

Amélioration de la qualité de l'effluent d'une station d'épuration des eaux usées via l'élevage de carpes

Nadia BERDAY^{1*}, Bouchaib El HAMOURI^{2□} & Fatiha El HAFIANE²

(Reçu le 24/10/2003 ; Accepté le 18/10/2004)

تحسين جودة مياه المصب النهائي لمحطة معالجة المياه العادمة باستعمال حوض لتربية أسماك الشبوط

أنجزت دراسة حول مدى تأثير الشبوط الفضي والضبوط العاشب على جودة المصب النهائي لمحطة معالجة المياه العادمة بطريقة الأحواض ذات المردودية العالية لمدة 100 يوم، أجريت التجربة في حوض لتربية أسماك الشبوط الفضي و الضبوط العاشب مزود من المصب النهائي لمحطة معالجة المياه العادمة بمعهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة بالرباط (المغرب). أظهر الحوض فعالية مهمة في تحسين جودة هذا المصب. فقد وصلت نسبة انخفاض المواد العالقة 42% و نسبة انخفاض المواد العالقة العضوية إلى 44%. أما نسبة انخفاض العوالق النباتية (التي تشكل 99,95% من مجموع العوالق)، والعوالق الحيوانية فقد بلغت 75%، فيما يخص الطلب الكميائي والبيوكيميائي الإجمالي للأكسجين و الطلب الكميائي و البيوكيميائي الخاص بالمواد العالقة، فإن نسبة انخفاضهم ظلت متقاربة (42 إلى 49%). وقد بقيت نسبة انخفاض النيتروجين ضعيفة (24%) بينما وصلت نسبة انخفاض نيتروجين المواد العالقة إلى 56%.

الكلمات المفتاحية: معالجة المياه العادمة - تكنولوجيا الأحواض ذات المردودية العالية - الشبوط الفضي - الشبوط العاشب - جودة المياه - نسبة الإنخفاض المغرب

Amélioration de la qualité de l'effluent d'une station d'épuration des eaux usées via l'élevage de carpes

L'effet d'un élevage de carpes argentées (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) et de carpes herbivores (*Ctenopharyngodon idella* Val.) sur la qualité de l'effluent d'un système de traitement de type technologie des bassins à haut rendement (TBHR) a été étudié durant une période de 100 jours. L'expérience a été menée au niveau d'un bassin d'élevage de carpes argentées et herbivores recevant l'effluent de la station d'épuration des eaux usées de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II à Rabat (Maroc). Ce bassin d'élevage des carpes s'est avéré efficace dans l'amélioration de la qualité de l'effluent de la TBHR. Les matières en suspension (MES) ont connu un taux d'abattement de 42%, avec une réduction de leur fraction organique de 44%. Le phytoplancton (99.95% du plancton total) et le zooplancton ont connu des taux d'abattement plus importants (75%). Les taux d'abattement des demandes chimique et biochimique en oxygène (DCO et DBO₅) et de leurs fractions particulières sont restés très proches (42 à 49%). L'azote total (NT) a connu un taux d'abattement faible (24%). Par contre, le taux d'abattement de sa fraction particulière a atteint 56%.

Mots clés: Traitement des eaux usées - Technologie des Bassins à Haut Rendement - Carpe argentée - Carpe herbivore - Qualité de l'eau - Taux d'abattement - Maroc

Quality improvement of a wastewater treatment plant effluent by carp breeding

The effect of silver (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) and grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) on the quality of the effluent of a wastewater treatment plant using the High Rate Ponds Technology System (HRPTS) was investigated during a period of 100 days. The experiment occurred in the Wastewater Treatment Plant of the Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat (Morocco), in a silver and grass carp pond receiving a HRPTS effluent. The fish pond was efficient in the improvement of the HRPTS effluent quality. The removal rate of total suspended solids (TSS) was 42% and their organic fraction removal rate was 44%. The phytoplankton (99.95% of total plankton) and zooplankton removal rates were more important (75%). The removal rates of chemical and biochemical oxygen demand (COD and BOD₅) and their particular fractions in the fish pond were approximately similar and varied from 42 to 49%. The removal rate of total nitrogen remained low (24%) while the particular fraction removal rate was higher (56%).

Key words: Wastewater treatment - High Rate Ponds Technology System - Silver carp - Grass carp - Water quality - Removal rate - Morocco

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

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

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

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

INTRODUCTION

L'épuration des eaux usées et leur réutilisation en irrigation est une pratique très avantageuse. Elle permet à la fois de protéger le milieu récepteur contre la pollution et de bénéficier d'une ressource supplémentaire en eau pouvant être réutilisée en irrigation.

