

Impact du sédiment des bassins de maturation sur les performances d'abattement des coliformes fécaux

Naïma RHALLABI¹, Fatiha EL HAFIANE^{2□},
Bouchaïb EL HAMOURI² & Moussa ETTALIBI²

(Reçu le 03/11/2003 ; Accepté le 05/10/2004)

تأثير تكون الرواسب على مردودية أحواض النضج في القضاء على الجراثيم القولونية

في هذا البحث تم تتبع مردودية محطة المعالجة لمعهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة بالرباط في القضاء على الجراثيم القولونية (CF) لمدة خمس سنوات متتالية (1997-2001) تعتمد المعالجة في هذه المحطة على نظام لاهوائي ذو مرحلتين (SADP) متبوع بحوض الطحالب ذو المردود المرتفع (CAHR) وبحوضين متتابعين للنضج (M_1 و M_2). عند انطلاق المحطة في سنة 1997 كان الحوضان (M_1 و M_2) يقومان بالقضاء على الجراثيم القولونية بمعدل 1,5 وحدة لوجاريمية ($Ulog_{10}$) و بهذا كان معدل التركيز في الماء المعالج آنذاك يناهز 5800 CF في 100 ملل. خلال خمس سنوات لوحظ تدهور في هذه المردودية حيث نزلت من 0,98 إلى 0,2 ($Ulog_{10}$) في M_1 و من 0,55 إلى 0,003 في M_2 . في أواخر سنة 2001، تم تنظيف الحوضين من الرواسب فعادت المردودية إلى ما كانت عليه عند انطلاق المحطة. هذا يدل على أن الرواسب تؤدي تدريجياً إلى إتلاف العوامل التي تساعد على القضاء على الجراثيم. وقد لوحظ فعلاً أن في هذه الرواسب المتكونة أساساً من الطحالب الميتة تعم أنشطة تؤدي إلى إطلاق ثاني أكسيد الكربون (CO_2) واستهلاك الأوكسجين (O_2) الشيء الذي يحول دون ارتفاع كمية الأوكسجين و pH اللذان يعتبران العاملين الأساسيين للقضاء على الجراثيم. استمرارية المردودية الجيدة في القضاء على (CF) تبقى إذن مرتبطة بالتحكم في نمو الطحالب وفي كمية الرواسب المتكونة في حوض النضج.

لكلمات المفتاحية : معالجة المياه العادمة - حوض الطحالب ذو المردود المرتفع - الجراثيم - القولونية - الرواسب

Impact du sédiment des bassins de maturation sur les performances d'abattement des coliformes fécaux

La station d'épuration des eaux usées domestiques de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II de Rabat comprend une unité anaérobie, un chenal algal à haut rendement (CAHR) et deux bassins de maturation (M_1 et M_2) en série. Au départ en 1997, M_1 et M_2 réunis assuraient un taux d'abattement moyen de 1,5 unité logarithmique ($U.log_{10}$) avec une concentration résiduelle moyenne de 5800 CF/100 ml. Mais une chute progressive des performances des deux bassins au cours du temps a été observée. De 1997 à 2001, le taux d'abattement est passé de 0,98 à 0,2 $U.log_{10}$ pour M_1 et de 0,55 à 0,003 $U.log_{10}$ pour M_2 avec une concentration résiduelle de 10^5 CF/100 ml. Le curage de ces bassins, à la fin de 2001, a permis le retour aux performances de 1997. L'hypothèse d'une atténuation des conditions défavorables à la survie des CF suite à la formation du sédiment est avancée. En fait, au niveau du sédiment constitué principalement d'algues mortes, une activité hétérotrophe est constatée. Celle-ci du CO_2 et consomme de l' O_2 . Elle s'oppose ainsi aux fortes remontées des valeurs de pH et de l'oxygène dissous qui sont à l'origine de la mortalité des CF. La durabilité des performances de ce système dans l'abattement des CF passe donc impérativement par un meilleur contrôle de la croissance algale et par une minimisation du sédiment dans les bassins de maturation.

