

JK530377

BA-TH1324

**Université Montpellier II
Sciences et Techniques du
Languedoc
Place Eugène Bataillon
34095 MONTPELLIER Cedex 5**

**CIRAD-EMVT
TA 30 / B
Campus International de Baillarguet
34398 MONTPELLIER Cedex 5**

**Ifremer
Station Expérimentale d'Aquaculture
Chemin de Maguelone
34250 PALAVAS-LES-FLOTS**

**DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES
PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES**

RAPPORT DE STAGE

**EFFET DE LA CHARGE SUR LES PERFORMANCES
BIOLOGIQUES DU BAR (*Dicentrarchus labrax*)
EN SYSTEME RECYCLE**

par

Sophie SAMMOUTH

**CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet**

**BA
TH1324**

Année universitaire 2004-2005



RESUME ET MOTS-CLES

RESUME

La considération du bien-être et de la santé des animaux en aquaculture est en pleine expansion conformément aux exigences des consommateurs qui réclament des produits de qualité, sains et éthiquement acceptables. Notre étude s'inscrit dans le contexte du projet Européen WEALTH qui a débuté en octobre 2003. Elle apporte une contribution à la problématique de ce projet en évaluant l'effet de la charge sur les performances biologiques du bar (*Dicentrarchus labrax*) en système recyclé.

Des bars, d'un poids initial de 135 g, ont été élevés selon quatre charges différentes (10, 40, 70 et 100 kg/m³) pendant 63 jours, avec une qualité d'eau aux caractéristiques physico-chimiques non limitantes.

Des différences significatives ($P < 0,05$) sont observées à partir du 21^{ème} jour sur le taux d'alimentation journalier, le taux de croissance spécifique et la croissance pondérale, entre les trois premières charges (10, 40 et 70 kg/m³) et la charge 100 kg/m³. Les poissons élevés à la plus forte charge ont un taux d'alimentation et un taux de croissance spécifique respectivement inférieurs de 8 % et 14 %. La croissance pondérale est inférieure de 10,5 %.

En revanche, il n'apparaît pas de différences significatives ($P > 0,05$) entre les charges sur la longueur et l'indice de conversion alimentaire qui s'améliore au cours du temps. Le gain de biomasse n'est significativement différent qu'entre le 21^{ème} et le 42^{ème} jour, entre les charges 10, 70 kg/m³ (18,3 %) et 40, 70, 100 kg/m³ (16,3 %).

Ces résultats confirment l'existence d'un effet charge. Dans nos conditions d'élevage, les charges allant jusqu'à 70 kg/m³ ne constituent pas un frein pour les performances de croissance du bar et respectent certainement le bien-être de l'animal.

MOTS-CLES : aquaculture, *Dicentrarchus labrax*, bar européen, charge d'élevage, croissance pondérale, système recyclé, bien-être, Méditerranée, France

ABSTRACT

Welfare and health in sustainable aquaculture is growing of interest according to consumers requests who need safe and ethically defendable food products. Our study is inserted in the European project WEALTH which started in October 2003. It provides a contribution to the project in order to assess the effect of stocking density on seabass (*Dicentrarchus labrax*) biological performances in a recirculation system.

Seabass, having 135 g in average weight, were reared at four different stocking densities (10, 40, 70 and 100 kg/m³) during a 63 days period, in water quality having no limitant physico-chemical patterns. Significant differences ($P < 0,05$) are observed from the 21th day on feed intake, specific growth rate and growth, between three first stocking densities (10, 40 and 70 kg/m³) and stocking density 100 kg/m³. Fish reared at highest stocking density have a feed intake and a specific growth rate respectively lower of 8 % and 14 %. Growth is lower of 10,5 %.

By contrast, no significant differences ($P > 0,05$) between stocking densities were found on length and feed conversion ratio which improve concomitantly with time. Biomass increase is significantly different from the 21th to the 42th day, between 10, 70 kg/m³ (18,3 %) and 40, 70, 100 kg/m³ (16,3 %) stocking densities.

The results confirm the stocking density effect. In our rearing conditions, stocking density until 70 kg/m³ doesn't reduce growth performance in seabass and certainly respect animal welfare.

KEY WORDS : aquaculture, *Dicentrarchus labrax*, European seabass, stocking density, weight growth, recirculating system, welfare, Mediterranean, France

A mes parents, ma sœur, mon papi, ma mamie surtout et mes amis,
pour leur inépuisable patience, leurs précieux conseils
et disponibilité tout au long de mes études.
Merci du fond du cœur.

...et...à ma chienne Laïka pour ses câlins.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu mon directeur de mémoire Monsieur Olivier GUELORGET, chercheur à l'Université-Montpellier II, ainsi que la Direction d'Ifremer pour m'avoir permis d'effectuer le stage de DESS au sein de la station Ifremer de Palavas-les-Flots.

Je remercie tout particulièrement mon maître de stage Monsieur Jean-Paul BLANCHETON pour m'avoir accueillie dans l'équipe Milieux-Santé et permis d'apporter ma contribution au projet européen Wealth.

Je remercie vivement le responsable technique Monsieur Eric GASSET, technicien d'aquaculture, pour m'avoir enseignée, guidée, conseillée et épaulée tout au long du stage. Il m'a fait confiance et m'a laissé participer à toutes les manipulations faisant de cette formation un plaisir.

Un grand merci à Madame Béatrice CHATAIN pour son extrême gentillesse et son aide précieuse en statistiques.

Merci aussi à Madame Aurélie CHARRIER pour m'avoir fourni de précieux résultats.

Merci à toute l'équipe Milieux-Santé, les chercheurs, les techniciens et enfin, merci au personnel administratif pour son accueil et sa disponibilité au dialogue.

SOMMAIRE

RESUME ET MOTS-CLES	1
DEDICACE	2
REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE	4
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	6
PRESENTATION DE L'IFREMER	8
<u>INTRODUCTION</u>	9
<u>MATERIEL ET METHODES</u>	11
1) <u>Description de la salle d'expérimentation</u>	11
a) <u>Système d'apport de l'eau dans la station</u>	11
b) <u>Principe du système recyclé</u>	11
c) <u>La salle d'expérimentation</u>	11
o <i>Les différents maillons de l'installation</i>	
o <i>Principe de fonctionnement du circuit d'eau</i>	
2) <u>Matériel biologique</u>	14
a) <u>Systématique et biologie sommaire</u>	14
b) <u>Poissons de l'expérimentation</u>	15
3) <u>Mise en place de l'expérimentation</u>	15
a) <u>Phase d'acclimatation</u>	15
b) <u>Phase d'expérimentation</u>	15
o <i>Alimentation</i>	
o <i>Réajustement des biomasses et fréquence des biométries</i>	
c) <u>Mesure des indices de performances</u>	16
o <i>Paramètres biologiques</i>	
o <i>Physiologie</i>	
4) <u>Gestion de la qualité de l'eau</u>	17
a) <u>Problématique</u>	17
b) <u>Mesure et contrôle des débits</u>	18
c) <u>Paramètres de l'eau</u>	19
5) <u>Analyses statistiques</u>	20

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Répartition des charges dans les bassins expérimentaux	P 11
Tableau II : Débits en entrée des bassins, réglés par qualité d'eau et par charge	P 19
Tableau III : Paramètres fixés pour l'expérimentation, correspondant à la qualité de l'eau dans les bassins et en sortie des bassins	P 19
Tableau IV : Valeur du pH moyen mesuré dans les bassins en fonction de la charge sur une période de 63 jours	P 22
Tableau V : Concentrations moyennes de l'ammoniaque, des nitrites, nitrates, phosphates et de l'urée dans les bassins en fonction de la charge, et en entrée et sortie du filtre biologique sur une période de 63 jours	P 23
Tableau VI : Valeurs moyennes de la saturation de l'eau des bassins en oxygène en fonction de la charge, durant la totalité de l'expérience	P 24
Tableau VII : Valeurs moyennes de la concentration en CO ₂ de l'eau des bassins en fonction de la charge, durant la totalité de l'expérimentation	P 24
Tableau VIII : Analyses de variances effectuées sur le poids des bars élevés selon quatre charges différentes (10, 40, 70, 100 kg/m ³). Modèle à deux facteurs : la charge (a) est fixe et le facteur bassin (b) aléatoire, et hiérarchisé à la charge. ddl : degrés de liberté ; P : probabilité de rejet	P 29
Tableau IX : Analyses de variances effectuées sur la longueur des bars élevés selon quatre charges différentes (10, 40, 70, 100 kg/m ³). Modèle à deux facteurs : la charge (a) est fixe et le facteur bassin (b) aléatoire, et hiérarchisé à la charge. ddl : degrés de liberté ; P : probabilité de rejet	P 30
Tableau X : Analyses de variances effectuées sur le gain de biomasse des bars élevés selon quatre charges différentes (10, 40, 70, 100 kg/m ³). Modèle à un facteur fixe, la charge (a). ddl : degrés de liberté ; P : probabilité de rejet	P 31
Tableau XI : Coefficients d'asymétrie (b ₁) et d'aplatissement (b ₂) pour chaque charge sur l'ensemble de l'expérience	P 32

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Agencement des différentes charges dans la salle d'expérimentation.	P 12
Figure 2 : Taux d'alimentation journalier de chaque triplicata en fonction de la charge sur l'ensemble de l'expérimentation.	P 25
Figure 3 : Evolution du taux d'alimentation journalier au cours du temps et en fonction de la charge. (P = période)	P 26

- Figure 4 : Taux de croissance spécifique de chaque triplicata en fonction de la charge sur l'ensemble de l'expérience. P 26
- Figure 5 : Evolution du taux de croissance spécifique au cours du temps et de la charge. (P = période) P 27
- Figure 6 : Indice de conversion alimentaire de chaque triplicata en fonction de la charge sur l'ensemble de l'expérience. P 27
- Figure 7 : Evolution de l'indice de conversion alimentaire pour les 4 charges au cours des 3 périodes expérimentales. P 28
- Figure 8 : Croissance pondérale des bars élevés selon 4 charges différentes (10, 40, 70, 100 kg/m³) en fonction du temps. (Période 0 : début de l'expérience) P 28
- Figure 9 : Croissance en longueur des bars élevés selon 4 charges différentes (10, 40, 70, 100 kg/m³) en fonction du temps. P 29
- Figure 10 : Evolution du gain de biomasse en fonction de la charge (10, 40, 70, 100 kg/m³) et du temps (P = période). P 30
- Figure 11 : Evolution du coefficient de variation en fonction de la charge (10, 40, 70, 100 kg/m³) et du temps (P = période). P 32

PRESENTATION DE L'IFREMER

L'Ifremer, Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer, a été créé en 1984 par la fusion de l'ISTPM et du CNEXO. Il est présent dans 26 implantations réparties sur tout le littoral métropolitain et dans les DOM-TOM. L'Institut est structuré en 5 centres (Boulogne, Brest, Nantes, Toulon et Tahiti) et en une vingtaine de stations rattachées à ces centres. Le siège est situé à Paris (Issy-les-Moulineaux).

Le département « Pisciculture Marine » regroupe deux laboratoires :

- Le laboratoire de « Pisciculture Marine » à Palavas dédié complètement à l'aquaculture,
- Le laboratoire de « Pisciculture Marine Tropicale » de la Martinique.

Il compte 33 personnes dont 13 chercheurs, répartis en trois équipes. La thématique de recherche du département se situe dans le principal axe du potentiel de développement de l'aquaculture : le poisson marin.

Sur la station de Palavas (Annexe 1), les compétences s'ordonnent autour de deux équipes :

Milieux-Santé et Génétique-Reproduction.

- ✓ L'équipe Milieux-Santé a pour objectif la compréhension des relations entre le milieu d'élevage et l'état physiologique des poissons, le contrôle du milieu et des rejets. Ce champ d'action comporte une approche de type « biosécurité » et « bien-être », de manière à assurer la prévention des pathologies potentielles et la limitation du stress des animaux élevés. Ce contrôle permet d'assurer la fiabilité des productions en quantité comme en qualité.
- ✓ L'équipe Génétique-Reproduction a pour objectif le développement de tous les aspects de la domestication, depuis le contrôle de la reproduction et de la qualité des gamètes jusqu'à l'optimisation du potentiel génétique des espèces d'intérêt commercial par les méthodes de sélection assistées ou non par marqueurs.

Dans les DOM-TOM, l'objectif est de soutenir l'émergence de filières nouvelles (projet ombrine), afin d'assurer la compétitivité et l'emploi local par le maintien d'une avance technologique.

Le département Pisciculture Marine est un des 4 leaders en Europe et le premier en Méditerranée. L'excellence des installations est reconnue à Palavas, et appréciée de la communauté scientifique européenne. Ce qui lui vaut cette forte reconnaissance internationale vient aussi des multiples partenariats tissés au fil des années. L'avenir est désormais de renforcer ses compétences scientifiques et son expertise en prenant en compte, à l'échelle euro-méditerranéenne et tropicale, les problématiques plus générales de la gestion intégrée de la zone côtière.

INTRODUCTION

L'aquaculture, et plus particulièrement la pisciculture, constitue l'une des activités humaines les plus anciennes. C'est un domaine en progression constante qui n'a connu un véritable essor qu'à partir du XX^{ème} siècle, dès l'apparition des études scientifiques approfondies sur la physiologie des poissons (Le Carpentier, 1995). Cet essor est d'autant plus important que la surexploitation des océans tend à entraîner l'épuisement des stocks sauvages et qu'il peut répondre à une poussée démographique mondiale considérable. L'aquaculture vise donc à compléter, voire remplacer à long terme, les ressources marines naturelles. En 2002, l'offre mondiale des produits aquatiques était de 133 millions de tonnes avec 30 % issus de l'aquaculture. La prévision pour 2015 serait de 183 millions de tonnes avec une part de 73 % pour l'aquaculture (FAO, 2004).

La filière la plus dynamique de cette activité est la pisciculture marine parce qu'elle satisfait une forte demande et qu'elle dispose d'un espace de développement, la bande littorale, avec des moyens croissants de contrôle des systèmes d'élevage. Le premier poisson marin élevé à une échelle commerciale en Europe fut le bar (*Dicentrarchus labrax*) au début des années 80.

