

Utilisation de la terre cuite comme matériau support du filtre anaérobie pour le traitement des eaux résiduaires

Samira GOURARI*□ & Abdellatif ACHKARI-BEGDOURI*

(Reçu le 23/04/1997 ; Accepté le 05/12/1997)

استعمال الفخار كعيار للتصفية في معالجة المياه الملوثة

قمنا بتقييم و مقارنة نتائج ثلاث مرشحات لا هوائية بمقياس المختبر، نستعمل الطين المطهو كمادة مرتكز للبكتيرية المنظفة. مساميات المرشحات كانت بنسبة 81% للأول، 85% للثاني و 88% للثالث. استخدمت خمسة أوقات ارتكاز مائية من يومين إلى نصف يوم، و خمسة شحنات عضوية من 2 إلى 8,24 كيلو طلب كيميائي من الأوكسجين في المتر المكعب و في اليوم. خلال مدة التجارب، كانت المرشحات اللاهوائية في حالة ملائمة للإستقرار. إضافة إلى ذلك، توصلنا إلى تصفية عالية، مما أكد أن الطين المطهو مادة مرتكزة متفوقة لمعالجة المياه المستعملة للصناعات الزراعية و الغذائية. قدمت المرشحات اللاهوائية نتائج معالجة متشابهة، مع تفوق الأول (مساميته 81%). درجة التصفية من الطلب الكيميائي من الأوكسجين تبدلت من 86,5% إلى 97,5% بالنسبة للمرشح الأول، و من 96,5% إلى 83% بالنسبة للثاني، و من 95% إلى 79% بالنسبة للثالث. فيما يخص استخلاص الغاز الحيوي، فإن المردود كان بنسبة 0,29 متر مكعب لكل كيلو طلب كيميائي من الأوكسجين، أزيل فيما يخص الأول، و بنسبة 0,26 فيما يخص الثاني، و بنسبة 0,23 فيما يخص الثالث.

الكلمات المفتاحية : مرشح لاهوائي - معالجة المياه المستعملة

Utilisation de la terre cuite comme matériau support du filtre anaérobie pour le traitement des eaux résiduaires

Les performances de trois filtres anaérobies F₁, F₂ et F₃ à l'échelle du laboratoire, à base de terre cuite comme matériau support de la biomasse, ont été comparées. Les porosités des lits pour les trois réacteurs ont été de 81% pour F₁, de 85% pour F₂ et de 88% pour F₃. A l'état stationnaire, 5 temps de rétention hydraulique allant de 2 à 0.5 jours, avec des charges organiques allant de 2 à 8.24 kg DCO/m³.j, ont été utilisés. Durant toute l'expérimentation, les filtres anaérobies ont présenté des conditions favorables de stabilité. De plus, des efficacités de rabattement de DCO élevées ont été obtenues: la terre cuite est un support efficace pour le traitement des eaux résiduaires des IAA par filtre anaérobie. Les trois réacteurs ont présenté des efficacités de traitement comparables, F₁ étant le meilleur. La réduction en DCO a varié de 97.5 à 86.5% pour F₁, de 96.5 à 83% pour F₂ et de 95 à 79% F₃. Le rendement en production de méthane était de 0.29 m³/kg DCO enlevée pour F₁ pour de 0.26 pour F₂ et de 0.23 pour F₃.

Mots clés : Filtre anaérobie - Terre cuite - Eaux usées synthétiques

Use of baked-clay as support media in anaerobic filter for wastewater treatment

The performances of three laboratory upflow anaerobic fixed-bed digestors F₁, F₂ and F₃ using baked clay media as biomass support, were evaluated and compared. The bed porosities of the three digestors were of 81% for F₁, 85% for F₂ and 88% for F₃. Steady-state operation of each digester was carried out at five hydraulic retention times from 2 to 0.5 days, with organic loading rates ranging from 2 to 8.24 kg COD/m³.d. For all runs, the operation of the filters presented favourable conditions of stability. And the high COD removal efficiencies obtained confirm that baked-clay was an efficient support for the treatment of food industries wastewaters by anaerobic filters. The three reactors presented comparable treatment efficiencies, F₁ being the best. The Chemical Oxygen Demand reduction varied from 97.5 to 86.5% for F₁, from 96.5 to 83% for F₂, and from 95 to 79% for F₃. The yield of methane was of 0.29 cubic meter per kilogram of COD removed for F₁, of 0.26 for F₂ and of 0.23 for F₃.

