



Epaississement des concentrats d'osmose inverse (Thickening of concentrates from reverse osmosis)

F. Benradi¹, A. El Yahyaoui¹, S. Bouhlassa¹, A. Nounah², E. Cherkaoui², F. Ghrissi³

¹Laboratoire Nucléaire et Radiochimie, Département de Chimie, Faculté des Sciences, Avenue Ibn Battouta,
B.P. 1014, Université Mohammed V- Agdal, Rabat, Morocco

²Laboratoire Energétique, Matériaux et Environnement, Ecole Supérieure de Technologie, Av. Prince Héritier
B.P. 227, Salé-Médina, Université Mohammed V- Agdal, Rabat, Morocco

³Laboratoire du Génie d'Environnement, Ecole Mohammadia d'Ingénieurs, Université Mohammed V- Agdal, Morocco

Received 13 Aug 2012, Revised 15 July 2013 ; Accepted 15 July 2013

*Corresponding Author, E-mail : fatimabenradi@hotmail.com; Tel : 06 68 68 44 20

Abstract

The membrane treatment by reverse osmosis of leachate is among the appropriate treatment technology, it can produce treated water "permeate" and concentrated water "concentrate". The particularity of this concentrate is the high content of suspended solids. Given the conversion rate with this technique at the waste inter-centre of Oum Azza city of Rabat, in Morocco that varies between 60 and 65%, which generates a large volume of this concentrate is stored in basins and that requires treatment before discharge into the environment. The objective of this research is the treatment of the concentrate by the physico-chemical coagulation-flocculation using ferric chloride (FeCl₃) as chemical coagulant. The test Jar-test was used to determine the optimal conditions to reduce suspended solids. The results obtained after decantation show an elimination rate of suspended solids in the range of 96%, and to obtain a clarified water and mud. The correlation between the results of monitoring of the interface of the clarified water and mud from the settling with the law KYNCH allows the sizing basin of thickening.

Keywords: Leachate; Reverse osmosis; Concentrate; Permeate; Thickening.

Résumé

Le traitement membranaire par l'osmose inverse du lixiviat s'inscrit parmi les techniques de traitement appropriées, il permet de produire une eau traitée « perméat » et une eau concentrée « concentrat ». La particularité de ce concentrat réside dans sa forte teneur en matières en suspension. Vu le rendement de conversion par cette technique au niveau du Centre Intercommunal de traitement des déchets d'Oum Azza (Rabat-Maroc) qui varie entre 60 et 65%, il en résulte un volume important de ce concentrat qui est stocké dans des bassins et qui nécessite un traitement au préalable avant son rejet dans le milieu naturel. L'objectif de ce travail consiste à étudier le traitement du concentrat par le procédé physico-chimique coagulation-floculation, en utilisant le chlorure ferrique (FeCl₃) comme coagulant chimique. Les essais de Jar-test ont été utilisés pour chercher les conditions optimales qui permettent de réduire les matières en suspension. Les résultats obtenus après décantation montrent un taux d'élimination des matières en suspension de l'ordre de 96%. La corrélation existante entre les résultats du suivi de l'interface de l'eau clarifiée et la boue lors de la décantation avec la loi de KYNCH permet le dimensionnement du bassin d'épaississement.

Mots clés : Lixiviat ; Osmose inverse ; Concentrat; Pérmeat; Epaississement.

1. Introduction

A l'instar des autres pays, les collectivités locales marocaines connaissent une augmentation des déchets urbains, notamment des ordures ménagères. La croissance démographique et l'évolution des modes de vie et de consommation génèrent des quantités importantes de déchets. En effet, 70% de la production des déchets sont

concentrés dans le milieu urbain. De même, la proximité des décharges sauvages des habitations et leur implantation dans le lit des Oued engendrent des effets négatifs directs et indirects, sur la qualité des eaux souterraines et de surface, des sols, de l'atmosphère ainsi que des risques pour la santé publique. Avant 2006, les déchets de trois préfectures, Rabat, Salé et Temara ont été stockés dans deux décharges non contrôlées celle d'Akreuch située sur la rive gauche du bouregreg et celle d'Oulja sur la rive droite de cet oued. Ces deux décharges ont engendré plusieurs impacts négatifs (pollution de l'oued, ...).

Face à cette situation alarmante, la wilaya de Rabat-Salé-Zemour-Zaer a opté pour le traitement des déchets en décharge contrôlée (centre d'enfouissement technique). L'enfouissement demeure l'unique moyen de gestion des déchets solides adopté par le Maroc. Signalons que les déchets ménagers sont un mélange hétérogène de matériaux (Tableau 1) ayant des propriétés physiques et chimiques très différentes.