Mots clés: Chenal algal à haut rendement - Bassins de maturation - Coliformes fécaux - Abattement - Sédiment

Effect of sediment formation on the performance of maturation stage in fecal coliforms removal

Fecal coliforms (FC) counts were monitored to assess the performance of the IAV wastewater treatment plant (WTP) during five consecutive years (1997-2001). The WTP includes a two-phase anaerobic system (TPAS) followed by a High Rate Algal Pond (HRAP) and by two maturation ponds (MP) in series giving what we call a High Rate Pond Technology (HRPT). Initially, the performance of FC removal during the maturation stage were satisfactory giving a 1.5 logarithmic Unit ($log_{10}U$) reduction and an average residual count of 5,800 CF/100 ml. A progressive decrease of MP performance was observed during the five years; MP_1 performance decreased from 0.98 to 0.2 $log_{10}U$ and MP_2 from 0.55 to 0.03 $log_{10}U$, with an average residual count around 10^5 CF/100 ml. Removal of the algal sediment from the MP in 2001 did bring back the performance to 1997's level. The hypothesis of a progressive attenuation of the unfavorable conditions for FC survival further to sediment formation in the MP is proposed. Presently, dead algae that settles in the MP create a heterotrophic activity zone, which produces CO_2 (lowering the pH values) and consumes O_2 , opposing therefore sharp increases in pH and dissolved oxygen concentration which lead to FC mortality. If such an hypothesis is retained, then the durability of satisfactory performance of HRPT to FC removal is only achieved when algae growth in the HRAP is controlled to minimize sediment formation in the MP.

Key words: High-rate algal pond - Maturation pond - Fecal Coliform - Removal rate - Sediment

¹ Faculté des Sciences & Techniques. Université Hassan II- Mohammadia

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, 10 101 Rabat, Maroc

□ Auteure correspondante, e-mail : f.elhafiane@iav.ac.ma

INTRODUCTION

Le rejet des eaux usées urbaines dans le milieu naturel, sans épuration préalable, constitue l'un des principaux moyens de dissémination des maladies à transmission hydrique. La préservation de la santé publique nécessite le recours à l'épuration des eaux usées avant leur rejet dans le milieu récepteur. L'épuration doit comprendre une étape de "désinfection" dont l'objectif est de réduire la teneur de ces eaux usées en agents pathogènes. Cette étape peut consister en un traitement chimique comme l'utilisation du chlore ou de l'ozone (Sobsey, 1989; Vaughn *et al.*, 1987), physique comme l'utilisation des rayons UV, la micro et la nanofiltration (Tree *et al.*, 1997) ou naturel (Curtis *et al.*, 1992; van der Steen *et al.*, 2000). Ce dernier type de traitement résulte d'une action combinée de divers facteurs physiques comme la sédimentation et l'adsorption (Gannon *et al.*, 1983), environnementaux comme les rayons solaires, la température, le pH et l'oxygène singulet (Pearson *et al.*, 1987; El Hamouri *et al.*, 1995) et biologiques comme la prédation (Mallory, 1983).

Dans les bassins de stabilisation (BDS), où la "désinfection" naturelle est mise en œuvre, la géométrie et les paramètres hydrauliques des bassins de maturation sont étudiés pour conduire à de fortes réductions des concentrations des coliformes fécaux (CF) (WHO, 1987).

La Technologie des Bassins à Haut Rendement (TBHR), faisant l'objet du présent article, offre l'avantage d'occuper moins d'espace et de nécessiter des investissements moindres comparativement aux BDS (Rami & El Hamouri, 2001; El Hafiane *et al.*, 2003). Dans cette technologie, mise en œuvre à l'Institut Agronomique & Vétérinaire Hassan II de Rabat depuis décembre 1996, l'épuration est partagée entre les différentes composantes: l'unité anaérobie élimine la matière organique et la transforme en boues stabilisées et en biogaz tandis que l'unité de "post-traitement", qui consiste en un Chenal Algal à Haut Rendement (CAHR) suivi de deux bassins de maturation en série, permet l'élimination des nutriments et des pathogènes (El Hafiane *et al.*, 2003).

Ce travail présente les performances de ce système de traitement exprimées en terme d'abattement des CF. Il montre l'effet de la formation d'un sédiment, dans les bassins de maturation suite à

une croissance algale excessive, sur la chute des taux d'abattement des CF. Il a été également procédé à l'analyse des causes et à la proposition des solutions permettant d'éviter une telle chute du rendement.