Le système de traitement TBHR (Technologie des Bassins à Haut Rendement) (El Hafiane, 2003; El Hafiane *et al.*, 2003) possède des performances épuratoires très élevées grâce à une production importante de biomasse algale. Constituant la majeure partie des matières en suspension (MES), cette biomasse pourrait poser des problèmes lors de la réutilisation de l'effluent final en irrigation localisée et par aspersion (colmatage des canaux d'irrigation).

L'utilisation des poissons planctonophages, notamment la carpe argentée (*Hypophthalmichthys molitrix* Val. 1544), pour le contrôle des pullulations du plancton dans les milieux naturels est une pratique très répandue à travers le monde (Kajak *et al.*, 1975; Sparatu & Gophen, 1985; Leventer & Teltsch, 1990; Miura, 1990; Drenner *et al.*, 1998; Domaison & Devaux, 1999).

La carpe argentée est généralement utilisée en association avec d'autres espèces comme la carpe herbivore (*Ctenopharyngodon idella* Val. 1944), dont le régime est phytophage, et la carpe commune (*Cyprinus carpio* Lin. (1758) dont le régime est zoobenthophage (Bardach, 1997). L'introduction de ces poissons dans l'effluent final du système de traitement TBHR pourrait donc être un moyen utile pour la réduction des charges en MES et pour l'amélioration de la qualité de cet effluent.

Le présent travail se propose d'étudier les capacités d'un élevage de carpes argentées et herbivores à améliorer la qualité physico-chimique de l'effluent d'une station d'épuration par TBHR.

MATÉRIEL & MÉTHODES

1. Station d'épuration des eaux usées de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II (IAV Hassan II)

La station d'épuration de l'IAV Hassan II traite les eaux usées collectées à partir du campus de l'IAV

avec un débit moyen de $63 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ et pour un temps de rétention hydraulique total de 7 jours.

Le système de traitement utilisé est la technologie des bassins à haut rendement (TBHR). Il comporte une unité de traitement anaérobie avec 2 bassins en série d'une capacité totale de 126 m^3 suivie d'une unité de traitement aérobie constituée d'un chenal algal à haut rendement (CAHR) d'une superficie de 960 m^2 et de $0,5 \text{ m}$ de profondeur et de deux bassins de maturation (BM) en série d'une superficie totale de 170 m^2 et de 1 m de profondeur (Figure 1).

Le bassin d'élevage d'une superficie de 26 m^2 et de $1,2 \text{ m}$ de profondeur est situé à l'aval de la filière de traitement (Figure 1). Il reçoit l'effluent final avec un débit moyen de $4,3 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ entre avril et juin et de $9 \text{ m}^3 \cdot \text{j}^{-1}$ en juillet.

2. Caractéristiques de l'élevage du poisson

Les alevins de carpes argentées (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) et de carpes herbivores (*Ctenopharyngodon idella* Val.) d'un poids moyen de 1 à 3 g ont été amenés depuis la station de Deroua (Béni-Mellal). Ils ont été introduits dans le bassin d'élevage en mars 2001. La carpe herbivore a été introduite afin de limiter la multiplication des Cyanophycées filamenteuses sur les parois du bassin d'élevage.

Après une période d'acclimatation à l'effluent de la TBHR qui a duré 15 jours, l'expérience a démarré en avril 2001, sur un élevage de 636 alevins de poissons dont 88% de carpes argentées et 12% de carpes herbivores. Durant une période d'étude de 100 jours, les poissons n'ont reçu aucune alimentation supplémentaire. Pour éviter l'anoxie pendant la nuit, une injection mécanique d'air a été maintenue dans le bassin de 20 h à 8 h du matin.

Les caractéristiques de l'élevage des carpes utilisées pour cette expérience sont présentées dans le tableau 1.

3. Suivi des paramètres physico-chimiques et biologiques du bassin d'élevage

3.1. Prélèvement de l'eau

Des prélèvements bimensuels de l'eau au niveau de l'influent et de l'effluent du bassin d'élevage ont été effectués toutes les deux heures de 8 h à 18 h.