Key words : Anaerobic filter - Baked clay media - Wastewater treatment

* Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Département de Génie Industriel Alimentaire, Laboratoire de Traitement et de valorisation des rejets des IAA, BP 6202 Rabat-Instituts, Maroc

INTRODUCTION

Le filtre anaérobie est un excellent réacteur biologique à lit fixe pour le traitement des eaux résiduaires des Industries Agricoles et Alimentaires (IAA). Il utilise un lit de support où la biomasse est sous forme de biofilm au fond du réacteur avec la plus grande quantité, et sous forme de biofilm au sommet du réacteur avec la plus grande activité spécifique méthanogène, ainsi que sous forme de biomasse non attachée (Hanaki & al., 1994). Les bactéries qui restent dans le filtre permettent grande augmentation du temps de rétention des solides par rapport au temps de rétention hydraulique (TRH). Les composés organiques solubles dans l'eau résiduaire a traiter passent sur la biomasse et diffusent à l'intérieur des surfaces des solides biologiques attachés ou granulés, où ils sont convertis en produits intermédiaires et finaux, principalement du méthane et dioxyde de carbone.

Le filtre anaérobie a plusieurs avantages par rapport aux procédés aérobiques et anaérobiques : il est plus convenable pour le traitement d'eaux usées très chargées, car il permet des efficacités d'épuration élevées pour des TRH courts et des Charges Organiques Appliquées (COA) élevées ; il tolère des surcharges hydrauliques et organiques ; il opère à des TRH plus courts, exigeant ainsi des volumes plus petits ; l'effluent contient peu de solides en suspension, éliminant ainsi le besoin de séparation des solides ou leur recyclage ; il permet une reprise plus rapide du système biologique aux conditions présentes avant que l'opération du filtre n'ait été arrêtée, ce qui le rend extrêmement utile pour le traitement des effluents saisonniers, tels que ceux des IAA ; il produit un faible volume de boues et a une performance adéquate à la température ambiante ; il est moins sensible à des changements modérés dans la température et le pH ; le suivi pendant le fonctionnement du filtre anaérobie n'est pas exigeant, ce qui permet de faibles frais de fonctionnement ; la superficie exigée pour sa construction est faible.

De nombreuses études ont testé différents types d'argiles sous différentes formes, comme matériau support de la biomasse épuratrice à l'intérieur des filtres anaérobiques utilisés pour le traitement des eaux résiduaires des IAA (Carrondo *et al.*, 1983 ; Tesch *et al.*, 1983 ; Cordoba *et al.*, 1984 ; Wildenauer & Winter, 1985 ; Zellner *et al.*, 1987 ; Harper *et al.*, 1987 ; Ehlinger *et al.*, 1988 ; Cordoba *et al.*, 1988 ; Cordoba *et al.*, 1990). Les eaux

résiduaires étudiées proviennent des procédés de volaille, des laiteries, des fromageries, de la fermentation des mélasses, ou de sucreries. L'argile utilisée était sous forme d'anneaux, de selles en céramique, ou de particules en terre cuite. Ces études ont montré que les eaux résiduaires des IAA ont été bien traitées par filtre anaérobie à support en argile. L'efficacité de traitement est souvent élevée, dépendant de la température de travail, de la dureté de l'eau usée et du débit d'alimentation du filtre anaérobie.

Comme l'argile est un matériau local de faible prix au Maroc, le but de cette étude est de choisir une parmi trois formes de support en terre cuite pour les filtres anaérobies, la forme choisie sera utilisée dans une étude future de traitement des eaux de transport et de lavage des betteraves de sucrerie par filtre anaérobie à support en terre cuite.

MATÉRIEL & MÉTHODES

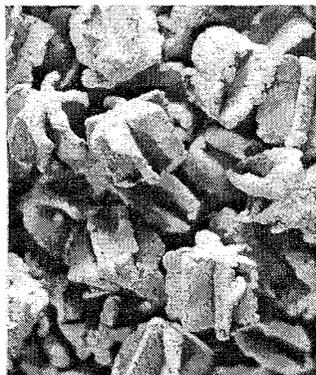
1. Eau synthétique

Une eau synthétique contenant les composés suivants, exprimés en mg/L : glucose, 1376.2 ; saccharose, 1188.5 ; acide acétique, 1251 ; $MgSO_4 \cdot 6H_2O$, 648.7 ; $(NH_4)_2SO_4$, 272.8 ; $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, 162.4 ; $MnSO_4 \cdot 4H_2O$, 52 ; $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$, 23.6 ; KH_2PO_4 , 11.4 ; $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, 2.2 ; $NaHCO_3$, 2500, a été utilisée pour être traitée par les trois filtres F_1 , F_2 et F_3 . Elle a été préparée en utilisant l'eau de robinet. Le pH a été de 6.5.

