

# Etude expérimentale du traitement par évaporation forcée des lixiviats des déchets ménagers. Cas de la ville de Kasba Tadla

**F. Benyoucef<sup>1</sup>, A. El Ghmari<sup>1</sup>, A. Ouatmane<sup>2</sup>,**

<sup>1</sup> Equipe de télédétection et SIG appliquées aux Géosciences et à l'environnement.

Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal Maroc, BP 523 000 BM

<sup>2</sup> Laboratoire de L'Environnement et la Valorisation des Agro-ressources.

Faculté des Sciences et Techniques de Beni Mellal Maroc, BP 523 000 BM

## RÉSUMÉ

L'objectif de ce travail est le développement d'une technique d'évaporation pour le traitement des lixiviats de la décharge de la ville de Kasba Tadla au Maroc. Du fait des caractéristiques du site qui présente un climat chaud avec des températures qui dépassent 50 °c pendant la période d'été, un mode de traitement par évaporation forcée a été étudié. Les paramètres étudiés sont la position des bacs d'évaporation par rapport au sol, la couverture des bacs d'évaporation à l'aide de plaques vitrées, l'angle d'inclinaison des plaques et la présence ou non des systèmes d'agitation et de ventilation. Les essais ont permis de sélectionner un modèle d'évaporation forcée avec des plaques inclinées et un système d'agitation du lixiviats. Le système d'évaporation forcée développe a permis de réduire le temps d'évaporation des lixiviats d'environ 50 % par rapport à une évaporation naturelle et de 30 % par rapport à une évaporation avec des plaques horizontales. Il a également permis d'augmenter la vitesse d'évaporation de 0,37 mm/j à 1,5 mm/j pendant la période hivernale. Les performances d'évaporation obtenues permettent ainsi de valider le système comme technique alternative pour le traitement des lixiviats.

**MOTS-CLÉS :** déchets ménagers, Kasba Tadla, lixiviats, évaporation forcée, modèle expérimental, période hivernale

## ABSTRACT

The aim of our work is the development of an evaporation technique for the treatment of leachate from household waste in the city of Kasba Tadla to avoid rejection permanently in nature. taking into account the characteristics of the selected site which has a warm climate with temperatures that exceed 50 ° c during the summer period we favored a forced evaporation processing mode. Several models have been tested, the alternatives given on the position of the evaporation pans relative to the ground, coverage evaporation pans by glass plates and their angle of inclination and the presence or absence of systems agitation and ventilation. the tests were used to develop a final evaporation model forced with glass plates inclined with a stirring system of leachate. Forced evaporation of leachate testing have helped reduce the time of evaporation of leachate by 50% approximately relative to natural evaporation and 30% compared to evaporation with plates of horizontal glass. the power evaporating of this technique from a value of 0,37 mm/day to reach a value of 1,5 mm/day during the winter period. The model developed shows evaporation performance and effectiveness for the treatment of leachate so it stands out as alternative techniques for the treatment of leachate.

**KEYWORDS:** household waste, Kasba Tadla, leachate, forced evaporation, experimental model, winter period

## Etude expérimentale du traitement par évaporation forcée des lixiviats des déchets ménagers. Cas de la ville de Kasba Tadla

F. Benyoucef, A. El Ghmari, A. Ouattmane

### Introduction

Cet article est relatif au traitement des lixiviats des déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla au Maroc (figure 1) produits lors du transport des déchets vers la décharge. Les lixiviats sont des effluents aqueux de composition complexe, potentiellement écotoxiques et présentant des variations temporelles, largement étudiés dans de nombreuses études (Shaylinda et Zin, 2012, Renou et al, 2008, Del Borghi et al, 2003, Christophe, 2014 ; Le Coupanec et al 1999, Schlumpf et al, 2001, Kurniawan et al, 2006). Ces effluents peuvent être difficiles à traiter, et constituer une menace vis-à-vis de l'environnement (Renou et Poulain, 2008). Des études antérieures montrent que les caractéristiques physico-chimiques de ces effluents varient à la fois dans le temps et dans l'espace et dépendent de la nature des déchets (Mejbri et al, 1995). Lors de l'évolution des déchets en décharge, les lixiviats s'enrichissent en composés peu biodégradables (Farah Naz and Christopher, 2012) et les traitements conventionnels d'épuration ne permettent alors pas toujours de respecter les normes de rejet.

