

UNIVERSITE DE CORSE

DESS "RESSOURCES ANIMALES ET VEGETALES :
Valorisation des Productions dans un Développement Intégré"

**LES FLUX DE MATIERES DANS LES
ECOSYSTEMES "MARAIS AQUACOLES".
IMPACT DES DENSITES D'ELEVAGE SUR LES
BILANS DE MATERIEL PARTICULAIRE ET
DISSOUS**

Mémoire présenté par :
Hugues LEMONNIER

R e c h e r c h e
A q u a c o l e

Station IFREMER Aqualive

Mars – novembre 1993

UNIVERSITE DE CORSE

**DESS "RESSOURCES ANIMALES ET VEGETALES :
Valorisation des Productions dans un Développement Intégré"**

**LES FLUX DE MATIERES DANS LES
ECOSYSTEMES "MARAIS AQUACOLES".
IMPACT DES DENSITES D'ELEVAGE SUR LES
BILANS DE MATERIEL PARTICULAIRE ET
DISSOUS**

Mémoire présenté par :
Hugues LEMONNIER

Station IFREMER Aqualive

Mars – novembre 1993

AVANT PROPOS

Il m'est particulièrement agréable de pouvoir exprimer ici ma gratitude à tous ceux, qui par leurs conseils, leur assistance ou leur soutien, ont contribué à la concrétisation de ce rapport.

Monsieur Hugues REYMOND, mon maître de stage qui par ses conseils m'a été d'un précieux secours pour la conduite de ce stage et pour son aide dans la rédaction du mémoire.

Monsieur Vincent BUCHET, chef de la station de Noirmoutier qui m'a accueilli et m'a permis de réaliser ce document.

Je remercie également le personnel de la station, Béatrice DUPUY, Frédéric BLOUIN, Hubert PALVADEAU, Christian PENISSON et Philippe VILLANOVE sans oublier les stagiaires qui ont avec moi participé à cette étude, Isabelle ROUYER, Xavier PHILIPPON, Olivier ROUX et Sébastien VERNIER.

J'adresse d'affectueux remerciements à ma famille et à mes amis qui m'ont aidé et m'ont encouragé pendant ces huit mois de stage.

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| Avant propos | 1 |
| Introduction générale | 2 |
| Chapitre 1 : les flux de matières dans les écosystèmes aquacoles | 3 |
| 1. Les intrants..... | 3 |
| 2. Les produits métaboliques | 4 |
| 3. Impact des rejets sur le milieu | 4 |
| 3.1. Impact sur la colonne d'eau | 4 |
| 3.2. Impact sur le sédiment | 5 |
| 3.2.1. Modification chimique du sédiment..... | 5 |
| 3.2.2. Modifications biologiques..... | 5 |
| 3.2.2.1. Impact sur la microflore et la microfaune | 5 |
| 3.2.2.2. Impact sur les végétaux benthiques..... | 5 |
| 3.2.2.3. Impact sur les populations macrobenthiques | 6 |
| 4. Conclusion | 7 |
| | |
| chapitre 2 : Présentation du programme "Impact des activités aquacoles en bassin de terre sur les marais et l'environnement" | 8 |
| 1. Le site..... | 8 |
| 2. Les différents types d'élevage | 8 |
| 3. La problématique..... | 9 |
| 3.1. les paramètres physico-chimiques..... | 9 |
| 3.2. Echange de matières avec l'environnement côtier..... | 9 |
| 3.3. Recyclage dans le réseau trophique de la matière organique apportée | 10 |
| 3.3.1. Estimation de la part d'aliment assimilée par les consommateurs naturels et par les élevages : devenir de l'aliment | 10 |
| 3.3.2. Impact des apports organiques sur le sédiment..... | 10 |
| 3.3.3. Impact des apports organiques sur l'activité des micro-organismes | 11 |
| | |
| CHAPITRE 3 : METHODOLOGIE | 12 |
| 1. Support logistique | 12 |
| 1.1. Bassins d'élevage et installations | 12 |
| 1.2. Gestion hydraulique des bassins et aération mécanique nocturne..... | 13 |
| 2. Le support biologique | 13 |
| 2.1 stratégie expérimentale | 13 |
| 2.2. Alimentation des élevages..... | 14 |

| | |
|---|-----------|
| 3. échantillonnages et techniques de prélèvement..... | 14 |
| 3.1. Calendrier des interventions..... | 14 |
| 3.1.1. Colonne d'eau..... | 14 |
| 3.1.2. Sédiment..... | 15 |
| 3.1.3. Cycles "cloches"..... | 15 |
| 3.1.4. Devenir de l'aliment..... | 15 |
| 3.1.5. Résumé des principales interventions..... | 15 |
| 3.2. Méthodes d'échantillonnage et stations de prélèvement..... | 15 |
| 3.2.1. La colonne d'eau..... | 15 |
| 3.2.1.1. Les bassins de terre..... | 15 |
| 3.2.1.2. Les bassins intensifs..... | 16 |
| 3.2.2. Carottage du sédiment..... | 16 |
| 3.2.3. Prélèvements lors du cycle "cloches"..... | 17 |
| 3.2.4. la faune naturelle et les poissons d'élevage..... | 17 |
| 4. Matériel et méthodes d'analyse..... | 17 |
| 4.1. Etude la colonne d'eau..... | 17 |
| 4.1.2. Les paramètres physico-chimiques..... | 17 |
| L'oxygène..... | 17 |
| La température..... | 17 |
| Le pH..... | 18 |
| La salinité..... | 18 |
| 4.1.3. Analyse des sels nutritifs..... | 18 |
| 4.1.4. Dosage des acides aminés combinés dissous (DCAA) et des acides aminés libres dissous (DFAA)..... | 18 |
| 4.1.5. Dosage des matières en suspension et de la matière organique particulaire..... | 18 |
| 4.1.6. Dosage du carbone organique particulaire et de l'azote particulaire..... | 19 |
| 4.1.7. Dosage de la chlorophylle a et des phéopigments..... | 19 |
| 4.1.8. Estimation de la biomasse zooplanctonique et de la fraction supérieure à 190 μm | 20 |
| 4.2. Etude du sédiment..... | 20 |
| 4.2.1. Teneur en eau et perte au feu du sédiment..... | 20 |
| 4.2.2. Analyse des sels nutritifs des eaux interstitielles et de l'ammonium échangeable..... | 21 |
| 4.2.3. Analyse du carbone organique particulaire et de l'azote particulaire du sédiment..... | 21 |
| 4.2.4. Analyse de la chlorophylle a et des phéopigments benthiques..... | 21 |
| 4.2.5. Détermination et biomasse macrofaunique..... | 21 |
| CHAPITRE 4 : RESULTATS..... | 22 |
| 1. Evolution des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau..... | 22 |
| 1.1. La température..... | 22 |
| 1.2 la salinité..... | 23 |
| 1.3. L'oxygène dissous..... | 23 |
| 1.4. Le pH..... | 25 |
| 2. Suivi des élevages..... | 27 |
| 2.1. Croissance des élevages..... | 27 |
| 2.2. Survie..... | 27 |
| 2.3. Conclusion..... | 28 |
| 3. Echanges de matière avec l'environnement côtier..... | 28 |
| 3.1. Les paramètres sestoniques..... | 28 |
| 3.1.1. La biomasse phytoplanctonique..... | 28 |

| | |
|--|----|
| 3.1.1.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens..... | 28 |
| 3.1.1.2. bilans globaux | 31 |
| 3.1.2. Le seston total | 32 |
| 3.1.2.1. Les matières en suspension..... | 32 |
| 3.1.2.1.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens | 32 |
| 3.1.2.1.2. Bilans globaux | 32 |
| 3.1.2.2. Les matières minérales..... | 33 |
| 3.1.2.2.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens | 33 |
| 3.1.2.2.2. Bilans globaux | 34 |
| 3.1.2.3. Matières organiques particulières..... | 35 |
| 3.1.3. Le zooplancton..... | 35 |
| 3.1.3.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens..... | 35 |
| 3.1.3.2. Bilans globaux (fraction 50 μm – 190 μm)..... | 35 |
| 3.1.3.3. Bilans globaux (fraction supérieure à 190 μm)..... | 36 |
| 3.1.4. Le carbone organique et l'azote particulières | 36 |
| 3.1.4.1. L'azote particulaire | 37 |
| 3.1.4.2. Le carbone organique particulaire..... | 37 |
| 3.1.4.3. Bilans globaux du carbone organique et de l'azote particulières | 39 |
| 3.2. Les éléments dissous..... | 40 |
| 3.2.1. Composés minéraux azotés | 40 |
| 3.2.1.1. L'azote ammoniacal (NH_4^+ + NH_3)..... | 40 |
| 3.2.1.1.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens | 40 |
| 3.2.1.1.2. Bilan global | 43 |
| 3.2.1.2. Les nitrites | 43 |
| 3.2.1.2.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens | 43 |
| 3.2.1.2.2. Bilan global | 43 |
| 3.2.1.3. Les nitrates..... | 43 |
| 3.2.1.3.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens | 43 |
| 3.2.1.3.2. Bilan global | 47 |
| 3.2.2. Composés organiques azotés | 47 |
| 3.2.2.1. L'urée | 47 |
| 3.2.2.1.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens | 47 |
| 3.2.2.1.2. Bilans globaux | 47 |
| 3.2.2.2. Acides aminés libres et combinés | 47 |
| 3.2.2.2.1 Evolution temporelle des bilans quotidiens | 47 |
| 3.2.2.2.2. Bilans globaux | 47 |
| 3.2.3. Les phosphates minéraux dissous..... | 48 |
| 3.3. Conclusion..... | 50 |

Chapitre 5 : estimation de l'impact de l'aquaculture sur l'environnement; flux de matière51

| | |
|---|----|
| 1. Remarques préliminaires..... | 51 |
| 2. flux de matière dans les bassins aquacoles..... | 51 |
| 2.1. Analyses par unité de superficie de bassin | 51 |
| 2.1.1. Cas du carbone..... | 51 |
| 2.1.2. Cas de l'azote | 53 |
| 2.2. Analyse des bilans par unité de biomasse de poissons produite..... | 53 |
| 2.2.1. Les élevages intensifs | 54 |
| 2.2.2. Les élevages semi-intensifs..... | 54 |
| 2.2.3. Les élevages semi-extensifs | 55 |
| 2.2.4. Conclusion | 55 |

CONCLUSION générale.....56

BIBLIOGRAPHIE.....57

INTRODUCTION GENERALE

Les marais maritimes sont des espaces littoraux de niveau inférieur à celui des hautes mers de vive eau qui ont été structurés par l'homme dans les infrastructures côtières abritées (slikke, schorre). Ils représentent au total une superficie de 27000 hectares dans les régions Pays de Loire, Poitou-Charentes et Aquitaine dont 13 % sont endigués et en exploitation (Manaud *et al*, 1992). Dans le cadre de la revalorisation du marais, des activités aquacoles se sont développées au cours de ces quinze dernières années : la vénériculture, la pénéculture et la pisciculture semi-intensive du bar (*Dicentrarchus labrax*) ou la daurade royale (*Sparus aurata*). Cette aquaculture nouvelle s'étend actuellement sur 300 hectares et aura produit 150 tonnes de poissons en 1993.

L'aquaculture semi-extensive/semi-intensive des espèces carnivores nécessite un apport d'aliment pour compléter la production naturelle des marais qui, à elle seule, ne permet pas de satisfaire la totalité des besoins trophiques des élevages (Hussenot et Reymond, 1990). Cet apport entraîne un enrichissement de l'eau et du sédiment en matières organiques et minérales qui sont en partie exportées vers le littoral lors des échanges d'eau. Or, on ne dispose pas aujourd'hui de données quantitatives et qualitatives permettant d'estimer l'impact des rejets sur l'environnement. C'est dans cette optique que le programme "Impact des activités aquacoles en bassin de terre sur les marais et l'environnement côtier" a été développé cette année à la station Aqualive de Noirmoutier, en collaboration avec l'unité mixte CNRS-IFREMER de l'Houmeau (CREMA) et le laboratoire de nutrition d'IFREMER-Brest.

Le programme se propose, dans un premier temps, de faire un bilan des échanges de matière organique et de sels nutritifs entre les marais maritimes et le milieu côtier afin (i) de comparer l'impact des aquacultures semi-intensives, semi-extensives et extensives sur l'environnement, (ii) d'obtenir un modèle prédictif permettant d'estimer les rejets aquacoles en fonction des charges élevage.

En outre, il est impératif d'estimer l'impact de l'élevage sur les sites d'exploitation eux-mêmes afin d'optimiser la gestion piscicole. En effet, le devenir et la cinétique d'accumulation de la matière organique apportée aux élevages ne sont que partiellement connus. En particulier, le rôle de la faune benthique naturelle (méio-macro) dans l'assimilation de cette matière reste à définir précisément, la productivité qui en résulte étant susceptible d'alimenter les espèces carnivores. La perte d'aliment par sédimentation, dissolution ou reminéralisation par le compartiment bactérien est à quantifier. Le programme se propose dans un deuxième temps d'estimer l'importance des flux de matière organique générés au sein même du site d'élevage par les apports d'aliments, d'évaluer l'impact de l'enrichissement sur la productivité naturelle des bassins, et d'apprécier l'impact de ces apports sur le sédiment (fixation, relargage).

Ce rapport présente les résultats concernant les flux de matières entre les systèmes aquacoles et le milieu côtier.

CHAPITRE 1 : LES FLUX DE MATIERES DANS LES ECOSYSTEMES AQUACOLES

Les connaissances liées à la thématique aquaculture–environnement sont essentiellement basées sur des observations faites en milieu marin ou dulçaquicole, sur les élevages intensifs de salmonidés. Une revue bibliographique a été réalisée sur le sujet par Videau et Merceron (1992).

Le milieu d'élevage exporte principalement vers l'environnement des produits issus de l'activité physiologique des poissons (excrétion, éjection), des produits exogènes (aliments non consommés, produits zoosanitaires), des poissons morts ou vivants (échappement), des cadavres de la faune, des débris de la flore et des micro–organismes. Ces apports augmentent, par leur décomposition, la charge en matière organique. Les impacts sont nombreux et complexes que ce soit sur le site d'élevage ou sur l'environnement.

1. LES INTRANTS

Ces apports en pisciculture comme en agriculture favorisent la productivité. Les conséquences de leurs utilisations doivent être définies pour éviter toute pollution potentielle du milieu aquacole et de l'environnement.

La productivité naturelle des marais n'est pas suffisante pour satisfaire les besoins trophiques des élevages (Reymond, 1991). L'intensification des élevages nécessite donc un complément sous forme d'aliment granulé et ou de fertilisation (Hussenot et Reymond, 1990 ; Hussenot *et al*, 1992). Dans le cas d'une complémentation en granulé, une partie de la nourriture distribuée n'est pas consommée par les élevages (Cam, 1987 ; Rollet, 1986 ; Reymond et Lagardère, 1990). Cette fraction va enrichir la colonne d'eau et le sédiment en matière organique. Elle peut aussi être assimilée par la faune naturelle (faune "fourrage") qui à son tour est susceptible d'alimenter les élevages. En élevage semi–intensif en bassin de terre, Reymond montre en 1989 que le contenu stomacal des bars est constitué d'aliment et de proies naturelles. Le ratio aliment/proies naturelles est de 1,3 en volume pour les poissons de "têtes de lot". Le bol alimentaire des queues de lot est composé, quant à lui, en majorité de proies naturelles. Ces proies sont un complément protéique non négligeable et un "pool" de vitamines important, pour les poissons les plus petits qui, pour des raisons de compétition intraspécifique au sein des élevages, n'ont pas accès à la nourriture apportée.

Il existe peu d'informations concernant les quantités d'aliment assimilée par la faune naturelle en élevage semi–intensif.

Les produits zoo–sanitaires utilisés en pisciculture pour prévenir ou traiter les maladies peuvent se révéler être néfastes pour l'environnement à cause de leur durée de vie et de leur activité. Ce sont principalement des antibiotiques (oxytétracycline, acide oxolinique...) mais aussi des désinfectants (chloramine T, ammonium quaternaire, etc...). Ces produits peuvent modifier la composition spécifique des populations microbiennes en sélectionnant des souches résistantes. Par ailleurs, ils peuvent être toxiques en cas d'ingestion de produits conchylicoles récoltés à proximité des élevages (Le Bris, 1992). Ils peuvent aussi modifier l'activité métabolique, la mobilité, la morphologie, etc. L'utilisation par exemple de l'érythromycine à 50 mg.l⁻¹ inhibe l'action nitrifiante des bactéries pendant 14 jours (Collins

et al, 1975-76 in Videau et Merceron, 1992). Or on sait que la nitrification est une étape indispensable pour le maintien de l'équilibre du milieu.

2. LES PRODUITS METABOLIQUES

Ce sont les produits issus du métabolisme rénal et branchial (excrétion de substances dissoutes) ou digestif (éjection de formes solides). Ce sont essentiellement des composés carbonés, azotés et phosphorés.

L'azote ammoniacal représente chez les téléostéens 80 % de l'excrétion azotée totale (Smith, 1929 ; Wood, 1958 ; in Videau et Merceron, 1992). Chez le bar, les quantités d'azote ammoniacale et d'urée excrétées varient en fonction du poids de l'animal et de la température mais restent constantes d'après Guérin - Ancey (1976) entre 18 et 24°C. D'après cet auteur, l'excrétion uréotélique représente, à ces températures, 12 à 18 % de l'excrétion ammoniacale pour des bars de 20 à 100 grammes. Les ions divalents tels que les phosphates, les sulfates et le magnésium sont largement éliminés par le système urinaire.

Des molécules plus complexes peuvent être excrétées par l'élevage comme des acides aminés, la créatinine, l'acide urique et l'oxyde de triméthylamine à un niveau beaucoup plus faible (Dosdat, 1992).

Les produits éjectés représentent de 20 à 30 % du poids sec de la nourriture apportée (Videau et Merceron, 1992). Ils sont constitués de nourriture non assimilée, de bactéries intestinales et de cellules desquamées. Guillaume (in Videau et Merceron, 1992) considère que chez le bar, 75 à 85 % de l'apport alimentaire de phosphore est éjecté ou excrété. Les fèces peuvent contenir des produits solubles (acides aminés ou protéines de petites tailles).

Au total, chez *Sparus aurata*, 30 % de l'azote ingéré est excrété sous forme de NH_4 , 30 % est excrété sous forme d'azote organique dissous, une quantité négligeable est excrétée sous forme d'urée, 10 % est éjecté et 30 % est incorporé dans la croissance (Porter et al, 1987).

Une fois libérées dans le milieu, les différentes molécules seront hydrolysées, oxydées ou assimilées. L'azote ammoniacal est oxydé en nitrite puis en nitrate par le compartiment bactérien. L'urée est hydrolysée en azote ammoniacal et en dioxyde de carbone. La fraction insoluble des fèces est reprise par la chaîne des décomposeurs et des coprophages.

3. IMPACT DES REJETS SUR LE MILIEU

La matière organique est minéralisée par des bactéries du sédiment et de la colonne d'eau, principalement en nitrate l'hiver et essentiellement en ammonium l'été (Frikha, 1989). La minéralisation dans la colonne d'eau est très faible comparée aux processus qui se déroulent dans la couche superficielle du sédiment (Frikha, *op. cit.*). Cependant, les échanges entre le sédiment et la colonne d'eau sont importants (Hall et Holby, 1986) et variés : ils concernent les sels nutritifs (phosphore, azote, silice) et les produits de dégradation tels que le sulfure d'hydrogène, le méthane et le dioxyde de carbone. Ainsi, de manière directe ou indirecte, les rejets de matière organique ont un impact à la fois sur la colonne d'eau et sur le sédiment.

3.1. IMPACT SUR LA COLONNE D'EAU

L'abondance de matière organique stimule la chaîne des décomposeurs qui via la reminéralisation, alimente le milieu en sels nutritifs. Le pool en sels nutritifs dissous qui se forme est utilisé par la

production primaire et la stimule. Cependant, les processus de reminéralisation étant très consommateurs d'oxygène, des excès de matières organiques entraînent des baisses importantes en oxygène dissous néfastes pour les élevages et l'environnement. Par ailleurs, l'augmentation de la demande biologique en oxygène favorise la prolifération des espèces anaérobies. Il semble que dans les marais maritimes, des concentrations en oxygène inférieures à 2 mg.l⁻¹ engendrent des processus de réduction responsables de la formation de substances directement toxiques pour les biocénoses et les élevages comme H₂S. L'apport de matière organique peut stimuler la croissance des algues, par son apport en vitamines provenant de l'aliment (biotine, vitamine B12), ou en produits de dégradation.

La minéralisation de la fraction organique excrétée ou non consommée (azote et phosphore) engendre un enrichissement du milieu en sels nutritifs. Cet apport a un impact direct sur les producteurs primaires en leur fournissant le substrat minéral nécessaire à leur croissance et peut contribuer ainsi à des développements phytoplanctoniques importants et à la formation d'eau colorée. Dans le cas d'une efflorescence intense, la consommation nocturne d'oxygène par le bloom peut être telle qu'elle entraîne des conditions asphyxiantes pour l'élevage.

Les apports, pendant la saison d'élevage, sont à la fois organiques et minéraux. Quelles peuvent-être les conséquences de ces enrichissements sur la productivité naturelle ? L'augmentation de la production primaire stimule-t-elle la production zooplanctonique comme l'a montré Kilambi *et al* (1976) dans des élevages dulçaquicoles ?

3.2. IMPACT SUR LE SEDIMENT

L'accumulation de rejets organiques engendre des modifications physico-chimiques et biologiques du sédiment.

3.2.1. Modification chimique du sédiment

Les premiers centimètres de sédiment concentrent essentiellement des sels nutritifs et du carbone organique. Sous une cage en élevage intensif, Hall et Holby (1986) montrent que la concentration en carbone organique du sédiment superficiel est 20 fois plus élevée que dans du sédiment non pollué. Les concentrations en sels nutritifs augmentent aussi dans les 12 premiers centimètres du sédiment dans des proportions différentes : 2,5 pour le silicate ; 50 pour l'ammonium.

3.2.2. Modifications biologiques

3.2.2.1. Impact sur la microflore et la microfaune

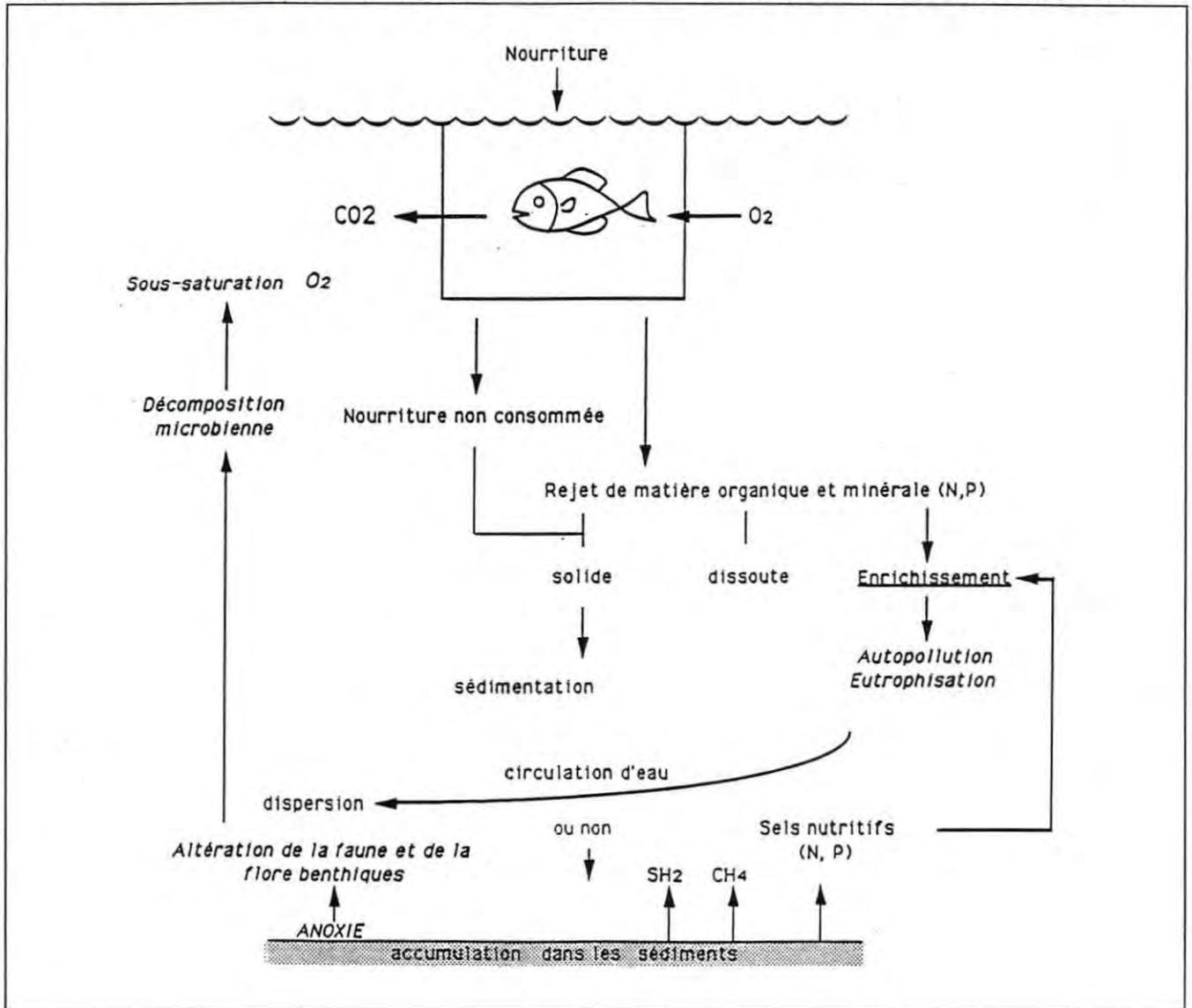
La présence de matière organique dans le sédiment stimule l'activité des bactéries, des champignons et des invertébrés. Cette augmentation de productivité entraîne une augmentation de la consommation en oxygène. Si celle-ci n'est pas compensée par un apport (renouvellement en eau, oxygénation), le sédiment devient anoxique et les formes anaérobies se développent au détriment des formes aérobies. Les produits du métabolisme des formes benthiques anaérobies sont donc des molécules réduites telles que le méthane (toxique pour les animaux), l'azote ammoniacal, le sulfure d'hydrogène (le plus toxique) ou des complexes métalliques réduits (Videau et Merceron, 1992).

3.2.2.2. Impact sur les végétaux benthiques

L'apport en sels minéraux peut entraîner une prolifération d'algues macrophytes et de phanérogames marines. Elles entrent en compétition avec le phytoplancton pour les sels nutritifs. Le développement du phytobenthos est limité par la pénétration de la lumière (limite la photosynthèse) et donc par la turbidité de l'eau. En aquaculture en marais, on cherche à éradiquer la croissance algale en augmentant cette turbidité. Les algues les plus couramment rencontrées dans nos bassins sont *Ulva lactuca*,

Chaetomorpha sp et *Entomorpha compressa* (Rouillard, 1988). On trouve aussi des phanérogames du genre *Ruppia*.

Figure 1 : Interactions élevage-milieu dans les écosystèmes marins (d'après Videau et Merceron, 1992)



3.2.2.3. Impact sur les populations macrobenthiques

Autour des cages d'élevage, Brown *et al* (1987) ont défini quatre zones concentriques autour du point d'élevage ayant des niveaux de pollution variables. Ce sont : une zone azoïque où tous les organismes sont morts, une zone polluée dominée par des organismes "opportunistes" comme les polychètes *Capitella capitata* et *Polydora*, une zone subnormale avec une faune abondante mais peu diversifiée, et enfin une zone "propre".

