

## Élevage de la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) et de la carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella* Val.) dans des eaux usées domestiques épurées

Nadia BERDAY<sup>1\*</sup>, Bouchaib EL HAMOURI<sup>2□</sup>,  
Youssef ZAMANE<sup>2</sup> & Driss ZAOUÏ<sup>1</sup>

(Reçu le 12/11/2003 ; Accepté le 18/10/2004)

### تربية أسماك الشبوط الفضي والشتبوط العاشب في المياه العادمة المعالجة

تمت دراسة إمكانية تربية أسماك الشبوط الفضي والشتبوط العاشب في المصب النهائي لمحطة معالجة المياه العادمة، حيث تمت تربية هذه الأسماك في حوض مزود من المصب النهائي للمحطة دون أن تتلق أي غذاء تكميلي. خلال فترة التجربة التي امتدت على مدى 100 يوم، كانت حصيدا منتوج سمك الشبوط الفضي مرتفعة (1,2 كلغ/م<sup>3</sup>)، مع نسبة وفيات جد منخفضة (12%). وقد ارتفع معدل الوزن الفردي للسمك من 13 إلى 113 غ، مع نسبة ارتفاع للوزن تقدر ب 1 غ/اليوم، فيما يخص حصيدا منتوج السمك العاشب فقد كانت جد منخفضة (0,05 كلغ/م<sup>3</sup>) مع نسبة وفيات مرتفعة تقدر ب 46%. وقد ارتفع معدل الوزن الفردي للسمك من 2 إلى 36 غ فقط، مع نسبة معدل ارتفاع للوزن تقدر ب 0,34 غ/اليوم.

**الكلمات المفتاحية:** المياه العادمة المعالجة - الشبوط الفضي - الشبوط العاشب - منتوج السمك - المغرب

### Élevage de la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) et de la carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella* Val.) dans des eaux usées domestiques épurées

La possibilité de réaliser l'élevage de la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) et de la carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella* Val.) dans un bassin alimenté par l'effluent d'une station d'épuration de type technologie des bassins à haut rendement (TBHR) sans utilisation de nourriture supplémentaire a été étudiée à la station d'épuration des eaux usées de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II à Rabat. Durant une période d'élevage de 100 jours, la production en carpe argentée a été très importante (1,2 kg.m<sup>-3</sup>), avec un taux de mortalité très faible (12%). Le poids moyen par individu est passé de 13 à 113 g, avec un gain de poids moyen de 1 g.j<sup>-1</sup>. La production de la carpe herbivore a été très faible (0,05 kg.m<sup>-3</sup>) avec un taux de mortalité de 46%. Le poids moyen par individu est passé de 2 à 36 g, avec un gain de poids moyen de 0,34 g.j<sup>-1</sup>.

**Mots clés:** Eaux usées épurées - Carpe argentée - Carpe herbivore - Production de poisson - Maroc

### Silver (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) and grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val.) breeding in a municipal treated wastewater

The possibility of silver (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) and grass carp (*Ctenopharyngodon idella* Val.) breeding in a pond of fish culture receiving the HRPTS [High Rate Ponds Technology System] effluent was studied. The experiment was achieved at the wastewater treatment plant of the "Institut Agronomique & Vétérinaire Hassan II" in Rabat (Morocco). No supplementary food was added to the fish pond. During a study period of 100 days, the silver carp production was very important (1.2 kg.m<sup>-3</sup>), with a low mortality rate (12%). The individual mean weight increased from 13 to 113 g, with a mean weight gain of 1 g.day<sup>-1</sup>. The grass carp production showed a very low production (0.05 kg.m<sup>-3</sup>) and a high mortality rate (up to 46%). The individual mean weight changed from 2 to 36 g, with a mean weight gain of 0.34 g.day<sup>-1</sup>.

**Key words:** Treated wastewater - Silver carp - Grass carp - Fish production - Morocco

<sup>1</sup> Université Chouaib Doukkali, Faculté des Sciences d'El Jadida, Département de Biologie, B.P. 20, El Jadida, Maroc

<sup>2</sup> Unité d'Épuration et de Réutilisation des Eaux Usées, Département de Biochimie et Biologie Moléculaire, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202, Madinat Al Irfane, 10101 Rabat, Maroc

\* Adresse présente: Formation Halieutique, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202, Madinat Al Irfane, 10101 Rabat, Maroc; e-mail: n.berday@iav.ac.ma

□ Auteur correspondant; e-mail: b.elhamouri@iav.ac.ma

## INTRODUCTION

Les eaux usées constituent un milieu très favorable pour le développement des algues et du zooplancton. Leur utilisation pour fertiliser les bassins d'élevage de poisson est une pratique très courante dans les pays asiatiques (Edwards, 1993; Mara *et al.*, 1993; Rajan & Raj, 1997). L'élevage du poisson dans les eaux usées s'accompagne d'une production importante de poisson qui peut atteindre 3,7 à 7,5 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> (Li, 1991) et, en même temps, il contribue à l'amélioration de la qualité des eaux usées (Schroeder, 1975).