L'aquaculture marine a fait d'énormes progrès techniques et les besoins de performances pour les élevages ont évolué très rapidement. Mais dès 1985, l'objectif n'est pas seulement de « produire », il doit aussi répondre à des exigences de qualité croissantes des consommateurs et de la société. En effet, de nombreuses études faites dans toute l'Europe démontrent que les consommateurs réclament des produits de qualité, sains et éthiquement acceptables. Les enjeux économiques sont si importants qu'en 2002 le Parlement européen publie sa résolution sur l'aquaculture. Elle explique que, pour tendre vers un développement durable, la pisciculture marine doit s'appuyer sur des connaissances nouvelles pour lui permettre de mettre en œuvre des systèmes de production et des savoir-faire adaptés à une meilleure prise en compte des paramètres suivants :

- la sécurité alimentaire par prévention du risque sanitaire pour l'homme et la mise en place d'une traçabilité rigoureuse,
- la préservation de la santé par l'amélioration de la qualité diététique des produits d'élevage,
- la préservation de l'environnement de proximité et l'environnement global par la réduction de la consommation d'énergie non renouvelable, de la production de déchets et le développement des systèmes de recyclage à terre couplés à l'éloignement des élevages en cages vers le large,
- la préservation de la biodiversité et du patrimoine génétique naturel,
- l'éthique animale au niveau du bien-être en élevage et des procédures de transport et d'abattage,
- le développement socio-économique des tissus socio-professionnels concernés en veillant à la stabilité des emplois,
- la diversification de l'offre en favorisant l'élevage de nouvelles espèces à forte valeur ajoutée.

C'est donc dans le cadre de la santé et du bien-être des poissons en élevage que le projet européen WEALTH, pour « *welfare and health in sustainable aquaculture* », a vu le jour en octobre 2003, pour une durée de trois ans (2004-2006). Financé par la Commission Européenne, ce projet rassemble un partenariat européen d'universités et d'instituts de recherche formant une équipe pluridisciplinaire spécialisée en élevage, environnement, comportement, physiologie du stress, pathologie, immunologie et biologie moléculaire.

L'objectif premier de ce projet est de fournir aux producteurs des outils leur permettant d'évaluer facilement l'état de bien-être de leur cheptel. Soit, développer et valider des protocoles opérationnels d'élevage afin d'améliorer ce bien-être, et la santé des poissons d'aquaculture, en réduisant leur stress et en améliorant leurs compétences immunitaires.

Deux espèces majeures piscicoles en Europe sont la cible de cette recherche, le saumon d'Atlantique et le bar. L'intention finale est d'appliquer les résultats obtenus au niveau industriel et à d'autres espèces telles que les truites et les daurades.

Ces poissons seront alors exposés à diverses conditions d'élevage (eau douce, eau de mer, système de recirculation) et à des facteurs de stress environnementaux (variation de la concentration en oxygène, en ammoniac, en dioxyde de carbone, de la charge, etc.) afin d'identifier la réponse physiologique, comportementale et immunitaire de l'animal.

Une première expérimentation dans le cadre de Wealth s'est déroulée d'octobre 2004 à février 2005 à la station de Palavas, concernant l'effet de la charge sur les performances biologiques du bar en circuit ouvert. Ce circuit nécessite un apport d'eau important car l'eau n'est ni recyclée, ni réutilisée. La même expérience est reproduite, cette fois-ci en circuit recyclé et fait l'objet de ce stage. Ces deux études s'effectuent dans des conditions optimales et avec une qualité d'eau identique quelque soit la charge en élevage.

En effet, l'importance de la charge dans les élevages est rapportée par divers auteurs, sur plusieurs espèces de poissons (Papoutsoglou *et al.*, 1998). Les poissons sont élevés à forte charge afin de réduire les coûts de production, mais il a été démontré que ce paramètre est un facteur clé de l'élevage ayant la capacité d'affecter le bien-être des animaux. De plus, la charge exerce une influence au niveau des gènes en réprimant ou en améliorant leur expression, ce qui se répercute au niveau physiologique (Gornati *et al.*, 2004). L'inconvénient est que les éventuelles modifications ne sont détectables qu'avec des techniques moléculaires, donc peu accessibles pour un éleveur. D'autres études ont porté sur l'effet de la charge sur le sex-ratio du bar ou encore sur la croissance des larves (Saillant *et al.*, 2003).

Pour décrire aisément l'état de santé des poissons, il est nécessaire que les producteurs disposent d'indicateurs fiables, prédictifs et facilement appréciables. L'analyse des modifications comportementales ou de certains paramètres sanguins (Gornati *et al.*, 2004) peut être un outil pertinent et mérite d'être approfondie.

Outre l'effet « charge », au cours de la manipulation, le comportement et la résistance à certains agents pathogènes sont évalués. Pour le comportement, l'activité natatoire a été observée et mesurée par des méthodes de télémétrie acoustique (Bégout Anras et Lagardère, 2004). Concernant l'aspect pathologie, les poissons sont infectés suite à l'injection de nodavirus à la fin de l'expérience sur la charge. Trois charges sont utilisées : 10, 40 et 100 kg/m³.

Ce mémoire a pour objectif de mettre en évidence l'effet de la charge en élevage sur les performances biologiques du bar (*Dicentrarchus labrax*), en termes de prise alimentaire, de croissance pondérale, d'indices de performance et de structure de la population.

Pour cela, quatre charges ont été considérées (10, 40, 70 et 100 kg/m³) et expérimentées en triplicatas dans des bassins d'élevage de 1 m³, en s'affranchissant des problèmes liés à la qualité de l'eau dans un système d'élevage en recirculation.

MATERIEL ET METHODES

1) Description de la salle d'expérimentation

a) Système d'apport de l'eau dans la station

Sur la station expérimentale de Palavas-les-Flots, le captage de l'eau de mer s'effectue par pompage direct de l'eau à environ 200 mètres de la plage, à l'aide de deux prises d'eau situées à 3 mètres de profondeur. Une pompe tire alternativement l'eau (200 m³/h) dans l'une des deux prises. Avant d'être disponible pour les diverses expérimentations, l'eau subit divers traitements. L'eau brute qui a été pompée arrive dans un bassin de décantation dans lequel une partie des impuretés sédimente, puis elle est reprise par des pompes qui l'envoient dans des filtres à sable où les particules supérieures à 40 µm sont piégées. Une partie de cette eau est chauffée (26 à 28°C) tandis qu'une autre partie reste à température de pompage. Ainsi, par mélange d'eau réchauffée et d'eau froide, la température de l'eau est modulable selon les protocoles expérimentaux.

b) Principe du système recyclé

La pisciculture intensive est une technique aquacole nouvelle où l'eau n'est plus considérée comme un biotope, mais seulement comme un support physique pour les êtres qui y vivent (Barnabé et Barnabé-Quet, 1997). Elle est basée sur des traitements mécanique, biologique et physico-chimique de l'eau d'élevage de façon à pouvoir la réutiliser plusieurs fois, ce qui permet de réduire les apports en eau neuve (Blancheton, 2000). Elle permet aussi de s'affranchir des aléas climatiques et des pollutions. Sur le plan économique, ce recyclage permet une amélioration des coûts de production en réduisant les dépenses de chauffage. Enfin, l'aquaculture se caractérise par le maintien des conditions d'élevage permettant de maximiser les performances biologiques des animaux ainsi que la productivité (Blancheton *et al.*, 1996) (Annexe 2).

c) La salle d'expérimentation

o Les différents maillons de l'installation

- Les bassins : La salle comprend 16 bassins expérimentaux circulaires de 1 m³ chacun, en résine armée noire et à fond hémisphérique muni d'une crépine centrale. L'expérience sur la charge (4 traitements en triplicata) nécessite 12 bassins (Tableau I) (Annexe 3).

Les 4 bassins restants ainsi qu'un bassin de 10 m³ intégrés au circuit ne servent que de réserve d'eau tout au long de l'expérience et lors des biométries. Les trois bassins par charge (10, 40, 70 et 100 kg/m³) sont agencés de manière à tenir compte de l'égalité des biomasses (220 kg) sur chaque travée de 4 bassins et de la gestion des secours par les 4 sondes oxygène (Figure 1).

Tableau I : Répartition des charges dans les bassins expérimentaux

Charge (kg/m ³)	N° bassin
10	7, 11, 13
40	8, 9, 14
70	5, 10, 15
100	6, 12, 16

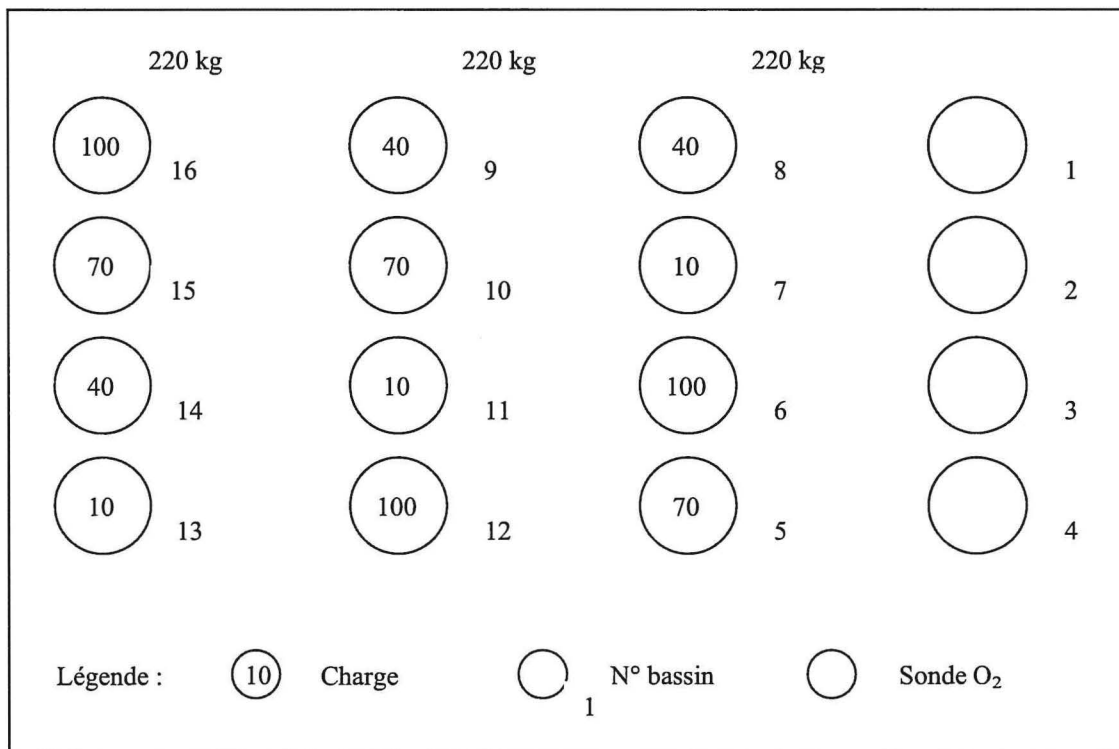


Figure 1 : Agencement des différentes charges dans la salle d'expérimentation.

Dans chaque bassin, l'eau arrive au niveau d'un tuyau d'admission. Le plus grand volume s'évacue via une crépine centrale directement vers le filtre mécanique et le volume restant est dérivé par une deuxième évacuation vers un piège à particules situé à l'extérieur du bassin. Dans ce piège, l'eau déchargée de ses plus grosses particules par sédimentation (fèces et aliment non ingéré), s'écoule par débordement vers la boucle de recyclage (Rivière, 1994). Le piège est vidangé et nettoyé quotidiennement. Un système de perches permet de régler le niveau d'eau dans le bassin par surverse (Annexe 4).

Une couronne de tube microporeux reliée au système d'oxygénation est posée sur le fond. Le bullage d'oxygène de secours se déclenche en cas de concentration insuffisante en O₂.

- Filtration mécanique : Elle est réalisée par un filtre Hydrotech qui assure l'élimination d'une partie (supérieure au vide de maille) des matières en suspension présentes dans l'eau sortant des bassins. Il est composé d'un tambour rotatif équipé de mailles filtrantes dont le diamètre des pores est de 60 µm. La surface du filtre (1,8 m²) est nettoyée automatiquement par des jets d'eau filtrée sous pression, lorsque la cellule photoélectrique intégrée à ce filtre détecte un encrassement important des mailles. Les eaux de rinçage sont évacuées sans être mélangées à l'eau du circuit (Annexe 5).

- Bac tampon ou bassin de pompage : Ce maillon qui récupère l'eau issue de la filtration mécanique permet la mise sous pression de cette eau par le pompage. Il est également le lieu de l'apport d'eau neuve, d'oxygène (oxygénation du filtre biologique) et de soude (régulation du pH) dans le système. Ce bassin est un raceway (bassin rectangulaire) d'un volume de 2 m³ dont la forme accélère la dynamique des eaux.

- Colonne de dégazage : L'objectif de ce système est la remise des gaz en solution dans l'eau à 100 % de saturation, en particulier pour le CO₂. Il participe donc également au maintien du pH. D'une hauteur totale de 3 m, la colonne de dégazage, posée dans le bassin de pompage,

contient 650 litres de garnissage plastique brisant le flux d'eau descendant. Un extracteur installé au sommet de la colonne fait circuler l'air en sens inverse. L'eau neuve passe aussi dans la colonne avant d'être injectée dans le circuit (Annexe 6).

- Régulation thermique : Un échangeur à plaques, muni d'un système de régulation (régulateur et vannes proportionnelles), assure la régulation thermique de l'eau du système en fonction des besoins et de la saison.

- Désinfection Ultra Violet (UV) : Elle est assurée par 3 lampes UV d'une puissance de 48 watts chacune émettant à 254 nm. Elles délivrent une dose d'UV-C comprise entre 11,2 et 16,3 mJ/cm² (données constructeur), efficace pour traiter en particulier les bactéries de type *Vibrio*.

- Filtre biologique : Il permet la transformation des composés azotés toxiques produits par les poissons (azote ammoniacal N-NH₃ et N-NH₄) en nitrites (N-NO₂) puis en nitrates (N-NO₃) par des bactéries nitrifiantes (*Nitrosomonas sp.* et *Nitrobacter sp.*). Il mesure 4 m de haut et présente une section de 0,9 m². Le substrat est du *biogrog* (céramique) de 30 à 50 mm qui représente un volume total de 2,7 m³.

- Système d'oxygénation : Il se compose d'un cône de suroxygénation ou bicône (Linde) situé sur une boucle d'eau spécifique et permet une suroxygénation importante de l'eau en entrée des bassins. La concentration en oxygène mesurée par une sonde en sortie du cône est régulée par un système informatique (Logiciel Linde) de manière continue en fonction du seuil de régulation déterminé par l'expérimentateur. La mise sous pression du cône est opérée par un surpresseur placé en amont de manière à obtenir une pression allant de 1,5 à 2 kg, nécessaire pour une dissolution importante de l'oxygène dans l'eau (Annexe 7).

- Débitmètres électroniques : Placés individuellement en entrée des bassins et sur les différentes boucles d'eau, ils mesurent les débits d'eau des bassins (après le mélange des deux qualités d'eau) et des trois réseaux (voir plus loin). En fonction de la valeur affichée, les débits peuvent être modulés par des vannes.

- Eclairage : Il est géré par un automate qui simule l'aube et le crépuscule par la mise en marche des néons sur quatre paliers (0 à 100 % de l'intensité lumineuse). La photopériode est de 16 heures de jour et 8 heures de nuit.