Finalement, la wilaya de Rabat-Salé-Zemour et Zaer doit éliminer environ 500 000 tonnes par an de déchets urbains produits par deux millions habitants en transitant par trois centres de transfert.

Tableau 1 : Composition des déchets urbains au Maroc « Aina, 2006 »

Fraction fermentescible	65-70%
Papiers- cartons	18-20%
Plastiques	2-3%
Métaux	1-3%
Verres	1%

Cette méthode de traitement de déchets engendre le lixiviat. Ce dernier est chargé de substances polluantes telles que la matière organique soluble provenant en grande partie de l'activité biologique de la décharge, des constituants inorganiques comme les métaux lourds, et des germes qui peuvent être très dangereux pour la santé. La composition et le volume des lixiviats sont difficiles à déterminer car les décharges constituent un réacteur complexe évoluant spontanément. En effet, la composition dépend de nombreux facteurs tels que le mode d'exploitation de la décharge (la gestion du site, sa topographie, sa situation géographique et le degré de compaction des déchets), les variations climatiques saisonnières (précipitation, humidité, évapotranspiration...), mais surtout de la nature des déchets entreposés, et du stade d'évolution du casier de déchets (âge), trois types de lixiviats ont été distingués « Renou S, 2007 » :

- les lixiviats jeunes,
- les lixiviats intermédiaires,
- les lixiviats agés ou stabilisés

De par leur charge polluante importante, les lixiviats doivent subir un traitement d'épuration avant d'être rejetés dans le milieu naturel.

Le traitement des lixiviats relève des techniques classiques de traitement d'eau. On emploie des procédés physico-chimiques, tels que les processus de coagulation-floculation, pour l'élimination des matières en suspension et la couleur qui a été essentiellement apportés par les matières organiques avec des formes insolubles (Hamidi A, 2007). Les procédés biologiques aérobies ou anaérobies, avec cultures fixées ou libres, sont également mises en œuvre.

Enfin, la dernière technique issue des procédés de traitement de l'eau est basée sur la séparation par des membranes semi-perméables. En effet la technique d'osmose inverse est largement utilisé dans le domaine du dessalement de l'eau de mer « Lu et al. 2006 ». Ce procédé s'impose aujourd'hui comme le procédé final indispensable au traitement des lixiviats, dans l'objectif de satisfaire aux normes de rejet. Ainsi, de nombreux travaux de recherche traitent actuellement de l'intégration de ces procédés membranaires dans le traitement de lixiviat, comme la nanofiltration ou l'électrodialyse dans la chaîne de traitement des lixiviats « Singlande E, 2006 ». Cependant les performances des procédés membranaires sont limitées, notamment par la génération d'un concentrat fortement chargé en matières polluantes et particulièrement en matières en suspension et par le colmatage important des membranes.

Le devenir de ce concentrat représente bien souvent un obstacle majeur à l'utilisation des procédés membranaires et la solution réside dans un système de traitement adapté à sa nature et garantissant des rendements d'épuration acceptables.

Les différentes stratégies de gestion du concentrat issu d'une filtration membranaire sont illustrées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Vue d'ensemble des possibilités de réutilisation, post-traitement et rejet d'un concentrat « Renou S, revue EIN N°313 »

Réutilisation	- Comme produit désiré (par exemple, concentrés alimentaires), - Comme fertilisant ou carburant, - Production de sels ou autres minéraux.
Post-traitement	- Concentration par élimination d'eau : évaporation, distillation, séchage, décantation, électrodialyse, - Élimination de composés spécifiques : boues activées pour les composés organiques, procédés d'oxydation.
Incinération	- Four tournant (déchets dangereux), - Four à grille (déchets banals).
Rejet dans les eaux de surface	- Rejet direct (dessalement d'eau de mer ou de saumures) - Rejet indirect via le réseau d'eaux usées
Rejet en eaux souterraines	- Irrigation, lagunes d'évaporation - Injection profonde dans le sous-sol
Mise en centre de stockage	- Comme déchet solide avec un éventuel traitement (stabilisation/solidification), - Comme déchet liquide.