2. Réacteurs

Les trois filtres F_1 , F_2 et F_3 utilisés dans cette étude sont des tubes de verre et de fer avec un diamètre intérieur de 5 cm et une hauteur de 74 cm. Chaque réacteur est rempli avec une des trois formes de terre cuite (Figure 1). Les trois formes de support sont fabriquées et cuites dans un four de laboratoire à 900 °C durant 6 heures. L'analyse minéralogique montre que l'argile est constituée principalement d'illite, en plus de la Kaolinite et de petites quantités de Géothite et Feldspaths. Le support en terre cuite remplit 62 cm de la hauteur des réacteurs, soit un volume total de 1,22 l. Le volume utile est de 987 ml pour F_1 , de 1035 ml pour F_2 et de 1072 ml pour F_3 , et les porosités du lit (rapport volume utile du lit sur volume total du lit) sont de 81%, 85% et 88% respectivement.

Les réacteurs fonctionnent en mode ascendant. L'influent est pompé vers chaque réacteur par une pompe péristaltique. Les gaz s'échappant du sommet de chaque réacteur et ceux séparés des effluents sont collectés par une méthode de déplacement d'eau. La quantité et la composition du gaz produit sont suivies en continu.



Porosité du lit 81% (F₁)



Porosité du lit 85% (F₂)



Porosité du lit 88% (F₃)

Figure 1. Trois formes de support en terre cuite

3. Procédures analytiques

Les échantillons d'influent et d'effluent sont analysés pour la Demande Chimique en Oxygène (DCO), le pH, la matière sèche (MS), la matière

sèche volatile (MSV), l'azote ammoniacal, les acides gras volatils (AGV), et l'alcalinité selon "standard methods" (APHA, 1980).

La production de biogaz est mesurée par une méthode de déplacement dans des gazomètres fabriqués au laboratoire. La composition de biogaz est déterminée par piégeage du dioxyde de carbone dans une solution saturée d'hydroxyde de potassium (KOH).

4. Période de démarrage

Les modules de terre cuite sont trempés dans l'eau de robinet pendant une journée, placés dans les réacteurs et fixés en place par une grille fabriquée en terre cuite. Chaque réacteur est d'abord rempli avec 500 ml de bouse de vache digérée (2.5% MS) comme inoculum, et rempli complètement avec l'eau de robinet. Pour les trois réacteurs, la production gazeuse commence 5 jours après cette inoculation. Les réservoirs d'influent et d'effluent sont placés à côté des réacteurs à 37°C.

Durant la phase de démarrage, le TRH est maintenu à 2 jours, et le pH à 7. La charge organique est augmentée progressivement de 0.5 kg DCO/m³.j à sa valeur finale de 2 kg DCO/m³.j, par augmentation de la concentration de l'influent. La période de démarrage dure 62 jours.

5. Opération de l'état stationnaire

Après la fin de la phase de démarrage, les performances de chaque réacteur sont étudiées à différents TRH de 2, 1.4, 1, 0.78 et 0.5 jours, avec une concentration en DCO de l'influent de 4120 mg O₂/L. Les charges organiques moyennes correspondant étudiées sont de 2.06, 2.94, 4.12, 5.28 et 8.24 kg DCO/m³.j respectivement.

Les procédures opératoires ont consisté à fixer le TRH et la concentration de l'influent, jusqu'à ce que les conditions de l'état stationnaire soient atteintes. Le réacteur fonctionne pendant 10 jours à chaque charge organique, et la moyenne des données pendant les trois derniers jours de chaque cas est considérée.

