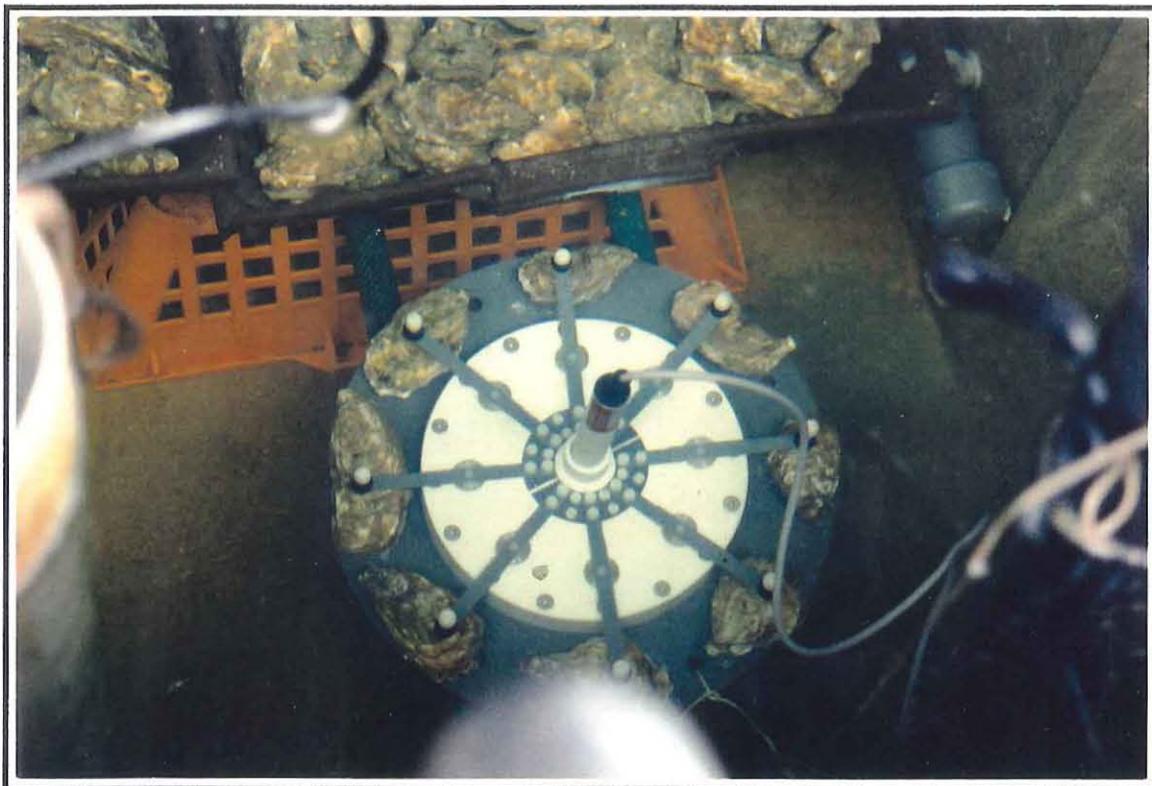


PROJET QUALITE DES MOLLUSQUES
RESULTATS – PROPOSITIONS
SYNTHESE 1998

Contribution à l'étude du stockage des huîtres en bassins

Daniel MASSON



1 INTRODUCTION

La mise sur le marché de coquillages marins vivants nécessite dans la majorité des cas un stockage en bassin avant expédition. Cette opération a plusieurs buts :

- les débarrasser de la vase ou du sable qu'ils ont pu accumuler dans leur cavité palléale, sur les zones où ils vivaient,
- favoriser l'élimination de germes éventuels (dont certains sont pathogènes pour l'homme) par le biais de l'activité de filtration des coquillages eux-mêmes,
- permettre l'activité respiratoire de ces coquillages avant une période d'émersion plus ou moins longue (conditionnement, transport, mise en vente).

Le coquillage conditionné et expédié est une denrée alimentaire. Avant cela (et notamment lors du stockage) il doit être considéré comme un animal d'élevage et traité en tant que tel : il doit donc disposer de conditions de milieu au moins favorables à son activité respiratoire.

Or, de mauvaises conditions de stockage en bassin sont parfois plus dangereuses pour les coquillages que leur stockage à sec : le fait d'être dans l'eau induit les animaux à s'ouvrir, à respirer voire à filtrer ; leur survie ultérieure peut être compromise. Or, le critère essentiel de qualité pour le consommateur est que les animaux soient vivants au moment de l'achat. Contrairement à ce qui a été fait pour les poissons d'élevage (et particulièrement les salmonidés) il n'existe pas de document simple à utiliser par les professionnels, donnant des indications chiffrées sur les conditions de stockage des coquillages marins vivants, à une notable exception près (His, 1977). Les premières études reprises sur le sujet (Bougrier et al., 1991) faisaient déjà apparaître dans quelles conditions sévères peuvent se trouver des huîtres stockées à charge moyenne (60 kg/m^3) lorsque la température s'élève.

Un certain nombre d'expérimentations ont donc été entreprises dans le but d'aider à mieux définir les bonnes pratiques du stockage en bassin. Deux aspects principaux ont été étudiés dans différentes configurations (charges et états physiologiques) avec des huîtres *Crassostrea gigas* stockées en bassin : l'évolution de l'oxygène dans ces bassins et la mise en évidence de signes de stress des animaux.

2 PROTOCOLES EXPERIMENTAUX

Ils ont évolué au cours de l'étude, en fonction des résultats déjà acquis ou de circonstances techniques particulières. Au départ, ont été utilisés quatre bassins en béton, contigus de 10 m³ chacun, dans lesquels étaient stockées des huîtres de taille marchande (essentiellement n° 3, poids moyen : 60 g) débarrassées de leurs épibiontes, conditionnées en paniers plastiques de 15 kg, à raison de 40, 60 et 100 kg/m³, un quatrième bassin sans huîtres servant de témoin.

Chacun des bassins était muni d'une rampe d'aération immergée, alimentée par une turbine à air et produisant un rideau de micro bulles, système assez couramment employé par les professionnels.

L'eau n'était pas renouvelée durant l'expérience : il faut se placer dans les conditions les plus défavorables rencontrées dans la pratique professionnelle.

L'évolution de l'oxygène dissous était suivie dans chaque bassin, sur au moins deux cycles :

- aération au départ jusqu'à l'obtention de 100 % de saturation (T₀),
- arrêt de l'aération et enregistrement de la décroissance de l'oxygène dissous dans les quatre bassins,
- lorsque dans le bassin le plus chargé on est en dessous de 20 % de saturation (T₁), remise en marche de l'aération et retour à un taux convenable entre 80 et 100 % (T₂),
- arrêt de l'aération. Enregistrement de la baisse progressive jusqu'en dessous de 20 % (T₃),
- aération jusqu'à 80 ou 100 % (T₄).

Différents paramètres physicochimiques du milieu ont été mesurés (salinité, température, pression atmosphérique). Enfin, pour essayer d'appréhender l'état physiologique des animaux, l'activité valvaire a été mesurée dans le bassin le plus chargé et les indices de condition (AFNOR) ont été établis sur plusieurs échantillons en début et fin d'expérience.

Le même protocole a été mis en oeuvre sur deux types de bassins différents (10 m³ et 37 m³) à la même charge 40 kg/m³ pour tenter d'évaluer l'effet taille bassin (nov. 95). Enfin les essais ont porté sur des charges différentes (60, 100 et jusqu'à 200 kg/m³), mais sur des volumes réduits (environ 1 m³) en juin 1996 puis en décembre 1996.

3 MATERIELS ET METHODES

3.1 Bassins (fig. 1) :

Construits en béton, ils ont été prévus dès l'origine pour ce type d'expérimentation (stockage, purification, essais divers) et destinés au travail à une échelle peu utilisée jusque là par les biologistes, celle des professionnels, sans les contraintes inhérentes à l'expérimentation chez ces derniers. (logique commerciale prenant le pas sur les expérimentations et interrompant celles-ci).

Divisés en deux ensembles, ils comprennent deux bassins de stockage de 37 m³ et quatre bassins d'expérimentation de 10 m³ chacun.

Ils sont alimentés en eau par trois circuits possibles :

- eau de mer brute (pompée dans la Seudre à haute mer),
- eau de mer décantée (l'eau précédente laissée plusieurs jours dans des bassins bâchés de 300 m³ chacun),
- eau de mer en circuit fermé : une aspiration à crépine mobile permet par un système de raccords de prendre de l'eau dans n'importe quel bassin pour rejeter dans n'importe quel autre.

Ces bassins sont vidangeables par gravité.

3.2 Aération :

Chaque bassin de 10 m³ est muni d'une rampe pourvue de fentes très fines, déplaçable en trois positions (subsurface, mi-profondeur, fond) et alimenté en air par une turbine électrique asservie à une horloge programmable (temps minimum : 15 minutes).

Figure 1: Bassins expérimentaux.



3.3 Huîtres :

Un stock de plusieurs tonnes destiné aux expérimentations a été constitué par récolte sur gisements naturels puis (depuis 1995) par achat à un professionnel de La Tremblade d'huîtres *C. gigas* provenant du banc de Ronce Les Bains.

Ce stock est normalement maintenu en poches sur un parc de 25 a concédé à l'IFREMER au centre du bassin de Marennes-Oléron.

Avant chaque expérimentation, les poches sont ramenées sur le site, les huîtres triées, lavées au laveur rotatif et conditionnées par 15 kg dans des paniers en matière plastique, puis stockées dans les bassins d'expérimentation, à 10 cm au-dessus du fond, les paniers étant superposés sans gêne mécanique pour les animaux, jusqu'à atteindre la charge voulue.

On dispose ainsi d'huîtres ayant subi au début d'une expérimentation le même traitement que chez un expéditeur (retour de parc, triage, lavage). Les densités les plus élevées (100 voire 200 kg/m³) correspondent à des pratiques observées chez des professionnels (l'idéal se situant autour de 50 à 60 kg/m³).

Les périodes d'expérimentation choisies correspondent :

- aux différents états physiologiques :
 - . avant le jeûne hivernal en automne,
 - . avant la reproduction en fin de printemps.

- aux périodes d'expédition :
 - . avant les fêtes de fin d'année,
 - . au début de saison touristique estivale.

3.4 Paramètres mesurés :

3.4.1- Salinité :

L'eau n'étant pas renouvelée, une mesure en début d'expérience suffit. Sauf à étudier les effets de la pluviométrie sur la baisse subséquente de salinité dans les zones de stockage (ce

qui n'est pas le sujet qui nous occupe) il n'est pas souhaitable de faire varier la salinité dans ces expériences.

3.4.2- Oxygène dissous et température :

Ils sont suivis en continu dans les quatre bassins par sonde polarographique Orbisphère, les résultats étant enregistrés dans une centrale d'acquisition (Rustrak Ranger). Ces sondes enregistrent en même temps la température.

3.4.3- Pression atmosphérique :

Elle est enregistrée en continu par barographe pendant le temps de l'expérience.

3.4.4- Azote ammoniacal :

Témoin de l'excrétion des animaux, il est mesuré une fois par jour dans chaque bassin (méthode de Koroleff).

3.4.5-Activité valvaire :

La recherche d'un signe simple de stress des animaux, autre qu'un simple décompte des mortalités après l'expérience a conduit à utiliser le valvomètre, successeur de l'ostréographe (His, 1976). Cet appareil autonome et étanche, qui enregistre l'ouverture et la fermeture des valves de huit huîtres avec une périodicité déterminée au préalable (de quelques secondes à quelques heures), était placé dans les conditions de stockage qui paraissent à priori les plus défavorables (fond du bassin le plus chargé).

Les informations ont été recueillies en fin d'expérience sur ordinateur.

3.4.6-Mortalités :

Elles ont été décomptées pour chaque bassin à la fin des expériences.

3.4.7-Indice de condition :

L'activité de stockage étant un préalable à la mise sur le marché, il est intéressant de savoir s'il y a une variation qualitative du fait du stockage. L'indice AFNOR (poids de chair sur poids total multiplié par 100) était le plus cohérent pour ce cas précis car le plus connu des professionnels.

3.4.8-Effet de l'expédition :

Afin de vérifier si les conditions de stockage peuvent avoir un effet sur la survie ultérieure des coquillages, l'indice de condition a été mesuré sur un lot sorti du bassin et trois lots (correspondant aux trois densités) après qu'ils aient été conditionnés en colis classiques de 5 kg chez un professionnel et expédiés par un transporteur routier dans les mêmes conditions que les coquillages des expéditeurs, avant d'être récupérés pour les mesures.

3.5 Traitement des données :

Les valeurs enregistrées des variations en oxygène dissous (mg/l) ont été exploitées graphiquement à l'aide du logiciel PRONTO.

Une partie des graphes obtenus permet de comparer les séries décroissantes entre 100 % et 70 % de saturation par comparaison des pentes (analyse de régression), l'analyse de variance n'étant pas indiquée dans ce cas (séries continues).

Le logiciel MEMO permet de mettre en évidence graphiquement les variations de l'activité valvaire.

Enfin, les indices de condition des différents lots après stockage et expédition ont été comparés par analyse de variance sur données transformées (log x).

4 RESULTATS

4.1 Première expérimentation : 13 au 17 novembre 1995

4.1.1 Evolution du taux d'oxygène dissous dans les bassins (fig. 2)

Partant de 100 % de saturation, la baisse de la teneur en oxygène dissous dans les quatre bassins a en fait été observée bien au-dessous des 20 % pour le bassin le plus chargé : 1,3 mg/l le 14 novembre à 11 h 13 soit 12 %. Le moins chargé était encore à 36,2 % de la saturation. Quant au témoin on observait à la même heure 73,7 %.

Les physiologistes considérant que l'huitre est déjà dans des conditions défavorables en dessous de 70% de la saturation, nous avons comparé la décroissance d'oxygène dissous dans les bassins par analyse de covariance (afin d'éliminer la variable temps) entre 40 et 100 kg/m³ ; la différence est hautement significative ($F=264,7$ pour $F_{0,05}=161$).

