

Traitement biologique des eaux résiduaires urbaines à l'aide d'un réacteur conventionnel à boue activée

Mohamed Osman Awaleh^a, Samatar Mohamed Bouh^b

a) Institut des Sciences de la Terre, Centre d'Etude et de Recherche de Djibouti (CERD), République de Djibouti, Route de l'aéroport, B.P. 486

b) Service d'Epidémiologie, Laboratoire National de Santé Public, Ministère de la Santé de la République de Djibouti, B.P. 1974

Résumé

Un réacteur conventionnel à boue activée a été élaboré dans le cadre de cette étude. Des eaux usées domestiques ont été traitées avec ce réacteur. L'effluent brut ainsi que les eaux usées traitées avec le réacteur ont été caractérisés. Les paramètres physico-chimiques suivis dans le cadre de cette étude sont le pH, la turbidité, la DCO, la DBO5, les MES, NH₄⁺ et PO₄³⁻. Le rendement épuratoire du réacteur pour la turbidité, la DCO, les MES et la DBO5 sont respectivement 93.21 %, 92.87 %, 93.99 % et 97.13 %.

L'effluent traité contient en moyenne 103.103 ufc/100 mL de coliformes totaux et 1.104 ufc/100 mL de coliformes fécaux. Un traitement chimique a été utilisé pour compléter le travail d'épuration du réacteur. Ce traitement a permis de produire un effluent avec 0 ufc/100 mL de coliformes fécaux. Cet effluent est conforme aux normes OMS de réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation.

Mots-clés : Réacteur à boue activée, DCO, DBO5, effluent, Irrigation.

Abstract

In this study, conventional activated sludge (CAS) reactor was set up. It was used for the treatment of domestic wastewater. The raw effluent as well as the treated wastewater was characterized. This study has been to investigate the parameters of pollution which influence the biological treatment of wastewater. Among these parameters, we have determined, pH, turbidity, COD, BOD5, SS, NH₄⁺ and PO₄³⁻.

Performance of the CAS reactor was investigated. The average removal efficiencies for turbidity, COD, SS and BOD5 were about 93.21 %, 92.87 %, 93.99 % and 97.13 % respectively.

Total coliforms in the treated effluent were found to be 103.103 ufc/100 mL, while faecal coliforms were 1.104 ufc/100 mL. Chemical reagents were used to complete wastewater treatment process. The combination of chemical process with CAS reactor treatment allows a disinfected effluent with 0 ufc/100 mL faecal coliforms. This treated effluent was consistent with WHO guidelines for the use of treated wastewater in agriculture.

KEYWORDS : Activated sludge reactor, COD, BOD5, effluent, Irrigation.

Introduction

L'alimentation en eau potable de la population de Djibouti-ville est assurée à partir de l'exploitation des nappes dont la qualité se dégrade, pour certaines, sous l'effet de la surexploitation.

Cette forte pression exercée sur les ressources en eau par l'essor de la ville de Djibouti pèse fortement sur l'agriculture périurbaine, la plantation d'arbres ainsi que l'arrosage des jardins publics et l'aménagement des aires de détente dans le district de Djibouti.

Au vu de cette situation, la république de Djibouti gagnerait beaucoup à opter pour la valorisation des eaux usées traitées en agriculture. Cette option s'est largement répandue dans le monde, en particulier dans les zones arides ou semi-arides, en raison du manque d'eau et de la nécessité d'accroître leurs productions agricoles [1]. Néanmoins, afin d'être utilisées pour l'agriculture, les eaux usées traitées doivent respecter les normes OMS qui régissent l'utilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation [2, 3].

L'utilisation des eaux usées pour l'agriculture a été une pratique courante depuis des décennies dans plusieurs pays comme la Chine, le Mexique ou le Vietnam [4].

Il est intéressant de rappeler que 250000 hectares sont irrigués avec des eaux usées traitées en Mexique [4]. De même, des pays riches au climat aride comme le Koweït utilisent les eaux usées traitées pour l'irrigation [4]. Quant aux pays en voie de développement, il a été estimé qu'environ 20 millions d'hectares sont irrigués avec des eaux usées partiellement diluées [4].