La carpe argentée dont le régime est planctonophage (Bitterlich & Gnaigher, 1984) est une espèce qui peut s'adapter au système de traitement par Technologie des Bassins à Haut Rendement (TBHR) (El Hafiane *et al.*, 2003) dont l'effluent est riche en phytoplancton et en zooplancton. La carpe herbivore dont le régime est phytophage (Bardach, 1997) peut se nourrir à partir des algues benthiques disponibles dans le bassin d'élevage.

L'objectif de ce travail est d'étudier la possibilité d'élevage de la carpe argentée et de la carpe herbivore dans l'effluent d'une station d'épuration de type TBHR sans l'utilisation de nourriture supplémentaire.

## MATÉRIEL & MÉTHODES

L'expérience a eu lieu à la station d'épuration de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV). Cette station, qui reçoit les eaux usées émanant des locaux du campus de l'IAV avec un débit moyen de 63 m<sup>3</sup>.j<sup>-1</sup>, utilise comme système de traitement la Technologie des Bassins à Haut Rendement (TBHR). Au sein de l'unité d'épuration, les eaux usées sont soumises à deux types de traitement consécutifs: un traitement anaérobie à haut rendement et un traitement aérobie à haut rendement (El Hafiane, 2003).

D'une superficie de 26 m<sup>2</sup> et d'une profondeur de 1,2 m, le bassin d'élevage du poisson est situé à l'aval de l'unité d'épuration. Il reçoit l'effluent de cette unité avec un débit moyen de 4,3 à 9 m<sup>3</sup>.j<sup>-1</sup>.

### 1. Élevage du poisson

Les alevins de poisson de 1 à 3 g provenant de la station de Deroua (Béni Mellal) ont été introduits dans le bassin d'élevage en mars 2001. Les espèces

introduites sont la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) et la carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella* Val.). Pour permettre aux poissons de récupérer suite au stress causé par le transport, le bassin d'élevage a été alimenté par de l'eau du bassin d'irrigation de l'IAV Hassan II durant les 15 premiers jours après leur introduction. Le taux de mortalité de la carpe argentée en cette période a été très faible (6%). Par contre, celui de la carpe herbivore a été élevé (47%). Les poissons ont été ensuite soumis à une adaptation à l'effluent de la TBHR en remplaçant progressivement l'eau de puits par cet effluent. Après cette étape, qui a duré 15 jours, le bassin a été exclusivement alimenté par l'effluent de la TBHR.

L'expérience a eu lieu, entre avril et juillet 2001, sur 548 alevins de carpes argentées d'une charge de 0,23 kg.m<sup>-3</sup> et de 76 carpes herbivores d'une charge de 0,01 kg.m<sup>-3</sup>. Le débit d'alimentation du bassin a été de 4,3 m<sup>3</sup>.j<sup>-1</sup> entre avril et juin et de 9 m<sup>3</sup>.j<sup>-1</sup> en juillet. Une injection mécanique d'air pendant la nuit a été effectuée dans le bassin d'élevage afin d'éviter l'anoxie. Les poissons n'ont reçu aucune alimentation supplémentaire durant la période d'élevage.

### 2. Suivi du bassin d'élevage

#### 2.1. Paramètres physico-chimiques et biologiques de l'eau

##### 2.1.1. Prélèvement de l'eau

Des prélèvements bi-mensuels d'eau à l'entrée (influent) et dans le bassin d'élevage ont été effectués toutes les deux heures de 8 h à 18h, dans des bouteilles en polyéthylène d'une capacité d'un litre.

Les échantillons prélevés pendant la journée au niveau de l'influent du bassin d'élevage ont été mélangés pour constituer un échantillon composite de l'influent. Dans le bassin d'élevage, les prélèvements ont été effectués près de la sortie, en surface et à 5 profondeurs espacées de 20 cm. Tous les échantillons prélevés pendant la journée ont été mélangés pour constituer un échantillon composite représentatif du bassin.