RÉSULTATS & DISCUSSIONS

1. Phase de démarrage

Après deux mois, l'état stationnaire est atteint avec une efficacité d'enlèvement de DCO dans les trois

réacteurs F_1 , F_2 et F_3 de 97.5%, 96.5% et 95% respectivement, avec une productivité en biogaz de $0.86 \text{ m}^3/\text{m}^3 \cdot \text{j}$, $0,78$ et $0,72$ respectivement, et avec une concentration en méthane de 78%, 76% et 74% respectivement.

Les résultats montrent que le démarrage des trois réacteurs se fait de la même manière pour les trois formes de support en terre cuite. Et le biofilm développé est épais et sa fixation sur les supports apparaît régulière et solide, comme attendu (Murray *et al.*, 1980; Colleran *et al.*, 1983; Tesch *et al.*, 1983; Cordoba & Sineriz, 1990).

2. Phase de l'état stationnaire

La figure 2 montre la réduction en DCO pour différentes charges organiques appliquées dans les trois réacteurs durant la période d'état stationnaire. Pour toutes les charges organiques appliquées (2 à $8.26 \text{ kg DCO}/\text{m}^3 \cdot \text{j}$), les trois réacteurs montrent d'excellentes efficacités d'enlèvement de DCO (79% à 97.5%), F_1 étant le meilleur suivi par F_2 , ensuite par F_3 . Les efficacités d'enlèvement de DCO diminuent lorsque la charge appliquée augmente (ou le TRH diminue) comme attendu (Young, 1991).

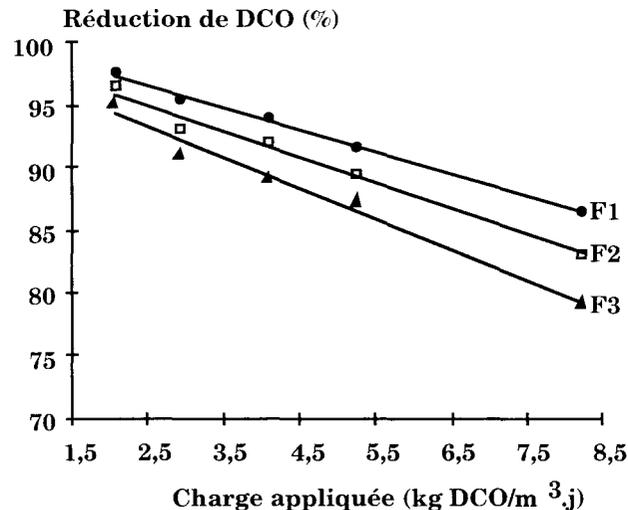


Figure 2. Efficacités d'enlèvement de DCO pour différentes charges organiques appliquées

Quant à la production de biogaz, elle est présentée sur la figure 3 par la productivité en méthane pour différentes vitesses d'enlèvement de DCO. Lorsque la charge organique appliquée augmente la productivité en biogaz augmente aussi dans tous les réacteurs. Et, dépendant de la charge appliquée et de la réduction en DCO, environ 0.861 à 2.408 m^3 biogaz/ $\text{m}^3 \cdot \text{j}$ sont produits pour F_1 , 0.778 à 2.18 pour F_2 et 0.718 à 2.035 pour F_3 .

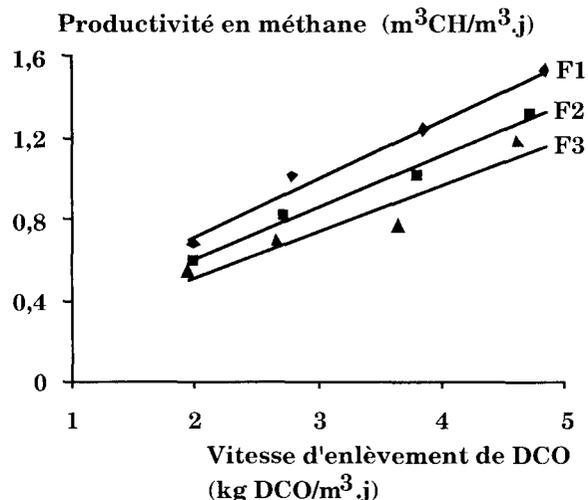


Figure 3. Productivité de méthane versus la vitesse d'enlèvement de DCO

Les valeurs élevées de pH des effluents des trois réacteurs (7.2 à 7.8), et le grand pouvoir tampon, entraînent la dissolution d'une partie du CO_2 produit dans la solution en tant que bicarbonates. Le pourcentage de CO_2 du biogaz diminue alors et celui de CH_4 augmente en conséquence. Le pourcentage de méthane dans le biogaz varie de 78% à 68% pour F_1 , de 76% à 66% pour F_2 et de 74% à 63% pour F_3 .