Les techniques de traitement des lixiviats sont très diverses. Les plus courantes pour les lixiviats « jeunes » sont les traitements biologiques (Khattabi et al, 2002, Tania et al, 2013), lesquels sont cependant inefficaces sur des lixiviats peu biodégradables issus de décharges âgées, et leurs performances sont réduites durant les périodes d'hiver (Renou et Poulain, 2009). Dans la présente étude, nous avons sélectionné une technique de traitement peu coûteuse, simple et efficace y compris durant la période hivernale dans la zone climatique considérée ici. Il s'agit de la technique de traitement par évaporation. Cette technique permet de tirer parti des conditions climatiques de la zone d'étude (climat semi-aride avec des températures très élevées durant les périodes d'été). Elle a déjà été étudiée par plusieurs auteurs mais généralement en couplage avec d'autres techniques telles que l'osmose inverse ou l'ultrafiltration (Di Palma et al, 2002, Xu et al, 2006, Yamasaki et al, 1996). Cette technique appliquée a été beaucoup utilisée dans les décharges contrôlées de villes du Maroc, mais elle n'a pas donné satisfaction. Les

raisons en sont principalement l'excès de lixiviats produits associé à une capacité de stockage limitée des casiers des décharges (Leconomiste, 2014).

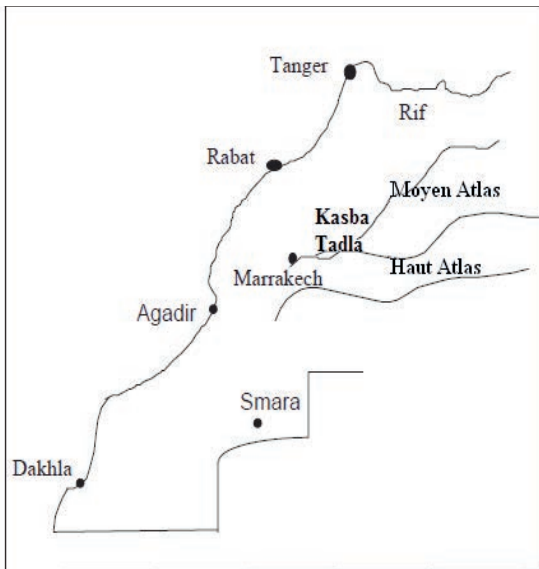
D'après Braconnier et al (2008) et Hancock et al (2011) l'évaporation des lixiviats est fonction d'une part des facteurs météorologiques intervenant dans le processus d'évaporation (rayonnement solaire, température ambiante, humidité relative et spécifique de l'air, pression atmosphérique et vitesse du vent), et d'autre part de facteurs physiques du milieu intervenant dans le processus d'évaporation à savoir l'évaporation à partir des surfaces d'eau libre ou bien à partir d'un sol nu. L'évaporation d'une surface d'eau libre dépend des propriétés physiques et géométriques de cette surface (profondeur, étendue). La profondeur de la surface d'eau libre joue un rôle essentiel. D'une manière générale, une surface d'eau libre peu profonde sera sensible aux variations météorologiques saisonnières, tandis qu'une surface d'eau libre profonde le sera beaucoup moins par son inertie thermique, et présentera une dynamique d'évaporation nettement différente. L'étendue de la surface d'eau libre joue aussi un rôle important sur les quantités évaporées puisque l'évaporation, à vitesse du vent égale, est proportionnelle à la surface évaporante ainsi qu'à l'humidité relative de l'air. L'évaporation exige un apport de chaleur par le rayonnement solaire mais aussi entre l'air ambiant et le lixiviat par conduction à l'interface des deux milieux. La chaleur du fluide mobile (air ambiant) étant apportée par convection, un accroissement de la vitesse du fluide peut créer un état de turbulence du liquide, générant alors une convection turbulente qui facilite considérablement les échanges de chaleur et accélère donc l'évaporation. (Zhang and Ramanathan, 1995 ; Nasr et al, 2011).

L'objectif de ce travail est de déterminer l'amélioration des performances d'évaporation forcée des lixiviats apportée par l'utilisation de plaques vitrées et inclinées sur les bacs, par comparaison à l'évaporation naturelle. Les études ont été réalisées sur des lixiviats frais récupérés dans les bennes des engins de collecte des déchets frais. Le travail expérimental s'est appuyé sur l'utilisation comparative de bacs d'évaporation de mêmes dimensions équipés ou non de dispositifs visant à accélérer l'évaporation.