Le concentrat faisant l'objet de cette étude est le rejet obtenu de traitement du lixiviat des déchets solides par le procédé d'osmose inverse. En parallèle au suivi du rendement épuratoire de l'osmose inverse, nous nous sommes intéressés à l'épaississement du concentrat par des procédés physico-chimiques, tels que la coagulation-floculation des matières en suspension suivie d'une décantation. Ce traitement permet d'obtenir une boue déjà épaissie dont il suffit d'exploiter la courbe de décantation pour calculer les vitesses de décantation et les concentrations en connaissant la concentration initiale du concentrat. On peut déduire ainsi, la surface de décanteur-épaississeur des boues.

2/ Matériels et méthodes

2.1/ Présentation des rejets

Le lixiviat étudié provient du Centre Intercommunal de traitement des déchets d'Oum Azza de la ville de Rabat au Maroc. Ce centre est localisé entre l'oued Akreuch à l'ouest et la retenue de barrage sidi Mohammed Ben Abdallah à l'est, à une cote comprise entre 160 et 200 NGM, sur un terrain de 29 parcelles d'une superficie de 110 Ha 17 Ar 59 Ca.

Les déchets déversés sur le site d'étude sont les déchets ménagers, assimilés et déchets verts en provenance des villes et centres relevant des Préfectures de la Wilaya de Rabat, Salé et Témara, avec une production actuelle moyenne d'environ 500.000 t/an.

Ces lixiviats très chargés en matière organique nécessitent un prétraitement biologique par boues activées. Le dimensionnement des ouvrages de la station de boues activées permet d'aérer ces lixiviats dans un bassin d'aération qui comporte trois turbines de 90KW. Le fonctionnement de ces turbines d'aération nécessite 265kg d'O₂/h. Après l'aération, ils sont conduits dans des bassins de décantation, suivi d'une chaîne de traitement de filtration, ils passent tout d'abord dans un filtre à poche qui permet d'éliminer les grosses particules. En suite, après acidification de ces lixiviats dans un cuve de stockage, ils passent dans un filtre à sable qui permet d'éliminer les particules de diamètre supérieur à 50 micromètres et enfin un filtre à caoutchouc pour éliminer les particules de diamètre supérieur à 10 micromètres. Ces lixiviats entrent ensuite dans l'étape de l'osmose inverse, qui est un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers des membranes semi-sélectives, sous l'effet d'un gradient de pression. Le disque tube comprend 169 disques membranaires, en quatre blocs (9 DTG, 24 DTG, 24 DTG et 23 DTG). Les résidus produits par l'osmose inverse sont le perméat et le concentrat.

2.2/ Caractérisation des rejets

Les analyses réalisées sont les analyses physicochimiques (pH, conductivité, Matières En Suspension, Demande Biochimique en Oxygène, Demande Chimique en Oxygène et les métaux lourds tels que le fer, cuivre,...). Le pH est mesuré à l'aide d'un pH mètre 206 Lutron, la conductivité avec un conductimètre WTW LF90, les matières en suspension sont déterminées par filtration sur filtre, la turbidité avec un turbidimètre 21009 HACH.

Tandis que, les analyses bactériologiques ont été limitées à la détermination des indicateurs bactériologiques de la pollution fécale (Coliformes fécaux et les streptocoques fécaux).

2.3/ Jar test

Le coagulant utilisé est le chlorure ferrique (FeCl_3), il est ajouté à 800ml de solution puis mélangé rapidement à une vitesse de 120 tours/min pendant 5 minutes, puis réduction de cette agitation à 40 tours/min pendant 20 minutes. Deux heures après l'arrêt de l'agitation, des échantillons du surnageant ont été prélevés et analysés. Plusieurs essais ont été effectués à différentes concentrations de coagulant dont l'objectif est de déterminer la dose optimale du coagulant.

2.4/ Décantation

L'un des objectifs des essais de décantation est de déterminer la relation qui relie la vitesse de sédimentation et la concentration. Après le test de coagulation-floculation, les matières en suspension s'agglomèrent et leur vitesse de chute varie au cours de la décantation suivant l'hypothèse de Kynch. Cette vitesse ne dépend que de leur concentration locale. Pour mieux comprendre cette hypothèse, le suivi de la décantation a été consigné par des prises de photos entre des intervalles de temps appropriés. La décantation a été caractérisée par une interface très nette entre le voile de boues et l'eau clarifiée. Ainsi, l'exploitation de la courbe de décantation permet de déterminer l'ensemble des paramètres de dimensionnement du décanteur-épaississeur.