Cette zonation est corrélée à la diminution du potentiel redox du sédiment et à la diminution progressive de l'oxygène dissous à l'interface eau-sédiment, de la périphérie vers la zone située sous les cages. Rosenberg (1979) montre que la déstructuration des populations intervient pour une valeur en oxygène dissous inférieure à 2 mg.l⁻¹.

En marais maritimes, Hussenot *et al* (1992) montrent que les apports organiques stimulent surtout la production de vers polychètes.

4. CONCLUSION

Videau et Merceron présentent un schéma récapitulatif des effets et des interactions des rejets trophiques d'un élevage de poisson en cage (fig. 1). La nourriture non consommée sédimente avec les fèces et enrichit le sédiment en matière organique. Une fraction de cette matière est reminéralisée et constitue, avec les métabolites d'excrétion (urée, $\text{NH}_{3,4}$) un pool minéral dissous utilisé par les végétaux. Une fraction de la matière produite sera exportée par les courants.

CHAPITRE 2 : PRESENTATION DU PROGRAMME "IMPACT DES ACTIVITES AQUACOLEES EN BASSIN DE TERRE SUR LES MARAIS ET L'ENVIRONNEMENT"

Ce programme s'intègre dans la thématique "Aquaculture-Environnement" que développe actuellement l'IFREMER. Il a été lancé cette année pour une durée de quatre ans à AQUALIVE, en collaboration avec le Centre de Recherche en Ecologie Marine et en Aquaculture de l'Houmeau (CREMA-L'Houmeau) et avec le laboratoire de nutrition du centre IFREMER-Brest.

1. LE SITE

Une grande partie des 7966 hectares de l'île de Noirmoutier (85) se trouve en dessous du niveau des vives eaux : environ 55 % des terres sont inondables. L'île possède 1700 hectares de marais maritimes alimentés en eau de mer par un réseau complexe de canaux (les étiers). Avec des conditions climatiques tempérées, elle est un site intéressant pour l'implantation d'une activité piscicole. De plus, l'existence d'une nappe souterraine salée sans variation thermique permet de disposer d'une eau à 14°C toute l'année. Elle est utilisée pour maintenir les élevages en place quand les caractéristiques thermiques de l'eau de mer sont hors des seuils de tolérance des poissons élevés. Par ailleurs, elle est exempte de matière organique et de germes bactériens. Elle demande cependant à être traitée car elle est riche en ammoniac et en fer.

2. LES DIFFERENTS TYPES D'ELEVAGE

L'aquaculture du poisson en marais maritimes se divise en plusieurs filières de production en fonction du degré d'intensification.

Les marais sont le siège depuis fort longtemps d'une aquaculture dite extensive. Pratiquée dans les vasières des marais salants à partir du XI^{ème} siècle, cette activité est basée sur la productivité naturelle du milieu qui doit subvenir à la totalité des besoins trophiques des animaux. La production peut atteindre 70 à 100 kilogrammes par hectare et par an. Les espèces élevées sont capturées dans le milieu naturel.

L'élevage semi-extensif diffère du premier par le fait que les poissons reçoivent un complément en aliment et/ou en fertilisant permettant d'augmenter la productivité naturelle. Par ailleurs, les espèces élevées sont le plus souvent issues d'écloseries et peuvent être des espèces introduites (aquaculture des crustacés tropicaux dans les marais par exemple).

La filière piscicole qui actuellement domine dans les marais salés de la façade atlantique est l'aquaculture semi-intensive. L'objectif est de tirer parti au maximum des potentialités de production du milieu naturel en évitant l'installation d'équipements lourds. La charge peut atteindre 1 à 2 kg.m⁻² en fin d'élevage soit une production de 10 à 20 tonnes par hectare sur trois ans. Un tel élevage demande un renouvellement en eau quotidien de 20 à 50 % du volume d'élevage, et une distribution d'aliment sous forme de granulés.

A l'opposé, l'élevage intensif essaye de s'affranchir au maximum du milieu. La disponibilité en eau de mer de bonne qualité et la présence de la nappe souterraine sont les seuls critères d'installation. L'élevage se fait en bassin inerte (béton, résine). La charge va dans ce cas atteindre 10 à 20 kg.m⁻³ (soit 10 à 20 kg.m⁻² compte tenu de la hauteur d'eau des bacs). La production varie de 100 à 120 t.Ha⁻¹ sur trois ans.

3. LA PROBLEMATIQUE

Les élevages intensifs contribuent à enrichir voire à polluer le milieu environnant par leurs effluents. Ce problème est d'autant plus important que les charges en élevage et les tonnages produits sont élevés. De nombreuses études ont été réalisées sur ce sujet et sur ce type de filière. Il n'existe pas, à notre connaissance, d'études concernant les élevages pratiqués dans les bassins de terre des marais maritimes.

Une première série d'expérimentations est réalisée dans l'optique de quantifier et de déterminer les rejets issus de différents types d'élevages de bars (*Dicentrarchus labrax*) en bassin de terre : élevages extensifs, semi-extensifs et semi-intensifs. Elles se font donc dans des conditions différentes de densité. Les rejets des bassins soumis à ces différents types d'aquaculture sont comparés aux rejets de bassins "références sans élevage" et de bassins "références élevage intensif".

L'impact des apports organiques "exogènes" (aliments) sur le site de production n'est que partiellement connu. On sait qu'une partie de l'aliment distribué n'est pas ingérée par les élevages. Cette fraction peut être assimilée par la faune "fourrage", être reminéralisée par le compartiment bactérien, ou sédimenter et être perdue sur le fond des bassins.

Le programme doit donc permettre de définir dans un premier temps les flux de matière organique générés dans le réseau trophique par le recyclage des aliments. Les conséquences sur la physico-chimie du milieu (colonne d'eau et sédiment), sur la productivité naturelle des bassins, sur la structuration des populations naturelles ont donc été spécifiquement étudiées. Mais les résultats de ce deuxième volet de l'étude ne pourront être développés ici.

3.1. LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Ils sont suivis de façon régulière pour deux raisons. Il s'agit dans un premier temps de s'assurer que le milieu conserve une qualité compatible avec les exigences des élevages. Le marais est soumis à de nombreuses fluctuations climatiques et nyctémérales. Le taux d'oxygène dissous peut atteindre des valeurs faibles et asphyxiantes pendant la nuit et être préjudiciable à la croissance et à la survie des élevages.

Dans une optique de recherche, il s'agit d'observer l'évolution des paramètres en fonction de la charge en élevage.

3.2. ECHANGE DE MATIERES AVEC L'ENVIRONNEMENT COTIER

Le suivi a été effectué entre mars et octobre sur dix structures d'élevage. Les bassins sont considérés comme des "boîtes noires". Il s'agit de déterminer les concentrations en matières organiques et en sels nutritifs des flux d'entrée et de sortie lors des renouvellements en eau. En connaissant les volumes d'eau journaliers échangés, on définit les masses de nutriments et de matières organiques importées et exportées. Par comparaison, on établit ensuite des bilans de matière particulaire et dissoute pour chaque bassin.

Différents paramètres sont étudiés au cours de la saison d'élevage : la charge en matières en suspension, en matière organique particulaire, la concentration en carbone organique et en azote particulaires, la concentration en chlorophylle a et en phéopigments, les concentrations en sels nutritifs (nitrites, nitrates, ammonium, urée, azote organique total dissous, silicates, phosphates, phosphore organique dissous), les concentrations en acides aminés combinés et en acides aminés libres.

3.3. RECYCLAGE DANS LE RESEAU TROPHIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE APPORTEE

3.3.1. Estimation de la part d'aliment assimilée par les consommateurs naturels et par les élevages : devenir de l'aliment

Pour déterminer le devenir de l'aliment dans le réseau trophique, les élevages sont nourris avec un aliment dont le rapport isotopique en carbone et en azote a été modifié pour constituer une signature spécifique. Ce marquage permet d'identifier, dans la chaîne trophique, les espèces naturelles susceptibles de profiter directement ou indirectement de l'aliment. Des échantillonnages des principaux consommateurs potentiels et des poissons sont réalisés dans les différents types de bassins. Des fragments de tissu musculaire (poisson) ou les animaux *in toto* sont analysés par spectrométrie de masse pour déterminer les rapports isotopiques de l'azote et du carbone. Parallèlement, une analyse en chromatographie en phase gazeuse permet de connaître les quantités en azote et en carbone de chaque échantillon.

Le gain de biomasse des élevages est déterminé une fois par mois après des échantillonnages réalisés dans chaque bassin. L'étude parallèle des rapports isotopiques des poissons permettra de déterminer l'origine du carbone et de l'azote (aliment ou faune naturelle) assimilée par les différentes configurations d'élevage.

De plus, un dénombrement, une estimation de la biomasse et de la productivité secondaire des animaux dominant les biocénoses sont effectués. Pour cela un suivi qualitatif et quantitatif des espèces macrofauniques benthiques est réalisé. Il devrait permettre de connaître l'évolution pondérale et structurale des populations soumises à différents taux de prédation. Avec le rapport isotopique des principales espèces, le rôle joué par ce compartiment dans le devenir de l'aliment pourra être estimé.

3.3.2. Impact des apports organiques sur le sédiment

L'impact des apports organiques sur le sédiment a été estimé en comparant l'évolution de chacun des huit bassins de terre sur trois campagnes réalisées en début, en milieu et en fin d'élevage.

On détermine les paramètres suivants : la teneur en eau et la perte au feu, la concentration en carbone organique particulaire et en azote particulaire, la concentration en sels nutritifs des eaux interstitielles et de l'ammonium échangeable, la teneur en chlorophylle a phytobenthique et le potentiel redox.

Par ailleurs, des "cycles cloches" ont été réalisés afin de déterminer l'impact des apports organiques sur les flux de sels nutritifs et la production primaire à l'interface eau-sédiment. La production primaire et les flux des sels nutritifs sont estimés en comparant l'évolution des concentrations en oxygène dissous, en chlorophylle a, en phéopigments et en sels nutritifs à l'aide d'enceintes (cloches en Plexiglas) transparentes en contact avec le sédiment CTEC ou non CTSC et d'enceintes noires en contact avec le sédiment CNEC ou non CNSC et ceci au cours d'un cycle de 24 heures. Parallèlement, les concentrations en sels nutritifs et en ammonium échangeable de l'eau interstitielle du sédiment sur lequel reposent les enceintes sont déterminées. Quatre enceintes, une sombre en contact avec le sédiment, une sombre isolée du sédiment, une claire en contact avec le sédiment, une claire isolée du

sédiment sont placées dans chaque bassin étudié. Les paramètres indiqués dans le tableau 1 sont estimés.

Tableau 1 : Facteurs déterminés lors des expérimentations "cloches"

| N° | Facteur à déterminer | Méthodologie |
|----|---|--|
| 1 | Respiration dans la colonne d'eau | Suivi du taux de O ₂ dans la CNSC |
| 2 | Production nette phytoplanctonique | Suivi du taux de O ₂ dans la CTSC |
| 3 | Production phytoplanctonique (O ₂) | (2)-(1) |
| 4 | Respiration colonne d'eau + sédiment | Suivi du taux de O ₂ dans la CNEC |
| 5 | Production nette colonne d'eau + sédiment (O ₂) | Suivi du taux de O ₂ dans la CTEC |
| 6 | Production phytobenthique (O ₂) | (5)+(4)-(3) |
| 7 | Flux régénérés de sels nutritifs dans la colonne d'eau | Suivi des sels nutritifs dans la CNSC |
| 8 | Flux nets de sels nutritifs dans la colonne d'eau | Suivi des sels nutritifs dans la CTSC |
| 9 | Absorption phytoplanctonique de sels nutritifs | (8)+(7) |
| 10 | Flux régénérés de sels nutritifs dans colonne d'eau + sédiment | Suivi des sels nutritifs dans la CNEC |
| 11 | Flux nets de sels nutritifs dans colonne d'eau + sédiment | Suivi des sels nutritifs dans la CTEC |
| 12 | Absorption phytoplanctonique + phytobenthique de sels nutritifs | (10)+(11) |
| 13 | Absorption phytobenthique de sels nutritifs | (12)-(9) |
| 14 | Flux de sels nutritifs à l'interface eau-sédiment | (10)-(7) |

3.3.3. Impact des apports organiques sur l'activité des micro-organismes

L'impact des apports organiques sur l'activité microbienne est étudié par M. J. Garet (CREMA).

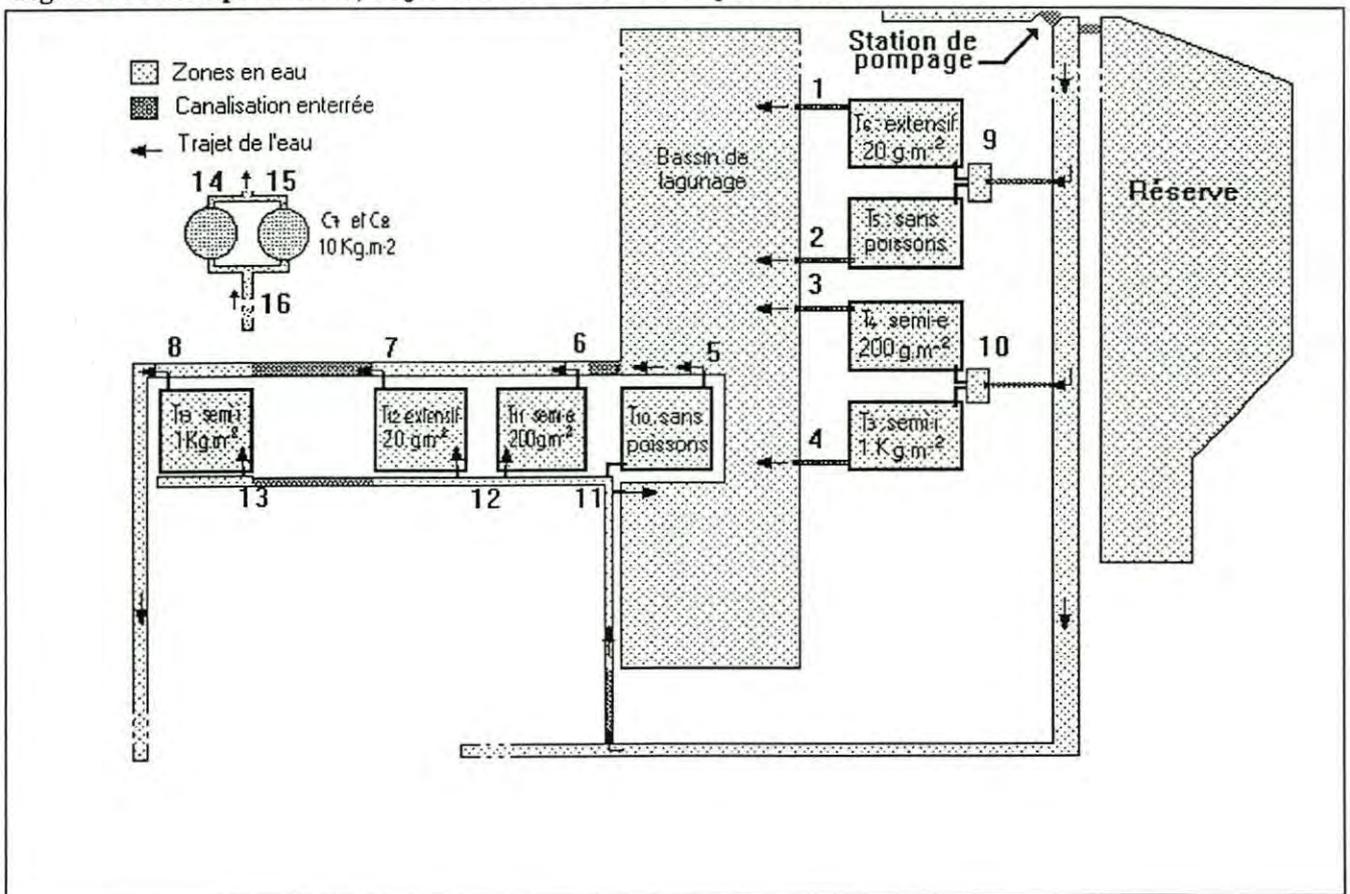
Il s'agit de comparer l'activité exoprotéolytique des bactéries de la colonne d'eau et du sédiment soumis à des apports organiques différents (charges différentes) et de réaliser en parallèle des comptages bactériens. Cette étude est effectuée dans trois bassins (un bassin témoin, un semi-extensif, un semi-intensif).

1. SUPPORT LOGISTIQUE

1.1. BASSINS D'ELEVAGE ET INSTALLATIONS

Les expérimentations sont réalisées dans huit bassins de terre de 500 m² chacun (bassins T3 à T6 et T10 à T13) et dans deux bacs polyester de 10 m³ (C7 et C8) situés dans un hall d'aquaculture (fig. 2). La hauteur d'eau utile des dix unités est de un mètre. Les bassins de terre sont recouverts par des filets pour éviter toute prédation par les oiseaux.

Figure 2 : Site expérimental, trajet de l'eau et stations de prélèvement



Les huit bassins de terre sont regroupés en deux séries topographiquement distinctes de quatre unités. La première série (T3, T4, T5, T6) a subi l'assec hivernal puis un curage en mars. L'autre série a été creusée (T11, T12, T13) entre février et avril.

1.2. GESTION HYDRAULIQUE DES BASSINS ET AERATION MECANIQUE NOCTURNE

L'eau de mer arrive dans les bassins par l'intermédiaire d'un canal depuis une réserve d'environ 10000 m³ (fig. 2). Elle se remplit lors de la pleine mer, soit par gravité et pompage lors des vives eaux, soit par pompage lors des mortes eaux.

L'eau des bassins de terre est renouvelée quotidiennement à 20 % ou 30 % du volume total. L'opération est effectuée en une fois à l'aide de bondons amovibles ou de moines. Les niveaux d'eau dans chaque bassin sont abaissés à une hauteur correspondant au volume d'eau à échanger. Après la vidange, les bassins sont remplis jusqu'à leur hauteur nominale. Le volume d'eau entrant est égal au volume d'eau sortant.

Pour limiter les risques d'anoxie dans les bassins de terre, on utilise des aérateurs mécaniques en période nocturne. La mise en place d'une telle pratique pose un problème d'un point de vue expérimental. Elle provoque une agitation et donc une perturbation de la couche superficielle du sédiment et modifie ainsi la turbidité de la colonne d'eau et les caractéristiques de l'interface eau-sédiment. C'est donc un facteur supplémentaire de variation. Mais elle s'est avérée parfois nécessaire au cours de l'été en raison d'un taux d'oxygène trop faible le matin et ceci malgré un renouvellement à 30 %. Des aérateurs Sagnier, peu perturbants, sont utilisés dans ce cas. La première aération a eu lieu le 13 août sur 6 bassins (T3, T4, T6, T11, T12, T13). L'utilisation des aérateurs a été limitée au strict minimum.

Le renouvellement des bassins circulaires est continu au taux horaire de 10 %. L'eau d'alimentation est épurée par des filtres à sable. Les bassins sont aérés en permanence avec un diffuseur aquacole (environ 2 m³.h⁻¹).

2. LE SUPPORT BIOLOGIQUE

L'espèce choisie comme modèle expérimental est le bar *Dicentrarchus labrax* appelée loup en Méditerranée. Actuellement, le bar est la principale espèce élevée en marais selon des techniques semi-intensives.

2.1 STRATEGIE EXPERIMENTALE

L'objectif du programme étant de modéliser les échanges de matière en fonction des biomasses de poissons en élevage, un nombre de poisson permettant d'obtenir une densité caractéristique d'un type d'aquaculture donnée a été lâché dans chaque bassin. Les bassins T5 et T10 ont constitué le duplicat "référence sans poisson". Les bassins T6 et T12 correspondent au duplicat "élevage extensif". les poissons n'y sont pas nourris. Dans le duplicat "élevage semi-extensif" (bassins T4 et T11), les poissons sont nourris. Les bassins T3 et T13 constituent le duplicat "élevage semi-intensif", les poissons y sont nourris. Dans le duplicat "référence intensif" (bassins C7 et C8), les poissons sont nourris.

Le poids moyen lors de l'introduction des poissons était de 27,53 gramme pour un écart-type de 6,94 g et un coefficient de variation de 25,22 % (Vernier, 1993). Il a été calculé sur un échantillon de 301 poissons provenant d'une population d'environ 12000 poissons. La charge finale a été estimée en tenant compte d'une mortalité moyenne, et d'un poids final calculé à partir d'une courbe de croissance d'un lot de bars établie en 1990-91 (Le Moine *et al*, 1991). La densité initiale, la charge finale espérée, et la charge finale réelle sont indiquées tableau 2.

Tableau 2 : Charges initiale et finale des bassins d'élevage en g.m⁻²

| Elevages | Bassin | Charge initiale | Charge finale estimée | Charge finale réelle |
|----------------|--------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| Intensifs | C7 | 2331,80 | 10000 | 8685,2 |
| | C8 | 2318,0 | 10000 | 7933,1 |
| Semi-intensifs | T3 | 247,90 | 1000 | 710,6 |
| | T13 | 250,40 | 1000 | 670,5 |
| Semi-extensifs | T4 | 50,00 | 200 | 140,9 |
| | T11 | 53,40 | 200 | 180,6 |
| Extensifs | T6 | 9,23 | 20 | 8,5 |
| | T12 | 9,42 | 20 | 8,8 |
| Référence | T5 | 0,00 | 0 | 0 |
| | T10 | 0,00 | 0 | 0 |

2.2. ALIMENTATION DES ELEVAGES

Pour connaître le devenir de l'aliment dans l'écosystème, les poissons sont nourris avec un aliment marqué isotopiquement. Cet aliment a été réalisé par le laboratoire de nutrition d'Ifremer Brest et Aqualim selon une formulation de J. Guillaume. Le marquage est réalisé par ajout à l'aliment de 30 % en poids de levures ayant des rapports isotopiques en ¹³C/¹²C du carbone et en ¹⁵N/¹⁴N de l'azote organiques différents de ceux des organismes marins.

La ration théorique a été calculée à partir d'une table de rationnement (Le Moine *et al*, 1991) en fonction des densités en élevage, du poids moyen des poissons et de la température de l'eau. L'aliment est distribué à la main, à la demande et en trois repas par jour pour les bassins de terre, et en continu sur 12 heures grâce à un tapis roulant pour les bassins intensifs. Les quantités réelles distribuées sont indiquées tableau 3.

3. ECHANTILLONNAGES ET TECHNIQUES DE PRELEVEMENT

3.1. CALENDRIER DES INTERVENTIONS

3.1.1. Colonne d'eau

Les paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau des bassins de terre, des bassins intensifs et du canal d'alimentation en eau sont mesurés comme suit :

La température et l'oxygène sont relevés deux heures après le levé du soleil (minimum théorique) et en fin de journée. Le pH est mesuré le soir à 17 heures après le dernier repas lorsque sa valeur est la plus forte et le matin les jours de prélèvement. La salinité est relevée tous les neuf jours.

Pour les bassins de terre, les échantillonnages de la colonne d'eau ont lieu tous les trois jours et concernent les sels nutritifs, la chlorophylle a et les phéopigments, les matières en suspension, le carbone organique et de l'azote particulaires. Ils sont complétés, tous les 9 jours, par des analyses de peptides et une estimation de la biomasse zooplanctonique.

Tableau 3 : Moyenne des quantités mensuelles d'aliment distribué par bassin en g.m⁻².jour⁻¹

| Bassins | mai | juin | juil | août | sept | oct |
|---------|-------|-------|--------|--------|-------|------|
| C7 | 20,24 | 75,88 | 105,71 | 120,83 | 101,4 | 64,1 |
| C8 | 20,69 | 77,28 | 105,71 | 120,83 | 101,4 | 62,3 |
| T3 | 2,19 | 4,95 | 7,19 | 8,00 | 6,54 | 4,05 |
| T13 | 2,18 | 5,62 | 6,74 | 8,49 | 6,39 | 4,84 |
| T4 | 0,44 | 1,05 | 1,45 | 1,78 | 1,40 | 0,95 |
| T11 | 0,46 | 1,15 | 1,53 | 1,96 | 1,52 | 0,68 |

Pour les élevages intensifs, un pas de 9 jours a été adopté pour le suivi. La biomasse zooplanctonique n'a pas été étudiée en raison de la préfiltration de l'eau d'alimentation du hall d'aquaculture.

3.1.2. Sédiment

Les paramètres du sédiment (potentiel redox, teneur en eau, matière organique, nutriments de l'eau interstitielle) sont mesurés au cours de trois campagnes : l'état 0, l'état intermédiaire et l'état final. Les prélèvements macrofauniques sont effectués toutes les cinq semaines.

3.1.3. Cycles "cloches"

Pour l'étude de la production primaire et des flux de sels nutritifs à l'interface eau-sédiment, un cycle de 24 heures (cycle "cloches") a eu lieu tous les mois dans trois bassins servant de support à ces expérimentations : le semi-intensif T3, le semi-extensif T4 et le référence T5.

3.1.4. Devenir de l'aliment

Des prélèvements de faune naturelle et des échantillonnages de bars ont aussi eu lieu tous les mois afin de connaître le devenir de l'aliment (marqué isotopiquement). Les bars échantillonnés permettent d'estimer la croissance des élevages.

3.1.5. Résumé des principales interventions

Le tableau 4 résume les différentes interventions réalisées sur les bassins en cours de saison. Le suivi du milieu a débuté le 06 mai dans les bassins de terre et le 27 mai dans les bacs intensifs.

3.2. METHODES D'ECHANTILLONNAGE ET STATIONS DE PRELEVEMENT

3.2.1. La colonne d'eau

3.2.1.1. Les bassins de terre

Pour les bilans, les prélèvements sont effectués, lors du renouvellement en eau des bassins, à 10 cm de profondeur dans les flux sortants et entrants. Les stations de prélèvement sont numérotées de 1 à 13 figure 2. On prélève au bout de dix minutes après le début de la vidange (stations 1 à 8) et du remplissage (stations 9 à 13), dans des flacons de deux litres préalablement rincés 3 fois avec l'eau à échantillonner. Des seaux de dix litres sont utilisés dans les mêmes conditions pour le prélèvement du zooplancton.

Tableau 4 : principales interventions réalisées dans les bassins

| Date | Interventions |
|------------------|--|
| 19 avril | mise en varanguage des bassins de terre, |
| 26 avril | mise en eau des bassins de terre, |
| 3 mai | état 0 du sédiment et échantillonnage de la macrofaune, |
| 6 mai | lâché des poissons dans les bassins et premiers prélèvements d'eau des bassins de terre pour analyses, |
| 10 mai | début du nourrissage |
| 11, 12 mai | premier cycle "cloches", |
| 27 mai | début des prélèvements dans les élevages intensifs |
| 1 au 4 juin | échantillonnage des poissons, |
| 14, 17 juin | prélèvement de faune naturelle pour analyse isotopique, |
| 17 juin | échantillonnage de la macrofaune, |
| 18, 19 juin | deuxième cycle "cloches", |
| 6 au 9 juillet | échantillonnage des poissons, |
| 18 juillet | passage des renouvellements à 30%, |
| 21 juillet | état intermédiaire du sédiment et échantillonnage de la macrofaune, |
| 22 juillet | prélèvement de faune naturelle pour analyse isotopique, |
| 2, 3, 4 août | échantillonnage des poissons, |
| 18, 19 août | troisième cycle "cloches", |
| 3 septembre | échantillonnage de la macrofaune, |
| 6 au 9 septembre | échantillonnage des poissons, |
| 16, 17 septembre | prélèvement de faune naturelle pour analyse isotopique, |
| 8 octobre | état final du sédiment, |
| 10 octobre | fin du nourrissage |
| 11 au 14 octobre | pêche finale, |
| 18 octobre | mise en assec des bassins. |

3.2.1.2. Les bassins intensifs

Le renouvellement en eau de ces bassins étant continu et constant, un prélèvement ponctuel n'est pas représentatif de la qualité moyenne de l'eau. Dans ces conditions, il a été nécessaire d'effectuer pour chaque échantillonnage un cycle de prélèvement de 24 heures à l'aide de préleveurs automatiques (un préleveur pour l'eau d'entrée des deux bassins et un préleveur pour chaque sortie – stations 14 à 16, fig. 2). Un échantillon moyen est ensuite obtenu à partir des 24 prélèvements.