## I. Matériel et méthodes

### I.1 Site d'étude

Cette étude a été effectuée sur la ville de Kasba Tadla. Située entre la ville de Marrakech et la ville de Fès, elle appartient à la province de Béni Mellal qui fait partie de la région de Tadla Azilal au Maroc (Figure 1).



**Figure 1 : Localisation de la ville de Kasba Tadla (Maroc)**

### I.2 Caractérisation des déchets municipaux de la ville de Kasba Tadla et de leurs lixiviats

Les lixiviats étudiés ont été collectés à partir des bennes tasseuses de collecte des déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla lors du transport à la décharge. Les déchets ménagers de la ville de Kasba Tadla sont caractérisés par une forte teneur en matière organique (74 %) et présentent un taux d'humidité d'environ 60 % (Hwang *et al.*, 2012, Beylot and Villeneuve, 2013, Ezequiel *et al.*, 2013, Aji., 2002). Selon Chantou, (2012), les déchets dans les P.E.D sont généralement caractérisés par la présence d'une fraction prépondérante de putrescibles constitués principalement de déchets de cuisines et de jardins. Cette fraction a été estimée, dans la plupart des P.E.D, à plus de 50 % de la masse des déchets municipaux. Ce constat est justifié par un mode de consommation basé sur les produits frais. Les déchets sont encore composés de papier (3 %), de plastiques (9 %). Les quantités d'aluminium, de fer et de verre sont très négligeables.

L'analyse physico-chimique des lixiviats jeunes générés par ces déchets a montré un caractère acide avec un pH d'environ 5 et une forte charge organique avec une DCO qui dépasse 20 gO<sub>2</sub>/L.

### I.3 Description du dispositif expérimental

Les essais ont été réalisés dans des bacs d'évaporation en acier de 0,93 m de longueur, 0,75 m de largeur et 0,3 m de profondeur. Les premiers essais ont été réalisés avec deux bacs enterrés dans le sol, le premier ouvert à l'air libre et l'autre couvert par une plaque de verre posée à l'horizontale. Deux autres bacs identiques ont été installés à une hauteur de 50 cm au-dessus du sol (Figure 2). Un cinquième bac a été positionné à 50 cm du sol, couvert par une vitre inclinée et équipé d'un agitateur et d'un système de ventilation (Figure 3). Les 5 bacs ont été mis en œuvre dans les mêmes conditions climatiques et suivant le même protocole opératoire. Celui-ci consiste à suivre l'évaporation du lixiviat dans les bacs par mesure de la profondeur dans les bacs en fonction du temps. Un volume initial de 80 L de lixiviat a été introduit dans chaque bac, correspondant à une profondeur initiale de 11,5 cm.



**Figure 2 : Bacs d'évaporation enterrés ou hors sol, avec et sans vitre horizontale**



**Figure 3 : Bac expérimental d'évaporation forcée couvert d'une vitre inclinée et équipé d'un dispositif d'agitation et ventilation**

## 2. Résultats et discussions

### 2.1 Evaporation des lixiviats dans des bacs traditionnels durant la période hivernale : effet de la surélévation

Le but de ce premier essai est d'évaluer la différence de rendement d'évaporation entre le bac d'acier mis au sol et un autre bac de même qualité et même dimension exposé directement au rayonnement solaire et au-dessus du sol. La seule différence entre les deux essais est l'effet de surélévation qui augmente le taux d'exposition aux rayonnements solaires.

Les courbes d'évaporation de la Figure 4 présentent deux phases dans chaque condition testée. La première phase correspond à l'évaporation faible durant la période hivernale à cause des apports des averses et des températures relativement basses. La deuxième phase a commencé à apparaître dès l'augmentation de la température et l'absence des averses ce qui favorise l'opération d'évaporation.

Toutefois, les résultats obtenus en période hivernale montrent que l'évaporation est légèrement favorisée dans le bac surélevé en comparaison au bac enterré. Le temps nécessaire à l'évaporation complète des 80L de lixiviat avec une surface d'exposition au soleil de l'ordre de 0.7 m<sup>2</sup> et à une température moyenne de 19 °C durant cette période a été de 5 mois et 17 jours dans le bac enterré et de l'ordre de 5 mois et 10 jours dans le bac surélevé, soit une diminution de 7 jours. La vitesse moyenne d'évaporation a augmenté d'environ 20 % par rapport à la vitesse d'évaporation initiale, passant de 0,37 mm/j à 0,46 mm/j. La surélévation du bac au-dessus

du sol augmente la surface exposée au rayonnement solaire qui est le moteur de la vaporisation (Braconnier *et al*, 2008, Nameche et Vasel, 1999, Vincon-Leite *et al*, 1989). La vitesse d'évaporation est ainsi une fonction croissante de la surface d'exposition aux rayonnements solaires.