MATÉRIEL & MÉTHODES

1. Site de l'étude

La ville de Rabat est située au Nord-Ouest du Maroc à la latitude de 30°03' N, à la longitude de 6°46' W et à une altitude moyenne de 73,3 m. Les températures mensuelles moyennes enregistrées sont de 14°C en saison froide et de 24°C en saison chaude. La durée annuelle moyenne d'ensoleillement est de 2988 heures.

2. Station d'épuration

Fonctionnant depuis décembre 1996, la station d'épuration des eaux usées (STEP) est basée sur la TBHR. Entièrement réalisée en béton armé, elle a une capacité de 1500 équivalent-habitants. Elle occupe une superficie nette de 1100 m² et traite un débit moyen de 63 m³/j.

La STEP comporte deux composantes principales:

- Un Système Anaérobie à Deux Phases (SADP) dont le rôle est la dégradation de la matière organique et sa transformation en biogaz et en boues stabilisées.
- Un système de post-traitement englobant un Chenal Algal à Haut Rendement (CAHR), qui élimine l'azote (N) et le phosphore (P) et une série de deux bassins de maturation M₁ et M₂ dont le rôle est la réduction de la teneur en CF (Figure 1).

Les caractéristiques géométriques et le temps de rétention hydraulique (TRH) des différentes composantes de la STEP sont regroupés dans le tableau 1.

3. Échantillonnage

Le suivi des paramètres indiquant les performances des différentes composantes de la STEP a été mené à raison de deux fois par mois. Le suivi bactériologique a porté sur des échantillons prélevés ponctuellement entre 10 et 11 heures du matin et analysés immédiatement. Pour les analyses physico-chimiques, des échantillons composites ont été confectionnés à partir de prélèvements effectués entre 8 et 20 heures à raison d'un prélèvement toutes les 2 heures.

