

Utilisation du procédé de la digestion anaérobie pour le traitement des boues des stations d'épuration des eaux usées

S. Kalloum *, A. Iddou ¹, M. Khelafi et A. Touzi

Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, URERMS
Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
01000 Adrar, Algeria

¹ Laboratoire Biodiversité et Conservation des Eaux et des Sols
Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algeria

(reçu le 25 Octobre 2013 – accepté le 30 Décembre 2013)

Résumé - Les stations d'épuration urbaines ont pour rôle d'éliminer la pollution contenue dans les effluents domestiques, avant leur rejet dans le milieu naturel. Si l'eau, en fin de traitement, est épurée, la pollution initiale se retrouve stockée et concentrée dans les boues issues des diverses étapes de traitement de l'eau. Ces boues étant alors considérées comme un déchet valorisable, qu'il faut éliminer tout en respectant certaines contraintes réglementaires. Cette étude consiste au traitement des boues des stations d'épuration (lagunage naturel) par la digestion anaérobie, pendant une durée de 33 jours et dans un bioréacteur de type batch d'une capacité de 1 litre. Durant l'expérience, nous avons obtenu un taux d'abattement de la DCO, DBO₅ et MS et de 88, 90 et 81% respectivement, suivi d'une destruction totale de la flore pathogène. D'autre part, la digestion a permis de réduire l'ammonium et l'azote de 72 et 80% respectivement.

Abstract - The urban stations of purification have for role to eliminate the pollution contained in the domestic wastewater, before their dismissal in the nature. If water, at the end of treatment, is purified, the initial pollution is stocked and concentrated in the sludge descended of the various stages of water treatment. These sludges being considered then like a valorizable waste that it is necessary to eliminate while respecting some authorized constraints. This study consists to the treatment of the sludge of the purification stations by the anaerobic digestion. During 33 days and in a batch bioreactor with a capacity of 1 liter, we obtained an abattement rate of COD, BOD and DM and 88, 90 and 81%, respectively, followed of a total destruction of the pathogenic flora. On the other hand the digestion permitted to reduce ammonium and the nitrogen of 72 and 80% respectively.

Mots clés: Boue – Déchet – Digestion anaérobie – Bioréacteur – DCO – DBO₅.

1. INTRODUCTION

Le traitement des eaux usées urbaines ou industrielles se traduit notamment par une production de boues en excès qu'il convient d'évacuer périodiquement. Ces boues sont issues de différents processus, concernant. Toute la pollution initiale contenu dans les eaux usées se trouve stockée et concentrée dans ces boues. Cependant ces boues sont considérées comme un déchet qui il faut l'éliminer ou le traité tout en respectent certaines contraintes réglementaires et environnementales.

Dans un futur proche, cette problématique risque de s'accroître, étant donné les projets de construction de nouvelles stations d'épuration qui vont permettre d'augmenter la capacité « épuratoire » et l'augmentation démographique de la population et par conséquent accroître la production de boues.

Les filières d'élimination des boues sont de plus en plus réglementées. La mise en décharge où dans les centres d'enfouissement technique est interdite par la

* kalloum_sli@yahoo.fr

réglementation [1]. L'incinération reste très coûteuse [2]. La troisième filière est la valorisation agricole (épandage). Cette filière est très critiquée par l'opinion publique. Il devient donc nécessaire de trouver des techniques plus performantes permettant de traiter, éliminer et valoriser ces boues. Parmi les différents modes existants, on peut citer la biométhanisation ou la digestion anaérobie.

La digestion anaérobie (ou méthanisation) est un procédé de traitement des déchets organique en général et les boues en particule qui présente de nombreux intérêts. Elle permet tout à la fois de dépolluer ces boues (abattement de la charge organique polluante, des germes pathogènes, des odeurs...), de recycler la matière organique qui participe à la formation de l'humus, et de produire une énergie locale et renouvelable qui est biogaz. Elle constitue un maillon essentiel dans une chaîne de gestion des résidus organiques.