La durée d'évaporation reste cependant toujours très longue. De nouveaux essais ont donc été envisagés sur des bacs ou des vitres ont été ajoutées pour les rendre plus performants en termes d'évaporation.

### 2.2 Effet de la couverture vitrée horizontale sur l'évaporation des lixiviats

Des plaques vitrées ont été ajoutées en couverture des deux bacs dans deux objectifs : activer l'évaporation par échauffement accru par effet de serre et protéger les bacs des entrées d'eau météorologique.

Les résultats obtenus (figure 5) confirment le rôle très important des plaques vitrées sur l'accélération de l'évaporation au niveau des deux bacs par rapport aux bacs exposés directement à l'air libre. Les résultats montrent que le temps d'évaporation de la même quantité des lixiviats est diminué d'environ deux mois. La vitesse moyenne d'évaporation a été augmentée de 0,37 mm/j à 0,94 mm/j pour les bacs enterrés, soit une augmentation de 60 % et de 0,46 mm/j à 1,07 mm/j pour les bacs hors sol, soit une augmentation d'environ 57 %. Cependant, le positionnement horizontal des plaques vitrées conduit les gouttes d'eau de condensation à retomber directement dans le bac, réduisant ainsi l'efficacité du traitement. D'autre part, la distance entre la plaque vitrée et le bac est faible et limite la circulation d'air au voisinage de la surface de lixiviat. Une autre disposition a ainsi été testée afin d'améliorer encore les performances du système.