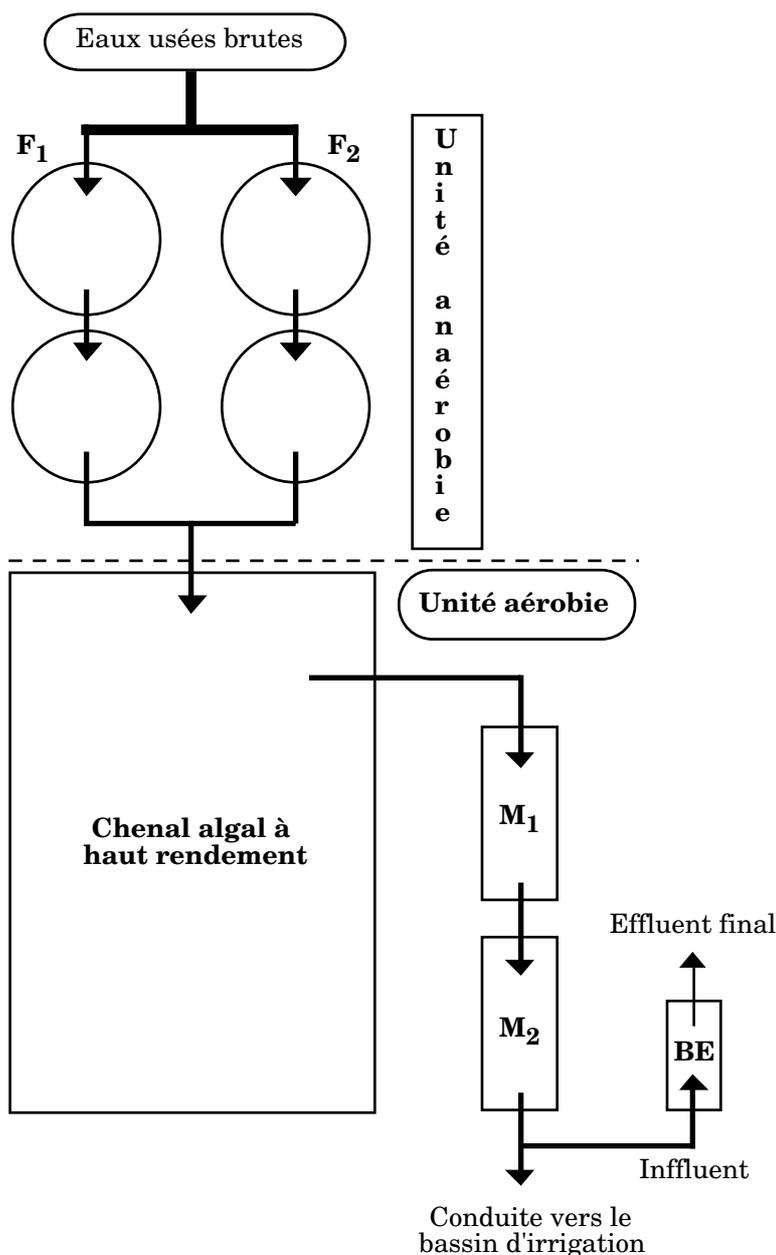


Figure 1. Schéma de l'unité de traitement des eaux usées et du bassin d'élevage de carpes à la station d'épuration de l'IAV Hassan II (Rabat)
 F₁ & F₂: Filières anaérobies; M₁ & M₂: Bassins de maturation; BE: bassin d'élevage de carpes

Tableau 1. Caractéristiques initiales et finales des carpes argentées et herbivores introduites dans le bassin d'élevage

	Poisson			
	Carpe argentée		Carpe herbivore	
	Période			
	Début	Fin	Début	Fin
Densité (individu.m ⁻³)	18	12	2	1
Taille moyenne (cm)	11	22	5,6	12,6
Charge (kg.m ⁻³)	0,24	1,4	0,01	0,06

Les échantillons ont été prélevés dans des bouteilles en polyéthylène d'un litre. Les échantillons destinés au comptage du phytoplancton et du zooplancton ont été fixés au formaldéhyde à 1%. À la fin de la journée, les échantillons de chaque point de prélèvement ont été mélangés pour constituer des "échantillons composites" destinés aux analyses physico-chimiques.

En parallèle, des prélèvements du fond à l'amont, au milieu et à l'aval du bassin ont été réalisés, à l'aide d'une pompe à eau. Les échantillons prélevés ont été fixés au formaldéhyde à 1% et mélangés pour constituer un échantillon composite. À la fin de l'expérience, le bassin a été vidé, à l'aide d'une vanne placée à 30 cm du fond du bassin, afin de déterminer le volume du sédiment.