La pente de chaque droite de la Figure 3 représente le rendement en production de méthane ; il est de $0.29 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg DCO}$ enlevée pour F_1 , de 0.26 pour F_2 et de 0.23 pour F_3 . Les rendements obtenus représentent de 82.9 à 65.7% du rendement théorique de $0.35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg DCO}$ enlevé.

CONCLUSION

Les porosités de lit pour les trois filtres anaérobies sont respectivement de 81%, 85% et 88%. La différence entre les performances des trois réacteurs n'est pas importante. Le meilleur réacteur est le premier avec une réduction en DCO variant de 97.5 à 86.5%, et un rendement en production de méthane de $0.29 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg DCO}$ enlevé.

La première forme de support a été choisie pour la suite de l'étude qui consistera à étudier le traitement des eaux de transport et de lavage des betteraves d'une sucrerie marocaine par filtre anaérobie à support en terre cuite, le filtre anaérobie étant un procédé de traitement des eaux résiduaires des IAA convenable aussi bien dans les pays développés que dans ceux en voie de développement.

En effet, le filtre anaérobie donne des efficacités d'abattement de DCO acceptables même pour des temps de rétention hydrauliques petits, le volume du réacteur requis est alors faible, et donc le coût d'investissement sera faible aussi, ceci est d'autant plus vrai lorsque la terre cuite, qui est un matériau local de prix réduit au Maroc, est utilisée comme support.

RÉFÉRENCES CITÉES

- APHA (1980) *Standard Methods for examination of water and wastewater*. American Public Health Association, Inc., New York
- Carrondo M.J.T., Silva J.M.C., Figueira M.I.I., Ganho R.M.B. & Oliveira J.F.S. (1983) Anaerobic filter treatment of molasses fermentation wastewater. *Wat. Sci. Tech.* 15, 117-126
- Colleran E., Wilkie A., Barry M. & Farehty G. (1983) One and two-stage anaerobic filter digestion of agricultural wastes. In Third international symposium on Anaerobic Digestion. Boston, Massachusetts, USA, 14-19 August, pp. 285-302
- Cordoba P.R., Sanchez Riera F. & Sineriz F. (1984) Treatment of industry wastewater with anaerobic filter. *Biotechnol. Lett.* 11, 753-758
- Cordoba P.R., Sanchez Riera F. & Sineriz F. (1988) Temperature effects on upflow anaerobic filter performance. *Environ. Technol. Lett.* 9, 769-774
- Cordoba P.R. & Sineriz F. (1990) Characteristics of packings for use in anaerobic filters. *Environ. Technol. Lett.* 11 (3): 213-218
- Ehlinger F., Audic J.M. & Faup G.M. (1988) Changes in organic compounds during microbial clogging in an anaerobic filter. *Process Biochemistry*. 93-96
- Hanaki, K., Chatsanguthai, S. & Matsuo, T. (1994) Characterization of accumulated biomass in anaerobic filter treating various types of substrates. *Bioresource Technology* 47, 275-282
- Harper S.R., Ross C.C. & Valentine G. E. (1987) Feasibility of packed-bed anaerobic treatment of poultry processing wastewater. *42nd Annual Purdue Industrial Waste Conference*, West Lafayette, Indiana, USA, pp. 657
- Murray W.D. & Van Den Berg L. (1981) Effect of support material on the development of microbial fixed films converting acetic acid to methane. *J. Appl. Bacter.* 51, 257-265
- Tesch W., Schneider K. & Bachofen R. (1983) Effect of support material on the development of microbial fixed films converting acetic acid to methane. *Process Biochemistry*, January/February 1983, 34-37
- Wildenauer F. X. & Winter J. (1985) Anaerobic digestion of high strength acidic whey in pH-controlled up-flow fixed film loop reactor. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 22, 367-372
- Young J.C. (1991) Factors affecting the design and performance of upflow anaerobic filters. *Wat. Sci. Tech.* 24 (8):133-155
- Zellner G., Vogel P., Kneifel H. & Winter J. (1987) Anaerobic digestion of whey and whey permeate with suspended and immobilized complex and defined consortia. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 27, 306-314