

Direction des Ressources Vivantes

RIDRV-96.08-RA/Noirmoutier

Etude d'un élevage intégré Bars-huîtres

Influence de deux gestions
hydrauliques de l'élevage
piscicole sur le
prégrossissement
d'huîtres

V. Buchet et A. Bluteau

EXCLU DU PRÊT

ÉTUDE D'UN ÉLEVAGE INTÉGRÉ BARS-HUÎTRES

Influence de deux gestions hydrauliques
de l'élevage piscicole sur le prégrossissement
d'huîtres

V. BUCHET et A. BLUTEAU

IFREMER-Bibliothèque de BREST



OBR32664

56634
IFREMER
Bibliothèque
Centre de Brest

BP.70 - 29280 PLOUZANÉ

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

Adresse : IFREMER / GIE RA BP 215 85330 Noirmoutier	DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES DEPARTEMENT : Ressources Aquacoles STATION / LABORATOIRE : Aqualive
--	---

AUTEUR (S) : V. BUCHET et A. BLUTEAU		CODE : RIDRV 96.08-RA/ Noirmoutier
TITRE : ETUDE D'UN ELEVAGE INTEGRE BAR-HUITRES Etude de trois séquences alimentaires de sevrage		Date :1996 Tirage en nbre : 40 Nb pages : 64 Nb figures : 27
CONTRAT (intitulé) N° <u>95 03 405</u>	Conseil Régional des Pays de la Loire Valorisation des effluents d'aquaculture	DIFFUSION libre : X restreinte : confidentielle :

RESUME : L'élevage intégré étudié a permis, quel que soit le mode de gestion hydraulique, une épuration des rejets piscicoles. L'action se situe essentiellement dans le bassin tampon, où l'on observe une réduction importante des sels nutritifs et des matières minérales particulaires. Du fait de sa taille, il joue un rôle de tampon moins important que lors des expériences de 1994. Il a, malgré tout, permis d'épurer les sels nutritifs, notamment l'ammoniaque, lors de fortes concentrations. Les circulaires de prégrossissement n'ont pratiquement aucune action sur les sels nutritifs. Mais, leur action est notable sur la chlorophylle dont les concentrations en sortie sont faibles. Ce facteur est même limitant dans le système 2 (20%).

Nous avons un rejet (10%) riche en MES et assez pauvre en sels nutritifs et un autre (20%), pauvre en MES, surtout en chlorophylle. Ce dernier permet d'obtenir des performances plus intéressantes que le premier, où les concentrations en MES trop importantes ralentissent le développement des huîtres. Le prégrossissement avec la qualité 2 (20%) donne des performances proches d'une nurserie traditionnelle mais avec une mortalité un peu plus élevée (32%). Le prégrossissement d'huîtres associé à un élevage piscicole semble possible.

ABSTRACT : Whatever the hydraulic gestion, an epuration of the fishes sewages is possible with the integrated system studied. The main action is situated in the intermediary pond with a significant decrease of nutrients, especially ammonia, and particulate mineral matters. The oyster's pond have no significant action on nutrients, but their action is real on chlorophyll which become limiting factor in 20% renewal system.

One of the effluent, system 1 (renewal 10%) had high suspended matter and low nutrient concentrations. The other (renewal 20%) was poor in suspended matters (chlorophyll). The system 2 give best oyster's growth, close to traditional nursery performances, with an highest mortality (32%). In the first system, suspended matter concentrations are too high and they reduce the oyster's growth. The pre-ongrowing of oyster associated with fishes rearing seems possible. But a good organization between the two activities is necessary.

Mots clés : Elevage intégré, Bar, Prégrossissement, Huître, Valorisation.

Key words : Integrated rearing, Seabass, Pre-ongrowing, Oyster, Valorization

Table des matières

I Problématique	1
II. Connaissances actuelles et rappels généraux	3
A. Rejets piscicoles	3
A.1. Aspects réglementaires.....	3
A.1.1. Le contexte européen.....	3
A.1.2. Prévention et contrôle pour la pisciculture en France.....	4
A.1.2.1. Réglementations environnementales en eau douce	4
A.1.2.2. Problème de la réglementation en pisciculture d'eau de mer	4
A.1.3. L'environnement dans l'économie d'une entreprise aquacole	5
A.1.3.1. Les mesures financières.....	5
A.1.3.2. Les assurances de responsabilités	5
A.2. Origines.....	5
A.2.1. L'aliment et l'excrétion	6
A.2.1.1. L'excrétion soluble.....	6
A.2.1.2. L'excrétion particulaire.....	8
A.2.2. L'aliment non ingéré.....	9
A.2.2.1. La qualité de l'aliment.....	9
A.2.2.2. La gestion de l'aliment	10
A.3. Action de l'élevage sur la qualité de l'eau du bassin.....	10
A.3.1. Les algues.....	10
A.3.1.1. Les microphytes.....	10
A.3.1.2. Les macrophytes	11
A.3.1.3. L'équilibre macro-microphyte.....	11
A.3.2. Les bactéries.....	11
B. L'huître et son environnement.....	12
B.1. Alimentation	12
B.1.1. La filtration.....	12
B.1.2. L'ingestion.....	12
B.1.3. L'assimilation	13
B.2. Facteurs influençant la physiologie de l'huître.....	13
B.2.1. La taille de l'huître	13
B.2.2. La matière en suspension.....	13
B.2.2.1. La qualité.....	13
B.2.2.2. La concentration.....	15
B.2.3. Les substances dissoutes.....	16
B.2.4. Les facteurs physiques	16
B.2.4.1. La température	16
B.2.4.2. Le pH et la salinité	17

C. Prégrossissement.....	18
C.1. Le prégrossissement intensif	18
C.2. Le prégrossissement naturel	19
C.3. Avantages et inconvénients des deux techniques	19
C.4. Problèmes biologiques rencontrés dans les nurseries	20
C.5. Le prégrossissement dans la région Pays de la Loire.....	20
C.5.1. Répartition géographique et types de nurseries.....	20
C.5.2. Objectifs de la production.	21
C.5.3. Evolution de la production	21
C.5.4. Le marché.....	22
III. Matériel et méthodes.....	23
A. Structure expérimentale	23
A.1. Les élevages de poissons.....	24
A.2. Les bassins de stockage.....	24
A.3. La structure de prégrossissement.....	24
A.4. Le naissain	26
B. Prélèvements des échantillons	26
B.1. L'eau	26
B.2. Les huîtres	26
C. Traitements et analyses des échantillons.....	27
C.1. Paramètres physico-chimiques.....	27
C.2. Les sels nutritifs	27
C.2.1. Dosage de l'urée	27
C.2.2. Dosage des nitrites	28
C.2.3. Dosage des nitrites et des nitrates	28
C.2.4. Dosage de l'ammonium	28
C.2.5. Dosage des phosphates	28
C.3. La chlorophylle <i>a</i>	28
C.4. Les matières en suspension (MES)	28
C.5. Les lipides, glucides et protéines	29
C.6. Bilan énergétique.....	29
C.7. La mortalité.....	29
C.8. Poids moyen.....	29
C.9. L'indice de croissance instantanée (G30).....	30
C.10. Indice de condition	30
IV. Résultats	31
A. La qualité de l'eau	31
A.1. La salinité.....	31
A.2. La température.....	31
A.3. Le pH.....	31
A.4. L'oxygène.....	32
A.5. Les matières en suspension	32
A.5.1. Les concentrations	33

A.5.2. Les MES des rejets finaux.....	34
A.6. La chlorophylle.....	35
A.7. L'énergie.....	36
A.7.1. Concentrations.....	36
A.7.2. Bilans.....	36
A.7.3. Qualité de l'énergie.....	38
A.7.4. Le rapport protéines/chloro a et glucides/ chloro a.....	39
A.8. Les sels nutritifs.....	39
B. Les huîtres.....	42
B.1. Répartition des classes de taille.....	42
B.2. La mortalité.....	45
B.3. Le poids individuel.....	45
B.4. L'indice de croissance ou G30.....	46
B.5. L'indice de condition.....	47
B.6. La biomasse totale.....	47
V. Discussion.....	49
A. Performance des huîtres.....	49
B. L'épuration.....	50
VI. Conclusion.....	53
VII. Bibliographie.....	57
VIII. Annexes.....	62
Annexe 1 : Dosage des protéines particulières (méthode de Lowry).....	62
Annexe 2 : Dosage de lipides particuliers (méthode de Marsh et Weinstein).....	63

I Problématique

Depuis quelques années, avec le développement de l'aquaculture, les zones de marais humides ont été des sites privilégiés pour l'installation progressive d'activités piscicoles. Afin de conserver et de développer cette nouvelle activité économique, une réflexion sur l'impact éventuel de telles activités sur l'environnement devait être menée.

Les élevages piscicoles subissent depuis quelques années des pressions environnementales de plus en plus contraignantes qui peuvent aller jusqu'à l'interdiction d'exploitation pour certains cas. De plus, les pisciculteurs doivent gérer au mieux leurs rejets afin d'éviter un impact de leur activité sur les écosystèmes environnants (eutrophisation, anoxie) et sur les activités qui dépendent d'une bonne qualité d'eau comme la conchyliculture et le tourisme. Peu d'entreprises aquacoles en France ont développé de vrais systèmes d'épuration de leurs rejets. Il existe des exploitations qui utilisent un système du type "lagunage" (Ferme Marine Noirmoutier, France Turbot) mais dont le temps de passage est très court, de l'ordre de la demi-journée. Ainsi, les structures de traitements, telles que tambours rotatifs ou bassins de décantation, risquent de devenir nécessaires mais représentent un coût dans le fonctionnement (énergie, élimination des boues) de l'entreprise pour une efficacité réduite. Une valorisation de ces rejets, associée à leur épuration, pourrait être envisagée dans le but de réduire le coût de leur traitement.

Dans cette optique, des travaux sur des élevages associés se développent. Ils se basent sur l'utilisation des capacités filtrantes de certains mollusques comme système d'épuration de l'eau. Les élevages crevettes/moules (Lin *et al.*, 1993), crevettes/huîtres creuses (Lam et Wang, 1990), daurades/huîtres creuses (Shpigel et Fridman, 1990 ; Shpigel et Blaylock, 1991), saumon/ huîtres (Jones et Iwama, 1992) ont démontré le rôle épurateur de ces coquillages et une croissance supérieure ou similaire de ces mollusques à certaines régions de production extensive. Suite à ces travaux, une perspective de développement économique de cette activité intégrée peut être envisagée.

Ce type d'association doit pouvoir être appliqué aux élevages en marais, car les entreprises piscicoles (bars, daurades) dans ce milieu se heurtent à des difficultés économiques. Ceci provient du prix de revient du kilo de poisson plus élevé par rapport aux autres producteurs (méditerranéens) et de la baisse du prix de vente des poissons d'élevage observée depuis quelques années (baisse de 110 F à 50 F/kilo en quatre ans pour le bar). Un élevage associé pourrait alors augmenter la rentabilité de l'installation par une meilleure occupation des structures semi-intensives en marais.

Une étude basée sur l'association d'un grossissement d'huîtres en marais avec un élevage de bar a été faite (Chiffolleau, 1994 ; Ouisse, 1994). Son but était d'obtenir des huîtres « fines » (indice 8) ou supérieures à un élevage en mer tout en permettant une épuration de l'eau. Ces travaux ont confirmé le rôle épurateur des huîtres, mais pas la viabilité économique de l'installation. Cet échec est dû à une mortalité importante et à une mauvaise maîtrise de certains paramètres (débit, entretien des huîtres et des bassins).

Cette présente étude reprend l'objectif général du travail de 1994. Certaines modifications doivent permettre une meilleure maîtrise des paramètres que précédemment. Le pré-grossissement a été choisi car il est intéressant par sa durée d'élevage beaucoup plus courte (3 à 5 mois) qu'un grossissement (1 à 2 ans). L'élevage se fait avec deux qualités d'eau afin d'observer l'influence de deux gestions différentes d'élevage de poissons, sur les performances des huîtres.

L'objectif de ce travail était donc de montrer la faisabilité de la valorisation des rejets aquacoles d'un élevage semi-intensif de bars associé à des huîtres en prégrossissement du double point de vue biologique et économique dans un écosystème de type "marais".

II. Connaissances actuelles et rappels généraux

A. Rejets piscicoles

Les rejets piscicoles peuvent être polluants pour le milieu. Une normalisation des rejets a été développée. Mais l'application de cette réglementation aux élevages marins présente, en réalité, de nombreux problèmes.

A.1. Aspects réglementaires

A.1.1. Le contexte européen

Les premiers élevages à considérer la qualité de leurs rejets ont été les salmonicultures nordiques, du fait de leur développement rapide. Le Danemark a joué un rôle directeur dans la mise en place d'une législation (Quincy, 1990) et des premières normes à ne pas dépasser dans les rejets (tableau 1) ou dans les aliments (tableau 2). Par la suite, il a créé une classification des zones aquatiques sur une échelle allant de 1 à 4 selon le taux de pollution.

Tableau 1 : Exemple de normes appliquées

Eléments des rejets normalisés	Quantités (mg/l) ¹	Qté max. à rejeter ² (mg/kg poisson/jour)
Consommation de l'O ₂ dissous		< 6000
DBO 5	1.00	
Matières en suspension	3.00	408– 64000
Phosphore	0.05	
Ammoniaque	0.04	
Azote totale	0.60	

¹ : Augmentation acceptée (Quincy, 1990) ; ² : selon EQS : environmental quality standard (Handy et Poxton, 1993)

Tableau 2 : Législation concernant les aliments piscicoles (Quincy, 1990)

A partir de	FCR (max)	Energie brute min. ¹	Digestibilité min.	N max. ²	Protéine max. ³	P max ²	P max ³
1-8-89	1.2	5.6	70	9	50	1.1	1.0
1-1-90	1.1	5.7	74	9	50	1.1	1.0
1-1-92	1.0	6.0	78	8	45	1.0	0.9

1.0 % de poussières maximum

¹ : Mcal/kg de matière sèche ; ² : % de matière sèche ; ³ : % de l'aliment

Actuellement, aucune directive européenne ne traite directement de l'aquaculture. Du fait de cette absence, chaque pays a développé sa législation. On constate donc une très grande hétérogénéité dans les normes réglementaires. Afin d'y remédier, une norme commune modulable à chaque site piscicole est envisagée (Tesson, 1994).

A.1.2. Prévention et contrôle pour la pisciculture en France

Depuis les années 80, les pisciculteurs français ont commencé à prendre en considération leurs rejets. Par la suite, les réglementations sont apparues. La prévention a été surtout développée dans la pisciculture en eau douce.

A.1.2.1. Réglementations environnementales en eau douce

De Jatteau *et al.* (1994), les éléments suivants peuvent être tirés.

Actuellement, pour modifier ou créer un site piscicole, il est nécessaire de demander des autorisations au titre de trois réglementations, celle de l'eau, de la pêche et de la gestion des ressources et des installations classées. Ces réglementations prévoient la mise en oeuvre de procédures, de déclarations ou d'autorisations, de consultations de services et d'instances dont les avis permettent au préfet de prendre des décisions.

Par la suite, le projet ne pourra être accepté qu'après une estimation prévisionnelle des rejets de l'activité, déterminée par des méthodes statistiques et analytiques.

Ces études sont suivies par un examen de l'impact de la pisciculture sur le milieu. Il passe par l'étude des paramètres physico-chimiques, de l'hydrogéologie et du peuplement piscicole présent autour de l'entreprise.

Cette réglementation est basée sur des données provenant d'une étude d'impact sur le milieu, controversée par de nombreuses organisations notamment écologiques. Elle est rendue encore plus floue par les nombreux systèmes d'évaluation existants.

A.1.2.2. Problème de la réglementation en pisciculture d'eau de mer

Kempf *et al.* (1994) a tenté de faire un bilan en ce qui concerne la pisciculture marine qui peut être résumé comme suit.

Les services administratifs français ont des difficultés à adapter la réglementation de l'aquaculture d'eau douce à l'aquaculture marine. Ce problème a plusieurs origines :

- le manque de références sur le milieu marin dans les conditions géographiques et climatiques des élevages français,
- la réglementation des installations classées ou susceptibles de rejets polluants est peu applicable car elle est basée sur un système de rejets industriels, elle est peu adaptée aux rejets piscicoles car elle ne tient pas compte de leurs dilutions dans le milieu,
- une difficulté de mise en normes communes à tout le secteur ; les réglementations appliquées entre les fermes, dans les cas des flux contaminants, sont empiriques,
- un manque de consensus entre les services administratifs régionaux soumis au problème marin qui, à cause du manque de bases de données sur les élevages marins, abordent différemment le projet d'étude d'implantation marine (études d'impact plus ou moins approfondies, suivi existant ou inexistant...) ; *les études d'impacts ne sont obligatoires*

légalement que pour les salmonidés. Les autres élevages ne sont pas tenus d'en faire. Dans la pratique, ces études commencent à être généralement demandées par l'administration.

A.1.3. L'environnement dans l'économie d'une entreprise aquacole

L'ensemble des éléments concernant cette partie est tiré de Paquette (1994).

L'entreprise présente une externalité négative. C'est à dire qu'elle rejette des éléments pouvant gêner le développement des autres activités environnantes. Selon l'OCDE, *tous les coûts de la lutte contre la pollution doivent être payés par le pollueur.*

A.1.3.1. Les mesures financières

En plus des réglementations obligeant les entreprises à limiter leurs rejets (normes), différents pays ont développé des mesures pour engager les pollueurs à lutter contre leurs propres rejets :

- des taxes sont appliquées sur les éléments les plus polluants dans un élevage ; au Danemark, l'aliment est taxé afin de financer les moyens de lutte contre la pollution,
- des impôts locaux aident les collectivités qui gèrent l'épuration de l'eau,
- il peut se créer un marché de droit de polluer, les rejets sont quantifiés, le pollueur a un droit d'émission en échange de compensations financières aux victimes (collectivité), lorsque celui-ci pollue moins, il peut revendre ses parts,
- certains essayent de décourager les activités polluantes par des redevances,
- l'Etat peut utiliser le prix des concessions pour bloquer un site potentiel d'élevage en faisant varier la valeur selon le lieu et les capacités biotiques du milieu.

A.1.3.2. Les assurances de responsabilités

Elles sont absentes en France mais développées en Allemagne et aux Etats Unis. Elles consistent soit à souscrire une assurance soit à créer un fond de garantie. *Cela permet de transférer des charges de protection des collectivités locales vers les utilisateurs. Les cotisations varient selon la pollution qu'engendre l'entreprise.*

Il faut préciser que les rejets étant peu quantifiables actuellement, ces réglementations ne peuvent s'appliquer *sensus strictum* dans le domaine marin faute d'éléments de références.

Dans les états comme la France où l'aquaculture est un secteur fragile, ces différentes actions ne sont pratiquement pas appliquées.

A.2. Origines

La constitution des effluents est complexe et les éléments, décrits précédemment (tableau 1), représentent ceux que l'on quantifie généralement. Plusieurs autres composés ont été étudiés afin de comprendre leurs rôles dans la modification de la qualité de l'eau. Des travaux ont été également effectués sur la partie biotique qui découlait de l'élevage pour obtenir une image précise de la composition de l'eau évacuée lors du renouvellement d'un bassin piscicole.

Les rejets se classent en deux parties :

- les matières dissoutes,

- les matières particulaires en suspension (MES) ; elles sont constituées de matières minérales et de matières organiques (organismes vivants, matériel détritique).

Leur qualité dépend de l'élevage en lui-même et du milieu où l'exploitation se déroule. Les rejets solubles et insolubles d'un élevage sont très dépendants de la composition de l'aliment (Kaushik, 1990) et de la gestion de son apport (Dosdat, 1992a ; Dosdat 1992b ; Kaushik, 1990 ; Handy et Poxton, 1993).

L'alimentation agit donc sur la qualité de l'eau par l'intermédiaire de l'excrétion des poissons et par son niveau d'utilisation.

A.2.1. L'aliment et l'excrétion

A.2.1.1. L'excrétion soluble

L'excrétion est en partie responsable des rejets solubles. Ceux-ci sont surtout constitués de substances phosphorées ou azotées, selon les différentes voies d'excrétion dont ils proviennent.

Selon la qualité et la quantité de l'aliment, l'excrétion sera plus ou moins importante. L'effet de l'aliment sur la partie ammoniacale est observé par l'apparition d'un pic d'azote 6 à 8 heures après la prise de nourriture (Kaushik, 1990). Toutefois, la taille de l'animal (les petits poissons excrètent plus que les gros poissons en poids équivalent), les facteurs physico-chimiques (la température, la salinité, l'éclairement) et la présence d'ammoniaque dans le milieu (une augmentation de NH_3 dans l'eau provoque une baisse d'excrétion d'ammoniaque) influencent beaucoup plus le taux d'excrétion que l'alimentation (Dosdat, 1992a).

L'azote

Les poissons téléostéens excrètent principalement de l'azote ammoniacal (NH_3 , NH_4^+), soit jusqu'à 90% de l'azote rejeté (Dosdat, 1992a). Cette forme de rejet provient de l'utilisation importante des protéines pour la production d'énergie et par la fonction ammoniotélique de la plupart des poissons d'eau de mer. D'autres composés azotés sont rejetés mais dans des proportions plus faibles (acide urique de 5-40%), acides aminés, créatine, oxyde de triméthylamine (Kaushik, 1990 ; Dosdat, 1992a).

L'élimination majoritaire se fait par les branchies qui rejettent de 50 à 90% de l'azote total (Dosdat, 1992a) par une diffusion passive de la forme ionisée et non ionisée. Cette dernière constitue l'excrétion majoritaire (70%) (Kaushik, 1990). Le reste se fait par la voie uréique. Chez quelques poissons, il a été prouvé qu'une élimination cutanée (mucus) pouvait aussi avoir lieu (Handy et Poxton, 1993).

Selon l'aliment, le bar excrète l'azote total contenu dans la nourriture de 8.5 à 12.1% sous forme d'urée et de 19.3 à 22.3% sous forme d'ammonium (Reymond, 1995).

Tableau 3 : Exemple d'excrétion de certaines espèces de poissons marins (Dosdat, 1992A)

Conditions expérimentales	Espèces	Excrétion (mg N/Kg PV/j)			Sources
		N-NH4	N-urée	N-total	
Pm : 250-480g Temp : 8°C rationnée	Morue	120-160			Lied et Braten (1960)
Pm : 60g. Temp. : 14°C. alim. naturelle	Bar	135	33		Guérin-Ancey (1976)
Pm : 220g. Temp. : 14°C. alim. naturelle	Bar	120	18		
Pm : 60g. Temp. : 22°C. alim. naturelle	Bar	430	83		
Pm : 220g. Temp. : 22°C. alim. naturelle	Bar	330	60		
Pm : 20g. Temp. : 10°C. alim. 36% naturelle	Plie	72			Jobling (1981)
Pm : 100g. Temp. : 14°C. alim. naturelle	Plie	53			
Pm : 40-60g Temp : 18°C. alim. 36% prot.	Bar	665			Spyridakis (1989)
Pm : 100g. Temp. : 14°C. alim. 48% prot.	Bar	1225			
Pm : 200 g Temp. : 14°C rationnée 1%	Morue	290			Ramaarine <i>et al.</i> (1987)
Pm : 200 g Temp. : 14°C rationnée 1,5%	Morue	400			
Lm 90mm Temp : 16°C. alim. naturelle	Anchois			960	James <i>et al.</i> (1989)
Pm : 1-30g Temp : 18-23°C. alim. rationnée	Bar			500-2500	Vitale-Lelong (1989)
Pm : 1300g. Temp. : 10°C. alim. naturelle	Flétan	123			Davenport <i>et al.</i> (1990)

L'azote excrété va évoluer dans le milieu. L'ammoniaque rejeté par le poisson est en équilibre avec sa forme ionisée. Cet équilibre va se déplacer vers NH_4^+ ou NH_3 , toxique selon les conditions physico-chimiques. Un pH et une température élevés et une salinité faible provoquent un déséquilibre vers la forme non ionisée NH_3 (Kaushik, 1990).

La concentration des effluents marins est difficile à déterminer et très variable du fait de la diversité des modes d'élevage (tableau 4).

Tableau 4 : Quantité des différents composés azotés en sortie de bassin

Composé	Quantité en sortie	Référence
NH ₃	< 0.01 mg/l*	Handy et Poxton (1993)
NH ₃ -NH ₄ ⁺	< 0.3 mg/l*	Handy et Poxton (1993)
	7 et 1780 µg/l**	Handy et Poxton (1993)
	22.2-17 µmol/l***	Reymond (1995)
NO ₃ ⁻	1.5-3.1 µmol/l***	Reymond (1995)
Urée	5.1-5.4 µmol/l***	Reymond (1995)
Mat. organique azotée dissoute	0.12 et 107 µg/l***	Reymond (1995)
NO ₂ ⁻	13.5-13.7 µmol/l***	Reymond (1995)
	1.8-4 µmol/l***	Handy et Poxton (1993)

* : en bassins ; ** : en cages ; *** : en marais (densité de 1kg/m²)

Les points de prélèvement ne sont pas normalisés, de ce fait les valeurs données à titre indicatif doivent être comparées avec prudence.