Une partie des matières particulaires se concentre et s'accumule dans la tuyauterie de vidange. Afin de comptabiliser ces matières particulaires, une purge est réalisée après le cycle de 24 heures et les matières particulaires qu'elle contient sont estimées et réintégrées dans les bilans.

3.2.2. Carottage du sédiment

Six stations d'échantillonnage réparties selon un quadrillage régulier ont été déterminées dans chacun des huit bassins. Lors des campagnes d'échantillonnages de sédiment, trois prélèvements ont été réalisés à chacune de ces quarante-huit stations. Ils ont été réalisés à l'aide d'un carottier en PVC permettant d'obtenir des carottes de 120 mm de diamètre et de 18 cm de longueur.

La première des trois carottes est attribuée à la macrofaune ; elle est fixée dans une solution de 180 ml de formol à 30 % tamponnée au borate de sodium (75 g.l⁻¹), colorée au rose bengale (0,1 g.l⁻¹) et utilisée à 10 % du volume de l'échantillon.

La seconde carotte est découpée en quatre fractions [0-1 cm], [1-2 cm], [2-4 cm], [4-6 cm]. Sur chacune des strates, les paramètres suivants ont été estimés : teneur en eau, teneur en matière organique (perte au feu), teneur en carbone particulaire. Une estimation de la teneur en chlorophylle a phytobenthique est aussi effectuée sur la fraction [0-1 cm].

La troisième carotte est aussi coupée en quatre strates sur lesquelles sont évalués les paramètres suivants : les sels nutritifs de l'eau interstitielle et l'ammonium échangeable.

3.2.3. Prélèvements lors du cycle "cloches"

Des enceintes, quatre par bassin, sont immergées et posées sur le sédiment des trois bassins T3 (semi-intensif), T4 (semi-extensif) et T5 (référence - fig. 2). Chaque enceinte est munie d'un ensemble pompe et tuyauterie de 10 m de longueur permettant d'entretenir, en circuit fermé, un léger mouvement d'eau dans la cloche. Ce circuit fermé est équipé d'un robinet permettant d'effectuer à partir de la berge des prélèvements d'eau dans la cloche. Lors des cycles, des échantillons d'eau sont prélevés directement, toutes les trois heures, et ceci pendant 24 heures. Les prélèvements sont effectués dans des flacons Winkler de 50 ml pour le dosage chimique de l'oxygène (cf § 4.1.2) et dans des bidons de 100 ml pour l'analyse des sels nutritifs (cf § 4.1.3), de la chlorophylle a et des phéopigments (cf § 4.1.7).

En fin de cycle, on effectue trois carottages par bassin (cf § 3.2.2). Sur chaque carotte, on étudiera les paramètres suivants : carbone organique et azote particulaires, sels nutritifs de l'eau interstitielle et ammonium échangeable, teneur en eau et matière organique (perte au feu), chlorophylle a phytobenthique.

3.2.4. la faune naturelle et les poissons d'élevage

Ils sont effectués à la senne pour les poissons. Une trentaine de poissons sont prélevés, puis pesés pour établir les courbes de croissance. Sur cinq d'entre-deux, les filets sont levés et ensuite congelés.

La faune naturelle est prélevée à l'aide d'un carottier pour les espèces benthiques et à l'épuisette pour les autres. Les animaux récupérés sont triés par groupe spécifique et congelés *in toto* en attendant l'analyse au spectromètre de masse.

4. MATERIEL ET METHODES D'ANALYSE

4.1. ETUDE LA COLONNE D'EAU

4.1.2. Les paramètres physico-chimiques

L'oxygène

Les relevés quotidiens se font *in situ* à 50 cm de profondeur à l'aide d'un oxymètre de terrain YSI 58. Pour estimer la production primaire des bassins lors des cycles "cloches", l'oxygène est dosé par méthode chimique. Il s'agit de la méthode de Winkler optimisée par Carpenter (1966) est décrite par Aminot et Chaussepied (1983).

La température

Elle est donnée *in situ* par le thermomètre de l'oxymètre à 50 cm de la surface.

Le pH

Le pH est suivi par une méthode électrochimique avec électrode de verre (pH-mètre KNICK à microprocesseur 763) après une calibration quotidienne avec des tampons 7 et 10.

La salinité

Elle est relevée avec un conductinomètre-salinomètre Kent eil 5005.

4.1.3. Analyse des sels nutritifs

On filtre sous vide partiel 100 ml d'eau échantillonnée sur membrane Whatman GF/C (porosité : 1,2 μm) de 47 mm de diamètre préalablement calcinée. La dépression ne doit pas être supérieure à 0,7 bars afin d'éviter toute lyse du matériel cellulaire. Les premiers ml de filtrat sont rejetés pour éviter tout relargage du filtre. La récupération du filtrat se fait dans un flacon en polypropylène préalablement rincé par celui-ci. L'échantillon est ensuite congelé à -17°C pour un dosage ultérieur.

Le dosage des sels nutritifs est réalisé sur une chaîne d'auto-analyse à flux continu Skalar ou Technicon, selon Strickland et Parsons (1972). L'échantillon est injecté dans un flux liquide qui est segmenté par des bulles d'air et les différents réactifs sont ajoutés à des intervalles bien définis. Les réactions chimiques s'effectuent après mélanges, dilution, minéralisation, réduction et sont mesurées par colorimétrie. Les détails techniques sont donnés par Philippon (1993).

L'autoanalyseur Skalar permet de doser simultanément les nitrites, les nitrates, l'ammonium, l'urée, le phosphate, le silicate, l'azote organique dissous, ainsi que le phosphore organique dissous. Le Technicon, quant à lui, dose les nitrates, les nitrites, l'urée, l'ammonium et le phosphate.

4.1.4. Dosage des acides aminés combinés dissous (DCAA) et des acides aminés libres dissous (DFAA)

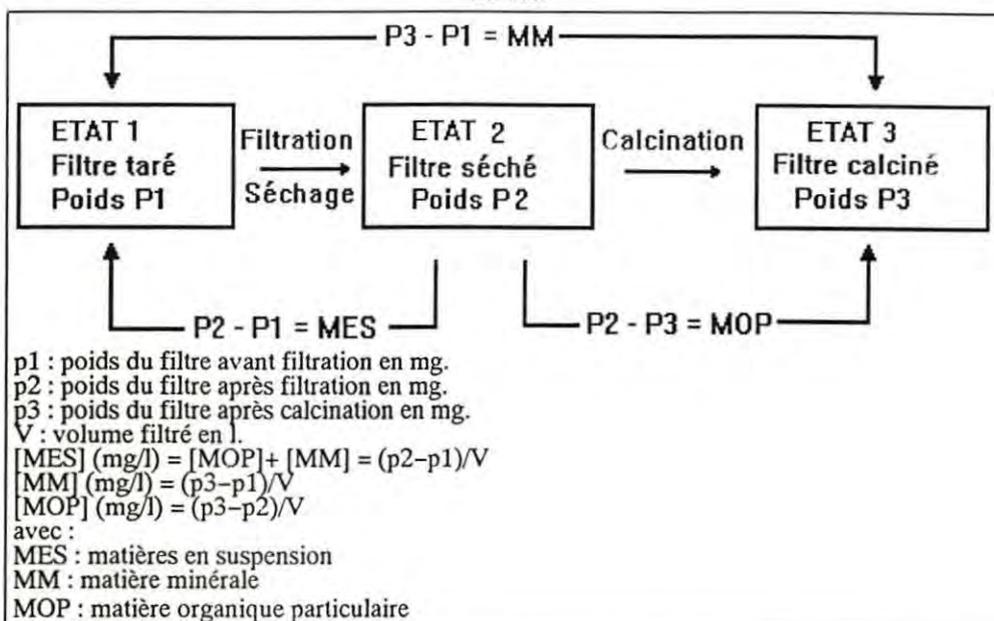
Les prélèvements d'eau sont filtrés, par gravité, sur membrane Whatman GF/F en fibre de verre calcinée, à l'aide d'une seringue munie d'un dispositif de filtration. Pour réduire toute contamination des échantillons, les seringues et le dispositif de filtration sont préalablement lavés avec du mucapur et traités à l'eau oxygénée à 30 % pendant 10 heures puis rincés deux fois à l'eau distillée et une fois à l'alcool. Le filtrat est séparé en deux fractions dans des flacons en verre, lavés et calcinés. Les échantillons sont congelés à -17°C pour des analyses différées. Une fraction servira au dosage de l'azote organique dissous sur l'autoanalyseur Skalar (cf § 4.1.3) et l'autre au dosage des DFAA et des DCAA par chromatographie liquide haute performance CLHP (dosage des amines primaires uniquement) selon la méthode testée par Delmas *et al* (1989). Les analyses par CLHP sont réalisées avant et après une hydrolyse acide.

Le dosage des amines primaires dissoutes est réalisé par D.Delmas au moyen d'un système d'analyse en flux continu (Petty *et al*, 1982). Il s'agit d'une analyse globale des acides aminés dissous libres, donc non séparative, par CLHP utilisant comme marqueur fluorescent de l'o-phthaldialdéhyde (OPA). Pour cela, on utilise l'équipement chromatographique dont la colonne d'analyse est remplacée par un tube de Téflon. Les résultats sont comparables à ceux obtenus par HPLC (Delmas *et al*, 1989) mais l'analyse est plus rapide (1 mn au lieu de 40 mn) et permet donc de traiter un plus grand nombre d'échantillons.

4.1.5. Dosage des matières en suspension et de la matière organique particulaire

La méthode consiste à filtrer les échantillons sur membrane afin de retenir toutes les particules ayant une taille comprise entre 1,2 et 50 μm . Le traitement des filtres s'effectue selon le schéma de la figure 3.

Figure 3 : Dosage des matières en suspension dans la colonne d'eau par perte au feu



Après une pré-filtration à 50 μm (cette opération permet d'éliminer les grosses particules sestoniques et les débris végétaux), l'échantillon de 100 à 750 ml est filtré sous vide partiel sur membrane Whatman GF/C (porosité : 1,2 μm) de 47 mm de diamètre. Les membranes sont préalablement calcinées au four à moufle à 450°C pendant 4 à 5 h, puis pesées et numérotées. Afin d'éliminer le sel, source d'erreur par excès (Aminot et Chaussepied, 1983), les filtres sont rincés au formiate d'ammonium isotonique à l'eau de mer.

Les filtres sont séchés à l'étuve à 65°C pendant 24 heures. Ils sont mis à refroidir au dessiccateur puis pesés sur une balance au 1/100 de mg. Ensuite une calcination dans un four à moufle à 450°C pendant 5 heures permet d'éliminer toute trace de matière organique. On laisse refroidir au dessiccateur pendant 24 h, puis on pèse de nouveau.

4.1.6. Dosage du carbone organique particulaire et de l'azote particulaire

L'eau à analyser (de 50 à 100 ml) est préfiltrée sur maille de 50 μm puis filtrée sous vide partiel sur membrane Whatman GF/C de 25 mm de diamètre calcinée. Les filtres sont ensuite congelés à -17°C pour une analyse ultérieure.

Après décongélation, le filtre est placé dans un dessiccateur sous vapeur d'acide chlorhydrique pendant 8 heures pour éliminer le carbone d'origine minérale. Les filtres sont laissés 12 heures dans un dessiccateur afin d'éliminer l'eau d'hydrolyse et les vapeurs d'HCl. Les échantillons sont ensuite analysés en chromatographie en phase gazeuse (CN-Analyser Carlo Erba) afin de doser le carbone et l'azote en utilisant l'acétanilide comme standard. Les dosages sont réalisés par L. Joassard.

4.1.7. Dosage de la chlorophylle a et des phéopigments

La méthode consiste à mesurer la fluorescence (Holm-Hansen *et al*, 1965 in Aminot et Chaussepied, 1983 ; Lorenzen, 1966 in Aminot et Chaussepied, 1983) par un fluorimètre Turner 112 avant et après l'acidification d'un extrait méthanolique de pigments. Ce traitement acide entraîne la dégradation de la chlorophylle a en phéopigments. La fluorescence avant acidification provient du mélange initial [chlorophylle a] + [phéopigments]. La fluorescence après acidification est liée uniquement à la présence

des phéopigments (phéopigments initiaux + phéopigments issus de la dégradation des chlorophylle a). La comparaison entre les deux permet de déterminer la concentration en chlorophylle a et en phéopigments. Les courbes d'étalonnage ont été réalisées à partir de chlorophylle a pure sigma. La concentration de la solution étalon de chlorophylle a a été déterminée au spectrophotomètre.

Les échantillons (de 20 à 50 ml) sont préfiltrés sur une membrane de 50 μm afin d'éliminer tout débris végétal puis filtrés sous vide partiel sur membrane Whatman GF/C de 25 mm de diamètre calcinée. Ils sont fixés par 1 ml de carbonate de magnésium MgCO_3 à 1 % puis congelés à -17°C .

Après décongélation, les filtres sont placés dans 9 ml de méthanol (solvant d'extraction) puis broyés. On laisse l'extraction se poursuivre pendant 2 heures à l'obscurité et à température ambiante. L'extrait est centrifugé à 4000-5000 tr.mn^{-1} pendant 5 mn.

La lecture au fluorimètre du surnageant est ensuite réalisée avant acidification et deux minutes après addition d'acide chlorhydrique 0,3 N.

Les concentrations en chlorophylle a et en phéopigments sont calculées à l'aide des équations suivantes :

$$[\text{Chloro a}] (\mu\text{g.l}^{-1}) = (F - F_a) / (K_O - K_A) \times (v/V)$$
$$\text{Phéo a} (\mu\text{g.l}^{-1}) = [(K_O \times F_a) - (K_A \times F)] / [K_A \times (K_O - K_A)] \times (v/V) \times 0,95$$

avec :

K_O : coefficient directeur avant acidification,

K_A : coefficient directeur après acidification,

F : fluorescence avant acidification,

F_a : fluorescence après acidification,

v : volume de l'extrait méthanolique,

V : volume filtré.

4.1.8. Estimation de la biomasse zooplanctonique et de la fraction supérieure à 190 μm

La méthode consiste à filtrer, à peser avant et après calcination la biomasse comprise entre 50 et 190 μm (zooplancton) et la biomasse supérieure à 190 μm , afin de déterminer le poids sec sans cendre PSSC.

Environ 10 litres d'échantillon sont filtrés sur une colonne de tamisage comprenant une maille de 190 μm et une de 50 μm . Le volume filtré est noté précisément. Les refus de tamis sont récupérés sur membranes filtrantes GF/C de 47 mm de diamètre (filtration sous vide partiel).

Les membranes sont séchées à l'étuve pendant 24 heures puis pesées au 1/100 de mg près. Après calcination au four à moufle à 450°C pendant 5 heures, elles sont pesées une seconde fois. Entre chaque opération, les membranes sont placées 24 heures au dessiccateur.

Le poids sec sans cendre est déterminé par l'équation suivante :

$$\text{PSSC} (\text{mg.l}^{-1}) = (p_1 - p_2) / V$$

avec :

p_1 : poids du creuset après séchage en mg,

p_2 : poids du creuset après calcination en mg,

V : volume filtré.

4.2. ETUDE DU SEDIMENT

4.2.1. Teneur en eau et perte au feu du sédiment

Après décongélation et homogénéisation, le sédiment est déposé dans un creuset préalablement taré (p_1) et numéroté. Suite à une pesée (p_2), l'échantillon est séché à l'étuve à 65°C pendant environ une

semaine. Une pesée est effectuée avant (p3) et après (p4) un passage de 5 heures à 450°C au four à moufle. La teneur en eau (TE) et la perte au feu sont calculées à l'aide des équations suivantes :

$$TE (\%) = ((p2-p3)/(p2-p1)) \times 100$$

$$\text{Perte au feu } (\%) = ((p3-p4)/(p3-p1)) \times 100$$

4.2.2. Analyse des sels nutritifs des eaux interstitielles et de l'ammonium échangeable

Après décongélation et homogénéisation, les échantillons (150 g de sédiment) sont centrifugés à 2000 g pendant 15 minutes. Le surnageant est filtré sous vide partiel sur membrane Whatman GF/C de 47 mm de diamètre calcinée. Les échantillons sont congelés dans des flacons en polypropylène pour des analyses ultérieures des sels nutritifs (cf § 4.1.3).

Après homogénéisation du culot, 40 grammes sont additionnés à 40 ml d'une solution de chlorure de potassium normale et mélangés par un agitateur rotatif pendant 30 minutes. Une centrifugation à 2400 g pendant 15 minutes fait suite et le surnageant est filtré sur membrane Whatman GF/C calcinée par un dispositif seringue en verre/swinnex millipore de 47 mm. Le filtrat est congelé à -17°C pour déterminer sa concentration en ammonium échangeable sur l'autoanalyseur Skalar (cf § 4.1.3).

Parallèlement, on détermine la teneur en eau exacte du sédiment "frais" et du culot.

4.2.3. Analyse du carbone organique particulaire et de l'azote particulaire du sédiment

Après décongélation, le sédiment est séché, broyé, pesé puis décarbonaté sous vapeur d'acide chlorhydrique au dessiccateur pendant 8 heures. Les échantillons sont ensuite séchés à l'étuve à 70°C pendant 24 heures et refroidis au dessiccateur pendant le même temps.

Ils sont ensuite analysés en chromatographie en phase gazeuse (CN-Analyser Carlo Erba).

4.2.4. Analyse de la chlorophylle a et des phéopigments benthiques

les échantillons de 1 ml sont placés dans un volume d'acétone à 100 % tel que la concentration finale de la solution soit égal à 90 % (M.r. Plante-Cuny, 1978 *in* Blanchard *et al*, 1988). Cette concentration finale est impérative pour éviter la dégradation de la chlorophylle a en chlorophyllide a. Les tubes sont placés à l'obscurité, à 5°C pendant 20 heures pour l'extraction des pigments. Après centrifugation et récupération du surnageant, on mesure la fluorescence au fluorimètre Turner 112 avant et après acidification (cf § 4.1.7).

4.2.5. Détermination et biomasse macrofaunique

La macrofaune benthique est triée à l'eau de forage, isohaline à l'eau de mer et exempte d'organismes macrofauniques, sur une colonne de tamisage composée de trois mailles (1000, 500, 300 µm). Les refus du tamis sont conservés dans une solution formolée.

Ces derniers sont rincés à l'eau douce et répartis en cuve dolfus, puis triés deux fois sous loupe binoculaire à des grossissements allant de 9,75 à 60. Les individus sont déterminés et dénombrés par espèces, par maille de tamis, et par échantillon unitaire puis conservés en solution formolée jusqu'à leur traitement pondéral.

Pour ce traitement, les animaux sont regroupés par espèces, par maille et par bassin. Ils sont placés dans des creusets en porcelaine réfractaire, séchés cinq à sept jours à 70°C et pesés avant et après calcination (5 heures à 650°C). Par différence, on calcule le poids sec sans cendre (PSSC).

CHAPITRE 4 : RESULTATS

Seuls sont présentés ici les résultats liés au sous programme "bilans", et en particulier l'évolution des matières particulaires et dissoutes dans les différentes configurations d'élevage.

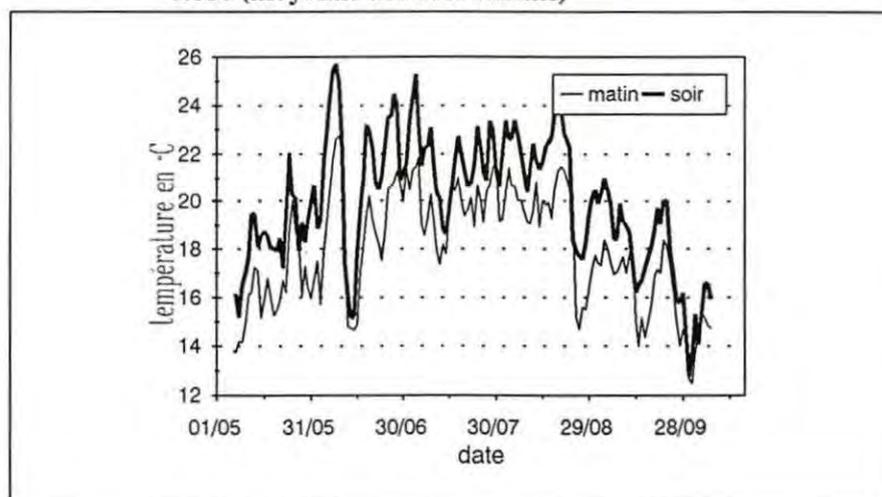
1. EVOLUTION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA COLONNE D'EAU

1.1. LA TEMPERATURE

La figure 4 montrent l'évolution des températures moyennes à mi-profondeur des bassins de terre et des bacs intensifs en début et fin de journée au cours du cycle d'élevage.

La température de la colonne d'eau a évolué de façon similaire dans tous les bassins de terre. On observe une première remontée des minima et maxima pendant le mois de juin avec un pic de 25,7°C. De mauvaises conditions climatiques associant vent fort et pluies abondantes entraînent une chute thermique de plus de 10°C en trois jours à la mi-juin. Dans les jours qui suivent, on enregistre une augmentation rapide des températures. Elles oscillent jusqu'à la mi-juillet entre 21 et 25 °C, ce qui est conforme aux normales saisonnières. Après une baisse de 4°C le 15 juillet, elles remontent et se stabilisent jusqu'à la fin août, entre 21 à 23°C, ce qui est inférieur aux normales saisonnières. On notera enfin une baisse significative courant septembre pour atteindre un minima de 12,7°C début octobre. Les conditions thermiques de septembre sont restées inférieures aux normales saisonnières.

Figure 4 : Evolution des températures de l'eau, mesurée à mi-profondeur en début et fin de journée dans les bassins de terre (moyenne des huit bassins)

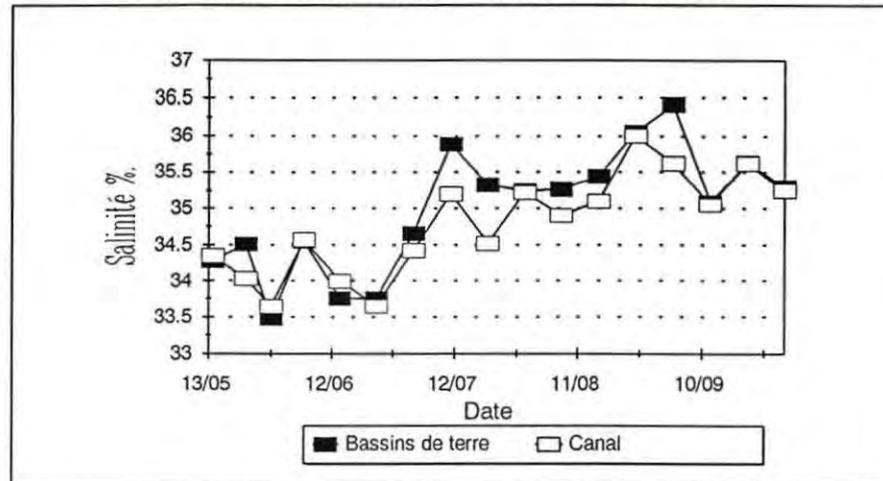


L'évolution des températures est la même dans les bassins intensifs, mais l'amplitude thermique et les moyennes journalières y sont plus faibles.

1.2 LA SALINITE

Elle présente des variations comprises entre 33,5 et 36,5 g.kg⁻¹. Elle a progressivement augmenté dans les eaux de renouvellement et dans les bassins. Il est à noter une légère baisse en fin de saison. Les valeurs rencontrées ne sont pas limitantes pour la croissance des élevages, les animaux élevés présentant une grande tolérance vis-à-vis de la salinité.

Figure 5 : Evolution de la salinité des bassins de terre (moyenne des différents bassins) et de l'eau de renouvellement



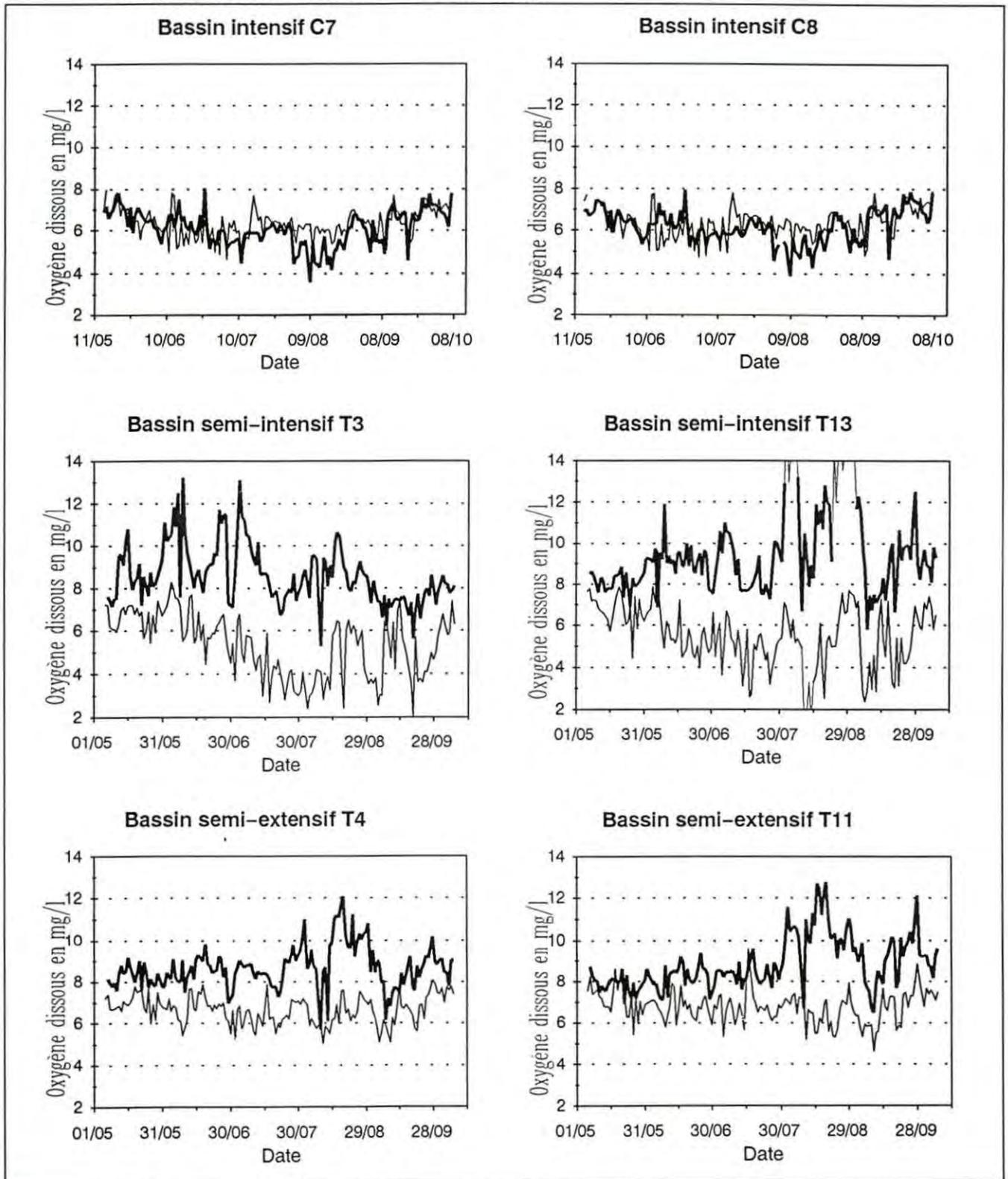
1.3. L'OXYGENE DISSOUS

Il apparaît une différence importante entre les bassins semi-intensifs et les autres bassins de terre (fig 6 et 7). Les bassins intensifs constituent un troisième groupe.