- Traitement de l'eau neuve : Avant d'être injectée dans la boucle d'élevage, elle subit une filtration mécanique fine à 15 µm (filtre à sable). Elle arrive ensuite dans le circuit en passant au travers de la colonne de dégazage.

○ Principe de fonctionnement du circuit d'eau

Afin d'optimiser la gestion de l'eau, le circuit recyclé de la salle a été organisé en 3 réseaux (Annexe 8) gérés de façon indépendante et ayant chacun une fonction spécifique :

- Le réseau 1 dit « Réseau eau suroxygénée »

Ce réseau permet d'amener un débit d'eau oxygénée à la concentration souhaitée en oxygène sur les bassins d'élevage. Cette boucle présente une gamme de débit allant de 0 à 30 m³/h, et comprend le bac tampon, une pompe (n°16) située à l'extérieur de la salle, le bicône, la sonde de régulation et les bassins (de 1 et 10 m³).

- Le réseau 2 dit « Boucle de traitement »

Ce réseau assure la totalité du traitement de l'eau hormis la filtration mécanique. Le débit circulant est réglé de façon à obtenir une vitesse de passage optimale de 20 m/h dans le filtre biologique. Ce circuit comprend le bac tampon, une pompe (n°15) située hors de la salle, l'échangeur thermique, les trois lampes UV, le filtre biologique, la colonne de dégazage. Ce réseau n'a pas de relation directe avec les bassins d'élevage.

- Le réseau 3 dit « Boucle débit principal »

Ce réseau permet d'amener un débit important et constant jusqu'à 30 m³/h à saturation en oxygène sur les bassins d'élevage. Il est constitué du bac tampon, d'une pompe (n°14) située hors de la salle et des bassins d'élevage.

Ce dispositif est avantageux dans la gestion des expérimentations. Ainsi, les réseaux 1 et 3 qui alimentent les bassins ne subissent pas de variation de pression au cours du temps. Les débits entrants dans les bassins sont donc constants.

De plus, ils permettent par leur mélange (niveaux de concentration en oxygène différents), de maintenir des biomasses de poissons très différentes pour des conditions de saturation en oxygène identiques en sortie de bassins.

Le réseau 2, peut être géré de façon indépendante par rapport aux bassins. Un arrêt de ce réseau n'a pas d'influence immédiate sur ces derniers.

2) Matériel biologique

a) Systématique et biologie sommaire

Le loup européen ou bar commun (*Dicentrarchus labrax*) (Linné, 1758), est un poisson osseux Téléostéen dont la position systématique est la suivante (LarvalBase, 2003) :

Classe : Actinoptérygiens (Actinopterygii)

Ordre : Perciformes

Sous-ordre : Percoïdés (Percoidei)

Famille : Moronidae/Serranidae

Ce poisson (Annexe 9) au corps élancé de couleur gris argenté à reflets bleuâtres sur le dos, se rencontre dans les eaux côtières de l'Atlantique Nord (du Maroc à la mer Baltique) et de la Méditerranée (Barnabé, 1986). Il peut atteindre une taille de 1 mètre pour un poids de 10 kg environ et se distingue par la présence de deux nageoires dorsales très rapprochées dont une épineuse souvent repliée sur le dos. L'opercule possède une ou deux épines et est pourvu d'une tâche foncée sur son bord supérieur.

La maturité sexuelle a lieu suivant la zone de distribution entre 2 et 7 ans pour le mâle et entre 3 et 8 ans pour la femelle. Les adultes se rassemblent en groupes compacts pendant la période de reproduction qui a lieu une fois par an entre décembre et juin selon la zone (Le Carpentier, 1995).

Le bar, prédateur opportuniste très vorace (*labrax* en grec : féroce), se nourrit de petits poissons (sardines, anchois) et d'une large variété d'invertébrés (crevettes, crabes, calamars, etc.).

Cet animal, très eurytherme et euryhalin se retrouve jusqu'à environ 200 mètres de profondeur mais plus souvent dans les eaux peu profondes.

La croissance de ce poisson poïkilotherme est fonction de la température : elle est plus forte dans les eaux plus chaudes, et c'est à 24°C que l'efficacité de synthèse protéique est optimale.

b) Poissons de l'expérimentation

Les poissons utilisés proviennent de la ferme piscicole Méditerranée Pisciculture située à Salses-le-Château (66). Environ 700 kg de poissons ont été acheminés au sein de la station de Palavas pour effectuer cette expérimentation. Ils ont été transportés dans des cuves de 2,4 m³ et ont été anesthésiés avec du phénoxy-2-éthanol pour les calmer durant le voyage. Une fois sur place, les animaux sont placés dans le bassin de 10 m³ de la salle en circuit recyclé en attendant le début de l'expérimentation.

3) Mise en place de l'expérimentation

a) Phase d'acclimatation

Cette première phase d'une durée de deux mois, a consisté à habituer les poissons à l'environnement global du bassin et de l'élevage, et à faire démarrer de manière identique la prise alimentaire pour tous les individus.

Les poissons du bassin de 10 m³ ont été maintenus à une charge de 70 kg/m³. Ils ont été traités au Tugon 80 pour tenter de les débarrasser du parasite branchial *Diplectanum aequans* suivant un protocole d'utilisation préconisé par le SAVU (Service Assistance Vétérinaire d'Urgence) (0,5 g/m³ maintenu pendant 48 heures).

b) Phase d'expérimentation

o Alimentation

L'aliment distribué est du granulé sec extrudé de 4 mm de diamètre (Le Gouessant), type « Neo Grower Extra Marin 4,0 ». Il est composé principalement de 45 % de protéines et de 20 % de lipides (Annexe 10). A chaque bassin correspond un béccher numéroté contenant une ration pré-pesée d'aliment (entre 1,5 et 2 % de la biomasse), distribuée manuellement en un seul repas le matin à partir de 9h30. Les poissons sont nourris en passant plusieurs fois d'un bassin à l'autre jusqu'à satiété. L'obtention de la satiété demande un grand sens de l'observation car, en premier lieu, c'est le comportement des poissons qui doit donner les premières indications, soit leur indifférence vis-à-vis du granulé. Le deuxième critère plus objectif est l'apparition de granulés dans le piège à particules. La troisième solution consiste au repérage de granulés au fond du bassin, opération difficile sur les bassins à forte charge. Les granulés non ingérés se trouvant dans le piège sont repérés et comptabilisés à travers la paroi transparente. La ration du lendemain est préparée dans les bécchers.

o Réajustement des biomasses et fréquence des biométries

L'expérience a débuté le mardi 24 mai 2005 suite au transfert des poissons du bassin de 10 m³ dans 12 bassins de 1 m³ selon un agencement précis (Figure 1). Le lot de poissons a été trié afin d'avoir un coefficient de variation pondérale le plus faible possible. L'empeisonnement par seaux d'environ 3 kg s'est fait de manière aléatoire jusqu'à atteindre la biomasse souhaitée dans chaque bassin. Les animaux, mis à jeun la veille, ont été anesthésiés avec du phénoxy-2-éthanol (220 ppm/m³) afin de les manipuler plus facilement sans qu'ils s'abîment.

Cette expérience qui a duré 9 semaines, a été fractionnée en 3 périodes de trois semaines chacune. Elle s'est terminée le mardi 26 juillet 2005.

A la fin de chaque période, une biométrie a été effectuée. La croissance pondérale (biomasse totale du bac et poids individuels) des poissons a été contrôlée et les biomasses des bacs ramenées à leur valeur d'origine.

Pour déterminer la biomasse totale, les poissons ont été anesthésiés dans leur bac (phénoxy-2-éthanol ; 200 ppm) de manière à ralentir fortement leur activité natatoire. Ils ont été pêchés à l'épuisette et pesés dans des bailles oxygénées contenant 20 litres d'eau issus du bassin.

Dans un même temps, 40 individus ont été prélevés au hasard dans une des bailles pour réaliser la pesée individuelle. Ils ont été plongés dans une solution de phénoxy à 300 ppm pour obtenir une absence totale de mouvements. Les poissons ont alors été pesés individuellement à 0,1 g près, mesurés à 0,1 cm près (longueur à la fourche) et remis dans la baille après observation de leur état général.

La pesée totale une fois terminée, la biomasse d'origine a été rétablie et les individus en trop ont été transférés dans un bassin d'accueil fonctionnant en circuit ouvert en attendant qu'ils soient ramenés à leur ferme d'origine.

c) Mesure des indices de performances

o Paramètres biologiques

Les diverses données relevées quotidiennement et durant les biométries permettent d'une part, d'estimer différents indices qui mettent en évidence les performances des poissons de l'expérimentation, d'autre part de suivre l'évolution de ces indices pendant les trois périodes.

- Concernant l'alimentation, il est facile de déterminer la quantité ingérée par les poissons pour une journée :

$$\checkmark \text{ Ingéré du jour (g)} = \text{Ration prépesée (g)} - \text{Partie de la Ration Non Distribuée (g)} - \text{Ration Non Ingérée (g)}$$

Par la suite, il est possible d'en déduire le cumul d'aliment ingéré (QIng) par période pour chaque bassin, puis de calculer le taux d'alimentation journalier (TAJ) :

$$\checkmark \text{ QIng (kg)} = \sum \text{Ingérés du jour (kg)}$$

$$\checkmark \text{ TAJ (\%)} = \frac{\text{QIng} / n}{(\text{Biom.f} + \text{Biom.i}) / 2} \times 100$$

n : Nombre de jours de la période considérée

Biom.i : Biomasse au début de la période (kg)

Biom.f : Biomasse à la fin de la période (kg)

Connaissant les biomasses initiales et finales, l'indice de conversion alimentaire (ICA) se calcule aisément. Il correspond à la transformation de l'aliment par le poisson.

$$\checkmark \text{ ICA} = \frac{\text{QIng}}{\text{Gain de Biomasse}}$$

Gain de Biomasse (kg) : Biom.f – Biom.i

- Concernant la croissance, c'est principalement la croissance pondérale qui est étudiée puisque c'est la plus significative.

$$\checkmark \text{ Poids moyen individuel : } P_m = \frac{\sum (P_i)}{n}$$

P_i : Poids d'un poisson (g)
 n : Nombre de poissons

$$\checkmark \text{ Ecart-type de l'échantillon : } S_d = \frac{\sum (P_i - P_m)^2}{n-1}$$

$$\checkmark \text{ Coefficient de variation pondérale : } CV(\%) = \frac{S_d}{P_m} \times 100$$

$$\checkmark \text{ Intervalle de confiance : } IC = S_d \times \frac{t}{\sqrt{n}}$$

$t = 1,96$ pour $n > 30$ (5% de seuil d'erreur)

Suite à ces calculs se déduit le taux de croissance spécifique (TCS) ou taux de croissance journalier (TCJ) :

$$\checkmark \text{ TCS}(\%) = \frac{[\ln(P_{mf}) - \ln(P_{mi})]}{n} \times 100$$

P_{mi} : Poids moyen initial sur la période (g)
 P_{mf} : Poids moyen final sur la période (g)
 n : Durée de la période (jours)

Le taux de croissance spécifique correspond à la croissance pondérale moyenne quotidienne du poisson. Il est exprimé en % par jour.

o *Physiologie*

Tout comme pour les suivis de biomasse et de croissance, d'autres paramètres sont étudiés à la fin de chaque période de trois semaines, la veille des biométries. Les poissons sont à jeun afin de pouvoir effectuer des prélèvements sanguins qui seront analysés ultérieurement (cortisol, IgM) ainsi que des prélèvements de branchies pour détecter la présence éventuelle de parasites. Cinq poissons par bassin sont pris aléatoirement pour réaliser ces prélèvements.

4) Gestion de la qualité de l'eau

a) Problématique

Afin de tester uniquement l'effet de la charge chez le bar, il a fallu s'affranchir des problèmes liés à la qualité de l'eau comme par exemple la concentration en oxygène à saturation en sortie des bassins, la concentration en composés azotés ou encore en dioxyde de carbone.

L'objectif est donc d'avoir une qualité d'eau identique quelle que soit la charge d'élevage et non limitante pour les poissons.

b) *Mesure et contrôle des débits*

Pour répondre à cette problématique, les conditions expérimentales ont été basées sur un principe Charge/Débit. Ainsi, lors du montage de la salle, l'hydraulique des bassins a été mise au point de manière à obtenir des renouvellements d'eau précis et à pouvoir les contrôler et changer facilement si nécessaire. De nombreux tests et modifications ont été effectués pour arriver à une précision de ce type tout en maintenant un volume de 1 m³ dans les bassins.

Le débit d'eau par bac répond à 4 impératifs :

1. Apporter la totalité de l'oxygène nécessaire aux poissons quelle que soit la charge en respectant une concentration en oxygène en sortie de bac proche de la saturation ou même en sursaturation (95 à 110 %).
2. Eviter l'accumulation de CO₂ au-delà de 20 mg/l.
3. Pour les faibles charges, être suffisant pour entraîner dans le piège à particules les granulés non consommés et éviter la décantation des matières en suspension dans le bassin. Un débit minimum de 500 litres/heure est requis.
4. Pour les fortes charges, économiser l'eau en se situant près des valeurs de renouvellement qui diluent les déchets produits par les poissons en ne pénalisant pas la croissance de ces derniers. Le débit doit être au moins de 25 l/h/kg de biomasse.

Partant du principe qu'une telle expérimentation requiert au minimum un débit d'eau de 25 l/h/kg de biomasse, 250 l/h sont alors nécessaires pour la charge de 10 kg/m³. Toutefois, afin de maintenir une vitesse de circulation de l'eau suffisante pour évacuer les déchets solides du bassin et des tuyaux d'évacuation, le débit doit être de 500 l/h. L'impératif des 25 l/h est donc doublement atteint pour cette faible charge.

Concernant les concentrations en oxygène indispensables à la biomasse (affectées d'un coefficient lié au stress supposé de la charge), les calculs montrent qu'il est préférable de disposer de deux types d'eau. Une première eau sursaturée proche de 25 mg/l d'oxygène et une seconde à saturation proche de 7 mg/l. Le mélange des deux eaux en proportions variables garantit une bonne qualité d'eau (besoins « débit/charge ») et satisfait les besoins physiologiques des animaux.

L'eau sursaturée est obtenue par passage sous pression dans le bicône du circuit avec injection d'oxygène gazeux régulée par la concentration en sortie de celui-ci. L'eau saturée est obtenue par dégazage à travers la colonne de désaturation dans le bac tampon.

Ces deux qualités d'eau arrivent sur chacun des bassins à des débits différents. Le mixage est possible via des vannes individuelles positionnées avant les débitmètres électroniques. Ces derniers mesurent le débit en entrée des bassins.