3.2. Méthodes d'analyses physico-chimiques et biologiques de l'eau

Les analyses effectuées au niveau de l'influent et de l'effluent du bassin d'élevage ont concerné les paramètres suivants: matières sèches totales (MST), matières en suspension (MES), matières en suspension volatiles (MESV), demande chimique en oxygène (DCO), demande biochimique en oxygène (DBO₅), azote total (NT), DCO, DBO₅ et NT dissous, chlorophylle a (chl-a), phytoplancton et zooplancton. Au niveau des prélèvements du fond, seules les analyses des MES et du plancton ont été effectuées.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées selon les méthodes décrites par Rodier (1996). Les MST ont été déterminées en mesurant le poids sec d'un échantillon séché à l'étuve à 105°C. Les MES ont été déterminées selon la méthode de filtration sur des filtres Wathman GF/C à 105°C. Les MESV ont été calculées à partir de la différence du poids des MES avant et après calcination totale à 550°C. Les analyses de la DCO, de la DBO₅ et du NT ont porté sur les échantillons filtrés sur des filtres Wathman GF/C et non filtrés. Les teneurs en DCO, en DBO₅ et en NT particulières ont été calculées à partir de la différence entre les teneurs en ces éléments de l'échantillon non filtré et celles de l'échantillon filtré.

L'identification et le comptage du plancton ont été réalisés au microscope photonique de type Olympus. Le plancton a été déterminé à l'aide des manuels de Bourrely (1966, 1968, 1970) et de Cox (1981). Le dénombrement a été effectué à l'aide de la cellule de Thoma pour le phytoplancton et de Rosenthal pour le zooplancton.

RÉSULTATS

Les concentrations moyennes en différents paramètres physico-chimiques et biologiques de l'influent et de l'effluent du bassin d'élevage ainsi que leurs taux d'abattement moyens sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Taux d'abattement et concentrations des paramètres physico-chimiques et biologiques dans l'influent et l'effluent du bassin d'élevage du poisson (n=7) (moyenne (m) ± erreur standard (es))

Paramètres	Concentration de l'influent (mg.l ⁻¹) m±es	Concentration de l'effluent (mg.l ⁻¹) m±es	Taux d'abattement (%) m±es
MST	971±77	824±47	13±3
DCO	284±31	160±14	42±4
DBO ₅	155±18	78±8	48±5
Azote total	25,1±3,6	17,4±2,3	24,4±10,3
MES	213±40	127±31	42±4
MESV	133±41	83±23	30,4±1,4
DCO particulaire	139±23	69±11	49±3
DBO ₅ particulaire	79±15	41±6	42±9
Azote particulaire	7,2±	3,2±	55,5±8,7
Chl-a	0,6±0,2	0,3±0,1	42±8
Phytoplancton	(4,8±1,4).10 ⁸⁽¹⁾	(12±3,3).10 ⁷⁽¹⁾	75±3
Zooplancton *	(5,4±1).10 ⁵⁽²⁾	(12,6±6,3).10 ⁴⁽²⁾	76±9

MST: Matières sèches totales

MES: Matières en suspension

MESV: Matières en suspension volatiles

n□: nombre d'observations⁽¹⁾; cellules.l⁻¹, □⁽²⁾ individus.l⁻¹

1. Devenir des MST, de la matière organique et de l'azote total dans le bassin d'élevage

Avec un taux moyen ne dépassant pas 13%, l'abattement des MST est faible. Pour la DCO et de la DBO₅, les taux d'abattement moyens sont assez importants (42% pour la DCO et 48% pour la DBO₅). Ceci permet d'obtenir un effluent final d'une concentration en DCO de 160 mg.l⁻¹ et en DBO₅ de 78 mg.l⁻¹. L'azote total (NT), dont plus de la moitié (56%) de sa composition est représentée par les ions ammonium aussi bien à l'entrée qu'à la sortie du bassin (Figure 2), a connu un taux d'abattement faible ne dépassant pas 24%.

2. Devenir des MES dans le bassin d'élevage

Les MES (fraction particulaire des MST) représentent 22% des MST au niveau de l'influent et 15% seulement au niveau de l'effluent final (Tableau 3). Elles sont assez riches en matière organique qui constitue 65% de leur composition (Tableau 3).

Les taux d'abattement des MES sont assez importants (41 à 52%) (Figure 3) et conduisent à un effluent final d'une concentration moyenne en MES de 127 mg.l⁻¹ (Cf. Tableau 2).