Les bassins témoins, extensifs et semi-extensifs ont une évolution similaire en début comme en fin de journée. Les concentrations déterminées le matin oscillent le plus souvent aux alentours de 7 mg.l⁻¹. Les concentrations en oxygène prises l'après midi oscillent autour de 8 mg.l⁻¹ jusqu'à la fin juillet. Les concentrations augmentent ensuite progressivement pour atteindre des valeurs comprises entre 11 et 14 mg.l⁻¹. Les bassins étaient alors sujets à un développement de macrophytes. L'arrivée de conditions dépressionnaires autour du 10 septembre explique la chute brutale du taux d'oxygène dans les bassins. Les teneurs sont toujours supérieures à 4 mg.l⁻¹ et sont favorables à une croissance optimale des poissons.

Les plus grandes amplitudes journalières des concentrations en oxygène sont observées dans les élevages semi-intensifs. Elles varient globalement entre 2 et 15 mg.l⁻¹. Il apparaît une différence importante entre les deux bassins. Une forte production d'oxygène apparaît dans le bassin T13 à partir du premier août. Les concentrations dépassent souvent 14 mg.l⁻¹ en fin d'après midi avec des taux de saturation supérieurs à 200 %. Ces forts taux d'oxygène ne sont pas liés à une production phytoplanctonique. Les bilans chlorophylliens de cette période sont faibles à nuls (fig 9). Il ne peut donc s'agir que d'une production macrophytobenthique. Cette biomasse algale est aussi responsable des faibles taux d'oxygène observés le matin. La consommation d'oxygène nocturne devenait trop importante et n'était plus compensée par les oxygénateurs. Pour éviter tout risque de mortalité dans les élevages, une opération de désalgage a été entreprise le 7 septembre. Il s'en suit une baisse significative de la production brute en oxygène dans la journée ainsi qu'une remontée du taux minimum.

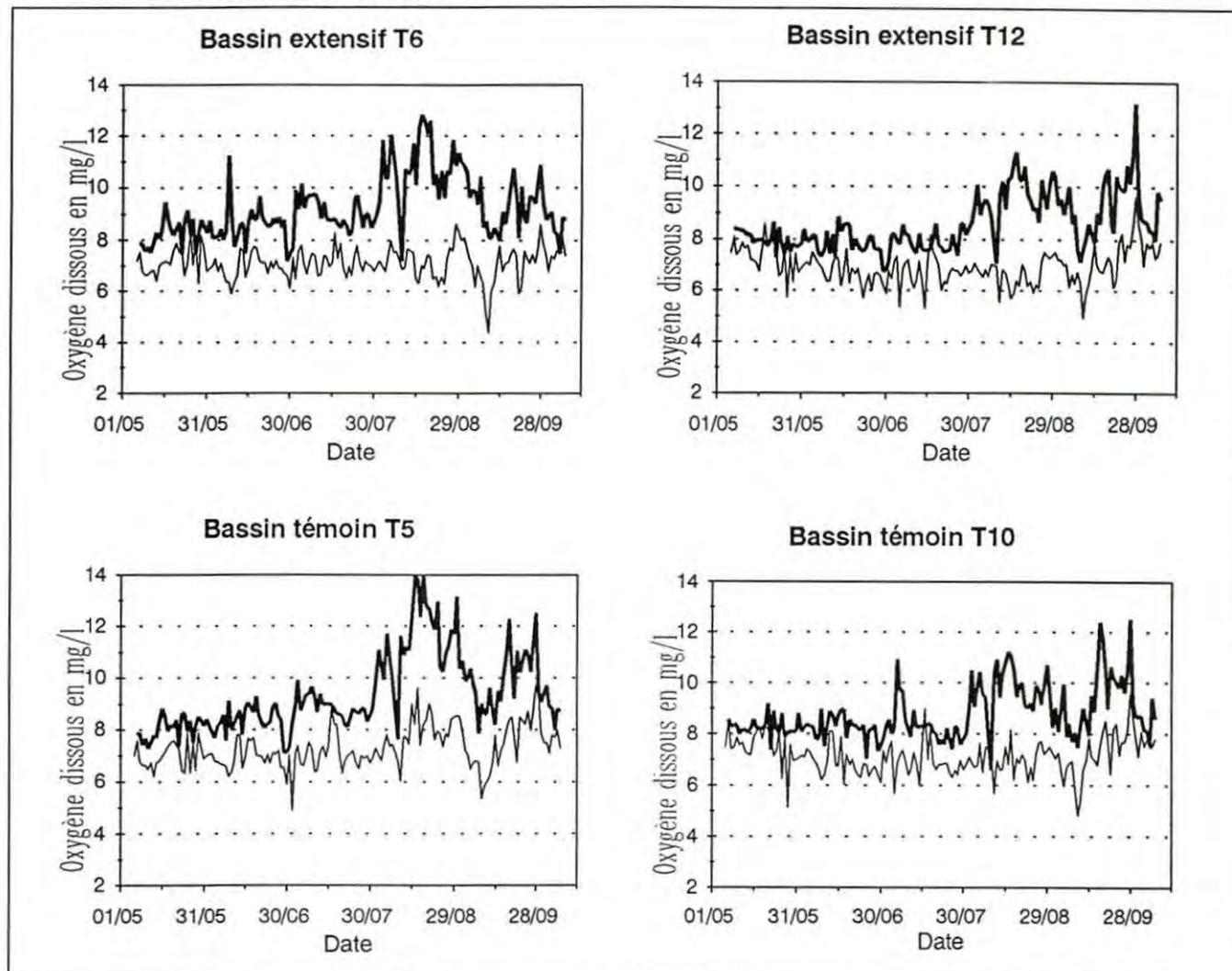
Figure 6 : Variations de l'oxygène dissous en mg.l⁻¹, mesuré en début et fin de journée à mi-profondeur.
Bassins intensifs, semi-intensifs et semi-extensifs



Les bassins intensifs montrent une évolution similaire. Les variations journalières sont faibles. Les taux d'oxygène sont compris entre 4 et 8 mg.l⁻¹ avec une moyenne située aux alentours de 6 mg.l⁻¹. Les

concentrations en oxygène varient en fonction des conditions d'oxygénation et sont peu soumises à des fluctuations d'origine biologique. Ceci est lié à l'important débit d'eau et à l'aération constante (bullage).

Figure 7 : Variations de l'oxygène dissous en mg.l⁻¹, mesuré en début et fin de journée à mi-profondeur. Bassins extensifs et références

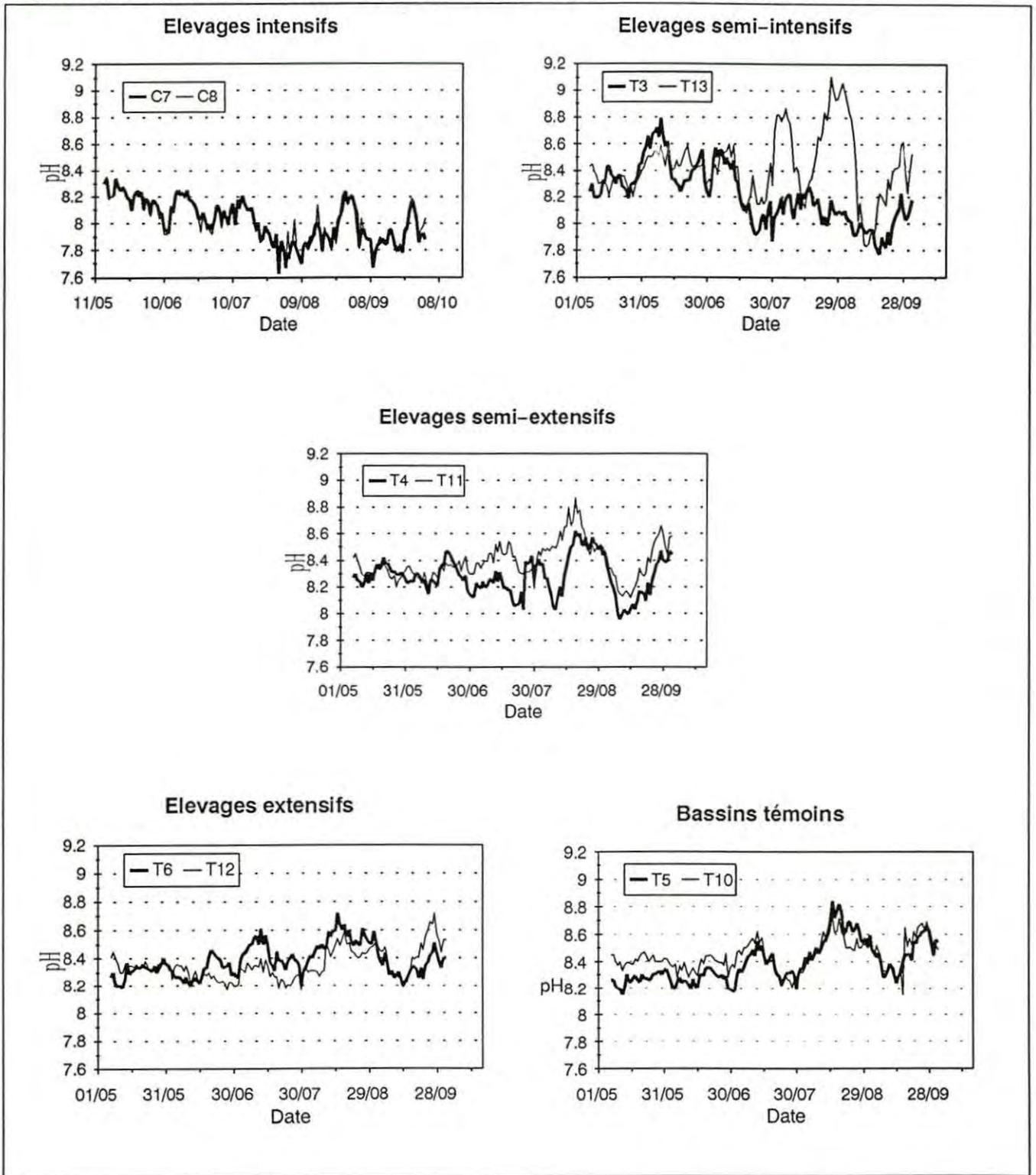


1.4. LE PH

On sait que les variations de pH sont, en milieu marin, corrélées aux variations d'activité photosynthétique. L'équilibre du système tampon gaz carbonique – carbonates – bicarbonates (Copin-Montegu, 1989) est déplacé pendant la journée par la consommation du CO₂ par le phytoplancton et les macrophytes, ce qui provoque une augmentation du pH. Le pic journalier se situe systématiquement entre 17 et 18 heures. On observe, figure 8, dans les bassins semi-intensifs pour le mois de juin une première augmentation de pH caractéristique d'un bloom phytoplanctonique. Dans les autres bassins de terre, le pH évolue de façon similaire, variant de 8,2 à 8,4 jusqu'à la fin juillet. Cette stabilité peut être due à l'absence de bloom pendant toute cette période.

On constate une augmentation du pH au mois d'août excepté dans les bacs intensifs et dans le bassin T3. Elle est à corréliser au développement des macrophytes. Le cas du bassin T13 est, comme pour l'oxygène, particulièrement remarquable.

Figure 8 : Evolution du pH, mesuré en fin de journée ; comparaison entre les duplicats



2. SUIVI DES ELEVAGES

2.1. CROISSANCE DES ELEVAGES

Pour des bassins de mêmes charges, les courbes de croissances sont similaires et ce malgré le fait que les duplicats ne soient pas situés à proximité.

Un échantillonnage de poissons est effectué sur chaque bassin après la pêche finale. Les poids des poissons en fonction du type d'élevage ont été testés à l'aide du logiciel statgraphics. On observe une différence hautement significative ($F = 294,8$; $\alpha < 0,0001$) entre trois groupes. Les élevages intensifs et semi-intensifs ont une croissance pondérale identique avec un poids moyen final de 98,7 g. Les élevages semi-intensifs atteignent un poids moyen de 88,8 g. Enfin, la croissance est très faible dans les élevages extensifs. On passe d'un poids initial de 27,5 à un poids final de 42,5 g.

Le poids moyen final et la croissance sont plus importants dans les élevages semi-extensifs que dans les élevages semi-intensifs. En bassin de terre, l'importance des proies naturelles dans l'alimentation du cheptel est non négligeable. Le taux de réplétion stomacale en proies naturelles peut atteindre jusqu'à 40 % du total (Reymond, 1989). L'augmentation de la charge diminuant la disponibilité en proies par individu, elle ne peut qu'influer négativement sur la croissance.

Tableau 5 : croissance-grossissement 1993

Données fournies par P.Villanove

| Elevages | Intensifs | | Semi-intensifs | | Semi-extensifs | | Extensifs | |
|------------------------------------|-----------|--------|----------------|-------|----------------|-------|-----------|-------|
| | C7 | C8 | T3 | T13 | T4 | T11 | T6 | T12 |
| Bassins | | | | | | | | |
| Surface (m ²) | 10 | 10 | 497 | 492 | 517 | 484 | 501 | 491 |
| Population initiale | | | | | | | | |
| Poids moyen (g) | 27,53 | 27,53 | 27,53 | 27,53 | 27,53 | 27,53 | 27,53 | 27,53 |
| Nombre mis | 847 | 842 | 4475 | 4475 | 939 | 939 | 168 | 168 |
| Mortalité au 19/05/93 | 5 | | 280 | | 65 | | 11 | |
| Pêche finale | | | | | | | | |
| Nombre | 854 | 837 | 3743 | 3977 | 732 | 885 | 93 | 109 |
| Poids moyen (g) | 101,7 | 94,78 | 94,36 | 82,95 | 99,52 | 98,75 | 46,08 | 39,56 |
| Ecart type | 20,0 | 17,0 | 22,04 | 22,4 | 20,79 | 25,9 | 8,88 | 8,55 |
| Poids mini (g) | 65,3 | 49,9 | 36,4 | 36,6 | 37,6 | 38,2 | 27,0 | 21,1 |
| Poids maxi (g) | 155 | 136 | 161 | 147 | 149 | 166 | 69,0 | 70,0 |
| survie (%) | >99 | 99,4 | 83,6 | 88,9 | 78,0 | 94,2 | 55,4 | 64,9 |
| Indice de conversion | 2,1 | 2,4 | 1,9 | 2,2 | 2,0 | 1,6 | | |
| Gain de biomasse (kg) | 63,31 | 56,15 | 237,7 | 206,3 | 48,79 | 61,54 | -0,04 | -0,31 |
| Charge finale (g.m ⁻²) | 8427,6 | 7933,1 | 710,6 | 669,7 | 140,9 | 180,6 | 8,6 | 8,8 |

2.2. SURVIE

En élevage semi-intensif de poisson en marais maritime et dans cette phase d'élevage, la norme de survie est de 90 % (Le Moine *et al*, 1990). Les bassins semi-intensifs, semi-extensifs ont des taux compris entre 78 et 94,2 %. Les taux sont donc variables d'un bassin à l'autre. Les élevages du T3 et T4 ont connu une forte mortalité sur une période de quinze jours en début d'expérimentation.

Dans les bassins extensifs, la survie est très faible (55,4 et 64,9 %). Les suivis physico-chimiques ne dénotent pas de dégradation du milieu et ne peuvent donc pas être mis en cause. Les effectifs en poisson sont sans doute trop importants par rapport à la surface des bassins et donc par rapport à la nourriture

disponible. Les poids moyens de fin de saison (46,08 et 39,46 g) confirment cette hypothèse. Ils dénotent une très faible croissance et un manque de nourriture.

2.3. CONCLUSION

Le tableau 5 résume les résultats zootechniques obtenus sur la saison de grossissement 1993 durant l'expérimentation.

La période de croissance aura duré six mois, elle est représentative d'une année moyenne (Le Moine *et al.*, 1990). En revanche, le gain de biomasse dans les élevages est inférieur aux prévisions (tab. 2). La croissance des poissons est fonction de la température et de l'alimentation (Barnabé, 1986). La température moyenne a été inférieure aux normales saisonnières en juillet, août et septembre. Elle n'a donc pas été optimale pour la croissance des élevages.

3. ECHANGES DE MATIERE AVEC L'ENVIRONNEMENT COTIER

Les résultats qui suivent présentent pour chaque bassin l'évolution des bilans quotidiens de différents éléments. Les bilans représentent la différence entre la quantité d'élément sortant d'un bassin et la quantité de l'élément apportée par l'eau entrant. Les bilans sont donc positifs lorsque les quantités d'éléments exportées sont supérieures aux quantités importées (bilan positif dans le sens de l'exportation). Les volumes d'eau échangés lors des renouvellements étant identiques, le calcul du bilan revient à faire la différence entre les concentrations de l'élément dans l'eau de sortie et dans l'eau d'entrée, et à la multiplier par le volume d'eau échangé. Les bassins n'ayant pas la même superficie, et donc pas le même volume d'échange, les bilans ont été rapportés à l'unité de surface (m^2). Le renouvellement est quotidien et réalisé en une seule fois. Le bilan calculé représente donc la quantité de matière échangée par jour.

Les prélèvements "bilans" étant réalisés tous les trois jours, des bilans entre deux prélèvements consécutifs ont été estimés en multipliant la moyenne de deux bilans consécutifs par l'intervalle de temps correspondant. Le bilan saisonnier est alors égal à la somme des bilans calculés entre deux prélèvements.

3.1. LES PARAMETRES SESTONIQUES

3.1.1. La biomasse phytoplanctonique

3.1.1.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens

Les résultats concernant la chlorophylle a se reportent à la période du 06 mai 31 août.

Les bilans journaliers (fig. 9) sont toujours proches de 0 pour les élevages semi-extensifs, extensifs, et pour les bassins témoins. Nous n'observons pas ou que très peu de développement phytoplanctonique. Les bilans varient de $-1,34 \text{ mg.m}^{-2}$ pour les valeurs les plus faibles (bassin T11) à $+1,42 \text{ mg.m}^{-2}$ pour les valeurs les plus fortes (bassin T10). Tandis que les concentrations en chlorophylle a dans les eaux de sorties varient pour les bassins semi-extensifs entre $0,55$ et $8,51 \mu\text{g.l}^{-1}$ (T4, les 28/08 et 26/06) et entre $0,27$ et $10,16 \mu\text{g.l}^{-1}$ (T11, les 25/08 et 11/06), dans les bassins extensifs, ces concentrations varient entre $0,13$ et $5,19 \mu\text{g.l}^{-1}$ (T6, les 16/08 et 05/07) et entre $0,16$ et $9,42 \mu\text{g.l}^{-1}$ (T12, les 22/08 et 24/05). Elles varient entre $0,32$ et $4,71 \mu\text{g.l}^{-1}$ dans les bassins témoins T5, et entre $0,29$ et $9,99 \mu\text{g.l}^{-1}$ dans le témoin T10 (respectivement le 28/08 et le 06/05). Quant aux valeurs moyennes de chlorophylle a obtenues sur la période, elles restent faibles dans les 6 bassins : $4,07$ et $3,22 \mu\text{g.l}^{-1}$ dans les semi-extensifs T6 et T12, $1,89$ et $3,00$ dans les témoins T5 et T10. Ces valeurs sont très proches des moyennes des teneurs sur les

eaux d'entrées qui atteignent $3,62 \mu\text{g.l}^{-1}$ (entrées T3–T4), $3,64 \mu\text{g.l}^{-1}$ (entrées T5–T6), $3,89 \mu\text{g.l}^{-1}$ (entrée T10), $4,11 \mu\text{g.l}^{-1}$ (entrées T11–T12), et $4,3 \mu\text{g.l}^{-1}$ (entrée T13).

Tableau 6 : Bilans de la chlorophylle a (Chloro) et des phéopigments (Phéo) sur la période du 06/05 au 31/08 ; des matières en suspension MES, des matières organiques particulaires MOP, des matières minérales MM sur la période du 06/05/93

| Elevages | Bassins | Chloro en $\text{mg.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ | Phéo en $\text{mg.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ | MES en $\text{g.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ | MOP en $\text{g.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ | MM en $\text{g.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ |
|----------------|---------|--|--|--|--|---------------------------------------|
| Intensifs | C7 | 0,93 | 0,63 | 87,24 | 86,82 | 0,43 |
| | C8 | 1,64 | 0,91 | 19,11 | 22,80 | -3,69 |
| Semi-intensifs | T3 | 2,33 | 0,17 | 50,54 | 48,77 | 1,76 |
| | T13 | 2,65 | 0,86 | 59,90 | 60,78 | -0,88 |
| Semi-extensifs | T4 | 0,13 | 0,17 | 7,75 | 7,66 | 0,09 |
| | T11 | -0,29 | -0,29 | 7,95 | 12,39 | -4,45 |
| Extensifs | T6 | -0,37 | -0,06 | 4,76 | 7,37 | -2,61 |
| | T12 | -0,63 | -0,46 | -0,21 | 4,60 | -4,81 |
| témoins | T5 | -0,49 | -0,37 | 0,34 | 2,96 | -2,61 |
| | T10 | -0,28 | -0,30 | -3,87 | -0,19 | -3,68 |

Les bilans de chlorophylle a sont, dans les bassins semi-intensifs, significativement plus élevés. Les bilans varient entre $-1,23$ et $+16,27 \text{ mg.m}^{-2}$ pour le bassin T3 et entre $-1,83$ et $16,9 \text{ mg.m}^{-2}$ pour le bassin T13. Les concentrations sont en moyenne cinq fois supérieures à celles des autres bassins de terre. Elles varient dans le T3 de $0,46 \mu\text{g.l}^{-1}$ (29/06) à $78,6 \mu\text{g.l}^{-1}$ (05/07) avec une moyenne saisonnière de $14,11 \mu\text{g.l}^{-1}$. Elles oscillent entre $0,33 \mu\text{g.l}^{-1}$ (20/06) et $86,36 \mu\text{g.l}^{-1}$ (11/06) avec une moyenne saisonnière de $16,7 \mu\text{g.l}^{-1}$. Ces deux moyennes sont proches l'une de l'autre (coefficient de variation $< 12 \%$) malgré une évolution très différente des deux bassins dans la première quinzaine de juillet. Par ailleurs, on remarque que les fluctuations au sein d'un même bassin sont relativement importantes. Elles sont à corrélérer avec les variations de température et d'éclairement qui déstabilisent d'autant plus les blooms que ces dernières sont importantes. On observe une première chute de la production phytoplanctonique à la mi-juin. Elle s'explique par une forte baisse des températures et de l'éclairement liée à des conditions climatiques défavorables (baisse thermique de 10°C en trois jours). La température se stabilisant début juillet, il est probable que la baisse de luminosité par deux fois au cours de l'été (Philippon, 1993) soit responsable de la disparition du bloom. L'absence de reprise des développements phytoplanctoniques après le 18 juillet malgré de bonnes conditions climatiques est peut-être liée au passage des taux de renouvellement de 20 à 30 %. Les volumes d'eau échangés sont peut être alors trop importants pour maintenir un bloom.

Il existe une production primaire réelle dans les bacs intensifs. Elle est cependant restée faible exceptée entre le début juin et la mi-juillet ou elle a atteint, en moyenne le tiers de la production phytoplanctonique des bassins semi-intensifs. Les concentrations en chlorophylle a sont restées faibles compte tenu du débit d'eau transitant dans les bacs intensifs : elles ont varié entre $0,4 \mu\text{g.l}^{-1}$ (16/08) et $3,39 \mu\text{g.l}^{-1}$ (07/08) dans le bac C7 et entre $0,43 \mu\text{g.l}^{-1}$ (07/08) et $3,64 \mu\text{g.l}^{-1}$ (16/08) dans le bac C8 pour des moyennes respectives de $0,99$ et $1,24 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Figure 9 : Evolution des bilans journaliers en chlorophylle a dans les différents types d'élevage (en mg.m⁻²)