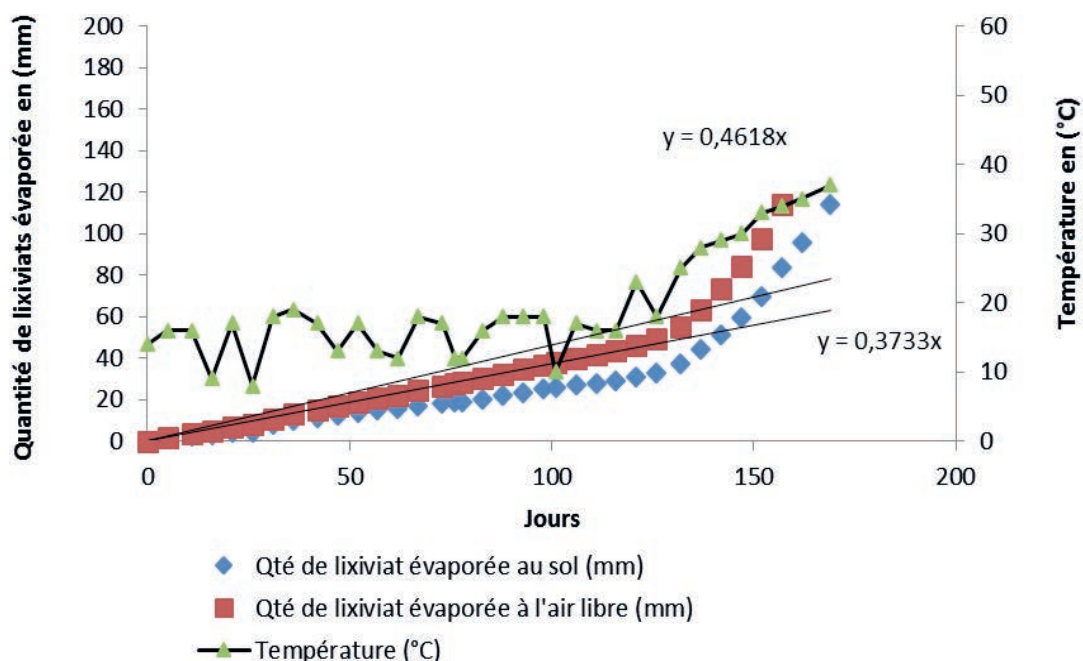
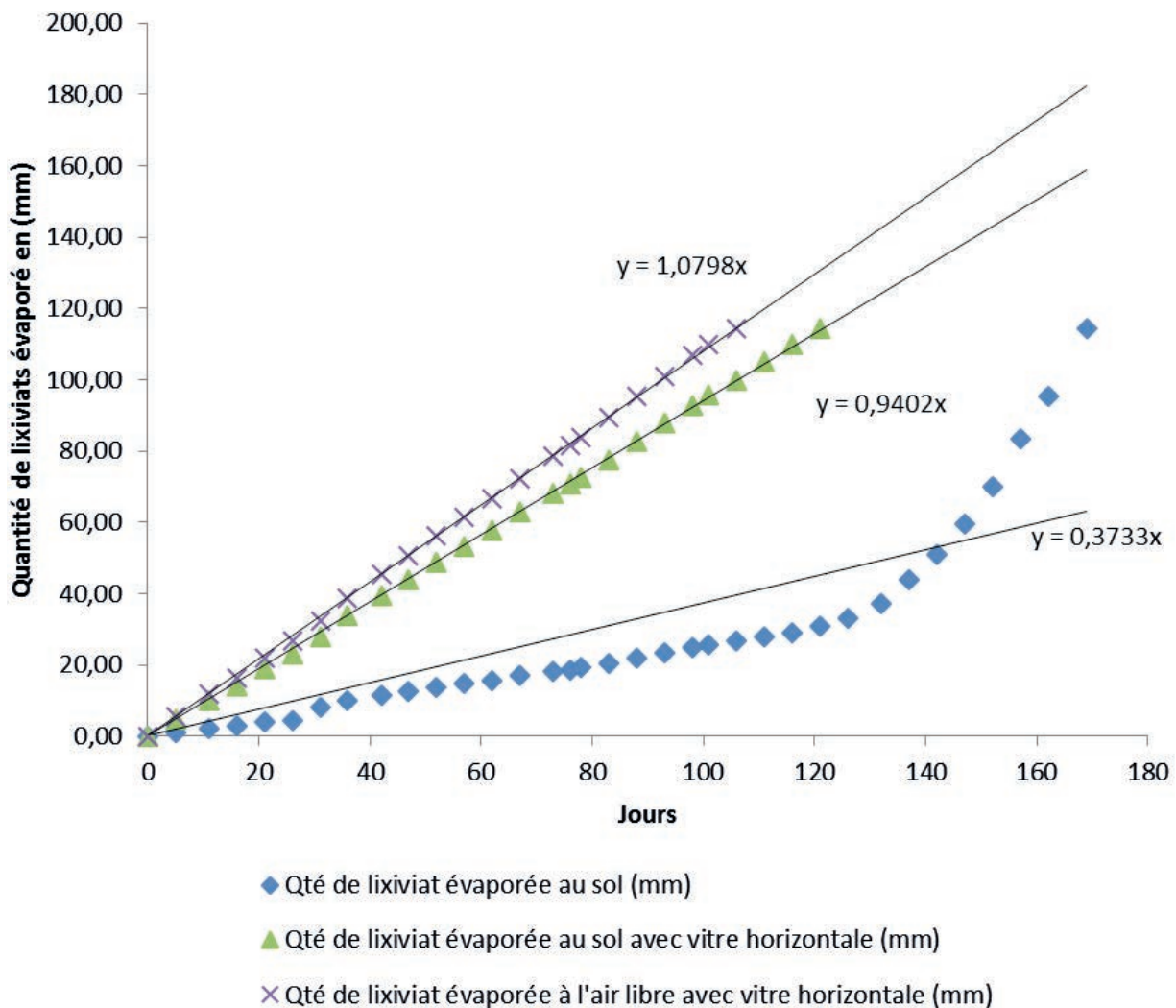


Figure 4 : Comparaison des résultats d'évaporation des lixiviats à l'air libre dans un bac surélevé ou un bac enterré