3/ Résultats et interprétations

3.1/ Rendement épuratoire de l'osmose inverse

L'analyse du lixiviat brut montre des teneurs élevées en DBO et DCO : ces lixiviats ne peuvent donc pas être rejetés dans le milieu naturel sans aucun traitement préalable. Après le prétraitement biologique, les rendements épuratoire de DBO est de 98%, par contre celui de DCO est de 93%. L'analyse du perméat confirme l'efficacité de traitement par l'osmose inverse comme procédé d'épuration du lixiviat. Le taux de la rétention membranaire des MES est d'ordre de 80% (tableau 3). Ces résultats nous permettent de déduire que les membranes de la machine de l'osmose inverse sont en bon état, elles sont très bien entretenues (lavage au perméat et nettoyage au réactifs).

Tableau 3 : Taux de rétention membranaire (juin 2010)

	LIXIVIAT brut	LIXIVIAT (entrée osmose inverse)	Perméat	Rendement épuratoire de l'épuration biologique	Rétention membranaire de l'osmose inverse
COND ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	27000	25000	1300	7%	95%
DBO5 (mg d'O ₂ /l)	12900	300	180	98%	40%
DCO (mg d'O ₂ /l)	20200	1400	1100	93%	21%
MES (mg/l)	1500	800	160	47%	80%

3.2/ Analyse bactériologique

De point de vue bactériologique, la qualité microbiologique a été limitée à la détermination des indicateurs de la pollution fécale Coliformes Fécaux (CF) et Streptocoques Fécaux (SF).

Cette analyse a relevé une diminution des concentrations de CF et de SF en passant de lixiviat brut, lixiviat du bassin d'aération, concentrât et perméat. De même le CF/SF est supérieure à 4 ce qui confirme l'origine humaine de la pollution fécale (Fig. 1).

3.3/ Coagulation-floculation des matières en suspension du concentrat

Les essais expérimentaux de coagulation-floculation permettent la diminution de la turbidité, qui est due à la présence des matières en suspension (argiles, limons, grains de silice, matières organiques etc...). L'appréciation de l'abondance de ces matières mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace. Les mesures de turbidité du surnageant ont donc un intérêt dans le contrôle de l'épuration. Ces mesures montrent que la turbidité varie avec la concentration de FeCl_3 (figure 2). Ainsi, elle diminue avec l'augmentation de la concentration de FeCl_3 , elle est optimale et d'ordre 4,2 NTU à une

concentration de 1875 mg/l de FeCl_3 avec un meilleur rendement de décantation de l'ordre de 96%, puis elle commence à augmenter avec l'augmentation de la concentration de FeCl_3 .