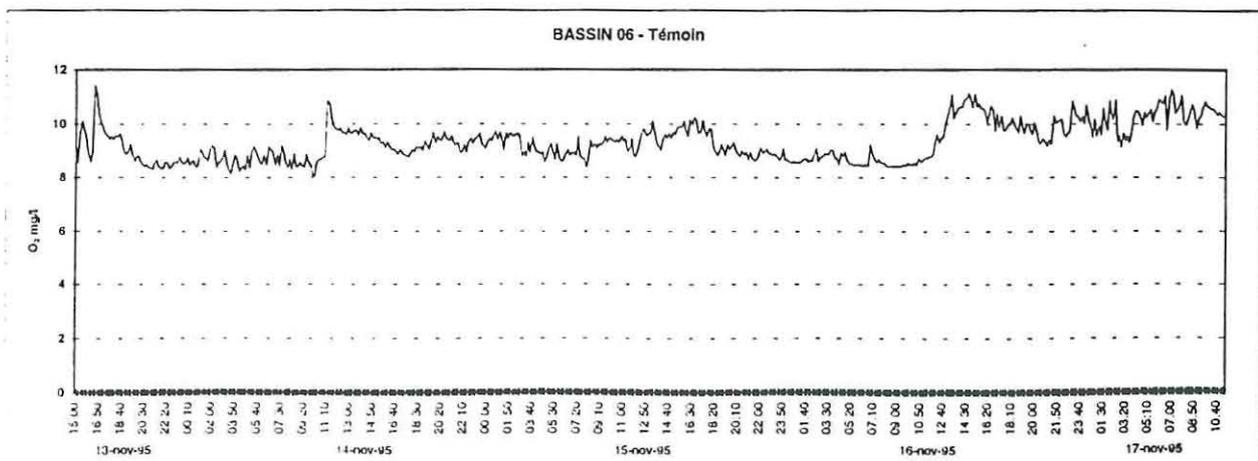
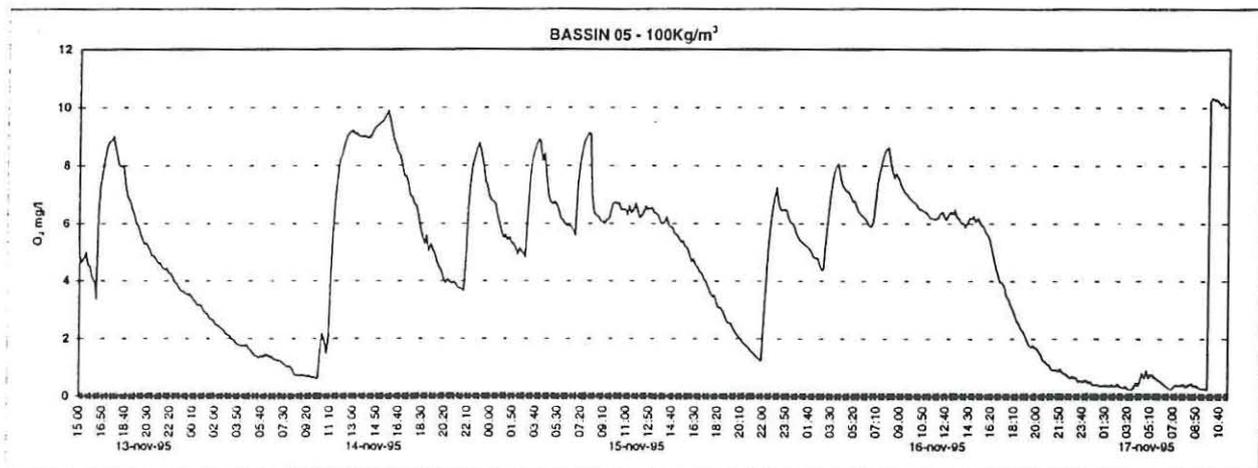
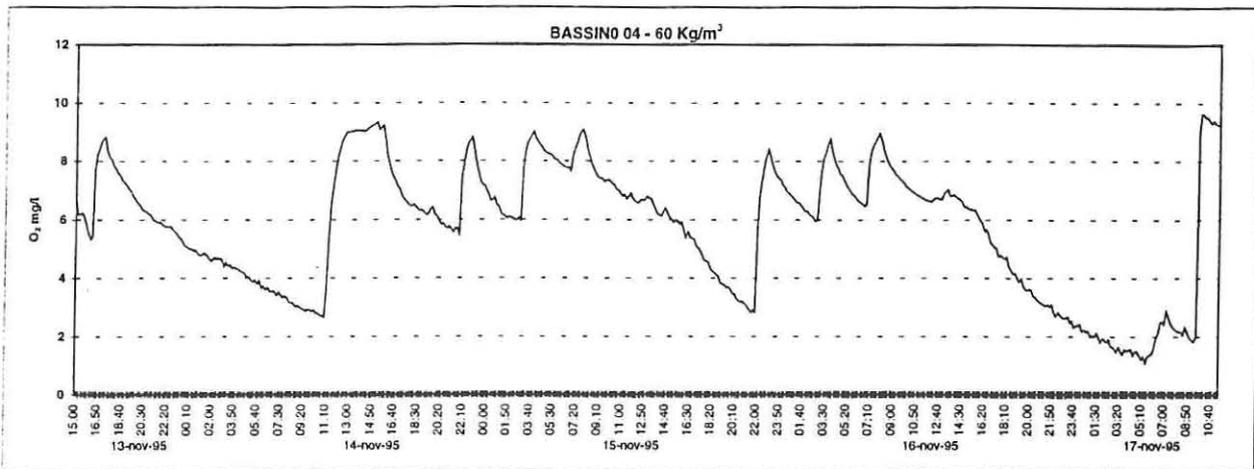
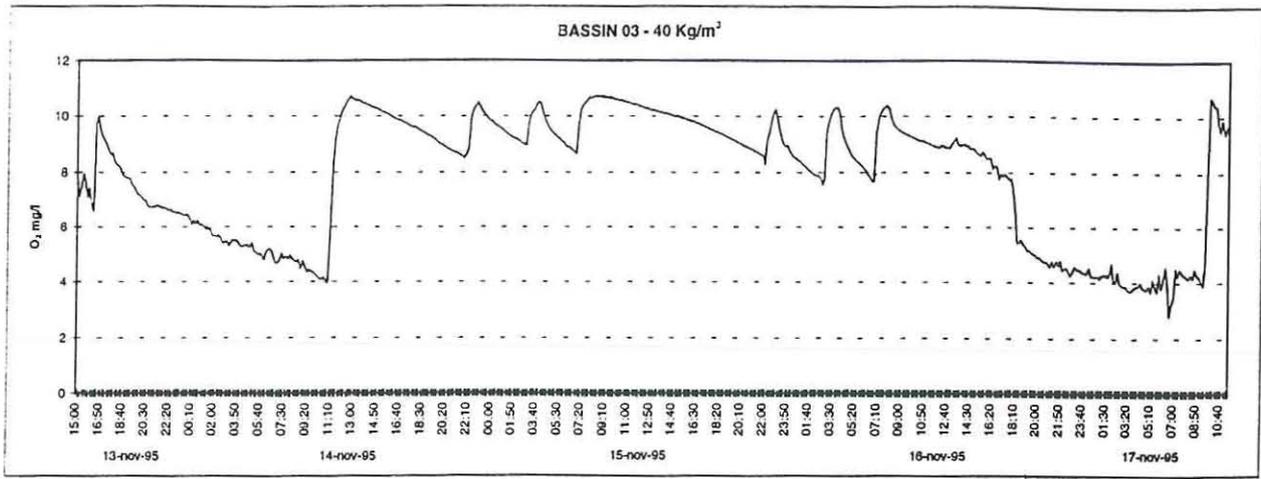
La remise en marche de l'aération permet de remonter à la saturation pour le bassin le moins chargé en une heure. Le plus chargé n'atteint que 87,5 % dans le même temps.

La deuxième décrue est plus lente et plus faible (pour le moins chargé : 82 % le 14 à 22 h 40 contre 34,8 % pour le bassin à 100 kg/m³) La remontée est plus rapide : on atteint 84,7 % en 30 minutes.

Pour éviter le risque de mortalité massive qui aurait peut être mis fin prématurément à l'expérimentation, des séquences d'aération nocturnes de trente minutes ont été programmées à la fin du 3ème jour : une à 22 heures, une autre à 3 h, une dernière à 7 h).

La troisième décrue est très peu marquée à 40 kg/m³ (82,5 % de la saturation le 15 novembre à 22 h). Elle atteint les mêmes niveaux qu'au début à 100 kg/m³ (12,7 %) mais de manière plus lente.

La quatrième décrue, sans remise en route de l'aération, provoque une chute plus ou moins brutale après une dizaine d'heures, nettement plus accentuée à faible charge puisque l'on perd 75 % en deux heures. A forte charge, la décroissance est moins brutale mais la courbe s'infléchit approximativement à la même heure. On atteint, à 100 kg/m³ les valeurs les plus basses enregistrées depuis le début de l'expérience (7 % de la saturation...).



Le bassin à charge moyenne (60 kg/m) montre une évolution similaire, qui paraît intermédiaire entre faible et forte charge (quoique plus proche de cette dernière). Seule l'allure générale de ce dernier enregistrement peut être prise en compte: du fait de problèmes technique sur la sonde ou la centrale d'acquisition, les valeurs mesurées ne permettent pas une exploitation mathématique des données de ce lot. La pression atmosphérique a fortement chuté dans la nuit du 15 au 16 novembre (Annexel) ce qui ne correspond cependant pas à une baisse notable de l'oxygène dissous dans le bassin témoin.

Résumé des deux premiers cycles (bassin le plus chargé):

- 1er cycle:

To à T1 = 19 h 30

T1 à T2 = 1 h (jusqu'à 87,5 %)

T2 à T3 = 9 h 30

T3 à T4 = 30 minutes

- 2ème cycle:

To à T1 = 14 h

T1 à T2 = 1 h (jusqu'à 85 %)

T2 à T3 := 22 h

4.1.2 Paramètres physiques :

- Salinité : l'eau pompée en Seudre puis décantée était à 33,2 ‰.

- Pression atmosphérique (annexe I) :

Elle a varié au cours de l'expérience de 1015 à 992 mb dans la nuit du 15 au 16 novembre, pour remonter à 1008 en fin d'expérience.

-Azote ammoniacal :

Tableau 1 : Concentration en azote ammoniacal ($\mu\text{moles/l}$).

Dates	Bassin 3 40 kg/m ³	Bassin 4 60 kg/m ³	Bassin 5 100 kg/m ³	Bassin 6 Témoin
13/11/95	11,79	15,4	15,6	0,7
14/11/95	22,8	29,4	25	0,6
15/11/95	8,7	11,3	11,3	1,2
16/11/95	10,3	12,5	14,8	0,7
17/11/95	12,2	14,9	21,6	0,6

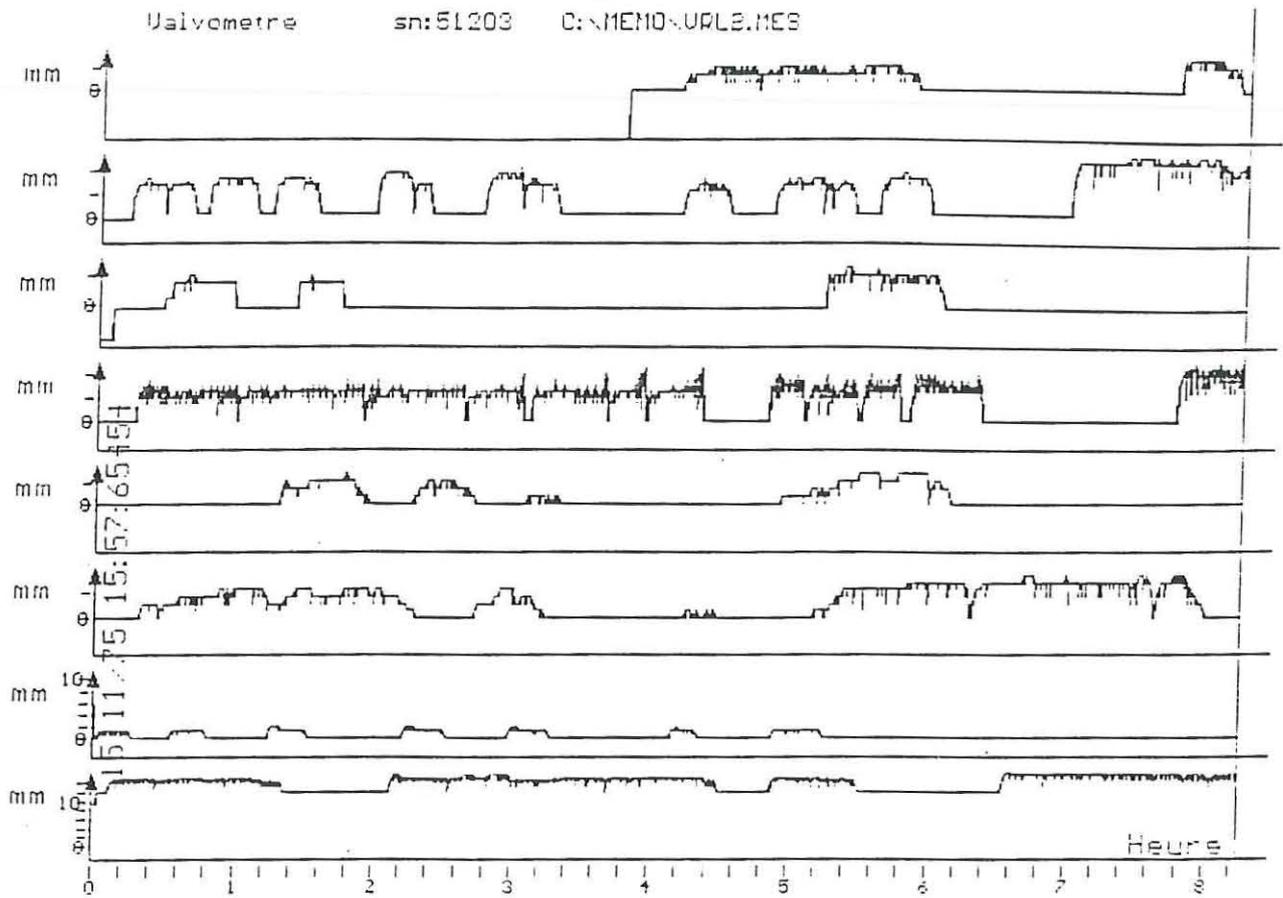
Les concentrations mesurées en fin d'expérience augmentent logiquement de la charge la plus faible à la plus forte. Bien que l'on ne puisse expliquer les baisses de concentration entre les troisième et quatrième jours, les valeurs sont comparables à celles mesurées dans d'autres circonstances : 23,6 $\mu\text{moles/l}$ après 72 h à 50 kg/m³ sans renouvellement d'eau (Faury et al., 1995).

4.1.3 Activité valvaire :

Du fait d'une panne du valvomètre, seules les huit dernières heures d'enregistrement ont pu être prises en compte au fond du bassin le plus chargé à un moment où la teneur en oxygène dissous était très réduite (fig. 3).

Les individus ont une activité valvaire perturbée : tentatives de fermeture très fréquentes avec des périodes closes souvent longues, parfois sept heures sur huit, et plus ou moins accentuées. Les individus n°8 et 4 semblent les moins perturbés (ouverture, émission de pseudofécès), ce qui montre les difficultés d'étudier cette espèce aux variations individuelles très fortes.

Figure 3: Activité valvaire de huit huitres au fond du bassin à 100 Kg/m³ le 17 novembre 1995



4.1.4 Mortalités :

Décomptées immédiatement à la fin de l'expérience, elles s'établissent comme suit :

Bassin n° 3 (40 kg/m³) = 49 individus

Bassin n° 4 (60 kg/m³) = 71 individus

Bassin n° 5 (100 kg/m³) = 134 individus

Le bassin le plus chargé, après avoir subi de fortes baisses en oxygène et terminé à moins de 10 % de la saturation en oxygène n'a que 1,18 % de mortalité, très peu différent en cela des deux autres (0,9 %).

4.1.5 Indice de condition AFNOR :

Calculé sur des échantillons de trente individus, il varie légèrement.

- Sur le lot au départ = 8,33
- Stockage à 40 kg/m³ = 9,32
- Stockage à 60 kg/m³ = 8,8
- Stockage à 100 kg/m³ = 8,06

La différence entre ces lots est à peine significative (analyse de variance : $F = 2,7$ pour $F_{0,05} = 2,68$).

4.1.6 Effet de l'expédition :

Il n'y a pas de mortalité dans les trois colis de 5 kg correspondant à chaque lot, expédiés au laboratoire de Sète par transporteur routier et ouverts après 72 h. Les indices de condition mesurés sur place sont plus faibles (6,5 ; 6,36 et 6,85 respectivement), sans que l'on puisse les comparer statistiquement avec les précédents (pas de pesées individuelles).

4.2 Deuxième expérimentation : 27 au 29 novembre 1995

Il s'agissait de tester la différence éventuelle entre deux bassins, l'un de 10 m³, l'autre de 37 m³ à charge équivalente (40 kg/m³) soit 400 et 1 480 kg respectivement.

4.2.1 Evolution de l'oxygène dissous (fig. 4)

Il n'y a aucun point commun entre les quatre enregistrements, notamment entre le milieu et un coin du même bassin de 37 m³, ce qui rend difficile de conclure au vu de ces seules données.

La consommation d'oxygène par bassin ou par huître dans chaque bassin est plus explicite: la différence entre la consommation théorique et la consommation observée dans un bassin donné est du même ordre, que ce soit dans le bassin de 10 m³ ou au milieu du bassin de 37 m³. Ce point sera développé dans la discussion.

4.2.2 Excrétion azotée

Tableau 2 : Concentration en azote ammoniacal dans les bassins ($\mu\text{moles/l}$).