Il est à noter que quel que soit le débit entrant, le courant induit est de 0,05 cm/s. Il a été mesuré et réglé (orientation de l'arrivée d'eau, diamètre des orifices d'arrivée d'eau) grâce à un courantomètre (FLO-MATE, Marsh-MCBirney, modèle 2000) avant le début de l'expérimentation.

Ainsi, dans le protocole sont établis des débits spécifiques par type d'eau et par charge (Tableau II).

Tableau II : Débits en entrée des bassins, réglés par qualité d'eau et par charge

Charge (kg/m ³)	Nombre de bassins (1 m ³)	Débit eau saturée (m ³ /h)	Débit eau sursaturée (m ³ /h)	Débit total (m ³ /h)	Débit par kg de biomasse (l/kg/h)
10	3	0,35	0,15	0,5	50
40	3	0,35	0,65	1	25
70	3	0,55	1,2	1,75	25
100	3	0,7	1,8	2,5	25

Enfin, il faut préciser qu'une partie de l'eau est renouvelée par adjonction d'eau neuve dans le circuit. La quantité journalière d'eau renouvelée est basée sur le contrôle du ratio « eau neuve/aliment », soit le rapport entre la quantité d'eau neuve injectée dans le circuit quotidiennement et la quantité journalière d'aliment ingérée par les poissons. Il est fixé à 2 m³ d'eau par kg d'aliment et par jour en moyenne sur toute la durée de l'expérimentation. Il intègre aussi les diverses pertes d'eau dues aux différentes manipulations. Un calcul rapide montre que pour environ 700 kg d'animaux nourris à 1,2 % par jour à 22°C, la quantité d'aliment journalière distribuée est proche de 8 kg. Un ratio de 2 implique alors un apport d'eau neuve dans le circuit de 16 m³ par jour, soit 700 l/h.

Les paramètres caractéristiques de l'eau recyclée sont fixés pour l'expérimentation en tenant compte des impératifs à respecter et du fonctionnement de tous les éléments du circuit (Tableau III).

Tableau III : Paramètres fixés pour l'expérimentation, correspondant à la qualité de l'eau dans les bassins et en sortie des bassins

Paramètres	Valeurs
Température	23-24°C
Salinité	Naturelle
Matières en suspension	< 60 µm
[N-NH ₄]	< 2 mg/l
[N-NO ₂]	< 1,5 mg/l
[N-NO ₃]	< 50 mg/l
pH	7-7,4
[CO ₂]	< 20 mg/l
Substances humiques	0,05 (Absorbance à 300 nm)

c) Paramètres de l'eau

Les paramètres de l'eau sont mesurés manuellement et/ou automatiquement tous les jours afin de vérifier que leur valeur ne soit pas pénalisante pour les animaux, quels que soient le bassin et la charge. Toutes les données sont rentrées sur des fichiers informatiques pour pouvoir être traitées aisément.

- Température : Elle est mesurée directement en sortie des bassins deux fois par jour avec un thermomètre (Ecoscan pH5).

- Salinité : Elle est mesurée directement en sortie des bassins avec un réfractomètre (ATAGO).

- pH : Il est mesuré directement en sortie des bassins le matin et dans tous les bassins (au niveau du piège à particules) en début d'après-midi avec un pH mètre (Ecoscan pH5).

- Oxygène : Un système informatisé (Logiciel Linde) assure en continu les mesures dans tous les bassins, le cône de suroxygénation et le filtre biologique grâce à quatre sondes O₂ (Oxyguard) placées dans quatre bassins différents (Figure 1).

Un contrôle manuel est effectué en début d'après-midi dans tous les bacs avec un oxymètre (YSI 52).

- CO₂ : La pression partielle est mesurée une fois par semaine avec une sonde (Oxyguard) dans les douze bassins.

- Substances humiques : Des prélèvements d'eau sont effectués une fois par semaine dans tous les bassins ainsi qu'en entrée et sortie du filtre biologique. Ces substances carbonées dissoutes sont révélées par leur absorbance au spectromètre de masse à 300 nm.

- Eléments dissous : Ils sont dosés par des méthodes totalement automatiques. Ainsi, l'ammoniaque, les nitrites, les nitrates, les phosphates et l'urée de tous les bacs, sont analysés à l'aide de chaînes automatiques de type AutoanalyserII/Technicon et EvolutionII/Alliance.

5) Analyses statistiques

La normalité des données et l'homogénéité des variances (Test de Hartley), ou homoscedasticité, ont été vérifiées afin de réaliser une analyse des variances paramétrique. Une ANOVA à 2 facteurs hiérarchisés a été utilisée pour comparer la croissance pondérale des poissons ayant subi 4 niveaux de traitement (10, 40, 70 et 100 kg/m³).

Le modèle est mixte, avec un facteur fixe (la charge) et l'autre aléatoire (les bassins), hiérarchisé à la charge.

Lorsqu'une différence significative est observée ($p < 0,05$), le test de Newman-Keuls est appliqué pour identifier les groupes homogènes.

De la même manière que pour la croissance pondérale, une ANOVA à 2 facteurs a été effectuée pour analyser les paramètres de l'eau et la longueur. Le modèle mixte est identique.

Concernant les indices de performance (taux d'alimentation journalier, taux de croissance spécifique, indice de conversion alimentaire), le gain de biomasse et les coefficients de variation, une ANOVA à 1 facteur fixe (la charge) a été appliquée.

L'information apportée par la croissance pondérale des animaux n'est complète que si la dispersion (mesure des écarts à la moyenne) et la structure de la population (fréquences respectives des différents poids observés) sont connues.

Trois paramètres statistiques, faciles à calculer, peuvent répondre à ces besoins : il s'agit des coefficients de variation, d'asymétrie et d'aplatissement.

Le coefficient de variation (CV) a été calculé en divisant l'écart-type de l'échantillon (S_n) par sa moyenne (m) : $CV (\%) = 100 \times S_n/m$. Il traduit la variabilité (la dispersion) relative du poids des poissons à un instant donné. Il exprime l'écart-type en pourcent de la moyenne.

Les coefficients de structure (asymétrie (b_1) et aplatissement (b_2)) définissent la structure d'une population. Elle peut s'apprécier par les coefficients de Pearson :

$$b_1 = \frac{M_3}{M_2^{3/2}} \text{ et } b_2 = \frac{M_4}{M_2^2} \text{ où } M_k \text{ est le moment d'ordre } k, \text{ tel que } M_k = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - c)^k}{n}$$

Tous les tests statistiques ont été réalisés avec le logiciel « Statistica V5.5 Edition 99 ».

RESULTATS

1) Qualité de l'eau

a) Salinité

La salinité de l'eau du circuit est tributaire des variations de salinité de l'eau de mer neuve entrant chaque jour. Elle ne fait l'objet d'aucune régulation. La salinité moyenne mesurée sur les 63 jours d'expérimentation a été de $37,2 \pm 1,8$ ‰. Les salinités minimale et maximale mesurées ont été respectivement 30 ‰ et 40 ‰.

b) Température

Durant les trois périodes, la température a été mesurée le matin et le soir. La moyenne des températures matinales est de $23,3 \pm 0,6$ °C. Pour ce qui est du soir, la moyenne est de $23,8 \pm 0,7$ °C. Les températures minimales sont respectivement 21,8°C et 22,6°C. Les maximales sont 25,5°C et 26,1°C. La température varie peu au cours de la journée.

c) pH

Le pH moyen relevé le matin en sortie des bassins est de $7,13 \pm 0,28$. La valeur moyenne mesurée en début d'après-midi est de $7,09 \pm 0,19$. Cette diminution est due à l'activité métabolique digestive des poissons suite au nourrissage du matin, et à la production de dioxyde de carbone consécutive à l'augmentation de la respiration.

Les pH moyens de chaque bassin, mesurés en début d'après-midi sont présentés dans le tableau IV.

Tableau IV : Valeur du pH moyen mesuré dans les bassins en fonction de la charge sur une période de 63 jours

Charge (kg/m ³)	10			40			70			100		
N° bassin	7	11	13	8	9	14	5	10	15	6	12	16
Moyennes	7,22	7,21	7,24	7,05	7,03	7,06	7,02	7,02	7,04	7,01	7,02	7,02
Sd	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,23	0,24

Sd : écart-type de l'échantillon

Pour chaque groupe (10, 40, 70, 100), 129 mesures sont effectuées. Le pH moyen pour chaque charge est 7,23 ; 7,05 ; 7,03 ; 7,02 respectivement pour 10, 40, 70, 100. Les variances sont homogènes ($F = 1,31$; ddl = 11&11 ; $p = 0,99$). La distribution ne suit pas une loi normale ($X^2 = 349,25$; ddl = 10 ; $p = 0,000$). Comme il n'y a pas de bimodale, et que les effectifs sont grands et égaux ($n > 30$), une analyse de variance a quand même été réalisée. Elle montre une différence significative entre les groupes ($F = 204,2$; ddl = 3&8 ; $p = 0,000$). Le traitement 10 kg/m³ se distingue des autres : 10 40 70 100.

Les pH du triplicata de la charge 10 kg/m³ sont en moyenne supérieurs de 3 % par rapport au pH des trois autres charges.

d) Éléments dissous

Les valeurs des principaux éléments dissous dans l'eau sont présentées dans le tableau V. Ce tableau expose les paramètres directement liés aux poissons (ammoniaque, urée, phosphates) et ceux contenus dans l'eau du circuit (nitrates, nitrites).

Tableau V : Concentrations moyennes de l'ammoniaque, des nitrites, nitrates, phosphates et de l'urée dans les bassins en fonction de la charge, et en entrée et sortie du filtre biologique sur une période de 63 jours

Charge (kg/m ³)		10	40	70	100	EFB	SFB
Ammoniaque	m	1,03	1,44	1,53	1,57	0,97	0,69
	(mg/l)	Sd	0,48	0,43	0,39	0,43	0,45
Nitrites	m	1,55	1,48	1,46	1,46	1,37	1,30
	(mg/l)	Sd	0,75	0,75	0,74	0,73	0,71
Nitrates	m	12,60	12,60	12,42	12,37	12,01	12,29
	(mg/l)	Sd	3,43	3,48	3,25	3,30	2,92
Phosphates	m	1,24	1,25	1,25	1,23	1,20	1,18
	(mg/l)	Sd	0,38	0,37	0,37	0,37	0,33
Urée	m	0,19	0,23	0,24	0,25	0,16	0,16
	(mg/l)	Sd	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06

Ammoniaque N-(NH₃+NH₄⁺), Nitrites N-NO₂⁺, Nitrates N-NO₃⁻, Phosphates P-PO₄, Urée N-Urée
m : moyenne, Sd : écart-type de l'échantillon, EFB : entrée du filtre biologique, SFB : sortie du filtre biologique

Une analyse des variances a été effectuée sur les éléments dissous pour chaque charge. Les conditions d'ANOVA (normalité, homoscédasticité) sont vérifiées car les effectifs sont grands et égaux (n > 30), et il n'y a pas de bimodale.

Une différence significative est observée entre les traitements, pour l'ammoniaque (F = 165,17 ; ddl = 3&8 ; p = 0,000), l'urée (F = 14,22 ; ddl = 3&8 ; p = 0,001) et les nitrites (F = 123,28 ; ddl = 3&8 ; p = 0,000).

Le groupe 10 kg/m³ se distingue des autres pour ces trois paramètres : 10 40 70 100.

Il y a 47 % d'ammoniaque et 26 % d'urée en plus dans les bassins du groupe homogène, par rapport au groupe 10 kg/m³, et 5 % de nitrites en moins.

Concernant les nitrates (F = 1,65 ; ddl = 3&8 ; p = 0,253) et les phosphates (F = 1,58 ; ddl = 3&8 ; p = 0,269), aucune différence significative n'est observée entre les charges.

Les concentrations en ammoniaque et en urée au niveau des bassins, augmentent significativement à partir de 40 kg/m³. Inversement, la concentration des nitrites est plus faible au-dessous de 40 kg/m³.

Au niveau du filtre biologique, les concentrations en ammoniaque et nitrites sont plus faibles en sortie qu'en entrée. La variation est inverse pour la concentration en nitrates. Quant aux phosphates et à l'urée, les teneurs sont à peu près identiques avant et après le passage de l'eau dans le filtre biologique.

e) *Substances humiques*

Les valeurs moyennes sont 0,04 ; 0,05 ; 0,05 ; 0,05 respectivement pour les charges 10, 40, 70 et 100 kg/m³. L'homogénéité des variances est vérifiée (F = 9,53 ; ddl = 11&11 ; p = 0,665) et la distribution est normale (X² = 6,018 ; ddl = 3 ; p = 0,111). Elle ne montre pas de différence significative entre les 4 charges (F = 1,63 ; ddl = 3&8 ; p = 0,257).

f) *Oxygène*

Pour chaque charge, les saturations moyennes de l'eau en oxygène sur l'ensemble de l'expérience sont présentées dans le tableau VI.

Tableau VI : Valeurs moyennes de la saturation de l'eau des bassins en oxygène en fonction de la charge, durant la totalité de l'expérience

Charge (kg/m ³)	10	40	70	100
Moyennes (%)	110,5	108,8	116,9	121,1
Sd	23,8	25,5	24,3	25,9

Sd : écart-type de l'échantillon

La teneur en O₂ dans les bassins est largement supérieure à la saturation (100 %) quel que soit le traitement. La moyenne sur 63 jours d'expérience tous traitements confondus est 114,35 ± 24,9 % de saturation.

g) *Dioxyde de carbone*

Pour chaque traitement, les valeurs de la teneur en CO₂ sont reportées dans le tableau VII.

Tableau VII : Valeurs moyennes de la concentration en CO₂ de l'eau des bassins en fonction de la charge, durant la totalité de l'expérimentation

Charge (kg/m ³)	10	40	70	100
Moyennes (mg/l)	7,3	12,7	13,6	13
Sd	2,6	3,7	4,8	5,1

Sd : écart-type de l'échantillon

L'homogénéité des variances est vérifiée ($F = 8,19$; ddl = 11&11 ; $p = 0,313$) ainsi que la normalité ($X^2 = 12,485$; ddl = 6 ; $p = 0,052$). Une analyse de variance révèle une différence significative entre les 4 groupes ($F = 34,17$; ddl = 3&8 ; $p = 0,000$). Globalement, la concentration en CO₂ augmente de 78 % entre la charge 10 kg/m³ et le groupe homogène (40 70 100).

Les concentrations relevées ne dépassent pas la valeur seuil théorique fixée pour l'expérience, à savoir 20 mg/l.

h) *Ratio eau neuve/Aliment*

Pour un volume total du circuit de 33 m³, l'apport d'eau neuve journalier est de 30 ; 22,5 ; 22,2 m³ respectivement pour les périodes (P) 1, 2 et 3. Ce qui représente un taux de renouvellement du circuit de 91, 68 et 67 % par jour.

