Leur résistance est faible pendant leur phase de gamétogenèse, il y a détresse physiologique (Soletchnik *et al.*, 1997a). La phase de la reproduction précédant la ponte est une phase critique quels que soient l'âge et la taille des huîtres (MOREST, 2002).

CONCLUSION

Des crises de mortalités sont apparues durant le mois de mai sur Artouan et fin juin sur le banc de Perquis. Sur estran, les taux de mortalités des huîtres sont plus importants pour l'élevage à proximité du sédiment que pour celui en "surélevé". L'hypothèse d'une toxicité ou d'une pathogénicité en relation avec le sédiment peut être avancée. De plus la mortalité est survenue lorsque la température de l'eau a dépassé 19 °C et lorsque le cumul des degrés jours atteint la valeur des 30 000 °C sur les deux sites expérimentaux. Il existe ainsi donc une analogie entre l'estran et le marais : la période de mortes eaux du mois de juin est assimilable à celle de faibles renouvellements d'eau dans la claire en mai. Le déclenchement des mortalités est fortement lié à la pression environnementale. Dans la comparaison entre les cheptels, les huîtres triploïdes se sont révélées plus résistantes que les huîtres diploïdes. Ainsi, ces dernières sont fragilisées pendant leur période de maturation sexuelle et leurs performances de croissance ralentissent entre mi mai et mi juin sur estran. Les huîtres en élevage sur table de 70 cm présentent de meilleurs indices de qualité que celles sur table de 15 Cm. Les meilleures performances zootechniques sont obtenues sur Artouan. Dans ce cas, l'origine du naissain a une importance particulière. L'étude a montré que le cheptel XS3, élevé en marais jusqu'au début de l'expérimentation, présente des difficultés d'adaptation à l'estran. Ses performances de croissance sont meilleures en claire. Les faibles performances de croissance du cheptel Triplo à proximité du sédiment renforcent l'hypothèse d'une certaine toxicité du sédiment. Les individus survivent en consacrant vraisemblablement leur énergie à la défense contre "l'agression environnementale".

Dans le cadre de cette étude, les causes de mortalité semblent liées à la maturation, à la température et à la composition de la vase. Le sédiment contient de la matière particulaire organique filtrée par les huîtres. Certains produits toxiques pourraient être associés à la vase. Des polluants d'origine anthropique peuvent s'accumuler en période de fragilité physiologique de l'huître et s'avérer très néfaste. De plus le facteur température peut être impliqué de façon indirecte dans le déclenchement des mortalités. Ainsi, le seuil thermique peut correspondre à celui d'apparition d'un agent pathogène non détecté par des analyses classiques de la qualité de l'eau. Enfin, la biomasse d'huître augmente dans le bassin de Marennes-Oléron et doit être contrôlée. En effet, si les réserves trophiques s'épuisent, si la qualité globale de l'environnement se détériore, des actions doivent être menées afin de limiter la répétition des épisodes de mortalité et les risques d'épizootie de masse. Des déséquilibres physico-chimiques de grandes ampleurs peuvent se révéler catastrophiques pour les activités ostréicoles. Chacun des acteurs socio-économiques de la région doit agir dans le sens d'une gestion raisonnée et pérenne des ressources du bassin.

BIBLIOGRAPHIE

- Afnor, 1985. Norme française huîtres creuses, dénomination et classification. NF V 45-056, 5p.
- Bacher C., 1989. Capacité trophique du bassin de Marennes-Oléron : couplage d'un modèle de transport particulaire et d'un modèle de croissance de l'huître *Crassostrea gigas*. *Aquat. Living Resour.*, 2 : 199-214.
- Blachier P., B. Cartron, Y. Guillaud, T. Huet, L. Machefaux, G. Oudot, C. Prenveille & Y. Zanette, 1997. Affinage de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*) en marais maritime : bilan de quatre années d'expérimentation au Creaa. *Marais maritime et Aquaculture*, 2 : 79-88.
- Bodoy A., 1986. Assessments of natural mortality of cultivated oysters (*Crassostrea gigas*) in the bay of Marennes-Oleron (France). ICES CM/K38.
- Bodoy A., J. Garnier, D. Razet & P. Geairon, 1990. Mass mortalities of oysters (*Crassostrea gigas*) during spring 1988 in the bay of Marennes-Oléron, related to environmental conditions. ICES CM / K11, 26 p.
- Christou E. D., K. Pagou, S. Christianidis & E. Papathanassiou, 1995. Temporal and spatial variability of plankton communities in a shallow embayment of the eastern Mediterranean. *Biology and ecology of shallow coastal waters*, 1 : 3-11.
- Faury N., S. Remoué, P. Soletchnik, P. Gouletquer., P. Geairon, O. Le Moine, D. Razet, P. Guilpain, S. Robert & S. Taillade, 2001. Mortalités printanières et estivales de l'huître creuse *C. gigas* en élevage à plat dans le bassin de Marennes-Oléron. Etude du métabolisme du glycogène sur différentes origines de cheptels. R. INT.DRV/RST/RA/LCPC/2001-07, La Tremblade, 41 p.
- Fleury P.G, F. Cornette, S. Claude, H. Palvadeau, S. Robert, F. d'Amico, C.Vercelli & J.M. Chabirand, 2000. Réseau de suivi de la croissance de l'huître creuse sur les côtes françaises (REMORA) ; résultats des stations nationales ; année 1999. IFREMER/DRV/RA/RST/00-16, 48 p.
- Forest G., 1997. Etude de la mortalité de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*) sur le banc ostréicole de Ronce-Perquis (bassin de Marennes-Oléron). Rapport de stage, 72 p.
- Fruchard P., 1998. Contribution à l'étude de la mortalité estivale de l'huître creuse (*Crassostrea gigas*) en baie de Marennes-Oléron sur le banc de Ronce-Perquis. Rapport de stage, 35 p.
- Glude J.B., 1975. A summary report of Pacific coast oyster mortality investigations (1965-1972). Proceedings of the 3rd US Japan meeting on aquaculture at Tokyo, Japan, october, 1974 ; 1-28.
- Gouletquer P., P. Soletchnik P, O. Le Moine O.,D. Razet, P. Geairon, N. Faury & S. Taillade, 1998. Summer mortality of the pacific cupped oyster *Crassostrea gigas* in the bay of Marennes Oléron (France). Ices Statutory Meeting, Population Biology, Mariculture Committe CM 1998/CC : 14, 20 p.