D'autre part, il a été démontré que la transposition directe des techniques de l'épuration héritées des pays développés aux zones arides se heurte à un certain nombre de problèmes. Ces zones présentent en effet des caractères sociaux, culturels et économiques ainsi que des conditions climatiques et hydrologiques particulières qui sont souvent négligées lors du transfert des techniques nouvelles, ce qui réduit les chances d'obtenir les rendements prévus [5]. D'où l'intérêt de ce présent projet de recherche et développement qui concerne le traitement des eaux usées de la république de Djibouti et leurs valorisations à des fins d'irrigation.

L'objectif principal de cette étude est de concevoir un réacteur à boue activée et des procédés physico-chimiques susceptibles de traiter les eaux usées domestiques Djiboutiennes de telle sorte que les eaux usées traitées respectent les normes OMS afin qu'elles puissent être réutilisées pour l'irrigation.

Cette stratégie permettrait de contribuer à la réduction des eaux potables utilisées pour l'arrosage des jardins et des arbres d'ornement dans les résidences privées.

Matériels et méthodes

Le dispositif expérimental utilisé dans le cadre de cette étude est un réacteur conventionnel à boue activée d'un volume effective de 64 litres.

Les eaux usées brutes sont prétraitées avec une grille avant leur introduction dans le réacteur. Ce procédé permet de retirer les déchets volumineux (papiers, feuilles, matières plastiques, objets divers).

Pour chaque échantillon d'eau usée brute, nous avons prélevé un volume d'un litre d'échantillon représentatif. Les échantillons ont été conservés à 4°C durant les analyses physico-chimiques.

Un Multi-paramètre C862 a été utilisé pour la mesure du pH des échantillons.

La détermination de la DCO (Demande Chimique en Oxygène) est faite par oxydation de l'échantillon avec du $K_2Cr_2O_7$ (dichromate de potassium) dans une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) chauffée à 148°C pendant 2 heures en présence d'ions Ag^+ (Ag_2SO_4) comme catalyseurs d'oxydation et d'ions Hg^{2+} ($HgSO_4$) permettant de complexer les ions chlorures. Une fois cette digestion terminée, on laisse refroidir la solution à la température ambiante. Puis on mesure la concentration en $mg\ d'O_2/l$ de la DCO de l'échantillon à l'aide d'un photomètre (norme ISO 15705).

La mesure de la DBO5 s'effectue dans une étuve à 20°C selon la norme NF EN 1899.

Les MES sont mesurées selon la norme NF EN 872.

La turbidité a été mesurée selon les normes NF EN ISO 7027 avec un turbidimètre de terrain étanche 1000 NTU.

Le PO_4^{3-} est mesuré selon la norme NF-T-90-023. Pour la mesure de l'ammonium NH_4^+ , une détermination spectrophotométrique au bleu d'indophénol selon la norme NF T 90-015-2 a été utilisée.

Les analyses microbiologiques sont réalisées moins de 24h après leurs arrivées au Laboratoire. L'analyse bactériologique a été réalisée par la méthode de Filtration sur Membrane. Cette analyse est faite en plusieurs étapes.

- La filtration de 100 ml de l'échantillon sur une membrane cellulosique d'une porosité de 0.45 micron. Après filtration, cette membrane est déposée dans une boîte de pétri contenant un milieu de culture. La Gélose sélective (EMB) a été utilisée pour la recherche des coliformes.
- Le dénombrement des colonies de coliformes et leurs identifications. Le dénombrement des colonies de coliformes sont respectivement faite après une incubation de 24 heures à 37°C (+/- 0.5°C) pour les Coliformes Totaux et pendant 24 heures à 44°C (+/- 0.5°C) pour les coliformes fécaux.

- L'identification des coliformes a été faite à l'aide de la galerie classique composée de cinq milieux (Kliger, Citrate de Simons, Manitol, l'urée et le SIM (SH2, Indo, mobilité)).