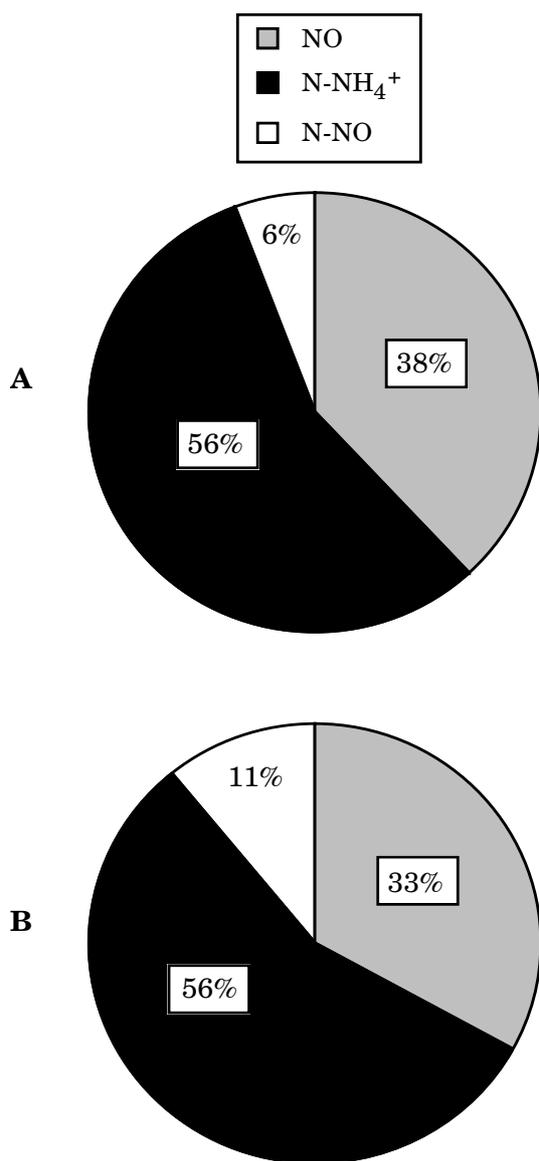


Figure 2. Pourcentage des différentes fractions d'azote au niveau de l'influent (A) et de l'effluent (B) du bassin d'élevage du poisson (NO = N organique, N-NO = forme oxydée de N)

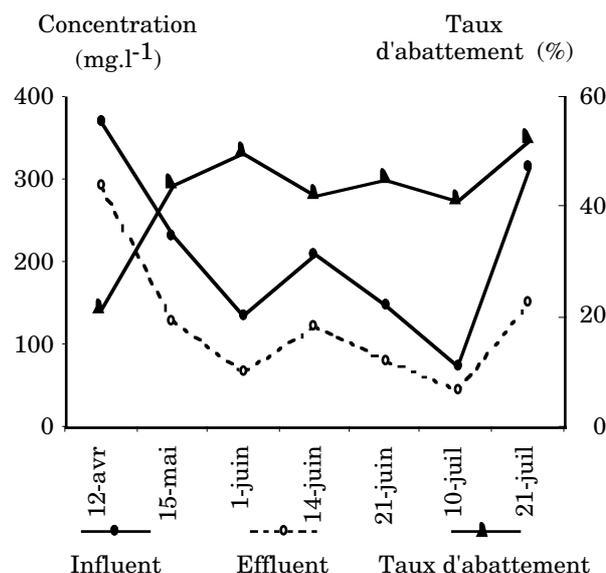


Figure 3. Taux d'abattement et concentration en matières en suspension au niveau de l'influent et de l'effluent du bassin d'élevage

2.1. Caractéristiques chimiques des MES

Les fractions particulières (p) de la DCO constituent 49% de la DCO totale au niveau de l'influent et 43% au niveau de l'effluent final. Celles de la DBO₅ représentent 51% de la DBO₅ totale au niveau de l'influent et 53% au niveau de l'effluent final (Tableau 3). Leurs taux d'abattement sont assez importants (49% pour la DCO_p et 42% pour la DBO_{5p}). L'azote particulaire constitue 29% du NT dans l'influent et 18,4% dans l'effluent (Tableau 3). Son taux d'abattement est assez important (56%).

2.2. Caractéristiques biologiques des MES

Les MES de l'influent et de l'effluent du bassin d'élevage sont essentiellement constituées de

Tableau 3. Pourcentage des fractions particulaire et organique dans les différents paramètres physico-chimiques de l'influent et de l'effluent du bassin d'élevage

(%)	MES/MST	DCO _p /DCOT	DBO _{5p} /DBO _{5T}	MESV/MES	N _p /NT	NO/NT
Influent	22	49	51	65	29	38
Effluent final	15	43	53	65	18,4	33

MES: matières en suspension, MST: matières sèches totales, MESV: matières en suspension volatiles, DCO: demande chimique en oxygène, DBO₅: demande biochimique en oxygène, N: azote, p: particulaire, T: total, O: organique

phytoplancton, avec de faibles proportions de zooplancton et de débris organiques. Le phytoplancton représente 99,95% du plancton total. Donc, les charges en MES rencontrées dans l'eau sont en majeure partie dues au phytoplancton.

• Phytoplancton et zooplancton

Les Chlorophycées sont dominantes en mai et juin. Elles sont surtout représentées par des espèces coloniales (*Micractinium pusillum*, *Actinastrum hantzschii*, *Scenedesmus quadricauda* et *Closteriopsis longissimum*). D'autres espèces comme *Euglena viridis* (Cl. Euglénophycées) et *Navicula* sp (Cl. Diatomées) sont également présentes. En juillet, les Cyanophycées, représentées par l'espèce *Microcystis* sp., dominant.