##### 2.1.2. Analyses physico-chimiques et biologiques de l'eau

Les analyses physico-chimiques et biologiques de l'eau ont porté sur le composite de l'influent et sur

celui du bassin d'élevage. Elles ont concerné les paramètres suivants: température (T), oxygène dissous (OD), pH, conductivité électrique (CE), azote-ammoniac (N-NH<sub>3</sub>), azote-ammonium (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), azote-nitrites (N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), phytoplancton et zooplancton.

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre portatif de type Metrohm 744 et la CE à l'aide d'un conductimètre de type WTW. La T et l'OD ont été mesurés à l'aide d'un oxymètre portatif de type WTW à thermomètre incorporé. Au niveau de l'influent, ces paramètres ont été mesurés *in situ* directement au niveau des échantillons ponctuels prélevés. Dans le bassin d'élevage, le pH et la CE ont été mesurés *in situ* directement au niveau des échantillons ponctuels prélevés alors que la T et l'OD ont été mesurés *in situ* à 20 cm de la surface du bassin, en continu durant 48 heures, la veille et pendant le jour des prélèvements, en liant l'oxymètre à thermomètre incorporé à un enregistreur de type Squirrel meter Logger (Grant).

Les analyses chimiques de l'eau ont été effectuées selon les méthodes décrites par Rodier (1996). Les teneurs en N-NH<sub>3</sub> ont été calculées à partir de l'équation d'Emerson *et al.* (1975). Le plancton a été déterminé au microscope photonique de type Olympus, selon Bourrely (1966; 1968; 1970) et Cox (1981). Le dénombrement des cellules algales a été effectué à l'aide de la cellule de Thoma et celui du zooplancton à l'aide de la cellule de Rosenthal.

## 2.2. Suivi de la croissance du poisson

Des pêches de poisson ont été réalisées bimensuellement dans le bassin d'élevage, à l'aide d'un filet lesté. Des mesures du poids et de la taille ont été effectuées sur des échantillons de 160 individus, à l'aide d'une balance de précision et d'une règle graduée au mm. Les poissons ont été remis dans le bassin d'élevage après chaque pêche.

## RÉSULTATS

### 1. Caractéristiques physico-chimiques et biologiques de l'influent et du bassin d'élevage

Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques de l'eau au niveau de l'influent et du bassin d'élevage sont présentées dans le tableau 1.

**Tableau 1. Paramètres physico-chimiques et biologiques de l'eau du bassin d'élevage moyenne±erreur standard, (nombre de données = 8)**

Paramètre	Influent	Bassin
T (°C)	26,2±1,3	26±1
OD (mg.l <sup>-1</sup> )	14±3	8,1±1
pH	8,6±0,3	8,3±0,1
CE (µS/cm)	999±150	963±100
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg.l <sup>-1</sup> )	14±2	11±2
N-NH <sub>3</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )*	10±4,4	3±1
N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg.l <sup>-1</sup> )	1,4±0,4	1,8±0,4
Chl-a (mg.l <sup>-1</sup> )	0,6±0,2	0,3±0,1
Phytoplancton (cellule.l <sup>-1</sup> )	(4,8±1,4).10 <sup>8</sup>	(12,5±3).10 <sup>7</sup>
Zooplancton (individu.l <sup>-1</sup> )	(5,4±1).10 <sup>5</sup>	(12,5±6).10 <sup>4</sup>

\*: calculé à partir de l'équation d'Emerson *et al.* (1975)

Les températures moyennes de l'influent et du bassin d'élevage sont très proches. La gamme de températures journalières moyennes enregistrées dans le bassin d'élevage est de 20 à 28°C, avec un écart thermique entre le jour et la nuit de 0,7°C (Figure 1a).

Le taux d'OD dans le bassin d'élevage est nettement inférieur à celui de l'influent. Il varie de 6 à 14 mg.l<sup>-1</sup> pendant le jour et de 1,3 à 6 mg.l<sup>-1</sup> pendant la nuit (Figure 1b).

Le pH et la conductivité électrique dans le bassin sont très proches de ceux de l'influent. Le pH diurne varie de 7,8 à 8,9 (Figure 1c) et la CE est de l'ordre de 963 µS/cm. Les teneurs en N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et en N-NH<sub>3</sub> sont de 14 et 10 mg.l<sup>-1</sup> respectivement au niveau de l'influent et diminuent à 11 et 4 mg.l<sup>-1</sup> respectivement dans le bassin d'élevage. Les teneurs en nitrites connaissent une faible augmentation en passant de l'influent au bassin d'élevage.