Résultats et discussions

L'élimination de la pollution organique carbonée, lorsqu'elle présente une biodégradabilité satisfaisante, est essentiellement le fait de procédés biologiques d'épuration. Ils constituent le mode de traitement le plus utilisé des eaux résiduaires urbaines et de bon nombre d'eaux résiduaires industrielles, en raison de leur efficacité et de leur rusticité [6].

L'élimination de la pollution organique carbonée s'effectue dans un réacteur où l'on met en contact les microorganismes épurateurs avec l'eau à épurer. On parle de procédés à cultures libres type boue activées quand la masse bactérienne est en suspension dans un bassin aéré [6].

Un réacteur à boue activée a été utilisé dans le cadre de cette étude. Pour son élaboration, nous avons utilisé un compresseur à air, un bassin d'aération et un tuyau percé de trou à intervalle régulière de façon à homogénéiser l'oxygénation du bassin d'aération. Le tuyau percé en plusieurs points sert de dispositif d'insufflation d'air de types fines bulles. Le schéma synoptique de ce réacteur est présenté à la figure 1. Le volume effectif de ce réacteur est 64 litres.

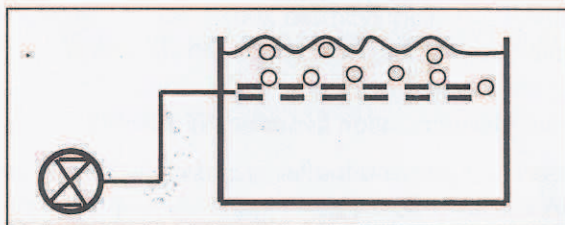


Figure 1 : Schéma synoptique du réacteur conventionnel à boue activée composé d'un compresseur, d'un système d'insufflation d'air connecté au compresseur et du bassin d'aération

Dans le bassin d'aération du réacteur, des microorganismes, naturellement présent dans l'effluent, dégradent les matières organiques dissoutes. L'air insufflé leur fournit l'oxygène nécessaire pour respirer et ils se développent en se nourrissant de la pollution organique. Ces microorganismes exercent également un effet physique de rétention de la pollution par leur propension à se rassembler en film ou flocons.

Ce procédé a été conçu afin d'être connecté au système d'assainissement d'une résidence privée type villa. De ce fait, nous avons traité avec ce dispositif les eaux résiduaires d'une villa située dans la ville de Djibouti. Toutefois, il faudra préciser que les expériences se sont déroulées au niveau du laboratoire où le réacteur était installé. Les eaux résiduaires de la villa ont été transportées au laboratoire pour les traiter avec ce réacteur. C'était plus commode afin d'effectuer les analyses physico-chimiques de l'effluent brute et des eaux usées traitées.

Comme la composition des effluents résiduaires peut varier au cours de la journée, nous avons prélevé les échantillons à des heures réparties afin d'avoir un prélèvement correspondant à la composition moyenne.

Les paramètres physico-chimiques des eaux usées brutes utilisées dans le cadre de cette étude sont résumés dans le tableau 1.

Pour effectuer un traitement biologique dans de bonnes conditions il faut que le pH soit compris entre 6.5 et 8.5 [7]. Le pH des eaux résiduaires utilisées dans le cadre de cette étude est de 6.94. Ceci permet une épuration biologique type boue activée.

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) permet de mesurer la consommation d'oxygène (exprimée en O₂/L) dans les conditions d'une réaction d'oxydation par le bichromate de potassium, en milieu sulfurique à chaud et en présence d'un catalyseur, de l'ensemble des matières oxydables (sels minéraux oxydables et la majeure partie des matières organiques).

Tableau 1 : Caractéristique physico-chimique des eaux usées brutes et des eaux usées traitées avec le réacteur à boue activée

Paramètres	Eau usée brute	Eau usée traitée avec le réacteur
pH	6.94	6.93
Turbidité (NTU)	208	14.12
DCO (mg O ₂ /l)	758	54
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	384	11
MES (mg/l)	283	17
PO ₄ ³⁻	19.95	14.35
NH ₄ ⁺	4.74	3.87

La Demande Biologique en Oxygène (DBO₅) représente la quantité d'oxygène consommée (mg O₂/L) dans des conditions d'essai (incubation à 20°C et à l'obscurité après un laps de temps de 5 jours) pour assurer par voie bactérienne l'oxydation biologique des matières organiques dites biodégradables.