Date et heure des mesures	Bassin de 10 m ³	Bassin de 37 m ³
27/11/95 à 17 h	6,07	8,2
28/11/95 à 17 h 30	49,67	48,9
29/11/95 à 17 h 45	14,8	17,25

Les valeurs mesurées ne paraissent pas proportionnelles aux quantités stockées. Les faibles valeurs mesurées en fin d'expérience sont difficiles à expliquer.

4.2.3 Activité valvaire (Fig.4bis):

Le valvomètre a été mis dans un coin du bassin de 37 m³, zone à priori la plus défavorable dans un bassin de stockage : l'aération y est beaucoup plus difficile, sauf à prévoir une circulation d'eau ce qui n'était pas le cas ici. L'activité des animaux paraît peu perturbée, dans cette situation où l'oxygène dissous est resté proche de la saturation.

Figure 4: Evolution du taux d'oxygène dissous dans des bassins de différente taille, du 27 au 29 novembre 1995

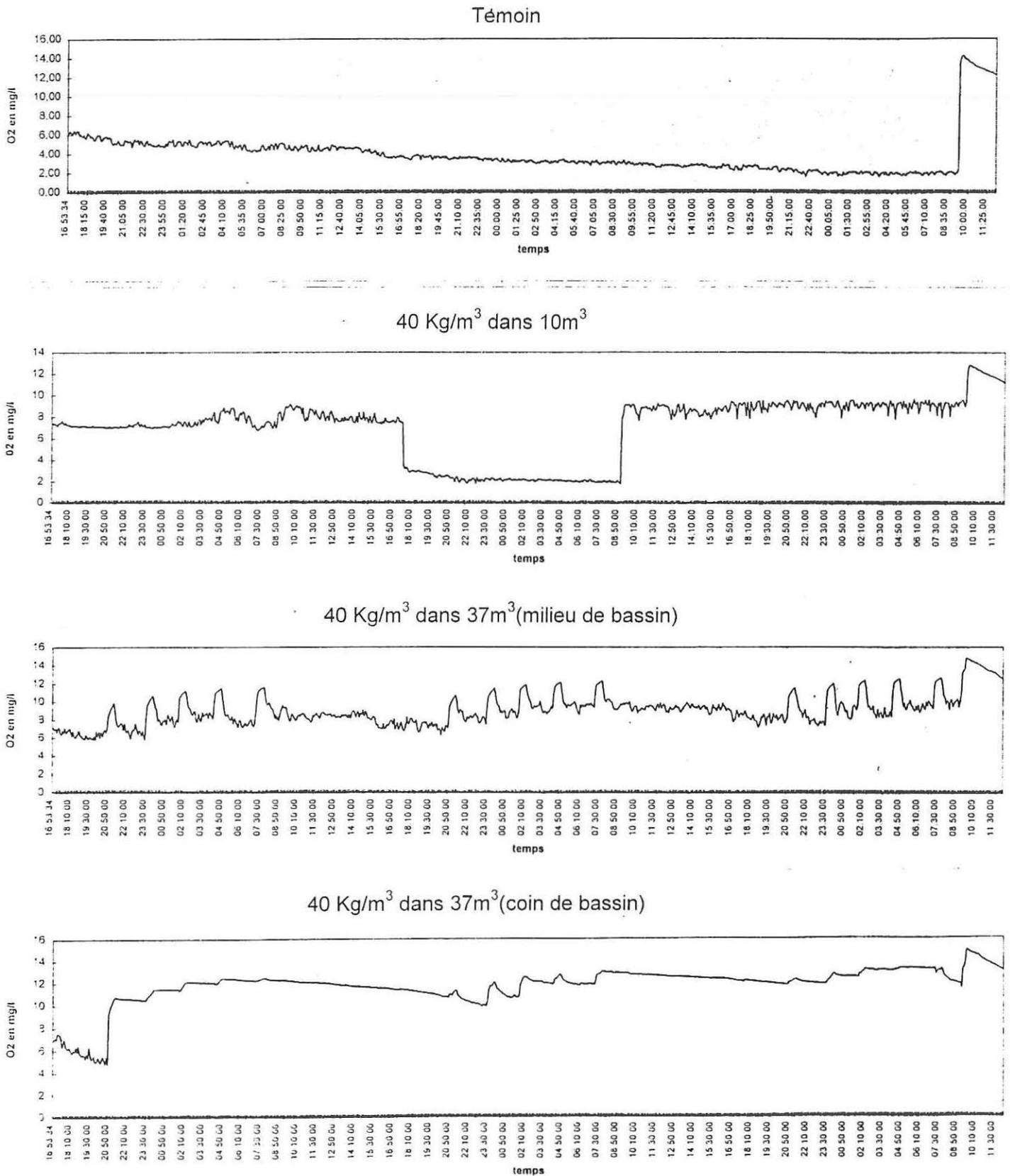
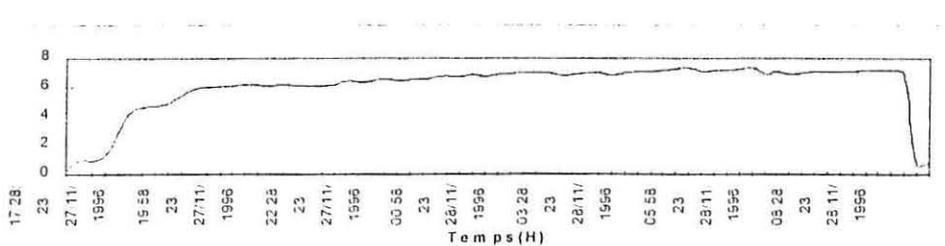
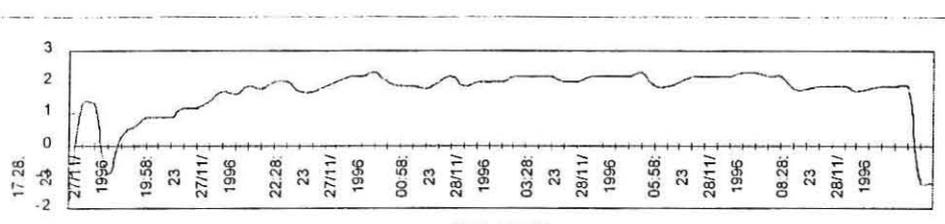
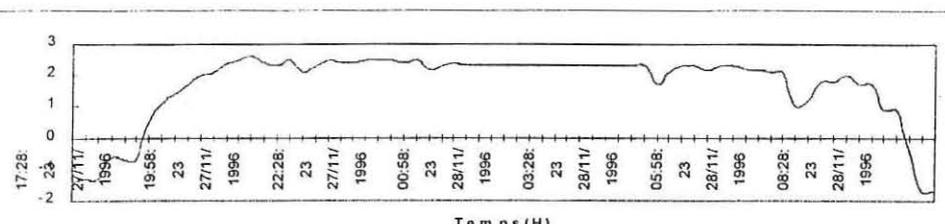
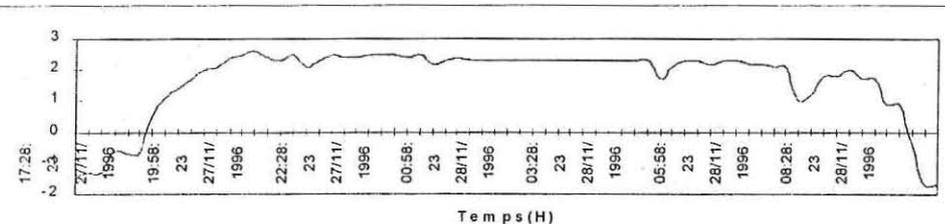
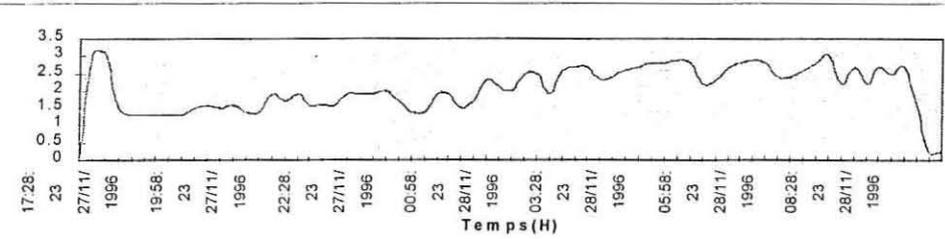
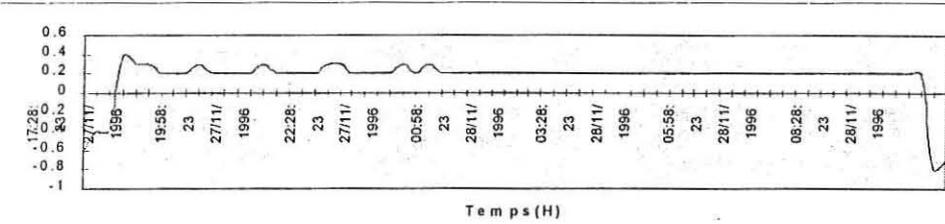
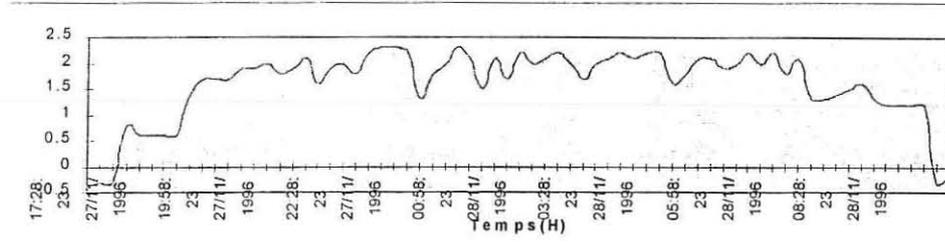
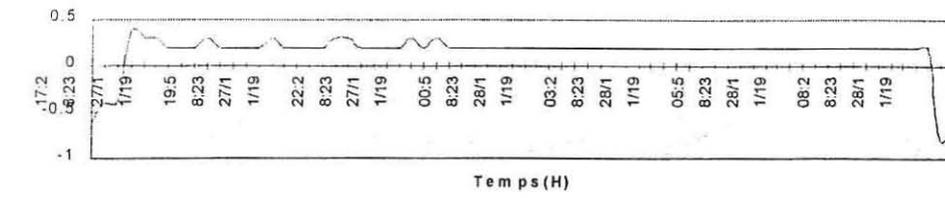


Fig 4bis: Activité valvaire dans le bassin de 37 m³ (27 - 28 novembre 1995)



4.3 Troisième expérimentation : 11 au 14 juin 1996

Les enseignements des deux premières expériences ont incité à augmenter les charges en stockage = 60, 100 et 200 kg/m³ respectivement. L'effet taille du bassin ne paraissant pas déterminant et les grosses quantités d'huîtres qui auraient été nécessaires à assurer de telles charges dans des bassins de 10 m³ ont conduit à utiliser des volumes plus réduits. Trois bacs de 100 l en fibre de verre ont donc été utilisés, immergés dans le bassin de 37 m³ de manière à assurer l'homogénéité et la stabilité thermique de ces volumes: L'aération a été réalisée par une série de tubes perforés maintenus au fond de chaque bac et alimentés en air par l'appareillage des expériences précédentes (turbines à air programmables).

Le protocole expérimental est resté inchangé (suivi de la décroissance en oxygène dissous dans chaque bac) mais l'on a disposé de deux valvomètres, l'un à 60 kg/m³, l'autre à 200 kg/m³ afin de comparer forte et faible charge. Ils ont été disposés dans les conditions à priori les plus défavorables (fond de bassin).

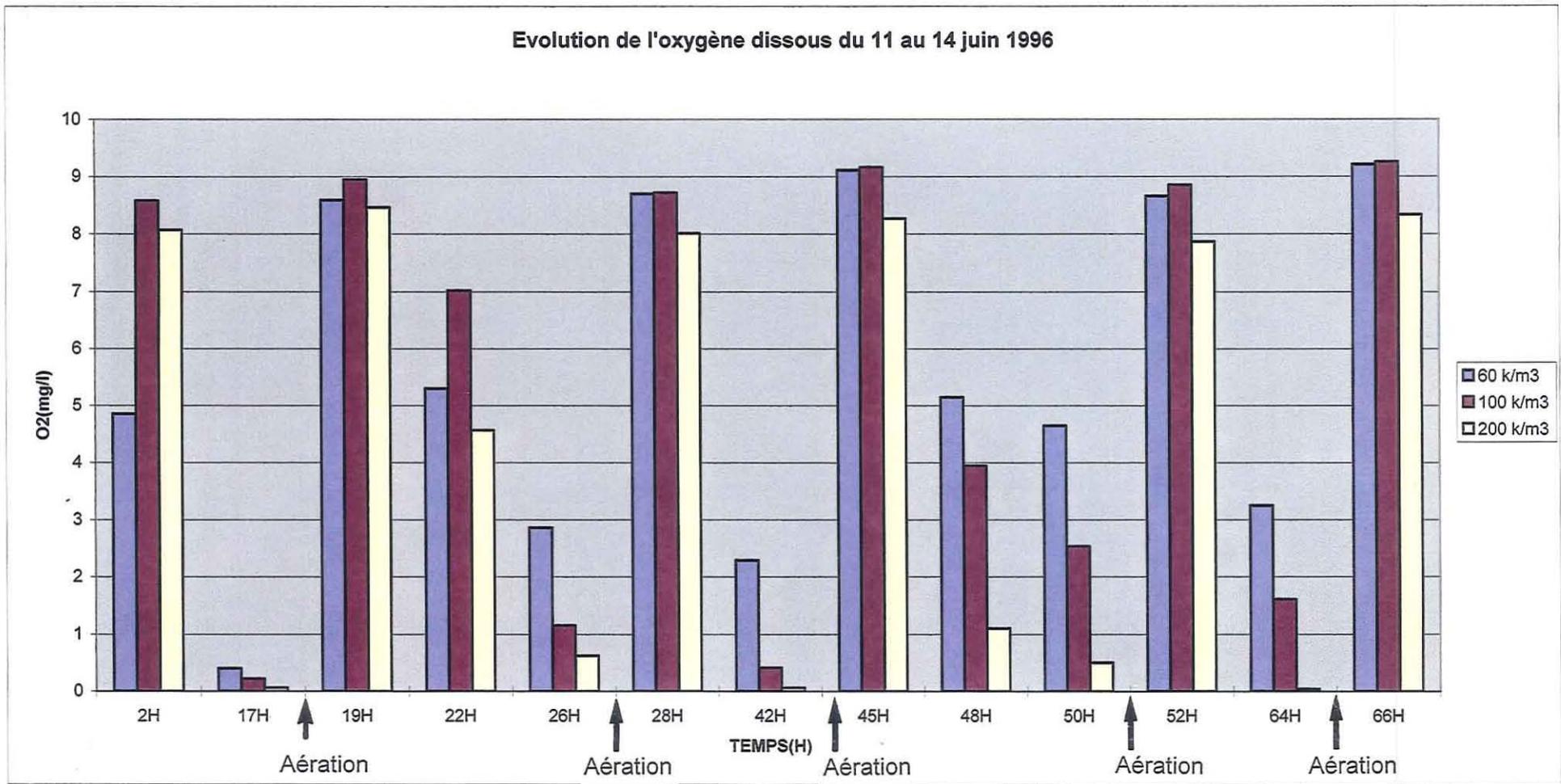
4.3.1 Evolution du taux d'oxygène dissous:

Du fait d'incidents techniques (centrale d'acquisition), l'enregistrement en continu n'a pas été possible. On ne dispose donc que de mesures ponctuelles, réalisées par lecture directe des sondes à oxygène (annexe II).

L'évolution dans les trois bacs est représentée simultanément sur la figure 5. Le pourcentage de saturation, tenant compte des conditions extérieures de température et de pression nous paraît plus représentatif que la mesure directe.

Les mesures ont été réalisées pour l'essentiel à l'occasion de la mise en marche ou de l'arrêt du système d'aération.