L'azote organique dissous excrété dans le bassin est dégradé en partie sous l'action de micro-organismes pour former des ions minéraux comme l'ammoniaque, les nitrites, les nitrates (Handy et Poxton, 1993). Les composés solubles organiques azotés retrouvés dans les rejets sont ceux :

- de l'excrétion qui ne sont pas dégradés comme l'urée ou les acides aminés,
- provenant de l'altération bactérienne qui libère des acides aminés ou de petits polymères azotés (polypeptides) etc..

Le phosphore

Il a été beaucoup moins étudié que l'ammoniaque. C'est un composé excrété par les poissons, mais dans une moindre proportion que l'azote. Les espèces étudiées ont surtout été les salmonidés. 90% du phosphore est excrété par voie rénale et les cellules branchiales rejettent le reste. Sa libération dans le milieu se fait sous la forme des ions orthophosphates H₃PO₄⁻ et H₂PO₄²⁻ (Dosdat, 1992b).

Les valeurs de base étant celles des salmonidés, les chiffres sont difficilement comparables dans le cas des autres poissons. En moyenne, l'excrétion de phosphore soluble varie de 1 à 5 mg de P/kg de poids Vif/j. (Dosdat, 1992b).

Le phosphore rejeté évolue dans le bassin. Il est représenté sous forme soluble par les ions PO₄³⁻, H₂PO₄⁻, HPO₄²⁻ et des polyphosphates (cycliques et linéaires).

La forme soluble de ces différents ions est variable selon le pH et la salinité. A pH 8, à une salinité de 33 mg/l et à 20°C, 87% des phosphates sont sous forme de HPO₄²⁻, 12% sous la forme de PO₄³⁻ et 1% sous forme de H₂PO₄⁻ (Reymond, 1995).

Un système marais semi-intensif "moyen" peut rejeter de 2.8 à 4 µmol/l d'orthophosphates.

A.2.1.2. L'excrétion particulaire

La matière particulaire constitue une part importante dans les rejets. Les particules provenant des fèces représentent un pourcentage non négligeable.

Selon la digestibilité, les rejets fécaux seront plus ou moins importants, ce qui agit sur l'équilibre des MES. Le plus souvent cette digestibilité est dépendante de la teneur en glucides, dont seulement 40 à 50% sont digérés contre 80% des protéines et 90% des lipides. Ceci est dû au faible matériel amylasique du système digestif. Il faut ajouter que selon l'origine des protéines, des lipides et des glucides, le taux de conversion est variable (Kaushik, 1990).

Les quantités sont difficilement estimables du fait de la grande variabilité de la qualité des aliments. On estime tout de même, sur la base des matières premières couramment employées, une perte fécale de 10 à 25% de l'aliment ingéré (Kaushik, 1990).

Les MES en élevage semi-intensif, en bassin de terre sont environ de 12.5 à 14 mg/l (Reymond, 1995).

Parmi le minéral et l'organique qui constituent les MES, on peut distinguer :

- l'azote particulaire dont les valeurs d'excrétion sont très fluctuantes et vont de 15 à 365 mg/kg poids Vif/j ; dans un système marais semi-intensif, il est exporté 159 µg/l d'azote,
- le phosphore particulaire dont l'excrétion totale, pour un saumon de l'atlantique, est de 10 à 30 mg de P soluble/kg poids Vif/j pour un taux de 0.6 à 0.8% de P/kg d'aliment ; cela représente pour des poissons de 10 g une proportion de phosphore rejeté de 60 à 80%, il faut préciser que ce rapport varie selon la taille du poisson, à 10 kg nous obtenons une valeur de 37 à 52% (Dosdat, 1992b).

Ce particulaire excrété va subir l'action de micro-organismes de la même manière que l'azote dissous. Le résultat est la production de minéraux ou de composés organiques simples tels qu'acides, mono ou polysacharrides, etc...

A.2.2. L'aliment non ingéré

Lors de l'apport alimentaire, une partie n'est pas ingérée par le poisson car la prise de nourriture n'est pas efficace à 100%. Cette partie joue un rôle primordial, dans l'évolution du bassin. Ce rôle sera d'autant plus important suivant la qualité et la gestion de l'aliment.

A.2.2.1. La qualité de l'aliment.

La structure de l'aliment est importante. La présence en grande quantité de structures fines dues à une mauvaise fabrication est la principale source de pollution. Ces particules ne sont pas ingérées et se retrouvent en suspension dans les rejets. Elles peuvent donc constituer une part importante des MES (Kaushik, 1990).

Sa composition a un rôle dans l'évolution de l'eau de l'élevage. L'aliment peut être à l'origine de sels nutritifs phosphorés, azotés et de substances organiques lors de sa dégradation. Le taux de phosphore de l'aliment est un facteur influant sur la quantité d'orthophosphates trouvés dans le bassin. Cela s'explique du fait que seulement 20% du phosphore administré sont fixés par l'animal. Ensuite, par minéralisation de l'aliment non ingéré, le sédiment rejette du phosphore dans le milieu de façon plus ou moins importante selon les conditions locales d'agitation, de renouvellement et de saturation en oxygène (Dosdat, 1992a).

Dans un système d'élevage, les traitements sanitaires sont quelquefois nécessaires. En élevage en marais, la substance médicamenteuse est presque toujours administrée en mélange avec l'aliment. Ce dernier peut contenir des antibiotiques (oxytétracycline, sulfademéthoxine, ormétoprime), des antiparasitaires (dichlorvos) (Maffart, 1993 ; Black *et al.*, 1991). Lorsque le traitement est pratiqué,

la quantité d'aliment médicamenteux ingérée est de 20 %. Les particules restantes, les plus fines, restent en suspension puis sont évacuées avec les rejets. Les autres, plus grosses, sédimentent et s'accumulent au fond du bassin. Pour un médicament comme l'oxytétracycline, la partie sédimentée se dissout dans l'eau interstitielle et est, par la suite, rejetée par diffusion. Ce phénomène peut durer plusieurs jours après l'administration du médicament. La vitesse de disparition dépend de certains paramètres (pH, température, nature du substrat, etc.), (Black *et al.*, 1991 ; Le Bris, 1992). Ces traitements en marais sont exceptionnels.

A.2.2.2. La gestion de l'aliment.

La gestion de l'apport alimentaire constitue une source potentielle de pollution. Une ration distribuée de façon peu fréquente ou en trop grande quantité provoque une mauvaise prise de la nourriture. L'aliment se retrouve alors dans le milieu soit en suspension, soit sédimenté dans le fond (Dosdat, 1992a ; Dosdat 1992b ; Kaushik, 1990 ; Handy et Poxton, 1993). A plus ou moins long terme, soit il se solubilise, soit il se décompose et se minéralise sous l'action des micro-organismes.

L'aliment contient des éléments, autres que le phosphore et l'azote, qui sont les lipides et les glucides. Ces derniers se trouvent sous forme dissoute dans l'eau. Ils vont être dégradés comme les protéines et donner des monomères d'acide gras, de glycérol pour les lipides ou des petits polymères ou des monomères sucrés pour les glucides.

A.3. Action de l'élevage sur la qualité de l'eau du bassin.

Les composés issus de l'élevage se divisent en sels nutritifs, en matières organiques dissoutes (MOD) et en MES. Ces éléments jouent un rôle dans l'évolution de la qualité de l'eau.

Selon le type de bassin, la modification du milieu est différente. Dans notre cas, il s'agira d'un élevage piscicole réalisé en marais de terre. L'eau dans ces bassins va avoir un temps de stagnation qui sera inversement proportionnel au taux de renouvellement. Elle va accumuler les produits provenant de l'élevage. Suite à cette accumulation, l'écosystème du bassin s'adapte ; une faune et une flore spécifique se développent.

Dans ces rejets, la partie la plus importante est l'augmentation des MES, conséquence du développement du seston. Les différents éléments qui entrent dans la composition du seston sont les microalgues, les bactéries et les déchets minéraux ou organiques. Les petits crustacés et les insectes d'eau sont présents et constituent la macrofaune. Cette dernière ne sera pas abordée, dans la mesure où son action sur la physiologie de l'huître est mineure.

A.3.1. Les algues

A.3.1.1. Les microphytes

Le phytoplancton que l'on retrouve dans les rejets classiques d'un marais est composé essentiellement de diatomées et dans une plus faible partie de flagellées. *Skeletonema costatum* et *Chaetoceros sp.* sont les espèces qui dominent respectivement ce milieu au printemps et en été (Maestrini et Robert, 1987).

Différents facteurs influent sur le développement du phytoplancton. Ce sont essentiellement, la composition et la teneur en sels nutritifs. Ils agissent entre autre sur les phénomènes :

1) d'absorption des nutriments. L'absorption des nitrates par le phytoplancton dépend de la quantité en ammoniacale. La présence du phosphore, des nitrates, du silicium, des substances dissoutes azotées (urée, acides aminés etc..) peut jouer aussi sur le développement des algues.

2) de dominance. Les rapports entre les quantités de sels nutritifs (N/P, Si/P) déterminent dans certains cas la dominance de certains types d'algues (Sommer, 1994 ; Pennock, 1984).

Dans le système "marais", on observe souvent que le développement du phytoplancton est une succession d'efflorescences et de disparitions répétées durant l'été.

Ce type d'algue est quantifié indirectement par la chlorophylle *a* et les phéopigments. Dans une claire, une efflorescence importante peut monter jusqu'à 130 $\mu\text{g/l}$ de chlorophylle *a* (Maestrini, 1988). D'autres valeurs ont été publiées, ainsi dans des bassins semi-intensifs, il est exporté des valeurs moyennes de 3.5 à 4.9 $\mu\text{g/l}$ de chlorophylle *a* et 2 à 3 $\mu\text{g/l}$ de phéopigments (Reymond, 1995).

A.3.1.2. Les macrophytes

Les principaux genres rencontrés sont des Cladophoracées (ramifiés et non ramifiés), des ulvacées telles que *Ulva sp.* ou *Entéromorpha sp.* et des phanérogames (Clément, 1984).

Celles-ci absorbent les mêmes nutriments que les microphytes, ces deux populations sont donc en compétition.

A.3.1.3. L'équilibre macro-microphyte

Selon certains paramètres, la population algale tend soit vers le phytoplancton soit vers les macrophytes. Un système d'élevage intégré est d'autant plus performant qu'il favorise les micro-algues.

Le facteur influençant principalement cet équilibre est la turbidité de l'eau. Plus cette dernière est importante, plus le développement d'un bloom phytoplanctonique se fait au détriment de la croissance des macroalgues, leur dégénérescence étant provoquée par une diminution de la luminosité. La turbidité empêche également les gamètes et les spores de trouver un support de fixation (Sfriso et Pavoni, 1994). Selon les mêmes auteurs, les paramètres physico-chimiques n'auraient pas d'effet sur l'équilibre phytoplancton-macroalgue.

La présence, dans un bassin de type "claire", d'organismes filtreurs risque de provoquer un déséquilibre par l'absorption du phytoplancton. Dans les claires, le développement de coques (*Cerastoderma*) est important. Ceux-ci ont un fort pouvoir de filtration, dix fois supérieur à celui des huîtres. A certaines densités, elles peuvent filtrer un bassin de 500 m³ en 1 ou 2 jours (Delmas *et al.*, 1992).

A.3.2. Les bactéries

En plus du phytoplancton, la phase planctonique est composée de bactéries.

Le bactérioplancton constitue une fraction significative de la matière organique particulaire (10 % en moyenne) et peut former jusqu'à 30% du carbone organique particulaire l'été. Il suit le développement de la biomasse phytoplanctonique saisonnière. Les bactéries dépendent de la M.O.P non vivante, des nutriments dissous, du développement du phytoplancton (Frikha *et al.*, 1987) et du type d'élevage (dans une claire sans élevage, le nombre de cellules peut atteindre 19.10⁶ cell./ml, avec des huîtres, il atteint 8.10⁷ cell./ml (Frikha *et al.*, 1987) ; (Delmas *et al.*, 1992).

B. L'huître et son environnement

L'huître utilisée dans cette étude est celle couramment élevée en France (*Crassostrea gigas*) qui appartient à la famille des ostreidae. Sa répartition est mondiale. Elle se retrouve de façon naturelle dans la mer d'Okhotsk et dans l'île Sakhaline, au Japon, en Corée. Elle a été introduite sur la côte Pacifique d'Amérique du Nord, en Australie et dans quelques pays occidentaux.

B.1. Alimentation

L'alimentation de l'huître est basée sur trois phénomènes : la filtration, l'ingestion et l'assimilation.

B.1.1. La filtration

La filtration est composée de deux flux inhalant et exhalant. Le flux inhalant correspond à l'eau de mer qui pénètre dans la cavité intervalvaire par les ostias et les tubes aquifères. Le flux exhalant représente l'eau filtrée par les cils frontaux des branchies et rejetée à l'extérieur du coquillage. Ce mouvement hydraulique est assuré par les battements synchrones des cils. Le taux de filtration est variable selon l'environnement de l'huître. Il est régulé par les muscles des branchies qui limite les orifices d'entrée de l'eau. Les valeurs sont variables selon les auteurs, le tableau 5 montre certains résultats (Marteil, 1976).

Tableau 5 : Taux de pompage des huîtres (Marteil, 1976)

Espèces	Auteur	Caractéristiques	Cond. expér.	Résultats
<i>C. angulata</i>	Viallanes (1892)	18 mois		5 l/h
<i>C. virginica</i>	Galstoff (1964)	adultes	19°5C	qq litres à 13 l/h
		adultes	steady state	19 à 21 l/h
	Loosanoff <i>et al.</i> (1946)	L = 10 cm, Poids vif chair = 20g	19 à 25°8C	4 à 20,65 l
	Loosanoff (1959)		28 à 34°C	20,25 à 29 l/h max. 40 l/h
	Collier (1959)			10 à 22 l/h
<i>O. edulis</i>	Yonge (1960)	L = 10 cm	15°C	11.35 l/h
	Allen (1952)	18-24 mois, L = 1.9 à 3.9 cm, Poids sec chair = 80 mg	17-18°C	1 l/h ou 6.6 ml/h/mg chair sèche
	Drinnan (1959)	adultes	18.5°C	3.39 à 4 l/h
	Viallanes (1892)	18 mois		1 l/h
<i>O. lurida</i>	Loosanoff et Engle (1947)			max. de 26 l/h

B.1.2. L'ingestion

L'ingestion est le phénomène de rétention des particules par les branchies. Elle dépend de la qualité de l'eau. Elle se calcule de la même façon que le taux de filtration mais en tenant compte de la disparition du nombre de cellules par unité de temps et par individu (Gerdes, 1983a).

B.1.3. L'assimilation

L'assimilation correspond aux particules retenues par les branchies et qui sont phagocytées ou digérées par les cellules de l'estomac. La partie non digérée par le système digestif est rejetée par le tractus digestif pour constituer les fèces. L'assimilation est très dépendante de la qualité du matériel particulaire. Le taux d'assimilation représente la réelle quantité de particules digérées par l'huître. Il existe différentes méthodes de calcul. L'une est basée sur le poids sec de la nourriture ingérée et des fèces qui en résultent (Gerdes, 1983a), l'autre est basée sur un dosage des protéines des deux fractions par la méthode de biuret (Winter, 1970).

Avant ce phénomène s'opère un tri du matériel particulaire par l'intermédiaire du palpe labial. Les particules non assimilables sont rejetées dans la cavité ventrale et éjectées de l'huître sous forme de pseudo-fèces par des mouvements valvaires (Marteil, 1976).

B.2. Facteurs influençant la physiologie de l'huître

B.2.1. La taille de l'huître

Selon la taille de l'huître, des variations sont constatées sur plusieurs fonctions :

- la résistance à la température, corrélée négativement à la taille (Brown et Hartwick, 1988),
- la consommation d'oxygène qui dépend pour *C. gigas* de la relation : $VO_2 = 0.00316W^{0.77}$ pour un poids sec de chair (W) de 0.03 à 1741 mg., le volume est exprimé en ml O_2 /h/individu ; les petites huîtres ont une consommation par mg de tissu sec plus importante que les grosses huîtres et sont donc plus sensibles aux variations d'oxygène (Gerdes, 1983b).
- le taux de filtration qui varie avec le poids sec de tissu selon : $F=1.2W^{0.73}$ dans le cas de *C. gigas* (Gerdes, 1983a) ; une petite huître montre un taux de filtration plus important qu'une plus grosse pour un poids de tissu sec équivalent (Owen, 1974 ; Walne, 1972 ; Winter, 1978 ; Gerdes, 1983a).
- l'ingestion variant selon la taille de l'huître (Winter, 1978).

B.2.2. La matière en suspension

La matière particulaire est le principal facteur responsable des modifications du comportement des bivalves. Elle agit par sa qualité et sa concentration.

B.2.2.1. La qualité

Les particules retenues par tous les bivalves ont un diamètre minimum de 3 à 4 μm et maximum de 500 μm . La taille la plus couramment retenue est comprise entre 50 et 100 μm (Marteil, 1976 ; Owen, 1974).

Chez certains bivalves, comme *M. edulis*, la rétention de particules plus fines (1 à 2 μm) a été observée (Winter, 1978). Mais ces résultats sont controversés par le pourcentage retenu qui est compris entre 0 et 100% (Marteil, 1976 ; Winter, 1978).

Le phytoplancton est la partie la plus importante de la matière particulaire. Il est la base de l'alimentation des bivalves filtreurs. L'énergie nécessaire pour les huîtres provient en grande partie du phytoplancton. Il représente 17% de l'énergie contenue dans l'eau (Héral *et al.*, 1983).

Le bivalve réagit différemment selon la qualité du phytoplancton. Il va retenir les types d'algues qui lui correspondent le mieux par l'intermédiaire de son appareil de filtration et de tri. Les espèces concernées sont pour la plupart des diatomées et des péridiniens (Marteil, 1976).

Le bivalve, selon la taille du microphyte, va en consommer plus ou moins. Le tableau 6 montre le nombre de cellules nécessaires pour atteindre la limite de production de pseudo-fèces. Dans un contexte d'élevage, ces valeurs sont importantes. Elles montrent les concentrations optimales pour que le coût énergétique de la filtration soit minimal (Winter, 1978).

Tableau 6: Effet de la taille et de la concentration algale sur la filtration. Température expérimentale 20°C approx. (Winter, 1969, in Winter, 1978)

Authors	Species	Food	Size (µm)	Pseudofaeces-free cell density x 10 ⁶ cells/l
Loosanoff and Engle (1947)	<i>Crassostrea virginica</i>	<i>Chlorella</i> sp.	5	450
Dean (1957)	<i>Crassostrea virginica</i>	<i>Chlorella</i> sp.	5	450
Winter (1969)	<i>Modiolus modiolus</i>	<i>Dunaliella</i> sp.	7.5 x 5	60
Winter (1969)	<i>Arctica islandica</i>	<i>Dunaliella</i> sp.	7.5 x 5	60
Schulte (1975)	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Platymonas suecica</i>	7.2 x 9.4	35-40
Winter (1969)	<i>Modiolus modiolus</i>	<i>Chlamydomonas</i> sp.	10 x 7.5	50
Stickney (1964)	<i>Mya arenaria</i>	<i>Dicrateria</i> sp.	?	50
Davis (1964)	<i>Mytilus edulis</i>	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	3.2-4.2 x 19.2-27.2	30-40
Loosanoff and Engle (1947)	<i>Crassostrea virginica</i>	<i>Nitzschia closterium</i>	? (40-50)	20-30
Loosanoff and Engle (1947)	<i>Crassostrea virginica</i>	<i>Euglena viridis</i>	60	2

L'algue a la possibilité de faire varier le taux d'assimilation de l'huître par la présence ou non d'une paroi externe plus ou moins digestible. Certaines algues passent alors par le tractus digestif sans être altérées (Marteil, 1976).

Elle agit également par sa composition en acides gras qui agissent de façon importante sur le développement de l'huître. Cela s'explique par la présence d'acides essentiels (22: 6ω3, 14:0, 16:0, etc.) propices aux besoins physiologiques du coquillage (Thompson et Harrison, 1992). Le tableau 7 représente les valeurs qualitatives de certaines micro-algues.

Tableau 7 : Valeurs qualitatives de différentes algues pour de jeunes bivalves (Owen, 1974)

Species	Index of food value ^a	
	<i>Ostrea edulis</i>	<i>Mercenaria mercenaria</i>
<i>Monochrysis lutherii</i>	1.36	0.59
<i>Tetraselmis calcitrans</i>	1.20	1.11
<i>Skeletonema costatum</i>	1.01	3.30
<i>Isochrysis galbana</i>	1.00	1.00
<i>Dicrateria inornata</i>	0.94	0.67
<i>Cricosphaera carterae</i>	0.62	0.70
<i>Chlorella stigmatophora</i>	0.60	0.31
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0.59	0.44
<i>Olisthodiscus</i> sp.	0.56	0.75
<i>Nannochloris atomus</i>	0.54	0.92
<i>Micromonas pusilla</i>	0.44	0.74
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	0.39	0.14
<i>Chlamydomonas coccoides</i>	0.30	0.19

^a Based on the growth of juveniles when fed various foods compared with the growth of controls fed on *Isochrysis* (some on *Tetraselmis* for *Mercenaria*). The index is calculated by dividing the mean size measured at 21 days from the commencement of the test, by the mean size of the control on that day.

La matière particulaire inerte (MPI) peut avoir une action sur la filtration qui se traduit par un stimulus chez *M. edulis*. Elle participe à l'efficacité de l'ingestion des autres composés nutritifs (Thompson et Bayne, 1972 ; Foster-Smith, 1975).

Les bactéries présentent un potentiel énergétique non négligeable dans l'eau pour les macro-consommateurs (Frikha *et al.*, 1987). Leur taille est de l'ordre de $2 \mu\text{m}$. Certaines sont retenues mais ne participent pas de façon importante à l'alimentation. Elles jouent plus un rôle de complément (Héral *et al.*, 1983).

B.2.2.2. La concentration

La concentration des particules va jouer à plusieurs niveaux.

La filtration diminue avec l'augmentation de la concentration (Winter, 1978 ; Gerdes, 1983a). La figure 1 montre qu'à partir d'une certaine valeur A ($50 \cdot 10^6 \text{ cell./l}$ d'*I. galbana*), on obtient un taux maximum puis une diminution à partir de B ($100 \cdot 10^6 \text{ cell./l}$). L'ingestion du matériel reste constante malgré la diminution du taux de filtration. Ce ne sera qu'à la valeur C ($250 \cdot 10^6 \text{ cell./l}$) que l'ingestion baisse. C'est à ce niveau que le coût énergétique de la filtration est minimal. Ce seuil correspond à la production de pseudo-fèces. Ce phénomène est dû principalement aux problèmes d'encombrement et de tri des cils et des palpes labiaux (Gerdes, 1983a). Les tailles retenues sont de plus en plus grosses lorsque la concentration augmente. Ainsi, à 64.37 mg/l , seules les tailles supérieures à $12 \mu\text{m}$ sont retenues 100% (Barillé *et al.*, 1993).

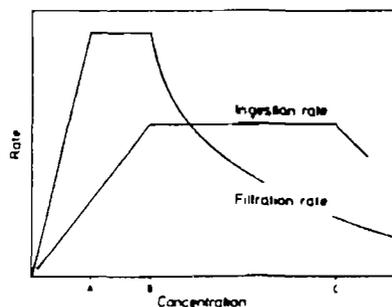


Figure 1 : Interrelation entre les taux de filtration et d'ingestion et la concentration (Gerdes, 1983a)

L'efficacité de l'assimilation des particules dépend de leur concentration. La figure 2 montre que la partie phagocytée diminue à partir d'une valeur ($40 \cdot 10^6 \text{ cell./l}$). Le taux de pseudo-fèces quant à lui augmente. Un mélange d'algues et de matières particulaires va être retrouvé dans ces pseudo-fèces (Pastoureaud, 1993). La baisse de l'assimilation s'explique par la perte de la fonction tri du palpe labial. Le taux ne varie que lorsque l'ingestion diminue (Winter, 1978), c'est à dire à la valeur seuil C de la figure 1.