Le rapport DCO/DBO₅ donne une première estimation de la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent donné. L'effluent est facilement biodégradable si le rapport DCO/DBO₅ est inférieur à 2.5.

La DCO et la DBO₅ des eaux résiduaires brutes utilisées dans le cadre de cette étude sont respectivement 758 et 384 mg/l. Le rapport DCO/DBO₅ de ces eaux est 1.974. Comme cette valeur est inférieure à 2.5, l'effluent brute est facilement biodégradable d'où l'intérêt d'avoir utilisé un réacteur à boue activée qui est adapté pour ce type d'effluent.

La turbidité est définie comme étant une expression des propriétés optiques entraînant la dispersion et l'absorption de la lumière plutôt que sa transmission linéaire à travers l'échantillon [8]. Cela signifie que la turbidité est la mesure de la clarté relative d'un échantillon, et non sa couleur. La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension. La turbidité sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace. Les mesures de turbidité ont donc un grand intérêt dans le contrôle de l'épuration des eaux usées. La turbidité des eaux résiduaires brutes est 208 NTU.

Les matières en suspension (MES) désignent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau et la trouble. Les MES des eaux résiduaires brutes sont 283 mg/l.

Les concentrations en ammonium et orthophosphate des eaux usées brutes sont respectivement 4.74 et 19.95 mg/l.

Les paramètres physico-chimiques des eaux usées traitées avec notre réacteur sont aussi regroupés dans le tableau 1.

Il faudrait savoir que dans les pays développés, les eaux usées ne peuvent pas être rejetées directement dans la nature. Elles doivent être traitées au préalable. De plus, ces eaux usées traitées doivent respecter certaines normes de rejet [9]. Par exemple, en France les concentrations des eaux usées traitées ne doivent pas dépassées au rejet 125 mg/L, 35 mg/L et 25 mg/L respectivement pour la DCO, les MES et la DBO5 [10].

Il est intéressant de noter que notre réacteur permet de produire des eaux usées traitées qui sont conformes avec les normes Françaises. En effet, la DCO, les MES et la DBO5 de l'effluent traité avec notre réacteur sont respectivement 54 mg/L, 17 mg/L et 11 mg/L (Tableau 1).

De plus, cette réglementation fixe les seuils minima de rendement épuratoire pour la DCO, les MES et la DBO5, respectivement 70 %, 80 % et 85 % [10].

Les performances épuratoires de notre réacteur sont rapportées dans le tableau 2. Les rendements épuratoires du réacteur sont représentés sous formes de diagrammes à la figure 2. Il est intéressant de noter que le taux d'abattement de la turbidité, du DCO, des MES et du DBO5 sont respectivement 93.21 %, 92.87 %, 93.99 % et 97.13 %.

Tableau 2 : Performance épuratoire du réacteur à boue activée

Paramètres	Eau usée traitée	Rendement épuratoire du réacteur (%)
Turbidité (NTU)	14.12	93.21
DCO (mg O2/l)	54	92.87
DBO5 (mg O2/l)	11	97.13
MES (mg/l)	17	93.99

La finalité de cette étude est de produire des eaux usées traitées qui sont non seulement conformes aux normes de rejet des pays développés mais surtout susceptibles d'être réutilisées pour l'irrigation. En effet, la restriction des eaux disponibles dans les pays arides comme Djibouti force à considérer d'autres sources pour l'irrigation.

Il est communément admis qu'un pays est en situation de stress hydrique quand la disponibilité en eau par an et par habitant est inférieure à 1700 mètres cubes.

Avec un ratio d'environ 50 mètres cubes d'eau par habitant et par an, la république de Djibouti est confrontée au "stress hydrique". Et de loin, beaucoup plus que les pays de la région Afrique du Nord et Moyen Orient, réputés arides ou semi-arides, qui ont une moyenne annuelle de 1100 mètres cubes d'eau par habitant et par an.