Les évolutions sont à peu près corrélées avec les charges croissantes, le bac à 60 kg/m³ étant la plupart du temps le moins déprimé en oxygène dissous. Le bac le plus chargé chute extrêmement bas (0,6 voire 0,4 % de la saturation).



Juin 1996

Figure 5: Evolution du taux d'oxygène dissous dans les différents bacs du 11 au 14

Lors des séquences d'aération, le temps nécessaire pour regagner un niveau convenable (supérieur à 80 %) est à peu près systématiquement de deux heures (contre une heure en moyenne en novembre 1995 avec le même système d'aération).

4.3.2 Paramètres physiques

-Salinité : l'eau pompée pour décantation à un coefficient de marée de 88 est de 33 ‰.

-Pression atmosphérique (annexe I) : elle oscille entre 1 020 et 1 032 mb au cours des quatre jours de mesures.

-Azote ammoniacal

Tableau 3 : Concentration en azote ammoniacal dans les bacs ($\mu\text{moles/l}$).

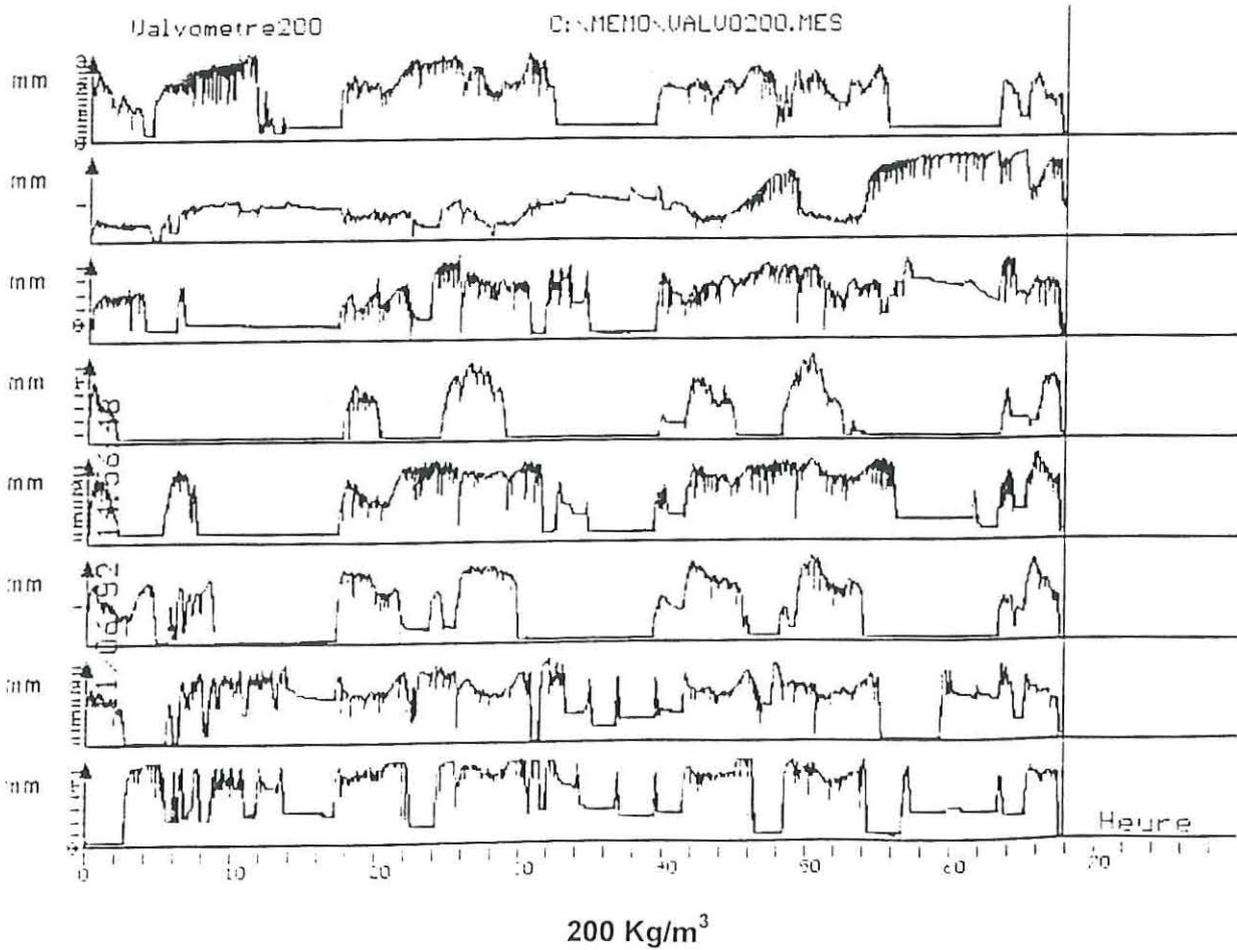
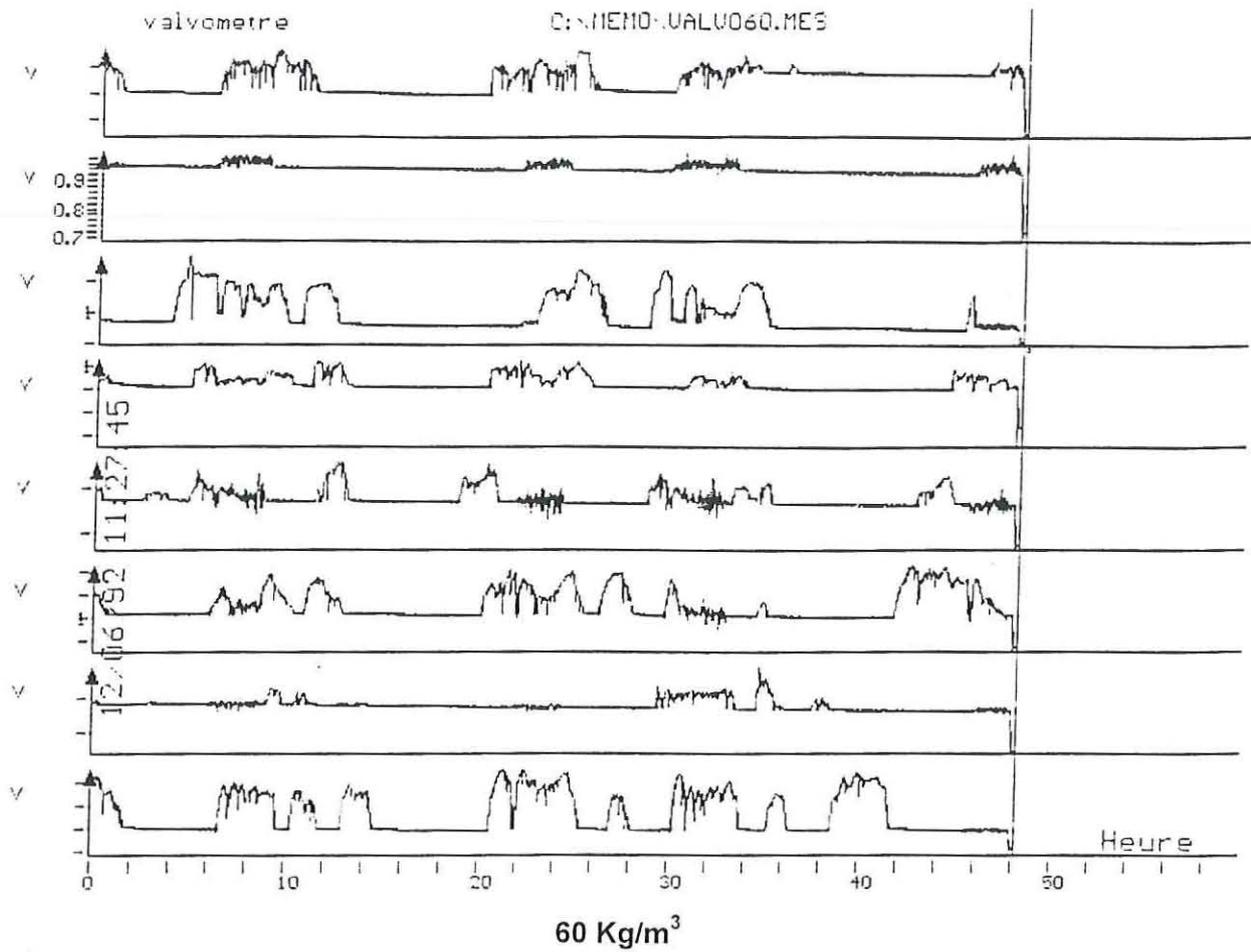
Date et heure des mesures	Bac n°1 60 kg/m ³	Bac n° 2 100 kg/m ³	Bac n° 3 200 kg/m ³	Témoin
11/06/96 à 18 h 30	59,5	65,6	28,35	28,75
12/06/96 à 9 h 30	52,5	46,5	116,22	58,4
12/06/96 à 18 h	544,88	92,4	103,1	9,6
13/06/96 à 9 h	55,5	145,4	198,4	13,8
13/06/96 à 19 h	55,5	85,2	225,21	19,7
14/06/96 à 9 h	54,3	137,07	253,8	91,8

L'excrétion azotée augmente fortement dans les bacs les plus chargés, preuve qu'une activité métabolique persiste quel que soit le niveau d'oxygène dissous dans les bacs (mais aussi peut être en fonction du niveau de stress rencontré)

4.3.3 Activité valvaire (fig. 6)

Les différences de comportement entre individus sont toujours très grandes. Les deux séries d'enregistrements sont très dissemblables. A faible charge, les deux tiers des individus restent fermés pendant plusieurs heures. Lorsque certains sont ouverts, les tentatives de fermeture sont nombreuses.

Figure 6: Activité valvaire de huit huitres à 60 et 200 Kg/m³ (juin 1996)



A forte charge, les fermetures sont moins longues. Par contre, les activités de contraction du muscle adducteur sont beaucoup plus fréquentes et de plus grande amplitude. Il ne semble pas y avoir de corrélation avec les mises en marche ou les arrêts de l'aération, ceci quelle que soit la charge (les fermetures ne correspondent pas, notamment).

4.3.4 Mortalités

Après vidange des bassins, vérification de tous les casiers, elles s'établissent ainsi :

$60 \text{ kg/m}^3 = 10$ individus (soit 1,38 %)

$100 \text{ kg/m}^3 = 27$ individus (2,14 %)

$200 \text{ kg/m}^3 = 33$ individus (1,41 %)

On constate encore une légère mortalité les jours suivants (casiers stockés dans le bassin de 37 m^3 soit moins de 20 kg/m^3 et aérés trois fois par jour)

$60 \text{ kg/m}^3 = 5$ individus (1,05 %)

$100 \text{ kg/m}^3 = 22$ individus (1,66 %)

$200 \text{ kg/m}^3 = 37$ individus (1,5 %)

Trois lots de 100 huîtres chacun laissés à sec sur le bord du bassin de 37 m^3 pendant trois jours présentent un taux de mortalité un peu plus élevé :

$60 \text{ kg/m}^3 = 12$ %

$100 \text{ kg/m}^3 = 11$ %

$200 \text{ kg/m}^3 = 13$ %

Sur les colis expédiés à Sète dans les mêmes conditions que précédemment, il a été décompté :

lot à $60 \text{ kg/m}^3 = 3$ (4,7 %)

lot à $100 \text{ kg/m}^3 = 2$ (3,1%)

lot à $200 \text{ kg/m}^3 = 4$ (6,3 %)

4.3.5 Indice de condition AFNOR :

Mesurés sur des lots de 30 huîtres, ils s'établissent ainsi (moyennes) :

Témoin = 9,72 (lot avant stockage)

60 kg/m³ = 13,06 (s=2.31)

100 kg/m³ = 11,68 (s=2.14)

200 kg/m³ = 12,97 (s=1.79)

60 kg/m³ après transport = 13,34 (s=1.68)

100 kg/m³ après transport = 12,54 (s=1.45)

200 kg/m³ après transport = 13,94 (s=2.29)

L'analyse de variance fait apparaître une différence significative (pourtant difficile à mettre en évidence à première vue) entre les lots à la fin du stockage et après l'expédition ($F = 4,59$ pour $F_{0,01} = 3,14$).

4.4 Quatrième expérience : 17 au 19 décembre 1996

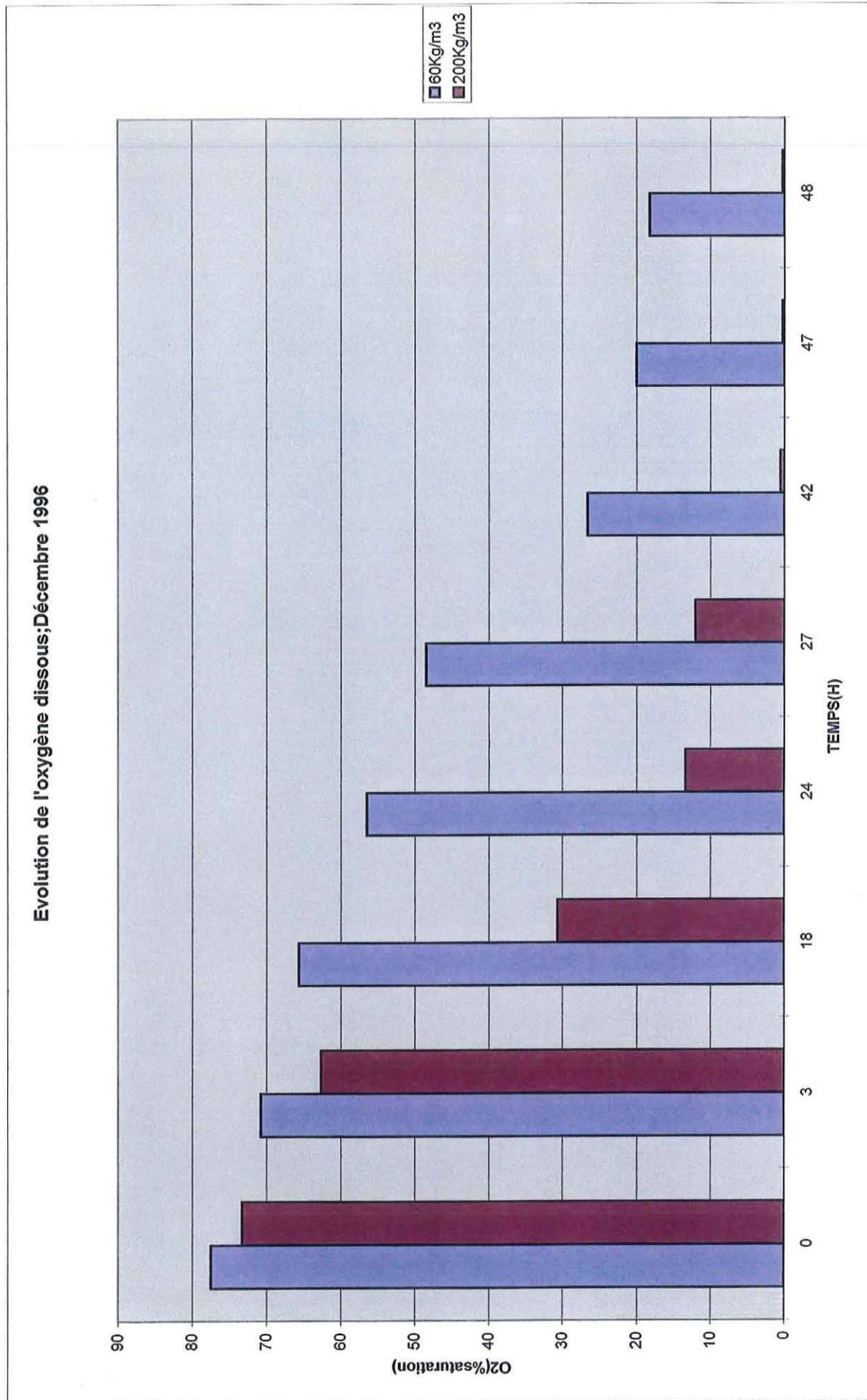
Afin de limiter encore les manutentions lourdes, seule une charge considérée comme normale (60 kg/m³) et une charge excessive (200 kg/m³) ont été suivies, selon des modalités un peu différentes : stockage court, sans aération (sauf au départ de l'expérience) ne dépassant pas quarante huit heures. Les structures utilisées étaient des bacs en fibre de verre presque entièrement immergés dans un bassin en béton de 10 m³ pour assurer comme précédemment une stabilité thermique.