Ce taux, exprimé par le ratio « eau neuve/aliment ingéré » correspond à 3 ; 2,3 ; 2,2 m³ d'eau par kilogramme d'aliment ingéré pour P1, P2, P3.

2) Performances des poissons

a) *Indices de performance d'élevage*

o *Taux de survie*

Sur l'ensemble de l'expérience (63 jours) et sur l'ensemble des bassins, il est de 99 %. La moitié de cette faible mortalité est due aux poissons sautant hors des bassins. Il n'y a donc pas eu d'influence notable des différents traitements sur le taux de survie des poissons.

○ *Taux d'alimentation journalier (TAJ)*

Les moyennes du TAJ sur l'ensemble des périodes expérimentales sont représentées figure 2 en fonction du traitement.

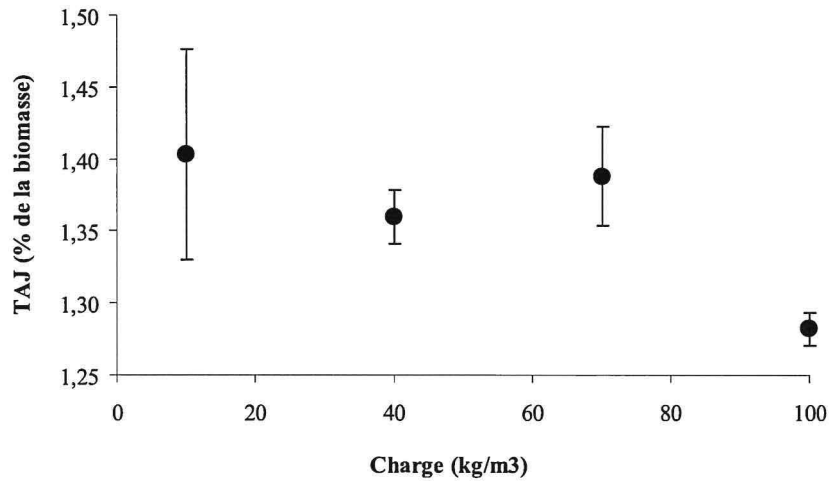


Figure 2 : Taux d'alimentation journalier moyen sur l'ensemble de l'expérience en fonction de la charge.

Le taux d'alimentation journalier moyen est 1,4 ; 1,36 ; 1,39 ; 1,28 respectivement pour 10, 40, 70 et 100 kg/m³.

L'homogénéité des variances ($F = 41,24$; ddl = 3 ; $p = 0,126$) est vérifiée, et la distribution est normale ($X^2 = 2,16$; ddl = 1 ; $p = 0,142$). L'analyse de variance montre une différence significative entre les 4 charges ($F = 4,95$; ddl = 3 ; $p = 0,031$).

Globalement, sur 63 jours d'expérience, les taux d'alimentation journaliers des trois charges les plus faibles sont homogènes, et sont en moyenne supérieurs de 8 % par rapport aux rations de la charge 100 kg/m³.

La tendance générale du TAJ au cours du temps est à l'augmentation quelle que soit la charge. Soit environ 7 % entre le début et la fin de l'expérience. La réponse des trois bassins pour chaque traitement est très proche d'une charge à l'autre (Figure 3).

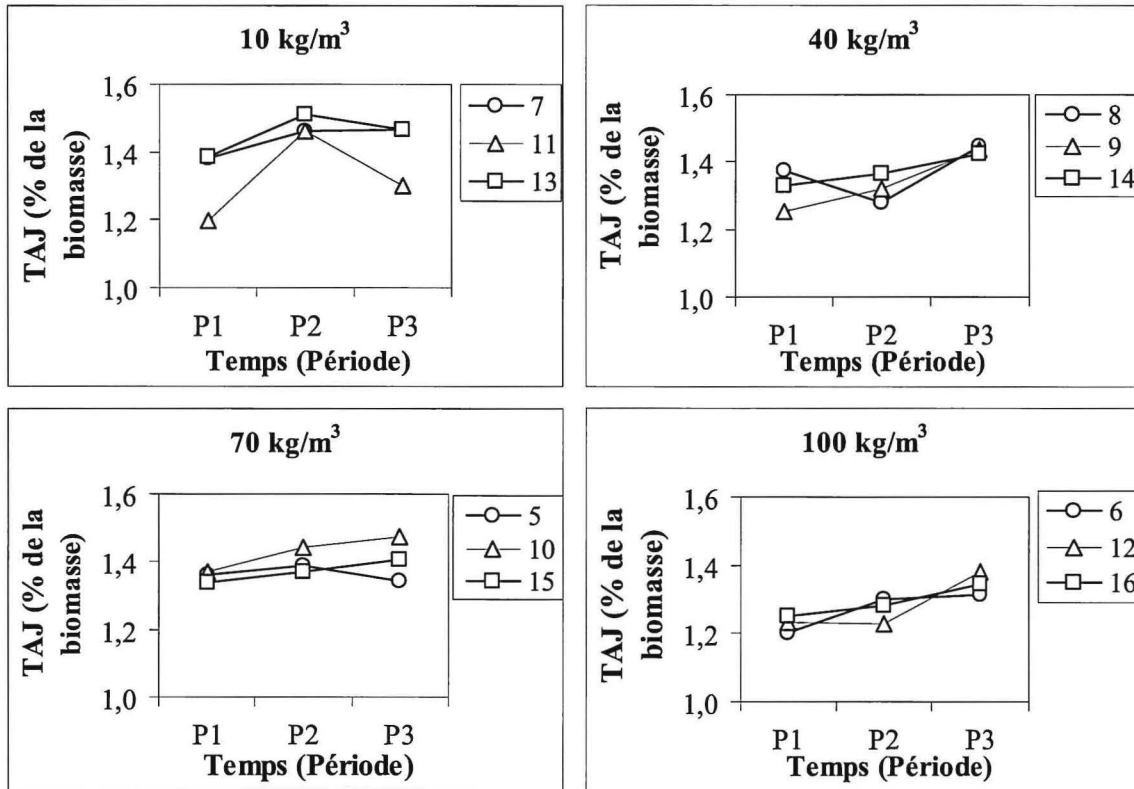


Figure 3 : Evolution du taux d'alimentation journalier au cours du temps et en fonction de la charge. (P = période)

○ Taux de croissance spécifique (TCS)

L'évolution du TCS est représentée figure 4 pour chaque triplicata, en fonction du traitement sur les trois périodes expérimentales.

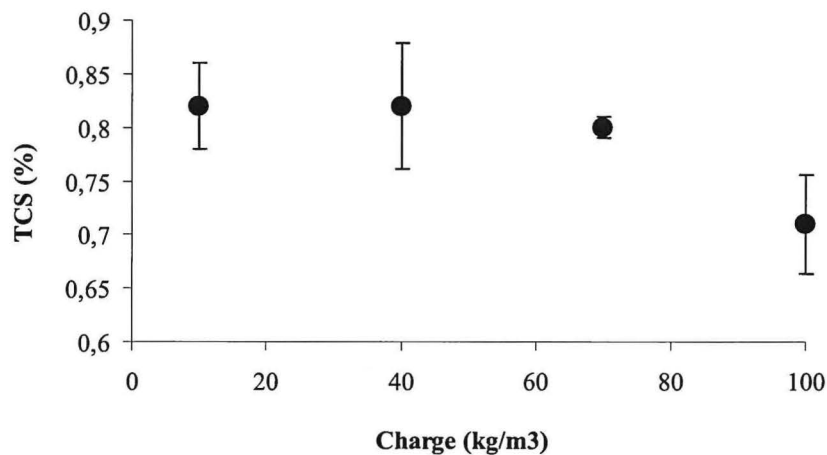


Figure 4 : Taux de croissance spécifique de chaque triplicata en fonction de la charge sur l'ensemble de l'expérience.

L'homogénéité des variances est vérifiée ($F = 31,95$; $ddl = 3 \& 3$; $p = 0,312$) et la distribution est normale ($X^2 = 2,96$; $ddl = 1$; $p = 0,085$). L'analyse de variance révèle que le taux de croissance spécifique du traitement 100 kg/m^3 est significativement différent des autres.

Le TCS moyen pour les trois premières charges est 0,81%. Celui de la charge 100 kg/m³ est 0,71 %, il est donc inférieur de 14 %.

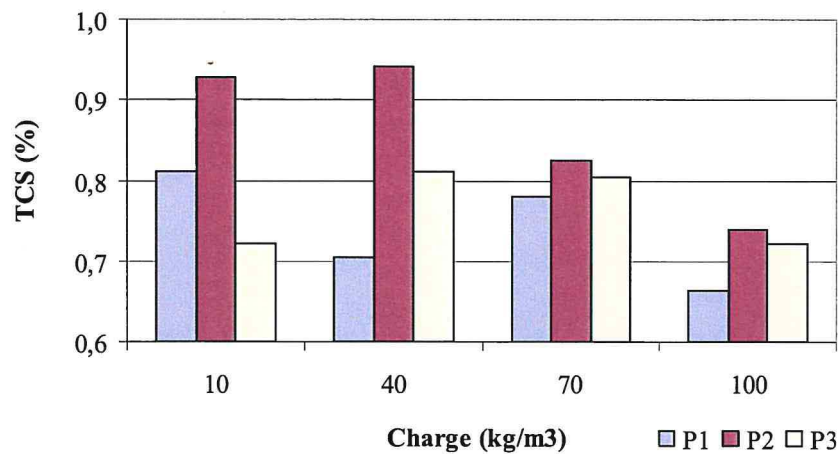


Figure 5 : Evolution du taux de croissance spécifique au cours du temps et de la charge. (P = période)

Globalement, les variations du TCS sont identiques pour toutes les charges. Il augmente en seconde période et diminue en période 3 (Figure 5).

○ *Indice de conversion alimentaire (ICA)*

L'évolution de l'ICA est représentée figure 6 pour chaque triplicata en fonction du traitement sur les trois périodes expérimentales.

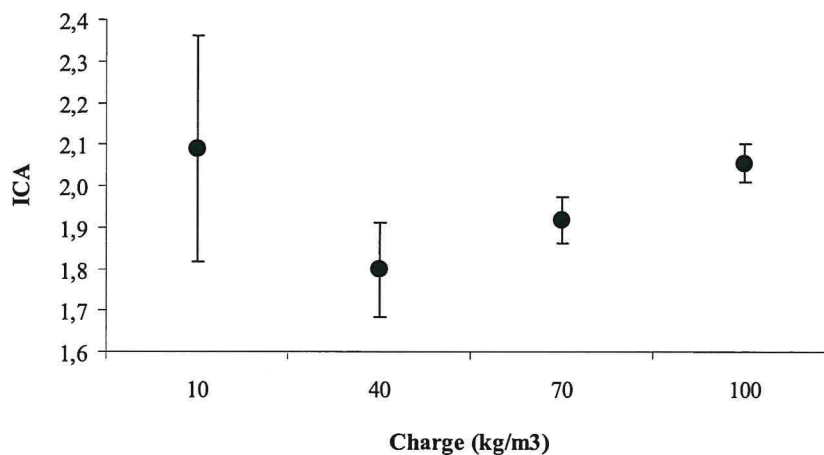


Figure 6 : Indice de conversion alimentaire de chaque triplicata en fonction de la charge sur l'ensemble de l'expérience.

L'homogénéité des variances est vérifiée ($F = 35,72$; ddl = 3&3 ; $p = 0,098$). La distribution suit une loi normale ($X^2 = 0,94$; ddl = 1 ; $p = 0,332$). L'analyse de variance ne montre pas de différence significative sur l'indice de conversion alimentaire entre les charges.

L'indice de conversion s'améliore au cours du temps pour les quatre charges. Il passe en moyenne de 2,37 à 1,68 en 63 jours (Figure 7).

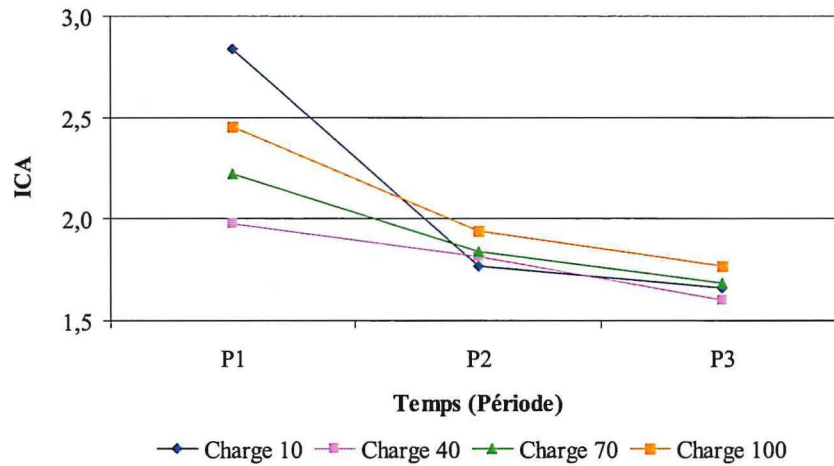


Figure 7 : Evolution de l'indice de conversion alimentaire pour les 4 charges au cours des 3 périodes expérimentales.

b) Croissance

➤ L'évolution du poids des poissons en fonction du temps et de la charge est présentée figure 8.

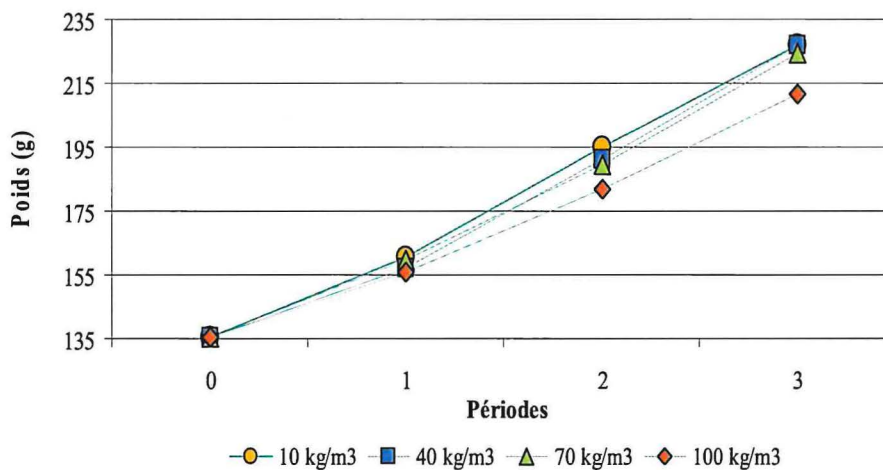


Figure 8 : Croissance pondérale des bars élevés selon 4 charges différentes (10, 40, 70, 100 kg/m³) en fonction du temps. (Période 0 : début de l'expérience)

Au début de la phase d'expérimentation, les individus pèsent en moyenne 135 g. A la fin, ils atteignent environ 226 g pour ceux élevés à 10, 40, 70 kg/m³, et 212 g pour ceux maintenus à 100 kg/m³.