Les concentrations en chl-a sont de 0,6 mg.l<sup>-1</sup> au niveau de l'influent et de 0,3 mg.l<sup>-1</sup> au niveau du bassin d'élevage. Pour le phytoplancton, les concentrations sont de 4,8.10<sup>8</sup> cellule.l<sup>-1</sup> au niveau de l'influent et de 1,3.10<sup>8</sup> cellule.l<sup>-1</sup> au niveau du bassin d'élevage. Les concentrations en zooplancton sont de 5,4.10<sup>5</sup> indiv.l<sup>-1</sup> au niveau de l'influent et de 1,3.10<sup>5</sup> indiv.l<sup>-1</sup> dans le bassin d'élevage.

Le phytoplancton est dominé par les espèces *Micractinium pusillum* entre avril et mai, *Actinastrum hantzschii*, en juin et par *Microcystis*

*sp.* en juillet. On note également la présence du genre *Lyngbia* (Cyanophycée filamenteuse) dont les colonies recouvrent les parois du bassin.

Le zooplancton est dominé par les ciliés (*Paramecium caudatum* et *Gymnodinioides inkystans*) et les rotifères (*Keratella cochlearis*, *Rotaria sp.* et *Filinia longiseta*).

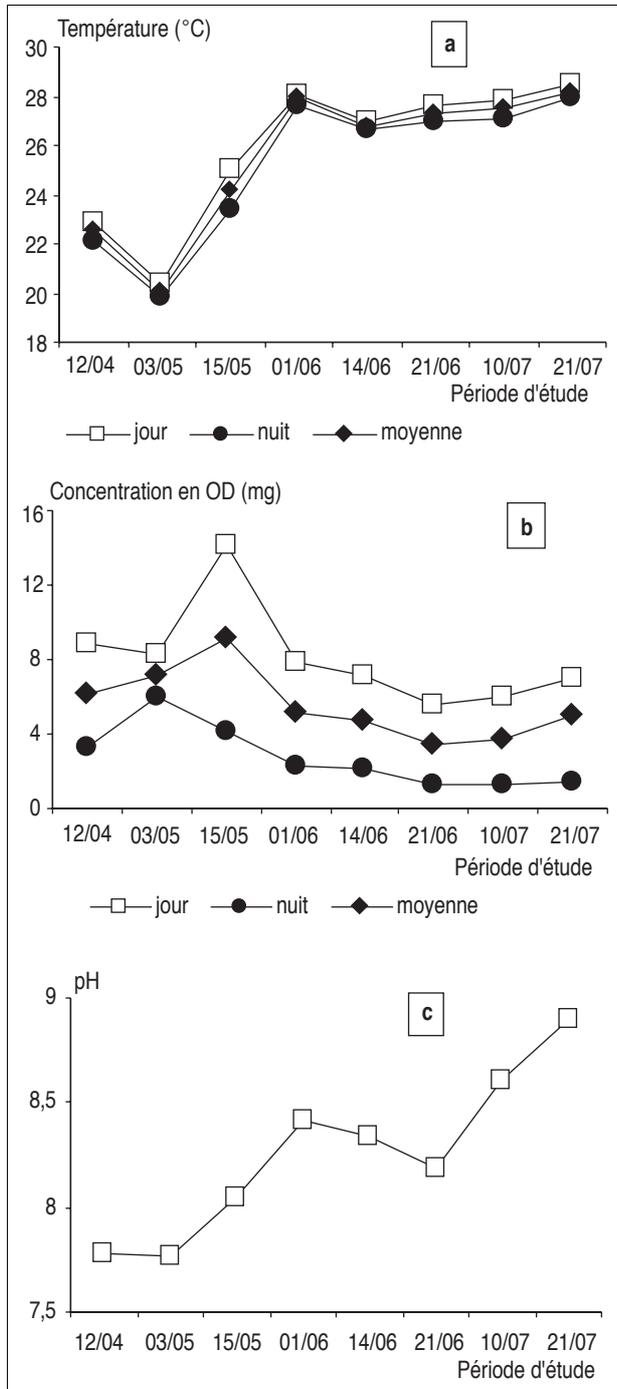


Figure 1.Évolution de la température (a), de l'oxygène dissous (b) et du pH (c) au niveau du bassin d'élevage

**2. Production en poisson**

La production des carpes argentées réalisée en 100 jours est de 1,2 kg.m<sup>-3</sup>. Le poids moyen par individu est passé de 13 à 113 g (Figure 2) et la taille moyenne par individu de 11 à 22 cm (Figure 3). Le gain de poids moyen est de l'ordre de 1 g.j<sup>-1</sup>. Les gains de poids les plus importants ont été enregistrés à des températures de 27 à 28°C (Figures 1a et 4). Le gain de taille est de l'ordre de 1,2 mm.j<sup>-1</sup> (Figure 4). La charge en carpes argentées est de 0,24 à 1,4 kg.m<sup>-3</sup> (Figure 5).