Le taux d'abattement moyen de la chl-a est de 42%, avec des teneurs en chl-a au niveau de l'effluent de 0,3 mg.l⁻¹. Le taux d'abattement du phytoplancton est de 58 à 85% (Figure 4), avec une concentration de 1,2.10⁸ cellules.l⁻¹ dans l'effluent final.

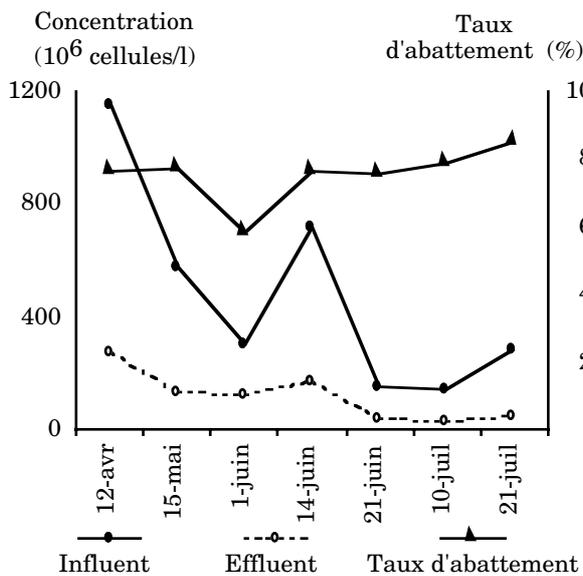


Figure 4. Taux d'abattement et concentration en phytoplancton au niveau de l'influent et de l'effluent du bassin d'élevage

Le zooplancton est représenté par le groupe des ciliés (*Paramecium caudatum* et *Gymnodinioides inkystans*) et des rotifères (*Keratella cochlearis*, *Rotaria* sp. et *Filinia longiseta*). Le taux d'abattement en zooplancton est très important (54 à 100%) (Figure 5), avec une concentration au niveau de l'effluent final de 1,3.10⁵ individus.l⁻¹.

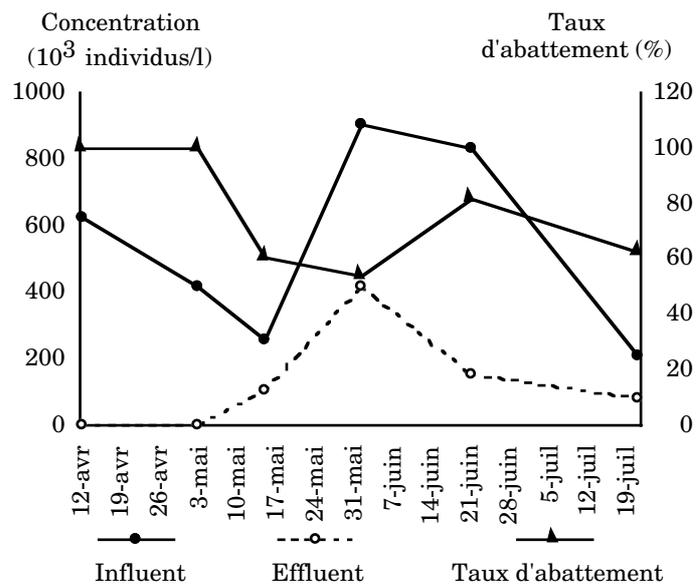


Figure 5. Taux d'abattement et concentration en zooplancton au niveau de l'influent et de l'effluent du bassin d'élevage

3. Devenir du sédiment

Les prélèvements effectués au fond du bassin montrent que le sédiment est négligeable. La composition qualitative du phytoplancton et du zooplancton est identique à celle de l'effluent, avec des concentrations moyennes respectives de 1,5.10⁸ cellules.l⁻¹ et de 10⁵ individus.l⁻¹.

DISCUSSION

Les MES de l'effluent de la TBHR sont prédominées par le phytoplancton. Leur élimination dans le bassin d'élevage est essentiellement attribuée à l'activité de nutrition de la carpe argentée dont le régime est planctonophage. La carpe herbivore se nourrissant plutôt des algues benthiques présentes sur les parois du bassin n'a pas d'effet sur l'abattement des MES.

Les résultats du suivi du régime alimentaire de la carpe argentée dans le bassin d'élevage (Berday *et al.*, submitted) ont montré que la carpe argentée se nourrissait correctement à partir du phytoplancton et du zooplancton présents dans le bassin.