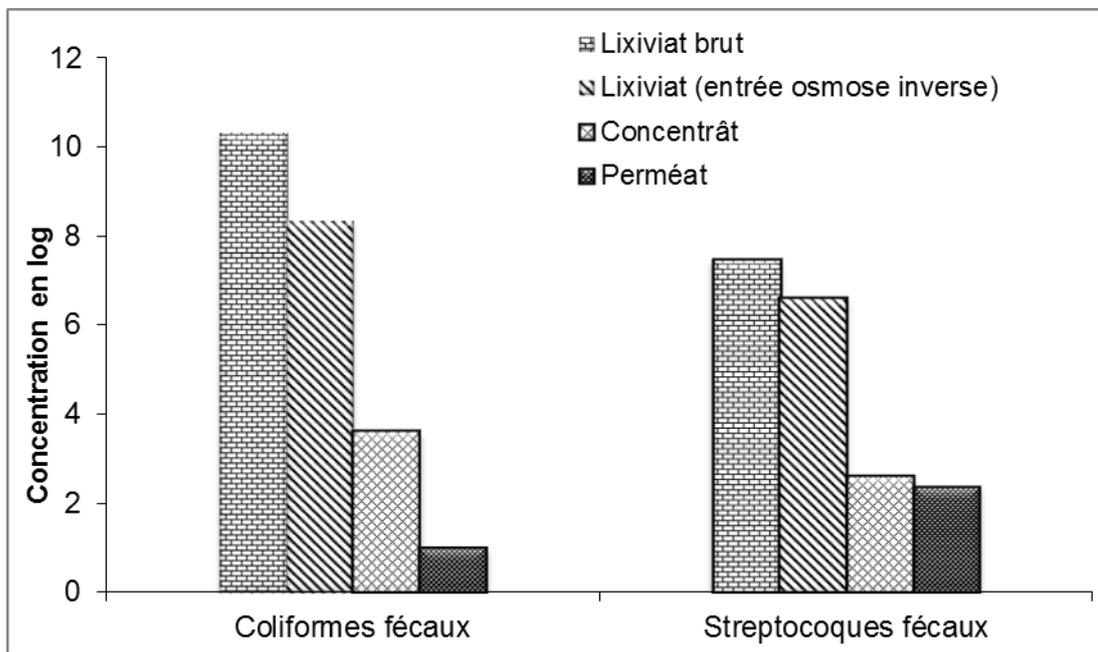


Figure 1 : Analyse bactériologique de lixiviat

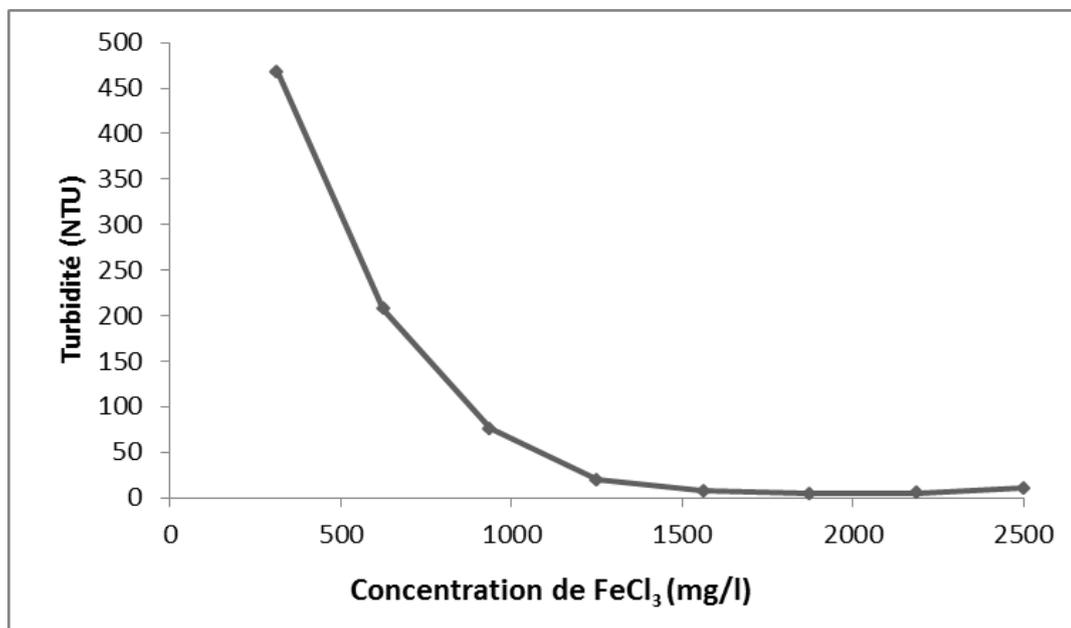


Figure 2 : Variation de la turbidité en fonction de la concentration du coagulant (chlorure ferrique $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$)

La figure 3, montre la variation de volume de boue décanté et le volume de surnageant en fonction de la concentration de FeCl_3 . On remarque qu'avec l'augmentation de la concentration de FeCl_3 , le volume des boues augmente et le volume du surnageant diminue.