Des mortalités de carpes argentées ont eu lieu, le 3 juin, suite à une chute importante du taux d'OD dans le bassin pendant la nuit qui a atteint 1 mg.l<sup>-1</sup>. Le taux de mortalité a atteint 12%. Juste après cet incident, une réduction de la densité de la carpe argentée à 12 poissons.m<sup>-3</sup> a été effectuée afin de diminuer la pression sur la demande en oxygène dans le bassin d'élevage.

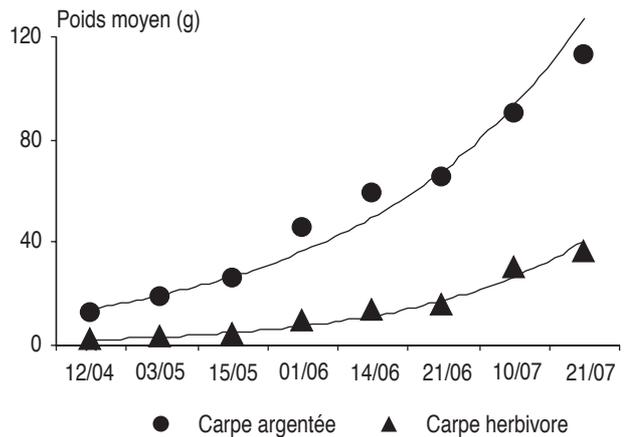


Figure 2.Variation du poids moyen de la carpe argentée et de la carpe herbivore

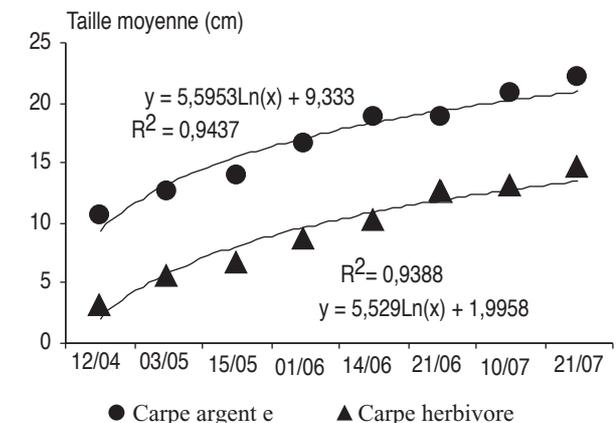


Figure 3.Variation de la taille moyenne de la carpe argentée et de la carpe herbivore

La carpe herbivore a connu une mortalité très importante au cours de la période d'étude (46%). Elle a également montré une faible croissance. Son poids moyen par individu est passé de 2,3 à 36 g (Figure 2) et sa taille moyenne de 3 à 13 cm (Figure 3).

Le gain de poids moyen est de 0,34 g/j. Il a été très faible entre avril et juin, mais il a augmenté à 0,5 g/j en juin et juillet (Figure 4). Le gain de taille est de l'ordre de 0,3 à 1,6 mm/j (Figure 4).

La charge en carpes herbivores est restée très faible durant toute la période d'étude (0,01 à 0,06 kg.m<sup>-3</sup>) (Figure 5).

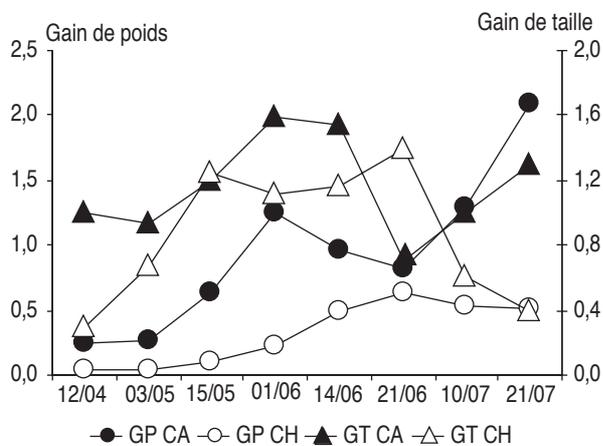


Figure 4. Variation du gain de poids (GP) et du gain de taille (GT) de la carpe argentée (CA) et de la carpe herbivore (CH)