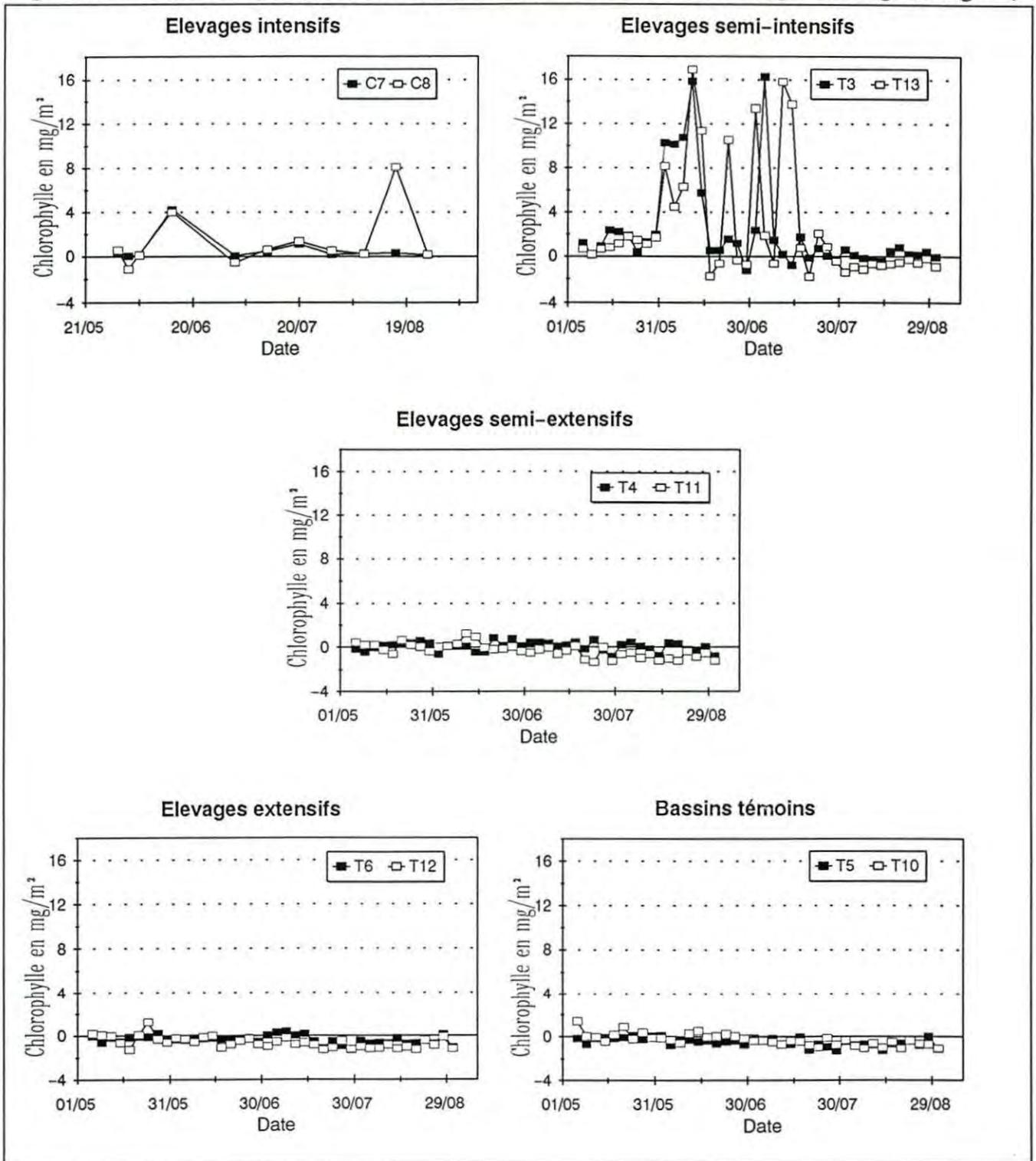
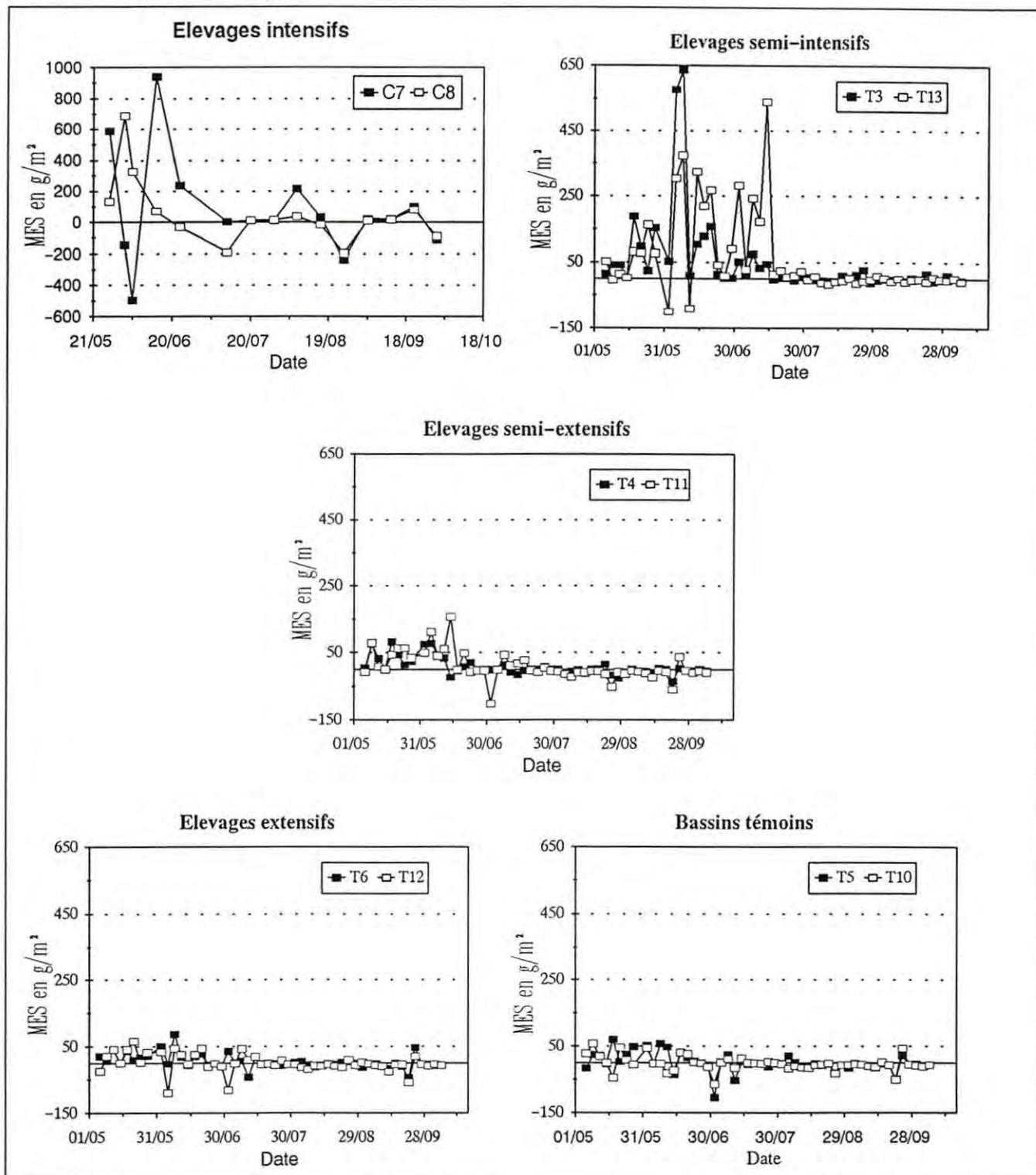


Figure 10 : Evolution des bilans en matières en suspension dans les différents bassins au cours du cycle d'élevage



3.1.1.2. bilans globaux

Entre le 6 mai et le 31 août, les bassins semi-intensifs (tab. 6) se sont montrés les plus producteurs en chlorophylle a. Les valeurs atteignent respectivement +2,33 et +2,65 mg.m⁻².jour⁻¹ dans le T3 et le T13. Les bilans des autres bassins de terre sont très faibles et le plus généralement négatifs. Ils varient entre

-0,29 mg.m⁻².j⁻¹ dans le bassin T11 et -0,63 mg.m⁻².j⁻¹ dans le bassin T12. Seul le bassin T4 est légèrement positif avec +0,13 mg.m⁻².jour⁻¹ de chlorophylle a exportée. Il y a donc un effet réel de la charge sur les bilans en chlorophylle a. Le pool minéral composé des intrants minéraux dissous et des intrants organiques reminéralisés dans le bassin est donc capable de soutenir une production primaire élevée dans le cas des élevages semi-intensifs. Pour les bacs intensifs, les bilans de chlorophylle a représentent à peine la moitié de ceux des bassins de terre; ils sont respectivement de +0,93 et +1,64 mg.m⁻².jour⁻¹ dans les bassins C7 et C8.

En ce qui concerne les bassins de terre, nous observons un effet charge sur les bilans en chlorophylle a. On peut supposer que l'apport en matière organique sous forme d'aliment contrôle indirectement la productivité primaire. Après avoir été métabolisées dans la chaîne trophique, les matières minérales générées sont susceptibles d'être assimilées par les producteurs.

3.1.2. Le seston total

Le seston a été étudié sur la période du 06 mai au 06 octobre.

3.1.2.1. Les matières en suspension

3.1.2.1.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens

L'évolution des bilans journaliers de matières en suspension est assez similaire dans les quatre types de bassins. Les courbes (fig. 10) se caractérisent par une première phase comprise entre le début mai et la mi-juillet dans laquelle les bilans sont assez fluctuants et généralement positifs. Les bilans journaliers deviennent, à partir de la mi-juillet jusqu'à la fin septembre, pratiquement nuls dans tous les bassins.

Cependant l'amplitude de variation est très différente selon le type d'élevage. Les bilans restent proches de 0 dans les bassins témoins, semi-extensifs et extensifs. Les valeurs s'échelonnent entre -104,5 et +71,4 g.m⁻² pour le bassin T5, entre -64,6 et +59 g.m⁻² pour le bassin T10, entre -44 et +87,5 g.m⁻² pour le bassin T6, entre -89,8 et +66,8 g.m⁻² pour le bassin T12, entre -35 et +82 g.m⁻² pour le bassin T4 et entre +157,8 et -101,4 g.m⁻² pour le bassin T11.

Dans le cas des bassins semi-intensifs, les bilans journaliers obtenus dans la première partie de l'élevage sont le plus souvent positifs et restent élevés. Ils atteignent respectivement des valeurs maximales de 637 et 540 g.m⁻² pour les bassins T3 et T13. On distingue donc deux périodes : une première avec de fortes exportations. Dans ce cas, la quantité de matières en suspension est à lier à la forte production phytoplanctonique (fig. 9). On observe ensuite à partir du 17 juillet une baisse significative et une stabilisation des exportations. L'évolution des bilans journaliers des bassins semi-intensifs s'apparente alors à celle des bassins témoins.

La fraction sestonique présente des fluctuations importantes dans les bassins intensifs en début de saison. Les bilans varient entre +940 et -494,8 g.m⁻² pour le bac C7 et entre +686 et -196 g.m⁻² pour le bac C8. On observe ensuite une stabilisation des bilans entre -200 et +200 g.m⁻².

3.1.2.1.2. Bilans globaux

Dans les bassins semi-intensifs, les bilans (tab. 6) sont largement positifs. Ils atteignent respectivement 50,54 et 59,90 g.m⁻².j⁻¹ pour les bassins T3 et T13. Les bassins semi-extensifs T4 et T11 exportent respectivement 7,75 g.m⁻².j⁻¹ et 7,95 g.m⁻².j⁻¹ de matières en suspension. Les bilans des bassins extensifs et des témoins sont quant à eux très faibles ou légèrement négatifs.

Les résultats sur les élevages intensifs sont peu homogènes. Les bilans sont de 19,11 g.m⁻².j⁻¹ pour le bac C8 et de 87,24 g.m⁻².j⁻¹ pour le bac C7. En moyenne, ils s'apparentent aux rejets des bassins semi-intensifs pour une charge en élevage bien supérieure. Cependant compte tenu du fait que les taux de

renouvellement sont 9,5 fois plus importants dans les bassins intensifs que dans les bassins de terre, les MES rejetées par les élevages intensifs sont fortement diluées. Ainsi les concentrations de MES dans les eaux de rejets de ces élevages (0,31 g.l⁻¹ en moyenne sur la période) sont plus proches de celles des élevages semi-extensifs (0,27 g.l⁻¹ en moyenne) que celles des élevages semi-intensifs (0,50 g.l⁻¹ sur la période).

3.1.2.2. Les matières minérales

3.1.2.2.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens

Dans les bassins semi-extensifs, extensifs et témoins, les bilans journaliers (fig. 11) restent le plus souvent négatifs pendant toute la saison. Dans les bassins semi-intensifs, les courbes présentent deux phases : en mai, juin, et juillet les bilans sont généralement positifs puis ils deviennent plutôt négatifs en août et septembre. On peut supposer que les bilans positifs sont liés aux blooms phytoplanctoniques qui sont généralement dans les marais composés de diatomées riches en composés siliceux (Baud *et al*, 1987 ; Hussenot *et al*, 1992). Il y aurait donc transformation d'une partie des composés minéraux dissous (en particulier la silice) en éléments particuliers. Cette hypothèse est confirmée par le fait que les bilans en silice dissous réalisés entre le 06 mai et le 29 juin sont très négatifs dans les bassins semi-intensifs (Philippon, 1993) et le sont beaucoup moins dans les autres. Ils varient de -130 mmol.m⁻².jour⁻¹ pour le bassin T13 à -25 mmol.m⁻².jour⁻¹ pour le bassin T12.

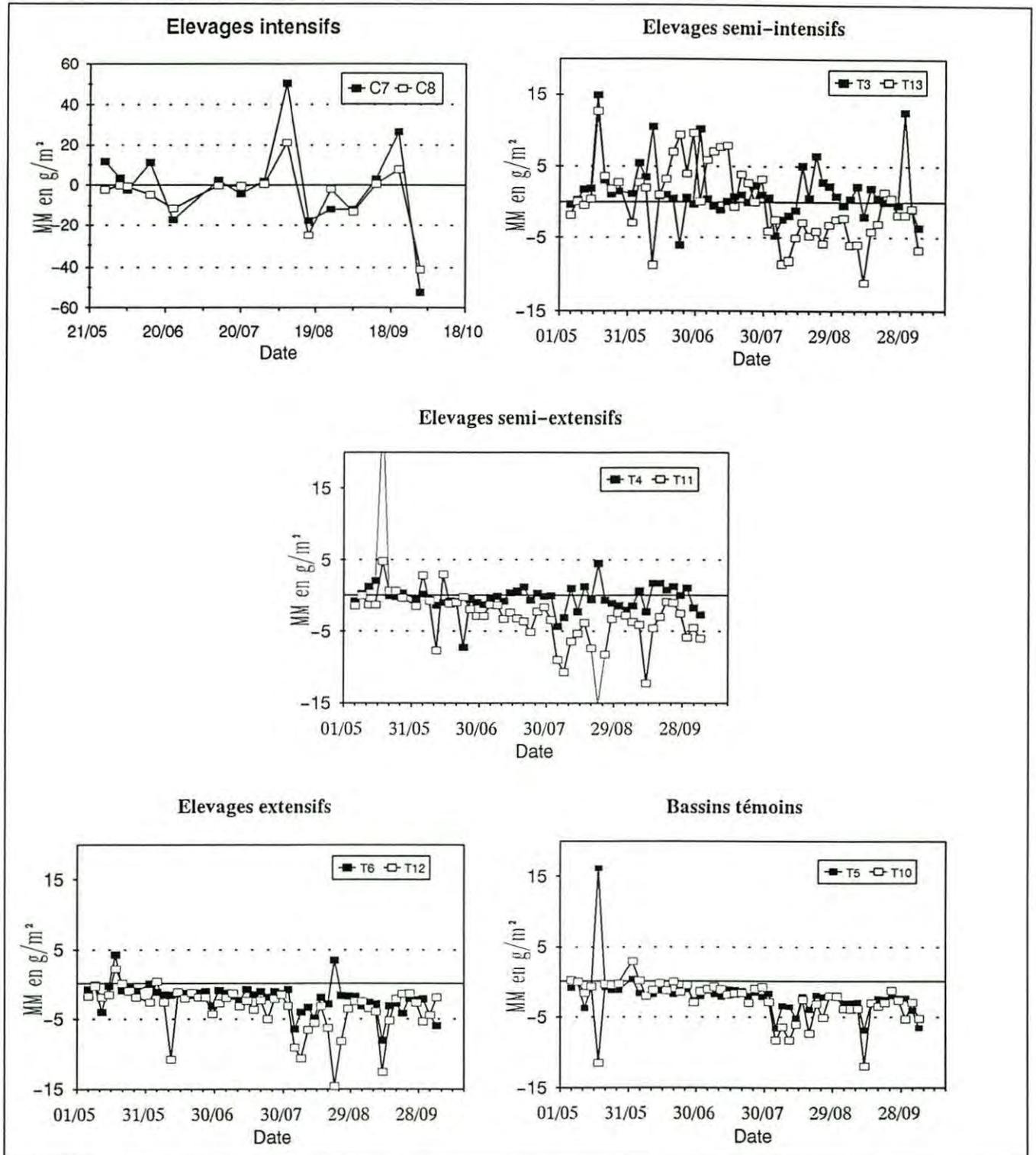
Tableau 7 : Fraction pondérale du seston organique sur le seston total en %

| Elevages | Bassins | Sortie | Entrée |
|----------------|---------|--------|--------|
| Intensifs | C7 | 94,9 | 94,3 |
| | C8 | 95,0 | 94,3 |
| Semi-intensifs | T3 | 93,3 | 90,4 |
| | T13 | 94,3 | 87,3 |
| Semi-extensifs | T4 | 91,4 | 90,4 |
| | T11 | 95,3 | 86,8 |
| Extensifs | T6 | 95,5 | 90,6 |
| | T12 | 95,3 | 86,8 |
| Témoins | T5 | 95,2 | 90,6 |
| | T10 | 95,3 | 89,6 |

Par ailleurs, les bilans de matières minérales sont plus élevés dans la série T3, T4, T5, T6 que dans leurs homologues respectifs T13 (deuxième partie d'élevage) T11, T10, T12. Ceci est lié aux caractéristiques des eaux d'entrées des bassins. Elles sont en moyenne moins chargées en matières minérales dans la série T3, T4, T5, T6 (0,019 g.l⁻¹ en moyenne) que dans la seconde (0,026 g.l⁻¹ en moyenne).

L'évolution des bilans de matières minérales dans les élevages intensifs ne peut être corrélée à des phénomènes physiques ou biologiques particuliers. On remarquera cependant que, malgré une préfiltration des eaux d'entrée dans le hall d'aquaculture, les variations des matières minérales sont de forte amplitude.

Figure 11 : Evolution des bilans en matières minérales dans les différents bassins au cours du cycle d'élevage



3.1.2.2.2. Bilans globaux

Dans les bassins de terre, les élevages semi-intensifs sont plus exportateurs de matières minérales que les élevages semi-extensifs, extensifs et témoins. Par ailleurs, les bilans (tab. 6) des bassins T3, T4, T5, T6 sont plus positifs que ceux de leurs homologues T13, T11, T10, T12. Ces résultats reflètent bien l'évolution des bilans journaliers. Enfin les bilans des bacs intensifs C7 et C8 sont très discutables.

3.1.2.3. Matières organiques particulières

La fraction organique du seston présente les mêmes fluctuations dans l'évolution des bilans journaliers. A quelques milligrammes près, elle est identique à l'évolution des bilans du seston total. Le pourcentage de matières organiques particulières (MOP) constituant le seston total est constamment très élevé (tab. 8). Il varie entre 87,3 (eaux d'entrée du bassin T13) et 95,5 % (eaux de sortie du bassin T6). Nous nous référerons à l'analyse des MES pour expliciter celle des MOP. Il est à noter que les fractions pondérales du seston organique sur le seston total sont plus fortes dans les sorties que dans les entrées. Cette augmentation est liée à la sédimentation des matières minérales et à l'exportation des matières organiques (surtout dans les bassins semi-intensifs).

3.1.3. Le zooplancton

Le zooplancton et le matériel particulaire supérieur à 200 μm ont été étudiés sur la période du 06 mai au 06 septembre.

Tableau 8 : Bilans globaux du zooplancton et de la fraction supérieure à 190 μm

| Elevages | Bassins | Zooplancton $\text{g.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ | >200 μm $\text{mg.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ |
|----------------|---------|--|--|
| Semi-intensifs | T3 | -0,39 | -12,31 |
| | T13 | 0,52 | 372,43 |
| Semi-extensifs | T4 | 0,39 | -213,38 |
| | T11 | 0,09 | 1,03 |
| Extensifs | T6 | -0,35 | 225,51 |
| | T12 | 0,13 | 286,70 |
| témoins | T5 | 0,05 | 400,50 |
| | T10 | -0,31 | -73,66 |

3.1.3.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens

Les bilans journaliers de zooplancton (fraction comprise entre 50 et 190 μm) présentent une grande variabilité temporelle (fig. 12) dans les bassins de terre. Ils varient de -9,42 à 3,07 g.m^{-2} dans le bassin T3, de -4,13 à +5,09 g.m^{-2} dans le T4, de -4,8 à +3 g.m^{-2} dans le T5, de -6,2 à +2,1 g.m^{-2} dans le T6, de -3,3 à +4,5 g.m^{-2} dans le T10, de -3,9 à +4,6 g.m^{-2} dans le T11, de -3,9 à +5,6 g.m^{-2} dans le T12 et de -3,5 à +5,4 g.m^{-2} dans le T13. Cependant, il semble que l'amplitude des variations s'estompe à partir de la fin juillet. Les bilans sont dans la plupart des cas, très faibles ou légèrement négatifs. On ne dénote pas un effet de la charge sur l'évolution des bilans.

3.1.3.2. Bilans globaux (fraction 50 μm - 190 μm)

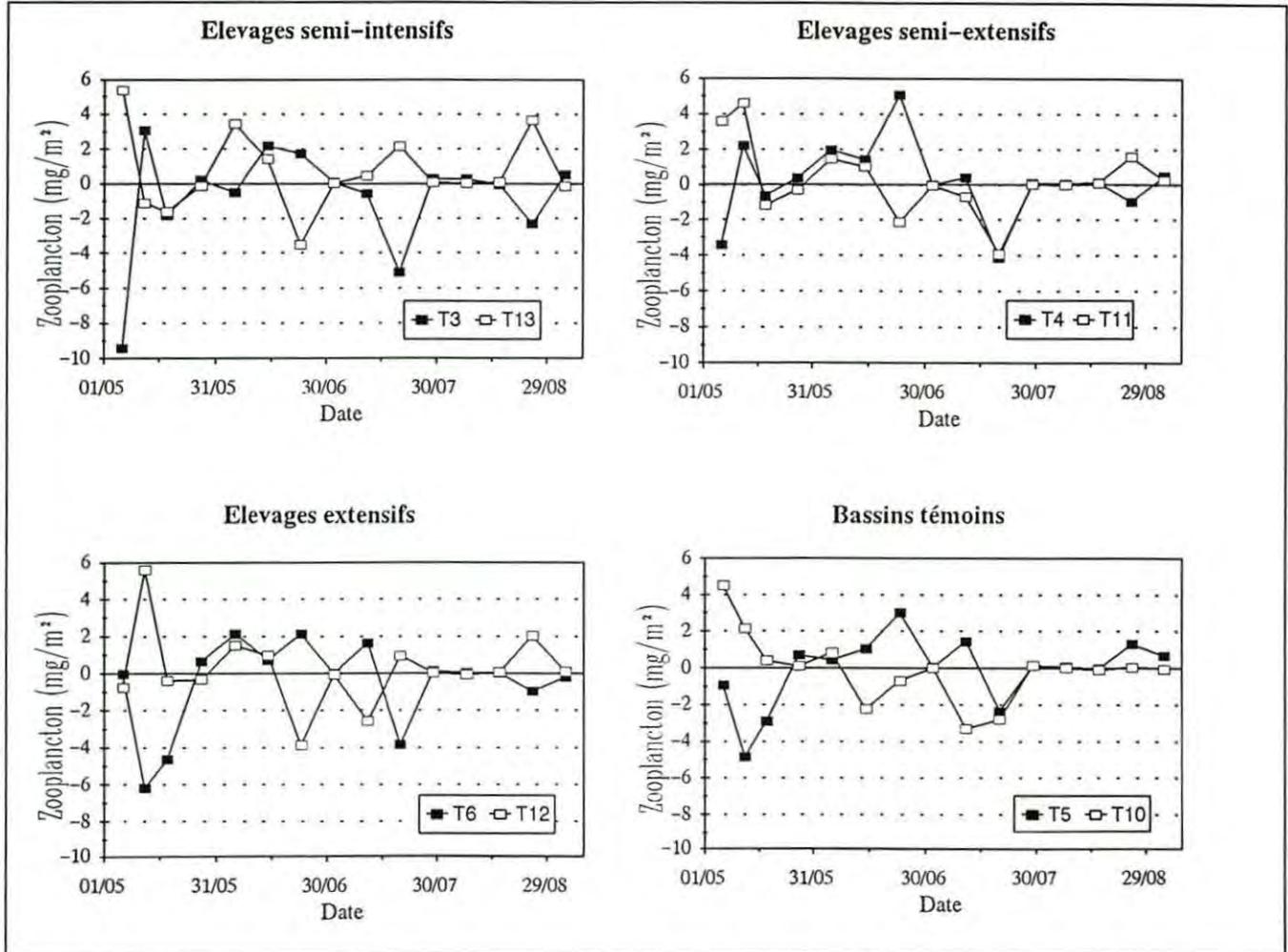
Les bilans globaux (tab. 8) sont minimum dans le bassin T3 ou ils atteignent -0,39 $\text{g.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$; ils sont maximum dans le bassin T4 ou ils sont de +0,39 $\text{g.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$. Ces valeurs sont très faibles comparées à celles des matières organiques particulières qui oscillent entre -0,19 $\text{g.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ (bassin témoin T10) à +60,78 $\text{g.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ (bassin T13). L'essentiel de la matière exportée par les bassins d'élevage est donc liée à la production primaire. Par ailleurs, il ne semble pas exister de relation directe entre la quantité de

matière zooplanctonique exportée et l'abondance de la ressource trophique. Il est possible qu'avec les taux de renouvellement pratiqués dans les bassins de terre, le bloom zooplanctonique qui suit habituellement le bloom phytoplanktonique n'ait pas pu se développer. Mais cette hypothèse reste à confirmer.

3.1.3.3. Bilans globaux (fraction supérieure à 190 µm)

Dans les eaux d'entrées, les variations de la concentration en particules supérieures à 190 µm suivent les variations de la concentration des particules de tailles comprises entre 50 et 190 µm ([particules >190µm] = 0,909 [zooplancton] avec R² = 0,79).

Figure 12 : Evolution des bilans en biomasse zooplanctonique dans les différents bassins au cours du cycle d'élevage



Dans les eaux de sorties, la relation linéaire liant les concentrations est moins affirmée ([particules >190µm] = 0,839 [zooplancton] avec R² = 0,60). Par contre, il n'existe qu'une faible relation entre les bilans en particules zooplanctoniques et les particules de grosses tailles.

3.1.4. Le carbone organique et l'azote particulaires

L'azote et le carbone particulaires ont été étudiés sur la période du 06 mai au 22 août.

3.1.4.1. L'azote particulaire

Les bilans journaliers en azote particulaire (fig. 13) restent relativement stables au cours de la saison pour les élevages semi-extensifs, extensifs et pour les bassins témoins. Ils varient de $-79,3 \text{ mg.m}^{-2}$ pour les bilans les plus négatifs (bassin T4) à $+32,34 \text{ mg.m}^{-2}$ pour les bilans les plus positifs (bassin T4). On remarque un léger décalage dans l'évolution des courbes des bassins T4 et T11 ainsi qu'une légère orientation à la baisse des bilans journaliers pour les six bassins au cours de la saison.

Pour les élevages semi-intensifs, on observe des bilans généralement positifs avec une succession de pics entre le 31 mai et la mi-juillet. Ces fluctuations sont à corréliser pour une grande part à la production phytoplanctonique. Les bilans atteignent, à cette période des valeurs maximales de $+199,7$ et de $+120,9 \text{ g.m}^{-2}$ pour les bassins T13 et T3. En août et septembre, les bilans deviennent faibles mais restent supérieurs à ce que l'on observe dans les bassins semi-extensifs, extensifs et témoins.

Tableau 9 : Bilans en azote particulaire (NP) et en carbone organique particulaire (COP) sur la période du 06/05/93 au 24/09/93 en $\text{mg.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$

| Elevages | Bassins | NP en $\text{mg.m}^{-2}\text{.j}^{-1}$ | C.O.P. en $\text{g.m}^{-2}\text{.j}^{-1}$ |
|----------------|---------|--|---|
| Intensifs | C7 | 822,56 | 6,24 |
| | C8 | 675,99 | 4,96 |
| Semi-intensifs | T3 | 23,98 | 0,15 |
| | T13 | 50,87 | 0,24 |
| Semi-extensifs | T4 | -3,48 | -0,03 |
| | T11 | -15,59 | -0,13 |
| Extensifs | T6 | -16,65 | -0,12 |
| | T12 | -21,25 | -0,17 |
| témoins | T5 | -19,45 | -0,13 |
| | T10 | -13,61 | -0,11 |

Les bilans journaliers des bacs intensifs sont dans l'ensemble très largement positifs. Ils varient entre $-673,5$ et $+1574,8 \text{ mg.m}^{-2}$ pour le bac C7 et entre $-641,17$ et $+1366,6 \text{ mg.m}^{-2}$ pour le bac C8. Ils sont à corréliser à l'accroissement de la biomasse des cheptels et donc à la quantité d'aliment distribué (riche en azote) et de matières fécales rejetées. Par ailleurs, les graphes mettent en évidence une chute constante de l'azote particulaire entre la fin juin et la fin juillet suivi d'une remontée. Ceci n'a, pour l'instant pu être corrélé à aucun phénomène physique ou biologique particulier correspondant à cette période.

3.1.4.2. Le carbone organique particulaire

Les évolutions des bilans journaliers en carbone particulaire (fig. 14) sont très semblables à celles de l'azote particulaire. Parmi les bassins de terre, les plus grandes variations s'observent dans les bassins semi-intensifs T3 et T13 avec respectivement des minima de $-0,25$ et $-0,46 \text{ g.m}^{-2}$ et des maxima de $+0,85$ et $+1,47 \text{ g.m}^{-2}$, les bilans étant dans ces bassins plus forts en première partie d'élevage. Les bilans journaliers des autres bassins sont relativement faibles. Ils varient de $-0,57 \text{ g.m}^{-2}$ pour les bilans les plus négatifs (T10) à $+0,24 \text{ g.m}^{-2}$ pour les bilans les plus positifs (T4).

Les courbes des bilans des bassins intensifs évoluent du côté positif. Les bilans journaliers de ces bassins sont de dix fois supérieurs aux valeurs des bassins semi-intensifs. Les maxima sont de $18,1$

g.m⁻² pour le bac C7 et de 9 g.m⁻² pour le bac C8. Par ailleurs, on retrouve la baisse centrée autour du 29/07 qui a été observée pour l'azote.