- Gouletquer P., 2001. Rapport d'activité 2000 du Laboratoire Conchylicole de Poitou-Charentes, 40 p.
- Grelon M., 1978. Saintonge pays des huîtres vertes. Editions Rupella, La Rochelle, 365 p.
- Grizel H. & M. Héral, 1991. Introduction into France of the Japanese oyster (*Crassostrea gigas*). J. Cons. int. Explor. Mer 47 : 399-403.
- Héral M., J. Prou & J.M. Deslous-Paoli, 1986. Dynamique des productions et des biomasses des huîtres creuses cultivées (*Crassostrea angulata* et *Crassostrea gigas*) dans le bassin de Marennes-Oléron depuis un siècle. ICES CM / F41.
- Héral, 1989. L'ostréiculture française traditionnelle. Aquaculture, vol. 1 (Editeur Barnabé – Ed. Lavoisier TEC & DOC) : 342-387.
- Héral M., 1993. Mortalités de Ronce les Bains : Etat au 23 juin 1993. Rapport provisoire DRV/RA, DEL, 3 p.
- Ito S. & T. Imai, 1955. Ecology of oyster bed on the decline of productivity due to repeated cultures. The Tohoku Journal of Agricultural Research, 4 : 251-268.
- Kautsky H., 1995. Quantitative distribution of sublittoral plant and animal communities along the Baltic Sea gradient. Biology and ecology of shallow coastal waters, 1 : 23-30.
- LABEIM, 1992. Rapport sur les mortalités d'huîtres observées dans la première semaine du mois de juin 1992, sur le banc de Ronce les Bains (commune de la Tremblade), 10 p.
- Lodato M., 1997. Mortalité estivale de l'huître creuse *Crassostrea gigas* sur les bancs ostréicoles de Perquis et Ronce (Bassin de Marennes-Oléron) : Etude des pratiques culturales et des caractéristiques biologiques et spatiales des élevages. Thèse pour le diplôme d'Etat de Docteur Vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes, 127 p.
- Lubet P., 1991. Bases biologiques de la culture des mollusques. In : Bases biologiques et écologiques de l'aquaculture. Lavoisier, Tech. Et Doc., 500 p.
- Maurer D., M. Comps & E. His, 1986. Caractéristiques des mortalités estivales de l'huître *Crassostrea gigas* dans le bassin d'Arcachon. Haliotis, 15 : 309-317.
- Mazurié J., 2001. Caractérisation des mortalités estivales d'huîtres creuses en vue de l'élaboration d'un programme national d'étude. Contrat Smidap/Ifremer. Annexe 1, 43 p.
- Mineur F., 1999. Les mortalités estivales d'huître creuse *Crassostrea gigas* dans le bassin de Marennes-Oléron (Banc de Ronce) : Performances zootechniques en divers sites et altitudes de la colonne d'eau. Rapport de stage, 58 p.
- MOREST [Synthèse des propositions de l'ensemble des partenaires impliqués], 2002. MORTALITÉ ESTIVALES de l'huître creuse *Crassostrea gigas* : I. Description des objectifs scientifiques, techniques et plan de travail, 47 p.
- MOREST [Synthèse des propositions de l'ensemble des partenaires impliqués], 2002. MORTALITÉ ESTIVALES de l'huître creuse *Crassostrea gigas* : II. Description par workpackage, 90 p.
- Mori K., 1979. Effects of artificial eutrophication on the metabolism of the Japanese oyster *Crassostrea gigas*. Marine biology, 53 : 361-369.
- Perdue J.A., J.H. Beattie & K.K. Chew, 1981. Some relationships between gametogenic cycle and summer mortality phenomenon in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in Washington State. Journal of Shellfish Research, 1 (1) : 9-16.