La présence du poisson dans le bassin d'élevage limite la formation du sédiment. Cela est attribué à l'agitation du fond par le poisson qui permet de remettre en suspension le sédiment et de le rendre

accessible à la carpe argentée (Malecha *et al.*, 1981; Bardach, 1997; Berday *et al.* 2004) et qui favorise également la décomposition du dépôt par les bactéries (Liang *et al.*, 1998).

Les taux d'abattement des MES au niveau du bassin d'élevage dépendent de plusieurs facteurs dont la quantité de MES apportée par l'influent, le taux de multiplication du plancton dans le bassin, le taux d'ingestion des MES par la carpe argentée et son taux de défécation. Le processus de sédimentation n'intervient pas dans ce cas car il est contrecarré par la remise en suspension du dépôt par le poisson.

Le taux d'abattement des MES au niveau du bassin d'élevage est assez important (42%). Il est accompagnée d'une réduction de la DCO_p (49%) et de la DBO_{5 p} (42%). Comparativement aux rendements élevés obtenus pour le phytoplancton et le zooplancton (75%), le taux d'abattement des MES reste moins important.

Bien que le taux de consommation de la nourriture par la carpe argentée soit très important (10 à 20% le poids de son corps (Li, 1991)), le taux d'assimilation de cette nourriture est faible (Opuszyunski, 1979).

Une partie de la nourriture est éliminée par digestion et absorption au niveau des intestins, mais le reste est évacué dans l'eau sous forme de fèces. La majeure partie de ces fèces se sépare de la colonne d'eau et se dépose sur le fond, mais elles peuvent être remises en suspension dans l'eau et contribuer à un apport en MES (Shireman & Cichra, 1994; Domaison & Devaux, 1999).

Vu la faible charge des carpes herbivores dans le bassin d'élevage, l'apport en MES fécale est surtout lié à l'activité de nutrition de la carpe argentée. Le taux d'émission des déchets fécaux par la carpe argentée peut être très important. D'après des études sur la carpe marbrée (*Hypophthalmichthys nobilis* Val.) dont le régime alimentaire est similaire à celui de la carpe argentée, le taux de défécation de cette espèce peut atteindre 15 g de matière sèche par kg de poisson par jour (Opuszyunski *et al.*, 1994).

L'intérêt d'utiliser la carpe argentée pour l'élimination des MES vient du fait que les fèces libérées, par cette espèce, dans l'eau se trouvent dans un état de dégradation assez avancé qui rend leur minéralisation plus facile (Opuszyunski *et al.*, 1994).

On assiste également à une amélioration de la qualité physico-chimique de l'effluent final. À côté de l'élimination des MES, il y a aussi une réduction de la DCO totale de 42% et de la DBO₅ totale de 48%. Les taux d'abattement sont restés pratiquement stables durant la période d'étude (faibles erreurs standards) (Tableau 3, Figures 3 à 5).

Ces bons rendements sont étroitement liés à la température de l'eau qui s'est maintenue dans la gamme des températures favorables à la croissance (donc à la nutrition) de la carpe argentée (autour de 26°C). La faible élimination du NT dans le bassin d'élevage est due au faible abattement des ions ammonium qui n'a pas dépassé (29%) (non publié) et qui constituent une part importante dans le NT. Elle peut être liée à deux facteurs: l'excrétion de l'ammonium par le poisson (Beamish & Thomas, 1984) et le relargage de l'ammonium par minéralisation de la matière organique au sein du bassin d'élevage.

L'expérience menée par Liang *et al.* (1998) sur un élevage de carpes argentées en polyculture avec d'autres espèces de poisson, réalisé dans un système de traitement des eaux usées par sédimentation et par aération, a permis d'obtenir un taux d'abattement de la DBO₅ de 36% (proche de notre cas).

Par contre, le taux d'abattement des MES a été beaucoup plus faible (1,2% seulement), alors que dans notre cas, la valeur obtenue est de 42%. Ce très faible rendement en MES enregistré par Liang *et al.* est dû à leur recours à la nourriture supplémentaire pendant la période d'élevage. D'où l'intérêt de s'abstenir d'utiliser une nourriture supplémentaire dans le cas où le but visé est l'amélioration de la qualité de l'eau par le poisson.

CONCLUSION

L'élevage des carpes argentées et herbivores dans l'effluent d'une station d'épuration par TBHR contribue à l'amélioration de la qualité physico-chimique de cet effluent. Il permet une réduction des charges en MES de 42% et en DBO₅ de 48%, avec un effluent final de concentrations respectives de 127 et de 78 mg.l⁻¹.