Figure 13 : Evolution des bilans en azote particulaire dans les différents bassins sur la période du 06/05 au 24/09

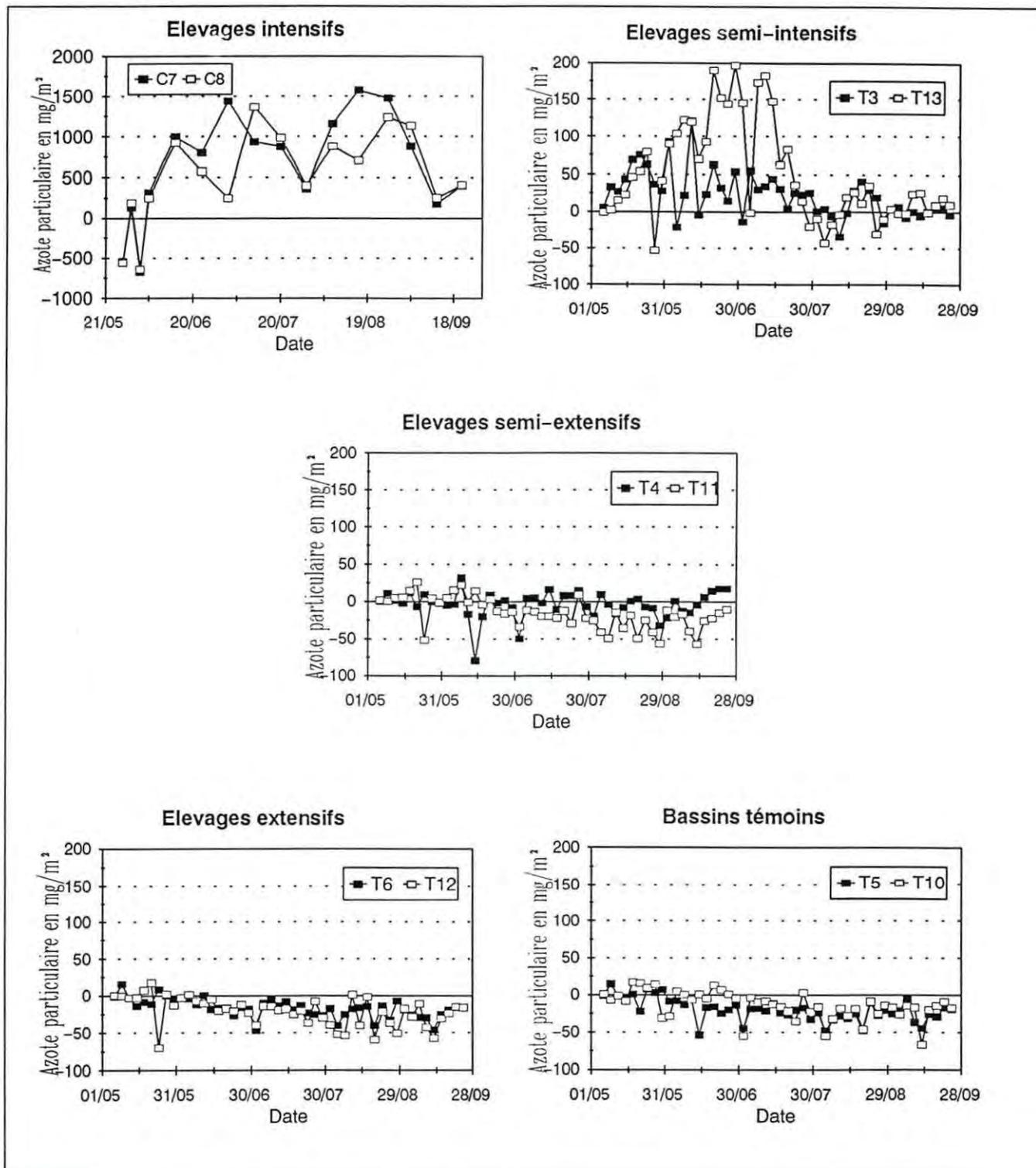
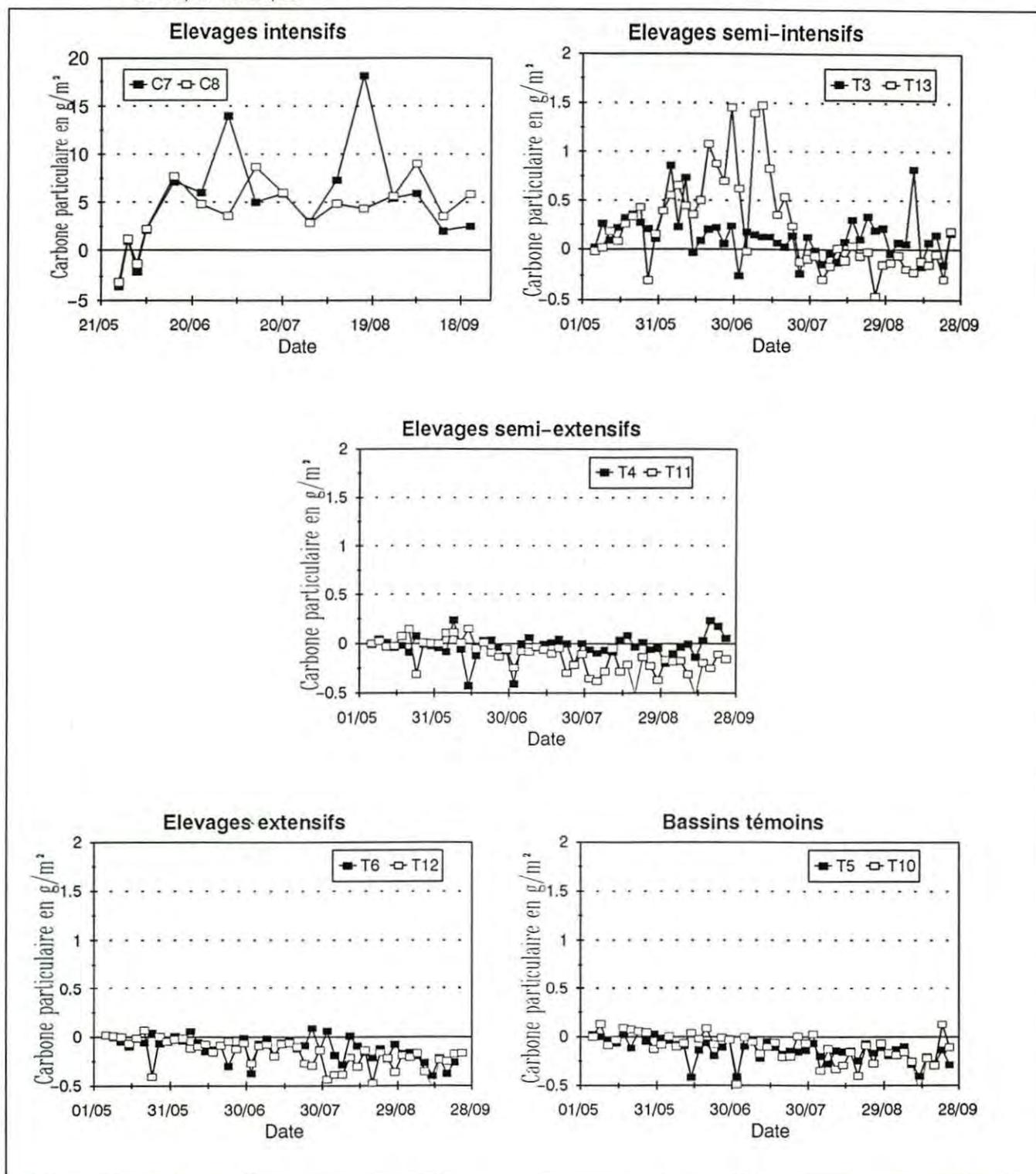


Figure 14 : Evolution des bilans en carbone organique particulaire dans les différents bassins sur la période du 06/05 au 24/09



3.1.4.3. Bilans globaux du carbone organique et de l'azote particulaires

Pour les bassins de terre, il n'y a pas de différence significative entre les élevages semi-extensifs, extensifs et les bassins témoins. Les bilans (tab. 9) sont tous négatifs et varient entre -170 (T12) et -30 $mg.m^{-2}.jour^{-1}$ (T4) pour le carbone et entre $-21,25$ (T12) et $-3,48$ $mg.m^{-2}.jour^{-1}$ (T4) pour l'azote.

Dans les bassins semi-intensifs T3 et T13, les bilans en carbone organique et en azote sont positifs. La quantité d'azote particulaire exportée est deux fois plus importante dans le T13 que dans le T3 (23,98 et 50,87 mg.m⁻²jour⁻¹). La proportion est de 1,6 pour le carbone (150 et 240 mg.m⁻²jour⁻¹).

Tableau 10 : Bilan des formes azotées dissoutes

| Elevages | Bassins | NH ₄ mmol/m ² /j | NO ₂ mmol/m ² /j | NO ₃ mmol/m ² /j | Urée mmol/m ² /j | DCAA μmol/m ² /j | DFAA μmol/m ² /j |
|----------------|---------|---|---|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Intensifs | C7 | 59.79 | 2.293 | 2.476 | 14.89 | 2694.55 | 1085.45 |
| | C8 | 53.69 | 2.659 | 4.171 | 11.59 | 2796.36 | 532.73 |
| Semi-intensifs | T3 | 1.58 | 0.039 | 0.035 | 0.29 | 337.42 | 38.36 |
| | T13 | 0.46 | -0.061 | -0.039 | 0.23 | 223.15 | 37.75 |
| Semi-extensifs | T4 | -0.68 | -0.125 | -0.048 | -0.02 | 143.68 | 83.11 |
| | T11 | -0.55 | -0.091 | -0.011 | 0.01 | 97.32 | 51.09 |
| Extensifs | T6 | -0.98 | -0.139 | -0.089 | 0.08 | 128.32 | -11.05 |
| | T12 | -0.65 | -0.092 | -0.114 | -0.07 | 112.16 | 63.03 |
| Témoins | T5 | -1.00 | -0.142 | -0.111 | -0.06 | 80.40 | -6.84 |
| | T10 | -0.66 | -0.096 | -0.075 | 0.03 | -50.99 | -18.73 |

Les bassins intensifs exportent respectivement 822,6 et 675,99 mg.m⁻²jour⁻¹ d'azote particulaire pour les bacs C7 et C8. Les valeurs sont de 6240 et 4960 mg.m⁻²jour⁻¹ pour le carbone. Les bilans des élevages intensifs sont pour l'azote comme pour le carbone plus de dix fois supérieurs aux valeurs de la série semi-intensive. Les élevages semi-intensifs étant très fortement producteurs de carbone phytoplanctonique, la quantité de carbone non phytoplanctonique produite par les élevages intensifs doit être considérablement plus élevée que celle des élevages semi-intensifs en bassin de terre.

3.2. LES ELEMENTS DISSOUS

3.2.1. Composés minéraux azotés

Les sels nutritifs ont été étudiés sur une période allant du 06 mai au 24 août. Ce sont les sels nutritifs suivants : ammonium, nitrites, nitrates, urée et phosphates. Les bilans en silicate, en azote organique dissous, en phosphore total dissous ont quant à eux été étudiés sur une période plus courte et ont été résumés par Philippon (1993). Ils ne seront pas repris ici.

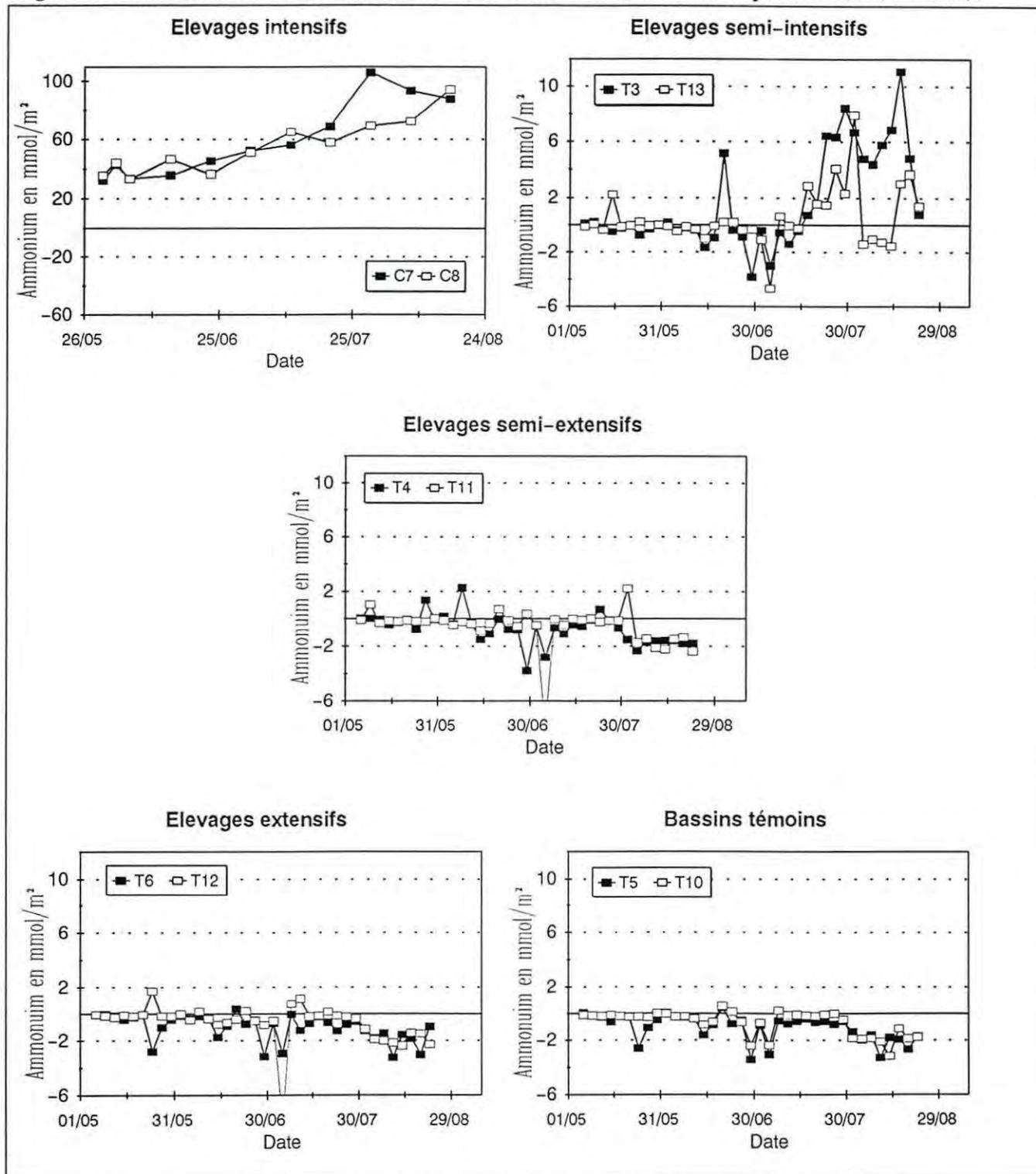
3.2.1.1. L'azote ammoniacal (NH₄⁺ + NH₃)

3.2.1.1.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens

Les courbes d'évolution des bilans journaliers (fig. 15) sont très semblables dans les bassins semi-extensifs, extensifs et dans les références. Ces bilans oscillent le plus généralement entre -2 et +2 mmol.m⁻² avec un bilan dépassant franchement cette limite dans le cas des bassins T11 et T12. Ces deux bassins ayant une mesure commune pour l'entrée d'eau, on peut penser que le bilan très négatif du 05 juillet est lié à un artefact (pollution de l'échantillon d'entrée ou erreur de mesure) et non pas à un phénomène biologique. Globalement dans les six bassins de terre précités, les bilans d'ammonium tendent à devenir de plus en plus négatifs au cours de la saison. Les concentrations maximales

observées dans les eaux de sorties n'ont jamais dépassé $13,75 \mu\text{mol.l}^{-1}$ avec une moyenne de $2,33 \mu\text{mol.l}^{-1}$. En comparaison, les concentrations maximales dans les eaux d'entrées sont de $19,14 \mu\text{mol.l}^{-1}$ pour une moyenne de $5,09 \mu\text{mol.l}^{-1}$.

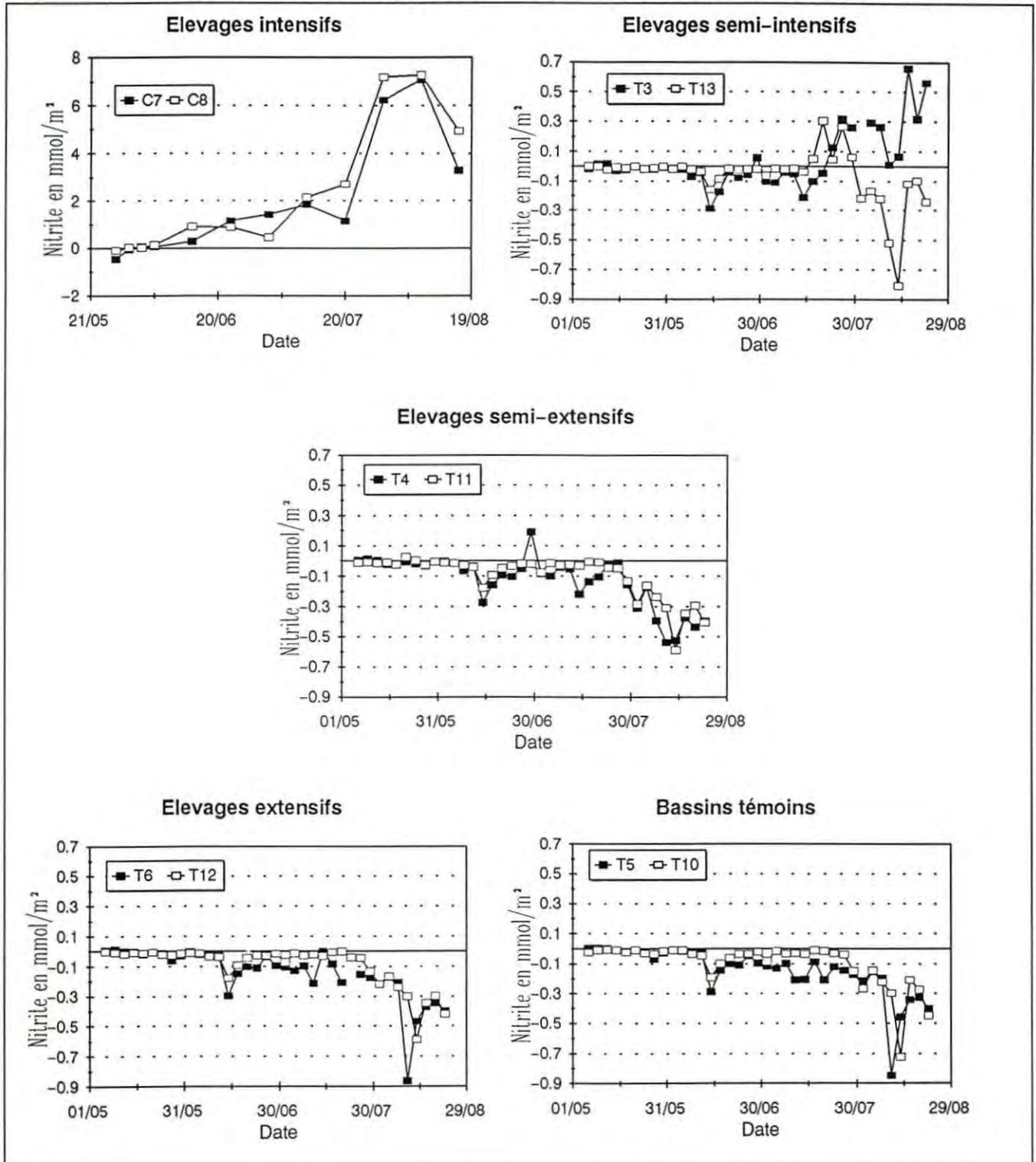
Fig. 15 : Evolution des bilans en ammonium dans les différents bassins sur la période du 06/05 au 22/08



Dans les bassins semi-intensifs T3 et T13, les bilans sont généralement faibles jusqu'à la fin juin puis augmentent fortement. L'évolution journalière des bilans devient différente entre les répliqués. Les

bilans tendent à devenir négatifs pour le bassin T13 et à être positifs pour le T3. Cette hétérogénéité dans les évolutions est liée à l'activité photosynthétique, phytoplanctonique dans un premier temps (bassins T3 et T13), puis macrophytobenthique (T13 exclusivement). Les bilans dans le T3 et le T13 varient respectivement de $-3,8$ à $+11,1$ $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}$ et de $-4,7$ à $+7,9$ $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}$. Les concentrations en ammonium observées dans ces bassins ont été sensiblement plus élevées que celles des autres bassins de terre avec un maximum de $41,5$ $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ (T3; 16 août) pour une moyenne de 10 et $5,33$ $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$ dans le T3 et le T13.

Figure 16 : Evolution des bilans en nitrites dans les différents bassins sur la période du 06/05 au 22/08



Dans les bacs intensifs C7 et C8 dans lesquels l'activité photosynthétique reste faible, les bilans journaliers augmentent régulièrement au cours de la saison. Ceci est à corrélérer à la croissance des poissons et donc à l'augmentation de la biomasse en élevage (augmentation des nourrissements, de l'excrétion et de la défécation). Les bilans journaliers passent de +32,7 à +106 mmol.m⁻² pour le bac C7 et de +33,5 à +94,3 mmol.m⁻² pour le bac C8. Dans ces bassins, les concentrations en ammonium obtenues ont pu être élevées. Elles ont atteint 47,3 et 44,39 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ pour des moyennes respectives de 30,48 et 28,63 $\mu\text{mol.l}^{-1}$. Mais ces concentrations maximales de 0,66 mg.l⁻¹ et 0,621 mg.l⁻¹ restent très inférieures aux valeurs maximales recommandées par Haywood en 1983 (*in* Videau et Merceron) qui sont de 2,5 mg.l⁻¹ en milieu marin.

3.2.1.1.2. Bilan global

Les bilans dans les bassins semi-extensifs, extensifs et dans les bassins témoins (tab. 10) sont faibles et tous négatifs. Ils varient entre -1 (bassin T5) et +0,55 mmol.m⁻².jour⁻¹ (bassin T11). Ils restent assez faibles dans les bassins semi-intensifs mais deviennent positifs avec de +0,46 mmol.m⁻².jour⁻¹ pour le T13 et +1,58 mmol.m⁻².jour⁻¹ pour le T3. Les bilans dans les bassins intensifs sont fortement positifs. Les bilans atteignent des valeurs de +59,79 pour le C7 et de +53,69 mmol.m⁻².jour⁻¹ pour le C8 soit en moyenne des valeurs 55 fois supérieures à celles obtenues dans les bassins semi-intensifs. Globalement, les bassins semi-extensifs, extensifs et témoins épurent la colonne d'eau en ammonium.

3.2.1.2. Les nitrites

3.2.1.2.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens

Les courbes d'évolution (fig. 16) sont dans l'ensemble assez similaires aux évolutions des bilans journaliers de l'ammonium. Nous nous référerons à ce paramètre pour expliciter les courbes.

Les bilans journaliers en nitrites sont en moyenne 20 fois inférieurs à ceux de l'ammonium. Les valeurs des bassins semi-extensifs, extensifs, et des bassins témoins varient entre -0,86 et +0,19 mmol.m⁻². Les bilans journaliers des élevages semi-intensifs fluctuent entre -0,28 et +0,66 mmol.m⁻² pour le bassin T3 et entre +0,304 et -0,809 mmol.m⁻² pour le bassin T13. Dans les bassins intensifs, les bilans augmentent au cours de la saison de -0,45 à +7,1 mmol.m⁻² pour le bac C7 et de -0,01 à +7,3 mmol.m⁻² pour le bac C8.

Par ailleurs, pour les bassins semi-extensifs, extensifs, et témoins, la concentration en nitrites dans les eaux de sortie est en moyenne de 0,09 $\mu\text{mol.l}^{-1}$. La concentration moyenne des eaux d'entrée est de 0,52 $\mu\text{mol.l}^{-1}$. Elle égale 0,69 et 0,211 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ dans le T3 et T13 et atteint 1,54 $\mu\text{mol.l}^{-1}$ en moyenne dans les bacs intensifs.

3.2.1.2.2. Bilan global

Les bilans en nitrite (tab. 10) sont négatifs dans les six bassins de terre pas ou faiblement chargés. Ils varient de -0,142 pour le bassin T5 à -0,091 mmol.m⁻².jour⁻¹ pour le bassin T11. Ces bassins se révèlent donc être des épurateurs de la colonne d'eau. A l'opposé, les bassins intensifs exportent +2,29 et de +2,66 mmol.m⁻².jour⁻¹ soit en moyenne +35 mg.m⁻².j⁻¹. Dans les élevages semi-intensifs, les bilans restent faibles mais sont opposés : +0,039 mmol.m⁻².jour⁻¹ pour le bassin T3 et -0,061 mmol.m⁻².jour⁻¹ pour le bassin T13 soit en moyenne -0,154 mg.m⁻².j⁻¹.

3.2.1.3. Les nitrates

3.2.1.3.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens

Dans les bassins semi-extensifs, extensifs et de références, les bilans (fig. 17) varient de -0,73 à +0,56 mmol.m⁻². Les courbes évoluent autour de l'axe des abscisses avec des amplitudes faibles en

début de saison. On observe ensuite une augmentation des importations. Elle est à corrélérer, d'une part à une augmentation des taux en nitrates dans les eaux d'entrées et d'autre part à une augmentation de la production phytobenthique. Les macrophytes agissent comme des "pompes" sur les teneurs en nitrates.