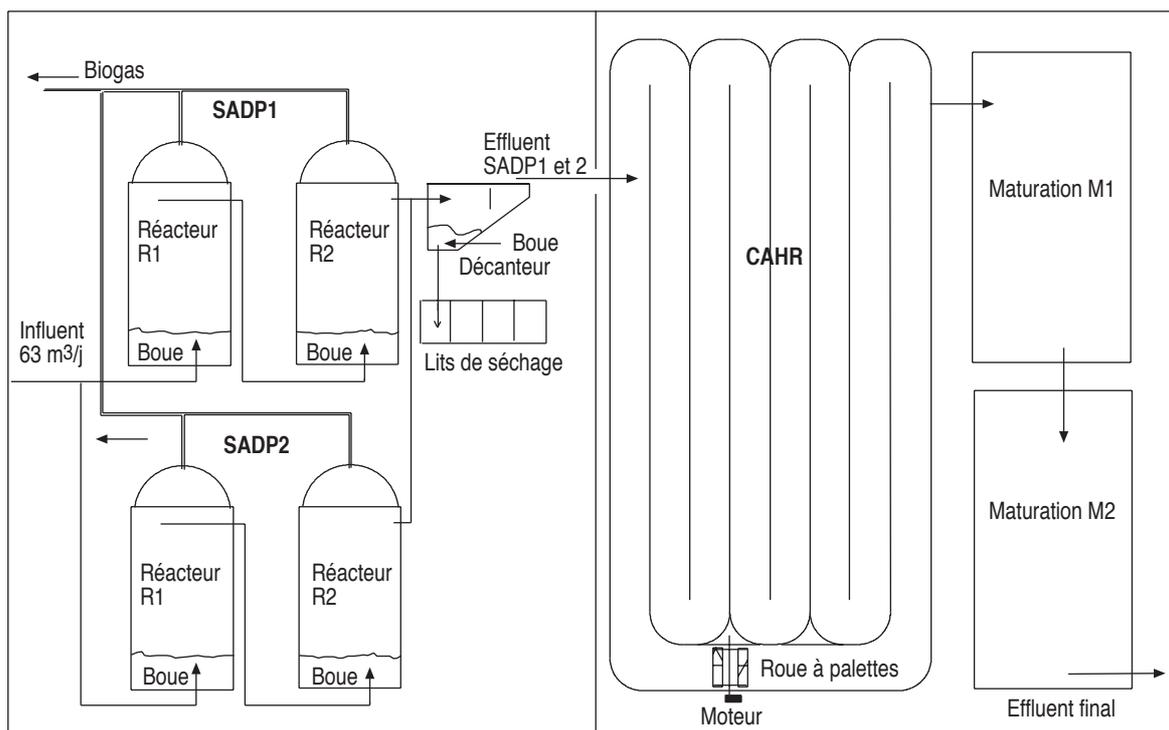


Figure 1. Schéma descriptif et circuit de l'eau dans la STEP

Tableau 1. Dimensions et temps de rétention hydraulique (TRH) des différentes composantes de la STEP

Composantes	Surface (m ²)	Profondeur (m)	Volume utile (m ³)	TRH (j)
SADP* 1				
R ₁	16	5,30	32	1,0
R ₂	16	5,00	30	0,9
Total SADP*	64*	-	124*	1,9
CAHR	970	0,50	294	4,7
M ₁	85	1,20	85	1,3
M ₂	85	1,20	85	1,3
Total "Post-traitement"	1140	-	464	7,3
Total STEP	1204		646	9,2

*Le système SADP est dupliqué et la STEP fonctionne avec les deux unités mises en parallèle recevant chacune 31,5 m³/jour. Le CAHR et les bassins de maturation traitent l'effluent du système SADP réuni, soit 63 m³/j.

Les échantillons prélevés sont conservés à +4°C avant la confection de l'échantillon composite. Les analyses sont effectuées dans les 24 heures qui suivent.

4. Analyse de l'eau

Le dénombrement des CF est réalisé en milieu liquide selon la technique du Nombre le Plus Probable (NPP) décrite dans Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

(APHA, 1985). Le lauryl sulfate broth est utilisé comme milieu présomptif avec incubation à +36°C pendant 24 à 48 heures et le Bouillon lactosé bilié au vert brillant (BLBVB) comme milieu de confirmation avec incubation à +42°C pendant 24 heures. La demande chimique en oxygène (DCO) est déterminée selon la technique au dichromate de potassium décrite dans Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1985). L'oxygène dissous est mesuré à l'aide d'un oxymètre, la température et le pH à l'aide d'appareils portatifs. Ces appareils sont reliés à un enregistreur numérique.

RÉSULTATS

Les taux d'abattement moyens, cumulés à la sortie de chacune des composantes de la STEP entre 1997 et 2001 sont présentés sur la figure 2. Pendant la période d'étude, la concentration en CF de l'influent a peu varié autour d'une moyenne de $7.10^7 \pm 3.10^7$ CF/100 ml.

L'évolution des taux d'abattement des CF montre une chute progressive entre 1997 et 2001. Cette chute semble toucher faiblement le SADP et le CAHR. Elle peut être expliquée essentiellement par une défaillance progressive des performances des deux bassins de maturation M₁ et M₂ (Figure 2).

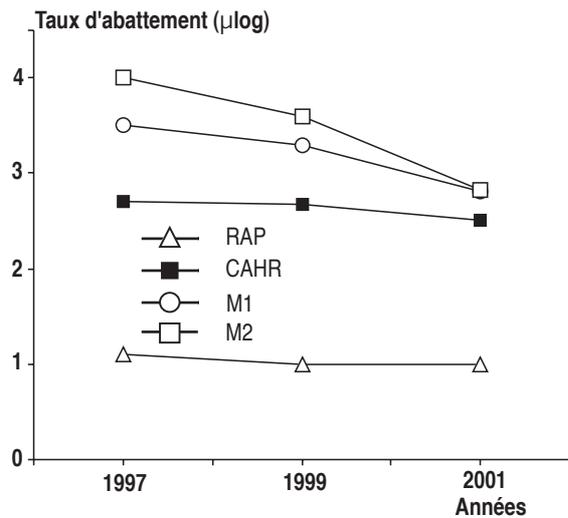


Figure 2. Taux d'abattement des coliformes fécaux (cumulés) à la sortie des différents composants de la STEP au cours de la période 1997 - 2001

En effet, entre 1997 et 2001, les taux d'abattement propres des bassins M_1 et M_2 ont chuté de 0,89 à 0,2 $U.log_{10}$ pour M_1 et de 0,55 à 0,03 $U.log_{10}$ pour M_2 montrant ainsi que la baisse des performances pour le premier est plus importante que celle pour le second (Figure 3).