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés au traitement des boues de lagunage de la ville d'Adrar (Algérie). Ces boues constituent un déchet abondant qui n'a connu aucun mode de traitement ou de valorisation depuis le démarrage de cette station d'épuration en 1998.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Substrat

Le substrat utilisé est constitué essentiellement de la boue de lagunage naturelle de la ville d'Adrar. Les caractéristiques de cette boue sont représentées sur le **Tableau 1**. Cette boue de consistance liquide est recueillie le jour même du lancement de la réaction pour éviter toute dégradation de la matière organique avant utilisation. La boue est introduite dans un bioréacteur d'une capacité d'un litre, fermé hermétiquement. Le bioréacteur est maintenu à 35 °C dans un bain thermostaté et agité manuellement [3, 4]. Le taux de dilution utilisé est de 16g MS/l [1, 5].

2.2 Méthodes analytiques

Les mesures du pH ont été effectuées à l'aide d'un pH-mètre modèle Hanna HI 8314. Les Acides Gras Volatils (AGV) et le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) sont reconnus comme des paramètres de bon fonctionnement de la digestion anaérobie. Leurs concentrations ont été réalisées selon la méthode décrite par [6]. Le surnageant obtenu après centrifugation des échantillons (6 min à 10000 rpm) a été filtré à travers un filtre en microfibrilles de verre et il a été utilisé pour caractériser les paramètres suivants: demande chimique en oxygène (DCO), TAC et AGV. La DCO est déterminée en utilisant le procédé décrit par [7]: pour cette analyse, 10 mg de l'échantillon a été mélangé à 2 ml $K_2Cr_2O_7$ 1.2 N et 3 ml H_2SO_4 et Ag_2SO_4 .

Après chauffage de la solution à une température de 150 °C pendant 2 heures, le mélange était titré par une solution de sulfate d'ammonium ferreux. Le TAC a été mesuré par dosage du pH à une valeur de 4,3 selon [8]. La DBO_5 a été analysée en utilisant la méthode barométrique.

La détermination de la matière sèche et la matière organique est décrite par [9]. L'évolution de l'azote sous ces deux formes ammoniacales et total ont été mesurées par la méthode décrite par [10]. Le dénombrement des coliformes fécaux a été réalisé selon la méthode du nombre le plus probable (NPP) [11]. La détermination des germes totaux et des streptocoques fécaux a été effectuée d'après la méthode décrite par [12].

Pour le même taux de dilution et la même température, nous avons effectué trois (03) essais et les résultats sont la moyenne de ces trois essais.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau 1. Caractéristiques initiales de la boue de lagunage

Paramètres	Valeur
Matières Organiques (MO), %	54
Matière Sèche (MS), %	7,98
Demande Chimique en Oxygène (DCO), mg/l	1050
Demande Biologique en Oxygène (DBO ₅), mg/l	840
pH	7
Azote total Kjeldahl, (TNK), mgN-NTK/kgMS	6,1
Ammonium (NH ₄ ⁺), mg/l	1568
Germes totaux (germes/ml)	1,67 10 ⁶
Coliformes fécaux, coliformes/100 ml	1,40 10 ⁸
<i>Escherichia coli</i> , germes/100 ml	90
Streptocoques fécaux, germes/100 ml	110

A la lumière de ces résultats obtenus, il apparaît clairement que la boue est un mélange complexe de substances, essentiellement organiques avec un taux de 54 % de matières organiques et où la teneur en azote total Kjeldahl est de 6,1 mg N-NTK/ kg MS avec une teneur assez élevée en ammonium (1568 mg/l), ce qui démontre, la forte activité biologique.

Les résultats montrent aussi une forte charge organique contenue dans la boue, elle est mise en évidence par la valeur élevée de la DCO qui est égale à 1050 mg/l et la DBO₅ qui est de 840 mg/l.

En plus de ces matières, l'analyse a aussi révélé la présence de microorganismes. C'est ainsi qu'un nombre de 1,67.10⁶ germes/1ml est détecté. La présence d'*Escherichia coli* est normale, puisqu'il s'agit d'une station qui traite les eaux usées urbaines.