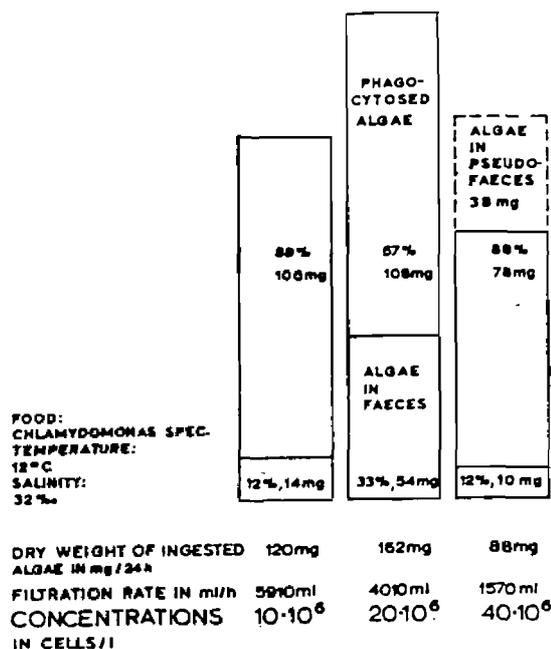


Figure 2 : Influence de différentes concentrations sur la filtration et l'utilisation de l'aliment chez *Arctica islandica* durant 24 heures (Winter, 1970)

B.2.3. Les substances dissoutes

En ce qui concerne la toxicité des ions solubilisés, aucune donnée n'est disponible. Les valeurs limites de résistance sont inconnues pour l'ammoniaque, les nitrites, les nitrates et le phosphore.

Le rôle des glucides solubles dans l'apport énergétique du coquillage n'est pas vérifié. Des travaux ont montré une action sur l'augmentation du taux de filtration par l'excitation d'un chémorécepteur (Thompson et Bayne, 1972). Un essai avec le même objectif, mais avec de l'humus et chez des *Gonyaulax*, donne les mêmes résultats (Marteil, 1976).

Les substances médicamenteuses concernent deux types de produits, les antibiotiques et les antiparasitaires. Pour les premiers, plusieurs études ont été faites (Le Bris, 1992 ; Maffart, 1993). Le bilan est que l'utilisation des médicaments, dans le respect des traitements, ne gêne pas la croissance des bivalves (Frikha et al., 1987). Pour les seconds, leur action n'est pas négligeable dans les doses de traitement (0.3 à 300 ppm selon le temps de mise en contact). Leur effet se traduit par une diminution du taux de croissance (Maffart, 1993).

B.2.4. Les facteurs physiques

B.2.4.1. La température

L'huître résiste à des températures comprises entre -1 et + 30°C.

La température agit sur plusieurs niveaux : la filtration, l'ingestion et la consommation d'oxygène.

Plus la température s'élève, plus la filtration est importante (Winter, 1970). Elle passe par un optimum et baisse ensuite (figure 3). Cela s'expliquerait par la dépendance thermique des mouvements ciliaires des branchies (Winter, 1978). La température optimale pour *C. gigas* serait de 20°C (Marteil, 1976). Le taux diminuerait entre 30 et 32°C pour *C. virginica*.

Comme la filtration, l'assimilation augmente avec la température chez *Arctica islandica* (figure 3) (Winter, 1970). Mais, à de faibles valeurs, la hausse n'est pas significative à cause de la régulation du

système filtrant. Lorsque la température arrive à 20°C, l'assimilation, chez *M. edulis*, est en augmentation constante avec la température (Winter, 1970).

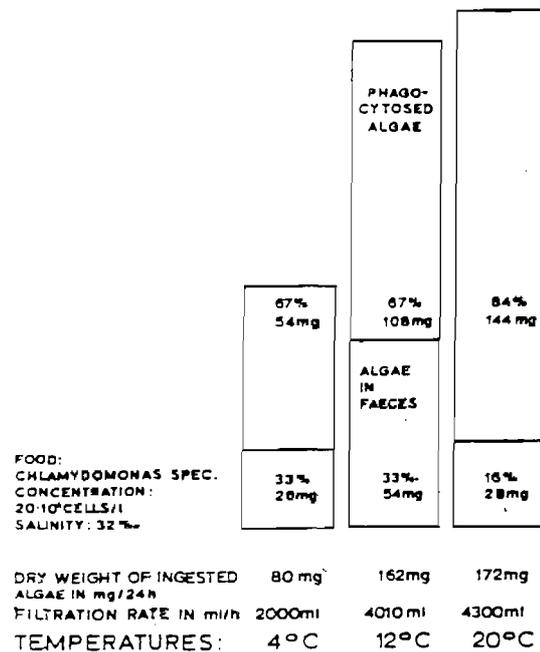


Figure 3 : Influence de la température sur l'utilisation de la nourriture chez *Artica islandica* (Winter, 1970)

La consommation d'oxygène dépend de la température. Elle augmente avec elle (figure 4).

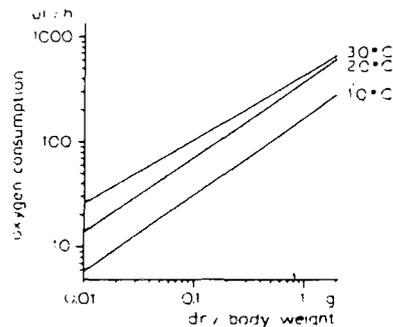


Figure 4 : Consommation de l'oxygène en fonction de la température et de la taille du corps (tissu sec en mg) de *C. virginica* (Winter, 1978)

B.2.4.2. Le pH et la salinité

Le pH peut être responsable des variations du taux de filtration. Ce dernier n'est réduit que si l'on rencontre des valeurs inférieures à 7 et plus particulièrement en dessous de pH 4.5.

C. gigas peut résister à une dessalure pouvant atteindre 5 mg/l. La teneur en sel joue aussi sur la croissance de l'huître. Une faible valeur provoque une diminution de la croissance de la coquille par l'absence d'ions comme le calcium (Brown et Hartwick, 1988).

C. Prégrossissement

Classiquement, le cycle complet d'élevage se divise en quatre parties. L'écloserie correspond à la production des larves et à la fourniture de naissains jusqu'aux tailles comprises entre 800 μ et T2-T3. Le prégrossissement correspond au passage de la taille T4 à la taille T12-T15. Le demi-élevage permet d'atteindre un calibre 5-6. Le calibre est un autre système de mesure basé sur le poids de l'huître. Il est suivi du grossissement durant lequel l'huître atteint sa taille commercialisable.

Le prégrossissement peut se pratiquer de plusieurs façons. Il s'agit du prégrossissement naturel (non intensif) et intensif (forcé). Suit une description rapide des deux types, leurs avantages et leurs inconvénients.

C.1. Le prégrossissement intensif

Le prégrossissement forcé se passe dans une nurserie. Celle-ci est composée d'un ensemble de bassins réservoirs dans lesquels sont placés des tubes tamis contenant les huîtres. Ces tamis sont traversés par un courant d'eau ascendant. La nurserie est alimentée par de l'eau de mer et selon les saisons, du phytoplancton cultivé y est ajouté. En Baie de Bourgneuf, le prégrossissement hivernal est rendu possible grâce à l'eau provenant des forages. Le temps de main-d'oeuvre pour produire 2 millions de naissains est estimé à une heure/jour.

La croissance du naissain est en rapport direct avec l'apport de nourriture et d'oxygène.

Tableau 8 : Données techniques pour un prégrossissement intensif forcé

Epoque	Printemps	Eté	Hiver
Support	Bac tamis PVC, diamètre 50 cm		
Maille	1000 μ m et 3000 μ m		
Densité par bac	25000	25000 à 50000	25000
Débit eau de mer	3 m ³ /h		1 m ³ /h
Débit phytoplancton	0	150 l/h pour 1000000 cellules par litre	50 l/h pour 500000 cellules par litre
Distrib. phytoplancton	absente	en alternance, 3h d'apport, 2h d'arrêt	
Nettoyage par semaine	1		
Durée du cycle (mois)	3 à 6	2	3
Taille finale (mm)	12	15	10
Taux de recapture (%)	90		
Tamissage	Si le lot est hétérogène		

C.2. Le prégrossissement naturel

On utilise des poches de type ostréicole. Elles sont mises ensuite en claires ou sur l'estran sur des tables ostréicoles. Ces poches, de 0.5 m² de maille de 1.4 à 4 mm, sont utilisés avec une densité de 1500 à 2000 huîtres par poche en dédoublement progressif.

Pour 2 millions de naissains, le temps à passer est de 1h/jour jusqu'à T4 et 40 mn/jour jusqu'à T8.

Cet élevage se déroule durant le printemps et/ou l'automne, avec un temps de prégrossissement de 3 à 6 mois. Il permet d'obtenir des tailles finales de 12 à 15 mm avec un taux de recapture de 90%.

C.3. Avantages et inconvénients des deux techniques

Les avantages et les inconvénients des deux techniques sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 9 : Avantages et inconvénients de deux types de prégrossissement

Type	Intensif	Non intensif
Investissement	important	faible
Coût de fonctionnement	fort	faible
Risques techniques	importants	faibles
Densité	élevée	faible
Durée du prégrossissement	courte et toute l'année	longue, printemps et automne
Taille minimale	< 2 mm	3 mm
Tamissage	aisé	délicat
Rigueur du suivi	forte	réduite
Suivi de l'élevage	facile (huîtres accessibles)	moins facile
Entretien	régulier	brossage impératif
Prédation	nulle	possible
Maladies	risques importants	risques faibles
Polyvalence pour autres espèces	possible	possible
Polyvalence pour autres élevages	impossible	possible
Valorisation des rejets	½ élevage en aval	impossible

La technique employée dans l'élevage intégré est basée sur le type non-intensif. Les raisons de ce choix sont :

- le faible coût en investissement et en fonctionnement car les structures telles que les claires préexistent dans un élevage piscicole en marais,
- le suivi est moins lourd que pour une nurserie intensive,
- la réutilisation possible des claires pour l'élevage de bar si cela s'avère nécessaire,

– les risques techniques et de maladies plus faibles.

C.4. Problèmes biologiques rencontrés dans les nurseries

Dans la phase prégrossissement, certains phénomènes biologiques peuvent être responsables de mortalités directes ou indirectes importantes.

1) L'herpès virus :

Il se rencontre dans le milieu naturel et dans les écloseries chez les larves et le naissain d'huître (Renault *et al.*, 1994).

Ce virus est responsable de grosses mortalités dans les écloseries et les nurseries intensives et se déclare de façon ponctuelle. Le taux de mortalité monte jusqu'à 100% pour les premières et jusqu'à 80 à 90% pour les secondes (Renault *et al.*, 1994).

La sensibilité à l'herpès est due à des températures élevées mais aussi aux conditions d'élevages intensives qui stressent l'animal, et le rendent plus sensible aux actions de ce virus.

2) Les ascidies :

Elles concernent tous les types de nurseries. Elles sont gênantes pour les petites huîtres (800µm à T6) mais, en principe, elles ne provoquent pas de mortalités. Elles modifient la forme de l'huître sur laquelle elles se fixent.

Si elles ne sont pas ôtées rapidement, elles grandissent et fixent les coquillages qui l'entourent sur leur tégument. Des paquets se forment alors et lorsqu'elles sont trop nombreuses, les huîtres ne peuvent plus être travaillées.

Lorsque les ascidies sont trouvées dans un lot, elles doivent être éliminées manuellement le plus rapidement possible. Une nurserie peut être totalement contaminée.

Il n'y a pas de prévention autre qu'un bon entretien des bassins et des zones d'alimentation en eau afin d'éviter un développement trop important d'ascidies adultes sur les parois.

3) Algues toxiques :

Selon les saisons, des marées colorées toxiques peuvent se développer. Les conséquences de ces marées sont plus importantes pour le prégrossissement naturel sur estran car il est plus exposé que le système intensif.

C.5. Le prégrossissement dans la région Pays de la Loire

La région Pays de la Loire, par le département de La Vendée, est la première région productrice de naissains d'écloserie en France grâce à la présence d'une nappe d'eau salée souterraine de température constante située dans le sous-sol de la Baie de Bourgneuf. Actuellement, il existe 22 nurseries.

C.5.1. Répartition géographique et types de nurseries

Le tableau 10 présente les zones où se sont développées les nurseries et les différents types existants.

Tableau 10 : Les différents types de nurseries dans la région Pays de la Loire

Secteurs	Nurseries intensives	Nurseries non-intensives
Bourgneufs-en-Retz	0	2
La Barre-de-Monts	0	1
Bouin-Beauvoir/mer	17	2
Noirmoutier	0	2

On voit que 75% des entreprises, comprenant toutes les nurseries intensives, sont implantés dans la région de Bouin-Beauvoir sur mer. Le reste des non-intensives est réparti sur l'ensemble de la région nord Vendée.

La principale raison est que la nappe d'eau salée n'est pas qualitativement identique dans toutes les zones qu'elle englobe. Le secteur Bouin-Beauvoir possède la partie où l'eau est la plus riche en nitrate et en phosphate. Une culture de phytoplancton de *Skeletonema* peut se développer sur l'eau de forage sans apport de sels nutritifs à l'opposé de Noirmoutier où un apport en phosphate et en nitrate serait nécessaire. Les autres zones de développement ne permettent pas actuellement de produire du *Skeletonema* en grand volume.

C.5.2. Objectifs de la production.

Les différentes nurseries se sont développées pour produire du naissain mais avec des objectifs différents (Glizes, *comm.pers.*) :

- 1) L'auto-production. Le professionnel fait une nurserie pour compenser son manque de captage naturel, augmenter sa production, obtenir une certaine qualité ou avoir une diversification de l'origine du naissain. Ces entreprises s'occupent de la croissance de leurs huîtres jusqu'à la commercialisation. La vente n'est qu'une phase accessoire. Ce sont en majorité de petites entreprises qui produisent 1 à 2 millions d'huîtres. Elles représentent plus d'un tiers (36.4%) des exploitations.
- 2) L'autoproduction et la vente de naissains. Ces deux activités sont équivalentes dans l'économie de l'entreprise. La production est de 2 à 3 millions de larves, soit 13.6% des exploitations.
- 3) La vente : l'objectif de ces entreprises est de produire et de vendre du naissain. Les phases de demi-élevage et de grossissement jouent un rôle économique moins important dans l'entreprise que l'activité nurserie. Certaines entreprises produisent jusqu'à 100 millions de larves/an. Cela représente 50% des installations.

C.5.3. Evolution de la production

La production a débuté en 1990, elle est passée de 5 à 215 millions de naissains en 1994.

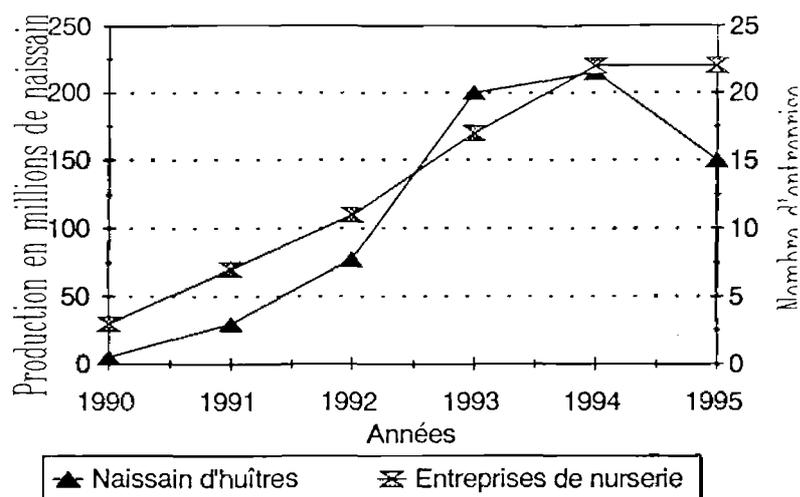


Figure 5 : Evolution de la production de naissains d'huîtres et du nombre de nurseries en Région Pays de la Loire

Une augmentation importante de la production de naissains a lieu entre 1992 et 1993. Elle correspond à une production supplémentaire de jeunes huîtres destinées à la vente et à des créations de nurseries commerciales. Parallèlement, le nombre d'entreprises a évolué jusqu'en 1994.

L'année 1995 est une année où les nurseries ont rencontré de gros problèmes : une mévente et des mortalités importantes. De ce fait la production de naissain a fortement diminué. La mauvaise qualité du marché a entraîné une stagnation dans la création de nurseries.

C.5.4. Le marché

Les acheteurs sont les ostréiculteurs qui travaillent en phase de prégrossissement, de demi-élevage et de grossissement. Ils viennent d'autres régions comme Marennes-Oléron, Bretagne. La demande fluctue énormément et elle est très dépendante de la réussite du captage naturel.

Les prix ont été constants jusqu'au début 1995. Le T10-T12 valait 100 à 110 F le mille. Actuellement, les prix ne sont plus fixes à cause de la morosité du marché.

Cette étude montre, que malgré tout, un marché existe. Dans ce cadre, le choix du prégrossissement pour notre étude est justifié.

III. Matériel et méthodes

A. Structure expérimentale

Elle se divise en trois parties :

- la source des rejets qui proviennent des bassins d'élevage semi-intensif en terre (T1 et T2),
- le stockage des rejets qui se fait dans des raceways bétonnés (prébassins) au nombre de deux (Pr1 et Pr2) appelés bassins tampon,
- la structure de prégrossissement qui est constituée de quatre bacs circulaires en fibres de verre et résine polyester (C1, C2, C3, C4) reliés aux prébassins.

La figure 6 résume le montage expérimental avec son système hydraulique

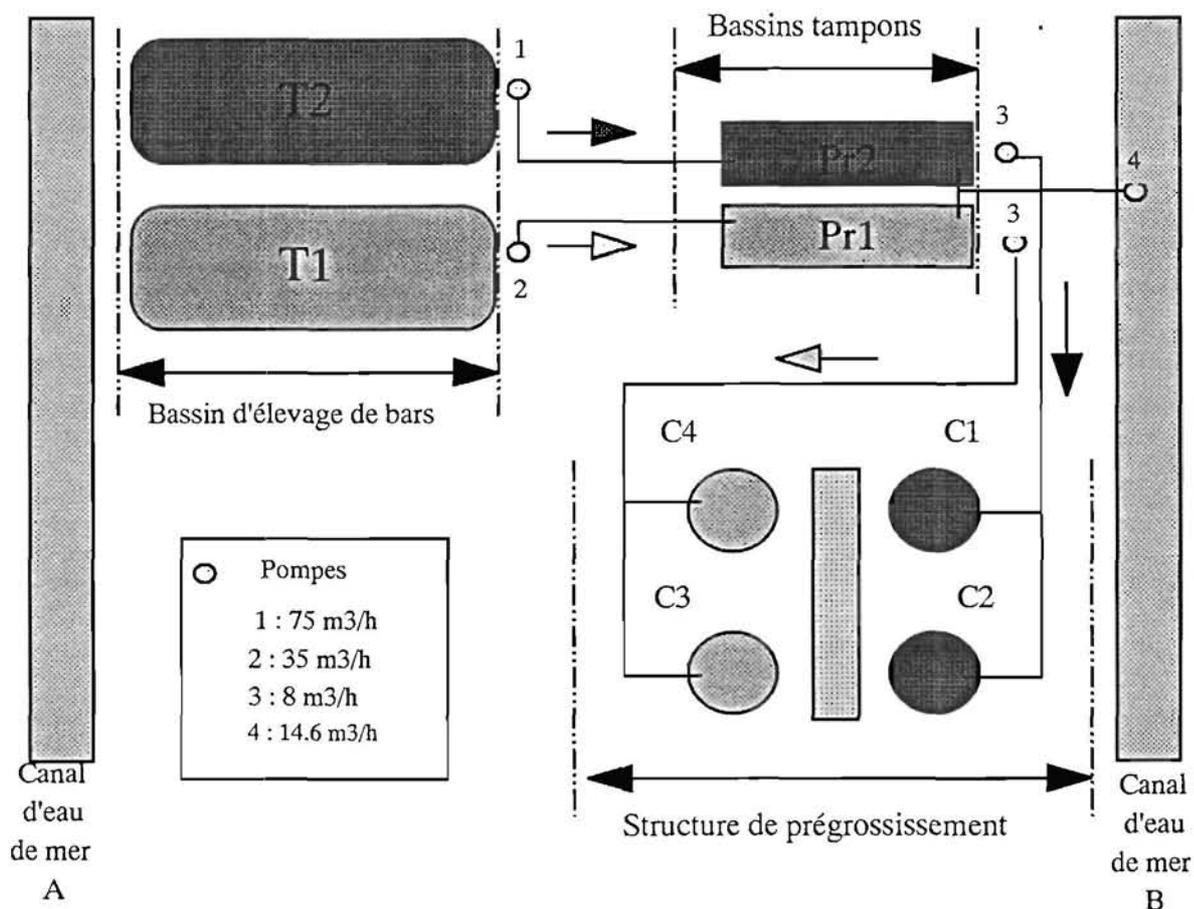


Figure 6: Schéma de la structure expérimentale

A.1. Les élevages de poissons

Les bassins T1 et T2 ont une surface de 537 m² et une profondeur de 1 m. Ils sont alimentés en eau de mer par un canal. Ils sont respectivement renouvelés à 10 et 20 %. Le renouvellement est discontinu et constant durant toute l'expérimentation. La purge est faite au début de la matinée par l'intermédiaire d'un moine. Le remplissage se fait immédiatement après. L'élevage de poisson est un élevage de bars (*Dicentrarchus labrax*). La charge initiale est de 4 734 poissons de 23,1 g de poids moyen qui doit permettre d'obtenir à la fin de l'élevage une charge de 1 kg/m². C'est un élevage semi-intensif en phase de grossissement. Les poissons sont alimentés « ad libitum » avec un aliment sous forme de granulés.

A.2. Les bassins de stockage

Ce sont des raceways bétonnés reliés chacun par une pompe aux bassins de terre T1 pour le prébassin Pr1 et T2 pour le prébassin Pr2. Ils ont un volume de 100 m³, une longueur de 25 m, une largeur de 4 m. Les rejets des bassins T1 et T2 sont pompés au niveau du moine et déversés respectivement dans les raceways Pr1 et Pr2. Pour le bassin T1, une pompe Leroy Sommer de débit 35 m³/h assure le remplissage du prébassin Pr1. Pour le bassin T2, le pompage est assuré par une pompe KSB de 70 m³/h de débit. La liaison est assurée par des tuyaux souples.

Un brassage de l'eau est nécessaire dans les raceways afin d'homogénéiser le bassin dans le but d'éviter une sédimentation du phytoplancton. Des aérateurs de type Sagnier (750 W) sont placés à 5 m de l'une des extrémités des prébassins. Ils fonctionnent en continu.

L'expérimentation utilise les rejets des élevages de bars du programme « Aquaculture Environnement ». Afin d'éviter un problème d'approvisionnement, une pompe Grundfild de 14,6 m³/h est placée dans le canal d'alimentation des raceways. Elle assure un apport de d'eau de mer pour compenser l'insuffisance des rejets s'il y a lieu.

Cette précaution se justifie sur le raceway R1 car il est relié au bassin T1 à 10% de renouvellement. Les 50 m³ théoriques qu'il peut rejeter sont, sans doute, surestimés par rapport à la réalité. Il faut tenir compte de la perte par infiltration et par le clapot provoqué par le vent sur les bords. Une perte maximum de à 25 m³ peut avoir lieu. Sur le raceway R2, elle n'interviendra qu'en cas de problème lors de la gestion des rejets dans l'élevage piscicole. A priori, les volumes disponibles sont suffisants.

Dans la gestion des raceways, le problème de la compétition macro/microalgues est envisagé. Les raceways peuvent être vidés par un système de coude en sortie si un développement trop important en macroalgues empêche une efflorescence phytoplanctonique de se produire. Après le nettoyage, le remplissage serait assuré à partir des bassins d'élevage piscicole.

A.3. La structure de prégrossissement

L'eau provenant des raceways est déversée dans les 4 bassins cylindriques destinés à recevoir la seconde partie de l'élevage intégré. Cette alimentation est assurée, à partir des bassins tampon, par une pompe Marlow installée à l'extrémité opposée à l'aérateur. Elle a un débit maximum de 8 m³/h. La prise d'eau est située à 10 cm au-dessus du fond du raceway. Les couples de circulaires sont reliés aux pompes par des tubes PVC. A chaque extrémité de ces tubes, une vanne est installée. Elle permet de régler et d'assurer un débit quotidien de 0,8 m³/h pour chaque circulaire (figure 7). Ce débit de 0,8 m³/heure a été choisit en prenant comme référence l'apport nécessaire de chlorophylle *a*, en nourricerie intensive d'huître creuses. Le débit minimum conseillé est de 0,04 l/h/individu. Le

choix a été fait pour un débit minimal pour une densité maximale de 20 000 individus. Ce débit est basé sur un apport cellulaire de *S. costatum* de 25.10^7 cellules par individu. De ce fait, le calcul est basé sur une concentration minimale de l'eau d'alimentation comprise entre 20 et 40 $\mu\text{g/l}$ de chlorophylle *a* (Baud, 1988).

Chaque circulaire peut contenir un volume de 10 m^3 sur une profondeur de 1 mètre. Ils sont recouverts d'une ombrière supportée par une armature métallique. Les bacs C1 et C2 sont reliés au raceway Pr2 et les bacs C3 et C4 au raceway Pr1. Dans chaque bac, sont placées des tables de type ostréicole de 0,44 m de hauteur. Celles-ci sont reliées entre elles pour constituer une structure carrée.