Remoué S., 2000. Mortalité printanière et estivales de l'huître creuse *Crassostrea gigas* dans le bassin de Marennes-Oléron (Banc de Ronce-Perquis). Rapport de stage, 41 p.

Robert S. Gouletquer P. Soletchnik P. Geairon P., Le Moine O., Razet D., Faury N. & Taillade S., 1998. Rapport sur l'affinage des huîtres creuses *Crassostrea gigas* en claires ostréicoles du Bassin de Marennes-Oléron : Etude des modifications de la Norme AFNOR-NF V 45 056. R.INT.DRV-RA/LCPC/98.15, 40 p.

Savenkoff C., A.F. Vézina, J.-P. Chanut & Y. Gratton. 1995. Respiratory activity and CO₂ production rates of microorganisms in the lower St Lawrence Estuary. Cont. Shelf. Res., 15 : 613-631.

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

Soletchnik P., D. Razet, P. Gouletquer, P. Geairon, O. Le Moine & N. Faury. 1997b. Relation entre la capacité trophique de l'écosystème "claire ostréicole" et la production de l'huître *Crassostrea gigas* en période d'affinage. Marais maritime et Aquaculture, 2 : 89-96.

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

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

Soletchnik P, 2001. Mortalité de l'huître creuse *Crassostrea gigas* sur le littoral Atlantique : contribution du laboratoire Conchylicole de Poitou-Charente (LCPC) au programme MOREST. Rapport interne au LCPC, 53 p.

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

Site internet

www.ifremer.fr/

www.meteo.fr/meteonet/

LEXIQUE

- Claire : plan d'eau aménagé dans des terrains argileux du littoral en vue de l'affinage des huîtres : technique propre au bassin de Marennes-Oléron (p 5).

- Frisure : excroissance crayeuse sur la coquille d'huître de forme ondulée et découpée (p 6).

- Etier : canal alimentant en eau de mer les marais salants (p 13).

- Randomnizer : action de constituer une population parfaitement homogène à partir d'un ensemble de sous-populations qui ne le sont pas (p 15).

- Bloom : efflorescence brutale d'algues phytoplanctoniques (p 40).

- Hypoxie : diminution de la teneur en oxygène dans un milieu (p 46).

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Photographie aérienne de la station IFREMER de La Tremblade.....</i>	<i>3</i>
<i>Figure 2 : Les stocks conchyloles en élevage dans le bassin de Marennes-Oléron.</i>	<i>6</i>
<i>Figure 3 : Anatomie de l'huître creuse Crassostrea gigas (Héral, 1989).</i>	<i>7</i>
<i>Figure 4 : Mise en relation des différents facteurs de l'étude.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 5 : Localisation des deux sites ateliers dans le bassin de Marennes-Oléron.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 6 : Photographie des deux types d'élevage sur le banc de Perquis : A, table de 70 cm ; B, table de 15 cm.</i>	<i>12</i>
<i>Figure 7 : Photographie de la claire expérimentale sur le site d'Artouan.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 8 : Photographie de deux sondes multiparamétrique ISY avec et sans la grille de protection.....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 9 : Température (A) et oxygène dissous (B) de l'eau de mer sur Perquis et Artouan. .</i>	<i>21</i>
<i>Figure 10 : Salinité (A) et turbidité (B) de l'eau de mer sur Perquis et Artouan.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure 11 : Valeurs de température et d'O₂ moyennes journalières de l'eau de mer : A, Perquis ; B, Artouan.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 12 : Taux de mortalité cumulée (TMC) dans les poches de comptage des cheptels sur Perquis 70 cm : A, XS3 ; B, Diplo ; C, Triplo.</i>	<i>25</i>
<i>Figure 13 : Taux de mortalité cumulée (TMC) dans les poches de comptage des cheptels sur Perquis 15 cm : A, XS3 ; B, Diplo ; C, Triplo.</i>	<i>26</i>
<i>Figure 14 : Taux de mortalité cumulée (TMC) dans les poches de comptage des cheptels sur Artouan : A, XS3 ; B, Diplo.</i>	<i>27</i>
<i>Figure 15 : Taux de mortalités journaliers moyens (TMJ) des cheptels : A, sur Perquis 70 cm ; B, sur Perquis 15 cm ; C, sur Artouan.</i>	<i>28</i>
<i>Figure 16 : Poids totaux au cours du temps pour les différentes conditions.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 17 : Poids de coquille au cours du temps pour les différentes conditions.</i>	<i>30</i>
<i>Figure 18 : Poids secs des cheptels au cours du temps: A, sur Perquis 70 cm ; B, sur Perquis 15 cm ; C, sur Artouan.</i>	<i>31</i>
<i>Figure 19 : Indices de Walne et Mann des cheptels au cours du temps : A, sur Perquis 70 cm ; B, sur Perquis 15 cm ; C, sur Artouan.</i>	<i>33</i>
<i>Figure 20 : Analyse de la variance des indices de Walne et Mann des trois cheptels sur les deux environnements de Perquis toutes dates prises en compte sauf T0.</i>	<i>35</i>
<i>Figure 21 : Analyse de la variance des indices de Walne et Mann entre les deux cheptels diploïdes sur les 3 environnements toutes dates prises en compte sauf T0.</i>	<i>36</i>
<i>Figure 22 : Comparaison de l'indice de Walne et Mann moyen des lots diploïdes sur les 3 environnements toutes dates prises en compte sauf T0.</i>	<i>37</i>