Une série d'analyses statistiques effectuée sur les données de chaque biométrie en fin de période, permet de déterminer à partir de quel moment se manifestent les premières différences de croissance (Tableau VIII).

L'homogénéité des variances et la normalité des données sont vérifiées pour chaque période.

Soit, pour la période 1 :

($F = 2,41$; $ddl = 11 \& 11$; $p = 0,21$) et ($X^2 = 17,69$; $ddl = 12$; $p = 0,12$).

Pour la seconde période :

($F = 2,53$; ddl = 11&11 ; $p = 0,32$) et ($X^2 = 22,33$; ddl = 14 ; $p = 0,07$).

Pour la dernière période :

($F = 1,77$; ddl = 11&11 ; $p = 0,86$) et ($X^2 = 20,92$; ddl = 17 ; $p = 0,23$).

Tableau VIII : Analyses de variances effectuées sur le poids des bars élevés selon quatre charges différentes (10, 40, 70, 100 kg/m³). Modèle à deux facteurs : la charge (a) est fixe et le facteur bassin (b) aléatoire, et hiérarchisé à la charge. ddl : degrés de liberté ; P : probabilité de rejet

Périodes	Jours	ddl		Fa	P	ddl		Fb	P	Groupes homogènes
		k ₁	k ₂			k ₁	k ₂			
1	21	3	8	0,58	0,64	8	468	1,61	0,12	10 40 70 100
2	42	3	8	10,51	0,004	8	468	0,41	0,91	<u>10 40 70</u> 100
3	63	3	8	4,59	0,04	8	468	1,15	0,32	<u>10 40 70</u> 100

Globalement, la vitesse de croissance des animaux évoluant à des charges de 10, 40 et 70 kg/m³ est supérieure à celle des poissons évoluant à 100 kg/m³ et les réplicats répondent toujours de façon identique.

C'est au cours de la seconde période que les différences de croissance pondérale apparaissent. Les moyennes des périodes 2 et 3 sont classées par ordre croissant et comparées à l'aide du test de Newmann-Keuls.

Pour les biométries 2 et 3, la charge de 100 kg/m³ se détache de façon significative.

Sur la période 2, la croissance pondérale pour le groupe homogène est supérieure de 5,6 % par rapport au 100 kg/m³. Elle est supérieure de 6,9 % sur la période 3.

Sur l'ensemble de l'expérience, les poissons élevés aux charges 10, 40, 70 kg/m³ ont eu une croissance de 67,5 %. Ceux élevés à 100 kg/m³ ont eu une croissance de 57 %. Ce qui représente une différence de croissance de 10,5 % entre les deux groupes.

➤ L'évolution de la longueur des poissons en fonction du temps et de la charge est présentée figure 9.

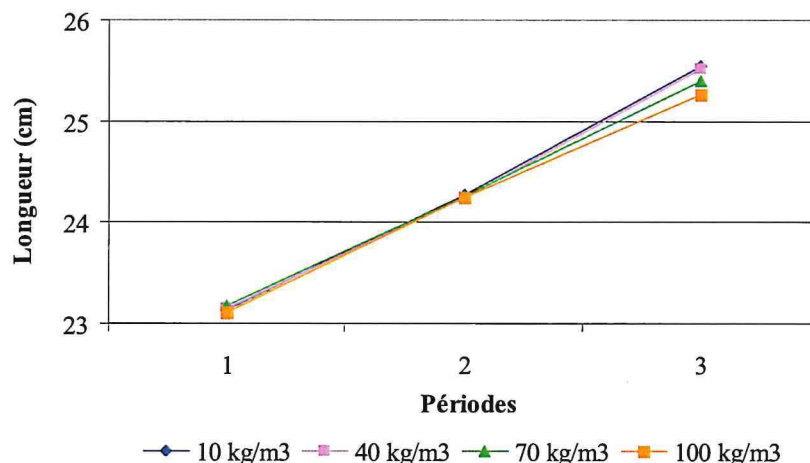


Figure 9 : Croissance en longueur des bars élevés selon 4 charges différentes (10, 40, 70, 100 kg/m³) en fonction du temps.

A la fin de la première période (21 jours), les individus mesurent en moyenne 23,1 cm. Au 63^{ème} jour, ils atteignent environ 25,4 cm.

Une série d'analyses statistiques effectuée sur les données de chaque biométrie en fin de période, permet de déterminer s'il existe des différences significatives de longueur selon la charge (Tableau IX).

L'homogénéité des variances et la normalité des données sont vérifiées pour chaque période.

Soit, pour la période 1 :

($F = 1,47$; ddl = 11&11 ; $p = 0,99$) et ($X^2 = 22,58$; ddl = 11 ; $p = 0,02$).

Pour la seconde période :

($F = 2,25$; ddl = 11&11 ; $p = 0,62$) et ($X^2 = 7,20$; ddl = 10 ; $p = 0,71$).

Pour la dernière période :

($F = 1,85$; ddl = 11&11 ; $p = 0,74$) et ($X^2 = 17,38$; ddl = 11 ; $p = 0,09$).

Etant donné qu'il n'y a pas de bimodale, et que les effectifs sont grands et égaux ($n > 30$), les analyses de variance sont quand même réalisées pour la première période.

Tableau IX : Analyses de variances effectuées sur la longueur des bars élevés selon quatre charges différentes (10, 40, 70, 100 kg/m³). Modèle à deux facteurs : la charge (a) est fixe et le facteur bassin (b) aléatoire, et hiérarchisé à la charge.
ddl : degrés de liberté ; P : probabilité de rejet

Périodes	Jours	ddl		Fa	P	ddl		Fb	P	Groupes homogènes
		k ₁	k ₂			k ₁	k ₂			
1	21	3	8	0,09	0,96	8	468	0,72	0,67	10 40 70 100
2	42	3	8	0,04	0,98	8	468	0,37	0,93	10 40 70 100
3	63	3	8	1,75	0,23	8	468	0,64	0,74	10 40 70 100

Les analyses de variances révèlent qu'aucune différence significative n'est perceptible sur la longueur entre les 4 charges tout au long de l'expérience.

➤ Les gains de biomasse, exprimés en pourcentage par rapport à la biomasse en début de chaque période sont présentés figure 10.

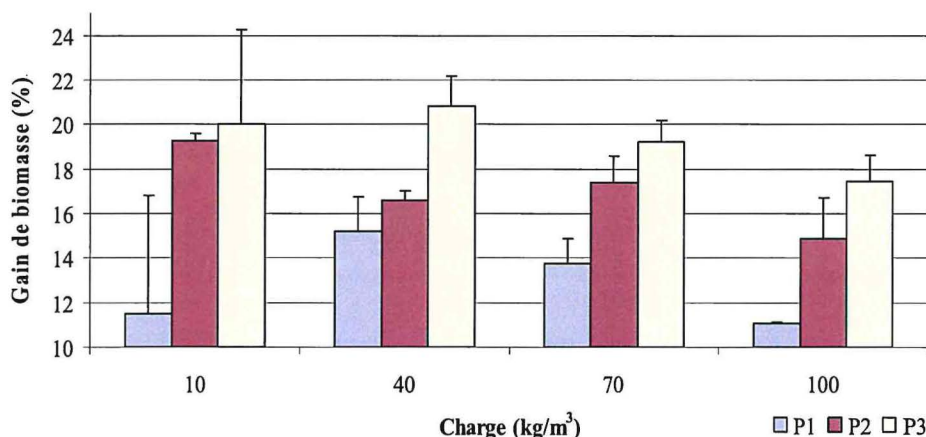


Figure 10 : Evolution du gain de biomasse en fonction de la charge (10, 40, 70, 100 kg/m³) et du temps (P = période).

L'ANOVA à 1 facteur fixe (la charge) effectuée sur les données de chaque biométrie en fin de période est présentée dans le tableau X.

L'homogénéité des variances et la normalité des données sont vérifiées pour chaque période.

Soit, pour la période 1 :

($F = 27039,8$; ddl = 3&3 ; $p = 0,00$) et ($X^2 = 0,81$; ddl = 1 ; $p = 0,37$).

Pour la seconde période :

($F = 25,15$; ddl = 3&3 ; $p = 0,17$) et ($X^2 = 1,75$; ddl = 1 ; $p = 0,18$).

Pour la dernière période :

($F = 20,36$; ddl = 3&3 ; $p = 0,16$) et ($X^2 = 0,85$; ddl = 1 ; $p = 0,37$).

L'AVONA est quand même effectuée pour la période 1 car le test d'homogénéité des variances est robuste, et la loi est normale.

Tableau X : Analyses de variances effectuées sur le gain de biomasse des bars élevés selon quatre charges différentes (10, 40, 70, 100 kg/m³). Modèle à un facteur fixe, la charge (a).

ddl : degrés de liberté ; P : probabilité de rejet

Périodes	Jours	ddl		Fa	P
		k ₁	k ₂		
1	21	3	8	1,39	0,31
2	42	3	8	8,06	0,008
3	63	3	8	1,17	0,38

Une différence significative est observée sur la seconde période uniquement.

Deux groupes homogènes se distinguent : 10 70 et 70 40 100.

Les gains de biomasse moyens sur la seconde période sont 18,3 % et 16,3 % pour les groupes 10 70 et 70 40 100.

Les gains de biomasse augmentent de la première à la troisième période, de 8,5 ; 5,7 ; 5,5 ; 6,4 % respectivement pour les charges 10, 40, 70, 100 kg/m³.

c) *Dispersion et structure*

o *Coefficient de variation*

Les coefficients de variation sont comparés pour chaque période par une analyse de variance à 1 facteur fixe (la charge).

L'homogénéité des variances et la normalité des données sont vérifiées pour chaque période.

Soit, pour la période 1 :

($F = 4,12$; ddl = 3&3 ; $p = 0,84$) et ($X^2 = 0,47$; ddl = 1 ; $p = 0,49$).

Pour la seconde période :

($F = 7,19$; ddl = 3&3 ; $p = 0,63$) et ($X^2 = 1,47$; ddl = 1 ; $p = 0,23$).

Pour la dernière période :

($F = 5,99$; ddl = 3&3 ; $p = 0,60$) et ($X^2 = 3,12$: ddl = 1 ; $p = 0,08$).

Aucune différence significative n'est observée entre les charges en période 1 ($F = 1,41$; ddl = 3&8 ; $p = 0,31$), période 2 ($F = 0,73$; ddl = 3&8 ; $p = 0,56$) et période 3 ($F = 0,97$; ddl = 3&8 ; $p = 0,45$).

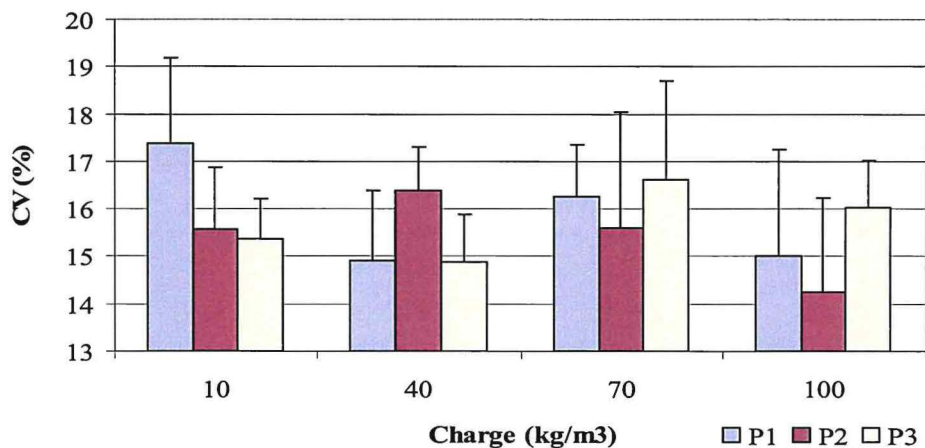


Figure 11 : Evolution du coefficient de variation en fonction de la charge (10, 40, 70, 100 kg/m³) et du temps (P = période).

○ *Structure de la population*

La structure de la population peut s'apprécier par les coefficients de Pearson présentés dans le tableau XI.

Tableau XI : Coefficients d'asymétrie (b_1) et d'aplatissement (b_2) pour chaque charge sur l'ensemble de l'expérience

Charge (kg/m ³)		10	40	70	100
P 1	b_1	0,398*	0,102	0,265	0,483*
	b_2	0,274	- 0,141	- 0,534	0,301
P 2	b_1	0,379	0,481*	0,288	0,176
	b_2	- 0,131	- 0,204	- 0,415	- 0,136
P 3	b_1	0,598*	0,417*	- 0,489	0,021
	b_2	- 0,076	- 0,324	0,389	0,025

P = période, * : coefficients significatifs

Les coefficients d'asymétrie significatifs sont positifs. Ils signalent que la population de bars présente une asymétrie droite par rapport à une population gaussienne. D'un point de vue biologique, cela traduit l'existence d'un mode marqué, soit l'apparition de lots de tête pour ces populations.

Les coefficients d'aplatissement ne sont pas significatifs quelle que soit la charge et la période. Ceci montre que la population est bien représentée autour de la moyenne, elle n'est pas très étalée.

DISCUSSION

Dans cette expérience, la gestion de la qualité de l'eau est d'intérêt majeur car n'étant pas le premier facteur étudié, elle ne doit pas entrer en interaction avec l'effet de la charge.

La salinité, naturelle, est restée relativement stable et identique dans tous les bassins. La température avoisine l'optimum de croissance, à savoir 24°C (Person-Le Ruyet *et al.*, 2004) et sa gamme de régulation correspond aux valeurs fixées dans le protocole expérimental.

Concernant le pH, des différences sont observées entre les traitements avec un pH supérieur de 3 % pour la charge 10 kg/m³ par rapport aux charges 40, 70 et 100 kg/m³. Au-delà du niveau de traitement, cette différence s'explique par le fait que le débit d'eau par kg de biomasse est le double (50 l/kg/h) dans les bassins fixés à 10 kg/m³ comparé aux trois autres charges. Il s'agit d'un effet de dilution. Ce phénomène explique alors très certainement le fait que les concentrations en ammoniacque et en urée sont supérieures de 47 % et 26 % respectivement, dans les bassins fixés à 40, 70, 100 kg/m³ par rapport aux bassins de 10 kg/m³. Il en est de même pour les teneurs en dioxyde de carbone, supérieures de 78 % pour les trois dernières charges. A l'inverse, il y a 5 % de nitrites en moins pour ces dernières.

La présence de nitrates, phosphates et substances humiques n'est pas significativement différente dans les eaux supportant les diverses charges.