Les résultats obtenus sont très satisfaisants vu les fortes charges en MES apportées par cet effluent. La qualité acquise par l'effluent reste inférieure à la norme de 30 mg.l⁻¹ permettant sa réutilisation

en irrigation ou son rejet dans le milieu récepteur sans risques (OMS, 1989). D'où la nécessité d'entreprendre des mesures rigoureuses pour diminuer davantage les concentrations en MES dans cet effluent.

Parmi ces mesures, on préconise l'augmentation de la densité des carpes argentées, avec un contrôle rigoureux de la charge du poisson et l'utilisation de moyens efficaces pour éliminer les fèces du poisson du bassin d'élevage avant leur remise en suspension dans l'eau.

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs vifs remerciements à:

- M. M. ABI (Centre National d'Hydrobiologie et de Pisciculture d'Azrou),
- M. M. EL KHODARI (Direction des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols),
- Aux Professeurs A. LAMRINI, D. KHEYALI et A. HAMOUDA (Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II).

Ils remercient également le Professeur M. ETTALIBI ainsi que le personnel du Département de Biochimie et Biologie Moléculaire, d'Actes Éditions et du Centre de Documentation Agricole de l'IAV Hassan II.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Bardach JE (1997) Sustainable Aquaculture: 1. Fish as food and the case for aquaculture. *John Wiley & sons, Inc.* pp. 1-14
- Beamish F & Thomas E (1984) Effects of dietary protein and lipid on nitrogen losses in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture* 4: 359-371
- Berday N, El Hamouri B, Zaoui D & Abi M (2004) Utilisation d'un élevage de carpes argentées (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) et communes (*Cyprinus carpio* L.) pour l'élimination du plancton de l'effluent d'une station d'épuration de type technologie des bassins à haut rendement. *Actes du Colloque International sur la Gestion et la Préservation des Ressources en Eau de Meknès, les 24 et 25 septembre 2004.* p. 79
- Berday N, El Hamouri B, Zaoui D & Abi M (submitted) Impact of feeding activity on plankton removal in a high rate pond effluent. *Water Quality Journal of Canada*
- Bourrely P (1966) Les algues d'eau douce: initiation à la systématique. Tome I. Les algues vertes. *Éditions N. Boubée et C^{ie}*, Paris VI
- Bourrely P (1968) Les algues d'eau douce: initiation à la systématique. Tome II. Les algues jaunes et brunes Chrysophycées, Phéophycées, Xanthophycées et Diatomées, *Éditions N. Boubée et C^{ie}*, 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^{ie}*, Paris VI
- 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
- Domaison I & Devaux J (1999) Experimental study of the impact of silver carp on plankton communities of eutrophic Villerst reservoir (France). *Aquatic Ecology* 33(2): 193-204
- Drenner RW, Gallo KL, Baca RM, Smith JD (1998) Synergistic effects of nutrients loading and omnivorous fish on phytoplankton biomass. *Can J Fish Aquat Sci* 55: 2087-2096
- 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. 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
- Kajak Z, Rybak JI, Spodniewska I, Waclawa A, Lipowa G (1975) Influence of the planktivorous fish (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) on the plankton and benthos of the eutrophic lake. *Pol Arch Hydrobiol* 22 2:301-310
- Leventer H (1981) Biological control of reservoirs by fish. *Bamidgeh* 31(1): 3-23
- Leventer H, Teltsch B (1990) The contribution of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) to the biological control of Netofa reservoirs. *Hydrobiologia* 191: 47-55
- 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.* 228-28
- 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

- Malecha SR, Buck DH, Baur RJ, Onizuka DR (1981) Polyculture of the freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*, Chinese and common carp in ponds enriched with swine manure. I. Initial trials. *Aquaculture* 25: 101-116
- Miura T (1990) The effects of planktivorous fishes on the plankton community in an eutrophic lake. *Hydrobiologia* 200/201:567-579
- OMS (1989) L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture. Recommandations à visées sanitaires. *Rap. Tech.* n° 778, Genève
- Opuszyunski K. (1979). Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.), in carp ponds. III. Influence on ecosystem. *Ekol Pol* 27:117-133
- Opuszyunski K, Shireman JV, Opuszyunski W (1994) Faeces collection of filter-feeding fish as a method for wastewater treatment and enhancement of aquaculture/agriculture production. *Pol Arch Hydrobiol* 41(1): 103-108
- Rodier J (1996) L'analyse de l'eau: eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8^{ème} Édition Dunod, Paris
- Shireman JV, Cichra CE (1994) Evaluation of aquaculture effluents. *Aquaculture* 123: 55-68
- Sparatu P, Gophen M (1985) Feeding behaviour of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) and its impact on the food web in Lake Kinneret, Israel. *Hydrobiologia* 120:53-61