4.4.1 Evolution du taux d'oxygène dissous

La diminution du taux d'oxygène dissous dans les deux bacs (exprimé en pourcentage de saturation) est représentée sur la figure 7.

Le système d'aération utilisé n'étant pas le plus performant pour de petits bacs, le départ de l'expérience ne s'est pas fait à 100 % de saturation. On se trouve toutefois au-dessus du seuil de 70 % en deçà duquel la plupart des physiologistes considèrent que les bivalves sont en état de stress (voir discussion).

Figure 7: Evolution du taux d'oxygène dissous dans les différents bacs du 17 au 19 décembre 1996



La chute est très forte pour le bac le plus chargé : après une quarantaine d'heures il n'y a presque plus d'oxygène disponible.

A 60 kg/m³, il faut attendre le même laps de temps pour passer en dessous de 20 % de saturation. A 200kg/m³, cette valeur est atteinte deux fois plus rapidement.

4.4.2 Paramètres physiques :

- Salinité : l'eau de mer pompée en Seudre et décantée était à 27,2 ‰.
- Pression atmosphérique (annexe I) : la chute est régulière de 1 012 à 992 mb.
- Azote ammoniacal:

Tableau 4 : Concentration en azote ammoniacal dans les bacs en $\mu\text{moles/l}$

	Date et heure des mesures	Bac à 60 kg/m ³	Bac à 200 kg/m ³
3 h	17/12/96 à 17 h 45	6,08	7,18
18 h	18/12/96 à 8 h 50	13,38	21,21
27 h	18/12/96 à 18 h	17,67	29,78
42 h	19/12/96 à 8 h 45	22,8	35,2
48 h	19/12/96 à 15 h	99,9	111

Sauf erreur de mesure ou artefact, l'excrétion azotée augmente fortement durant les six dernières heures, restant toutefois en deçà des valeurs observées au mois de juin précédent.

4.4.3 Activité valvaire :

Un valvomètre a été utilisé dans chaque bac sur les dernières 24 heures (fig. 8 et 8 bis)

Figure 8: Activité valvaire de huit huitres à 60Kg/m³

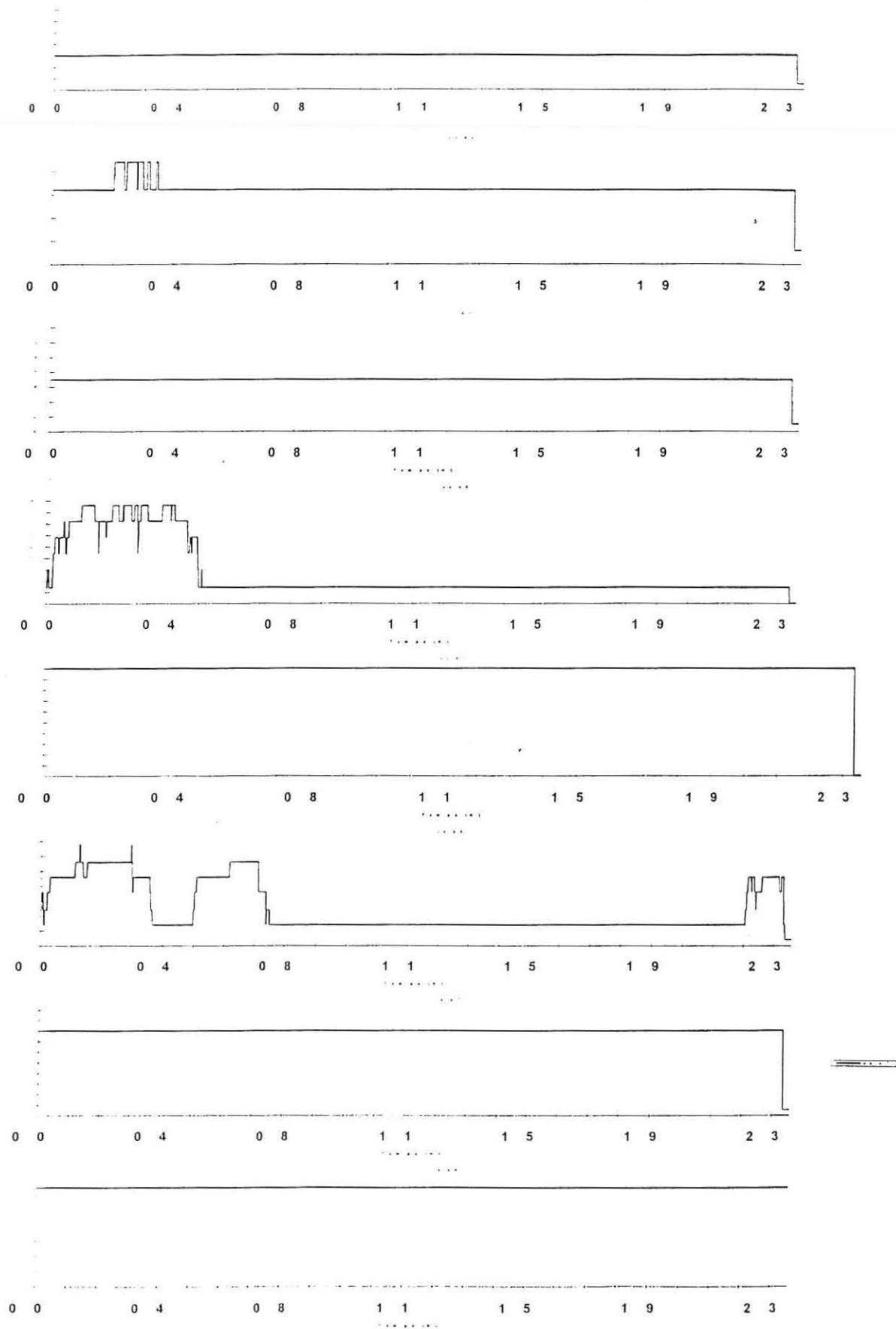
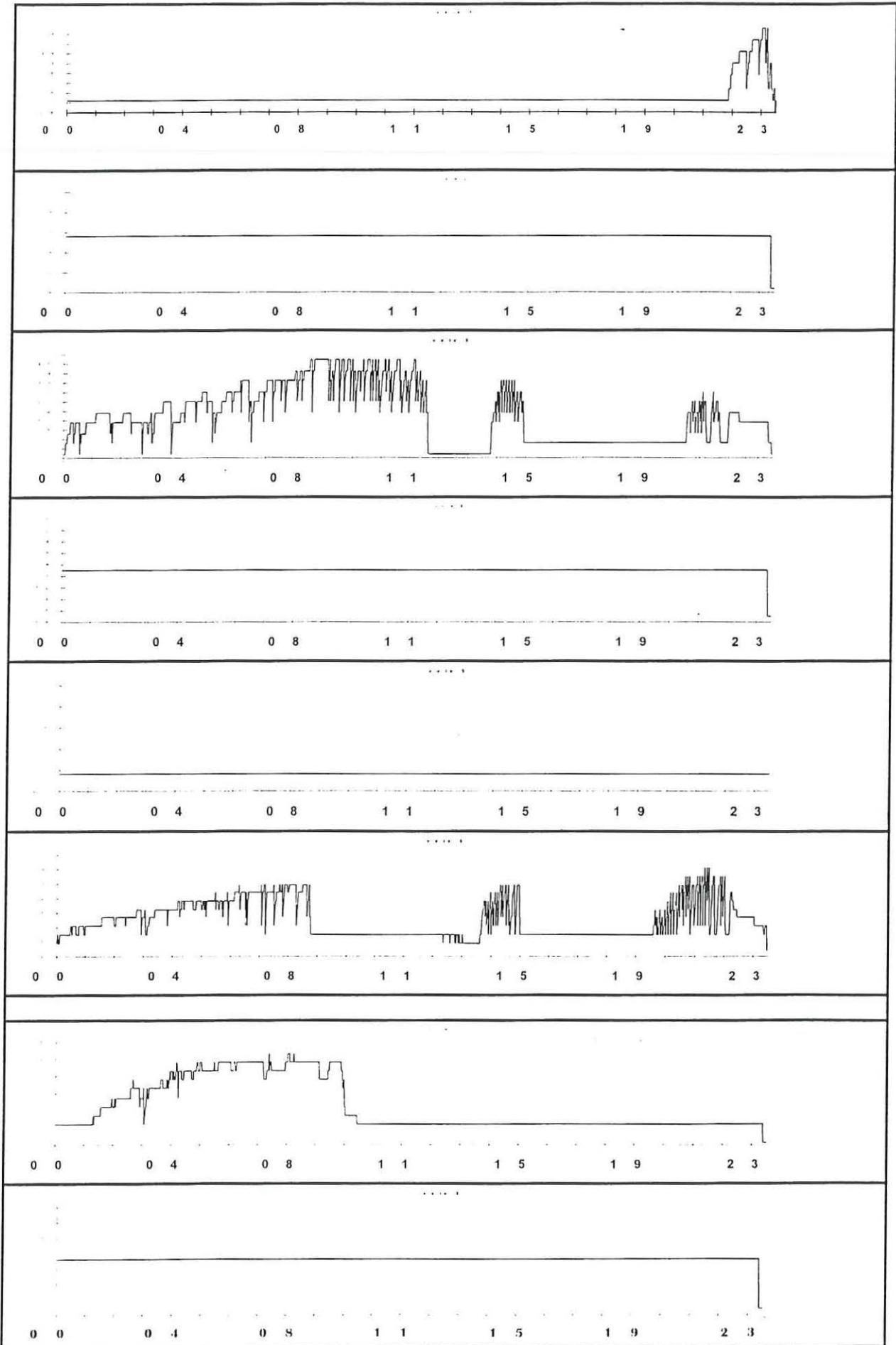


Figure 8 bis: Activité valvaire de huit huitres à 200Kg/m³



A 60 kg/m^3 , cinq individus sur huit sont restés fermés, les trois autres s'ouvrant très peu de temps en début d'enregistrement pour se refermer ensuite.

A 200 kg/m^3 , on observe pratiquement la même proportion d'individus qui restent clos. Ceux qui s'ouvrent le font plus longtemps qu'à faible charge mais leur activité est très perturbée : les tentatives continuelles de fermeture sont un signe évident de stress, ce qui n'a rien d'étonnant au vu des conditions de milieu : il n'y a pratiquement plus d'oxygène disponible.

4.4.4 Mortalités :

Elles sont extrêmement faibles : dix individus dans le bac à 200 kg/m^3 (0,5 %), aucun à 60 kg/m^3 .

Il n'y a pas de mortalité constatée dans les colis après 48 heures d'expédition (voir ci-dessous).

4.4.5 Indice de condition :

Compte tenu des résultats obtenus au mois de juin précédent (différence significative avant et après expédition) la procédure a été modifiée comme suit :

- Deux colis de 5 kg correspondant à chaque lot ont été confiés à un professionnel qui les a inclus à son chargement, transportés sur un marché à 300 km en fin de semaine puis ramenés au laboratoire le lundi suivant.

L'indice AFNOR a été calculé comme précédemment sur le poids de chair humide mais aussi sur le poids de chair sec, afin de vérifier s'il existait une différence due à une perte d'eau consécutive au transport.

Les indices se répartissent ainsi (moyennes sur 50 individus) :

	Avant expédition	Après expédition
60 kg/m ³	8,56	6,45
200 kg/m ³	7,31	6,85

L'analyse de variance (données transformées ; log x) réalisée sur l'indice normal (poids humide) et sur le rapport entre poids de chair sec et poids total ne fait pas apparaître de différence significative entre les lots.

(F = 1,66 pour l'indice de condition et F = 0,47 pour le rapport poids de chair sec/poids total comparativement à F_{0,05} = 2,65.)

5 DISCUSSION ET REMARQUES

5.1 Objectifs et méthodes:

Les études sur la consommation d'oxygène ou l'activité valvaire des coquillages sont presque toujours menées sur un petit nombre d'individu, dans des volumes qu'il est facile de contrôler en faisant varier avec précision tel ou tel paramètre.

Dans la plupart des cas il s'agit également d'étudier l'activité normale d'animaux placés dans des conditions les plus favorables. Les auteurs des travaux sur la purification des coquillages insistent même sur la nécessité d'éviter le stress aux animaux pour obtenir une décontamination effective. Il est très rarement fait état de mesures sur des coquillages en état de stress plus ou moins sévère (His, 1970, par exemple).

Bien souvent, ces travaux ne sont pas utilisables dans la pratique professionnelle : celle-ci est particulièrement dépendante de contraintes techniques et économiques. Le temps est compté et les tonnages à conditionner sont de plus en plus importants. Si l'écoulement des coquillages par la grande distribution, assure des rentrées importantes, il exige en contrepartie des délais parfois très brefs de mise à disposition du produit conditionné. Les stockages sont donc courts. En revanche, ils sont la plupart du temps massifs, ce qui provoque des pertes élevées en cas

d'erreur de manipulation. Il faut donc travailler à une échelle similaire si l'on veut des informations utilisables par les professionnels.

Dans la présente étude, il a été utilisé plus de deux tonnes d'huîtres dans certains cas, manipulées comme dans un établissement d'expédition, c'est à dire aussi rapidement que possible : récolte sur parcs, transport nautique puis terrestre, tri, lavage, conditionnement en plateaux, mise en bassins, avec les mesures de paramètres en sus, par un petit nombre de personnes. Il faut aussi des systèmes de mesure robustes et fiables, ce qui n'a pas toujours été le cas dans cette étude. Certaines données manquent, en particulier des enregistrements en continu. Fort heureusement, les premières expériences ont permis d'acquérir beaucoup d'informations comparables à celles d'une précédente étude (Bougrier et al., 1991) pour orienter au mieux les investigations ultérieures.

Les deux facteurs principaux à considérer sont l'évolution du taux d'oxygène dissous dans les bassins ainsi que l'activité valvaire. Cette dernière permet de mettre en évidence des risques de stress de manière beaucoup plus sûre et économique que la constatation de mortalités que l'on s'est efforcé d'induire.

Il ne s'agit plus ici de travailler dans un environnement contrôlé : l'eau d'un bassin de stockage extérieur en béton est soumise au vent, aux variations de pression atmosphérique, éventuellement au rayonnement solaire. La température (et la salinité dans une moindre mesure) ne sont pas modifiables à volonté, si l'on veut rester dans les conditions "normales" de travail des professionnels.

Deux voies contradictoires nous ont été suggérées :

- Déterminer pour les coquillages les conditions idéales de stockage : dans de nombreux cas (expéditions de fin d'année) elles ne seront pas réalisées ou respectées car antiéconomiques ou au moins trop coûteuses.

- Déterminer les cas de stockage entraînant à coup sûr la mortalité de tout ou partie des animaux stockés ("jusqu'où l'on peut aller ou non"). Ces seuils étant sous l'influence de plusieurs facteurs combinés et non contrôlables (état physiologique des animaux, vitesse de variation des paramètres du milieu) ne pourront jamais être déterminés avec certitude. Il n'est

ni réaliste ni utile de fournir de semblables informations aux professionnels, dont le souci majeur est d'éviter les mortalités.

Ces arguments ont dicté le choix qui a été fait ici de travailler avec des densités couramment utilisées par les professionnels même si l'on peut les juger excessives, au cours de périodes économiquement intéressantes pour eux (printemps et automne).

5.2 L'évolution du taux d'oxygène dissous dans les bassins :

Les animaux stockés étaient débarrassés de leurs épibiontes et les densités dans les bassins suffisantes pour supprimer tout biais dû à l'influence d'autres organismes que les huîtres (le phytoplancton est très rapidement consommé : Faury et al., 1995).