Tous ces paramètres, sans oublier l'oxygène, sont présents dans les bassins en quantité non limitante pour les poissons et ne dépassent pas les seuils fixés au-delà desquels les individus risquent d'être en souffrance physiologique. Tous les bassins disposent donc d'une bonne qualité d'eau, ce qui confirme le bon fonctionnement des installations (3 réseaux) ainsi que la justesse des calculs théoriques de dimensionnement des différents maillons de traitement de l'eau. De plus, le ratio « eau neuve/aliment » est supérieur aux valeurs théoriques prévues pour l'expérience.

Un indicateur très important dans un système intensif tel que dans cette expérience, est le taux de survie. De l'ordre de 99 %, il confirme la bonne qualité de l'eau dans tous les bassins. La mortalité observée, qui est faible, aurait pu être évitée par un système de bâches entourant chaque bassin, empêchant ainsi les poissons de sauter hors du bac.

Concernant les indices de performances, ils dépendent de la charge attribuée aux différents bassins de la salle d'expérimentation, excepté pour l'indice de conversion alimentaire. Le taux d'alimentation journalier (TAJ) est homogène pour les charges inférieures à 70 kg/m³, et supérieur de 8 % par rapport aux 100 kg/m³. Cette différence s'expliquerait par plusieurs hypothèses. Tout d'abord, la difficulté pour l'expérimentateur de nourrir les poissons des bassins à une charge de 100 kg/m³ à satiété avec pour seul critère d'appréciation, l'observation du comportement alimentaire des animaux. L'évaluation de la notion de satiété se base sur trois critères. Le premier, est l'indifférence du poisson face au granulé. Le second, est le repérage de granulés non ingérés en surface ou en profondeur. Etant donné la forte densité, il est impossible de voir le fond du bassin, les poissons et donc le granulé. Le troisième, est la vision de granulés tombant dans le piège à particules, mais il ne prend pas en compte les granulés stagnant sur le fond du bassin ou dans les tuyaux d'évacuation.

Une seconde hypothèse met en avant le niveau de satiété des poissons. La charge de 100 kg/m³ pourrait engendrer un stress affectant l'appétit des animaux et réduisant la ration ingérée.

Une troisième supposition serait la mauvaise disponibilité de la nourriture pour les individus, même s'ils sont nourris *ad libitum*, à cause de la densité élevée.

Le TAJ augmente au cours du temps et reste très légèrement inférieur au TAJ indiqué par le fabricant d'aliment. La fiche analytique de la nourriture distribuée aux poissons donne un taux indicatif de 1,6 % à 23°C et 1,7 % à 25°C. La réponse de chaque triplicata est relativement homogène, hormis le traitement 10 kg/m³ qui présente une plus grande variabilité de réponse par rapport aux trois autres charges.

Les différences observées sur le taux de croissance spécifique (TCS) entre les charges reflètent les différences au niveau du TAJ. La charge 100 kg/m³ se détache du groupe homogène, et son TCS est très probablement la conséquence de la prise alimentaire, plus faible que pour les autres charges. Il varie d'une période à l'autre avec un pic entre le 21^{ème} et le 42^{ème} jours. Une hypothèse peut être évoquée pour expliquer ce phénomène : la seconde période serait une période de compensation.

Selon le modèle de croissance (Gasset *et al.*, 2002) établi en circuit recyclé avec une eau à 22°C, le taux de croissance spécifique est de 0,58 % au bout de 63 jours d'élevage. Cette valeur reste inférieure aux TCS obtenus sous nos conditions expérimentales, soit 0,81 % (groupe homogène) et 0,71 % (100 kg/m³). Ceci s'explique par la différence de température entre les deux expériences.

Si on se réfère au modèle de Tanguy et Le Grel (1989), le TCS est de 0,79 %. Ce modèle prend en compte la notion de poids pour simuler la croissance du bar mais, en cage (donc en milieu ouvert) et à 23,5°C (Pomeris, 2002).

Ces diminutions du taux d'alimentation journalier quand la charge augmente ont déjà été reportées sur d'autres espèces telles que la morue (*Gadus morhua* L.), l'omble (*Salvelinus fontinalis*) et la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) (Lambert et Dutil, 2001). Une autre étude montre la relation inverse pour le TCS et la charge, chez l'omble (Vijayan et Leatherland, 1988).

Enfin, la charge n'a aucun effet sur l'indice de conversion alimentaire (ICA). Un effet éventuel est peut être masqué par la grande variabilité de réponse du triplicata de la charge 10 kg/m³. Cette grande variabilité peut s'expliquer par la faible densité de poissons à cette charge. Ces derniers ont un potentiel de réponse plus individuel et hétérogène que les poissons élevés à 100 kg/m³.

L'ICA n'est pas très bon en début d'expérience (2,37) certainement à cause du démarrage de l'étude et des manipulations que les poissons ont subies. Cependant, le fait qu'il s'améliore au cours du temps (1,68) prouve que les animaux se sont bien adaptés à leurs conditions d'élevage.

L'effet de la charge sur la croissance pondérale des bars est nettement mis en évidence à partir de la seconde période. Les charges les plus faibles (10, 40 et 70 kg/m³) permettent d'obtenir des gains de croissance de 67,5 %, et la charge 100 kg/m³ obtient un gain de croissance de 57 % en 63 jours d'expérience.

Au bout du 21^{ème} jour, aucune différence significative sur le poids entre les animaux n'est décelée. Une raison peut être évoquée pour expliquer ce phénomène : cette période fait suite à la période d'acclimatation d'une durée de deux mois pendant laquelle l'ensemble des poissons de l'expérimentation était maintenu à la même charge (environ 70 kg/m³). Le potentiel de croissance des animaux a pu s'exprimer de façon différente qu'à partir du moment où ils ont été répartis selon de nouvelles charges d'élevage. De plus, la différence entre les gains de croissance, entre les charges inférieures à 70 kg/m³ et la charge 100 kg/m³, augmente de environ 1,5 % de la période 2 à la période 3. Ce résultat démontre que l'effet de la plus grande charge s'accroît avec le temps. Le décrochement des bassins à 100 kg/m³ de biomasse est certainement corrélé au taux d'alimentation et au stress physiologique par manque d'espace.

Un résultat intéressant est observé sur la croissance en longueur des individus. Elle ne présente pas de différence significative. La morphologie des poissons évolue plutôt vers une forme dodue qu'oblongue.

Globalement, le gain de biomasse de chaque triplicata augmente d'une période à l'autre. Ce phénomène rejoint la progression de la croissance. Les différences de gain ne sont pas évidentes en période 2. La charge 70 kg/m³ relie les deux groupes homogènes (10, 70 et 70, 40, 100 kg/m³). Ce chevauchement est sans doute un effet aléatoire. Le groupe homogène 40, 70, 100 kg/m³ a un gain de biomasse inférieur à celui du 10, 70 kg/m³. Les plus faibles gains de biomasse sont observés sur les charges extrêmes et en première période. Ceci laisse supposer que les poissons ont eu plus de difficulté à s'adapter aux nouvelles charges, étant donné qu'ils sont restés à environ 70 kg/m³ les deux mois précédant l'étude.

Les coefficients de variation des 4 charges ne sont pas différents significativement, ainsi que les coefficients d'aplatissement. Ceci met en évidence la faible dispersion du poids des poissons pendant cette étude.

La formation de lots de tête détectée pour certains triplicatas semble plutôt aléatoire. Le cheptel est globalement homogène mais il est difficile d'établir une corrélation entre l'effet charge et la structure de la population durant cette étude.

Dans nos conditions d'élevage, les charges inférieures à 70 kg/m³ ne constituent pas un frein pour les performances de croissance du bar. Concernant la variabilité de réponse souvent rencontrée pour le traitement 10 kg/m³, elle peut s'expliquer ainsi : cette faible charge permettrait aux animaux de s'exprimer individuellement. En revanche pour les trois autres charges, il y aurait un effet groupe plus marqué. Cette hypothèse confirmerait les observations du comportement des poissons.

Malgré des résultats de performances biologiques satisfaisants et la mise en évidence d'un effet charge, l'observation précise des paramètres nous permet de souligner quelques éléments perfectibles dans cette expérience. C'est le cas notamment des taux d'alimentation, de croissance spécifique, et de l'indice de conversion alimentaire. Un système d'auto-alimentation par le biais d'une tige tactile (Coves *et al.*, 1998) permettrait aux poissons de se nourrir à leur rythme et selon leur appétit. Ces indices de performances pourraient d'une part s'améliorer, d'autre part réduire les différences observées entre les charges. Ensuite, il aurait fallu isoler les bassins des divers éléments du circuit, source de bruit et de vibrations, et accroissant le stress des animaux. Enfin, la qualité et la précision des résultats statistiques auraient pu être affinées si chaque charge était représentée cinq fois au lieu de trois.

CONCLUSION

L'effet de la charge dans les bassins d'élevage de bars a été mis en évidence au cours de cette expérience. A partir des quatre niveaux de biomasse en élevage (10, 40, 70, 100 kg/m³), il apparaît des modifications des indices de performance des poissons. Les trois premières charges présentent des meilleurs taux d'alimentation journalier, de croissance spécifique et de croissance pondérale par rapport à une charge de 100 kg/m³.

Par ailleurs, les premiers résultats obtenus au cours de l'étude du comportement réalisée sur les animaux en expérience, révéleraient l'existence d'une activité natatoire différente avec l'augmentation de la charge.

En revanche, l'expérience testant la résistance au nodavirus en fonction de différentes charges en élevage (10, 40 et 100 kg/m³), ne démontrerait aucune différence significative en terme de morbidité.

Ainsi, cette étude permet de donner des informations relativement précises sur la réponse biologique des poissons à l'effet charge, et de mieux appréhender la notion de santé, de qualité et de bien-être des animaux.

Afin d'améliorer la recherche dans ce domaine, de valider et/ou de généraliser nos résultats, il serait souhaitable d'étendre ce type d'expérience à d'autres espèces de poisson de valeur commerciale reconnue. Les prochaines expériences envisagées consistent à tester l'effet de l'hyperoxie (excès en oxygène dissous) et de l'hypercapnie (excès en dioxyde de carbone) sur les performances biologiques du bar en système recyclé et en circuit ouvert.

BIBLIOGRAPHIE

1. BARNABE G., 1986. L'élevage du loup et de la daurade. *In* : Aquaculture. Vol.2. Ed. Tech.et Doc. Lavoisier publ., Paris, p.627-666.
2. BARNABE G. et BARNABE-QUET R., 1997. L'homme et les eaux côtières. L'exploitation des ressources vivantes aquatiques : halieutique et aquaculture. *In* : Ecologie et aménagement des eaux côtières. Ed. Tech. et Doc. Lavoisier publ., Paris, p.143-165.
3. BEGOUT ANRAS M-L. et LAGARDERE J-P., 2004. Measuring cultured fish swimming behaviour : first results on rainbow trout using acoustic telemetry in tanks. *Aquaculture*, 240, p.175-186.
4. BLANCHETON J.P., 2000. Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species. *Aquacultural Engineering*, 22, p.17-31.
5. BLANCHETON J.P., DE LA POMELIE C. et VINCENT M., 1996. Potential gains through new rearing technologies : culture in recirculation systems. *In*: Seabass and seabream culture: problems and prospects. Handbook of contributions and short communications. European Aquaculture Society. Verona, Italy, 16-18/10/1996, p.189-205.
6. COVES D., GASSET E., LEMARIE G. et DUTTO G., 1998. A simple way of avoiding feed wastage in European seabass, *Dicentrarchus labrax*, under self-feeding conditions. *Aquaculture living resources*, 11, p.395-401.
7. FAO. Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. Rapport SOFIA 2004, [On line]. <URL: http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=//docrep/007/y5600f/y5600f04.htm > [Consulté le 10/04/05].
8. GASSET E., BLANCHETON J.P. et CONTE M., 2002. Système recyclé pour la production de poissons Méditerranéens. Journée du SFAM. Présentation orale.
9. GORNATI R., TEROVA G., VIGETTI D., PRATI M., SAROGLIA M. et BERNARDINI G., 2004. Effects of population density on seabass (*Dicentrarchus labrax*, L.) gene expression. *Aquaculture*, 230, p.229-239.
10. GORNATI R., PAPIS E., RIMOLDI S., TEROVA G., SAROGLIA M. et BERNARDINI G., 2004. Rearing density influences the expression of stress-related genes in seabass (*Dicentrarchus labrax*, L.). *Gene*, 341, p.111-118.
11. LAMBERT Y. et DUTIL J.D., 2001. Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. *Aquaculture*, 192, p.233-247.
12. LARVAL BASE, 2003. LarvalBase. Global Information System about FishLarvae, [On line]. <URL: <http://www.larvalbase.org/>> [Consulté le 12/04/05].

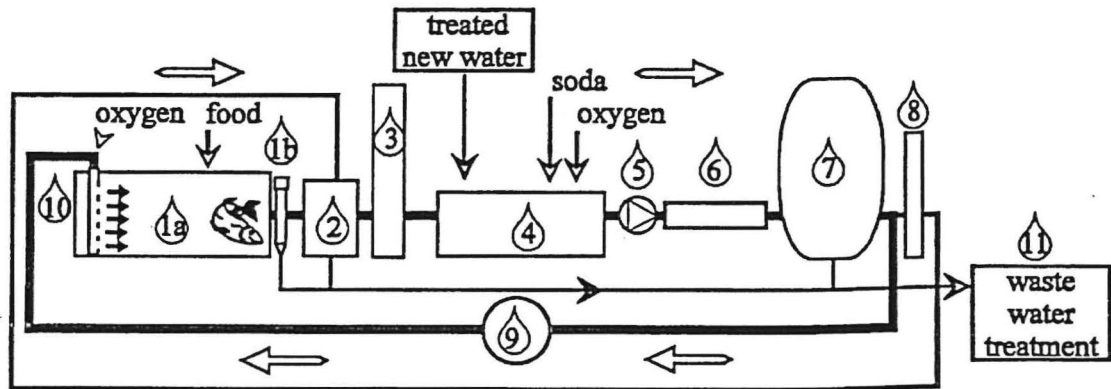
13. LE CARPENTIER P., 1995. Influence de la température, de la salinité et de la lumière sur la reproduction et l'élevage larvaire et embryonnaire du bar (*Dicentrarchus labrax*) et de la daurade (*Sparus aurata*). Thèse Docteur Vétérinaire, Nantes, 120p.
14. PAPOUTSOGLOU S.E., TZIHA G., VRETTOS X. et ATHANASIOU A., 1998. Effects of stocking density on behavior and growth rate of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles reared in a closed circulated system. *Aquacultural Engineering*, 18, p.135-144.
15. PERSON-LE RUYET J., MAHE K., LE BAYON N. et LE DELLIOU H., 2004. Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 237, p.269-280.
16. POMERIS B., 2002. Modélisation des processus d'élevage du bar (*Dicentrarchus labrax*) en conditions recyclées. DEA Européen en modélisation de l'environnement marin. Socrates/Erasmus. 63 p.
17. RIVIERE M., 1994. Influence du mode d'alimentation sur les performances biologiques du loup (*Dicentrarchus labrax*) élevé en milieu recyclé. Etude comparative d'un système d'auto-alimentation et d'un système d'alimentation imposée. Rapport de stage DTSM. 24p.
18. SAILLANT E., FOSTIER A., HAFFRAY P., MENU B., LAUREAU S., THIMONIER J. et CHATAIN B., 2003. Effects of rearing density, size grading and parental factors on sex ratios of the seabass (*Dicentrarchus labrax* L.) in intensive aquaculture. *Aquaculture*, 221, p.183-206.
19. VIJAYAN M.M. et LEATHERLAND J.F., 1988. Effect of stocking density on the growth and stress-response in brook charr, *Salvelinus fontinalis*. *Aquaculture*, 1-2. [Résumé]. 1p.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Photographie aérienne de la station expérimentale Ifremer de Palavas-les-Flots (Hérault) (Source : Ifremer)