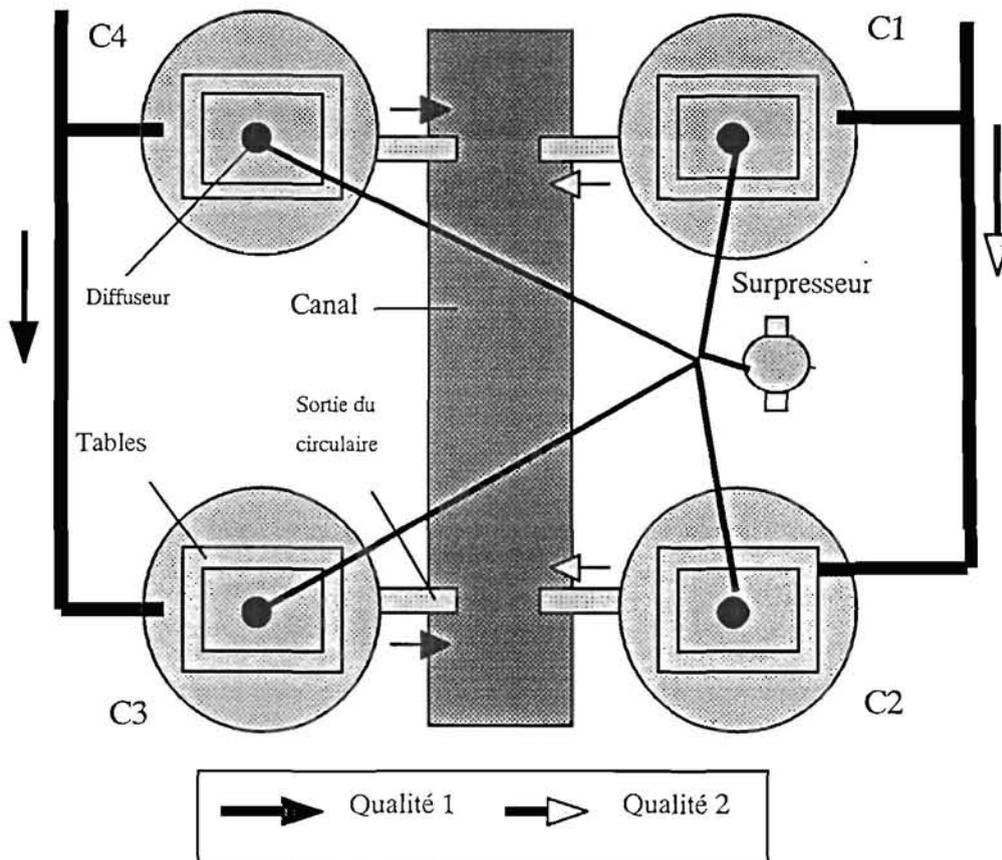


Figure 7 : Schéma de la structure de prégrossissement

L'évacuation des rejets se fait par un canalet. Le trop-plein des bassins cylindriques est évacué par une surverse disposée de telle manière que les prélèvements se fassent sans problème. La vidange de chaque bac est assurée par un joint J (figure 8).

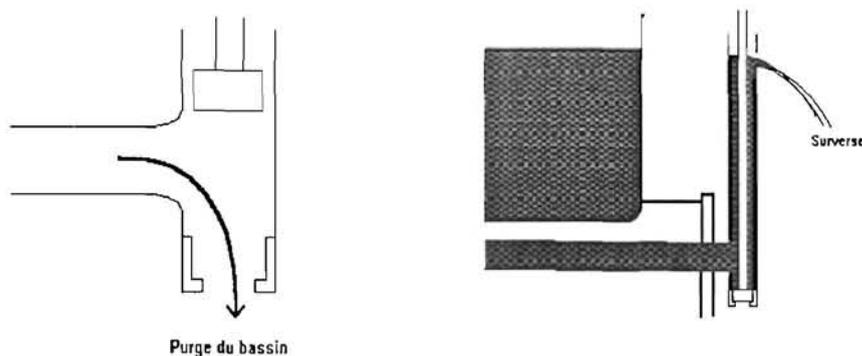


Figure 8 : Schéma du joint J et de la surverse

L'aération des quatre bacs circulaires est assurée par un compresseur FPZ d'un débit maximal de 25 m³/h commun à l'ensemble des bacs. L'air est introduit par l'intermédiaire de diffuseurs placés au centre des bassins.

A.4. Le naissain

Il est constitué par un lot homogène de 60 000 huîtres de taille T1 avec 10 % d'huîtres collées. Il provient d'une entreprise privée située dans les polders sud de Bouin. Cette population initiale est divisée en 4 lots, 2 de 10 000 huîtres et 2 de 20 000 huîtres. Les bacs C2 et C3 ont une densité D1 de 10 000 huîtres. Les circulaires C1 et C4 ont une densité D2 de 20 000 huîtres.

Chaque lot est réparti dans 10 poches de 2 mm de maille. On obtient ainsi 1 000 huîtres et 2 000 huîtres/poche, selon le lot. Les poches sont disposées sur les tables ostréicoles auxquelles elles sont fixées.

Les huîtres sont brassées deux fois par semaine pour éviter qu'elles ne se collent entre elles.

B. Prélèvements des échantillons

B.1. L'eau

Les prélèvements d'eau sont effectués deux fois par semaine, le mardi et le vendredi :

- à la sortie des bassins de terre (T1s et T2s),
- à la sortie de la pompe alimentant les raceways en eau de mer (Pa),
- à l'entrée des circulaires (Pr1s et Pr2s),
- à la sortie des circulaires (C1s, C2s, C3s, C4s),
- lors de la vidange des circulaires jusqu'à un niveau de 50 cm ; il est fait en deux points, à 15 et 35 cm au dessous du niveau de fonctionnement (lors du prélèvement, l'oxygénation fonctionne afin de maintenir un milieu homogène).

Tous les quatorze jours, les bacs circulaires sont vidés totalement avec le bullage en fonctionnement. Après la première vidange de routine, les circulaires sont brossés et rouverts aussitôt. Deux points de prélèvements supplémentaires sont pratiqués, à 15 et à 35 cm du fond, dans les mêmes conditions que précédemment.

Les échantillons sont récupérés dans des flacons de polyéthylène de 2 litres. Par contre, l'eau de vidange des circulaires est récupérée en flacon de polyéthylène de 1 litre. Les prélèvements, à 15 et 35 cm, sont mélangés dans un flacon de 1 litre. La première série de flacons (vidange de routine) constitue les échantillons de C1rej à C4rej, la deuxième est représentée par les C1rejfinals à C4rejfinals. Tous les flacons sont nettoyés à l'eau du robinet et rincés trois fois avec l'eau de prélèvement.

B.2. Les huîtres

La biométrie des huîtres a lieu tous les 14 jours. Avant la deuxième purge, les poches sont retirées des bassins. Les huîtres d'un même bassin sont mélangées dans un récipient rempli au tiers d'eau. Le

lot mélangé est ensuite homogénéisé. Un échantillon d'huîtres, de 80 à 200 individus est prélevé au hasard. Ces huîtres sont stockées en eau pour être analysées ultérieurement (délai maximum 24 h).

Le reste de la population est tamisé. Les tamis employés sont : T18, T16, T14, T12, T10, T8, T7, T6. Le numéro correspond au diamètre des perforations en mm.

Chaque tamis est égoutté 30 minutes, puis pesé. Les comptages sont faits sur trois échantillons compris entre 70 et 100 huîtres.

Les huîtres sont réparties dans des poches par groupe de 700 à 1 000 huîtres pour la densité D1 ou de 2 000 à 2 500 huîtres pour la densité D2. A partir de T12, le nombre d'huîtres baisse à 500 par poche pour une densité de 20 000 et de 250 à 300 par poche pour la densité de 10 000. Ce qui permet d'avoir systématiquement de 7 à 10 poches. A partir de la classe T6, les poches de maille 4 mm sont utilisées, elles sont remplacées par des poches de maille 7 mm lorsque les huîtres arrivent à T8.

Un dédoublement de la population est prévu au bout d'un mois et demi pour éviter une mortalité importante des huîtres dans le cas d'un manque de nourriture.

C Traitements et analyses des échantillons

C.1. Paramètres physico-chimiques

La température, l'oxygène et le pH sont mesurés trois fois par semaine (lundi, mercredi et vendredi). La température, à l'aide de la sonde de l'oxymètre, est mesurée le matin et à l'aide de la sonde du pH-mètre l'après-midi. L'oxygène est mesuré à l'aide d'un oxymètre YSI le matin 1 h à 1 h 30 après le lever du soleil. Le pH est mesuré, à l'aide d'un pH-mètre de terrain WTW, l'après-midi entre 17 et 18 h. La salinité est mesurée une fois par semaine grâce à un salinomètre de terrain Kent Eil.

C.2. Les sels nutritifs

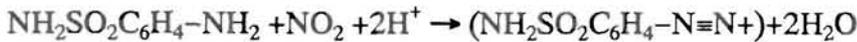
L'urée, les nitrites, les nitrates, l'ammonium, les phosphates sont suivis durant toute l'expérimentation. L'eau analysée est filtrée sur filtre GF/C de 47 mm de diamètre, stockée dans un flacon en polyéthylène et conservée à -20°C . Les différents composés organiques et minéraux sont dosés au CREMA de l'Houmeau par un appareil de dosage (Skalar) qui analyse les échantillons de façon automatique. Le principe de cet appareil est que plusieurs échantillons sont injectés dans un flux liquide segmenté par des bulles d'air. Différents réactifs sont ajoutés à des intervalles bien définis, dans des volumes déterminés. Il y a formation de complexes colorés présentant un maximum d'absorbance à une longueur d'onde donnée. L'absorbance est détectée par des colorimètres. L'appareil comprend 8 chaînes de dosage.

C.2.1. Dosage de l'urée

Selon la méthode de Koroleff (1983), adaptée par Parsons et *al.* (1992), le dosage est basé sur la réaction de l'urée avec de la diacétylmonoxine dans un milieu fortement acide et en présence d'un oxydant faible pour former un produit de condensation. Ce dernier va réagir avec la semicarbazine et l'ion manganèse pour former un complexe qui donne une coloration qui absorbe à 520 nm.

C.2.2 Dosage des nitrites

La méthode est fondée sur la réaction de GRIESS, appliquée à l'eau de mer par Bendschneider et Robinson (1952). Les ions nitrites forment un diazoïque avec la sulfanilamide en milieu acide ($\text{pH} < 2$) selon :



Le diazoïque réagit ensuite pour former un colorant rose N-naphtyl-éthylène diamine. Il absorbe à 543 nm.

La loi de Beer-Lambert n'est vérifiée que pour des concentrations allant de 0,01 à 20 $\mu\text{mol/l}$.

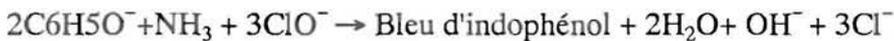
C.2.3 Dosage des nitrites et des nitrates

La méthode est basée sur le dosage des ions NO_2^- obtenu par réduction quantitative (95 %) des ions NO_3^- selon Strickland et Parsons (1972). La réduction est assurée par une colonne de cadmium traitée au sulfate de cuivre et avec HCl. Les nitrates s'obtiennent simplement par différence entre la concentration en nitrites néoformés et ceux présents naturellement.

La loi de Beer-Lambert est vérifiée à des concentrations allant de 0,05 à 25 $\mu\text{mol/l}$. La réaction est libre d'interférence.

C.2.4 Dosage de l'ammonium

Selon la méthode de Koroleff (1969), en milieu alcalin ($8 < \text{pH} < 11.5$), l'ammonium dissous réagit sur l'hypochlorite pour former une monochloramine. Ce composé, en présence de phénol et d'un excès d'hypochlorite (milieu oxydant), donne lieu à la formation d'un bleu d'indophénol qui absorbe à une longueur d'onde de 630 nm. La réaction est catalysée par l'addition d'ions nitroprussiates et accélérée par le passage dans un bain-marie à 40°C.



La formation d'hydroxique cationique, qui peut avoir lieu au pH de la réaction, est évitée par l'ajout de citrate de sodium. La salinité interfère sur la réaction.

C.2.5 Dosage des phosphates

La méthode utilisée est la méthode de Murphy et Riley (1962). Les ions phosphates réagissent avec le molybdate d'ammonium pour former un complexe instable que l'on réduit par l'acide ascorbique. On obtient une coloration bleue avec un maximum d'absorbance à 885 nm.

Le seuil de détection est aux environs de 0.02 $\mu\text{mol/l}$. De fortes concentrations en nitrites peuvent interférer sur la réaction.

C.3. La chlorophylle a

Le protocole est basé sur Lorenzen (1967), modifié par Aminot et Chaussepied (1983). Elle est exprimée en $\mu\text{g/l}$.

C.4. Les matières en suspensions (MES)

Le protocole utilisé est basé sur la méthode décrite par Aminot et Chaussepied (1983), modifié par Reymond (1995). La matière particulaire totale, organique et minérale est exprimée en mg/l .

Selon la définition, la matière particulaire la plus fine est de $0.5\mu\text{m}$. Actuellement, les filtres utilisés sont des filtres GF/C Whatman de $1.2\mu\text{m}$ de porosité. Malgré sa porosité, ce support retient efficacement les particules supérieures à $0.4\mu\text{m}$ de diamètres pour une concentration allant de 1 à 15 mg/l (Portères, 1988).

C.5. Les lipides, glucides et protéines

Les dosages sont basés sur la méthode :

- de Lowry *et al.* (1951) pour les protéines modifiée par D. Razet (comm. pers.) ; le dosage est basé sur la réaction du Folin Ciocalteu sur les protéines.
- de Marsh et Weinstein (1966) pour les lipides modifiée par D. Razet (comm. pers.) ; il se fait à partir d'une extraction des lipides par du chloroforme et par l'hydrolyse acide des acides gras par de l'acide sulfurique.
- de Dubois *et al.* (1956) adaptée par Malara et Charra (1972) pour les glucides ; il est basé sur la réaction du phénol en présence d'acide sulfurique.

Les deux premiers protocoles sont présentés en annexe.

C.6. Bilan énergétique

L'énergie potentielle (E) contenue dans la matière en suspension est déterminée à partir de l'analyse des protéines, des lipides et des glucides particulaires. Elle est quantifiée à partir des coefficients de conversion énergétique de Brody (1945) qui sont de 39.56 joules mg/l pour les lipides, de 23.65 joules mg/l pour les protéines et pour les glucides de 17.16 joules mg/l. L'énergie contenue dans le matériel particulaire équivaut à :

$$E = 23.65 * [\text{protéines}] + 39.56 * [\text{lipides}] + 17.16 * [\text{glucides}], \text{ les concentrations sont exprimées en mg/l.}$$

La mesure des matières particulaires est pratiquée sur tous les prélèvements. La détermination de la masse de chlorophylle, de lipides, de glucides et des protides est faite, uniquement, sur les échantillons T1s, T2s, Pr1s, Pr2s, C1s, C2s, C3s, C4s.

L'ensemble de ces analyses est pratiqué sur du matériel particulaire retenu sur un filtre GF/C Whatman en fibre de verre de $1.2\mu\text{m}$ de porosité. Pour les MES, le diamètre est de 47 mm, les autres filtres ont tous un diamètre de 25 mm.

C.7. La mortalité

Elle est calculée à partir de l'effectif des classes déterminées durant l'échantillonnage.

La population totale est calculée. Le taux de mortalité est déduit de la population totale à chaque bilan et il est ensuite cumulé. Deux types d'évolution cumulé de la mortalité sont mis en évidence. Une avant et une après le dédoublement de population.

C.8. Poids moyen

Après avoir été séchée entre des feuilles de papier, les huîtres sont pesées une à une sur une balance de précision Mettler, précise au $1/10^{\circ}$ de gramme, pour déterminer le poids moyen (Pm).

C.9. L'indice de croissance instantanée (G30)

La longueur est mesurée par un pied à coulisse précis au $1/10^e$ de mm. On obtient une longueur moyenne (L). Le taux de croissance est déterminé sur la longueur de la coquille de l'huître selon (Baud, 1988).

$$G30 = \frac{30}{t-t_0} * \ln\left(\frac{L_t}{L_{t_0}}\right)$$

C.10. Indice de condition

Vu la taille des huîtres, il est difficile de déterminer l'indice de condition par l'extraction de la chair de la coquille. La méthode utilisée est adaptée de celle de Walne (1976) et de Agius *et al.* (1978). Elle consiste à les mettre entières dans une étuve à 60°C pendant 10 jours. Elles sont pesées et donnent alors le poids sec (Psec). Par la suite, elles sont mises dans un four à moufle à 450°C pendant 24 h. Elles sont alors repesées et forment le poids calciné (Pc). Le poids sec de la chair est estimé par la différence entre celui de l'huître et le poids calciné. L'indice de condition se calcule de la façon suivante :

$$IC = \frac{\text{Poids sec} - \text{Poids calciné}}{\text{Poids calciné}} * 1000$$

IV. Résultats

A. La qualité de l'eau

En fin d'expérimentation (8/9), le bassin piscicole T1 a été renouvelé durant 15 heures sans interruption, ce qui a modifié les rejets. Par conséquent les résultats pris en compte dans l'analyse ultérieure sont ceux compris entre le 20/6 et le 8/9.

Le débit d'alimentation des circulaires de $0.8 \text{ m}^3/\text{heure}$, prévu initialement, n'a pu être maintenu de façon régulière, malgré le suivi assidu, du fait du matériel inadapté. Pour le raceway Pr1 (qualité 1), le débit a été de $1.236 \text{ m}^3/\text{heure}$ soit $0.618 \text{ m}^3/\text{heure}$ par bassin (C3 et C4). Pour le raceway Pr2 (qualité 2), le débit moyen était de $1.44 \text{ m}^3/\text{heure}$ soit $0.72 \text{ m}^3/\text{heure}$ par circulaire (C1 et C2).

A.1. La salinité

La salinité reste dans des valeurs de concentrations qui ne sont pas gênantes pour les huîtres. Elles sont comprises pour tous les bassins entre 35.1 et 37.65 mg/l.

A.2. La température

L'évolution de la température est similaire dans les deux systèmes. De plus elle reste identique quand on passe des bassins d'élevage piscicole aux bassins circulaires. La figure 9 montre les températures moyennes journalières observées au cours de l'expérimentation. Les températures restent relativement stables jusqu'au 22 août. Ensuite, une diminution constante de la température est observée jusqu'à la fin de l'expérimentation. Les températures extrêmes observées sont respectivement de 16.8 et 26.7 °C pour Pr1 et 16.2 et 26.2 °C pour Pr2.

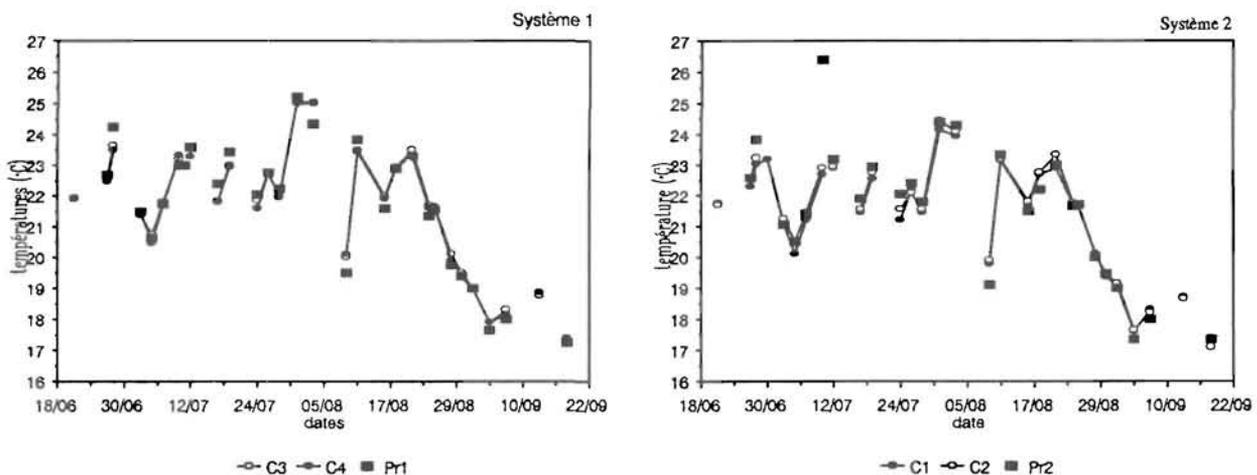


Figure 9 : Températures moyennes journalières dans les deux systèmes

A.3. Le pH

Le pH reste dans des valeurs comprises entre 7.9 et 9.1 pour Pr1 et 8.8 pour Pr2 avec des valeurs moyennes respectives de 8.5 et de 8.6. Les bassins C1, C2, C3, C4 ont des pH similaires (figure 10).

Les valeurs moyennes des quatre bassins sont respectivement de 8.18, 8.22, 8.25 et 8.18. Les pH de ceux-ci évoluent de façon parallèle à celui des structures tampons, avec une différence systématique de 0.2 voire 0.3 unités à partir du 10 juillet.

Les valeurs observées n'ont pas atteint les limites supérieures et inférieures acceptables par la physiologie de l'huître.

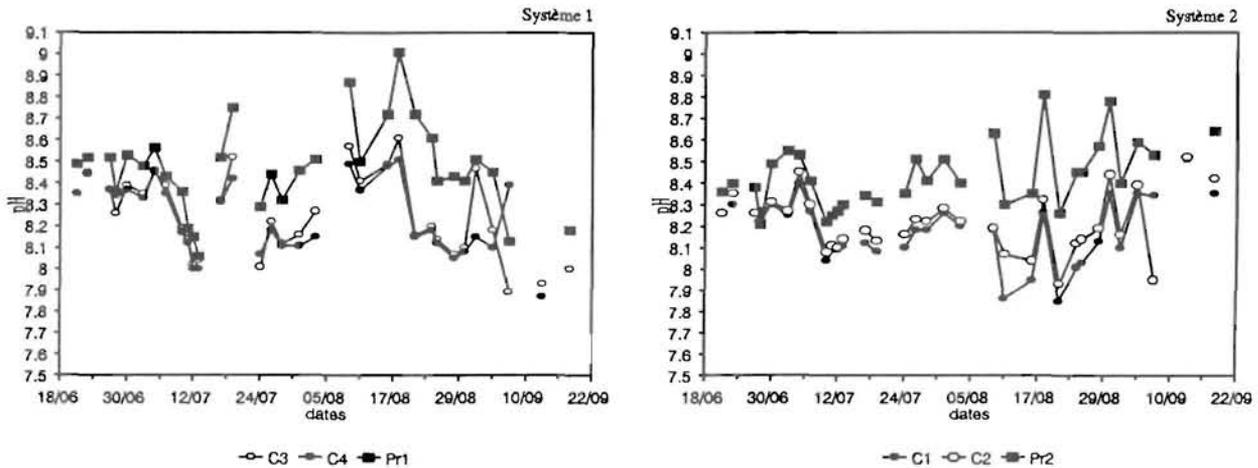


Figure 10 : Evolution du pH des deux systèmes

A.4. L'oxygène

L'oxygène est stable jusqu'au 15 août. Il est compris entre 6 et 7 mg/l (figure 11). Une baisse importante de l'oxygène (C3 et C1 : 3.75 et 4.2 mg/l) a lieu sur 6 jours (18/8 au 24/8). Cela peut être rapproché de la montée de pH observée à la même époque. Une corrélation peut être établie entre cette baisse d'oxygène et une efflorescence phytoplanctonique. Jusqu'à cet événement, nous pouvons constater la régularité de la teneur en oxygène, ce qui semble mettre en évidence l'intérêt d'une aération d'appoint. Ensuite et jusqu'à la fin de l'expérimentation, on observe une augmentation régulière de la teneur en oxygène liée à la baisse de température.