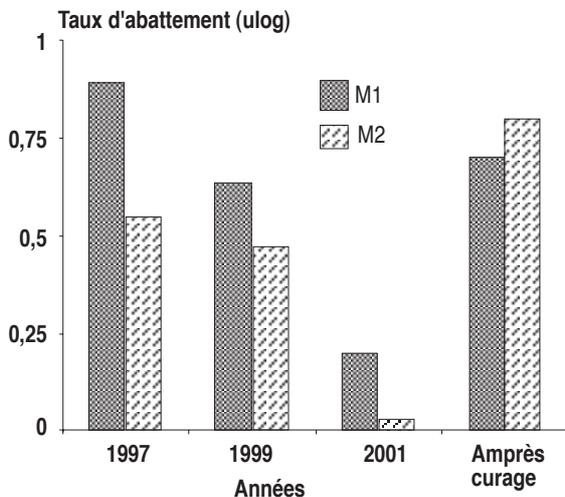


Figure 3. Taux d'abattement propres des coliformes fécaux avant et après curage des bassins de maturation

En tenant compte de l'importance de la concentration en CF entrant dans M_1 comparativement à M_2 , la chute des performances pour M_1 serait encore plus importante.

Par ailleurs, la chute du taux d'abattement au niveau de la STEP présente deux phases: une première, lente, allant de 1997 à 1999 et une phase rapide, allant de 1999 à 2001. Pendant la première

phase, malgré la chute, les performances d'abattement des CF étaient satisfaisantes avec une moyenne de 4 $U.log_{10}$ (Figure 2) et une concentration résiduelle moyenne en CF de 6800 ± 10^3 CF/100 ml. Pendant la phase de chute rapide, le taux d'abattement global de la STEP des CF est tombé à 2,5 $U.log_{10}$ (Figure 2) avec une concentration résiduelle de $10^5 \pm 3,7.10^4$ CF/100 ml. Parallèlement, le suivi effectué sur les bassins M_1 et M_2 montre la formation progressive d'un sédiment composé, en quasi totalité, de cellules algales mortes accompagnées de quelques ciliés et rotifères. Au moment du curage des bassins, la hauteur moyenne du sédiment a atteint 0,23 m pour M_1 et 0,15 m pour M_2 .

Après curage, les taux d'abattement des CF dans les bassins M_1 et M_2 reviennent au niveau observé en 1997 (Figure 3).

Par ailleurs, l'examen des données physico-chimiques des bassins M_1 et M_2 montre que la chute des performances pendant la période 1997-2001 coïncide avec une augmentation de la charge organique résiduelle. En effet, la DCO passe de 236 mg O_2/l en 1997 à plus de 380 mg O_2/l en 2001 (Figure 4).

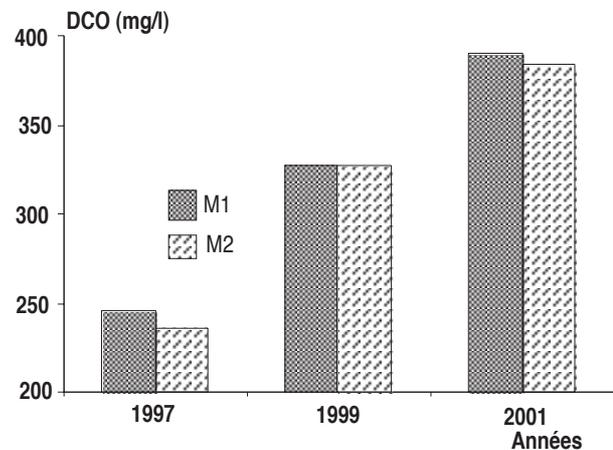


Figure 4. Concentration résiduelle en DCO de l'effluent des bassins de maturation au cours de la période 1997 - 2001

De même, l'évolution nycthémerale de l'oxygène dissous dans les bassins de maturation montre que la durée de l'anoxie nocturne se prolonge en période de faibles performances (Figure 5b) alors qu'elle est courte pendant la période de bonnes performances et après curage des bassins (Figures 5a & 5c).