Il n'y a pas eu durant les différentes expériences d'épisodes de vent violent ni de chute très importante de la pression atmosphérique, pouvant entraîner une baisse de l'oxygène dissous.

Les diminutions de taux d'oxygène dissous observées dans les bassins durant les périodes sans aération doivent donc être pour la plus grande partie imputables à la respiration des huîtres stockées.

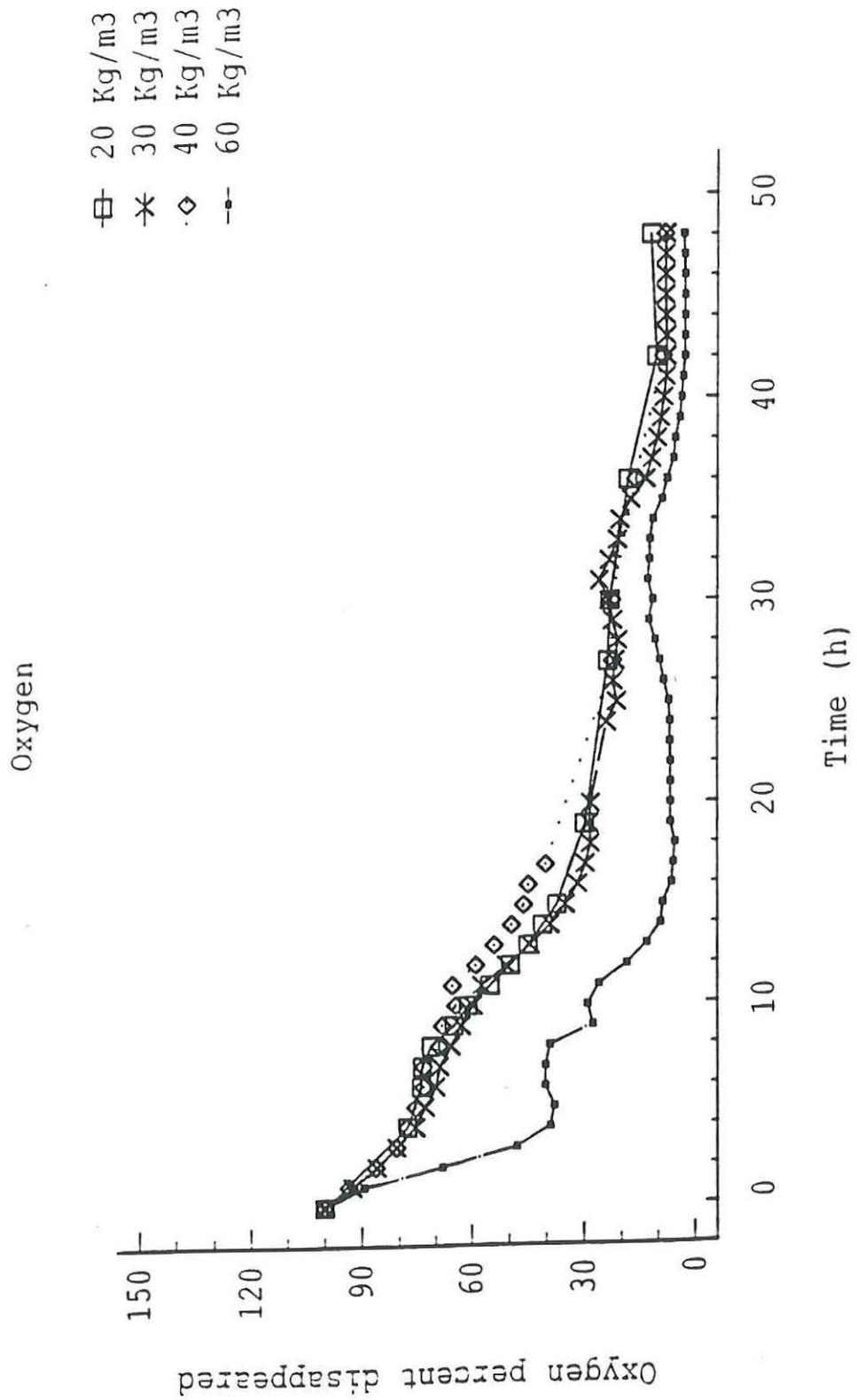
De nombreux auteurs ont étudié les phénomènes respiratoires de *Crassostrea gigas* dans des conditions normales, mais sur des individus isolés et en enceinte contrôlée.

5.2.1 Modèle descriptif de la consommation en oxygène par *Crassostrea gigas* :

Une première étude (Bougrier et al., 1991) sur l'évolution de l'oxygène dissous dans ces mêmes bassins en 1988 présentait déjà un aspect inattendu avec des charges variées (fig.9) : la décroissance n'est pas linéaire, les courbes prenant une allure asymptotique au fur et à mesure que l'oxygène disponible se réduit, pour arriver dans certains cas (mois de mai, bassins chargés à 60 kg/m³) à un niveau très faible mais quasi constant au bout de 48 heures. Ultérieurement, les travaux de Bougrier et al. (1995) ont permis d'établir un modèle de consommation en oxygène des huîtres *Crassostrea gigas* par gramme de chair (poids sec) en fonction de la température de l'eau :

$$VO_2 = [a + (b * c^T)] * Dw^d$$

Figure 9: Evolution du taux d'oxygène dissous dans un bassin de 10m³, à différentes charges en mai 1990(d'après Bougrier et al.,1991)



V_{O_2} = consommation d'oxygène en $mgO_2.h^{-1}$

T = température (°C)

DW = poids sec de chair

a, b, c, d = constantes

Les constantes établies dans différentes configurations (températures et saisons) entre 5 et 32°C prennent dans le cas de *Crassostrea gigas* les valeurs suivantes :

$$a = -0,432 \pm 0,219 ; b = 0,613 \pm 0,2 ; c = 1,042 \pm 0,007 ; d = 0,8 \pm 0,029$$

L'utilisation de ce modèle suppose évidemment que l'on prenne en compte les diverses limitations liées à son usage :

- la marge d'incertitude (qui peut être de 30 %) lorsque l'on considère l'intervalle de confiance des diverses constantes ainsi que celui des poids secs.
- la plage de validité du modèle, normalement comprise entre 100 et 70 % de saturation en oxygène dissous, valeurs en deçà desquelles la plupart des auteurs s'accordent à dire que les animaux ne sont plus dans des conditions normales (notamment, Bougrier et al., 1991).

5.2.2 Comparaison entre consommation théorique et consommation observée :

- au cours des phases de décroissance observées de la concentration en oxygène dissous dans les bassins, nous avons considéré que la plus grande partie était consommée par les huîtres stockées, ce qui nous donne une consommation observée (ΔO_2) à plus ou moins 20 % près pour tenir compte d'autres facteurs (l'advection principalement).
- par ailleurs, le modèle permet de calculer la consommation théorique de cette quantité d'huîtres pendant la même période comme si tout l'oxygène nécessaire était disponible (stockage aéré en permanence par exemple). Des travaux récents montrant que les huîtres (hors période de reproduction) ne consomment d'oxygène que pendant 80 % de leur temps d'immersion (Bougrier et al., à paraître) nous en avons tenu compte dans le calcul de la consommation théorique.

La comparaison de ces différentes données est tout à fait instructive. Les résultats sont présentés sur les figures 10,11 et 12 (tableaux en annexe II).

* Novembre 1995 (température à 13°C) :

Lors de la première baisse, la consommation observée est supérieure à la consommation théorique, aussi bien à 40 kg/m³ qu'à 100 kg/m³, ce qui peut s'expliquer aisément : après l'à-sec nécessaire à la préparation de l'expérience, puis l'aération forcée du début, les animaux sont vraisemblablement en hyperventilation consécutive à la réouverture des valves (Bougrier et al., 1998, p. 209). De plus, nous sommes entre 100 et 70 % de saturation, conditions considérées comme normales. Par la suite, la consommation observée est inférieure à la consommation théorique, surtout à 100 kg/m³, même si l'on tient compte des incertitudes du modèle théorique et de la consommation réelle.

Notons au passage que les mêmes différences apparaissent dans le bassin de 37 m³ (dans la deuxième expérience). Le comportement des animaux paraît donc identique quelle que soit la taille ou la forme du bassin.

* Juin 1996 (température à 20°C) :

Aux charges moyennes ou fortes (60 ou 100 kg/m³), les consommations observées et théoriques sont assez voisines lorsque les périodes de baisse sont de courte durée (5 h). Par contre, la différence est nette pour les périodes longues (15 h) la consommation observée étant toujours très inférieure à la consommation théorique.

A très forte charge (200 kg/m³) ce dernier phénomène est systématique (et très marqué) quelle que soit la durée.

* Décembre 1996 (température à 9°C) :

Cette période est très intéressante à étudier :

- Au début, quelle que soit la charge, l'adéquation avec le modèle paraît bonne (période courte : 2 h 45).

- Par la suite la différence est très nette, la consommation observée étant toujours très inférieure à la consommation théorique.

Figure 10: Comparaison entre consommation d'oxygène théorique et observée en novembre 1995

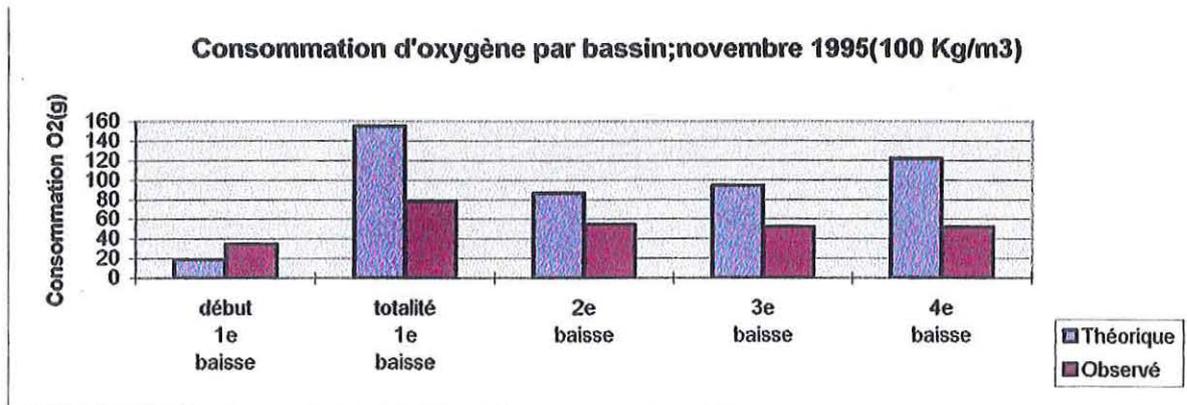
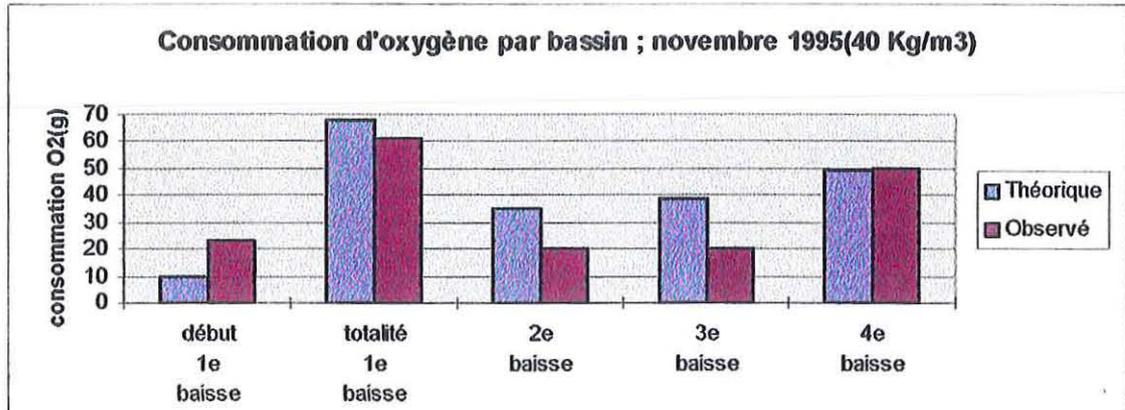


Figure 11: Comparaison entre consommation d'oxygène théorique et observée en juin 1996

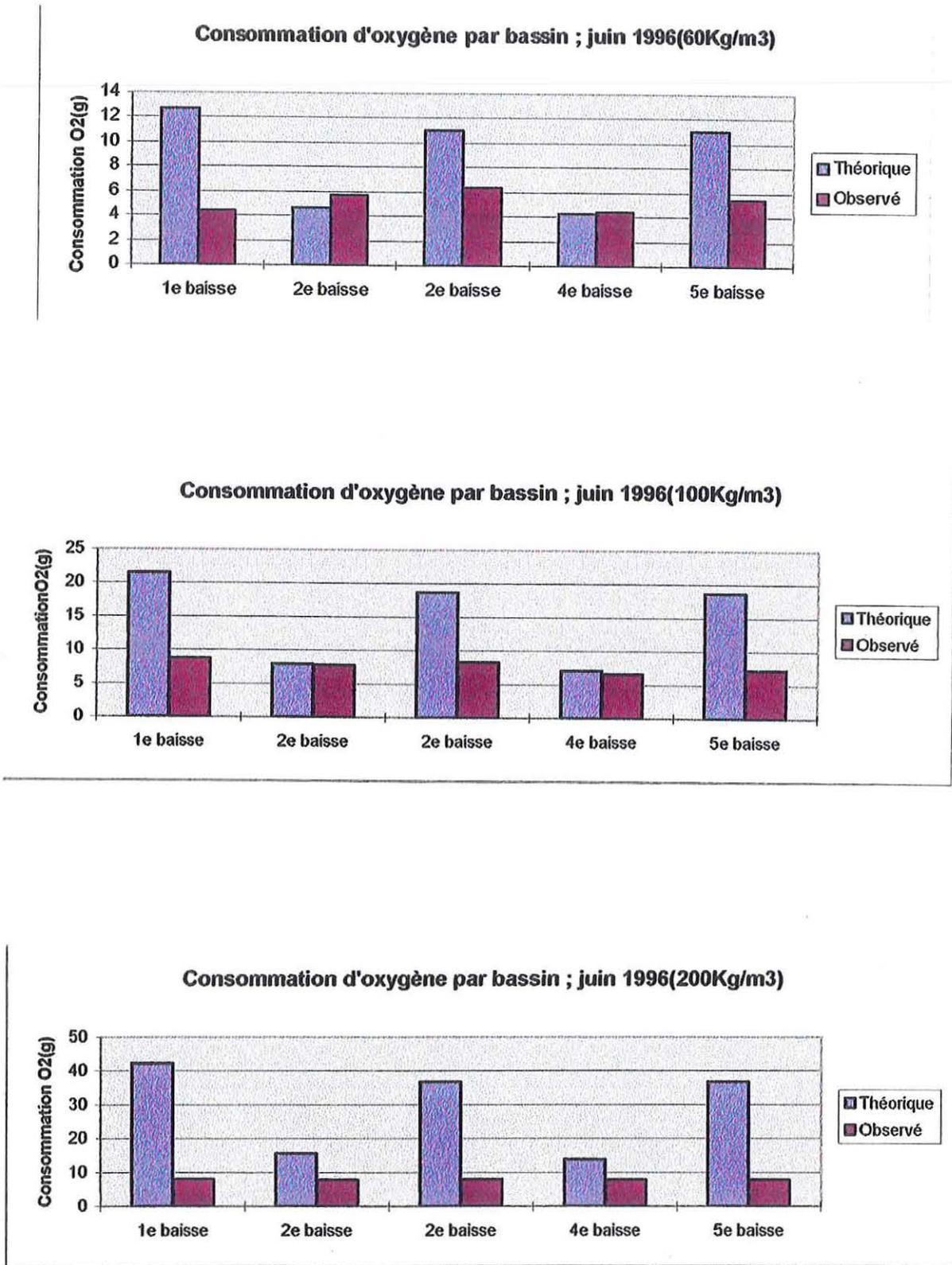
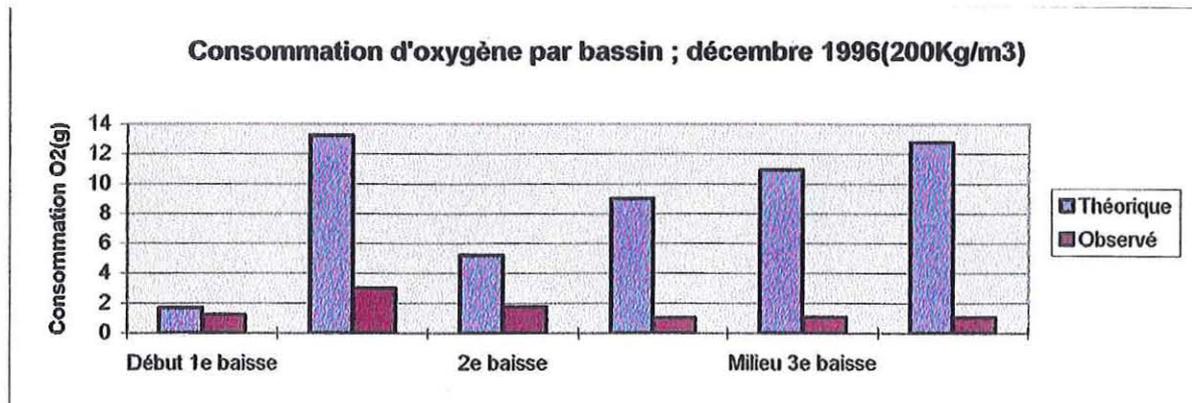
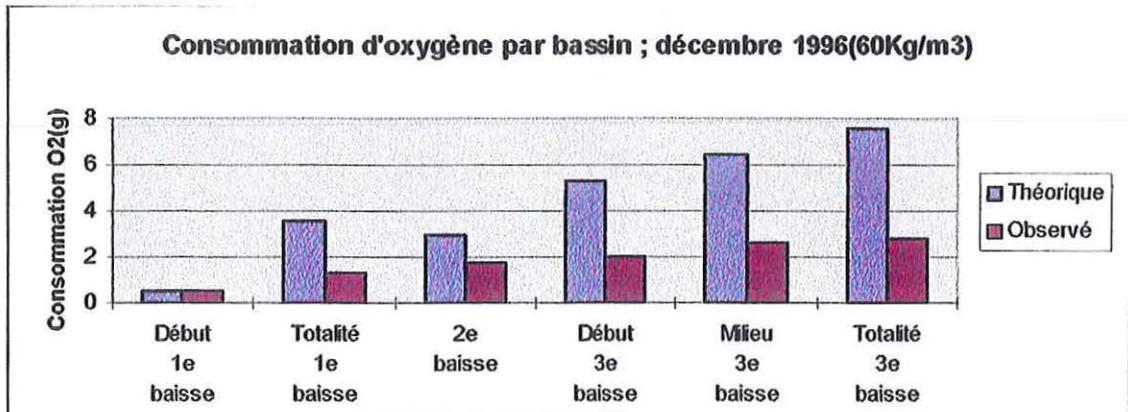