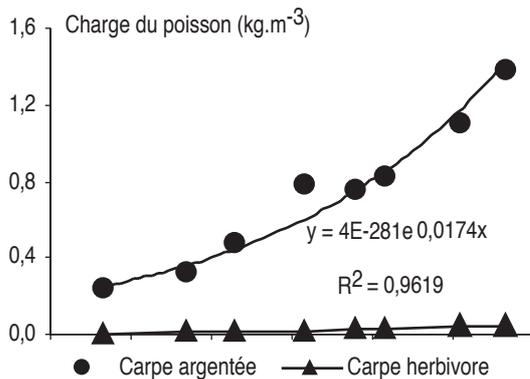


Figure 5. Variation de la charge des carpes argentées et herbivores au niveau du bassin d'élevage

## DISCUSSION

### 1. Carpe argentée

En 100 jours, la production de la carpe argentée a été très importante (1,2 kg.m<sup>-3</sup>). Le taux de survie a été également important (88%) et supérieur à

celui obtenu par Liang *et al.* (1998) dont la valeur n'a pas dépassé 60%. Le gain de poids moyen est très proche de la valeur 1,3 g.j<sup>-1</sup> obtenue par Gaigher & Krause (1983). Il semble hautement dépendant de la température.

D'après Petit (1990), la gamme de températures optimales pour la croissance est située entre 25 et 30°C. Dans notre cas, il augmente au-delà de 0,6 g.j<sup>-1</sup> dès que la température dépasse 24°C et les gains de poids les plus importants (1,3 à 2 g.j<sup>-1</sup>) ont été obtenus à 28°C considérée par Templeton (1984) comme la température optimale de croissance.

D'après Barry & Costa-Pierce (1992), la période favorable à la croissance de la carpe argentée dans son milieu d'origine (Asie) est située entre avril et juillet, à une gamme de températures de 18 à 25°C. Donc, l'élevage a été réalisé dans des conditions de températures favorables à la croissance de la carpe argentée (entre 20 et 28°C).

L'effluent du système de traitement par TBHR est riche en phytoplancton et en zooplancton considérés comme la nourriture privilégiée de la carpe argentée dont le régime est planctonophage (Bitterlich & Gaigher, 1984).

Les concentrations en phytoplancton et en zooplancton apportées par l'influent sont très importantes et dépassent de loin les concentrations rencontrées dans les milieux naturels. Donc, la nourriture n'a pas été un facteur limitant pour la croissance. N'empêche qu'elle pourrait avoir eu un effet négatif sur la croissance du poisson en augmentant la turbidité de l'eau. Mais aucun signe de stress manifestant un problème de colmatage des branchies n'a été observé.

Les paramètres physico-chimiques de l'effluent de la TBHR n'offrent pas non plus des conditions favorables à la vie et à la croissance (Andrews *et al.*, 1971; Crawford & Allen, 1977).

Les pH enregistrés au niveau du bassin d'élevage (7,8 à 8,9) sont dans les normes de pH favorables à la pisciculture situées entre 6,5 et 9 (Boyd, 1979).

Toutefois, les taux élevés de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dans l'influent du bassin d'élevage pourraient poser un problème en pisciculture car ils sont capables de se convertir en N-NH<sub>3</sub> toxique pour le poisson sous l'effet de l'augmentation du pH ou de la température

(Edwards, 1990). Cet élément est également produit dans le bassin d'élevage par le poisson (Beamish et Thomas, 1984).

Ainsi, les taux de  $N-NH_3$  ont été beaucoup plus élevés par rapport à la norme de  $0,41 \text{ mg.l}^{-1}$  (Bartone & Khouri, 1988) et de 1 à  $1,5 \text{ mg.l}^{-1}$  (Cointreau, 1990).

Les taux de  $N-NO_2$  dans l'influent ont été également élevés par rapport à la norme favorable à la pisciculture de  $0,03 \text{ mg.l}^{-1}$  (Meade 1989) et ont augmenté davantage au niveau du bassin d'élevage suite au processus de nitrification.

Grâce à la photosynthèse, les taux d'OD diurnes, ont été très importants dans le bassin d'élevage, atteignant souvent la sursaturation. Mais pendant la nuit, ces taux ont été beaucoup plus faibles malgré l'aération mécanique et se sont souvent maintenus inférieurs à  $5 \text{ mg/l}$ , considérée comme la valeur limite favorable à la croissance du poisson (Meade 1989; Lawson, 1995).

Les taux d'OD nocturnes sont restés au-dessus du seuil-critique de  $2 \text{ mg/l}$  durant la période située entre avril et mai, mais ils sont descendus en dessous de ce seuil à partir de juin. Ceci a été à l'origine de la mortalité massive du poisson pendant le 3 juin.