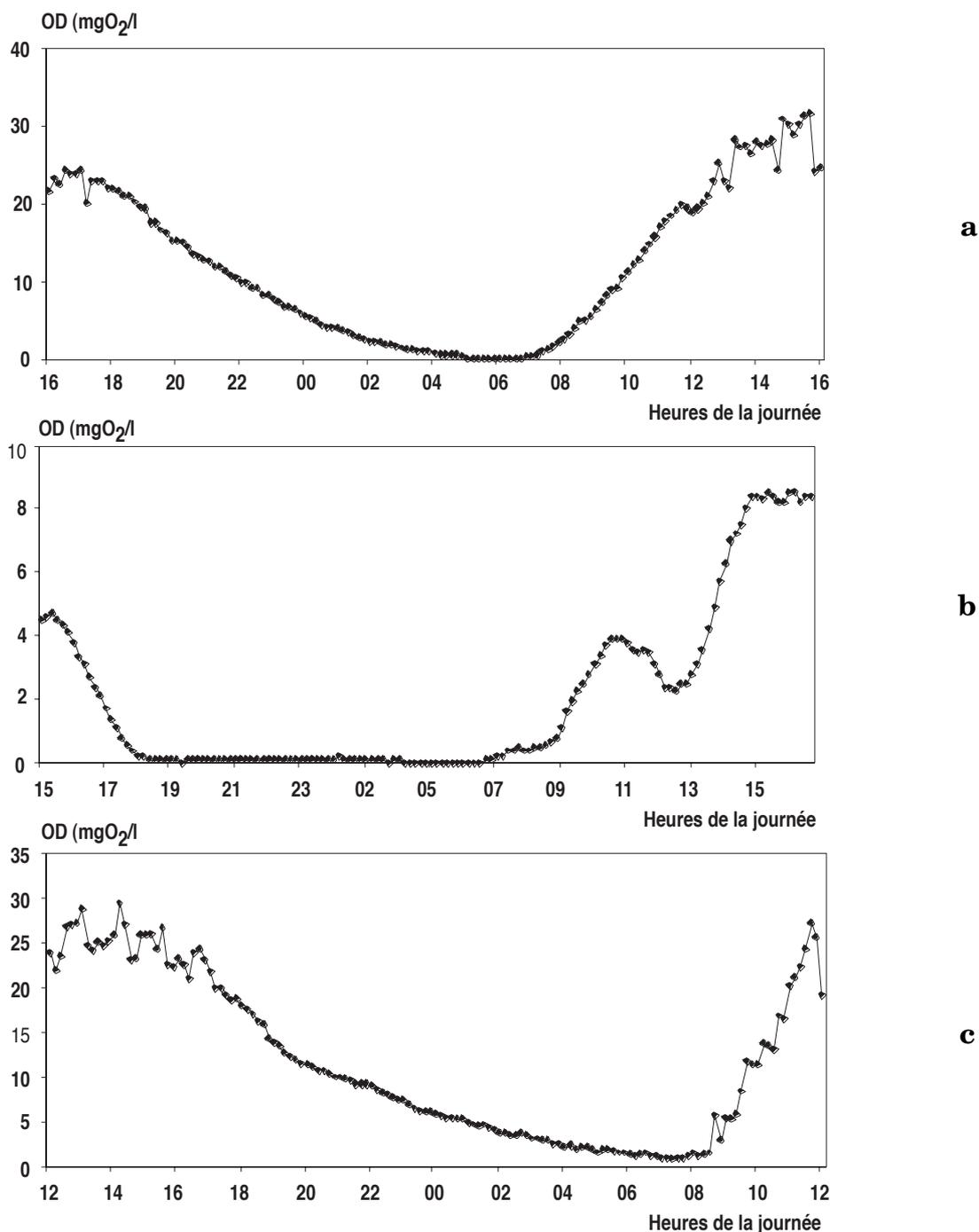


Figure 5. Concentration en oxygène dissous dans les bassins de maturation au départ (5a), après cinq ans (5b) et après curage des bassins de maturation (5c).