<i>Figure 23 : Teneurs en lipides des cheptels au cours du temps : A, XS3 ; B, Diplo ; C, Triplo.</i>	38
<i>Figure 24 : Ecart journaliers d'oxygène (EO) sur Perquis et Artouan.</i>	41
<i>Figure 25 : Indice d'Ecart Thermique (IET) maximal en immersion : A, sur Artouan ; B, sur Perquis.</i>	42
<i>Figure 26 : Cumul des degrés quarts d'heure (CD) au cours du temps sur l'estran et en marais en relation avec la mortalité du cheptel XS3 (moyenne des 3 poches de comptage).</i>	43
<i>Figure 27 : Indice de Walne et Mann associé à la mortalité du cheptel XS3 et à la température de l'eau de mer : A, sur Artouan ; B, sur Perquis.</i>	44

LISTE DES TABLEAUX

<u>Tableau 1</u> : Dates d'échantillonnages pendant la période d'étude.	16
<u>Tableau 2</u> : Récapitulatif des différents descripteurs.	18
<u>Tableau 3</u> : Analyse de variance des indices de Walne et Mann selon les facteurs : cheptel, site et interaction (cheptel * site).....	34
<u>Tableau 4</u> : Analyse de la variance des indices de Walne et Mann entre les trois cheptels sur les deux environnements de Perquis, toutes dates prises en compte sauf T0 (nombre total d'individus = 1597).	35
<u>Tableau 5</u> : Analyse de la variance des indices de Walne et Mann des deux lots diploïdes sur les trois environnements, toutes dates prises en compte sauf T0 (nombre total d'individus = 1594).	36
<u>Tableau 6</u> : Taux de mortalité cumulée des cheptels issus du captage naturel lors des suivis de 1997 à 2002.	48

TABLE DES MATIERES

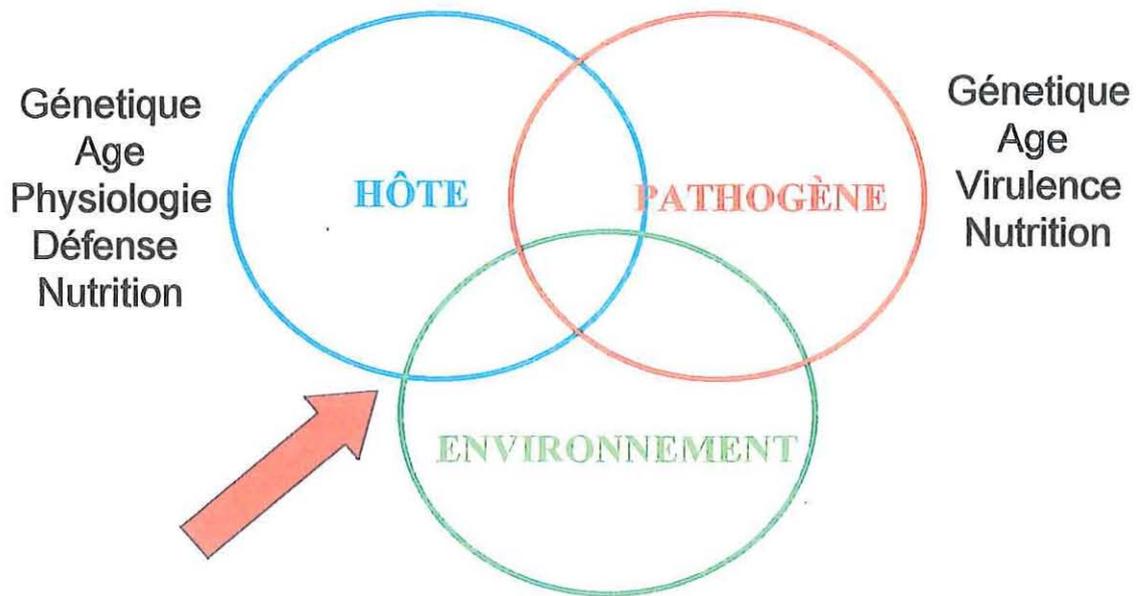
INTRODUCTION.....	1
I. PRESENTATION DE L'ORGANISME D'ACCUEIL	2
I.1. L'IFREMER	2
I.1.1 Présentation générale	2
I.1.2. Les missions.....	2
I.2. Station IFREMER de La Tremblade.....	3
I.2.1.Présentation de la station	3
I.2.2. Rôle du LCPC	3
II. ORGANISATION DE L'ETUDE.....	5
II.1. Le bassin de Marennes-Oléron : contexte géographique et économique	5
II.2. Les activités ostréicoles	6
II.2.1. Généralités sur l'huître creuse <i>Crassostrea gigas</i>	6
II.2.2. Succession des espèces dans le bassin de Marennes-Oléron.....	7
II.2.3. Evolution de la biomasse en élevage dans le bassin.....	8
II.3. Problématique des mortalités estivales.....	8
II.3.1. Historique de la mortalité	8
II.3.2. Etudes réalisées dans le bassin de Marennes Oléron.....	9
II.4. Présentation du programme MOREST	9
II.5. Objectifs du stage	10
III. MATERIELS ET METHODES.....	11
III.1. Sites expérimentaux	11
III.1.1 Localisation	11
III.1.2. Site de Perquis	11
III.1.3. Site d'Artouan	13
III.2. Contrôle de l'environnement.....	13
III.3. Matériel biologique	15
III.4. Suivi des paramètres biologiques	15
III.4.1. Stratégie d'échantillonnage	15
III.4.2. Comptage mortalité	16
III.4.3. Analyses biométriques	16