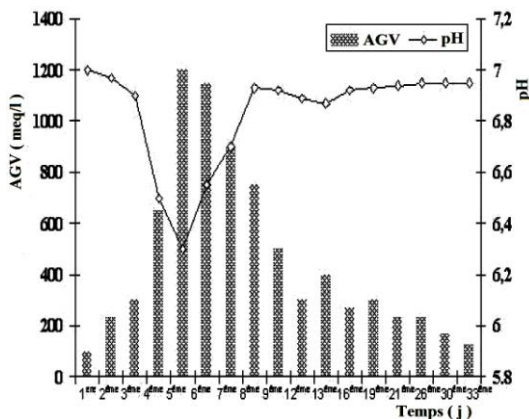


Fig. 1: Variation du rapport AGV et pH en fonction du temps

La figure 1, illustre la relation qui peut exister entre le pH et les AGV au cours de la digestion anaérobie de la boue de lagunage. Nous pouvons noter une allure inversée dans un cas par rapport à l'autre, avec trois phases distinctes.

La première phase, qui dure cinq jours, correspond à une augmentation des AGV, cette production est suivie automatiquement par une diminution du pH, cela est dû à la décomposition de la matière organique et la formation des acides gras volatiles dans l'enceinte réactionnelle. Dans la deuxième phase, qui dure quatre jours, on note une

augmentation du pH qui est à l'origine de la consommation des AGV par les bactéries pour la production d'autres produits. Enfin, la dernière phase est une phase de stabilisation des deux paramètres mesurés; dans cette phase tous les métabolites préalablement produits passent dans la phase gazeuse, ce qui laisse les propriétés acides du milieu, invariables. Ces mêmes observations ont été rapportées par [13] et [14] dans leurs travaux qui ont concerné la stabilisation des boues des stations d'épuration urbaines.

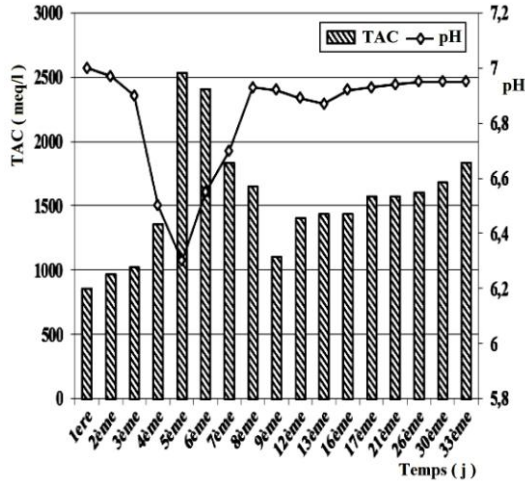


Fig. 2: Variation du TAC et du pH au cours de la digestion

Les résultats représentés sur la figure 2, montrent que le milieu réactionnel possède un taux d'alcalinité important (2530 meq/l), ce qui lui permet d'assurer un bon fonctionnement de la digestion. [15]

Le graphique présenté dans cette même figure présente une allure comparable a celle de la variation du pH de la suspension. En effet, les premiers cinq jours sont caractérisés par une augmentation du TAC. Dans les quatre jours qui suivent le TAC diminue, et au-delà de ce temps on observe une stabilisation de la valeur du TAC.

Il est à signaler que la variation du TAC est inversement proportionnelle à la variation du pH. L'augmentation du pH dès le cinquième jour est due au pouvoir tampon du milieu (TAC = 2530 meq/l) et la consommation des acides gras volatiles par les bactéries. Cette constatation a été rapportée par [16] et [17].

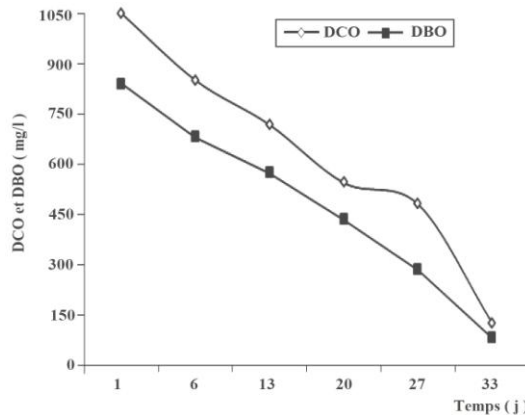


Fig. 3: Variation de la DCO et de la DBO₅ au cours de la digestion

La figure 3, illustre les variations des paramètres dits d'épuration : la DCO et la DBO₅ au cours de la digestion. Il s'avère, d'après cette figure, un abattement important des deux paramètres 88 % et 90% pour la DCO la DBO₅ respectivement. D'après ces valeurs nous pouvons dire que la digestion anaérobie est une méthode efficace pour l'abattement de la pollution organique. Les mêmes résultats ont été signalés par [18] et [19]. La représentation dans une même figure la variation des deux paramètres DCO et DBO₅ nous permet de conclure que la majorité de la matière organique qui est présente dans le digesteur, est biodégradable.