**Figure 5 : Effet des plaques vitrées sur l'évaporation**

### 2.3 Effet d'une couverture vitrée inclinée avec agitation et ventilation

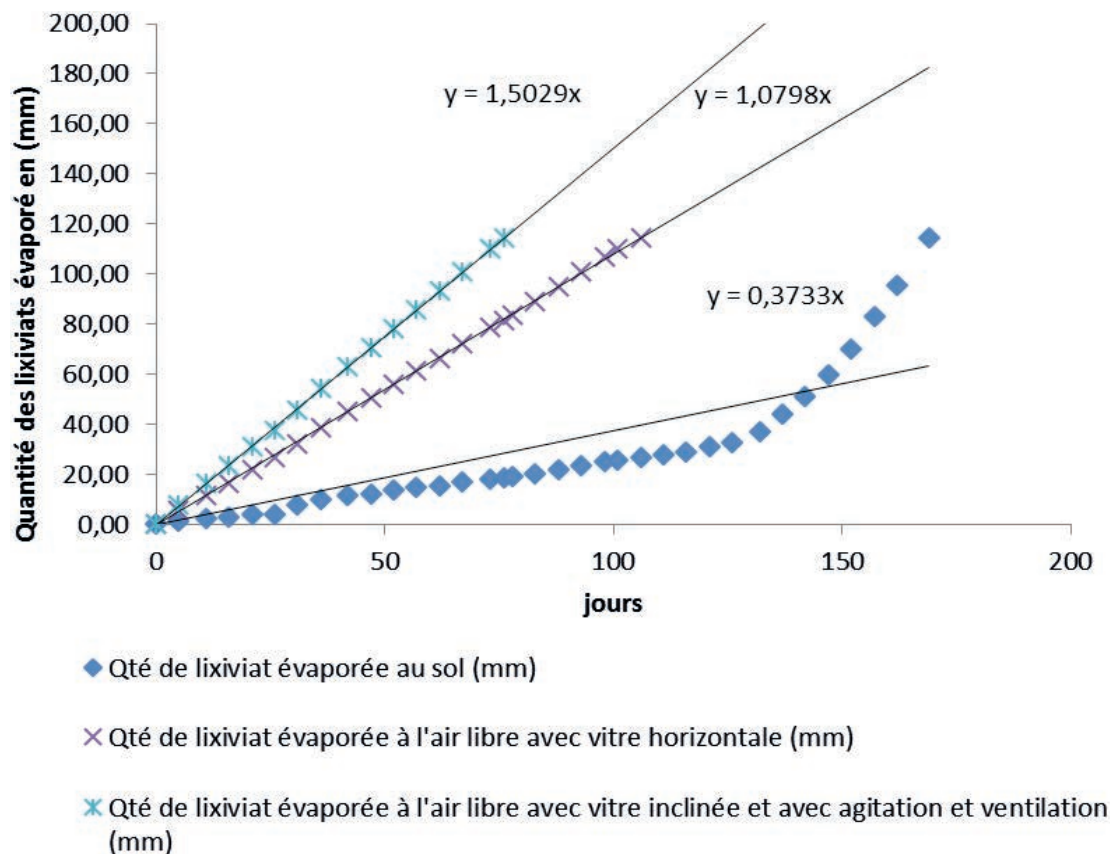
En se basant sur les données de la littérature (Nasr *et al*, 2008, Yan, 1993), des améliorations ont été réalisées sur les dispositifs expérimentaux. Une plaque vitrée inclinée a été utilisée en couverture pour d'une part faciliter la circulation d'air en augmentant l'espace entre la vitre et le bac et d'autre part éviter le retour des gouttelettes d'eau dans le bac. En outre, le volume de lixiviat a été agité avec un agitateur Hélice SABRE à 2 pales avec une vitesse de 35 tr/min. Cette agitation facilite le transfert de chaleur air – lixiviat et le transfert de matière (vapeur d'eau) du lixiviat vers l'air en levant la limitation cinétique liée à la couche limite à l'interface lixiviat – air.

Les résultats illustrés par la Figure 7 montrent que la présence d'une vitre inclinée associée à une ventilation et une agitation augmente la performance d'évaporation. Le temps d'évaporation d'une même quantité de lixiviat (80L) est diminué de 50 % environ comparé au bac sous évaporation naturelle

et traditionnelle et de 30 % par rapport au bac équipé d'une plaque vitrée horizontale. La vitesse moyenne d'évaporation est presque cinq fois plus élevée. Les facteurs d'influence déterminants sont la surface de contact avec l'air ambiant, son agitation, surface accessible au rayonnement solaire et l'agitation.