De ce fait, il serait difficile de soutenir l'utilisation d'eau potable pour l'aménagement de jardin privé, d'espace vert ainsi que la plantation d'arbres d'ornement à Djibouti-ville.

Pour palier à cette contrainte naturelle, la république de Djibouti gagnerait beaucoup à la valorisation des eaux usées traitées. En effet, la valorisation des eaux usées urbaines traitées ne cesse d'augmenter dans les pays à climat aride ou semi-aride qui font face à une forte diminution des eaux potables [1, 4]. Il est intéressant de rappeler que l'Arabie Saoudite et la Jordanie ont reconnu le potentiel des eaux usées traitées pour une utilisation agricole.

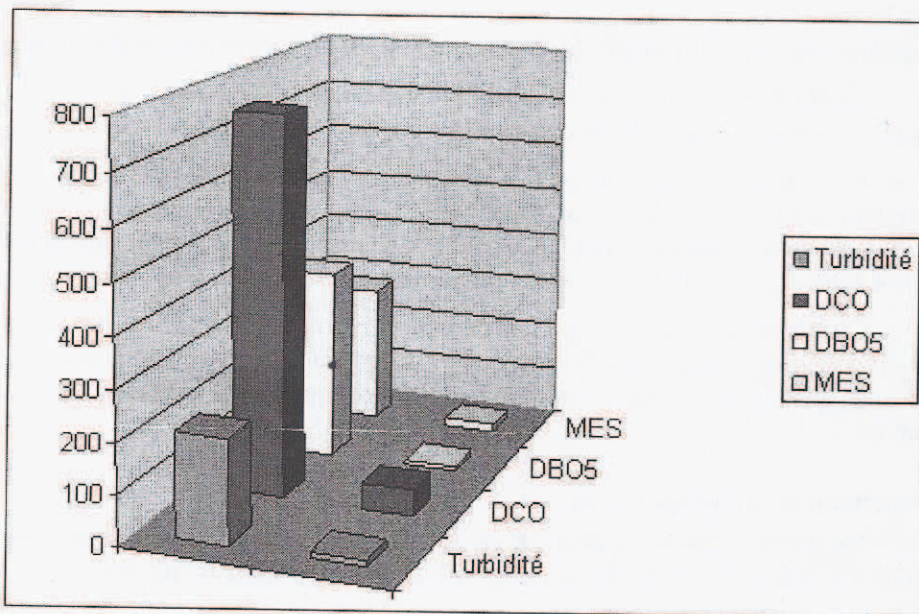


Figure 2 : Rendement épuratoire du réacteur à boue activée

L'organisation mondiale de la santé (OMS) a mis en place en 1973 des normes de revalorisation de cette ressource [2]. En 1989, l'OMS a publié un nouvel ensemble de directive sur la qualité microbiologique pour la réutilisation des eaux usées traitées [3]. Ces lignes directrices sont axées sur des critères microbiologiques. De ce fait, nous avons effectué des analyses microbiologiques de l'effluent traité.

Les eaux usées traitées avec le réacteur à boue activé contiennent en moyenne 103.103 UFC/100 mL de coliformes totaux et 1.104 UFC/100 mL de coliformes fécaux.

L'ajout d'un oxydant dans l'effluent traité permet d'avoir une eau avec 0 ufc/100 mL de coliformes fécaux. Ce traitement chimique permet de compléter le travail d'épuration du réacteur. Ainsi, en combinant le réacteur avec ce traitement chimique, des eaux usées traitées et désinfectées sont produites.

Ces eaux pourraient être réutilisées pour l'irrigation des espaces verts comme pour l'arrosage des jardins ou des arbres d'ornement dans les résidences privées [11].

Plusieurs études ont démontrées que ces eaux usées traitées avaient le double avantage de servir d'eau alternative mais également de source de nutriments indispensables à la croissance des cultures [12, 13].

L'ion ammonium (NH_4^+) est la forme la plus réduite de l'azote minérale. Sous cette forme, il est assimilable par les bactéries et les végétaux supérieurs. La forte teneur notée dans les eaux usées peut être considérée également comme positive pour l'irrigation [14].