DISCUSSION

Le suivi des performances bactériologiques des différentes composantes de la STEP, durant cinq années consécutives, montre l'efficacité des deux bassins de maturation en série dans l'abattement des CF.

En effet, le rendement moyen des bassins M₁ et M₂ réunis atteint 37,5% de l'abattement global de la STEP, soit 1,5 U.log₁₀. Par ailleurs, le taux d'élimination des CF opéré par le CAHR, en période de bonnes performances, est comparable à celui qui est opéré par les bassins M₁ et M₂ réunis. Or, ces derniers n'occupent que 14% de la

superficie globale de la STEP contre 80% pour le CAHR ce qui montre l'efficacité des bassins de maturation dans l'abattement des CF.

La chute progressive des taux d'abattement des CF dans les 2 bassins entre 1997 et 2001, puis leur retour aux valeurs initiales de 1997 indique clairement que le sédiment accumulé joue un rôle direct dans la chute des performances en modifiant les conditions physico-chimiques des bassins (Figure 3). En effet, l'examen des conditions physico-chimiques qui ont prévalu dans les bassins M₁ et M₂, pendant la période des faibles performances (Figures 4 & 5), montre que les valeurs élevées de la concentration en OD et du pH, qui sont à l'origine de la mortalité des CF, ne sont plus régulièrement atteintes (Pearson *et al.*, 1987; El Hamouri *et al.*, 1995) (Figure 5).

Il semble donc que le sédiment accumulé serait le siège d'une activité anaérobie de minéralisation qui libère du CO₂ dans le milieu et diminue ainsi les valeurs du pH. Par ailleurs, une croissance algale importante induite par une plus grande disponibilité des nutriments N et P (El Hafiane *et al.*, 2003) entraîne un effet de masquage de la lumière et, par conséquent, une baisse de l'émission d'oxygène dans le bassin. Dans ces conditions, les valeurs létales en OD et en pH ne sont plus atteintes. Des observations similaires sont rapportées par van der Steen *et al.* (2000).

L'interprétation du phénomène réside dans le fait que le CAHR, tel qu'il fonctionnait auparavant, produisait une biomasse algale excessive qui passait dans les bassins de maturation où elle sédimentait et a fini par gêner le fonctionnement de ces bassins. En effet, le suivi de la croissance algale dans le CAHR dévoile une courbe en dents de scie gouvernée par le phénomène de

minéralisation et de relargage des nutriments à partir du sédiment accumulé dans ce dernier et qui est formé, en grande partie, de particules peu denses, provenant du SADP et non retenues par le décanteur (El Hafiane & El Hamouri, 2002).

La figure 6 récapitule la situation qui prévalait dans la STEP de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II entre 1997 et 2001. Elle décrit l'enchaînement des événements qui conduisent à la chute des performances des bassins de maturation.

Ainsi, l'opération qui consiste à éviter la formation du sédiment dans le CAHR, conduirait à une maîtrise de la croissance algale et préviendrait la chute des performances des bassins de maturation placés en aval.

Une telle approche est actuellement réalisée avec succès à travers la mise en place d'un filtre sable/gravier en amont du CAHR qui empêche les particules à faible densité du SADP de venir perturber le fonctionnement de l'unité de "post-treatment" constituée du CAHR et des bassins de maturation M₁ et M₂.

CONCLUSION

Dans la TBHR, le maintien de performances satisfaisantes des bassins de maturation dans l'abattement des CF repose sur un bon contrôle de la croissance algale dans le CAHR. En effet, la croissance excessive des algues n'apporte aucun avantage, puisque les besoins en oxygène du CAHR sont satisfaits avec une concentration relativement réduite. Au contraire, l'excès de cellules algales conduit à la formation de sédiments dans les bassins de maturation et à la détérioration des conditions physico-chimiques responsables de la mortalité des CF.