Figure 12: Comparaison entre consommation d'oxygène théorique et observée en décembre 1996



- A 60 kg/m^3 on observe une légère augmentation de la consommation au cours du temps, en particulier lors de la dernière période de baisse. A 200 kg/m^3 le phénomène est inverse : légère diminution, puis stabilité : la consommation réelle est inchangée durant les dernières heures de l'expérience.

Toutes ces observations nous amènent à conclure que dans des conditions de milieu difficiles, les animaux réduisent leur activité respiratoire. Les teneurs élevées en azote ammoniacal indiquent toutefois que leur activité métabolique se poursuit, même pour les huîtres qui se sont fermées (enregistrements valvaires), comportement qui peut d'ailleurs expliquer en partie la réduction de consommation observée.

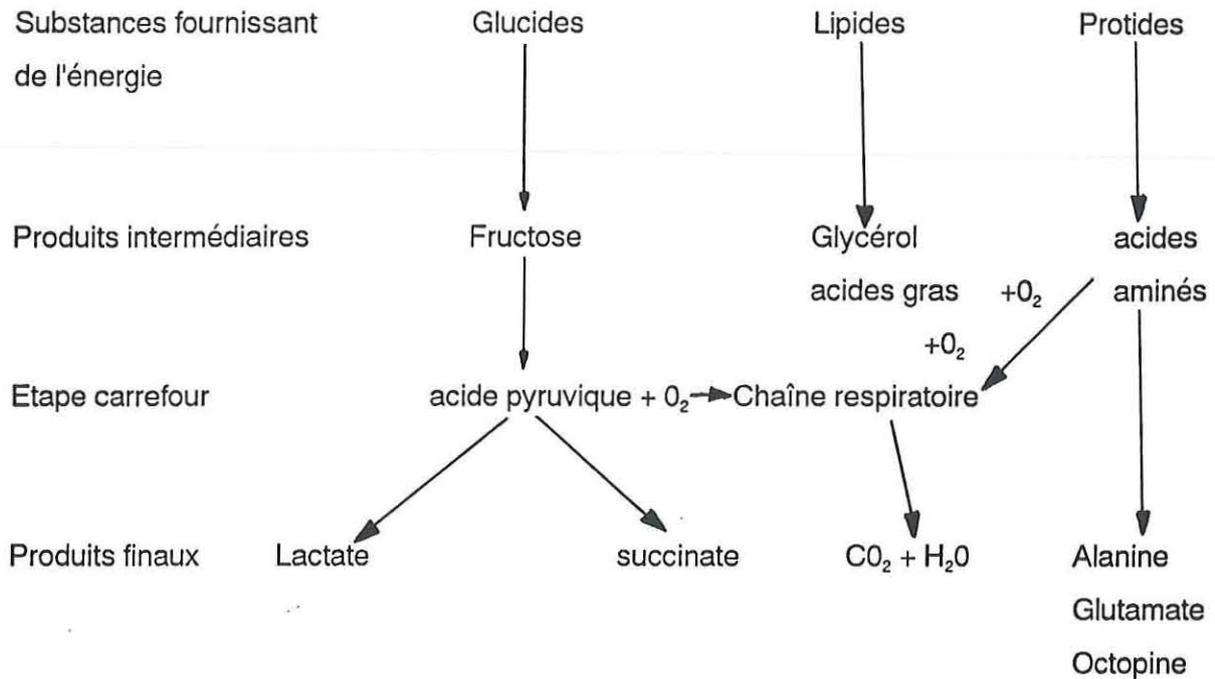
Il y a donc obligatoirement recours à d'autres processus physiologiques que la simple respiration.

5.2.3 Rappels sur la physiologie respiratoire des mollusques :

Les réactions biochimiques nécessaires à la vie ne peuvent avoir lieu sans énergie, laquelle est fournie de différentes manières, dont la plus utilisée est la respiration. D'autres processus existent, prenant le relais de la respiration lorsque l'oxygène n'est pas disponible (= anaérobiose). Le plus fréquent chez les vertébrés est la fermentation lactique (cas des muscles striés privés d'oxygène).

Chez les mollusques, il existerait près d'une vingtaine de processus différents pour récupérer de l'énergie : Zammit (1974) distingue déjà quatre voies différentes de dégradation du glycogène (cité par Zwaan, 1977).

En simplifiant à l'extrême, on peut résumer ces mécanismes dans le schéma suivant :



Il n'est pas utile de détailler davantage dans le cadre de cette étude.

D'ailleurs, "la complexité des réactions biochimiques qui se produisent dans les tissus des bivalves pendant les phases anaérobies est telle qu'il n'est pas possible de donner un schéma général de ces mécanismes" (de Zwaan, 1977).

Par contre, les nombreux travaux existant sur ce sujet permettent de faire un certain nombre de remarques :

- Les mollusques bivalves vivant dans la zone de balancement des marées, sont soumis de ce fait à des émerSIONS plus ou moins longues. L'évolution a favorisé l'acquisition de mécanismes particuliers qui leur permettent de survivre dans ces conditions (Livingstone, 1983), d'autant que les conditions d'anaérobiose ne sont pas déterminées par les animaux eux-mêmes, contrairement aux vertébrés par exemple : plongée des mammifères marins, contractions musculaires prolongées (de Zwaan, 1977). C'est d'ailleurs cette caractéristique qui permet de transporter pour mettre à la consommation des animaux vivants en s'affranchissant du milieu aquatique. L'anaérobiose dans les conditions naturelles (émerSIONS plus ou moins régulières et parfois prolongées) est précédée d'une hypoxie progressive des tissus allant jusqu'à l'anoxie complète, au moins pour certains d'entre eux (de Zwaan, 1977).

Dans ces conditions l'on assiste à une forte réduction de la demande en énergie : l'activité cardiaque et le taux de filtration chutent, la digestion est ralentie ou stoppée (de Zwaan, *ibid.*).

- Les muscles adducteurs (et donc les contractions musculaires commandant la fermeture des valves) sont plus ou moins indépendants de l'oxygène disponible : leur métabolisme est essentiellement anaérobie (de Zwaan, *ibid.*, p. 147) alors que les tissus de la branchie, par exemple, fonctionnent au contraire majoritairement en aérobiose.

- Enfin, il n'y a pas seulement remplacement progressif d'un mécanisme par l'autre ; ils paraissent se dérouler concurremment dans certains cas (aérobiose dans la branchie, anaérobiose dans les muscles par exemple) c'est ce que suggèrent Bayne et Livingstone (1977) ou de Zwaan (1983). Du point de vue biochimique, le changement de voie métabolique est provoqué par des systèmes enzymatiques activés par la baisse d'oxygène ou la baisse de pH. De plus, ce dernier facteur risquant de provoquer une acidose nuisible aux tissus, le CO₂ produit est stocké dans la coquille sous forme de CaCO₃ (Nagy, 1973 in de Zwaan, 1977).

Ces adaptations physiologiques ont leurs limites; toutefois, leur principale caractéristique paraît être une mise en place progressive. Si le changement des conditions de milieu est trop rapide, les mécanismes biochimiques ne peuvent s'enclencher correctement, provoquant des dommages parfois irréversibles, de même que lorsque les conditions extérieures sont trop hostiles (température trop élevée par exemple : Le Gall et Raillard, 1988).

5.2.4 Conséquences pratiques :

Il résulte de tout ce qui précède qu'il n'est pas possible sans travaux ultérieurs sur l'anaérobiose d'utiliser les connaissances sur la respiration des mollusques pour définir des abaques de stockage en bassin. Si l'on voulait établir des seuils léthaux, par exemple, il importerait de savoir pourquoi et à quel moment les mécanismes physiologiques d'adaptation vus plus haut sont dépassés. Cette activité ne peut d'ailleurs être envisagée indépendamment des conditions antérieures dans lesquelles se sont trouvés les animaux. En effet, un expéditeur peut stocker en bassin :

- des huîtres venant de parcs exposés plus ou moins longtemps à l'émersion, et après un trajet plus ou moins long jusqu'à l'établissement (le mode de transport joue : un chaland qui

doit attendre la marée montante ou un tracteur qui permet de ramener les coquillages au plus vite),

- des huîtres récoltées en eau profonde, qui ne sont pas habituées à l'émersion,

- des huîtres venant d'autres bassins ostréicoles : aux différents cas de figure précédents, s'ajoute un trajet relativement long en camion, sans parler de celles venant de pays voisins.

Il faut aussi prendre en compte, si l'on veut être complet, l'état physiologique des animaux avant ou après reproduction, avant le jeûne hivernal (état des réserves).

5.3 Revue des autres paramètres :

5.3.1 Activité valvaire :

Bien étudiée par His (1976) qui a décrit les comportements caractéristiques des animaux, sa mesure avait été envisagée dans ce travail pour détecter les signes de stress. Si l'on considère l'activité normale d'une huître (fig. 13), on constate que les valves sont ouvertes en permanence, avec de légères contractions qui correspondent à l'émission de pseudofécès.

Lorsque les conditions extérieures deviennent défavorables, l'animal réagit :

- 1*) par des tentatives de fermeture fréquentes,
- 2*) par des fermetures plus ou moins longues, entrecoupées d'ouvertures.

Dans les cas extrêmes, l'animal perd sa capacité à rester fermé. C'est le signe le plus manifeste de son agonie.

Les différents enregistrements réalisés dans le cadre de ce travail montrent deux choses :

- les différences de comportement entre les individus, déjà signalées pour cette espèce,
- les fermetures prolongées ou les tentatives continuelles de fermeture, et ceci indépendamment des séquences avec ou sans aération, montrent combien le stockage en bassin, quelle que soit la charge est perturbant pour les animaux : ceux-ci ne sont ni émergés ni en pleine eau.

Figure 13: Activités valvaires caractéristiques de l'huître *Crassostrea gigas* (d'après His, 1976)

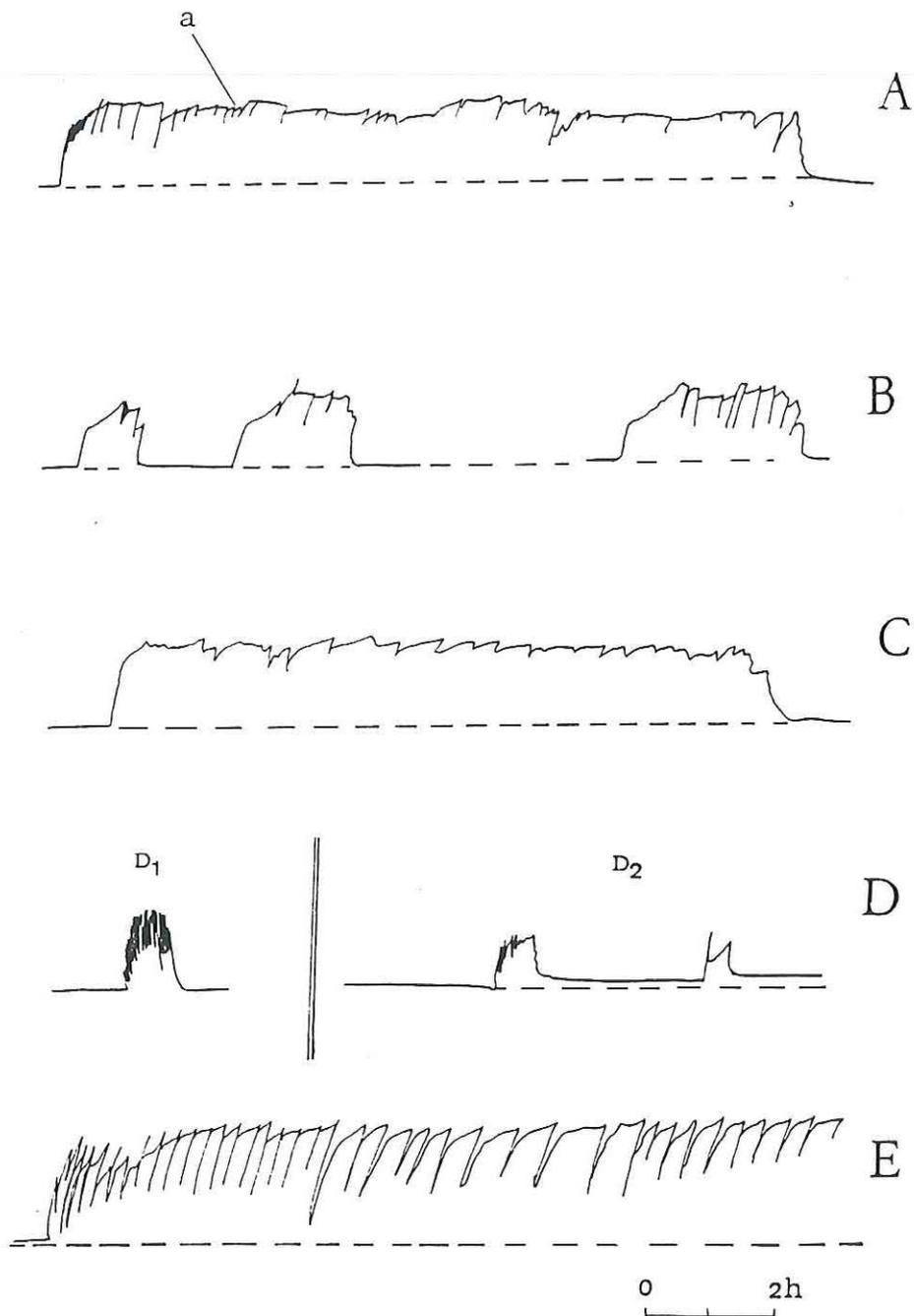


FIG. 4. — Modifications de l'activité valvaire d'une huître placée en milieu confiné (surcharge d'un bassin en eau non renouvelée). A: activité valvaire normale (noter en a l'émission de pseudofèces, particules non ingérées par l'huître). B: réactions traduisant des conditions défavorables de milieu: l'huître s'ouvre quelques heures, puis se ferme plus ou moins longtemps. C: activité valvaire traduisant la fatigue du muscle adducteur; cette réaction peut être fugace; il y a passage rapide à D. D: réactions traduisant un milieu franchement dangereux pour l'huître (D1): D2, huître « cloquante », c'est-à-dire ayant perdu son pouvoir de fermeture; l'huître est condamnée. E: agonie de l'huître: le mollusque est condamné, il « tient mal » au transport.