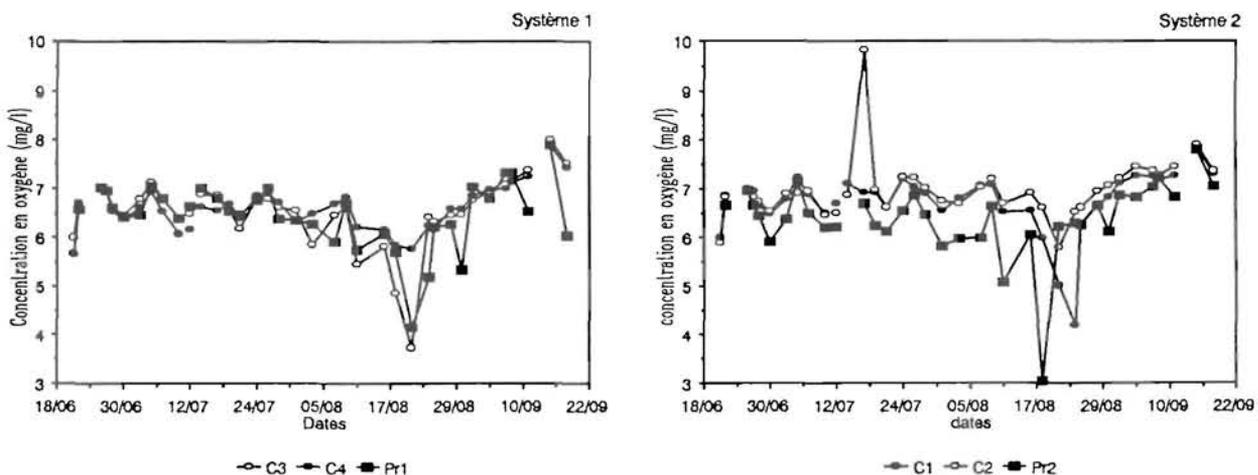


Figure 11 : Evolution de l'oxygène dans les deux systèmes

A.5. Les matières en suspensions

Les MES déterminées à partir de la surverse sont associées avec celles provenant de la première purge du bassin. Cette association représente le flux de MES en sortie d'un bassin.

A.5.1. Les concentrations

La figure 12 présente l'évolution des concentrations des MES rencontrées dans chaque structure de l'expérimentation.

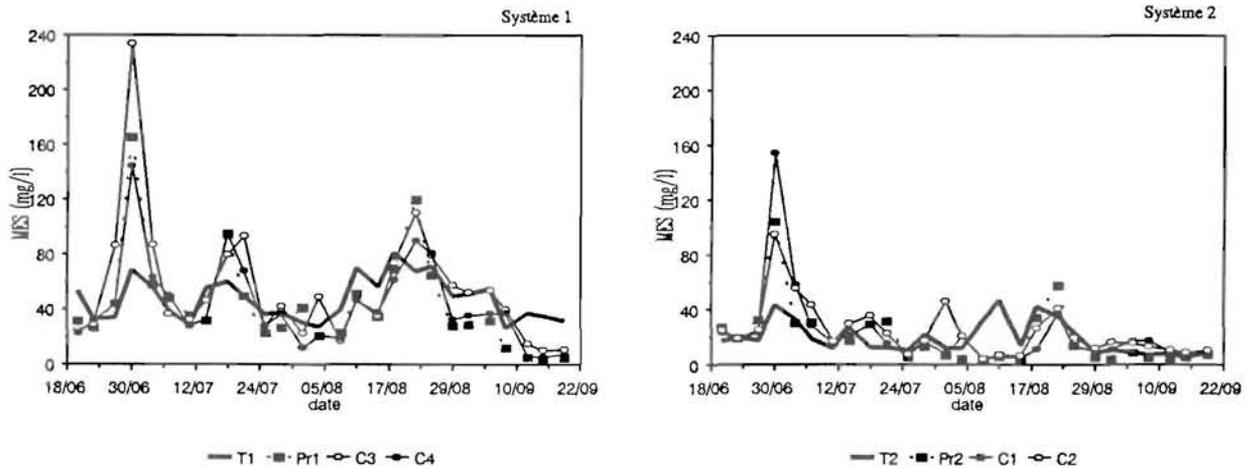


Figure 12 : Variation des concentrations en MES des deux systèmes

Les MES dans le système 1 présentent des concentrations supérieures à celles du système 2. Dans le premier cas elles se situent autour de 40 mg/l, alors qu'elles sont quasiment toujours en dessous de cette valeur dans le deuxième système. La qualité 1 présente une teneur minimale de 21.2 mg/l avec des valeurs qui sont plus ou moins constantes. Alors que pour le bassin Pr2 on constate une diminution jusqu'à 3.8 mg/l.

Dans le système 1, les concentrations en MES sont plus irrégulières que dans le deuxième. Elles présentent trois pics importants au niveau du prébassin. Ce phénomène se répercute au niveau des circulaires avec parfois une amplification notamment pour le premier pic du 30/06, en ce qui concerne le bassin à faible densité. La valeur moyenne pour le bassin Pr1 est de 43.67 mg/l.

Dans le système 2, un seul pic apparaît de façon bien définie. Dans ce cas, c'est le bassin à forte densité qui présente une concentration supérieure à celle du prébassin. La valeur moyenne des MES du prébassin est de 19.5 mg/l.

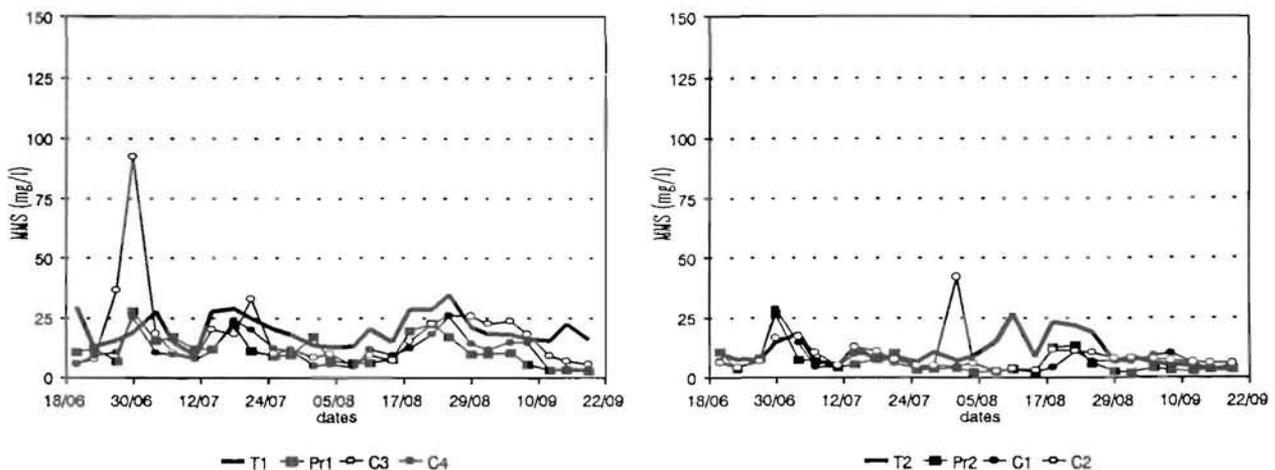


Figure 13 : Variations des concentrations en MMS dans les deux systèmes

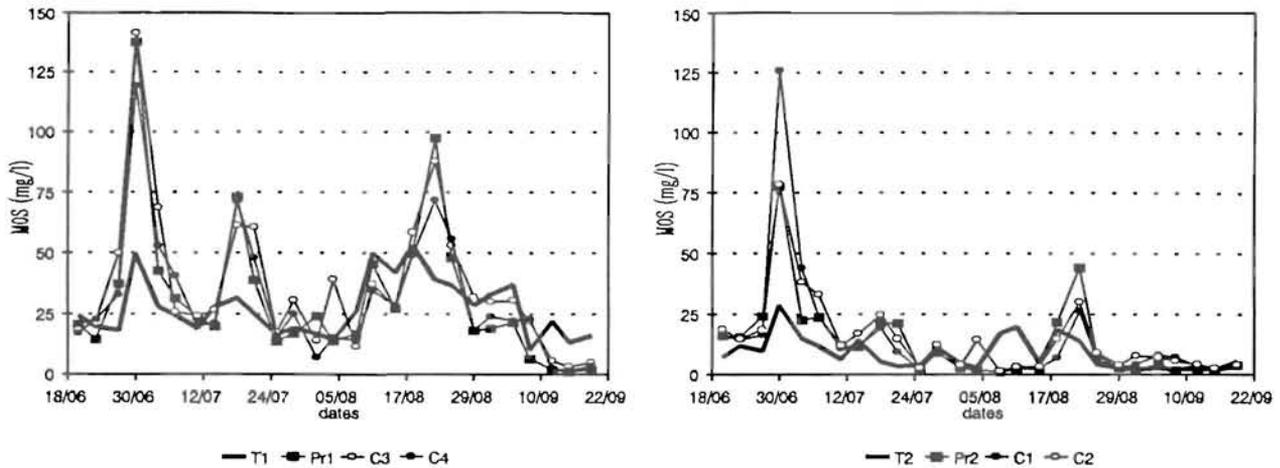


Figure 14 : Variations des concentrations en MOS dans les deux systèmes

Les figures 13 et 14 permettent de mettre en évidence, deux phénomènes. Tout d'abord, on constate que la différence de concentration au niveau des MES, observée entre les deux systèmes, est essentiellement due à la fraction organique. On voit que le système 1 présente des concentrations en MOS supérieures. De plus c'est la même fraction qui influence directement, dans les deux systèmes, les grandes variations observées dans les concentrations en MES.

A.5.2. Les MES des rejets finaux

Les matières en suspension quantifiées au niveau des rejets finaux correspondent aux MES qui peuvent se retrouver sédimentées au fond du bassin ou dans une claire d'élevage et qui, théoriquement, restent piégées dans ceux-ci.

Ce type de MES provient de la deuxième purge du bassin. Le broissage effectué permet de remettre en suspension les matières sédimentées que cette technique permet de quantifier.

Les valeurs sont constantes sauf le 22/8 lors du pic de MES qui est apparu dans les deux qualités (figure 12).

Le tableau 11 nous montre les accumulations moyennes de MES dans les différents bassins.

Tableau 11: Concentration des MES dans la purge finale des circulaires

Qualité	Bassin	MES mg/l	MOS mg/l (%)	MMS mg/l (%)
1	D1 (C3)	86.2	52.4 (56.5)	33.8 (43.5)
	D2 (C4)	125.5	43.0 (12.4)	82.5 (87.6)
2	D1 (C2)	66.6	34.5 (56.4)	32.1 (43.6)
	D2 (C1)	64.3	34.6 (51.8)	29.7 (48.2)

On observe très nettement que les quantités de MES piégées dans le bassin C4 sont très supérieures à celles des autres bassins. Ceci peut être corrélé avec les résultats illustrés par la figure 12 qui montrait des concentrations en MES en sortie du bassin C4 souvent inférieures au C3. Il existe une différence importante en fonction de la densité pour le système 1, ce qui n'apparaît pas dans le second système, puisque les valeurs obtenues pour les deux bassins sont identiques. De plus, le bassin C3 est proche de C1 et C2.

A.6. La chlorophylle

A l'instar de ce que l'on a pu observer pour les matières en suspension, les deux systèmes présentent des teneurs en chlorophylle *a* très différentes. Ceci est illustré par la figure 15 qui présente l'évolution des concentrations de chlorophylle *a* au cours de l'expérimentation.

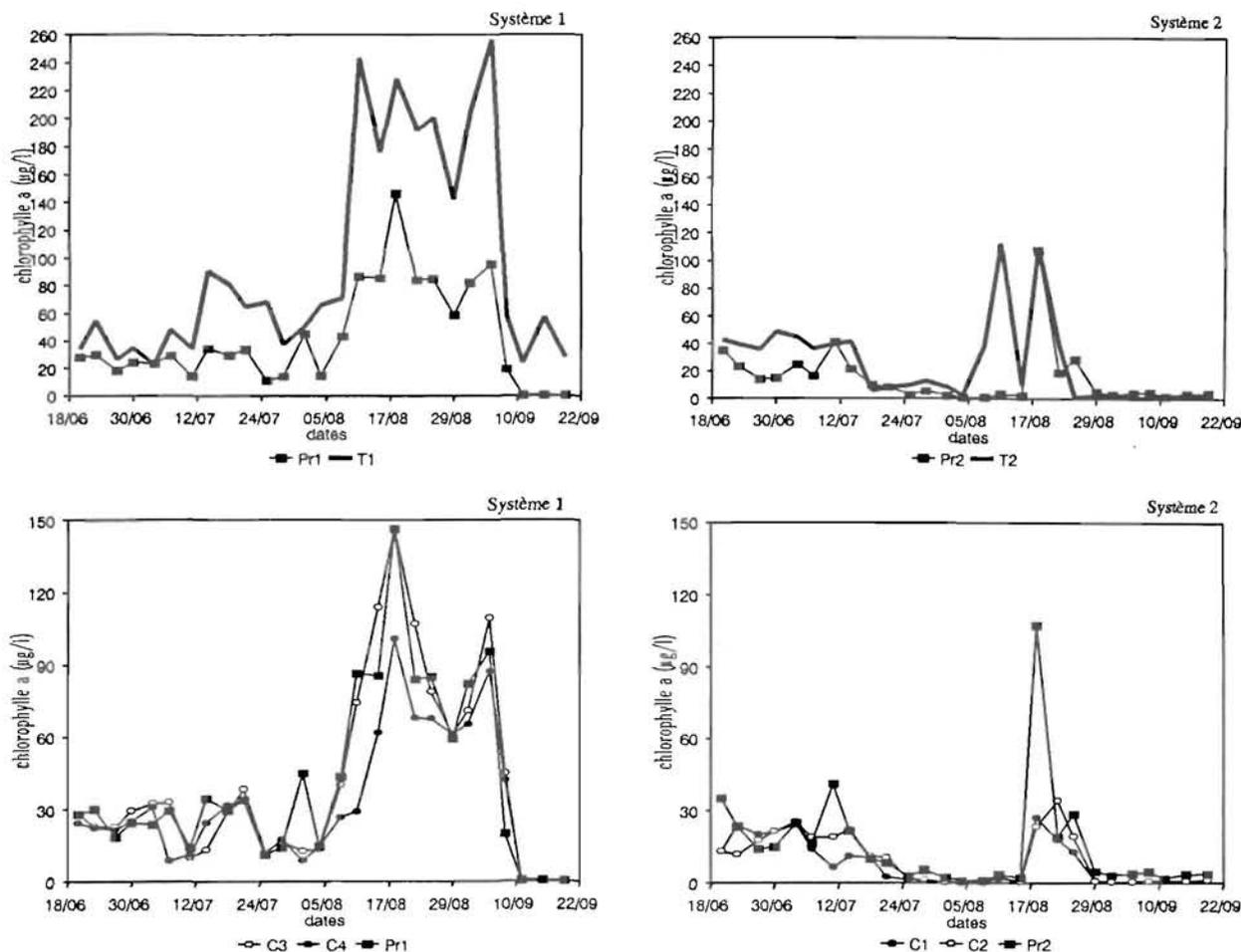


Figure 15 : Concentrations en chlorophylle *a* des systèmes 1 et 2

Le bassin renouvelé à 10% présente des teneurs en chlorophylle *a* nettement supérieures à celles du second bassin. On voit que les concentrations y sont toujours au moins égales à $40 \mu\text{g.l}^{-1}$, avec parfois, notamment pendant une grande partie du mois d'août, des valeurs supérieures à $150 \mu\text{g.l}^{-1}$.

En ce qui concerne le bassin T2, on constate une première phase avec des teneurs de l'ordre de $40 \mu\text{g.l}^{-1}$, ensuite et jusqu'à la fin de l'expérimentation, les concentrations en chlorophylle restent très faibles, sauf pendant un court épisode où elles voient leurs valeurs remonter sans qu'il y ait d'effet sur les bassins situés en aval.

Par contre, on constate une forte diminution de la chlorophylle *a* entre les bassins piscicoles et les prébassins, ceci se retrouve dans les deux systèmes.

Il ne semble pas qu'il y ait une influence des circulaires sur la chlorophylle, puisque l'on constate des valeurs similaires entre eux et les prébassins.

En tout état de cause les concentrations en chlorophylle en sortie du système 1 sont toujours supérieures à celles du système 2, sauf à partir du 10 septembre où toutes les concentrations mesurées se situent autour de zéro.

A.7. L'énergie

A.7.1. Concentrations

La figure 16 nous montre les différentes concentrations d'énergie en sortie de chaque bassin. Etant données les techniques de dosage utilisées, les valeurs obtenues peuvent être surestimées. Mais, la comparaison entre chaque bassin peut-être faite de façon relative, puisque le protocole est resté identique.

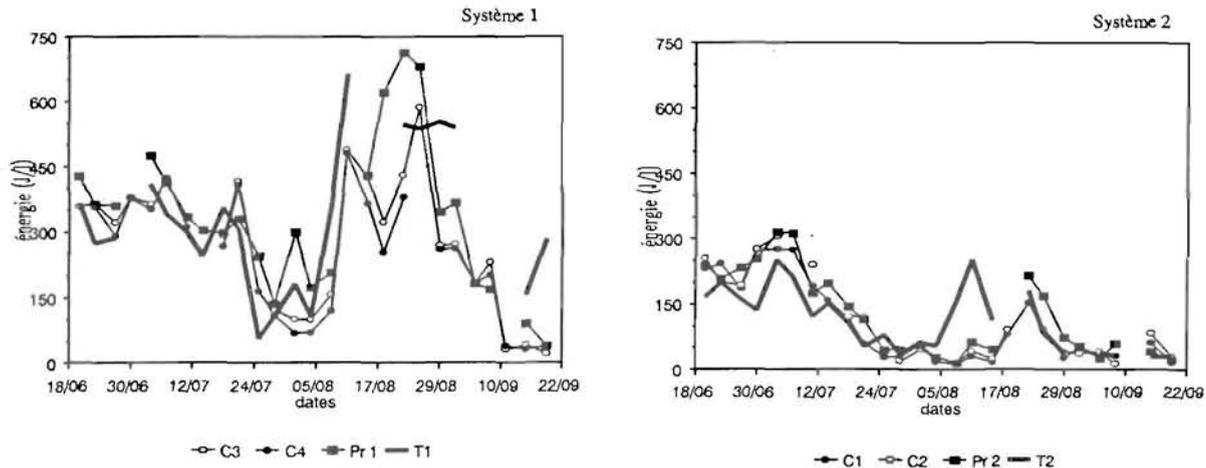


Figure 16 : Evolution de l'énergie dans les systèmes 1 et 2 de l'élevage intégré

On constate que l'évolution, des rejets des circulaires, est similaire à l'eau des prébassins. Cette dernière est identique à celle du bassin en terre. En effet il n'y a pas de différence significative entre les différents niveaux d'élevage.

La figure 16 montre que les niveaux énergétiques sont très variables au cours de l'expérimentation. Dans l'interprétation ultérieure des résultats, il sera bon de rapprocher les observations sur les niveaux d'énergie et sur les teneurs en chlorophylle ; il y a une certaine corrélation entre la concentration en chlorophylle *a* et l'énergie.

Le système 1 présente une énergie disponible toujours supérieure au système 2, même entre le 22/7 et le 4/8 où l'on observe une chute importante. Les deux systèmes se rejoignent, uniquement en fin d'expérience.

A.7.2. Bilans

Les résultats des analyses nous permettent de quantifier les transferts (ou flux) de matière entre chaque bassin. Un flux journalier (F) équivaut à la quantité de matière fournie pendant vingt-quatre heures soit :

$$F = \text{Conc} \cdot D \cdot 24$$

Conc : concentration du composé dans l'eau,

D : débit réel d'alimentation des bassins (litres/heure).

Mais, afin de bien mettre en évidence les différences entre les deux systèmes étudiés en parallèle, des bilans (B_j) sont réalisés à partir des flux journaliers qui correspondent à la différence entre le flux quotidien sortant (F_s) et le flux quotidien entrant (F_e). Le bilan est alors équivalent à :

$$B_j = F_s - F_e = (\text{Conc}_s \cdot V_s) - (\text{Conc}_e \cdot V_e)$$

V : volume circulant.

Selon la valeur de B_j , le système sera épurateur ou exportateur pour l'élément concerné.

Si $B_j < 0$, le flux d'entrée est supérieur au flux de sortie, le système fixe une partie du matériel entrant, il est épurateur,

si $B_j = 0$, l'élevage ne modifie pas la qualité de l'eau,

si $B_j > 0$, la concentration en sortie est supérieure à celle en entrée, le bassin est exportateur de matières.

Afin de montrer l'importance de l'action du système sur l'état de l'élément considéré par rapport au flux entrant, on calcule le taux d'épuration :

$$T_{\text{epur}} = \left(1 - \frac{F_s}{F_e}\right) * 100$$

Les bilans permettent de mieux appréhender l'action des différentes structures sur les niveaux d'énergie (figure 17).

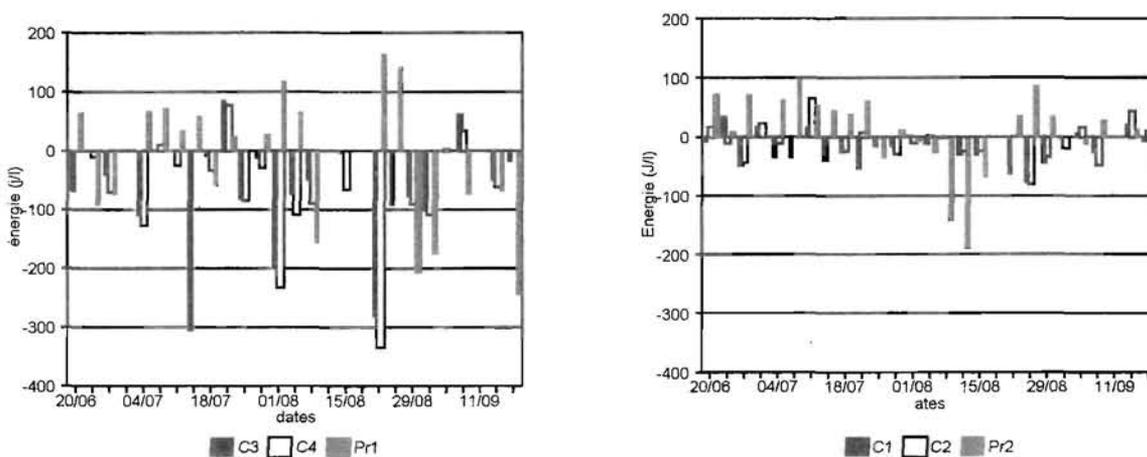


Figure 17 : Bilans énergétiques des bassins et des prébassins

Ils sont calculés, à partir des flux sortant des bassins de terre, pour les prébassins et en sortie des prébassins, pour les circulaires.

Dans le système 1, le prébassin présente des bilans globalement positifs durant les deux premiers tiers de l'expérimentation. Dans le dernier tiers, ils deviennent négatifs. C'est pendant cette période que l'on observe une chute des niveaux d'énergie. Les circulaires présentent des bilans négatifs pratiquement sur toute l'expérimentation.

Dans le système 2, le prébassin présente une production d'énergie, coupée par une période de réduction, entre le 4/8 et le 15/8. Cette période doit être corrélée à celle où une consommation de *chlorophylle a* été observée dans les prébassins.

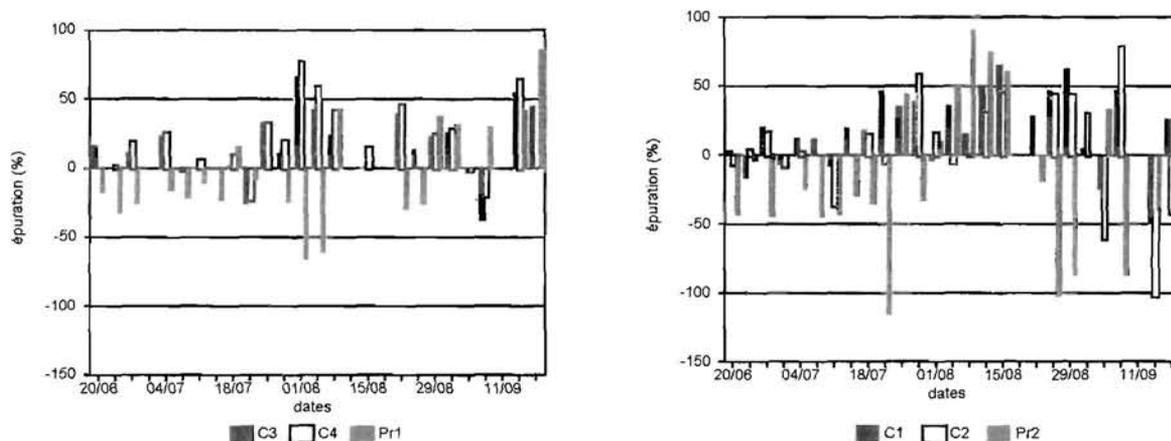


Figure 18 :Action des deux systèmes sur les niveaux d'énergie

La figure 18 représente, l'action des différents secteurs d'élevage sur les niveaux d'énergie. Cette action est représentée par le taux d'épuraton, exprimé en pourcentage. Les valeurs sont positives lorsqu'il y a réduction de l'énergie disponible, elles sont négatives dans le cas contraire. Ceci permet de mettre en relation l'action des différents bassins avec les niveaux d'énergie disponible dans les flux entrants ou avec tout autre paramètre.

A.7.3. Qualité de l'énergie

Comme explicité au paragraphe C.2.4 du chapitre précédent, l'énergie exprimée en J/l correspond à la somme des énergie apportée par les fractions lipidiques, glucidiques et protéiques présentes dans l'eau. Le tableau suivant montre les proportions moyennes de lipides, de glucides et de protéines contenues dans l'eau.