ANNEXE 2 : Schéma d'un système en recirculation appliqué en aquaculture
 (Source : Blancheton *et al.*, 1996)



- | | |
|--|--------------------------------|
| 1a : Bassin d'élevage | 6 : Lampes UV |
| 1b : Piège à particules | 7 : Biofiltre nitrifiant |
| 2 : Filtre mécanique | 8 : Biofiltre dénitrificateur |
| 3 : Colonne de dégazage (CO ₂) | 9 : Echangeur thermique |
| 4 : Bassin de pompage | 10 : Système d'oxygénation |
| 5 : Pompes | 11 : Traitement des eaux usées |

ANNEXE 3 : La salle d'expérimentation réservée à l'étude du projet
WEALTH et les charges extrêmes
(Photos : Sophie SAMMOUTH, 2005)

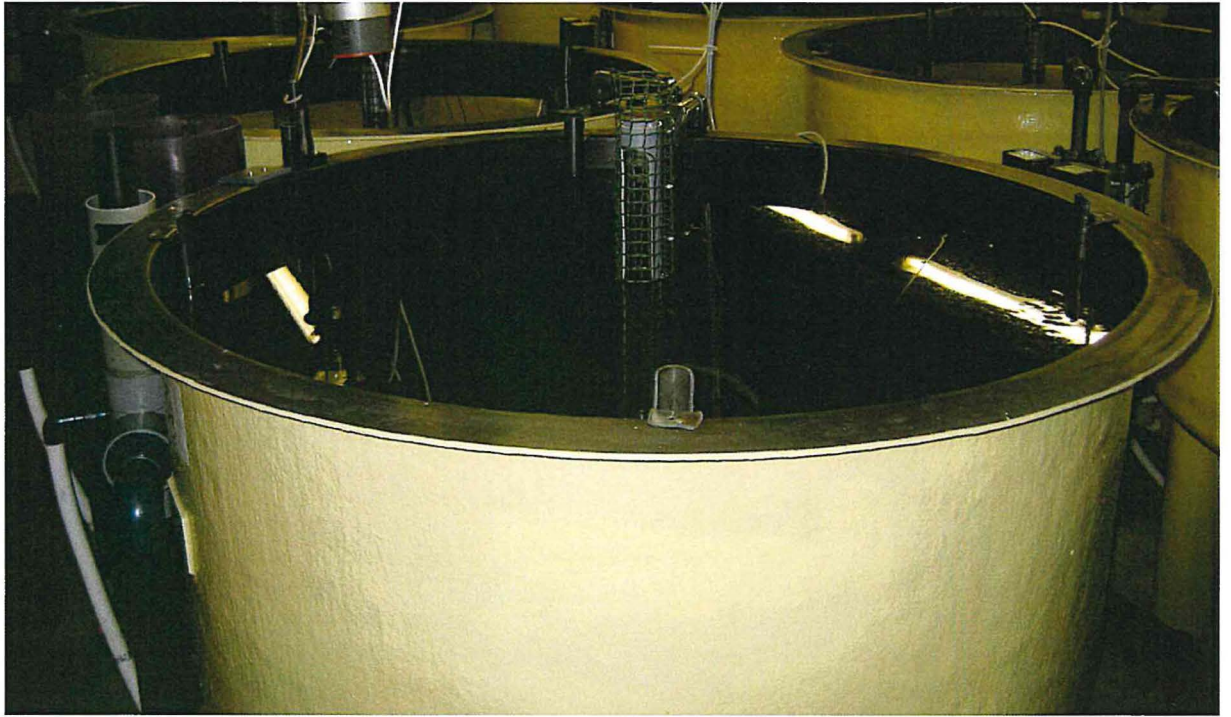


10 kg/m³

100 kg/m³



ANNEXE 4 : Un bassin avec sa crépine centrale et son piège à particules
(Photos : Sophie SAMMOUTH, 2005)



ANNEXE 5 : Le filtre mécanique Hydrotech
(Photo : Eric GASSET, 2005)



ANNEXE 6 : La colonne de dégazage
(Photo : Sophie SAMMOUTH, 2005)

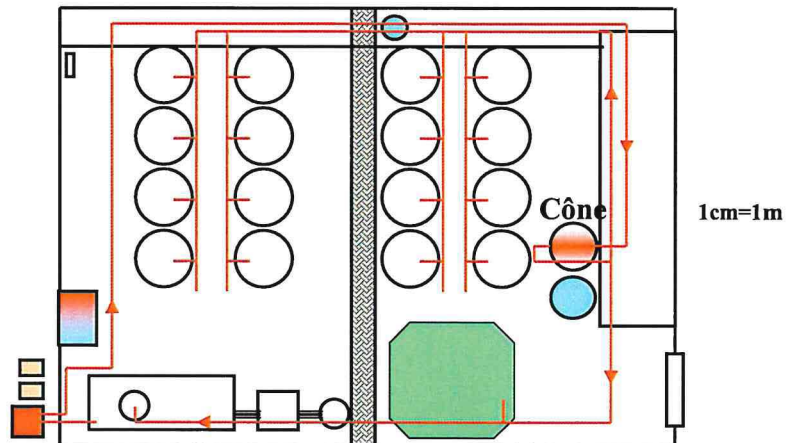


ANNEXE 7 : Le cône de suroxygénation
(Photo : Sophie SAMMOUTH, 2005)

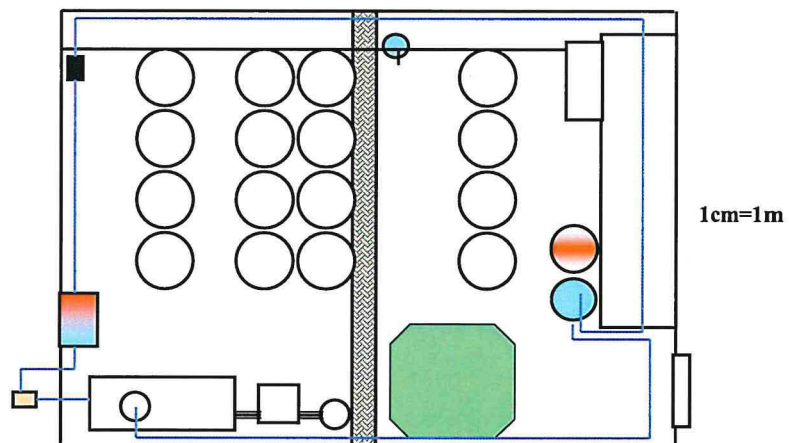


ANNEXE 8 : Schémas des 3 réseaux d'eau de la salle d'expérimentation
(Source : Eric GASSET, 2005)

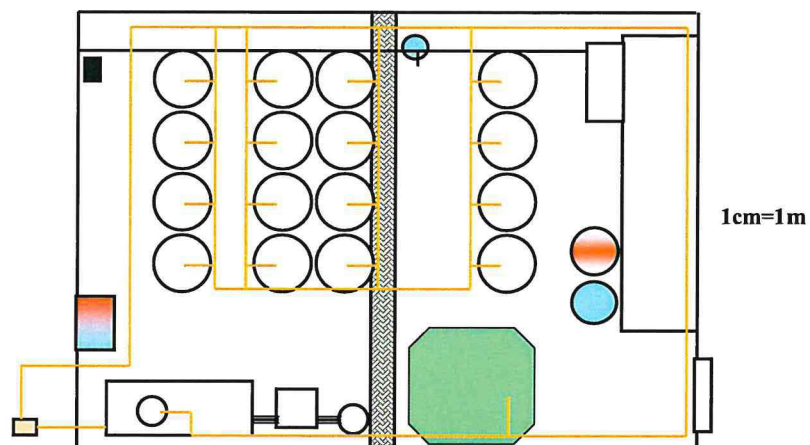
réseau 1: Eau Sur-oxygénée



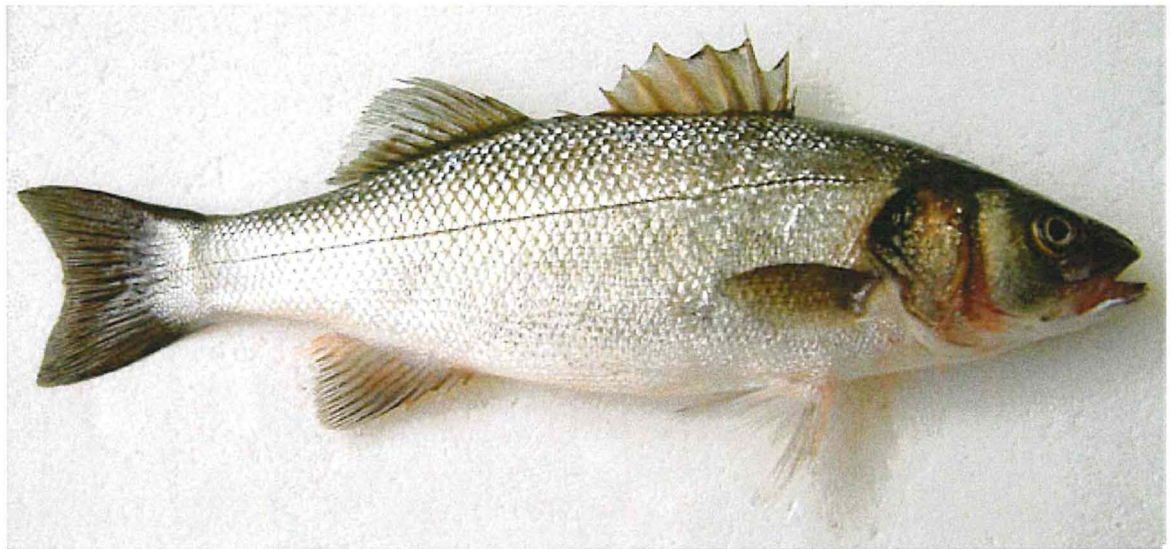
réseau 2: Boucle traitement



réseau 3: Boucle débit principal



ANNEXE 9 : Un loup adulte (*Dicentrarchus labrax*)
(Photo : Crocetta, F)



ANNEXE 10 : Fiche de composition de l'aliment distribué aux poissons au cours de l'expérimentation

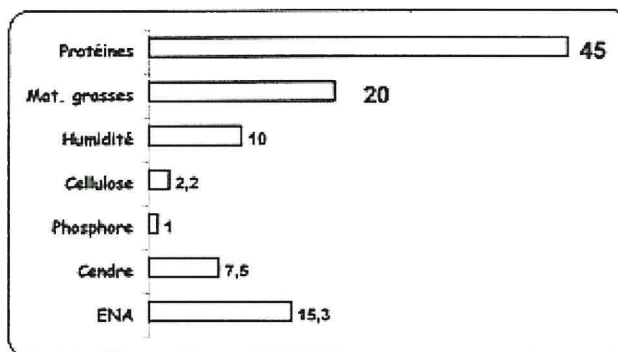


LES POISSONS MARINS

NEO GROWER EXTRA MARIN

ALIMENT COMPLET EXTRUDE POUR GROSSISSEMENT DE POISSONS MARINS.

GARANTIES ANALYTIQUES - %



Cet aliment intègre la maîtrise du risque OGM et ne contient pas de produits d'animaux terrestres. Cette démarche est contrôlée par un organisme indépendant.

Vitamines (par kg d'aliment)

Vit. A :	10000 UI
Vit. D3 :	1750 UI
Vit. E :	200 mg
Vit. C :	100 mg

Valeurs nutritionnelles (par kg)

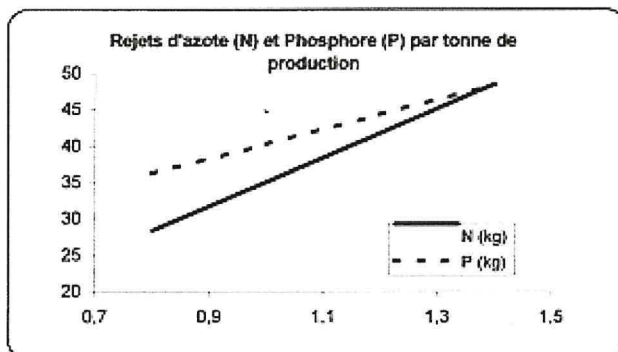
En. Brute :	21,1 MJ	5043 kcal
En. Dig :	19,2 MJ	4589 kcal
PD/ED :	21,1 g.M.J ⁻¹	

Acides aminés

Lysine :	3 %
Méthionine + Cystine :	1,5 %

Acides gras

	%	% Mat. Gras.
Oméga 3 :	4,8	24
Oméga 6 :	1,3	6,5
EPA+DHA :	3,7	18,5



Composition

Farines de poissons
Blé
Tourteau d'extraction de soja cuit
Huiles de poissons
Co-produit de la production d'ac. aminés
Tourteau de colza
Pois
Prémélange, Vitamines

TABLE DE NOURRISSAGE INDICATIVE (kg d'aliment / 100 kg de biomasse / jour)

NEO GROWER EXTRA MARIN	Diamètre (mm)	Poids du Poisson (grammes)	Température de l'eau						
			13°C	15°C	17°C	19°C	21°C	23°C	25°C
4	4	50 - 150	0,3	0,64	0,9	1,1	1,5	1,6	1,7
5	5,5	150 - 400	0,2	0,34	0,64	0,73	1	1,2	1,4
7	7,5	> 400	0,1	0,3	0,44	0,64	0,73	0,9	1

Les taux de nourrissage sont basés sur la valeur nutritionnelle de l'aliment et doivent être adaptés aux conditions locales des élevages

Stocker dans un endroit
frais et sec.



CONDITIONNEMENT:

Sacs de 25 kg
Big Bags - Vrac

Le Goessant Aquaculture – BP 228 – 22402 LAMBALLE Cédex – France
Tél. (33) 02 96 30 74 74 – Fax (33) 02 96 30 74 32 – e.mail : aqua@legouessant.fr