Conséquence pratique :

Il faut avoir conscience que la mise en bassin est un état artificiel, transitoire, même s'il est nécessaire, et qu'il doit être réalisé avec précaution. De plus, la pratique de la purification des huîtres devra compter avec ces conditions: les animaux dont les valves sont closes (ce qui arrive à la moitié des animaux dans les conditions de trop forte charge) ne se purifient pas.

5.3.2 Excrétion azotée :

Elle représente simplement ici un indicateur de l'activité métabolique des animaux, laquelle paraît se poursuivre même en l'absence d'oxygène, preuve qu'il faut compter avec la physiologie en anaérobiose.

5.3.3 Mortalités :

Malgré les conditions sévères de stockage que nous avons réalisées dans ce travail, nous n'avons comptabilisé que des mortalités très faibles, fort probablement à cause de la dégradation progressive de ces conditions (la baisse du taux d'oxygène dissous se fait en dix huit à vingt quatre heures).

6 CONCLUSIONS

L'objectif de ce travail était d'obtenir des éléments chiffrés qui permettent aux professionnels d'améliorer leur pratique du stockage, et notamment d'établir ultérieurement des abaques donnant les charges admissibles en fonction des paramètres biologiques et environnementaux.

Une telle démarche passait obligatoirement par l'étude de la respiration chez les mollusques. Chez les bivalves intertidaux (soumis aux marées) cette activité physiologique est extrêmement complexe : à la respiration proprement dite, s'ajoutent ou se superposent d'autres mécanismes d'acquisition d'énergie, lorsque l'oxygène est peu ou pas disponible. L'anaérobiose, dans les conditions d'élevage et surtout de stockage est une composante majeure de leur physiologie. Pour aller plus loin, (notamment réaliser des abaques) il sera nécessaire de la prendre en compte.

Les expériences réalisées ici confirment que les huîtres régulent leur respiration en fonction des conditions de milieu, notamment lors du stockage en bassin, à fortiori à charge élevée.

Sur le plan pratique, l'idéal serait de maintenir dans les bassins des conditions de milieu optimales.

La première recommandation que l'on pourrait faire est de maintenir le taux d'oxygène dissous entre 100 et 70 % de saturation. Ceci suppose le recours systématique à l'aération, déclenchée par une sonde de mesure de l'oxygène dissous, couplée à un automate qui commande l'aérateur.

Ce n'est malheureusement pas toujours possible, ces matériels étant coûteux et fragiles. Par contre, il est indispensable de pouvoir détecter les cas de figure défavorables : forte charge, température élevée, pression atmosphérique en baisse : un thermomètre, un baromètre (et un salinomètre...) instruments peu onéreux, devraient se trouver dans tout l'établissement d'expédition.

Une autre conclusion de cette étude est que, malgré des conditions à priori très défavorables, il n'a pas été observé d'accidents (mortalités très faibles) ce qui est à coup sûr dû à la variation lente de ces conditions, couplé à la résistance de cette espèce aux variations de milieu..

La deuxième recommandation que l'on peut donc faire (ou plutôt refaire...) est d'éviter autant que possible tout changement brusque des conditions de milieu : choc de salinité, choc de température, désoxygénation brutale (temps orageux).

A défaut, il faut au moins les atténuer ou les compenser : réduction de la charge, recours à l'aération (laquelle doit être adaptée au cas par cas), etc...

Pour terminer, il faut rappeler que les huîtres sont des **animaux d'élevage**, herbivores, plus proches en cela des bovins domestiques que des poissons pêchés. Ils respirent (et régulent leur respiration), se nourrissent (choisissant même parfois leur nourriture), se reproduisent (il serait bon de sélectionner les meilleurs). Quelle que soit la phase d'élevage il importe donc de les placer dans les meilleures conditions de vie possibles, y compris et même surtout lors du stockage.

Remerciements :

L'auteur tient à remercier toutes les personnes qui lui ont apporté leur aide ou leurs conseils pour ce travail, et notamment les équipes DEL La Rochelle et La Tremblade ainsi que les physiologistes de la DRV (avec une mention particulière pour S. Bougrier).

BIBLIOGRAPHIE

- Bayne B.L., Livingstone D.R., 1997. Response of *Mytilus edulis* L. to low oxygen tension : Acclimatation of the rate of oxygen consumption. *J. Comp. Physiol.*, 114 : 129-142.
- Bayne B.L., Newell R.C., 1983. Physiological Energetics of Marine Molluscs. *The Mollusca*, vol. 1983, p. 467.
- Bishop S.H., Ellis L.L., Burcham J., 1983. Amino acid metabolism in molluscs. *The Mollusca*, vol. I, p. 296.
- Bougrier S., Masson D., Geairon P., Fouché D., Leroy A., Faury N., Ratiskol J., 1991. Métabolisme de l'huître *Crassostrea gigas* stockée dans des dégorgeoirs conchylicoles à différentes densités et saisons. *Conseil International pour l'Exploitation de la Mer. Mariculture Committee*. C.M. 1991/F : 55 – Réf K.
- Bougrier S., Geairon P., Deslous-Paoli J.M., Bacher C., Jonquières G., 1995. Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture*, 134 : 143-154.
- Deslous-Paoli J.M., Héral M., 1988. Biochemical composition and energy value of *Crassostrea gigas* (Thunberg) cultured in the bay of Marennes-Oléron. *Aquat. Living Resour.*, 1 : 239-249.
- Faury N., Masson D., Ratiskol J., 1995. Essai de décontamination des huîtres *Crassostrea gigas* en bassin par renouvellement et circulation d'eau. Actes de la 2ème conférence internationale sur la purification des coquillages. Rennes 1992 : 233-256.

- Hammen C.S., 1980. Total energy metabolism of marine bivalve mollusks in anaerobic and aerobic states. *Comp. Biochem. Physiol.*, 67 : 617-621.
- Gerdes D., 1983. The pacific oyster *Crassostrea gigas*. Part II. Oxygen consumption of larvae and adults. *Aquaculture* 31 : 221-231.
- His E., 1976. Contribution à l'étude biologique de l'huître dans le bassin d'Arcachon. Activité valvaire de *Crassostrea angulata* et de *Crassostrea gigas* ; application à l'étude de la reproduction de l'huître japonaise. Thèse de Doctorat de Biologie Animale, Université de Bordeaux I.
- His E., 1970. Comportement de *Crassostrea angulata* Lamarck sous des conditions d'asphyxie. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 34 (2) :189-194.
- His E., 1977. Aspects biologiques du stockage des huîtres en bassin. Conseils pratiques aux ostréiculteurs. *Science et Pêche* n°272 : 1-14.
- Le Gall J.L., Raillard O., 1988. Influence de la température sur la physiologie de l'huître *Crassostrea gigas*. *Océanis*, vol. 14, Fasc. 5 : 603-608.
- Livingstone D.R., 1983. Invertebrate and vertebrate pathways of anaerobic metabolism : evolutionary considerations. *J. Geol. Soc. London* vol. 140 : 27-37.
- Widdows J., Bayne B.L., Livingstone D.R., Newell R.I.E., Donkin P., 1979. Physiological and Biochemical responses of bivalve molluscs to exposure to air. *Comp. Biochem. Physiol.*, vol. 62A : 301-308.
- Zwaan A. de, Wijsman T.C., 1976. Anaerobic Metabolism in bivalvia (Mollusca) characteristics of anaerobic metabolism. *Comp. Biochem. Physiol.*, vol. 54b : 313-324.
- Zwaan A. de, 1977. Anaerobic energy metabolism in bivalve molluscs. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 15 : 103-187.
- Zwaan A. de, 1983. Carbohydrate catabolism in bivalves. *The Mollusca*, Vol. 1 Metabolic biochemistry and molecular biomechanics : 138-175.

RESUME NON TECHNIQUE :

La mise sur le marché de coquillages marins vivants nécessite dans la majorité des cas un stockage en bassin avant expédition. De mauvaises conditions de stockage pouvant avoir des conséquences néfastes sur la survie des coquillages, il est nécessaire d'étudier cette activité pour fournir aux professionnels des éléments techniques utiles à leur pratique.

Plusieurs stockages d'huitres *Crassostrea gigas* ont été réalisés dans des bassins en béton d'abord, en fibre de verre ensuite, à différentes périodes de l'année : novembre, juin, décembre. Les différentes charges étudiées étaient les suivantes :

- 40 kg/m³ (charge très faible au vu des pratiques professionnelles)
- 60 kg/m³ (densité considérée comme idéale, notamment pour la purification)
- 100 kg/m³ (charge forte, couramment utilisée)
- 200 kg/m³ (charge très forte que l'on peut rencontrer quelquefois dans l'expédition, lors de commandes inopinées, par exemple).

La variation de l'oxygène dissous dans l'eau des bassins a été suivie lors de périodes successives sans aération (après avoir à chaque fois réoxygéné l'eau par un aérateur à bulles). Pour avoir une idée du comportement des huitres dans ces conditions, leur activité valvaire (ouverture et fermeture de la coquille) a été enregistrée.

Les principaux résultats sont les suivants :

- Au début, plus la charge est forte, plus la consommation d'oxygène est importante. Mais au fur et à mesure que l'oxygène disponible dans le bassin diminue, la consommation d'oxygène des huitres suit la même évolution : les calculs montrent que les animaux stockés consomment moins d'oxygène qu'en pleine eau, par exemple. Les huitres régulent donc leur respiration, capacité acquise avec l'évolution (à cause des émergences à basse mer). Les mollusques bivalves vivant dans la zone de balancement des marées ont un système respiratoire particulier qui leur permet de rester de longues heures hors de l'eau sans subir de préjudice grave, notamment en réduisant toutes leurs fonctions vitales : respiration (qui peut stopper), digestion, rythme cardiaque. La conchyliculture profite donc d'un mécanisme naturel de survie. Mais il faut que ce mécanisme ait le temps de se mettre en place : si les conditions de milieu varient trop ou trop vite, les animaux ne peuvent plus s'adapter. Ils vont mourir, plus ou moins longtemps après l'accident.

- Le stockage dans les bassins perturbe les huitres dans la plupart des cas (tentatives de fermeture très fréquentes pour les unes, longues périodes de fermeture pour les autres). Il faut en tenir compte si l'on veut purifier les coquillages et non simplement les stocker.
- Le fait qu'il n'y ait eu que très peu de mortalités, même après expédition, peut s'expliquer par le fait que les conditions défavorables de milieu se sont installées progressivement. **Il n'y a pas eu de variations brusques.**

- RECOMMANDATIONS TECHNIQUES POUR LE STOCKAGE DES COQUILLAGES EN BASSIN

- Les huitres sont avant tout des animaux d'élevage, (et non des animaux simplement récoltés). Bien qu'ils puissent supporter des conditions environnementales très dures, ils réagissent très mal aux variations brusques de leur milieu.
- Sur de courtes périodes au moins, mieux vaudrait pas d'eau (stockage à sec qui correspond aux émergences) que pas assez d'eau (incitant les huitres à s'ouvrir et à dépenser de l'énergie).
- Dans les régions où elles se reproduisent, les huitres ne devraient pas être manipulées pendant la période de reproduction.
- Dès que l'on stocke en bassin à forte charge, il est indispensable d'aérer : il faut maintenir la concentration en oxygène dissous entre 70 et 100 % de la saturation.
- Le système d'aération doit être conçu au cas par cas. On n'utilise pas le même appareillage dans un dégorgeoir ou un bassin de stockage en béton (système le plus efficace : aérateur type Venturi à prise d'air) et dans un plan d'eau de type claire (aérateur à palettes ou à hélice avec prise d'air).
- Attention aux "zones mortes" dans la structure de stockage : zones sans courant, ou bien non touchées par l'aération (coins par exemple). Éliminer ces zones, ou ne pas y mettre de coquillages.
- Le montage idéal serait d'utiliser une sonde à oxygène asservie à un automate qui déclenche le (ou les) système(s) d'aération (comme en pisciculture). Il est d'ailleurs inutile (coût) voire dangereux (sursaturations) de faire fonctionner des aérateurs en continu. Un temps minimal de fonctionnement est à établir dans chaque cas.
- Faute de disposer de ce matériel, il nous paraît indispensable qu'un expéditeur se serve des instruments (peu coûteux) suivants :
 - Baromètre pour repérer les chutes de pression atmosphérique (l'oxygène quitte l'eau)
 - Thermomètre : plus l'eau est chaude, moins elle contient d'oxygène dissous.
 - Densimètre : toujours mesurer la salinité d'une eau avant d'y mettre des coquillages et la comparer avec celle d'où ils venaient.

Annexe II :

Consommation d'oxygène par bassin durant les expériences

Consommation d'oxygène en g par bassin (novembre 95)

	40 kg/m ³		100 kg/m ³	
	Théorique	Observé	Théorique	Observé
Début 1ère baisse (2 h)	9,52	23,2	18,95	34,77
Totalité 1ère baisse (17 h)	67,47	60,8	155,12	78,2
2ème baisse (10 h)	35,13	20,2	86,85	54,9
3ème baisse (10 h)	38,46	20,3	94,31	51,84
4ème baisse (14 h)	49,43	50	122,18	52

Consommation d'oxygène en g par bassin (juin 96).

	60 kg/m ³		100 kg/m ³		200 kg/m ³	
	Théorique	Observé	Théorique	Observé	Théorique	Observé
1ère baisse (15 h)	12,76	4,45	21,54	8,76	42,3	8,01
2ème baisse (5 h)	4,69	5,73	7,92	7,8	15,56	7,84
3ème baisse (14 h)	11,08	6,41	18,71	8,31	36,8	7,95
4ème baisse (5 h)	4,22	4,46	7,11	6,63	13,9	7,77
5ème baisse (14 h)	11,08	5,41	18,71	7,24	36,8	7,83

Consommation d'oxygène en g par bassin (décembre 96).

	60 kg/m ³		200 kg/m ³	
	Théorique	Observé	Théorique	Observé
Début 1ère baisse (2 h 45)	0,55	0,52	1,71	1,23
Totalité 1ère baisse (17 h 45)	3,57	1,32	13,24	3,02
2ème baisse (9 h 15)	2,99	1,73	5,23	1,77
Début 3ème baisse (17 h 15)	5,29	2,04	9,02	1,04
Milieu 3ème baisse (18 h)	6,46	2,63	10,96	1,06
Totalité 3ème baisse (21 h)	7,54	2,79	12,8	1,06