Tableau 12: fractions glucidiques, lipidiques et protéiques du matériel particulaire en sortie de bassin.

	Bassins en terre	Prébassins	Circulaires D1	Circulaires D2
Glucides (%)				
Qualité 1	46.2	54.9	52.9	53.15
Qualité 2	38.75	47.3	44.4	46.8
Lipides (%)				
Qualité 1	10.2	13.5	12.77	13.2
Qualité 2	19.3	20.8	28	24.7
Protéines (%)				
Qualité 1	43.6	31.5	34.34	33.6
Qualité 2	41.9	31.8	27.5	28.5

Pour les deux qualités, ce sont les lipides qui représentent la part la plus faible. La qualité 2 présente une valeur plus élevée que la qualité 1. Cette dernière présentant une teneur en glucides, significativement plus importante.

Au cours de l'élevage on observe, pour les deux systèmes hydrauliques, une réduction de la part protéique au profit des deux autres fractions, mais essentiellement de la phase glucidique.

A.7.4. Le rapport protéines/chloro a et glucides/ chloro a

Certains auteurs ont essayé de déterminer par un rapport la qualité du phytoplancton. Ainsi le rapport entre la concentration en protéines sur celle de la chlorophylle a permet de déterminer la nature du matériel. Il varie entre 23 et 90 (Haure et Baud, 1995), pour des espèces de microalgues vivantes. Le rapport glucide sur chlorophylle a correspond à des cellules vivantes lorsqu'il est compris entre 10 et 57 (Haure et Baud, 1995).

Il est donc intéressant de caractériser la qualité de l'eau entrant dans les bassins circulaires, et donc ses potentialités nutritionnelles, à l'aide de ces rapports (figure 19).

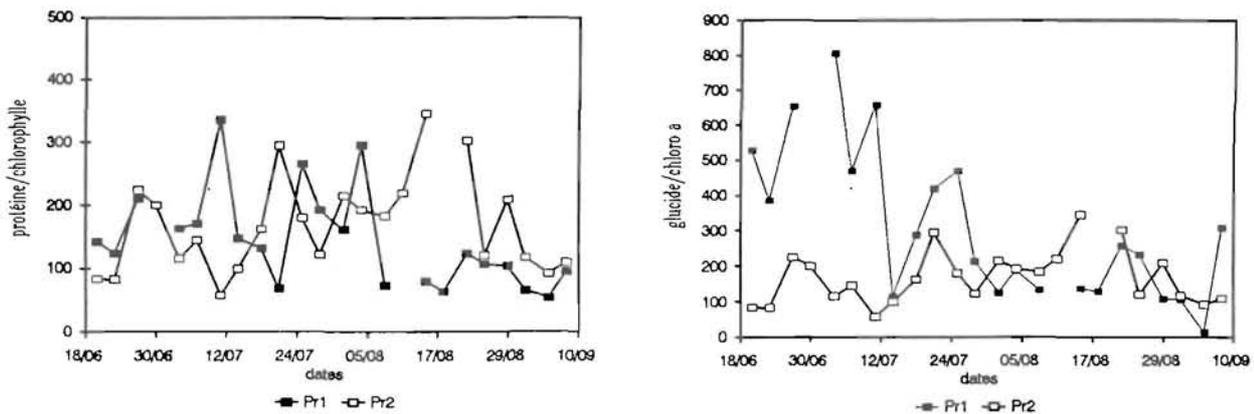


Figure 19: Variation de la qualité du phytoplancton dans les prébassins

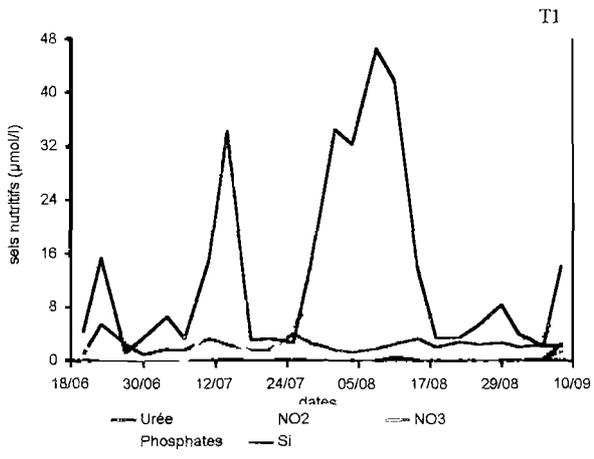
Le rapport basé sur les glucides est supérieur à 57. Associé avec les valeurs du rapport protéine/chloro a, quasiment toujours supérieures à 90, on peut penser que le matériel particulaire est surtout de nature détritique.

A.8. Les sels nutritifs

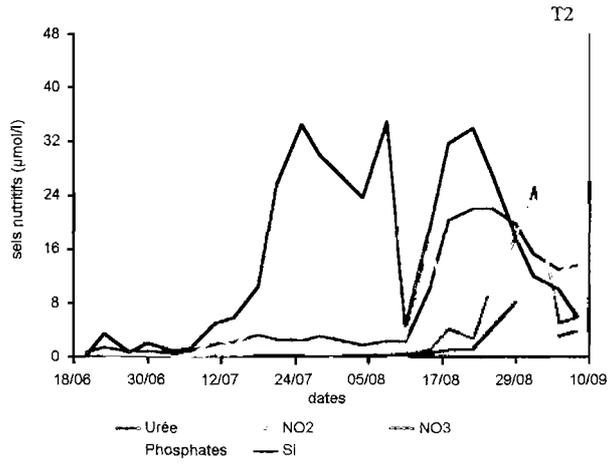
Afin de simplifier la lecture des résultats, tous les sels nutritifs ont été regroupés sur une figure, à l'exception de NH_3 .

Les deux systèmes présentent des évolutions différentes.

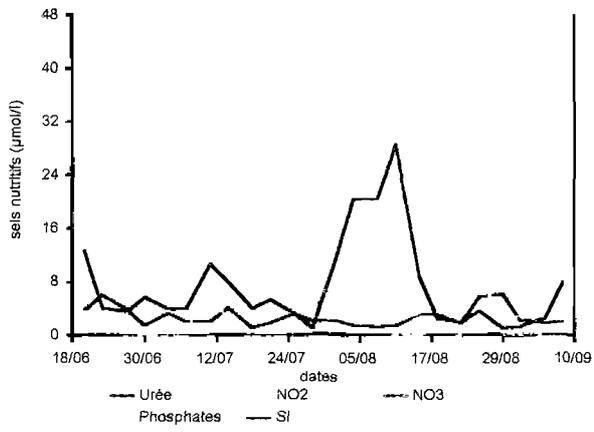
Système 1



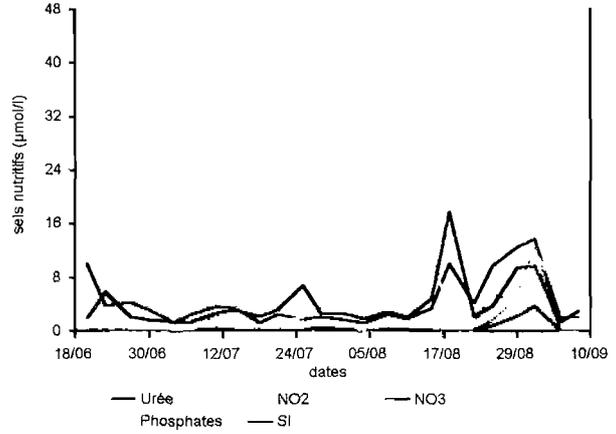
Système 2



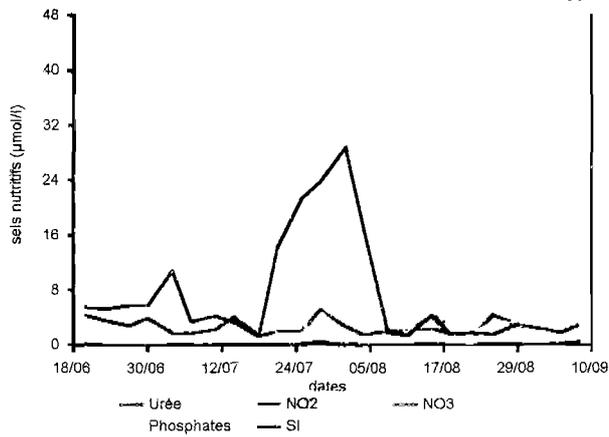
Pr1



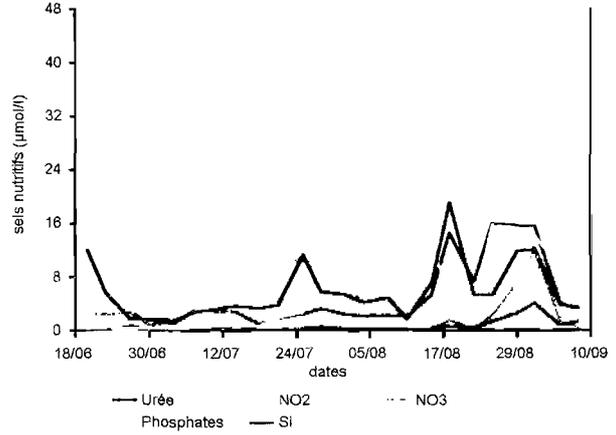
Pr2



C3



C1



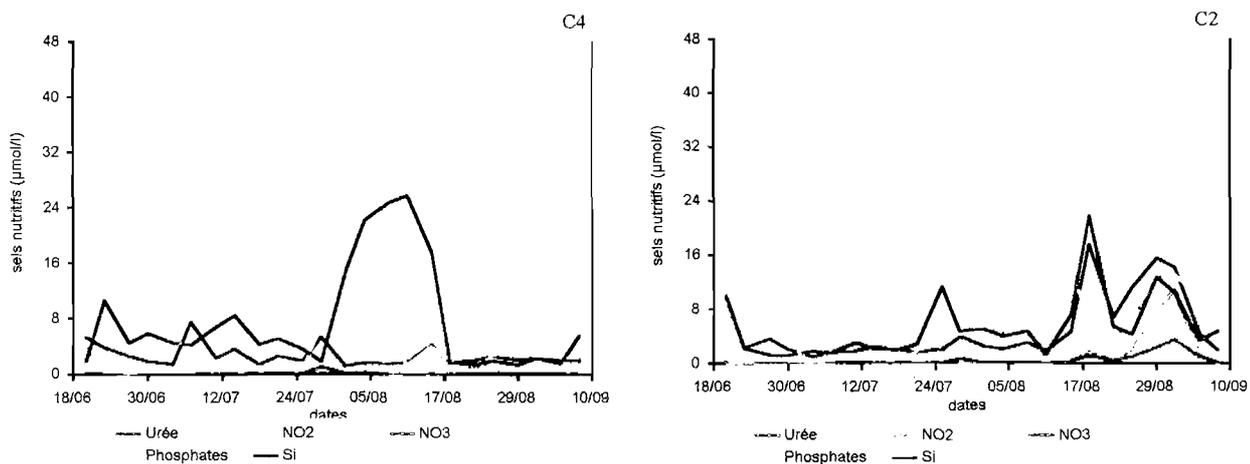


Figure 20 : Evolution des sels nutritifs des deux systèmes

Dans le système 1, hormis le silice, tous les sels nutritifs présentent des concentrations inférieures à 10 μmol par litre. Les niveaux restent faibles et constants tout au long de l'expérimentation. Ces remarques sont valables pour NH_3 . Etant données ces faibles valeurs, il n'y a pas d'action apparente du prébassin et des circulaires. Par contre on peut voir l'action nette du prébassin sur les concentrations en silice.

En ce qui concerne le système 2, les concentrations de départ sont faibles. Mais on peut observer une progression régulière tout au long de l'étude, avec un décalage. D'abord progression de PO_4 , puis de l'urée, NO_3 et enfin NO_2 . Ceci caractérise bien l'évolution de la qualité du milieu d'élevage piscicole. Ces évolutions se retrouvent dans toutes les structures, mais à des niveaux plus faibles. Ici aussi, le prébassin a une action forte sur la silice. La similitude des évolutions de concentrations des sels nutritifs dans les quatre bassins du système 2 est remarquable. Les concentrations en NH_3 atteintes dans le bassin T2 sont très supérieures à celles du bassin T1. L'élévation des concentration dans le système 2 et notamment dans le bassin piscicole est à mettre en relation avec les faibles niveaux de chlorophylle observés à cette période.

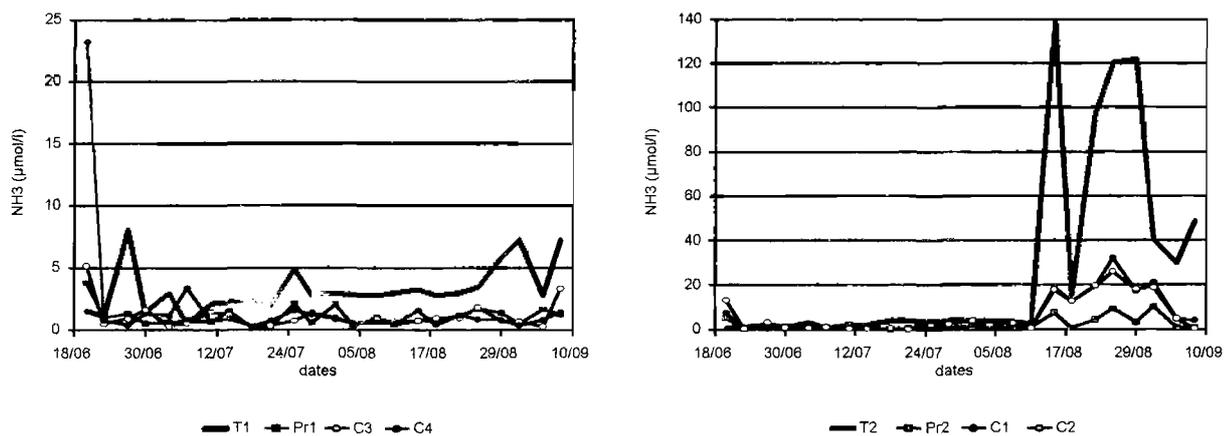


Figure 21 : Evolution de NH_3 dans les deux systèmes

B. Les huîtres

B.1. Répartition des classes de taille

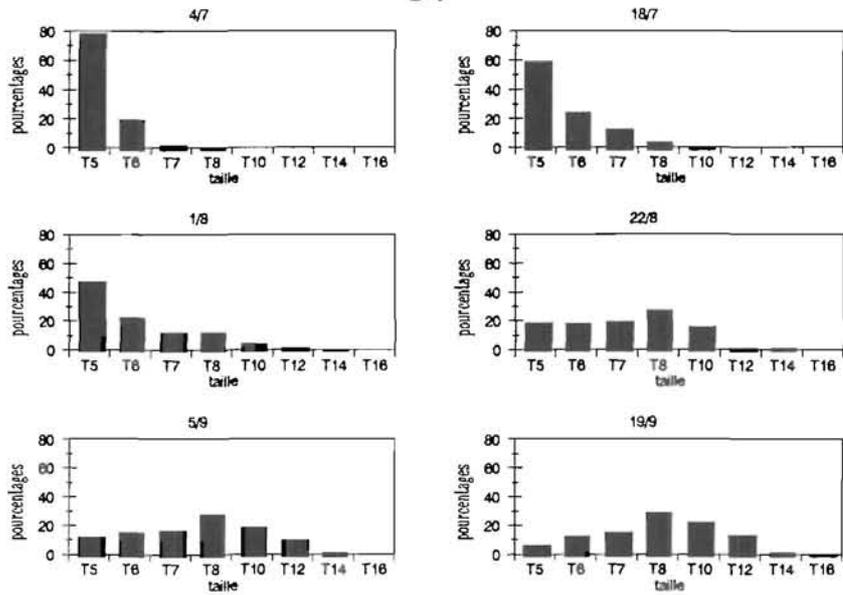
Les huîtres ont été triées sur des tamis dont la perforation est de forme circulaire alors que les tamis normalisés sont à mailles carrées. Le tableau 13 présente la longueur et la largeur moyenne des huîtres retenues par chaque tamis utilisés dans cette expérience.

Tableau 13: Correspondance entre les mailles de tamis et les tailles des huîtres tamisées.

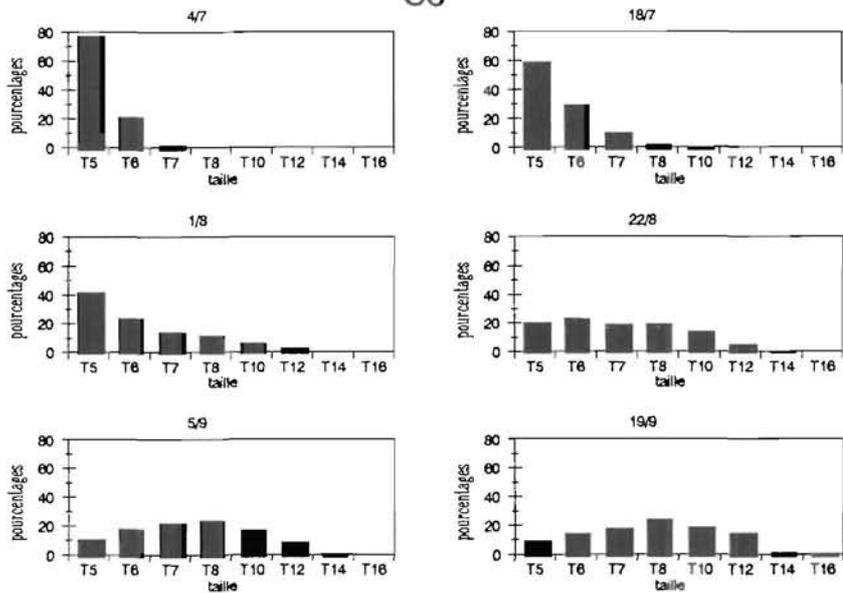
Classes de tailles	Largeur (\pm IC)	Longueur (\pm IC)	Poids (\pm IC)
T6	9.6 (\pm 0.3)	12.1 (\pm 0.5)	0.40 (\pm 0.05)
T7	11.0 (\pm 0.6)	14.2 (\pm 0.6)	0.62 (\pm 0.05)
T8	13.2 (\pm 0.3)	17.8 (\pm 0.7)	1.03 (\pm 0.10)
T10	15.3 (\pm 0.3)	19.6 (\pm 0.6)	1.45 (\pm 0.08)
T12	18 (\pm 0.4)	23.1 (\pm 0.8)	2.15 (\pm 0.12)
T14	21.4 (\pm 0.2)	25.9 (\pm 0.8)	3.00 (\pm 0.17)
T16	23.2 (\pm 0.3)	27.3 (\pm 0.9)	3.40 (\pm 0.24)

IC : Intervalle de confiance de la moyenne (95%)

C4



C3



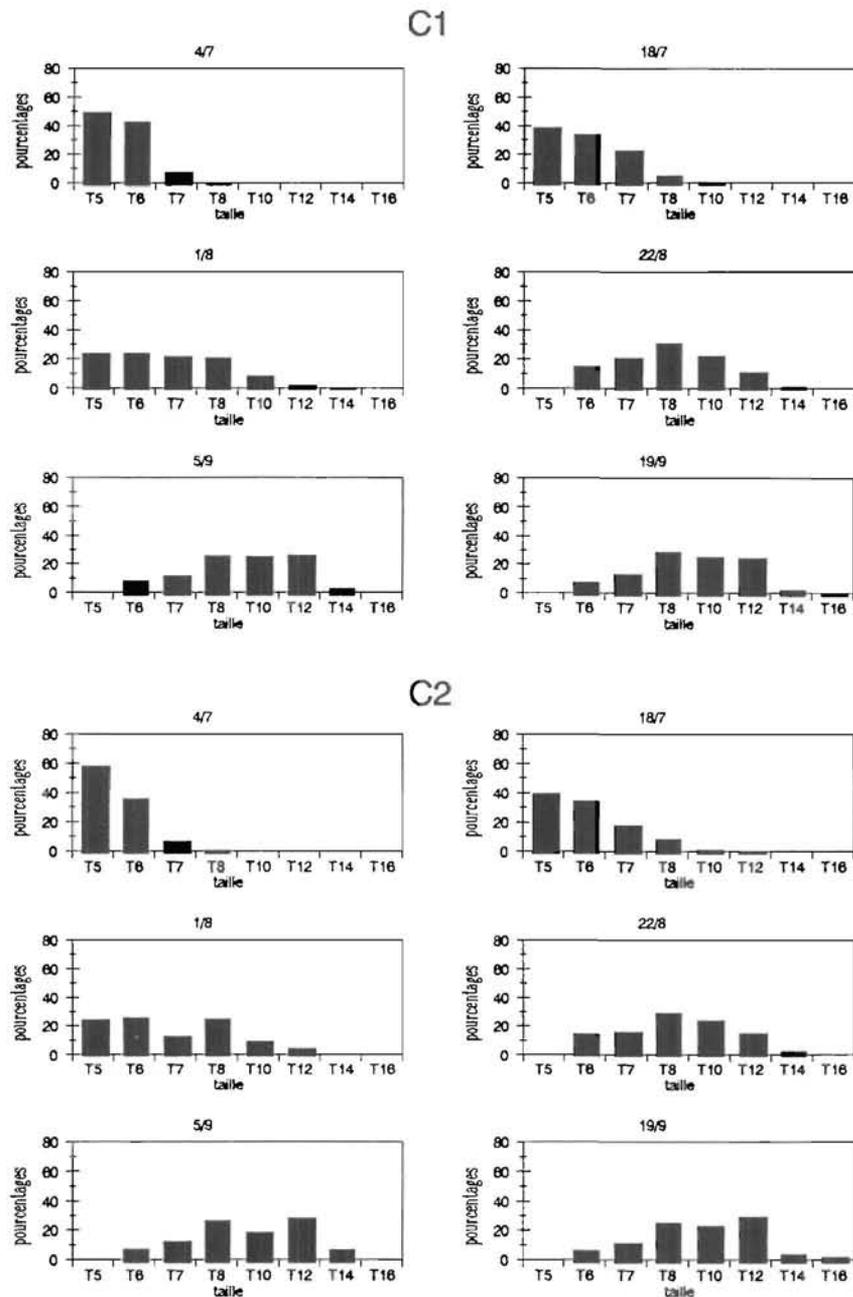


Figure 22 : Evolution des populations des bassins C1, C2, C3 et C4

En fin d'expérimentation, les bassins de la qualité 1 (C3 et C4) présentent des histogrammes plus étalés, de la classe T5 à T16. La classe T8 est majoritaire (23% en C3, 28% en C4). Les grandes tailles (T14, T16) ont des effectifs réduits (0.4 à 1.5%).

Dans la qualité 2, les populations sont légèrement plus reserrées (T6 à T16). Dans ce cas, ce sont trois classes qui dominent, T8, T10 et T12. Elles représentent respectivement, 76.3 et 77.5 % des effectifs de C2 et C1.

La qualité 1 présente une « queue de lot » qui n'apparaît pas pour la qualité 2, du fait du délestage pratiqué au début du mois d'août.

B.2. La mortalité

Lors du protocole initiale, il était prévu de dédoubler les populations en cours d'expérimentation. Or la croissance n'a pas été conforme aux prévisions, un simple délestage a été effectué. La population a été modifiée le 1/8 par une suppression de 3000 individus pour la densité D2 et de 1500 pour la densité D1. Dans ce cas, l'expression de la mortalité peut être biaisée, à partir de cette date. Dans le tableau suivant sont donc repris les taux de mortalité cumulée pour chaque période.

Tableau 14 : Mortalité des bassins circulaires

Qualité	Bassins	Mortalité cumulée (%)	
		Avant délestage	Après délestage
1	D1 (C3)	24.8	33.8
	D2 (C4)	21.6	40.0
2	D1 (C2)	22.4	16.3
	D2 (C1)	22.5	15.0

L'individualisation des deux périodes permet de montrer que la mortalité est différente entre les deux phases. Au cours de la première période on voit que les mortalités sont identiques, quelle que soit la qualité ou la densité considérée. Par la suite une différence apparaît puisque pour la qualité 1, il y a augmentation du taux de mortalité alors qu'elle diminue pour la seconde qualité. La mortalité est au moins deux fois supérieure pour la qualité 1.

L'estimation de la mortalité sur toute la période a été faite en tenant compte de la population éliminée et de la mortalité que cette dernière aurait subi (figure 23).