III.4.4. Dosage des lipides	17
III.4.5. Les descripteurs	17
III.5. Analyse des données	18
IV. RESULTATS.....	19
IV.1. L'environnement.....	19
IV.1.1. Données hydrologiques "hautes fréquences"	19
IV.1.2. Données Hydrologiques : moyennes journalières de température et d'oxygène..	23
IV.2. Mortalité.....	24
IV.2.1. Mortalités cumulées	24
IV.2.2. Taux de mortalité journalier.....	24
IV.3. Biométrie et biochimie.....	29
IV.3.1. Descripteurs de croissance	29
IV. 3.2. Indice de qualité Walne et Mann	32
IV.3.3. Analyse biochimique : la teneur en lipides	37
IV.4. Relation Environnement-Mortalité-Biométrie.....	40
IV.4.1. Ecart journaliers de la teneur en oxygène de l'eau.....	40
IV.4.2. Indice d'Ecart Thermique	41
IV.4.3. Cumul des degrés jours	42
IV.4.4. Association indice de qualité – température – mortalité.....	43
V. DISCUSSION.....	45
V.1. Origine et historique d'élevage des cheptels.....	45
V.2. Qualité de l'environnement.....	45
V.3. Réponses Zootechniques	47
CONCLUSION.....	51
BIBLIOGRAPHIE	52
LEXIQUE	55
LISTE DES FIGURES.....	56
LISTE DES TABLEAUX.....	58
TABLE DES ANNEXES	61

TABLE DES ANNEXES

- Annexe 1** : Interactions entre les facteurs dans l'étude des mortalités (d'après MOREST, 2002).
- Annexe 2** : Plan de table du site de Perquis et numérotation des poches.
- Annexe 3** : Plan de table du site d'Artouan et numérotation des poches.
- Annexe 4** : Fiche de terrain utilisée lors des échantillonnages : A, sur Perquis ; B, sur Artouan.
- Annexe 5** : Gamme étalon utilisée lors du dosage de la teneur en lipides dans la chair d'huître.
- Annexe 6** : Analyse de la variance des indices de Walne et Mann des trois cheptels sur les deux environnements de Perquis pour chaque date d'échantillonnage.
- Annexe 7** : Comparaison de la température mensuelle et du cumul des températures entre 1995 et 2002 dans le bassin de Marennes-Oléron.

Annexe 1 : Interactions entre les facteurs dans l'étude des mortalités (d'après MOREST, 2002).



Température, Salinité, O₂ dissous, disponibilité trophique, Pollution

Annexe 3 : Plan de table du site d'Artouan et numérotation des poches.

Stock huitres Artouan CLAIRE C

N° poche	Ref poche	manip/ref	date entrée	ref lot	remarques	sortir
1						
2						
3						
4	Pat/diplo	lot mortalité	14-mars	E089	table 15	
5	Pat/diplo	lot mortalité	14-mars	E090	table 15	
6	Pat/diplo	lot mortalité	14-mars	E091	table 15	
7	Pat/diplo	lot mortalité	14-mars	E092	table 50	
8	Pat/diplo	lot mortalité	14-mars	E093	table 50	
9	Pat/diplo	lot mortalité	14-mars	E094	table 50	
10	Pat/XS3	lot mortalité	14-mars	X092	table 50	
11	Pat/XS3	lot mortalité	14-mars	X093	table 50	
12	Pat/XS3	lot mortalité	14-mars	X094	table 50	
13	Pat/diplo	lot prélèvt	14-mars	E011	table 50	
14	Pat/diplo	lot prélèvt	14-mars	E012	table 50	
15	Pat/diplo	lot prélèvt	14-mars	E013	table 50	
16	Pat/diplo	lot prélèvt	14-mars	E014	table 50	
17	Pat/diplo	lot prélèvt	14-mars	E015	table 50	
18	Pat/diplo	lot prélèvt	14-mars	E016	table 50	
19	Pat/diplo	lot prélèvt	14-mars	E017	table 50	
20	Pat/XS3	lot prélèvt	14-mars	X011	table 50	
21	Pat/XS3	lot prélèvt	14-mars	X012	table 50	
22	Pat/XS3	lot prélèvt	14-mars	X013	table 50	
23	Pat/XS3	lot prélèvt	14-mars	X014	table 50	
24	Pat/XS3	lot prélèvt	14-mars	X015	table 50	
25	Pat/XS3	lot prélèvt	14-mars	X016	table 50	
26	Pat/triplo	lot prélèvt	14-mars	A009	table 50	
27	Pat/triplo	lot prélèvt	14-mars	A029	table 50	
28	Pat/diplo	lot prélèvt	14-mars	J001	table 50	
29	Pat/diplo	lot prélèvt	14-mars	J002	table 50	
30				Triplo	table 50	
31				X-S3	table 50	