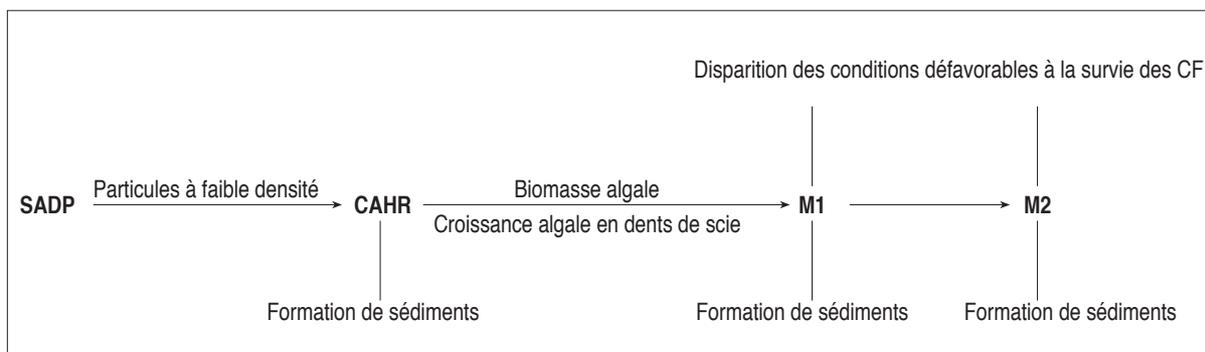


Figure 6. Séquence hypothétique des événements à l'origine de la chute des performances des bassins de maturation pendant la période 1997-2001

RÉFÉRENCES CITÉES

- APHA (1985) *Standard methods for Examination of Water and Wastewater*. 16th Ed. American Public Health Association, New York.
- Curtis TP, Mara DD & Silva SA (1992) Influence of pH, oxygen and humic substances on ability of solar radiation to damage FC in waste Stabilization Pond water. *Appl Envir Microbiol* 58 (4): 1335-1343
- El Hafiane F, El Hamouri B & Rami A (2003) Mécanismes d'élimination de l'azote et du phosphore dans un chenal algal à haut rendement. *Rev Fr Sciences de l'eau* 16 (2):157-172
- El Hafiane F & El Hamouri B (2002) Performances d'un système anaérobie à deux phases dans l'épuration des eaux usées domestiques sous climat méditerranéen. *Actes Inst Agron Vet (Maroc)* 22 (3): 133-141
- El Hamouri B, Jellal J, Ouatabiht H, Nebri B, Khallayoune K, Benkerroum A, Hajli A & Firadi R (1995) The performance of a high rate algal pond in the Moroccan climate. *Wat Sci Tech* 31 (12): 67-74
- Gannon JJ, Busse MK & Schillinger JE (1983) Fecal coliform disappearance in a river impoundment. *Wat Res* 17: 1595-1601
- Pearson HW, Mara DD, Mills SW & Smallman DJ (1987) Physico-chemical parameters influencing fecal bacterial survival in waste stabilization ponds. *Wat Sci Tech* 19 (12): 145-152.
- Mallory LM, Yuk CS, Liang LN & Alexander M (1983). Alternative prey: A mechanism for elimination of bacterial species by protozoa. *Appl Environ Microbiol* 46 (5): 1073-1079
- Sobsey MD (1989) Inactivation of health-related microorganisms in water by disinfection processes. *Wat Sci Tech* 21: 179-195
- Tree JA, Adams MR & Lees DN (1997) Virus inactivation during disinfection of wastewater by chlorination and U.V. Irradiation and the efficacy of F+ bacteriophage as a viral indicator. *Wat Sci Tech* 35 (11-12): 227-232
- Vaughn JM, Chen YS, Lindburg K & Morales D (1987). Inactivation of human and simian rotavirus by ozone. *Appl Environ Microbiol* 53: 2218-2221
- Van der Steen P, Brenner A, Shabtai Y & Oron G (2000) The effect of environmental conditions on faecal coliform decay in post-treatment of UASB reactor effluent. *Wat Sci Tech* 42 (10-11): 111-118
- WHO (1987) Factors affecting treatment in ponds. In waste stabilisation ponds: principles of planning and practice. *WHO/EMRO technical publication*, 10. Alexandria