Cette chute a été attribuée à l'augmentation importante de la charge en poisson qui a atteint  $0,8 \text{ kg.m}^{-3}$ . Ceci a conduit à un épuisement de l'OD pendant la nuit à cause de la forte demande en oxygène qui devait dépasser l'apport en cet élément par l'aération mécanique.

Comme mesure corrective, on a immédiatement procédé à une réduction de la densité du poisson dans le bassin d'élevage. Ainsi, la mortalité s'est arrêtée durant le reste de la période bien que le taux d'OD pendant la nuit n'ait pas augmenté au delà de  $2 \text{ mg.l}^{-1}$ , ce qui laisserait comprendre que le poisson a pu s'adapter à ces faibles teneurs.

Les résultats de l'expérience ont montré que la carpe argentée a connu une bonne croissance, avec un taux de survie très élevé malgré les conditions défavorables précitées. Cette espèce semble, donc, s'adapter aux conditions difficiles de l'effluent de la TBHR.

Cependant, le taux de croissance de la carpe argentée reste nettement inférieur à celui

rencontré dans les milieux naturels, tel est le cas du barrage de Sidi Mohamed Ben Abdallah où le gain de poids par cette espèce a pu atteindre  $9 \text{ g.j}^{-1}$  (Direction des Eaux et Forêts, 1986, 1993, 2000).

## 2. Carpe herbivore

La faible production de la carpe herbivore (4% de la production totale, avec un taux de survie de 54%), est étroitement liée au manque de nourriture suffisante pour la croissance de cette espèce. Le taux de survie reste assez important en tenant compte des conditions physico-chimiques difficiles de l'effluent de la TBHR et du bassin d'élevage et montre que la carpe herbivore est capable de s'adapter à ces conditions.

Par ailleurs, la nourriture très limitée au niveau du bassin d'élevage a été un facteur limitant de sa croissance.

Une seule espèce benthique appartenant à la classe des Cyanophycées (*Lyngbia sp.*) s'est développée sur les parois du bassin d'élevage (non publié), d'où la nécessité de l'utilisation d'une nourriture supplémentaire dans le cas de cet élevage.

## CONCLUSION

L'élevage de la carpe argentée constitue donc un moyen efficace pour valoriser l'effluent d'une station d'épuration de type TBHR à travers la production du poisson. Par conséquent, cette pratique doit être effectuée avec une haute prudence, car elle nécessite le contrôle rigoureux du taux d'OD, pendant la nuit, et de la charge en poisson. Aussi, exige-t-elle, de contrôler le taux d'ammoniac dans l'eau.

La production de la carpe argentée réalisée est assez importante ( $1,2 \text{ kg.m}^{-3}$ ), avec un taux de survie très élevé (88%) et montre que cette espèce est capable de supporter les conditions physico-chimiques difficiles de cet effluent. Ainsi, elle peut survivre et croître au niveau de cet effluent et faire l'objet d'une pisciculture.

L'élevage de la carpe herbivore reste possible dans l'effluent de la TBHR. Mais le manque de nourriture adéquate dans ce système limite la production et diminue le taux de survie. Ainsi, son élevage dans un tel système nécessite l'utilisation d'une nourriture supplémentaire.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs vifs remerciements aux membres:

- du Département de Biochimie Générale (Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II),
- de la Formation Halieutique (Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II),
- du Centre National d'Hydrobiologie et de Pisciculture d'Azrou pour leur soutien scientifique et technique.

Ils remercient également le Professeur M. ETTALIBI, Chef du Département de Biochimie et Biologie Moléculaire, pour ses précieux conseils lors de la réalisation du présent article.