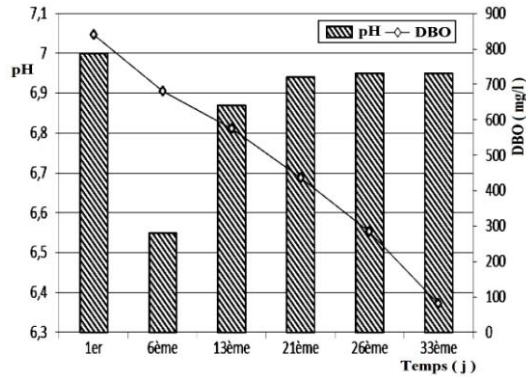


Fig. 4: Effet du pH sur l'évolution de la DBO₅ au cours de la digestion

La figure 4, nous permet de noter la variation de la DBO₅ et du pH au cours du temps. En effet, d'après cette figure, on remarque que malgré que le pH de la suspension diminue, l'évolution de la DBO₅ n'est pas affectée. Ce phénomène ne peut être expliqué que par la diversité des microorganismes qui sont présents dans la boue. Cette diversité permet d'assurer une digestion efficace quelles que soient les conditions du pH du milieu.

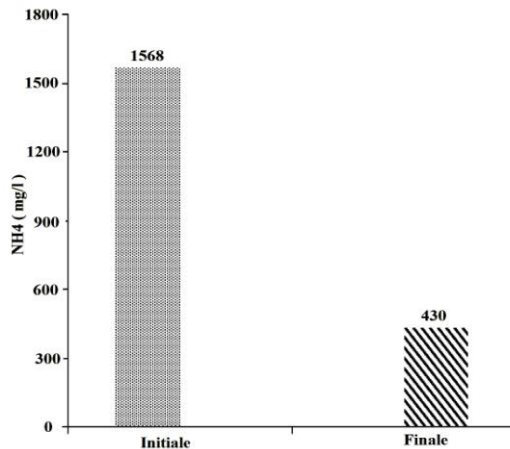


Fig. 5: Variation de la concentration des NH₄ au début et à la fin de la digestion

Les graphes des figures 5 et 6, représentent les taux d'azote ammoniacal et d'azote total Kjeldahl au début et à la fin de la digestion. Nous avons noté une réduction de 72 % en ammonium et 80 % en azote total Kjeldahl. Les valeurs rapprochées des deux types d'azote, nous renseignent sur l'origine majoritairement organique de cet élément.

Ces résultats confirment aussi que la digestion anaérobie est une méthode efficace pour la dépollution, ce qui est appuyé par les travaux de [20].