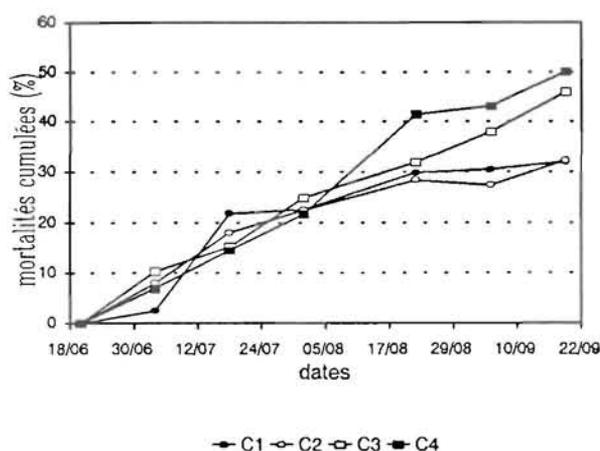


Figure 23 : Mortalité corrigée dans les bassins C1, C2, C3 et C4

En fait, les différences entre les mortalités observées n'apparaissent réellement qu'à compter du 22/08, date à partir de laquelle, les mortalités en qualité 1 se stabilisent. On obtient finalement une mortalité de 46% et de 50% respectivement pour les bassins C3 et C4. La mortalité finale est alors de l'ordre de 32% pour les deux bassins de la qualité 2, soit 30 et 36% de mortalité en moins.

B.3. Le poids individuel

Le poids initial était de 0.038 g pour tous les lots, la longueur étant de 0.63 cm.

Tableau 15 : Poids et longueurs moyens finaux des huîtres

Qualité	Bassins	Poids final (g)	Longueur finale (cm)
1	C3	1.17 (0.16)	1.8 (0.10)
	C4	1.24 (0.13)	1.8 (0.08)
2	C1	1.31 (0.14)	1.9 (0.10)
	C2	1.60 (0.19)	2.1 (0.07)

Le bassin C2 est celui qui a acquis un poids moyen maximal et se distingue nettement des trois autres. Le bassin C1 a présenté un bilan de croissance proche des bassins de la qualité 1. Les huîtres des circulaires de la qualité 1 présentent des croissances similaires.

Dans la qualité 2, le poids des huîtres de la densité D1 devient significativement différent à D2 le 22/8. Cette différence s'accroît jusqu'à la fin de l'élevage.

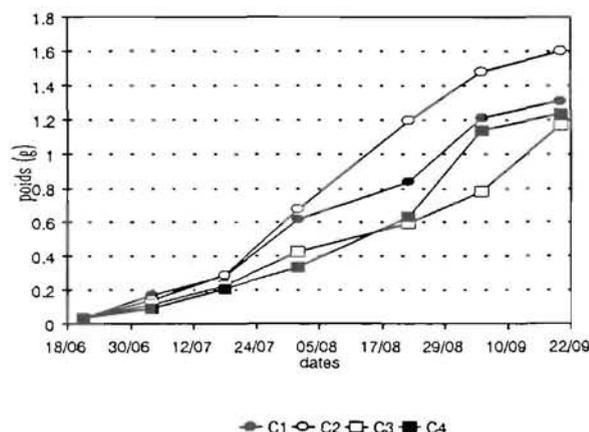


Figure 24 : Evolution du poids moyen des huîtres dans les bassins C1, C2, C3 et C4

B.4. L'indice de croissance ou G30

L'évolution du G30 dans le temps n'est pas constante. Une baisse régulière de l'indice au cours de l'élevage est observée.

La limite (0.48) indiquée sur la figure 25 correspond à la croissance que Baud (1988) a observée dans une nurserie intensive à 20°C. Nous observons que les huîtres de la qualité 2 ont un indice supérieur à cette valeur jusqu'au 15/8. Les huîtres de la qualité 1 ont un indice inférieur à celui-ci durant une grande partie de la manipulation. Le G30 observé pour chaque bassin passe de 0.9, 0.7, 0.6 et 0.5 à 0, 0.1, 0.4 et 0.1 pour respectivement C1, C2, C3 et C4.

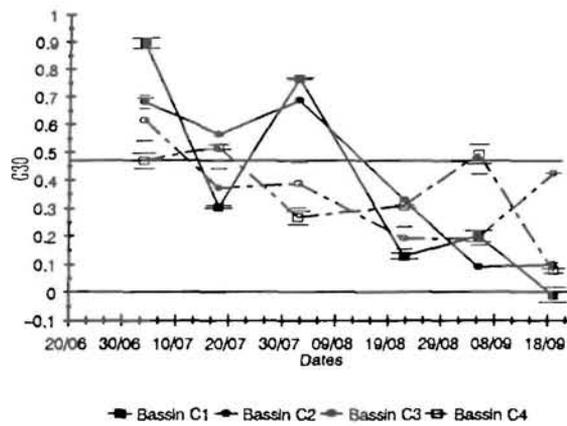


Figure 25 : Indice de croissance instantanée des bassins selon la qualité de l'eau

B.5. L'indice de condition

La méthode présente une surestimation de la matière organique car celle de la coquille est comprise dans l'estimation du poids de la chair. Elle peut atteindre 39 à 52 % selon la taille de l'huître (Walne *et al.*, 1976).

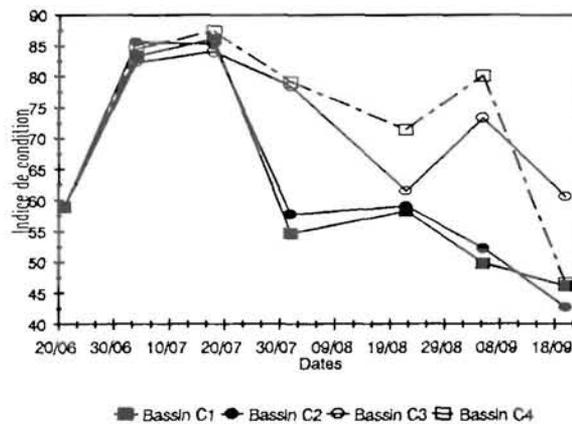


Figure 26 : Evolution de l'indice de condition

On observe une évolution de l'IC (figure 26) qui se divise en deux parties. Une étape commune aux deux eaux, jusqu'au 18/07 qui atteint un indice entre 84 et 87. L'indice baisse par la suite de façon plus ou moins constante jusqu'à la fin de l'expérimentation. Dans ce cas apparaît une différence entre les deux qualités.

Les huîtres se retrouvent en fin d'expérimentation à 60.5 pour C3, les trois autres élevages étant très proches, 46.5 pour C4, 46.12 pour C1 et 42.64 pour C2.

B.6. La biomasse totale

L'évolution de l'ensemble des paramètres décrits précédemment, notamment la mortalité et le poids moyen, peut être illustré par l'évolution de la biomasse. Dès le 1/08, on constate un rapport de trois entre la plus faible et la plus forte densité. On constate que la densité 2 de la qualité 1 et la densité 1 de la qualité 2 présentent des biomasses relativement proches.

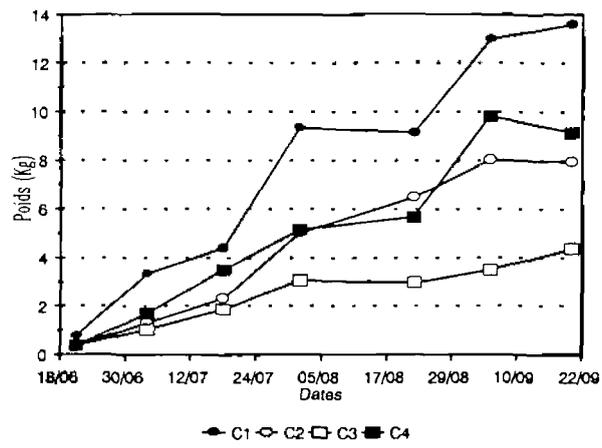


Figure 27 : Evolution de la biomasse totale de chaque bassin durant l'expérimentation

A. Performance des huîtres

Le tableau 16 regroupe les résultats les plus marquants obtenus sur le prégrossissement, en fonction des qualités d'eau.

Tableau 16: Performances de chaque élevage

	Densité 10 000/bassin		Densité 20 000/bassin	
	Système 1	Système 2	Système 1	Système 2
Mortalité cumulée	45.9	32.2	50.1	32
Poids moyen final	1.17 (0.16)	1.6 (0.19)	1.24 (0.13)	1.31 (0.14)
Commercialisables (%)	35.1	51	38.8	57.4

Le prégrossissement le plus performant est celui de la qualité 2. Il se rapproche de ce que l'on peut observer dans un élevage traditionnel. Le poids moyen des huîtres est plus élevé que la normale, ainsi que la mortalité. La différence de croissance s'est traduit par une proportion d'huîtres commercialisables dans la qualité 2 significativement plus importante que pour la qualité 1.

La qualité 1 entraîne un taux de mortalité plus élevé que la qualité 2 et une croissance au mieux égale si ce n'est inférieure. Or, l'étude de l'évolution des concentrations en chlorophylle ainsi que des niveaux d'énergie avait montré, d'une part, que ceux-ci étaient corrélés, le phytoplancton étant une source importante d'énergie (pour les huîtres en prégrossissement en l'occurrence) et, d'autre part, que la qualité 1 disposait de plus de phytoplancton et donc d'énergie. Ceci nous permettait d'attendre de meilleurs résultats pour les huîtres élevées dans l'eau de qualité 1. Deux hypothèses peuvent expliquer ce résultat inverse.

La première est basée sur la qualité du phytoplancton. En effet, la taille des particules joue un rôle important sur l'efficacité de filtration des huîtres et il est possible que le phytoplancton de la qualité 1 soit formé de cellules de plus petites tailles. L'énergie disponible, en plus faible quantité dans la qualité 2, est finalement plus facilement utilisable que dans la qualité 1. Cette différence de population phytoplanctonique peut être mise en évidence par la comparaison de la composition en lipides, glucides et protéines des deux types d'eau. La proportion de lipides est plus importante dans la qualité 2 que dans la qualité 1 contenant essentiellement des glucides. Selon Laing (1993), une eau qui présente des glucides permet à l'huître la réalisation de réserves d'énergie.

La seconde hypothèse pouvant expliquer la moindre performance des huîtres de la qualité 1, est basée sur les concentrations en MES, très supérieures dans cette qualité, surtout après le 1^{er} août. Or, lorsque les MES sont trop concentrées, il y a encombrement des filtres et des palpes labiaux. Ceci se répercute sur la croissance. Il y a un coût énergétique supplémentaire. Nous avons vu que plus le milieu est concentré, plus les particules fixées par les huîtres sont grosses. De plus, une partie des MES est constituée par le phytoplancton qui apporte la majeure partie de l'énergie. Mais cette fraction est associée à d'autres comme le matériel détritique, les bactéries et la matière minérale.

L'huître doit donc sélectionner la fraction organique parmi les autres. Enfin, l'analyse des rapports glucides/chlorophylle et protéines/chlorophylle a montré que le matériel particulaire des deux qualités est de type détritique. Ces différents éléments font que l'huître va dépenser de l'énergie par la formation de pseudo-fèces, lors du tri.

Les bassins C1 et C2 ont une meilleure croissance car l'eau est moins concentrée, l'alimentation des huîtres est alors plus efficace et moins coûteuse en énergie. Cela se traduit également par un taux de fèces plus faible. Par contre, la qualité 2 semble présenter une concentration en phytoplancton trop faible pour la densité D2. Dans ce cas, on se retrouve avec une croissance proche de celle observée pour la qualité 1. Mais les conditions, liées à une concentration plus faible en MES, sont moins stressantes pour les huîtres, le taux de mortalité est donc similaire à la densité 1 de cette qualité et supérieur à ce qui est observé pour les deux bassins de la qualité 1.

La densité D1 de la qualité 2 a donné le meilleur résultat. Ceci est dû, entre autres, aux choix d'utilisation de l'énergie par l'huître durant son développement, en fonction des conditions du milieu. Lorsque l'énergie est facilement accessible, l'huître va engraisser et croître rapidement quelle que soit la qualité des rejets. Quand le milieu devient limitant l'huître va s'adapter, ainsi, dans un milieu défavorable, par excès de MES (telle que la qualité 1), les huîtres vont obtenir un meilleur indice de condition que celles en milieu plus faiblement concentré, ce qui est le cas de la qualité 2. Dans la qualité 2, l'énergie non accumulée sous forme de réserves est utilisée pour la croissance. Dans ce cas, la densité D1 correspond mieux à la charge optimale du bassin, dans la mesure où la biomasse n'est pas suffisante pour épuiser l'énergie disponible.

B. L'épuration

Pour l'analyse de l'épuration réalisée par les deux systèmes, les éléments pris en compte sont, la matière en suspension et les substances solubles ou les sels nutritifs. Lors de leurs passages dans chaque structure, les caractéristiques ou les teneurs de ces paramètres sont modifiées.

En ce qui concerne, les MES, quel que soit le système considéré, il y a peu d'action visible. Malgré tout, on note des augmentations ponctuelles des MES entre les bassins en terre et les prébassins, essentiellement pour le système 1. Ensuite il n'y a aucune modification entre les prébassins et les circulaires. Dans le système 1, le prébassin joue un rôle non négligeable dans la réduction du matériel particulaire. Il est le siège d'une diminution des MMS. Ceci est dû à la sédimentation des particules minérales. Le fonctionnement de l'aérateur n'a pas été suffisant pour maintenir ce matériel en suspension. Cette action est moins forte dans le système 2 étant données les concentrations de départ. En terme de bilan, il est toutefois intéressant de constater que la fraction minérale des matières en suspension est réduite et donc la quantité rejetée dans le milieu extérieur est ainsi limitée.

Les fortes augmentations ponctuelles de MES sont essentiellement liées à des augmentations très sensibles des matières organiques dans les prébassins, et qui ne sont pas éliminées au niveau des circulaires. Pour cette fraction organique on peut considérer que ce mode de gestion hydraulique n'augmente pas les quantités rejetées par rapport à ce qui est évacué des bassins piscicoles. Il aura même tendance à les diminuer, hormis les augmentations ponctuelles.

Le bassin de stockage montre une forte baisse de chlorophylle. Cette diminution provient sans doute de l'action de filtreurs comme les coques qui empêchent l'installation d'une efflorescence dans le prébassin. Encore une fois, ceci est surtout vrai pour le système 1 qui présente des concentrations

bien supérieures au système 2. En ce qui concerne, les circulaires, il est difficile de mettre en évidence une diminution de la chlorophylle par rapport aux rejets des prébassins. Aux fortes concentrations, on peut remarquer une différence entre les circulaires C3 et C4, ce dernier présentant une concentration plus faible que le C3 en sortie. Il semble donc qu'il y ait une consommation supérieure liée à la densité d'huîtres en prégrossissement. Pour le système 2, étant données les concentrations initiales, il semble que les huîtres épuisent le milieu.

En terme de bilan, comme pour les MES, le schéma d'élevages associés mis en oeuvre dans ce cas semble induire sur une diminution globale de la chlorophylle par rapport aux concentrations en sortie de bassins piscicoles. Cette tendance étant d'autant plus forte que les concentrations de départ sont élevées.

En ce qui concerne les sels nutritifs, les deux systèmes ne présentent pas les mêmes profils. Pour le système 1, les concentrations en NH_3 ne sont pratiquement jamais supérieures à $5 \mu\text{moles}$ par litre. On observe une chute significative entre le bassin piscicole et le prébassin, mais il n'y a pas d'évolution nette au niveau des circulaires. Les autres sels nutritifs suivent la même évolution. Les concentrations ne sont jamais supérieures à $10 \mu\text{moles}$ par litres, à l'exception de la silice.

Dans le système 2, on observe deux phases. La première est identique à celle du système 1. Puis, à partir du 10 août, il y a une brusque augmentation au niveau du bassin de terre pour tous les sels nutritifs. Mais, la répercussion au niveau du prébassin est réduite, les concentrations y présentent des évolutions plus faibles. On constate que l'augmentation de concentration pour les phosphates démarre plus précocement. En fait cette augmentation est la résultante de l'accroissement de biomasse dans l'élevage piscicole. Ceci est dû à un apport d'aliment, source de phosphates, de plus en plus important. Ceci induit un accroissement des rejets des poissons d'où augmentations successives de l'urée, de NH_3 , des nitrites et enfin des nitrates. Ces augmentations sont d'autant plus importantes que dans le même temps ces nutriments ne sont utilisés pour la production de phytoplancton. Encore une fois cette augmentation générale est atténuée par le passage dans le prébassin. Un cas particulier est à signaler, pour les deux systèmes, celui de la silice qui présente des concentrations supérieures et dont les variations ne semblent pas liées aux fluctuations des populations phytoplanctoniques. Comme pour les autres, le prébassin agit sur les concentrations en silice.

Une augmentation minime de certains sels nutritifs est observée au niveau des circulaires. Ces modifications sont à relier à l'excrétion des huîtres. Ceci est surtout observé sur les phosphates et l'ammoniaque car ces derniers sont excrétés par l'huître en quantités non négligeables (Vincendeau, 1987). L'augmentation des phosphates a été telle que l'action du prébassin 2 a été annulée.

La structure expérimentale utilisée a permis de faire du prégrossissement et de mettre en évidence les différences des rejets et les spécificités des deux systèmes hydrauliques. Mais certains défauts, non souhaitables en production, sont à signaler.

Le prébassin suit l'évolution générale des rejets provenant de l'élevage piscicole. Il joue un rôle important dans la gestion des rejets. Son action se fait surtout sur des modifications qualitatives. Il permet d'augmenter les capacités nutritives de l'eau suffisantes pour une biomasse importante en jouant sur différents facteurs (telle que la réduction de la fraction minérale des MES). Le prébassin a joué aussi un rôle tampon lors de fortes productions d'ammoniaque dans les bassins en terre, surtout le T2, ceci est dû au temps de passage, 2 à 3 jours, dans le prébassin. Mais, il a été difficile d'enrayer la prolifération des mollusques filtreurs dans le prébassin, ce qui a empêché le maintien d'un bloom phytoplanctonique. L'entretien régulier permet de limiter ce phénomène. Les efflorescences se sont maintenues la journée tant que les rejets apportaient du phytoplancton. La structure n'a pu permettre

le maintien d'un bloom. L'utilisation d'un bassin plus important, au moins de 150 à 200 m³ pour un débit de 0.8 m³/heure, permettrait de développer une efflorescence et augmenter la capacité de purification en cas de fortes teneurs en sels nutritifs. Le bassin intermédiaire jouerait, ainsi, pleinement son rôle tampon, sans réduire les qualités nutritives de l'eau.

Dans les circulaires, l'utilisation d'une oxygénation s'est avérée utile. Il faut ajouter que cette dernière a mis en suspension le matériel particulaire. Ce phénomène a pu jouer, à fortes concentrations, sur la croissance dans C3 et C4. Les bassins utilisés dans le cadre de notre expérimentation, ne seront pas ceux utilisés en production. Des claires traditionnelles, où la décantation est améliorée, doivent supprimer ces phénomènes.

VI. Conclusion

L'objectif de notre expérimentation était d'obtenir une valorisation des rejets au cours de leur épuration.

L'élevage intégré bars/huîtres, basé sur les rejets provenant de deux gestions piscicoles différentes (10 et 20% de renouvellement), a mis en évidence l'action de chaque rejet sur les capacités de prégrossissement et d'épuration de la structure. Le rejet de la qualité 1 se caractérise par sa concentration élevée en MES, chlorophylle *a*, en énergie et sa faible concentration en sels nutritifs. La qualité 2 à l'inverse de la qualité 1, a une concentration plus faible en matériel particulaire et légèrement plus forte en éléments solubles. La qualité nutritive du matériel particulaire de l'eau issue du bassin renouvelé à 20% est supérieure à celle du bassin renouvelé à 10%. Etant données les différences de caractéristiques, il semblait logique d'attendre de meilleures performances dans le système 1. En fait il semble que la nature du phytoplancton soit très importante dans les performances des élevages. La taille des microalgues ayant été mieux adaptée dans le système 2, l'énergie était plus disponible.

Le prégrossissement du système 2 se rapproche des conditions d'élevage traditionnelles en nurseries. Seule la mortalité est plus élevée, liée sans doute aux fortes températures observées au cours de l'expérimentation. La densité D1 a obtenu de meilleurs résultats que la densité D2, ce qui peut laisser supposer que, malgré tout, les quantités apportées aux huîtres n'étaient pas suffisantes, hypothèse confirmée par les concentrations en chlorophylle en sortie de circulaire.

Les capacités d'épuration du système 2 en sels nutritifs sont bonnes, sauf pour les phosphates. Cette action est limitée du fait des concentrations relativement faibles mises en jeu.

La qualité 1 n'est pas adaptée à notre schéma de production. Ceci est dû à sa concentration en MES beaucoup plus élevée que celle de la qualité 2, qui s'ajoute à la moindre qualité du matériel particulaire qui est surtout détritique.

Il faut ajouter que ces systèmes sont dépendants de l'action du prébassin qui s'est avéré intéressant surtout pour l'élevage alimenté avec les rejets du bassin piscicole renouvelé à 20 %. Dans le cadre de la manipulation, la gestion des élevages de poisson n'était pas la même qu'en production. Les disponibilités en eau étaient relativement limitées, dans la mesure où il n'était pas toujours possible de récupérer tous les rejets. De plus, la prolifération des macroalgues est rare chez les professionnels tandis que le bassin T2 a été fortement soumis à ce problème, du fait des contraintes expérimentales.

Ces résultats comparés avec la manipulation de 1994, confirment, même s'ils sont moins nets, l'épuration de l'eau par de tels systèmes. C'est au niveau des MES que les résultats de cette année sont moins évidents que l'année dernière. La quantité de chlorophylle épurée est très variable dans notre expérimentation, alors qu'elle était plus stable dans l'expérience précédente.

Les performances d'élevage sont nettement plus satisfaisantes qu'en 1994. Un taux de mortalité compris entre 37% et 75%, associé à des croissances très en dessous de ce qui est observé couramment, ne permettait pas d'envisager un développement économique pour le schéma : élevage de bars-grossissement d'huîtres en claires. Le prégrossissement (dans le système 2) réalisé cette année, a donné des résultats proches de ce qui peut être obtenu classiquement dans les nurseries

intensives. Moyennant certaines améliorations, il semble que l'on puisse envisager à moyen terme, pour ce type de structure, une viabilité économique.

L'intégration des deux activités doit se faire par rapport à l'activité principale, ici l'activité piscicole. L'activité de prégrossissement doit rester secondaire dans l'entreprise, les charges fixes induites doivent rester minimales. Elle doit donc présenter un coût minimal dans son installation et son fonctionnement. Le prégrossissement va s'intégrer dans une pisciculture, avec un aménagement minimum de la structure piscicole initiale. Cette opération doit être associée à une organisation du prégrossissement parmi les contraintes de l'activité principale. Cette intégration provoque des tâches supplémentaires dans le travail.

L'intégration d'une telle structure dans l'activité piscicole est spécifique à chaque site. Seuls des éléments généraux peuvent être donnés ici.

L'alimentation hydraulique de la structure de prégrossissement doit pouvoir se faire par gravité pour limiter le coût de l'énergie. Les sorties des bassins d'élevage piscicole doivent être reliées à un canal commun qui doit se déverser dans le bassin de stockage en terre aval. Les bassins de prégrossissement doivent être reliés directement au bassin de stockage. Celui-ci doit être suffisamment grand pour jouer son rôle de tampon. En parallèle, la réalisation d'une alimentation en eau de mer de la structure de prégrossissement est conseillée. Elle permet de gérer les rejets et contrôler leurs concentrations.

L'exemple d'une entreprise piscicole en marais, la Société Epinerine d'Aquaculture (SEA) située dans l'île de Noirmoutier, peut nous servir de modèle de base. Elle a été créée, pour du prégrossissement et du grossissement de bars et produit de 10 à 12 tonnes.

La SEA, où l'expérience de 1994 a eu lieu, présente l'organisation décrite plus haut. Par contre tout apport d'eau neuve passe par le bassin de stockage. Il est alors difficile de maîtriser la qualité de l'eau alimentant les bassins (piscicoles et claires à huîtres).

L'organisation est basée, pour une part importante, sur l'intégration des emplois du temps du personnel sur les deux activités.

Le cycle de production est variable selon le type d'élevage que l'on fait. Il durera entre trois ans, s'il démarre d'alevins (5 à 7g), et 1 an s'il débute avec des poissons de 130 grammes.

La récapitulation des grandes tâches de la SEA, (tableau 17) permet d'évaluer, le temps disponible pour le prégrossissement des huîtres.

Tableau 17 : Période d'activité et occupation de l'emploi du temps dans une entreprise piscicole

Année de production	Mois	Opérations	Temps d'occupation
Année 1	avril	Mise en bassin des alevins	Une semaine
		Nourrissage progressif	Variable, selon météo
Années 1 à 3	mars	Début de nourrissage	Variable, selon la météo
	à partir de mai	Nourrissage en routine	2/jour (20 minutes/bassin)
	juin à	Pêche	½ journée par 500 kg à 2. Stockage des invendus. Dépend de la demande.
	septembre	Emballage	100kg/h
	octobre à janvier	Pêche de poissons dans cage (200/kg/semaine)	½ semaine, commandes non globalisées

Dans certaines entreprises un tri des poissons est fait au début de l'hiver. Exceptionnellement, au cours du prégrossissement, des dédoublements peuvent être effectués pour diminuer la charge des bassins. Cette manipulation prend une journée à deux personnes pour chaque bassin.