Figure 17 : Evolution des bilans en nitrates dans les différents bassins sur la période du 06/05 au 22/08

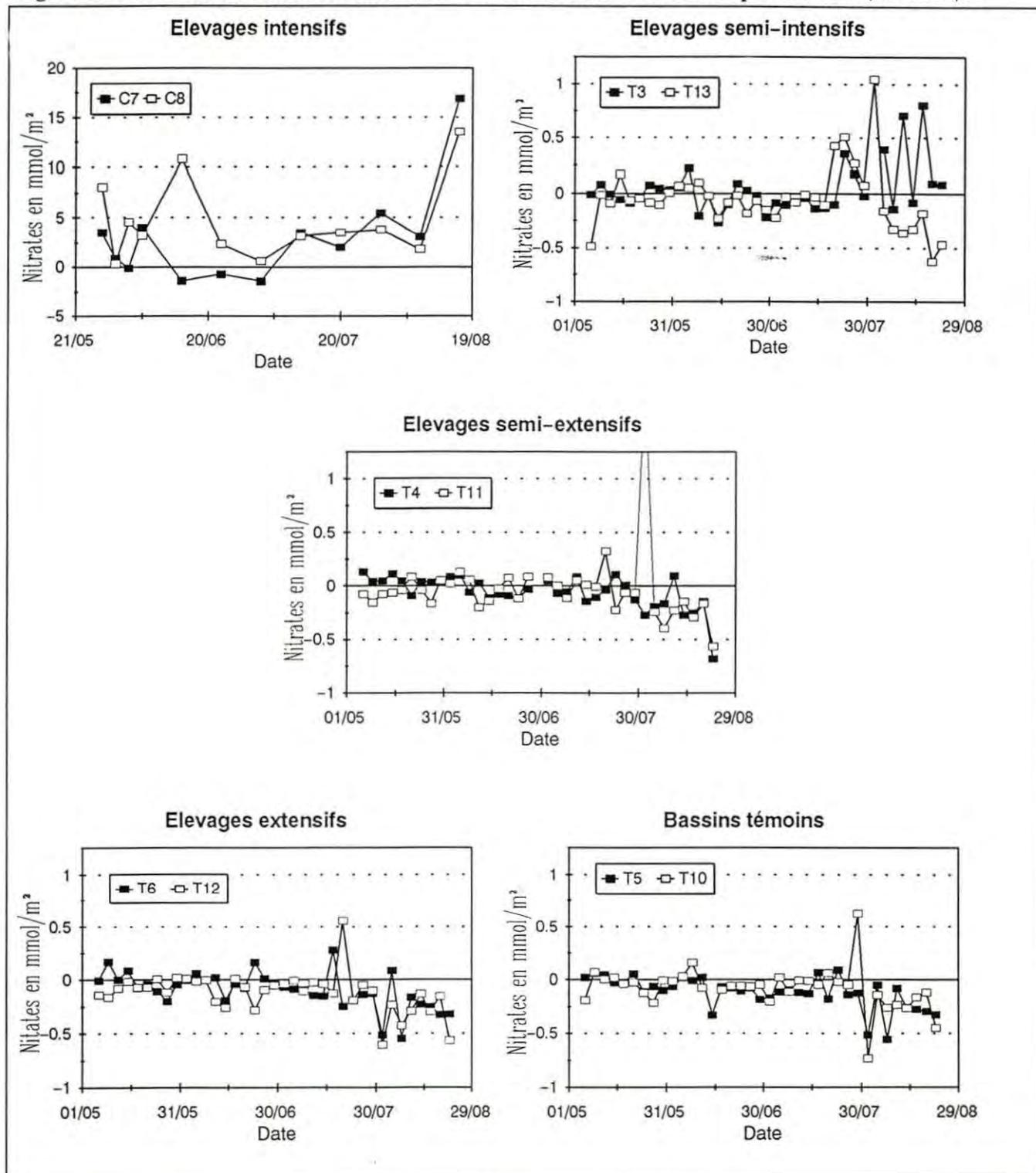
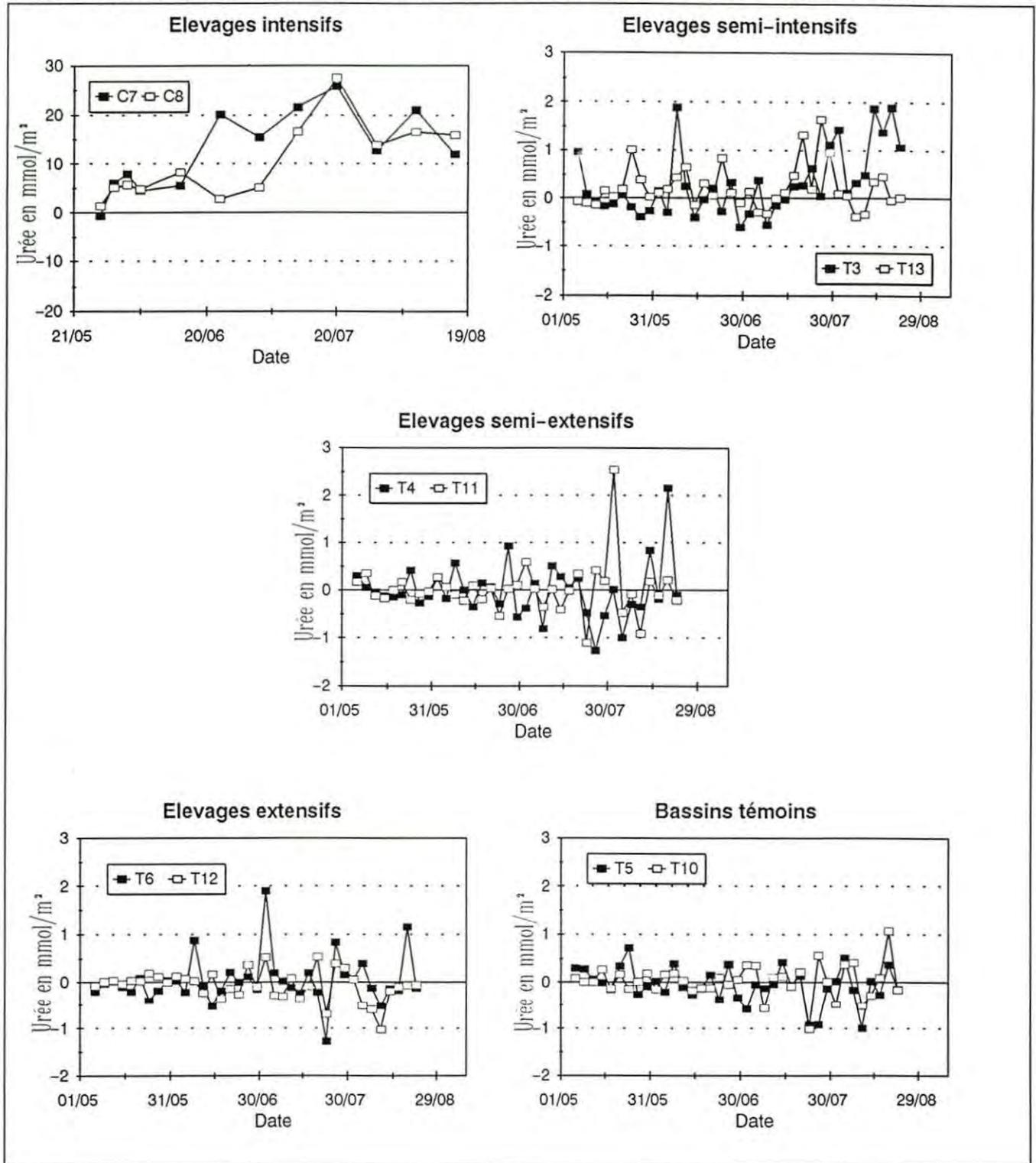


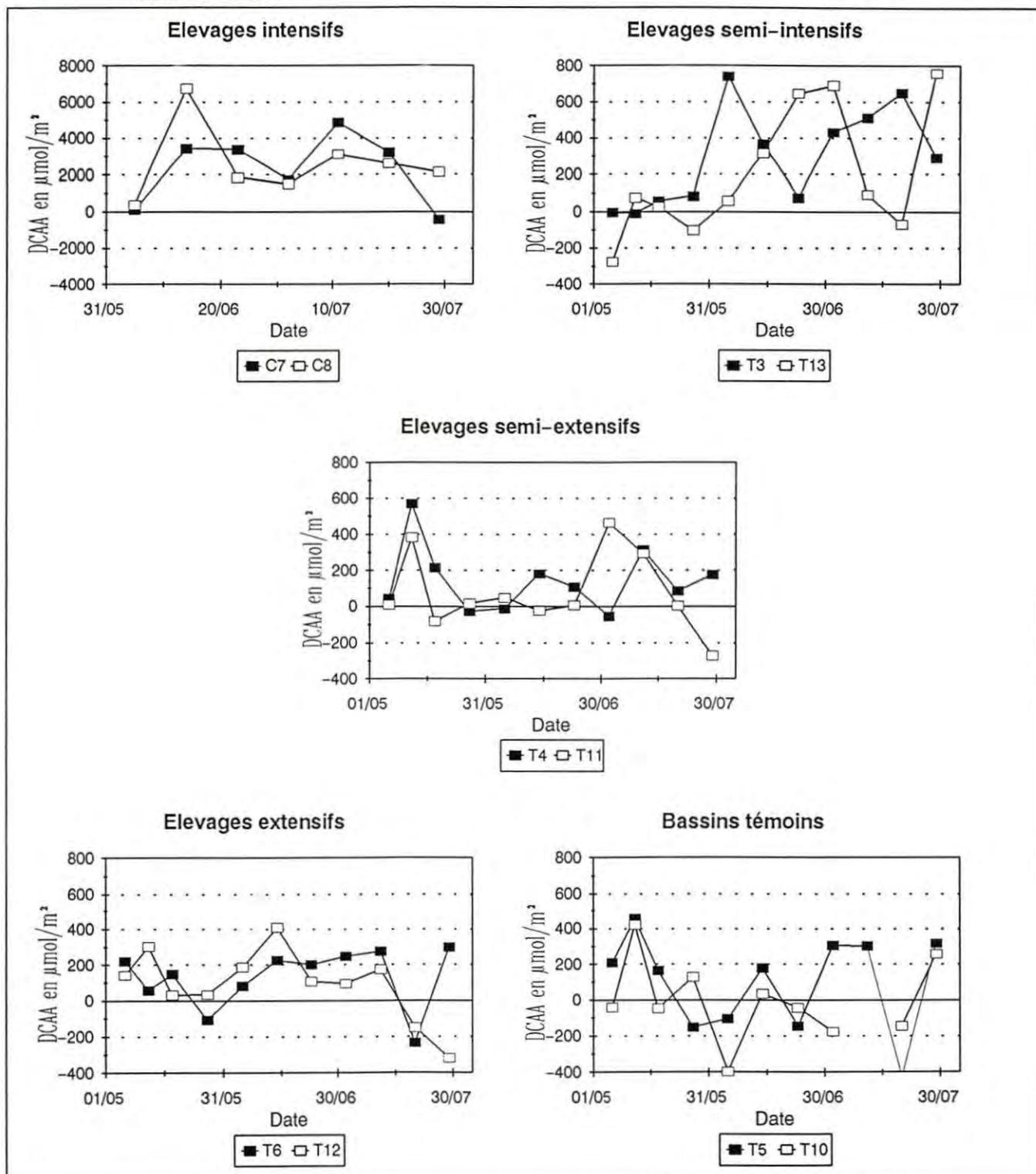
Figure 18 : Evolution des bilans en urée dans les différents bassins sur la période du 06/05 au 22/08



Entre début mai et fin juillet, l'évolution des bilans dans les bassins semi-intensifs est similaire à celle des autres bassins de terre. Les duplicats ont ensuite des devenir différents. Après une période de bilans positifs située entre mi-juillet et fin juillet, les bilans tendent à devenir négatifs dans le bassin T13 et à être positifs dans le bassin T3. Comme pour les autres sels nutritifs, cette différence d'évolution est liée à l'absorption, dans le bassin T13 des sels nutritifs dissous par les macrophytes pendant une seconde

partie de la saison. Les bilans varient entre $-0,26$ et $+0,81$ mmol.m^{-2} pour le bassin T3 et entre $-0,62$ et $+1,05$ mmol.m^{-2} pour le bassin T13.

Figure 19 : Evolution des bilans en acides aminés combinés dans les différents bassins sur la période du 06/05 au 29/07



Les bilans des bassins intensifs varient entre $-1,42$ et $+16,9$ mmol.m^{-2} (bac C7) et entre $+0,34$ et $+13,5$ mmol.m^{-2} (bac C8).

3.2.1.3.2. Bilan global

Pour les bassins les plus faiblement chargés, les bilans (tab. 10) sont négatifs avec respectivement des valeurs de $-0,114$ et $+0,011$ $\text{mmol.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$ pour les bassins T12 et T11. Comme pour les nitrates et l'ammonium, les bassins semi-extensifs, extensifs et témoins jouent le rôle d'épurateur. Les bilans des bassins semi-intensifs sont faibles mais opposés : $-0,039$ pour le bassin T13 et $+0,035$ $\text{mmol.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$ pour le bassin T3 soit en moyenne $-0,056$ $\text{mg.m}^{-2}\text{.j}^{-1}$. Les bilans des élevages intensifs sont très largement excédentaires. On observe des valeurs de $+2,48$ et de $+4,17$ $\text{mmol.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$ pour les bacs C7 et C8. Les élevages intensifs rejettent donc $46,5$ mg de nitrate par m^2 et par jour.

3.2.2. Composés organiques azotés

3.2.2.1. L'urée

3.2.2.1.1. Evolution temporelle des bilans quotidiens

Les bassins témoins, extensifs et semi-extensifs ont une évolution similaire (fig 18). Les bilans journaliers varient généralement entre -1 et $+1$ mmol.m^{-2} . Les bassins semi-intensifs voient leurs bilans augmenter pour devenir positifs à partir de la mi-juillet.

Les courbes des bassins intensifs évoluent largement du côté positif. Les bilans varient de $-0,67$ à $+25,8$ mmol.m^{-2} pour le bac C7 et de $+1,3$ à $+27,4$ mmol.m^{-2} pour le bac C8.

3.2.2.1.2. Bilans globaux

Les bilans (tab. 10) dans les bassins témoins, extensifs, et semi-extensifs sont de $-0,07$ $\text{mmole.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$ pour les valeurs les plus faibles (T12) et de $+0,08$ $\text{mmole.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$ pour les valeurs les plus fortes (T6). Une différence est observée avec les bassins semi-intensifs. Les bilans sont respectivement de $+0,23$ et de $+0,29$ $\text{mmole.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$ pour les bassins T13 et T3.

Les bilans des bacs intensifs sont 50 fois plus forts que ceux des bassins semi-intensifs. Les valeurs sont de $+14,9$ et de $11,6$ $\text{mmole.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$ pour les bacs C7 et C8.

3.2.2.2. Acides aminés libres et combinés

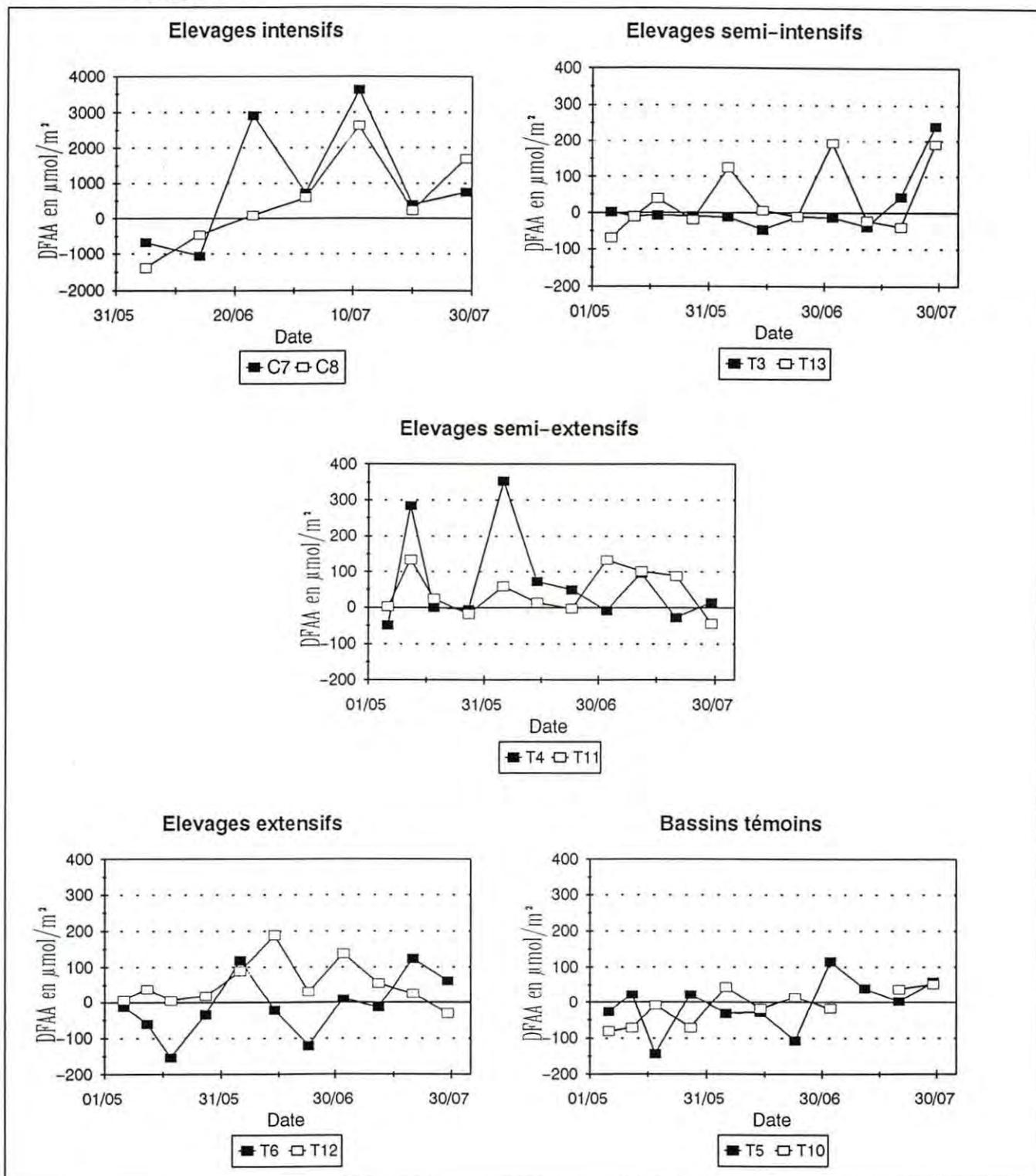
3.2.2.2.1 Evolution temporelle des bilans quotidiens

Sur la période (06 mai au 29 juillet), il n'apparaît pas de relation simple entre l'évolution des bilans journaliers des DCAA (fig. 19), des DFAA (fig. 20) et les paramètres physico-chimiques.

3.2.2.2.2. Bilans globaux

En revanche, on observe une augmentation des rejets en DCAA en fonction des charges en élevage (tab. 10). Les bacs intensifs C7 et C8 rejettent respectivement $+2694,5$ et $+2796,3$ $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$. Ces bilans sont environ dix fois plus importants que les valeurs moyennes des bassins semi-intensifs ($+280,3$ $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$). Le bassin T13 exporte moins d'acides aminés sous forme combinés que son répliquat ($+227,15$ $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$ contre $+337,4$ $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$). Pour les autres bassins de terre, les bilans sont positifs et varient entre $+80,4$ et $+143,7$ $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$, excepté pour le bassin T10 avec une valeur de -51 $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$. Pour les acides aminés libres, il ne semble pas y avoir de différences entre les bilans des bassins de terre. Ils varient entre $-18,7$ pour les valeurs les plus faibles et entre $+83,1$ $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$ pour les valeurs les plus fortes. Les exportations des bassins intensifs sont nettement plus importantes avec $1085,5$ et $532,7$ $\mu\text{mol.m}^{-2}\text{.jour}^{-1}$. Il est à noter que le bac C7 rejette deux fois plus d'acides aminés libres que le bac C8.

Figure 20 : Evolution des bilans en acides aminés libres dans les différents bassins sur la période du 06/05 au 29/07

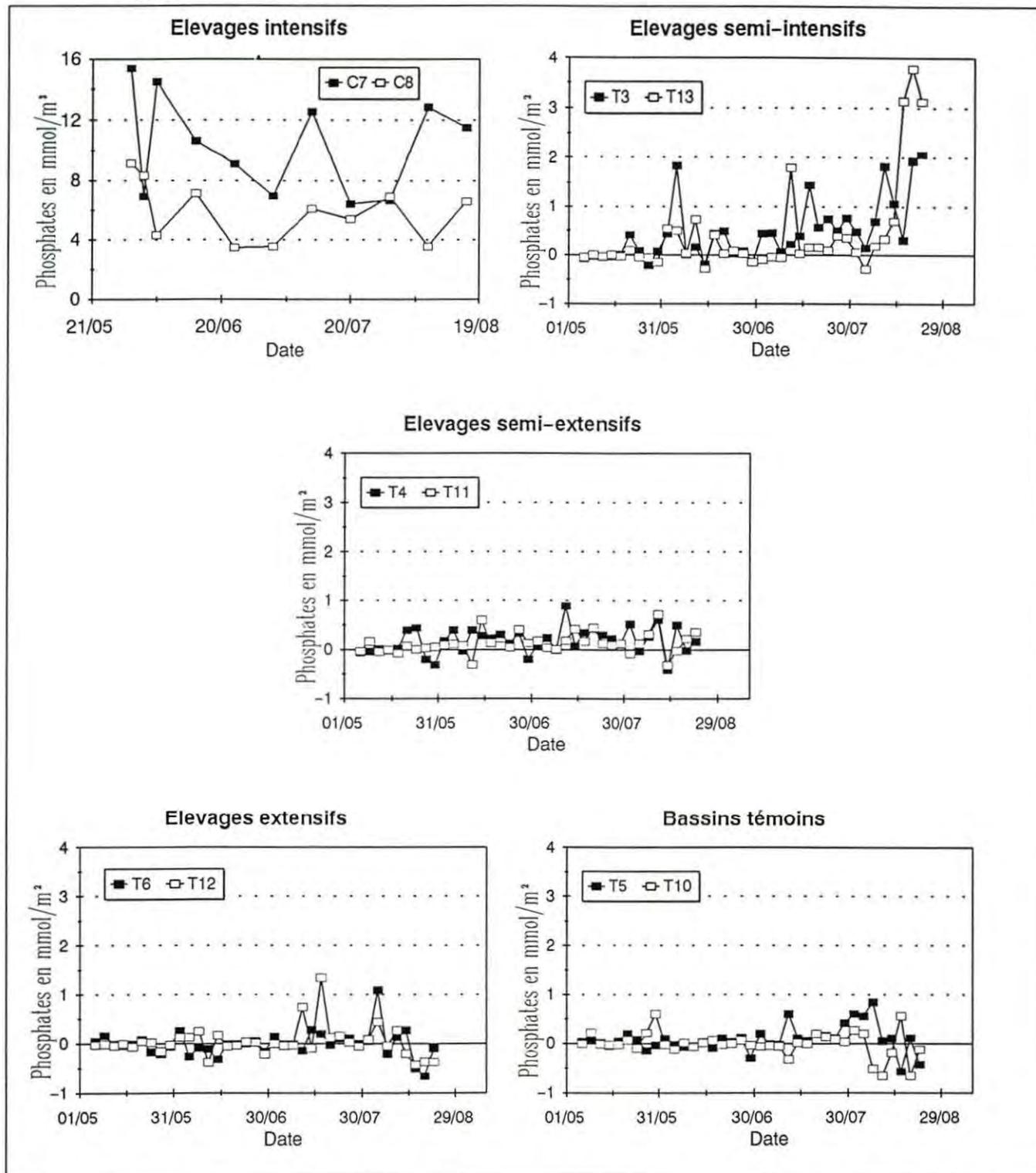


3.2.3. Les phosphates minéraux dissous

Dans les bassins de terre, les bilans en phosphore minéral (fig. 20) sont faibles entre début mai et fin juillet et varient peu en fonction des charges en élevage. Ils varient le plus souvent entre -0,5 et

+0,5 mmol.m⁻². Néanmoins, on observe en août une augmentation significative des bilans journaliers en phosphates dans les bassins semi-intensifs avec des valeurs maximales atteignant près de 4 mmol.m⁻² dans le bassin T13. Les bassins intensifs ont des bilans évoluant nettement du côté positif. Les valeurs varient de +6,45 à +15,36 mmole.m⁻².jour⁻¹ pour le bac C7 et de +3,49 à +9,12 mmole.m⁻².jour⁻¹ pour le bac C8.

Figure 20 : Evolution des bilans en phosphates libres dans les différents bassins sur la période du 06/05 au 22/08



Les bilans en phosphates (tab. 11) calculés sur la saison sont nuls ou faiblement positifs dans les bassins extensifs et les témoins. Les valeurs sont respectivement de -0 et $+0,04 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ pour les bassins T6 et T12, de $-0,06$ et $+0,03 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ pour les bassins T5 et T10. Les bassins semi-extensifs T4 et T11 ont des valeurs légèrement supérieures avec $+0,12$ et $+0,18 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$. Dans les bassins semi-intensifs, les valeurs sont de $+0,45$ et $+0,38 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$ pour les bassins T3 et T13. Les bilans sont multipliés par un facteur 2,7 par rapport aux bassins semi-extensifs. Les bilans, pour les élevages intensifs sont nettement positifs avec $+9,39$ et $+5,12 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$ exportées.

Tableau 11 : Bilans en phosphates en $\text{mmol.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$

| Elevages | Bassins | PO_4 |
|----------------|---------|---------------|
| Intensifs | C7 | 9,39 |
| | C8 | 5,12 |
| Semi-intensifs | T3 | 0,45 |
| | T13 | 0,38 |
| Semi-extensifs | T4 | 0,18 |
| | T11 | 0,12 |
| Extensifs | T6 | $-0,00$ |
| | T12 | 0,04 |
| Témoins | T5 | 0,09 |
| | T10 | $-0,01$ |

3.3. CONCLUSION

Les bilans de matières particulaires et dissoutes se sont toujours révélés faibles ou nuls dans les élevages extensifs ou témoins. Les bassins extensifs évoluant de façon semblable aux témoins, on en conclue que l'impact des élevages extensifs est nul.

Dans les élevages semi-extensifs, les bilans de matière dissoute sont identiques à ceux des bassins extensifs et témoins. Il apparaît cependant que les bilans de chlorophylle a (sur le bassin T4 seulement), de matières en suspension et de matières organiques particulaires sont légèrement supérieurs aux bassins extensifs et témoins. Mais nous n'avons pas pu mettre en évidence une différence significative sur ces différents paramètres entre les bassins semi-extensifs et les bassins extensifs et témoins. L'impact de ce type d'élevage sur l'environnement est donc négligeable.

En présence d'une forte production chlorophyllienne, les bassins semi-intensifs se comportent, pour les substances dissoutes, comme les bassins semi-extensifs, extensifs et témoins. Par contre ils sont très producteurs de matériel organique particulaire. En l'absence d'une production primaire qui joue le rôle de "pompe" de sels nutritifs, les élevages semi-intensifs sont producteurs de toutes les formes organiques et minérales dissoutes d'azote et de carbone.

Les bassins intensifs exportent en grande quantité tous les éléments minéraux et organiques, dissous et particulaires étudiés. Ils exportent en moyenne autant de matières en suspension et de matières organiques particulaires et presque autant de chlorophylle a que les bassins semi-intensifs, 20 fois plus d'azote particulaire, 28 fois plus de carbone organique particulaire et 64 fois plus d'azote minéral.

CHAPITRE 5 : ESTIMATION DE L'IMPACT DE L'AQUACULTURE SUR L'ENVIRONNEMENT; FLUX DE MATIERE

1. REMARQUES PRELIMINAIRES

Les résultats présentés au chapitre précédent ont été établis à partir de l'étude de séries de données ne couvrant pas la même période. Afin de pouvoir généraliser les résultats à la saison d'élevage, nous avons dans une première approximation interpolé les bilans obtenus sur quelques jours pour un facteur donné, à une période de 154 jours correspondant à la période séparant la date du lâché des poissons à la date de repêche du premier bassin. L'interpolation a été réalisée en divisant par j le bilan obtenu sur j jours puis en le multipliant par 154.

De plus, une estimation des bilans de carbone organique particulaire d'origine phytoplanctonique a été réalisée. Le carbone organique particulaire C.O.P est composé de C.O.P d'origine non phytoplanctonique et d'origine phytoplanctonique. La proportion de ce dernier a été estimée à partir de la teneur en chlorophylle a . Une régression linéaire a été établie par M. G. Frikha (1989): $C.O.P = 141,96 * chla a + 428,45$

Le coefficient de cette régression permet de convertir les teneurs en chlorophylle a en carbone phytoplanctonique : $C.O.P \text{ phytoplanctonique} = 141,96 * [\text{chlorophylle } a]$.