De même, Kirkham a montré que dans le cas d'un effluent traité, l'azote qui se trouve dans les eaux usées serait bénéfiques en augmentant le rendement et la qualité des champs [15]. De plus un déficit en phosphore peut éviter que les plantes acquièrent certains nutriments, il est nécessaire pour les processus métaboliques.

Cependant, dans un pays comme Djibouti, il pourrait exister un « blocage psychologique » à l'égard de la réutilisation des eaux usées traitées.

Po et al., montre que d'après la littérature il existe 10 paramètres principaux pour faire changer l'avis de la population. Les variables sont : le dégoût, le risque, l'utilisation et la source des eaux traitées, le choix, la confiance aux autorités et aux scientifiques, l'environnement, la justice, le coût, les facteurs sociodémographique [16].

C'est pourquoi il serait important de faire des campagnes d'information, d'éducation et de communication auprès des populations locales. Il faut clairement montrer le soulagement que cela apporterait à la nappe phréatique et l'apport nutritionnel aux plantes.

Conclusions et perspectives

Un réacteur conventionnel à boue activé a été élaboré dans le cadre de cette étude. Ce réacteur permet de produire des eaux usées traitées qui respectent les normes de rejets européennes ($\text{DCO} < 125\text{mg O}_2/\text{L}$, $\text{DBO}_5 < 25\text{ mg O}_2/\text{L}$, $\text{MES} < 35\text{mg/L}$).

Le rendement épuratoire de ce réacteur est de plus de 90 % pour l'abattement de la turbidité, du DCO, du DBO5 et des MES.

Ce réacteur a été combiné avec un traitement chimique pour finaliser l'épuration des eaux usées. Ce procédé physico-chimique permet de produire des eaux usées traitées conformes aux normes OMS de réutilisation des effluents traités pour l'irrigation.

Nous comptons redimensionner ce réacteur pour un volume de 2000 litres tout en conservant les mêmes performances d'épuration. De plus, nous envisageons d'utiliser l'énergie solaire pour le fonctionnement de ce réacteur ainsi que pour la pompe doseuse de l'oxydant de désinfection.

Un tel dispositif d'épuration pourrait être connecté au système d'assainissement des résidences privées pour produire des effluents traités aptes pour l'irrigation.

Références

- [1] S. Mutengu, Z. Hoko, F. S. Makoni. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2007, 32, pp 1195-1203.
- [2] WHO (1973) *Reuse of effluents: methods of wastewater treatment and Health safeguards Report of a WHO Meeting of Experts*, Geneva, 1973. Technical Report Series No. 517.
- [3] WHO Scientific Group (1989) *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture*. Technical Report Series 778, World Health Organisation, Geneva.
- [4] M. Al-Shammiri, A. Al-Saffar, S. Bohama, M. Ahmes. *Desalination*, 2005, 185, pp 213-225.
- [5] Abosamra Fouad, thèse de doctorat, 1981.
- [6] *Technique de l'ingénieur, Traité Génie des procédés*, J 3 942.
- [7] F. R. Spellman, *Handbook of water and waste water Treatment plant Operations* 2003.
- [8] *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA, 1985.
- [9] *United State Environmental Protection Agency*, 1995.
- [10] *Technique de l'ingénierie, Traitement des eaux résiduaires*, C 5 220 - 3.
- [11] Moussa Mahdi Ahmed, *Mémoire Master II*, Paris XIII, Marne-La-Vallée, 2009.
- [12] G. B. Shende, et C. krabarti, *Resources and Conservation*, 1987, 13, pp 281 - 290
- [13] Xanthoulis et al., 2002. *Optimisation de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation*, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques - Unité d'Hydraulique Agricole., Belgique.
- [14] Seydou Niang, *SECHERESSE*, 1996, 7, pp 217 - 223.
- [15] M. B. Kirkham, *HortScience*, 1986, 21, pp 24 - 27.
- [16] M. Po, J. Kaercher and B.E. Nancarrow, *Literature review of factors influencing public perceptions of water reuse*, Australian Research Centre for Water in Society CSIRO Land and Water, 2004.