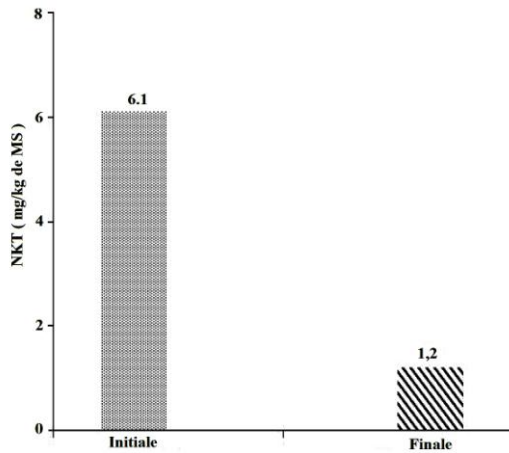


Fig. 6: Variation de la teneur de l'NTK au début et à la fin de la digestion

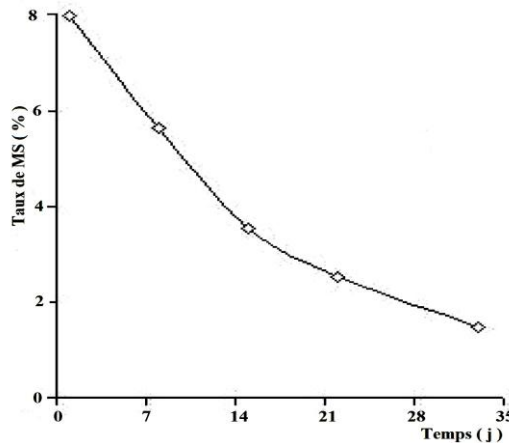


Fig. 7: Variation du taux de matières sèches en fonction du temps

La figure 7, montre l'évolution d'un autre paramètre d'épuration, il s'agit des matières sèches dont la réduction a atteint un taux de 81,70%. Ce rendement est du même ordre de grandeur que ceux cotés dans plusieurs travaux de recherche, notamment les travaux de [1].

Tableau 2: Charge microbienne de la suspension

Paramètres	Début de la digestion	Fin de la digestion
Germes totaux, germes/ml	$1,67 \cdot 10^6$	110000
Coliformes fécaux, Coliformes/100 ml	$1,40 \cdot 10^8$	$1,1 \cdot 10^6$
<i>Escherichia coli</i> , germes/100 ml	90	0
Streptocoques fécaux, germes/100 ml	110	0

La charge microbienne de la suspension obtenue après digestion a été déterminée. D'après le **Tableau 2**, nous observons que le taux de germes de la flore totale est passé

de $1,67 \times 10^6$ avant l'utilisation à $1,1 \times 10^5$ germes/ml après 33 jours de séjour dans le digesteur. Cela montre clairement qu'une hygiénisation accompagne tous les changements qui s'opèrent au sein du réacteur. Cette dernière est la cause de la disparition de certaines espèces dans le milieu réactionnel après digestion, en particulier *Escherichia coli* et les *Streptocoques fécaux*. Les mêmes résultats ont été rapportés par [21].

4. CONCLUSION

Le traitement de la boue de lagunage a fait l'objet de cette étude. D'après les résultats enregistrés, nous pouvons conclure que la digestion anaérobie est une technique efficace pour le traitement des boues des stations d'épuration des eaux usées.

Les variations du pH ne pas affectés négativement le développement de la flore bactérienne responsable de la transformation de la matière organique dans la digestion anaérobie. L'étude nous a permis d'avoir un abattement important de la pollution organique initiale contenue dans les boues de lagunage. La réduction était de l'ordre de 88% pour la DCO et 90 % pour DBO₅.

La technique nous a permis aussi la réduction de la masse initiale de la boue traitée. Un taux de 81% de diminution de la matière sèche était enregistré. D'autre part, la digestion nous a permis de relever une réduction de la teneur en ammonium et en azote de 72 et 80 % respectivement.

Cette dépollution a été suivie par une hygiénisation du produit de la digestion anaérobie qui est le digestat, par la destruction totale de la flore pathogène et une désodorisation. Cependant ce produit peut être valorisé dans l'agriculture comme un bio engrais.

REFERENCES

- [1] S. Kalloum, H. Bouabdessalem, A. Touzi, A. Iddou and M.S. Ouali, '*Biogas Production from the Sludge of the Municipal Waste Water Treatment Plant of Adrar City (Southwest of Algeria)*', Biomass and Bioenergy, Vol. 35, N°7, pp. 2554 – 2560, 2011.
- [2] B. Rincon, S. Paradis, C.J. Banks and Y. Zhang, '*Anaerobic Digestion of Whole-Crop Winter Wheat Silage for Renewable Energy Production*', Energy Fuels, Vol. 26, N°4, pp. 2357 – 2364, 2012.
- [3] S. Rasi, M. Seppala and J. Rintala, '*Organic Silicon Compounds in Biogases Produced from Grass Silage, Grass and Maize in laboratory Batch Assays*', Energy, Vol.52, N°1, pp. 137 – 142, 2013.
- [4] M.R. Goncalves, J.C. Costa, I.P. Marques and M.M. Alves, '*Inoculum Acclimation to Oleate Promotes the Conversion of Olive Mill Waste Water To Methane*', Energy, Vol. 36, N°4, pp. 2138 – 2141, 2011.
- [5] W.S. Lopes, V.D. Leite and S. Prasad, '*Influence of Inoculum on Performance of Anaerobic Reactors for Treating Municipal Solid Waste*', Bioresources Technology, Vol. 94, N°3, pp. 261 – 266, 2004.
- [6] P.E. Poh and M.F. Chong, '*Development of Anaerobic Digestion Methods for Palm Oil Mill Effluent (POME) Treatment*', Bioresources Technology, Vol. 100, N°1, pp. 1 – 9, 2009.
- [7] W. van Groenendaal and W. Gehua, '*Microanalysis of the Benefits of China's Family-Size Bio-Digesters*', Energy, Vol. 35, N°11, pp. 4457 – 4466, 2010.