Un minimum de deux personnes est indispensable pour conduire l'élevage. La saison commence au mois d'avril avec la mise en place des alevins. En mai, le nourrissage entre en routine et le personnel est de moins en moins disponible, l'activité piscicole prend de l'ampleur en se rapprochant de l'été. Les pêches commencent à partir du mois de juin et se rajoutent au temps de nourrissage.

Le prégrossissement des huîtres se fait sur trois mois minimum dans notre cas durant la belle saison. La préparation du prégrossissement devrait commencer au début du mois de mars et l'élevage débiter à partir de la fin mars-début avril juste avant le commencement de l'activité piscicole.

La préparation consiste à installer les poches et les tables dans le marais. Elle se fait en alternance avec la faible activité piscicole du mois de mars, avant l'arrivée des alevins ou des petits bars. Ensuite, l'entretien hebdomadaire des huîtres est fait pendant les moments de faible activité piscicole. Il consiste à tourner, secouer et brosser les poches afin d'éliminer le développement des macroalgues pour éviter l'asphyxie des huîtres. Un tamisage régulier doit être fait, tous les 15 jours jusqu'à T6-T8, une fois par mois en suite. Les premiers tamisages sont importants car ils permettent de séparer rapidement les lots. La durée du tamisage doit être réduite car il faut éviter une période d'assez trop longue.

Débiter en mars, va permettre de finir l'élevage durant le mois de juin ou juillet selon la croissance des huîtres. On évite ainsi les fortes températures et l'interférence avec le travail piscicole qui est important lors de ces périodes (nourrissage, pêche, commercialisation). Si l'activité principale le permet, un second prégrossissement peut débiter au mois de septembre pour s'achever au mois d'octobre. De plus, à l'occasion des tamisages, la vente des huîtres de bonnes tailles peut avoir lieu. Le travail au cours de l'élevage se retrouve alors réduit. En tout état de cause, une souplesse d'organisation de l'activité secondaire est à rechercher, ce que les huîtres permettent en principe. Néanmoins une régularité minimale est à observer si l'on veut produire des huîtres de façon rentable et de bonne qualité. Une surveillance régulière est toutefois nécessaire.

La taille de la structure de prégrossissement doit être dimensionnée en fonction du personnel présent et le temps que laisse l'activité piscicole, et non pas en fonction du volume des rejets disponibles.

Il est possible de pratiquer un élevage intégré sans augmentation de personnel. L'exemple montré concerne une petite pisciculture, son organisation de travail permet un élevage intégré. En effet, l'effectif minimal de deux personnes entraîne une sous activité occasionnelle.

L'expérimentation a montré qu'un élevage intégré basé sur le prégrossissement d'huîtres est possible. Mais comme la structure est assez spécifique, son application doit être étudiée en milieu professionnel. Les bassins utilisés ne sont pas adaptés et ne favorisent pas la mise en évidence de l'efficacité épuratrice de l'élevage. Dans une entreprise, les bassins utilisés pour le prégrossissement des huîtres sont en terre. Il serait maintenant intéressant de réaliser cet élevage à une échelle pilote, avec un plus grand nombre d'huîtres dans des conditions d'élevage piscicoles professionnelles. Cela nous permettrait tout d'abord de voir si les résultats de notre expérience se confirment ou même s'améliorent dans les périodes de prégrossissement conseillées et des structures (bassin tampon et claires de prégrossissement) mieux adaptées. Ensuite il serait intéressant d'optimiser la taille du prégrossissement selon la taille de la pisciculture et les contraintes que cette dernière engendre. Enfin, ce changement d'échelle devrait permettre de réaliser une étude économique afin d'évaluer la faisabilité économique de ce système.

Un autre axe d'étude devrait être initié pour essayer de mettre au point le mode d'alimentation du bassin de stockage et des claires. L'objectif serait de maîtriser le bloom dans le bassin de stockage et la concentration dans les claires. Ceci devrait impliquer des programmes d'étude sur l'influence de la qualité du phytoplancton apportée aux huîtres en prégrossissement sur leurs performances de croissance.

VII. Bibliographie

- Agius C., V. Jaccarini et D.A. Ritz, 1978. Growth of *Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis* in inshore of malta (Central méditerranéan). *Aquaculture*, 15 (1978) : 195–218
- Aminot A. et M. Chaussepied, 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, 395pp
- Barillé L., J. Prou, M. Héral et S. Bougrier, 1993. No influence of food quality, but ration–dependent retention efficiencies in the Japanese oyster *Crassostrea gigas*. *J. Exp. Mar. Ecol.*, 171 : 91–106
- Baud J.P., 1988. Utilisation des eaux salées souterraines de la baie de Bourgneuf pour le prégrossissement intensif de mollusques filtreurs. Mémoire, IFREMER, 127pp
- Bendschneider K. et R.J. Robinson, 1952. A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.*, 11 : 87–96
- Black E.A., J.M. Little, J. Brackett, T. Jones et G.K. Iwama, 1991. Co–culture of fish and shellfish : the implications for antibiotic contamination of shellfish. Mariculture comittee CM 1991/F 23. Theme session O, 20pp
- Brody S., 1945. Bioenergetic and growth. Reinhold, New–York, 1023
- Brown J.R. et E.B. Hartwick, 1988. Influences of temperature, salinity and available food upon suspended culture of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. II. Condition index and survival. *Aquaculture*, 70 : 253–267
- Chiffolleau Y., 1994. Suivi d'un élevage de bars en marais et valorisation des effluents piscicoles. Mémoire de fin d'études MSA, Université de Nantes. 39pp
- Clément O., 1984. Les marais piscicoles des Olonnes. Etat actuel et perspectives. CEMAGREF, Syndicat Mixte des Marais des Olonnes, 293pp
- Delmas D., M.G. Frikha, H. Reymond, E.A.S. Linley et Y. Collos, 1992. Long term microbial community dynamics in a coastal marine pond. *Mar. Microb. Food Webs*, 6 (1) : 39–54
- Dosdat A., 1992a. L'excrétion chez les poissons. *La pisciculture française*, n° 108 : 25–40
- Dosdat A., 1992b. L'excrétion chez les poissons téléostéens. II – Le phosphore. *La pisciculture française*, n° 109 : 18–29
- Dubois F., X.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebecs et F. Smith (1956). Colorimetric methods for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28 (3) : 350–356
- Foster–Smith R.L., 1975. The effect of concentration of suspension and inert material on the assimilation of algae by three bivalves. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 55 : 411–418

- Frikha M.G., E.A.S. Linley et D. Delmas, 1987. Evolution annuelle et saisonnière de la microbiomasse d'une claire à huîtres : importance des populations bactérioplanctoniques. *Océanis*, 13, 4/5 : 433–447
- Gerdes D., 1983a. The Pacific oyster *Crassostrea gigas*. Part I. Feeding behaviour of larvae and adults. *Aquaculture*, 31 : 195–219
- Gerdes D., 1983b. The Pacific oyster *Crassostrea gigas*. Part II. Oxygen consumption of larvae and adults. *Aquaculture*, 31 : 221–231
- Handy R.D. et M.G. Poxton, 1993. Nitrogen pollution in mariculture : toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. *Rev. In Fish Biol. and Fish.*, 3 : 205–241
- Haure J. et J.P. Baud, 1995. Approche de la capacité trophique dans un bassin ostréicole (Baie de Bourgneuf). IFREMER, rapport interne RIDRV–95.16/RA Bouin, 104pp
- Héral M., J.M. Deslous–Paoli et J.M. Sornin, 1983. Transferts énergétiques entre l'huître *Crassostrea gigas* et la nourriture potentielle disponible dans un bassin ostréicole : premières approches. *Océanis*, 9, 3 : 169–194
- Jatteau P., J. Petit et J. Duret, 1994. Impact de l'aquaculture sur l'environnement. Prévention et contrôle. *In* Aquaculture et environnement. Aspects réglementaires. Journées d'études, Nantes, 6–7 octobre 1993. IFREMER, Plouzané. 160pp
- Jones T.O. et G.K. Iwama, 1992. Polyculture of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg), with chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha*. *Aquaculture*, 92 : 313–322
- Kaushik S.J., 1990. Nutrition et alimentation des poissons et contrôle des déchets piscicoles. La pisciculture française, n° 101 : 14–23
- Kempf M., M. Merceron et A. Dosdat, 1994. Pisciculture marine et environnement en France. Spécificité par rapport à l'eau douce. *In* Aquaculture et environnement. Aspects réglementaires. Journées d'études, Nantes, 6–7 octobre 1993. IFREMER, Plouzané. 160pp
- Koroleff F., 1969. Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blues. ICES, C.M 1969/C
- Koroleff F., 1983. Determination of urea. *In* : Methods for seawater analysis, K. Grasshoff, M. Erhardt, K. Kremling (Eds) 2nd Ed., Verlag Chemie, Weinheim, RFA : 158–162
- Laing I., 1993. The response of Manila clam, *Tapes philippinarum*, juveniles to nutritive stress. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 173 : 111–121
- Lam C. Y, J.K. Wang, 1990. The effects of feed water flow rate on growth of aquacultured *Crassostrea virginica* in Hawaii. *Aquacult. Eng.* 9 (6) : 411–427

- Le Bris H., 1992. Influence des effluents piscicoles de marais maritimes sur l'environnement conchylicole, première partie : Influence de l'antibiothérapie pratiquée en pisciculture de marais maritime sur l'environnement conchylicole. *Rapport contrat SMIDAP/ENV NANTES*, 37pp
- Lin C.K., P. Ruamthaveesub et P. Wanuchsootorn, 1993. Integrated culture of the green mussel (*Perna viridis*) in wastewater from an intensive shrimp pond : concept and practice. *World Aquaculture* 24 (2) : 68–73
- Lorensen C.J., 1967. Determination of chlorophyll and pheophytin spectrophotometric equation. *Limnol. Oceanogr*, 12 : 343–346
- Lowry O.H., N.J. Rosebrough, A.L. Farr et R.J. Randall, 1951. Protein measurement with the folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193 : 265–275
- Maestrini S.Y., 1988. Estimation de la capacité biotique des marais maritimes et des eaux côtières atlantiques : valorisation par l'aquaculture semi-extensive. Résumé des activités de l'Equipe mixte CNRS-IFREMER du 1er janvier 1983 au 30 septembre 1988. CNRS-IFREMER, rapport interne IFREMER DRV-88.028-RA/L'Houmeau, 167pp
- Maestrini S.Y. et J.M. Robert, 1987. La production micro-algale des claires à huîtres : particularités nutritionnelles : importance de l'azote organique dissous.
- Maffart P., 1993. Influence des rejets d'une substance médicamenteuse antiparasitaire, le dichlorvos, par les piscicultures maritimes, sur l'environnement conchylicole. Thèse de doctorat vétérinaire, Faculté de Médecine de Nantes.
- Malara G. et R. Charra, 1972. Dosage des glucides particuliers selon la méthode de Dubois. Notes de travail, S.Z.V, Villefranche-sur-Mer, 5pp
- Marsh J.B. et D.B. Weinstein, 1966. Sample charring method for determination of lipid. *J. Lip. Res.*, 7 : 574–576
- Marteil L., 1976. La conchyliculture française. 2è partie : Biologie de l'huître et de la moule. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, Nantes, 319pp
- Murphy J. et J.P. Riley, 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27 : 31–36
- Ouisse M., 1994. Suivi d'un élevage intégré bars-huîtres en marais. Aspects écologique et productif. Mémoire de 4è année, Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes, 36pp
- Owen G., 1974. Feeding and digestion in the Bivalvia. *Adv. Comp. Physiol. Biochem.*, 5 :1–35
- Parsons T.R., Y. Maita et C.M. Lalli, 1992. A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press, Oxford. 173pp
- Paquette P., 1994. La prise en compte des contraintes d'environnement dans l'économie des entreprises aquacoles. In *Aquaculture et environnement. Aspects réglementaires. Journées d'études*, Nantes, 6–7 octobre 1993. IFREMER, Plouzané. 160pp

- Pastoureaud A., 1993. Selectivité de l'ingestion du matériel particulaire. Rapport d'activité du CREMA L'Houmeau 1990–1993 (action de recherche n°8)
- Pennock J.R. et J.H. Sharp, 1994. Temporal alternation between light – and nutrient – limitation of phytoplankton production in a coastal estuary. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 111 : 275–288
- Porteres G.A., 1988. Physiologie et écophysiologie de la nutrition et de la croissance des juvéniles de *Ruditapes philippinarum* (A & R) : applications au prégrossissement par réchauffement hivernal et apport nutritionnel de levures. 1. Texte. Doctorat nouveau régime, Université de Poitiers. 90pp
- Quincy D., 1990. Réglementation et pollution piscicole. Le Vent du Nord ? Aqua revue, n° 32 : 7–9
- Renault T., Le Deuff R. M., Cochenec N., Maffart P., 1994. Herpesviruses associated with mortalities among Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in France – Comparative study. *Revue Méd. Vét.*, 145, 10 : 735–742
- Reymond H., 1995. Impact de l'aquaculture sur l'écosystème "marais maritime" : 1. Flux de matières dans les structures piscicoles– Suivi 1994. 120pp
- Sfriso A. et B. Pavoni, 1994. Macroalgae and phytoplankton competition in the central Venice lagoon. *Environ. Techn.*, 15 : 1–14
- Shpigel M. et R.A. Blaylock, 1991. The Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, as a biological filter for a marine fish aquaculture pond. *Aquaculture*, 92 : 187–197
- Shpigel M. et R. Fridman, 1990. Propagation of the Manila clam (*Tapes semidecussatus*) in the effluent of fish aquaculture ponds in Eilat, Israel. *Aquaculture*, 90 : 113–122
- Sommer U., 1994. The impact of light intensity and daylength on silicate and nitrate competition among marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 39 (7) : 1680–1688
- Strickland J.D.H. et T.R. Parsons, 1972. A practical handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 167, 311pp
- Tesson E., 1994. Pisciculture et environnement au Danemark. In Aquaculture et environnement. Aspects réglementaires. Journées d'études, Nantes, 6–7 octobre 1993. IFREMER, Plouzané. 160pp
- Thompson P.A. et P.J. Harrison, 1992. Effects of monospecific algal diets of varying biochemical composition on the growth and survival of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) larvae. *Marine Biology*, 113 : 645–654
- Thompson R.J. et B.L. Bayne, 1972. Active metabolism associated with feeding in the mussel *Mytilus edulis* L. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 9 : 111–124
- Vincendeau M.L., 1987. Etude expérimentale de la fertilité des eaux des milieux conchylicoles : Influence de l'excrétion des huîtres et des palourdes sur la production des diatomées dominantes. *Thèse de doctorat de l'université Paris 6* : 10–52

Walne P.R., 1972. The influence of current speed, body size and water temperature on the filtration rate of five species of bivalves. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 52 : 345–374

Walne P.R. et P.F. Millican, 1976. The condition index and organic content of small oyster spat. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 38 (2) : 230–233

Winter J.E., 1970. Filter feeding and food utilization in *Artica islandica* (L.), and *Modiolus modiolus* (L). at different food concentrations. *In* : J. H. Steele (Editor), *Marine food chains*, Oliver and Boyd, Edinburg, pp 197–206

Winter J.E., 1978. A review on the knowledge of suspension–feeding in lamellibranchiate bivalves, with special reference to artificial aquaculture systems. *Aquaculture*, 13 : 1–33

Annexe 1 : Dosage des protéines particulières (méthode de Lowry)

Les boîtes de Pétri sont mises à décongeler dans un dessiccateur. Les filtres sont pris à l'aide de pinces Millipore et mis dans les tubes à analyser.

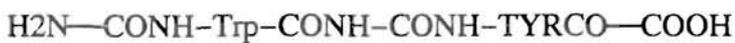
Les protéines sont formées de longues chaînes polypeptidiques (structure primaire : ce sont sous cette forme qu'elles sont présentes dans l'eau de mer). La solubilité des protéines dans l'eau de mer est très variable. Certaines sont solubles dans l'eau pure (albumine). Alors que d'autres ne se dissolvent qu'en présence de sels neutres ou encore lorsque le milieu est légèrement acide ou faiblement alcalin. Pour finir, il existe des protéines insolubles dans l'eau (ex : les scléroprotéines).

Principe

La méthode de Lowry (1951) appliquée aux sérums humains, a été modifiée pour déterminer les traces de protéines en augmentant les proportions des réactifs. Elle permet d'évaluer la quantité de protéine présente dans l'eau de mer et à la surface des sédiments. Cette estimation est donnée par le dosage de deux acides aminés : le tryptophane et la tyrosine.

Au cours des différentes étapes, les protéines présentes dans l'eau de mer sous forme de déchets organiques ou d'organismes vivants sont filtrés et hydrolysés dans un milieu basique. Il se forme une réaction de type Biuret, caractérisée par une coloration violette observée après addition d'une solution alcaline de CuSO_4 . Le réactif de Folin-Ciocalteu permet d'amplifier la couleur obtenue et de déceler les complexes tryptophanes et tyrosines. Les autres acides aminés ne sont pas décelables par la méthode de Lowry.

Cette méthode est plus sensible et plus facilement reproductible que celle de Biuret.



Npolypeptides



n complexes d'Aminoacides

Réactifs

- solution (A) à 2% de carbonates de sodium NaCO_3 dans la soude à 0,1 N (4 g/l) (15 jours de conservation),
- solution (B) à 0,5 % de sulfate de cuivre CuSO_4 , (1 mois de conservation),
- solution (C) de tartrate de potassium ou sodium à 1% (1 mois de conservation),

- solution (D) alcaline de cuivre préparée avec 50 ml de solution A et 1 ml de solution B (1 jour de conservation),
- solution (E) de réactif de Folin et Ciocalteu.

REMARQUE : Vérifier le titre de la solution de Folin Ciocalteu du commerce, et la ramener à 1 N par dilution avec de l'eau distillée (titrer avec NaOH et du phénol phtaleine).

Extraction

Le filtre retenant la matière particulaire est mis dans un tube à centrifuger, avec 1 ml d'eau distillée et 5 ml de solution D.

Ce filtre est broyé finement avec une spatule métallique inoxydable afin de libérer toutes les protéines. La solution ainsi obtenue, est extraite 10 mn à température ambiante.

Ensuite, 0,5 ml de la solution E sont ajoutés à cette solution. Ce mélange est homogénéisé avant de le laisser reposer 1 h 30 au réfrigérateur afin d'obtenir une coloration maximum.

Le tube est centrifugé à 4 000 tours (1600 g) pendant 15 mn pour permettre à la solution de devenir limpide sans aucune suspension.

Pour finir, la Densité Optique est lue à 700 nm.

Exploitation des résultats

Les densités optiques lues au spectrophotomètre sont à comparer à la courbe d'étalonnage de la protéine d'albumine à des concentrations comprises entre 0 et 400 $\mu\text{g/ml}$.

Nous considérons que les acides aminés dosés dans l'eau de mer et dans l'albumine sont présents à la même concentration. Donc, ceci permet par équivalence de déterminer la concentration en protéines particulières dans ce milieu.

Annexe 2 : Dosage de lipides particuliers (méthode de Marsh et Weinstein)

Les lipides forment un groupe de composés très hétérogènes, contrairement aux glucides. Ils ont été réunis en raison de leur insolubilité dans l'eau et leur solubilité dans les solvants organiques (éther, acétone, mélanges chloroforme-alcool). Mais ces critères de solubilité ne sont pas absolus. Ainsi, a-t-on défini les lipides comme des composés comportant dans leur molécule une chaîne aliphatique $((\text{CH}_2)_n)$ d'au moins 8 atomes de carbone en général.

Ceux-ci regroupent alors : les acides gras (ex : acide palmitique), les glycérolipides (ex : lécithine), les sphingolipides (ex : spingomyéline), les cérides (ex : cires végétales ou d'insectes) et les lipides polysopréniques (ex : cholestérol, pigments (carotènes), vitamines A, ...).

Cette grande variété montre l'importance des lipides dans le métabolisme des êtres vivants. Les triglycérides sont les plus importants chez les organismes vivants. Ils sont plus facilement stockables (insolubles) que les glucides sous forme de réserve d'énergie.

Principe

L'hydrolyse acide et à chaud permet de libérer les acides gras de la matière organique filtrée. 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.

Extraction

Pour extraire les lipides, nous utilisons du chloroforme.

Le filtre contenu dans le tube après sa décongélation est broyé en présence de 2 ml de chloroforme pur, à l'aide d'une spatule inoxydable.

Après cette étape, la solution ainsi formée est transférée, à l'aide d'une micropipette à cône, dans un autre tube.

Pour rincer le premier tube, 2 ml de chloroforme sont versés sur le broyat.

Le chloroforme rajouté est pipeté et rajouté à la première solution.

Afin d'éliminer les fibres, le solvant est rincé avec de l'eau qui par la suite est éliminée.

Le solvant est évaporé à 40°C dans une étuve jusqu'à sa complète disparition (au moins 24 h).

Après l'évaporation, les tubes contenant les lipides sont remplis avec 2 ml d'acide sulfurique concentré et agités, puis portés à 200°C dans une étuve pendant au moins 15 minutes.

Lorsqu'ils sont refroidis, il faut rajouter, avec précaution (réaction très exothermique), 3 ml d'eau distillée et agiter afin d'obtenir un mélange homogène.

Après refroidissement, la densité optique est lue à 360 nm.

Exploitation des résultats

Les densités optiques lues au spectrophotomètre sont à comparer avec celles obtenues à partir d'une solution standard évaporée d'acide tripalmitique à des concentrations comprises entre 0 et 200 $\mu\text{g/ml}$.

RIDRV -96

N°RI DRV	DEPARTEMENT	LABORATOIRE	AUTEURS	TITRE	DATE SORTIE	DIFFUS	NB PAGES	TIRAGE
96-01	DRV/RA	RA/LA TRINITE	E.GOYARD	REMORA 93 : ANALYSE DES RESULTATS DE LA PREMIERE ANNEE DU RESEAU DE SUVI DE LA CROISSANCE DE L'HUITRE CREUSE SUR LES COTES FRANCAISES	jan-96	Libre	60	?
96-02	DRV/RH	RH/SETE	M.TAQUET, Y.GUENNEGAN, J.BERTRAND	INVENTAIRE ET ORGANISATION DES DONNEES HALIEUTIQUES. REALISATION D'UN OUTIL DOCUMENTAIRE	jan-96	Libre	121	30
96-03	DRV/RA	RA/PORT EN BESSIN, RA/LA TREMBLADE	M.ROPERT, P.GOULLETQUER, J.P.JOLY, P.GEIRON, S.LEBOURHIS, E.LEGAGNEUR, F.RUELLE	DEVELOPPEMENT ET PROLIFERATION D'UNE POPULATION D'ANNELIDES TUBICOLES LANICE CONCHILEGA ASSOCIE A LA CONCHYLICULITRE EN BAIE DES VEYS (BAIE	jan-96	Libre	66	100
96-04	DRV/RH	RH/L'HOUMEAU	R.GUICHET	LE MERLU EUROPEEN (MERLUCCIOUS MERLUCCIOUS) - BILAN DES CONNAISSANCES BIOLOGIQUES - EVOLUTION DE L'EXPLOITATION - EVALUATIONS DES STOCKS	avr-96	Libre	55	50
96-05	DRV/RA	RA/LA TREMBLADE	P. SOLETCHNICK, P. GEIRON, D. RAZET, P. GOULLETQUER	PHYSIOLOGIE DE LA MATURATION ET DE LA PONTE CHEZ L'HUITRE CREUSE CRASSOSTREA GIGAS	avr-96	Libre	32	50
96-06	DRV/RA	RA/BOUIN	J. HAURE, M. NOURRY, N. LE BAYON, J.P. BAUD	CONTRÔLE DES PERFORMANCES DES SOUCHES D'HUITRES PLATES RESISTANTES AU PROTOZOAIRE BONAMIA OSTREAE. 2ème année	mai-96	Libre	36	60
96-07	DRV/RH	RH/NANTES-DEL/BREST	D.HALGAND, G.ARZUL, E. ERAD-LE DENN, L. FIANI, J.HUET, F. QUINIQU, F.ROGER	SURVEILLANCE ECOLOGIQUE ET HALIEUTIQUE DE L'ENVIRONNEMENT MARIN DU SITE DE LA CENTRALE DE PENLY (MANCHE EST) - ANNEE 1995	jun-96	Restreinte	138	38
96-08	DRV/RA	RA/NOIRMOUTIER	V.BUCHET, A. BLUTEAU	ETUDE D'UN ELEVAGE INTEGRE BARS-HUITRES. INFLUENCE DE DEUX GESTIONS HYDRAULIQUES DE L'ELEVAGE PISCICOLE SUR LE PREGROSSISSEMENT D'HUITRES	jul-96	Libre	36	60