## RÉFÉRENCES CITÉES

- Andrews JW, LH Knight JW, Page M, Matguda M, Brown EE (1971) Interactions of stocking density and water turn over on growth and food conversion of channel cat fish reared in intensively stocked tanks. *Prog Fis Cult* 33: 197-200
- Bardach JE (1997) Sustainable Aquaculture: 1. Fish as food and the case for aquaculture. *J. Wiley & Sons, Inc.* pp. 1-14
- Barry A & Costa P (1992) Review of the spawning requirements and feeding ecology of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) and reevaluation of its use in fisheries and aquaculture. *Reviews in Aquatic Sciences* 6 (3/4): 257-273
- Bartone CR, Khouri N (1988) Reuse of treated pond effluents for fish culture in Lima, Peru in *Proc. Internat. Sem. Waste Reclam. Reuse for Aquaculture. Calcutta, India* 6-9 Dec. pp. 122-130
- Beamish F & Thomas E (1984) Effects of dietary protein and lipid on nitrogen losses in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture* 4: 359-371
- Bitterlich G & Gnaiger E (1984) Phytoplanktivorous or omnivorous fish, Digestibility of zooplankton by silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* Val. *Aquaculture* 40: 261-263
- Bourrely P (1966) Les algues d'eau douce: Initiation à la systématique. Tome I. Les algues vertes. *Éditions N. Boubée et C<sup>ie</sup>*, Paris VI
- Bourrely P (1968) Les algues d'eau douce: Initiation à la systématiques. Tome II. Les algues jaunes et brunes Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées. *Éditions N. Boubée et C<sup>ie</sup>*, Paris VI
- Bourrely P (1970) Les algues d'eau douce: initiation à la systématique. Tome III. Les algues bleues et rouges, les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines, *Éditions N. Boubée et C<sup>ie</sup>*, Paris VI.
- Boyd CE (1979) Water quality in Warm Water Fish Ponds. In "Animal Production and aquacultural Engineering". CIGR, The international Commission of Agricultural Engineering (Ed.), Vol. 2: 219-229
- Cointreau SJ (1990) Aquaculture with treated wastewater. A status Report on studies conducted in Lima, Pérou. *Applied Research and Technology (WUDAT) - Technical note n° 3. Integrated Resource Recovery Project* pp.1-56
- Cox FEG (1981) Protozoa, in practical Invertebrate zoology, a laboratory manual for the study of the major groups of Invertebrates, excluding Protochordates, *Blackwell Scientific Publications*, pp. 3-42
- Crawford RE & Allen GH (1977) Seawater inhibition of nitrite toxicity to chinook salmon. *Trans A Fish. Soc* 106: 105-109
- Edwards P (1990) General discussion on wastewater-fed aquaculture. In "wastewater-fed aquaculture". *Proceedings of the International seminar on Wastewater Reclamation and Reuse for Aquaculture. Calcutta, India. Environmental Sanitation Information Center. Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand*
- Direction des Eaux et Forêts (2000) Rapports Pêche et Pisciculture dans les eaux continentales 1986, 1993 & 2000.
- El Hafiane F (2003) Une nouvelle approche combinant deux systèmes à haut rendement (anaérobie/aérobie) pour l'épuration des eaux usées domestiques. *Thèse de Doctorat ès-Sciences Agronomiques, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat*, 127 p.
- El Hafiane F, Rami A & El Hamouri B (2003) Mécanismes d'élimination de l'azote et du phosphore dans un chenal algal à haut rendement. *Revue des Sciences de l'Eau* 16: 157-172
- Emerson K, Russo RC, Lund RE & Thurston RB (1975) Aqueous ammonia equilibrium calculations: effects of pH and temperature. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 32:2379-2383
- Gaigher IG & Krause JB (1983) Growth rates of mozambique tilapia (*Oreochromis mossambicus*) and silver-carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) without artificial feeding in floating cages in plankton-rich wastewater. *Aquaculture* 31: 361-367

- Lawson TB (1995) Fundamentals of Aquacultural Engineering. In "Animal Production and aquacultural Engineering". CIGR, The international Commission of Agricultural Engineering (Ed.), Vol. 2, pp. 219-229
- Li S (1991) Aquaculture and its role in ecological wastewater treatment in "Ecological Engineering for wastewater treatment". *Proceedings of the International Conference at Stensund Folk College, Sweden*, 24-28 March, p. 228
- Liang Y, Cheung YH, Everittg & Wong MH (1998) Reclamation of wastewater for polyculture of freshwater fish: wastewater treatment in ponds. *Water Res* 32(6): 1864-1880
- Mara D, Edwards P, Clarck D & Mills S SW (1993) A rational approach to the design of wastewater-fed fish ponds. *Wat Res* 27(12): 1797-1799
- Meade JW (1989) Aquaculture management. Van Nostrand Reihold, New York In "Animal production and Aquacultural Engineering". CIGR Handbook of Agricultural Engineering (Ed.) CIGR-The International Comission of Agricultural Engineering 2: 211-229
- Petit J (1990) Water supply treatment and recycling in aquaculture. In "Animal Production and aquacultural Engineering". CIGR, The international Commission of Agricultural Engineering (Ed.) Vol. 2: 219-229
- Rajan MR & Raj SP (1997) Instantaneous growth rate of sewage grown fishes. *J Environ Biol* 18(2): 127-130
- Rodier J (1996) L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8<sup>ème</sup> Edition, Dunod, Paris.