Annexe 4A : Fiche de terrain utilisée lors des échantillonnage sur Perquis.

MOREST 2002
Projet Dynamo-Site de Perquis

Date : 20/06/02

T6

Comptage de mortalité

Perquis-70 cm

Total
prévisionnel
V + M

Cheptel	Couleur	N° Poche	Vivantes	Mortes	Observations	
XS3 (70)	Rouge	X095	189	3		192
XS3 (70)	Rouge	X096	188	3		192
XS3 (70)	Rouge	X097	183	2		185

Triplo (70)	Jaune	A095	188	0		187
Triplo (70)	Jaune	A096	193	3		193
Triplo (70)	Jaune	A097	192	0		192

Diplo (70)	Vert	E095	178	1		180
Diplo (70)	Vert	E096	176	0		174
Diplo (70)	Vert	E097	187	1		183

Perquis-15 cm

XS3 (15)	Rouge	X098	184	5		191
XS3 (15)	Rouge	X099	184	7		191
XS3 (15)	Rouge	X100	168	13		186

Triplo (15)	Jaune	A098	189	0		189
Triplo (15)	Jaune	A099	187	2		190
Triplo (15)	Jaune	A100	187	3		190

Diplo (15)	Vert	E098	185	5		190
Diplo (15)	Vert	E099	156	2		158
Diplo (15)	Vert	E100	158	10		169

Echantillonnage

Perquis-70 cm

Perquis-15 cm

Cheptel	Poche de prélèvement	Nombre de prélèvement	Effectif prévisionnel	Cheptel	Poche de prélèvement	Nombre de prélèvement	Effectif prévisionnel
XS3 (70)	X26	2	30+15	X-S3 (15)	X6	2	30+15
Triplo (70)	A26	2	30+15	Triplo (15)	A6	2	30+15
Diplo (70)	E26	1	30	Diplo (15)	J3	1	30

Annexe 4B : Fiche de terrain utilisée lors des échantillonnages sur Artouan.

MOREST 2002
Projet Dynamo-Site d'Artouan

Date : 20/06/02

T6

Comptage de mortalité

Total
prévisionnel
V + M

Cheptel	Couleur	N° Poche	Vivantes	Mortes	Observations	
XS3	Rouge	X092	101	5		105
XS3	Rouge	X093	121	2		123
XS3	Rouge	X094	86	6		92

Diplo (50)	Vert	E092	124	5		130
Diplo (50)	Vert	E093	119	4		123
Diplo (50)	Vert	E094	113	5		117

Diplo (15)	Vert	E089	148	10		159
Diplo (15)	Vert	E090	145	4		152
Diplo (15)	Vert	E091	161	5		166

Echantillonnage

Cheptel	Poche de prélèvement	Nombre de prélèvement	Effectif prévisionnel	Validation
XS3	X016	2	30 + 15	<input type="checkbox"/>
Diplo (50)	E016	1	30	<input type="checkbox"/>

Annexe 5 : Gamme étalon utilisée lors du dosage de la teneur en lipides dans la chair d'huître.