**Figure 6 : Gouttelettes d'eau sur les plaques de vitre horizontale**



**Figure 7 : Comparaison des résultats des trois techniques d'évaporation à l'air libre**

### 3. Conclusion

Cette étude a permis de confirmer que l'évaporation dépend essentiellement des facteurs météorologiques et des facteurs physiques liés à la surface de contact lixiviat-air, à la profondeur et la surface du bac et aux mouvements de convections. Les résultats obtenus montrent un effet combiné de tous ces facteurs. Les facteurs les plus déterminants sont :

- L'augmentation de la surface d'exposition aux rayonnements solaire par l'emplacement des bacs au-dessus du sol.
- Le positionnement incliné des plaques vitrées empêchant l'eau de condensation de retomber dans le lixiviat et de garder un espacement suffisant pour que les mouvements d'air au-dessus de la surface des lixiviats soient optimisés.
- L'agitation des lixiviats qui accélère le transfert de chaleur dans le liquide et le départ de la vapeur d'eau.

Le dispositif d'un bac surélevé, couvert d'une plaque vitrée inclinée et équipé d'un système d'agitation a permis d'accélérer l'évaporation d'un facteur cinq par rapport à l'évaporation naturelle. Il faut maintenant définir les conditions d'extension du traitement au volume total de lixiviats générés en fonction des saisons. L'étude a été menée en période hivernale (35°C en

moyenne) sous des conditions de température moins favorables qu'en été (jusqu'à 52°C). Les conditions estivales ne pourront qu'améliorer les performances d'évaporation du système et devraient permettre d'accélérer encore l'évaporation.

### Références bibliographiques

- Ajir, A. (2002) Gestion des déchets solides au Maroc : Problématique et approche de développement. Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution. *Control and Waste Management*, 740-747.
- Berthe, C. (2006) Etude de la Matière Organique contenue dans des lixiviats issus de différentes filières de traitement des déchets ménagers et assimilés. Thèse de doctorat, Université de Limoges. 196 p
- Beylot, A and Villeneuve, J. (2013) Environmental impacts of residual Municipal Solid Waste incineration: A comparison of 110 French incinerators using a life cycle approach. France. *Waste Management*, 33, 2781-2788.
- Braconnier, R., Chaîneaux, J., Triolet, J., Fontaine, J et Salle B. (2008) Mesures du flux d'évaporation de liquides volatils dans des ambiances de travail. *INRS – Hygiène et sécurité du travail*, 212, 61-71.
- Chantou, T. (2012) Identification des indicateurs de stabilisation des déchets solides urbains et validation sur un site de PTMB français, pour une application en Tunisie. Thèse de doctorat, Université de Limoges. 290 p.