2. FLUX DE MATIERE DANS LES BASSINS AQUACOLES

2.1. ANALYSES PAR UNITE DE SUPERFICIE DE BASSIN

2.1.1. Cas du carbone

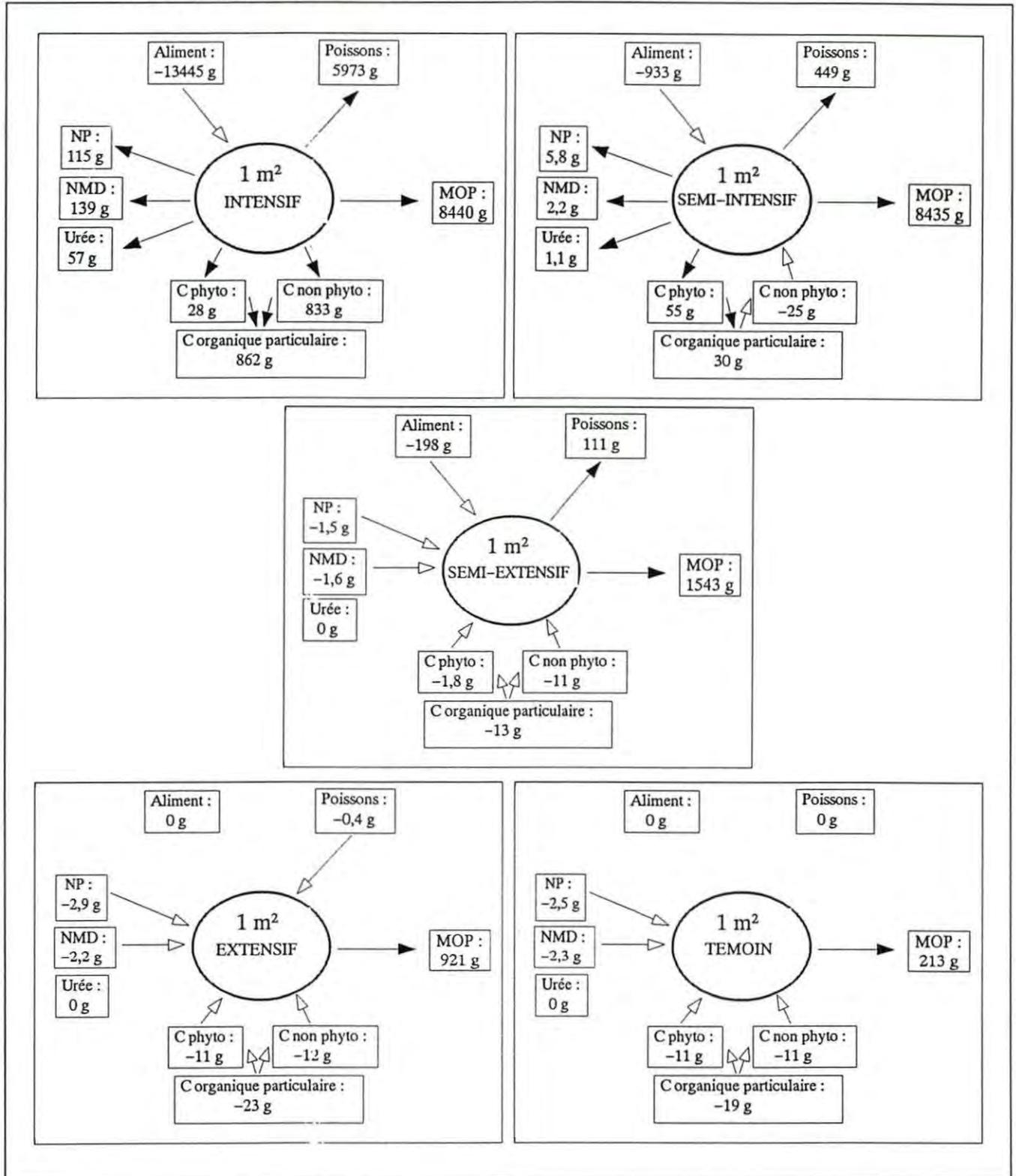
Les bilans en carbone organique particulaire des élevages intensifs sont de $+862 \text{ g.m}^{-2}$. Le carbone d'origine phytoplanctonique et non phytoplanctonique sont respectivement estimés à $+28,1 \text{ g.m}^{-2}$ et à $+834 \text{ g.m}^{-2}$.

Pour les élevages semi-intensifs, les bilans en carbone phytoplanctonique sont, pour les 154 jours estimés à $+54,5 \text{ g.m}^{-2}$ et ceux du carbone non phytoplanctonique à $-24,6 \text{ g.m}^{-2}$.

Les bassins semi-intensifs ont des bilans significativement différents des autres bassins de terre. Les bilans en carbone organique particulaire C.O.P. ont été estimés à $29,9 \text{ g.m}^{-2}$ pour les élevages semi-intensifs et à $-17,66 \text{ g.m}^{-2}$ pour les autres bassins de terre ($F = 53$; $\alpha < 0,002$).

Dans les bassins semi-intensifs, 65 % du C.O.P. qui rentre n'est pas phytoplanctonique. Dans ces mêmes bassins, plus de 82 % du carbone qui sort est lié aux cellules phytoplanctoniques. Globalement, les bassins des élevages semi-intensifs se révèlent donc être des transformateurs du C.O.P. dans le sens C.O.P non phytoplanctonique vers C.O.P. phytoplanctonique. Les élevages semi-intensifs sont des générateurs de C.O.P. phytoplanctonique.

Figure 21 : Flux de matière (en g.m⁻²) intégrés sur une saison de grossissement dans les différents types d'élevage de poisson en marais



Dans les bacs intensifs, 94 % du carbone qui rentre est non phytoplanctonique et 96 % du carbone qui sort ne l'est pas non plus. Nous n'observons pas de "transformation" de la matière. Les apports et les rejets sont principalement constitués de C.O.P. non phytoplanctonique. Cependant il faut remarquer que

dans ces bacs, il ressort globalement 2,7 fois plus de carbone d'origine non phytoplanctonique qu'il n'en rentre. Les élevages intensifs sont des générateurs de carbone d'origine non phytoplanctonique.

Les bassins témoins, extensifs et semi-extensifs sont des "consommateurs" de C.O.P. (phytoplanctonique ou non). Les bilans sont de -11 g.m^{-2} pour le C.O.P. non phytoplanctonique et de $-7,06 \text{ g.m}^{-2}$ pour le C.O.P. d'origine phytoplanctonique.

2.1.2. Cas de l'azote

les bilans en azote particulaire sont positifs dans le cas des bassins semi-intensifs et témoignent d'une exportation : en moyenne $+5,8 \text{ g.m}^{-2}$. Les valeurs sont de $-2,3 \text{ g.m}^{-2}$ pour les autres bassins de terre et significativement différentes ($F = 12,1$; $\alpha < 0,02$). Les bilans pour les bassins intensifs sont estimés à $+115,4 \text{ g.m}^{-2}$.

Bien que les rejets en azote organique dissous par les élevages ne soient pas négligeables (Philippon, 1993) ils n'ont pu encore être établis sur la saison. Cependant des estimations ont été réalisées sur la période du 6 mai au 29 juin. Les exportations moyennes atteignent $1,04 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$ dans les bassins semi-intensifs, $0,4 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$ dans les bassins semi-extensifs et $0,34 \text{ mmol.m}^{-2}$ dans les autres bassins de terre. En comparaison, les exportations moyennes en urée pour la même période sont de $0,13 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$ pour les bassins semi-intensifs, $0,05 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$ pour les bassins semi-extensifs et de $0,01 \text{ mmol.m}^{-2}.\text{jour}^{-1}$ pour les autres bassins de terre. Sur cette période, environ 10 % de l'azote organique est sous forme d'urée. Sur la saison, les bilans en urée sont de $39,5 \text{ mmol.m}^{-2}$ pour les bassins semi-intensifs, et de $-0,63 \text{ mmol.m}^{-2}$ pour les autres bassins de terre ($F = 8,3$; $\alpha < 0,035$).

Le bilan en azote minéral dissous est de $+0,15 \text{ mol.m}^{-2}$ dans les élevages semi-intensifs. On observe donc un rejet azoté sous forme dissoute. Les bilans en ammonium, principale métabolite de l'excrétion azotée chez les poissons, sont de $+0,16 \text{ mol.m}^{-2}$ dans les élevages semi-intensifs et de $-0,12 \text{ mol.m}^{-2}$ dans les autres bassins de terre ($F = 8,5$; $\alpha < 0,035$).

Les bilans ne sont pas significativement différents entre les bassins de terre pour les composés azotés dissous suivants : acides aminés libres DFAA, acides aminés combinés DCAA, nitrites et nitrates.

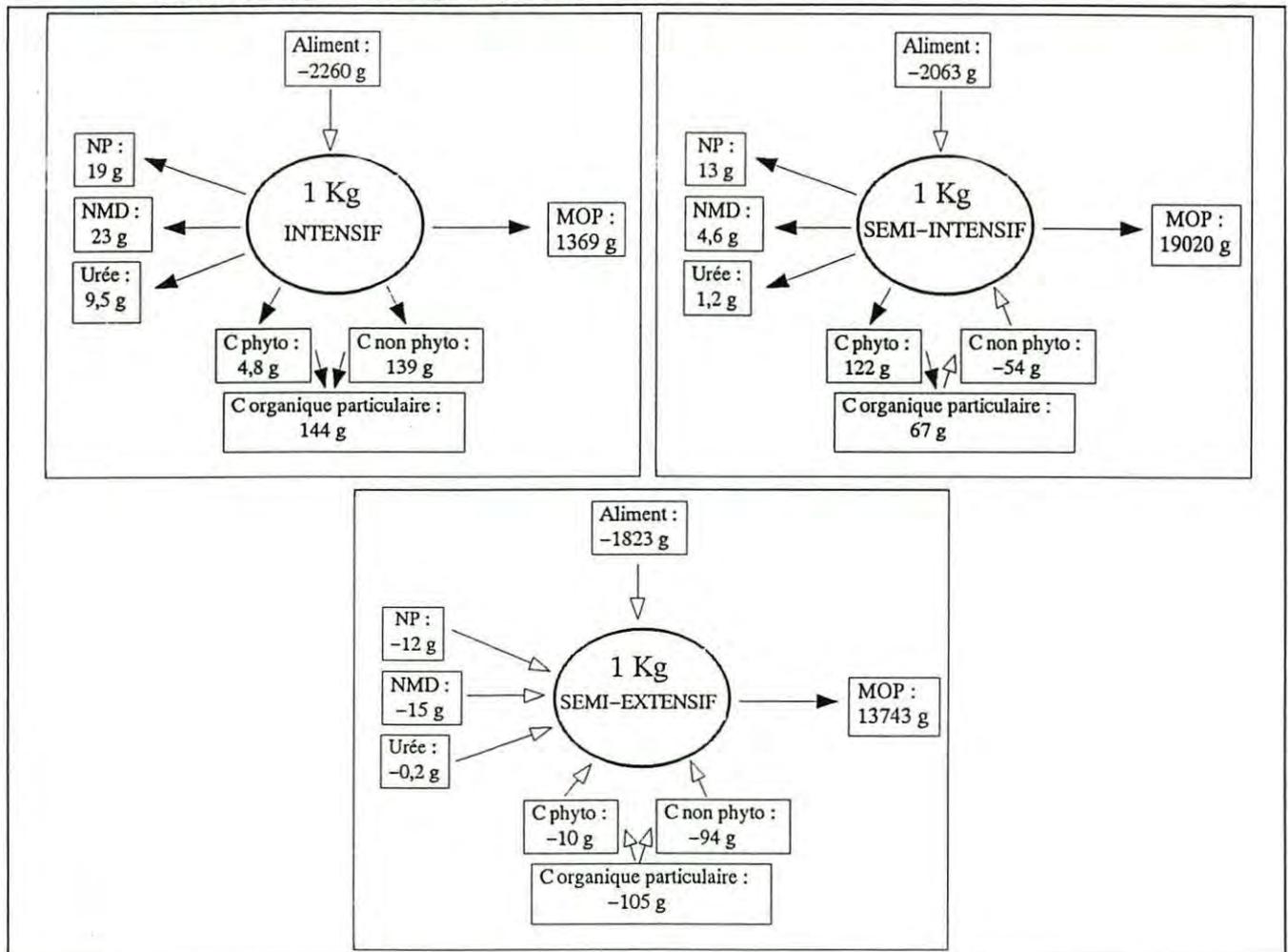
Pour une même superficie, les élevages intensifs exportent en plus grande quantité, et de façon significative $9,96 \text{ mol.m}^{-2}$ d'azote sous forme minérale dissoute ($F = 838,7$; $\alpha < 0,0001$). L'ammonium est le composé majoritaire à 91 %. Ils exportent de l'azote organique dissous dont $0,12 \text{ mol.m}^{-2}$ d'acides aminés ($F = 637$; $\alpha < 0,001$), $0,42 \text{ mol.m}^{-2}$ de polypeptides et de protéines ($F = 7,8$; $\alpha < 0,03$), et $2,04 \text{ mol.m}^{-2}$ d'urée ($F = 63,4$; $\alpha < 0,001$).

2.2. ANALYSE DES BILANS PAR UNITE DE BIOMASSE DE POISSONS PRODUITE

L'estimation des bilans est interpolée à 154 jours de grossissement. Il est à noter que les élevages extensifs et les bassins références n'ont pas été étudiés, leurs gains de biomasse étant négatifs ou nuls.

La production d'un kilogramme de poisson dans nos conditions expérimentales nécessite en moyenne $2,15 \text{ kg}$ d'aliment pour les élevages intensifs, $2,05 \text{ kg}$ pour les semi-intensifs et $1,8 \text{ kg}$ pour les semi-extensifs.

Figure 21 : Flux de matière en g par kg de biomasse produite pendant une saison de grossissement dans les différents types d'élevage de poisson en marais



2.2.1. Les élevages intensifs

Sur une période de 154 jours, les rejets ont été estimés dans le cas des intensifs à 19,3 g.kg⁻¹ d'azote particulaire, à 144 g.kg⁻¹ de carbone organique particulaire (97 % du carbone est d'origine non phytoplanctonique), à 23,4 g.kg⁻¹ d'azote minéral dissous (91 % sous forme d'ammonium), à 9,5 g.kg⁻¹ d'urée et 11,87 g.kg⁻¹ de phosphates.

Les bilans sont significativement différents entre les intensifs et les autres types d'élevages pour le carbone organique d'origine non phytoplanctonique ($F = 153,7$; $\alpha = 0,001$), pour l'urée ($F = 93,6$; $\alpha = 93,6$), et l'ammonium ($F = 56$; $\alpha < 0,005$). Nous observons une faible quantité de matières organiques particulières produite par rapport aux autres élevages. En revanche, elle est très riche en azote (1,4 %) et en carbone (10,5 %). Dans les semi-intensifs, nous avons 0,07 % d'azote et 0,36 % de carbone.

2.2.2. Les élevages semi-intensifs

Les élevages semi-intensifs exportent vers l'environnement 13,2 g.kg⁻¹ d'azote particulaire, 67,9 g.kg⁻¹ de carbone organique particulaire (essentiellement sous forme phytoplanctonique), 4,6 g.kg⁻¹ d'azote minéral dissous (Sous forme d'ammonium), 2,5 g.kg⁻¹ d'urée et 4,5 g.kg⁻¹ de phosphates. Dans ce cas,

nous observons des différences significatives avec les autres élevages pour les composés azotés dissous : l'urée ($F = 93,6$; $\alpha < 0,005$) et l'ammonium ($F = 56$; $\alpha = 0,004$).

2.2.3. Les élevages semi-extensifs

Pour les élevages semi-extensifs, les bilans sont orientés à l'importation. Les bilans sont de $-12,7 \text{ g.kg}^{-1}$ d'azote particulaire, -104 g.kg^{-1} de carbone organique particulaire, $-1,1 \text{ g.kg}^{-1}$ d'azote minéral dissous, et $-0,2 \text{ g.kg}^{-1}$ d'urée. La valeur du bilan pour les phosphates est, contrairement aux autres, positive. Elle est de $6,9 \text{ g.kg}^{-1}$. Pour cet élément, nous n'avons pas pu mettre en évidence une variance significative entre les différents types d'élevages. Par contre, les bilans sont significativement différents pour l'azote particulaire ($F = 18,7$; $\alpha = 0,02$), le carbone organique particulaire ($F = 14,42$; $\alpha < 0,03$), l'urée ($F = 93,6$; $\alpha = 0,002$), l'ammonium ($F = 56$; $\alpha < 0,005$) et les nitrites ($F = 15,1$; $\alpha < 0,03$).

2.2.4. Conclusion

La production d'un kilogramme de bar engendre des rejets d'autant plus importants que l'élevage est intensifié pour les composés azotés suivants : l'urée, l'ammonium et l'azote minéral dissous (composé essentiellement d'ammonium). De plus, les élevages intensifs rejettent plus de carbone organique particulaire d'origine non phytoplanctonique que les élevages en bassin de terre quelque soit le degré d'intensification.

Par contre, nous n'avons pas mis en évidence de rejets significativement plus importants pour les acides aminés dissous, les polypeptides et les protéines, la chlorophylle a, les phosphates, et les nitrates.

CONCLUSION GENERALE

Les bilans des élevages extensifs et semi-extensifs sont faibles ou nuls et sont similaires à ceux des bassins témoins pour le carbone organique particulaire, l'azote particulaire et les sels nutritifs dissous. Il apparaît cependant une augmentation des rejets en matières organiques particulières en fonction des charges en élevage. Globalement les bilans exprimés par unité de surface ou par kg de poisson produit, des trois types de bassin ne sont pas significativement différents. Par ailleurs, les évolutions des bilans journaliers sont similaires. On peut en conclure que l'impact de ces élevages sur l'environnement est négligeable.

Les bassins semi-intensifs qui ont reçu les apports organiques les plus élevés des bassins de terre ont montré des bilans en chlorophylle a largement excédentaires. L'évolution quantitative et qualitative des rejets est dictée par l'activité photosynthétique et la compétition phytoplancton-macrophytobenthos.

En l'absence de production primaire, les élevages semi-intensifs sont producteurs de toutes les formes organiques et minérales dissoutes d'azote et de carbone.

Dans le cas d'une forte activité photosynthétique, les sels nutritifs sont directement "pompés" par les espèces végétales et on n'observe pas ou peu de rejets en azote dissous. Par contre, les bassins sont très producteurs de matériels organiques particuliers. Les rejets en carbone sont essentiellement d'origine phytoplanctonique et sont estimés sur 154 jours à +55 g.m⁻² et à 122 g.kg⁻¹ de poisson produit. Cette production est directement rejetée dans l'environnement et peut augmenter les risques d'eutrophisation du milieu. L'utilisation de bivalves filtreurs à hautes valeurs commerciales serait une solution pour réguler l'excès de phytoplancton mais aussi une source de revenu complémentaire pour le pisciculteur. Ce système de polyculture poisson/bivalve fonctionne donc comme un "filtre" biologique et peut réduire de 50 % les rejets en phytoplancton (Shpigel et Blaylock, 1991). La faisabilité technique et économique a déjà été démontrée en aquaculture intensive de crevette (Chee-Yin Lam et Jaw-Kai Wang, 1990), et en élevage de daurade *Sparus aurata* (Shpigel et al, 1990 ; 1993).

Les bassins intensifs sont fortement producteurs de carbone organique particulaire d'origine non phytoplanctonique et donc non utilisable tel que pour une production de bivalves. Les bilans exprimés par unité de superficie sont largement excédentaires pour les éléments minéraux, organiques, dissous et particuliers. Les élevages intensifs exportent 20 fois plus d'azote particulaire, 28 fois plus de carbone organique particulaire et 64 fois plus d'azote minéral que les élevages semi-intensifs. Exprimés par unité de poisson produite, les rejets sont respectivement 5 fois, 8 fois et 1,5 fois plus importants dans le cas de l'azote minéral dissous, de l'urée et de l'azote particulaire. Il est à noter que la production d'un kilogramme de poisson engendre des bilans en urée, en azote minéral dissous d'autant plus positifs que l'élevage est intensifié.

BIBLIOGRAPHIE

- AMINOT A. et CHAUSSEPIED M., 1983. Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, Brest. 395 p.
- BARNABE G., 1986. L'élevage du loup et de la daurade. Aquaculture vol.2, G.Barnabé coordonnateur. Lavoisier Ed., Paris, 628-668.
- BLANCHARD G., CHRETIENNOT-DINET M. j., DINET A. et ROBERT J. M., 1988. Méthode simplifiée pour l'extraction du microphytobenthos des sédiments marins par le gel de silice ludox. C. R. Acad. Sci., Paris, III, 307 : 569-576.
- BAUD J. P., HAURE J., MARION A. et ROBERT J. M., 1990. Caractéristiques hydrobiologiques de quatre secteurs ostréicoles de la baie de Bourgneuf en 1987. Rapport interne de la direction des ressources vivantes de l'IFREMER. RIDRV-90.RA/Bouin, 65 p.
- BROWN J. R., GOWEN R. J. et Mc LUSKY, 1987. The effect of salmon farming on the benthos of a Scottish sea loch. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 109 : 39-51.
- CAM D., 1987. Détermination des contributions relatives de la productivité naturelle et de l'aliment à la ration alimentaire de la crevette *Penaeus japonicus* élevée en conditions semi-intensives. ICES, C. M. 19889/K : 22 p.
- CHEE-YIN LAM et JAW-KAI WANG, 1990. The effect of feed water flow rate on the growth of aquacultured *Crassostrea virginica* in Hawaii. Aquaculture, 9 : 411-427.
- COPIN-MONTEGUT G., 1989. Physico-chimie de l'eau de mer in Océans. Institut océanographique Paris, volume 15, 141 p.
- DELMAS D., FRIKHA M. G. et LINLEY E. A. S., 1989. Dissolved primary amine measurement by Flow Injection Analysis with o-phthaldialdehyde : comparison with Hight-Performance Liquid Chromatographie. Marine Chemistry, 29 : 145-154.
- DOSDAT A., 1992. L'excrétion chez les poissons Téléostéens. La pisciculture française, 108 : 25-36.
- FRIKHA M. G., 1989. Rôle des bactéries dans le réseau trophique et les processus de minéralisation d'un marais atlantique type claire à huîtres. Thèse de doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale, 128 p.
- GUERIN-ANCEY O., 1976 a. Etude expérimentale de l'excrétion azotée du bar (*Dicentrarchus labrax*) en cours de croissance. I. Effets de la température et du poids du corps sur l'excrétion d'ammoniac et d'urée. Aquaculture, 9, 71-80.
- HALL O. J. et HOLBY O. L. H., 1986. Environmental impact of a marine fishcage culture. ICES, Mariculture Committee, CM 1986/F : 46, 14 p.
- HUSSENOT J., CASTFL J., FARDEAU J. C., FEUILLET-GIRARD M., GAUTIER D., LEGRAND C., MARTIN J. L., PIRASTRU L., RAVAIL B., RINCE Y. et SAUTOUR B., 1992. Stimulation de la productivité naturelle par enrichissement minéraux et organiques : étude en mésocosmes naturels.

- Rapport interne de la Direction des Ressources Vivantes de l'IFREMER. RA/CREMA-L'HOUMEAU, 94 p.
- HUSSENOT J. et REYMOND H., 1990. Accroissement de la production des élevages semi-extensifs de crevette impériale en marais salés atlantique. In : "Accroissement de la production des élevages aquacoles des plans d'eau stagnants et peu profonds", 15-18 mai 1990 (Prague, Tchécoslovaquie). EIFAC/90/Symp.E46 ; 10 p + annexe.
- KILAMBI R. V., HOFFMAN C. E., BROWN A. V., ADAMS J. C. et WICKIZER, W. A. , 1976. Effects of cage culture fish production upon the biotic and abiotic environment of Crystal Lake, Arkansas. Rapp. final, NOAA/N MFS PL 88-309, project 2-166R, 127 p.
- LE BRIS H., 1993. Influence des effluents piscicoles de marais maritimes sur l'environnement conchylicole. Rapport de contrat SMIDAP/ENV Nantes, 28 p.
- LE MOINE O., BUCHET V., FOASSON R. et PALVADEAU H., 1990. Elevage semi-intensif de poisson en marais maritimes : Bar *Dicentrarchus labrax* et Daurade royale *Sparus aurata*. Résultats obtenus à AQUALIVE en 1988-89. Rapport Interne de la Direction des Ressources Vivantes de l'IFREMER, 72 p.
- LE MOINE O., BUCHET V., FOASSON R., PALVADEAU H., BRISSE J.P. et FRANTZEN M., 1991. Elevage semi-intensif de bars et de daurades en marais. Résultats obtenus en 1990 à AQUALIVE. Rapport de contrat IFREMER/Région Pays de Loire/Région Poitou-Charentes, 52 p.
- MANAUD F., DESLOU-PAOLI J. M., PICHOT C., JUGE C., HUSSENOT J., BUCHET V., BODOY A., LE MAO P. et MAUVAIS J. L., 1992. Aquaculture en marais et lagunes - 1^{re} partie. Equinoxe, 41 : 14-36.
- PETTY R. L., MICHEL W. C., SNOW J. P. et JOHNSON K.S., 1982. Determination of total primary amines in seawater and plant nectar with flow injection sample processing and fluorescence detection. Anal. Chim. Acta, 142 : 299-304.
- PHILIPPON X., 1993. Evolution des sels nutritifs et de la chlorophylle dans les bassins d'aquaculture du bar en marais maritime. Rapport INTECHMER/CNAM, Cherbourg, 43 p.
- PORTER C. B., KROM M. D., ROBBINS M. G., BRICKELL L. et DAVIDSON A., 1987. Ammonium excretion and total N budget for gilthead seabream (*Sparus aurata*) and its effect on water quality conditions. Aquaculture, 66 : 287-297.
- REYMOND H., 1989. Etude de régime alimentaire du bar *Dicentrarchus labrax* en élevage semi-intensif dans les marais aquacoles de la station AQUALIVE. Rapport final, mai 1989. ECOCEAN, contrat IFREMER n°88.5.524009, 25 p.
- REYMOND H. et LAGARDERE J. P., 1990. Feeding rhythms and food of *Penaeus Japonicus* bate (Crustacea, Penaeidae) in salt marsh : role of halophilic entomofauna. Aquaculture, 84 : 125-143.
- REYMOND H., 1991. Dynamique de la chaîne hétérotrophe benthique des marais maritimes en période estivale et son impact sur les productions aquacoles de carnivores : *Penaeus japonicus*, un modèle d'étude. Thèse de Doctorat de l'Université PARIS VI, 257 p.
- ROLLET P., 1986. Détermination des contributions relatives de la productivité naturelle et de l'aliment à la ration alimentaire de la crevette *Penaeus japonicus* élevée en conditions semi-intensives. Ingénieur, I.N.A. Paris-Grignon : 79 p.

- ROSENBERG R., 1979. Effect of oxygen deficiency on benthic macrofauna in Fjords. ICES Council Meeting Collected Papers, 499-514.
- ROUILLARD I., 1988. Contrôle des algues macrophytes. Rapport interne AQUALIVE, 51 p.
- SHPIGEL M. et FRIDMAN R., 1990. Propagation of the manila clam (*Tapes semidecussatus*) in the effluent of fish aquaculture pond in Eilat, Israel. *Aquaculture*, 90 : 113-122.
- SHPIGEL M. et BLAYLOCK R. A., 1991. The Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, as a biological filter for a marine fish aquaculture pond. *Aquaculture*, 92 : 187-197.
- SHPIGEL M., LEE J., SOOHOO B., FRIDMAN R. et GORDIN H., 1993. Use of effluent water from fish-ponds as a food source for the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* thunberg. *Aquaculture and Fisheries Management*, 24 : 529-543.
- STRICKLAND J. D. et PARSONS T. R., 1972. A practical handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 167, 2nd : 310 p.
- VERNIER S., 1993. Evolution des paramètres biologiques des bassins d'aquaculture intensive, semi-intensive, semi-extensive et extensive de bar en marais maritime. Rapport INTECHMER/CNAM, Cherbourg, 51 p.
- VIDEAU C. et MERCERON M., 1992. Impact de la pisciculture marine intensive sur l'environnement. *Revue Bibliographique*. Rapport Interne de la Direction de l'Environnement et de l'aménagement Littoral, 105 p.