BIOLISE

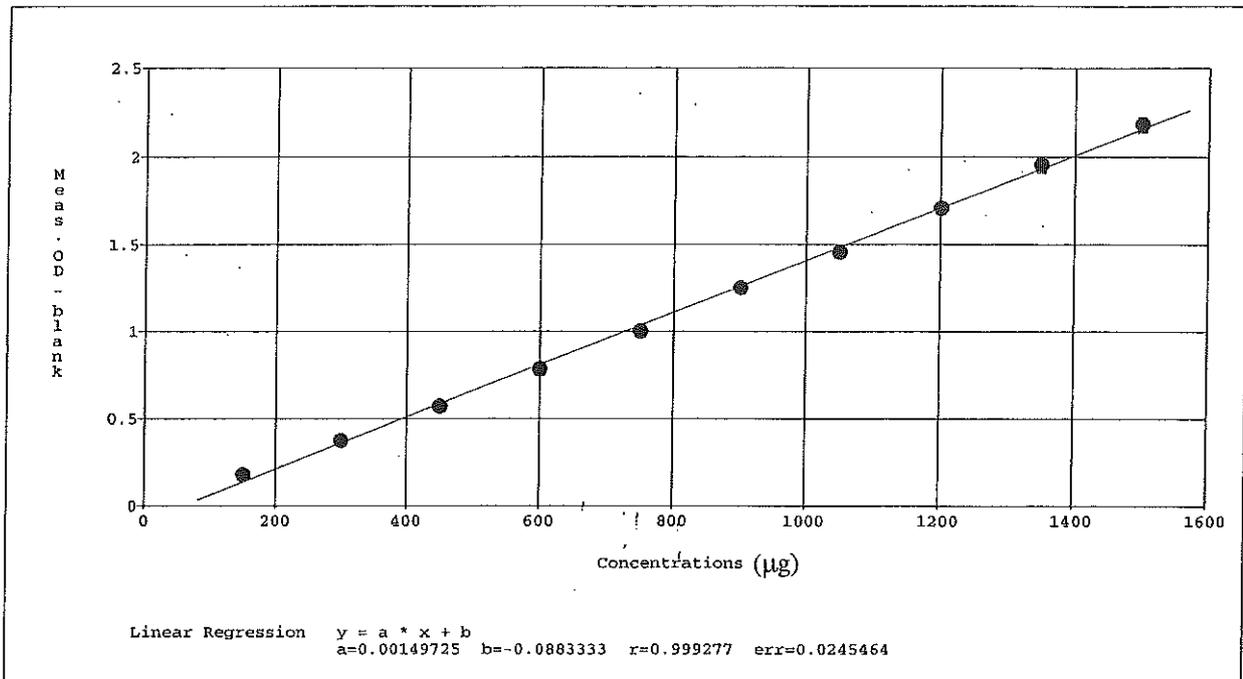
Protocol Name: C:\BIOWIN\LIPIDES1.PRT

Data Name: C:\BIOWIN\DATA\DYNLIP1.PLA

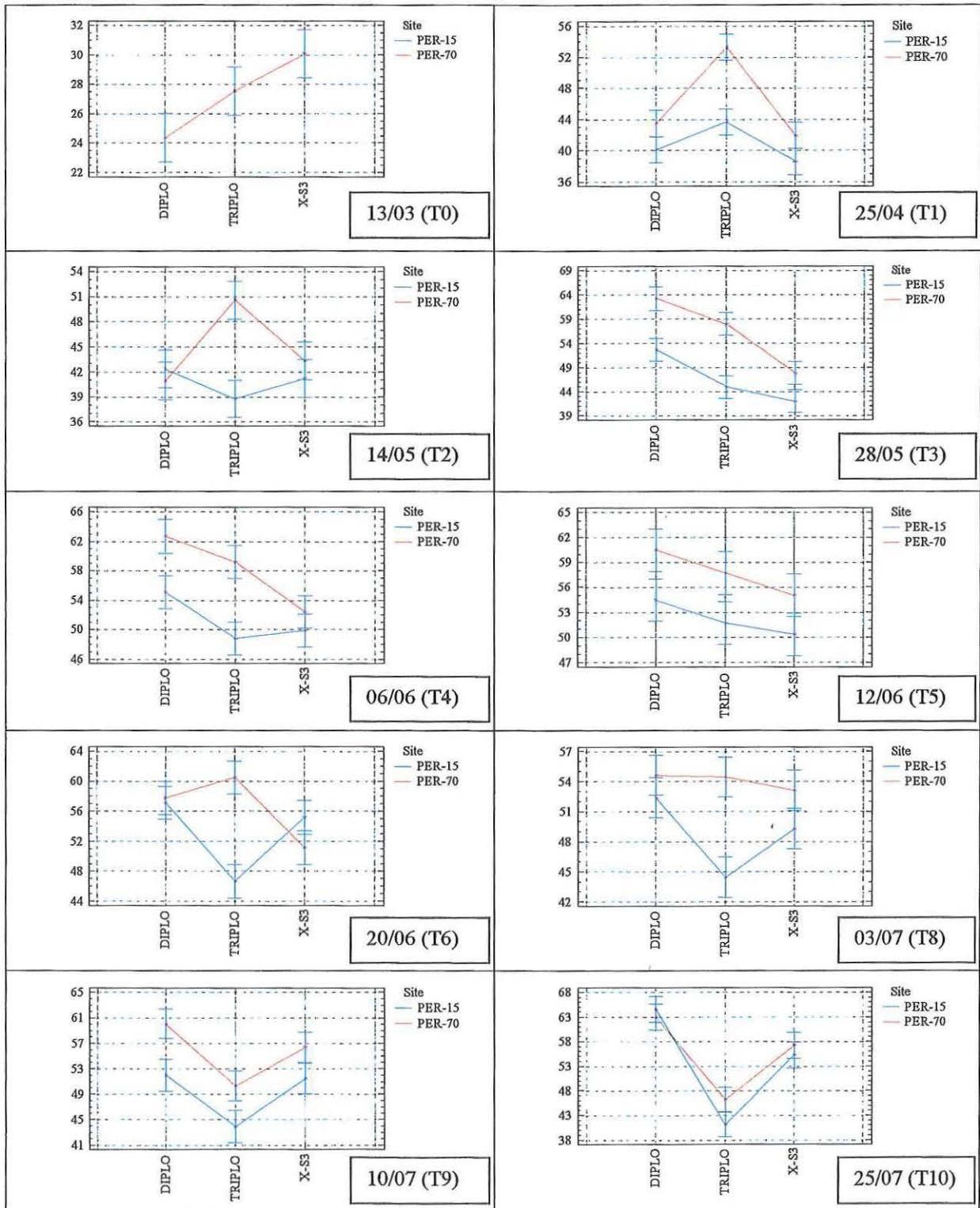
Report Date/Time: 17/07/2002 - 14:54:33

Reading Date/Time: 17/07/2002 - 14:53:5

STANDARD CURVE



Annexe 6 : Analyse de la variance des indices de Walne et Mann des trois cheptels sur les deux environnements de Perquis pour chaque date d'échantillonnage.



Annexe 7 : Comparaison de la température mensuelle et du cumul des températures entre 1995 et 2002 dans le bassin de Marennes-Oléron.

Déficit thermique sur le Bassin de Marennes Oléron au printemps été 2002.