- Christophe, B. (2014) Traitement des lixiviats : des affluents complexes qui nécessitent un traitement poussé. *L'eau, L'industrie, les nuisances*, 49-58.
- Del Borghi, A., Binaghi, L., Converti, A., and Del Borghi, M. (2003) Combined Treatment of Leachate from Sanitary Landfill and Municipal Wastewater by Activated Sludge. *Chem. Biochem. Eng*, 4, 277-283.
- Di Palma, L., Ferrantelli, P., Merli, C and Petrucci, E. (2002) Treatment of industrial landfill leachate by means of evaporation and reverse osmosis. *Waste Management*, 22, 951-955.
- Ezequiel, J., Ponce-Ortega, J M., Betzabe, J., Serna-Gonzalez, M and El-Halwagi, M. (2013) Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste. *Waste Management*, 33, 2607-2622.
- Farah Naz A and Christopher Q. (2012) Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: A review. *Desalination*, 287, 41-54.
- Hancock, M.D., PH.D (Cantab), M.I.Chem.,E., C.ENG Director, Dee Associates (Business Consultants) Ltd. (2011) Indoor swimming pools and leisure centres a model to improve operational effectiveness and reduce environmental impact. CIBSE Technical Symposium. *Montfort University, Leicester, UK*, 13 p.
- Hwang, I., Aoyama, H., Matsuo T., Nakagishi T and Matsuo T. (2012) Recovery of solid fuel from municipal solid waste by hydrothermal treatment using subcritical water; Japan. *Waste Management*, 32, 410-416. (25)
- Khattabi, H., Aleya, L. et Mania, J. (2002) Lagunage naturel de lixiviat de décharge. *Sciences de l'eau*, 15/1, 411-419.
- Kurniawan, A.T., Lo, W. and Chan, G. (2006) Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 129, 80-100.
- Le Coupanec F., Morin D et Peron J J. (1999) Fractionnement et caractérisation des lixiviats de centre d'enfouissement technique de déchets ménagers. Intérêt de la chromatographie liquide haute performance sur gel d'exclusion stérique. *Sciences de l'eau*, 12/3, 529-543.
- Mejbri R., Matejka G., Lafrance P et Mazet M. (1995) Fractionnement et caractérisation de la matière organique des lixiviats de décharge d'ordures ménagères. *Sciences de l'eau*, 8, 217-236.
- Millot, N. (1986) Les lixiviats de décharges contrôlées. Caractérisation analytique et étude des filières de traitement. Thèse de doctorat, INSA Lyon. 180p
- Ministère de l'intérieur. (2008) Cahier des charges pour la gestion déléguée des services de propreté comprenant la collecte et l'évacuation des déchets ménagers et assimilés et le nettoyage des voies et places publiques, ainsi que l'évacuation des produits de nettoyage de la ville de Kasba Tadla, Morocco, 49 p.
- Nameche, T et Vassel, J L. (1999) Bilan thermique sous climat tempéré des lagunes aérées et naturelles. *Sciences de l'eau*, 12/1, 65-91.
- Nasr A., Belhadj Mohamed A., Orfi J., Debbisi C and Ben Nasrallah S. (2008) Evaporation of a thin binary liquid film covering one plate of a vertical Channel. *Revue des Energies Renouvelables*, 11, 611 - 622.
- Nasr A; Debbisi C; and Ben Nasrallah S. (2011) Evaporation of a binary liquid film by forced convection. *thermal science*, 15, 773-784.
- Ramade F. (1998). Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau : biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales. Ediscience, 354-356.
- Renou S et Poulain S. (2008) Procédé innovant de traitement des lixiviats. *L'eau, L'industrie, les nuisances*, 312, 60-70.
- Renou S., Poulain S., Gagnaire J., Marrot B et Moulin P. (2008) Traitement des effluents industriels : techniques et procédés lixiviat de centre de stockage : déchet génère par des déchets. *L'eau, l'industrie, les nuisances*, 310, 37-43.
- Renou S et Poulain S. (2009) Intégration des procédés membranaires dans le traitement des lixiviats. *L'eau, L'industrie, les nuisances*, 313, 71-80
- Schlumpf J P, Trebouet D., Quemeneur F., Malleriat J P et Jaouen P. (2001) Réduction de la DCO dure des lisiers de porc et lixiviats par nanofiltration. *Sciences de l'eau*, 14/2, 147-155.
- Shaylinda N et Zin M. (2012) Characterization of leachate at matang landfill site, perak, malaysia Academic. *Journal of Science*, 2, 317-322.
- Tabet Aoul M. (2001) Types de Traitement des Déchets Solides Urbains Evaluation des Coûts et Impacts sur l'Environnement. *Production et Valorisation - Biomasse*, 97-102.
- Tânia F.C.V. Silva, M. Elisabete F. Silva, A. Cristina Cunha-Queda, Amélia Fonseca, Isabel Saraiva, M.A. Sousa, C. Gonçalves, M.F. Alpendurada, Rui A.R. Boaventura and Vítor J.P. Vilar. (2013) Multistage treatment system for raw leachate from sanitary landfill combining biological nitrification-denitrification/solar photo-Fenton/ biological processes, at a scale close to industrial Biodegradability enhancement and evolution profile of trace pollutants. *Water Research*, 47, 6167 -6186.
- Vincon-Leite B., Mouchel J M et Tassin B. (1989) Modélisation de l'évolution thermique saisonnière du lac du Bourget (Savoie, France). *Sciences de l'eau*, 2, 483-510.
- Xu Y., Yue D., Zhu Y and Nie Y. (2006) Fractionation of dissolved organic matter in mature landfill leachate and its recycling by ultrafiltration and evaporation combined processes. *Chemosphere*, 64, 903-911.
- Yamasaki A., Tyaci R. K., Fouda A and Matsuura T. (1996) Effect of Evaporation Time on the Pervaporation Characteristics through Homogeneous Aromatic Polyamide Membranes. II. Pervaporation Performances for Ethanol/Water Mixture. *Journal of Applied Polymer Science*, 60, 743-748.
- Yan W.M. (1993). Binary diffusion and heat transfer in mixed convection pipe flows with film evaporation. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 36, 2115-2123.
- Zhang J and Ramanathan V. (1995) Convection-Evaporation Feedback in the Equatorial Pacific. *Journal of Climate*, 8, 3040-3051.
- <http://www.leconomiste.com/article/910890-agadir-la-d-charge-de-tamlest-encombr-e-par-le-lixiviat#sthash.vGlzYL3.dpuf>