- [8] A.J. Ward, P.J. Hobbs, P.J. Holliman and D.L. Jones, 'Optimization of the Anaerobic Digestion of Agricultural Resources', *Bioresources Technology*, Vol. 99, N°17, pp. 7928 – 7940, 2008.
- [9] W. Parawira, M. Murto, R. Zvauya and B. Mattiasson, 'Comparative Performance of a UASB Reactor and an Anaerobic Packed-Bedreactor when Treating Potato Waste Leachate', *Renewable Energy*, Vol. 31, N°6, pp. 893 -903, 2006.
- [10] A. Guruna, S.W. Van Ginkel, W.C. Kang, N.A. Qambrani and S.E. Oh, 'Evaluation of Marine Biomass as a Source of Methane In batch Tests: A Lab-Scale Study', *Energy*, Vol. 43, N°1, pp. 396 – 401, 2012.
- [11] H. Leclerc, R. Buttiaux, J. Guillaume and P. Watre, '*Microbiologie Appliquée*', Dion, 127 p. Paris. 1977.
- [12] J.P. Guiraud, '*Microbiologie Alimentaire*', Ed. Dunod, Paris, 1998.
- [13] D. Wolf, H. von Canstein and C. Schröder, 'Optimisation of Biogas Production by Infrared Spectroscopy-Based Process Control', *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, Vol. 3, N°5, pp. 625 – 632, 2011.
- [14] M. Monou, N. Kythreoutou, D. Fatta and S. Smith, 'Rapid Screening Procedure to Optimise the Anaerobic Co-Digestion of Industrial Biowastes and Agricultural Livestock Wastes in Cyprus', *Waste Management*, Vol. 29, N°2, pp. 712 – 720, 2009.
- [15] R. Rafique, T.G. Poulsen, A.S. Nizami, Z.ul-Z. Asam, J.D. Murphy and G. Kiely, 'Effect of Thermal, Chemical and Thermo-Chemical Pre-Treatments to Enhance Methane Production', *Energy*, Vol. 35, N°12, pp. 4556 – 4561, 2010.
- [16] S.E. Nayono, C. Gallert and J. Winter, 'Co-digestion of Press Water and Food Waste in a Biowaste Digester for Improvement of Biogas Production', *Bioresources Technoloy*, Vol. 101, N°18, pp. 6987 – 6993, 2010.
- [17] G. Wei-jia, L. Heng, L. Wen-zhe and W. Zhen-zhen, 'Selection and Evaluation of Biofilm Carrier in Anaerobic Digestion Treatment of Cattle Manure', *Energy*, Vol. 36, N°5, pp. 3572 - 3578, 2011.
- [18] K. Prasad, S. Mara and A. Irini, 'Optimization of Biogas Production from Wheat Straw Stillage in UASB Reactor', *Applied Energy*, Vol. 87, N°12, pp. 3779 – 3783, 2010.
- [19] M.C. Tomei, G. Braguglia and G. Mininni, 'Anaerobic Degradation Kinetics of Particulate Organic Matter in Untreated and Sonicated Sewage Sludge: Role of the Inoculum', *Bioresources Technology*, Vol. 99, N°14, pp. 6119 – 6126, 2008.
- [20] N. Tipayawong and P. Thanompongchart, 'Biogas Quality Upgrade by Simultaneous Removal of CO₂ and H₂S in a Packed Column Reactor', *Energy*, Vol. 35, N°12, pp. 4531 – 4535, 2010.
- [21] N.V. Nkemka and M. Murto, 'Evaluation of Biogas Production from Seaweed in Batch Tests and in UASB Reactors Combined with the Removal of Heavy Metals', *Journal of Environmental Management*, Vol. 91, N°7, pp. 1573 – 1582, 2010.