Un déficit thermique de la température de l'eau de mer apparaît dans le Bassin de Marennes Oléron au cours du printemps – été 2002 (figures 1 et 2).

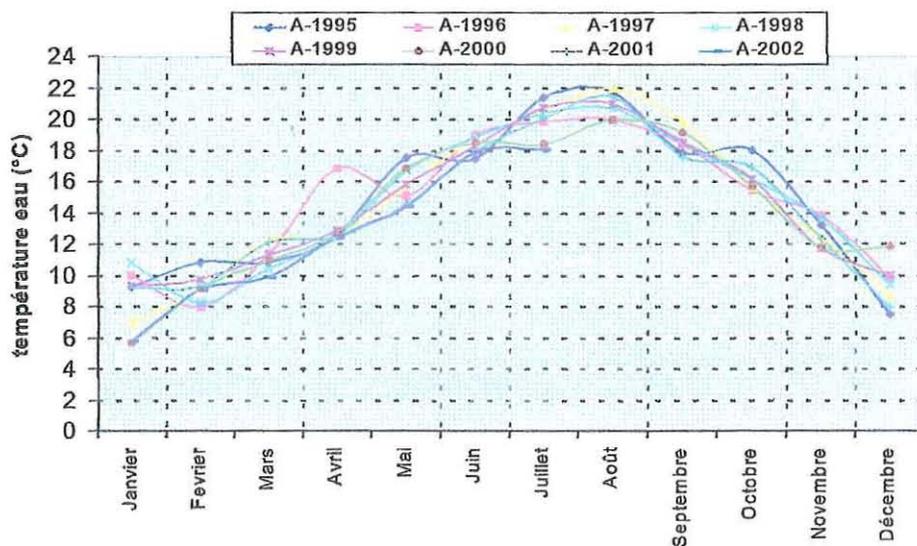


figure 1. Moyennes mensuelles de la température de l'eau de mer sur 10 stations (5 stations et 2 profondeurs) du Bassin de Marennes Oléron (Base Razlec) depuis 8 ans.

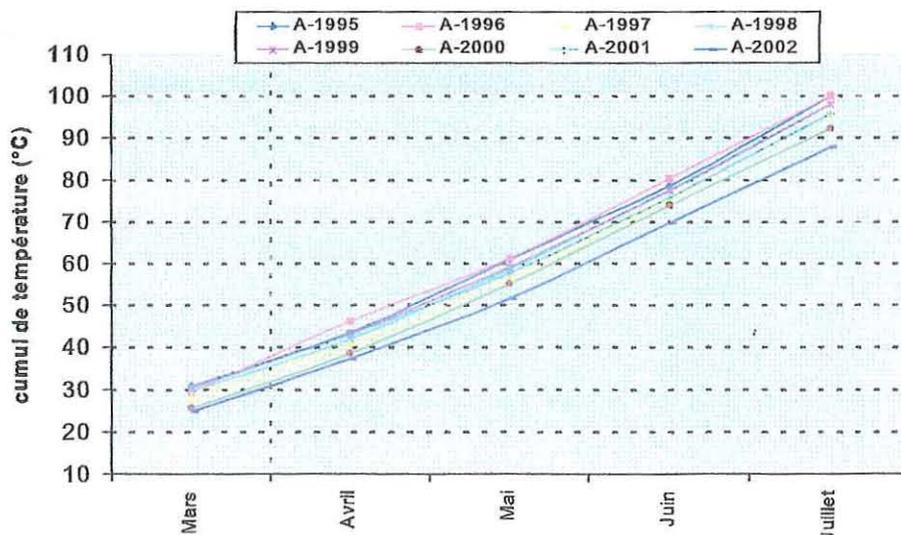


figure 2. Cumul des Moyennes mensuelles de la température de l'eau de mer sur 10 stations (5 stations et 2 profondeurs) du Bassin de Marennes Oléron (Base Razlec) depuis 8 ans.