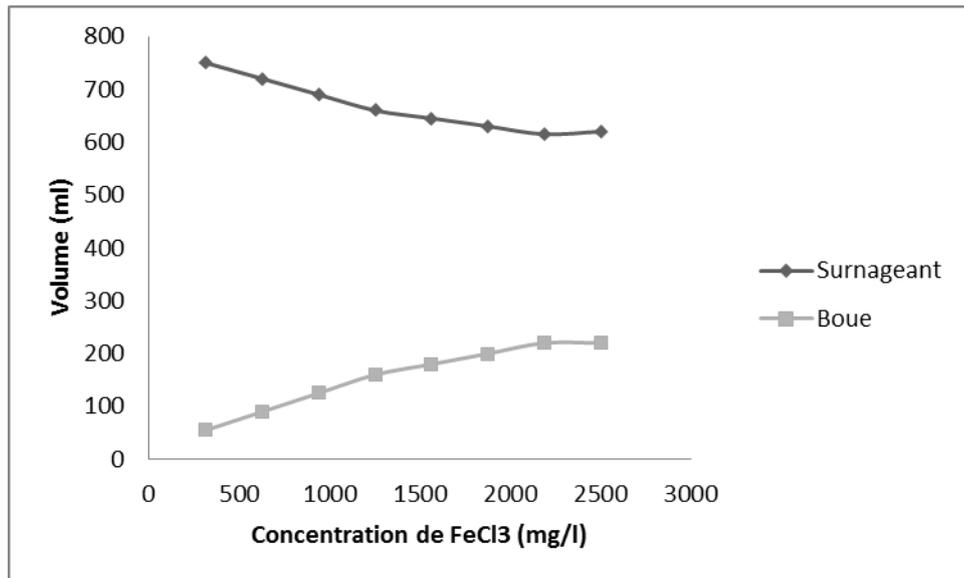


Figure 3 : Variation des volumes de surnageant et de boue en fonction de la concentration du coagulant (chlorure ferrique FeCl₃, 6 H₂O)

3.4/ Décantation et épaississement des boues

L'étude de décantation-épaississement a été effectuée grâce au suivi de l'interface liquide/boue. La descente de cette interface au cours du temps, laissant distinguer quatre zones différentes, à partir de ces zones KYNCH a pu dresser une courbe qui permet de déterminer la vitesse de décantation.

La courbe de KYNCH est caractérisée par une partie linéaire et une autre sous forme de voûte. La première partie on approxime par une fonction linéaire et la deuxième partie par une fonction exponentielle. La précision de nos approximations sera justifiée par des coefficients de corrélation (r) car les estimations seront ajustées en se basant sur la méthode des moindres carrés.

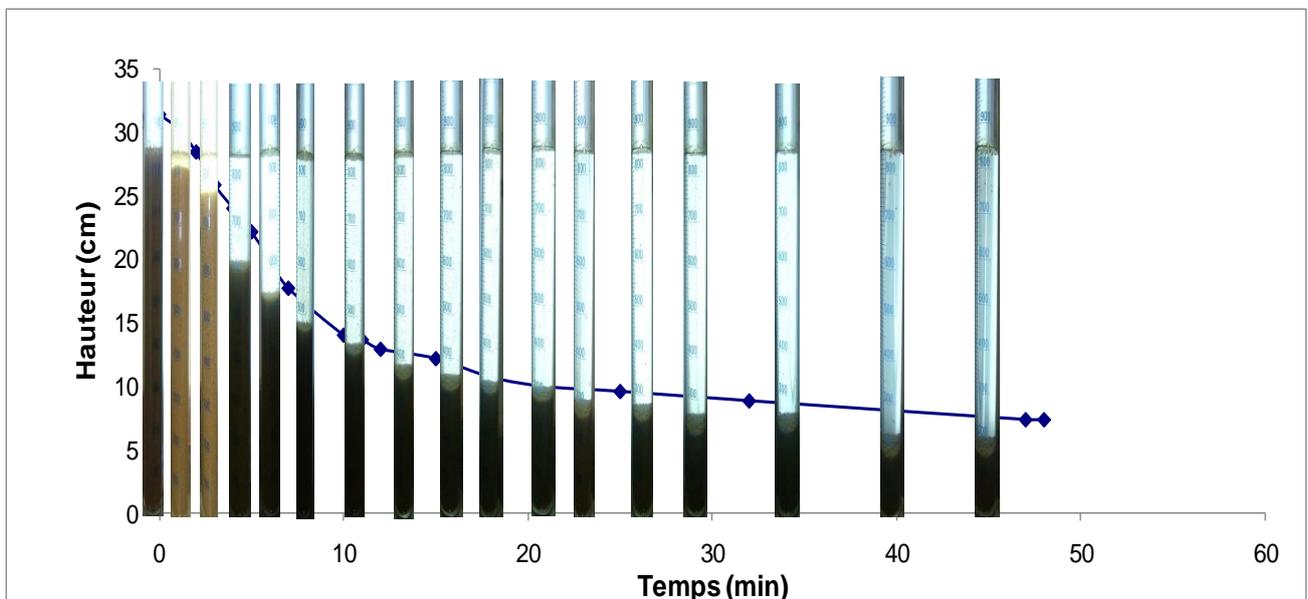


Figure 4 : Hauteur de l'interface en fonction du temps

Le suivi de l'interface liquide/boue est consigné par des prises de photos entre des intervalles de temps appropriés, on observe une démarcation nette entre les solides décantés et le liquide surnageant. (figure 4). Cette présentation permet de tracer la courbe de suivi de la hauteur de l'interface en fonction du temps (figure 5). L'intervalle du temps augmente au fur et à mesure que la décantation s'effectue.

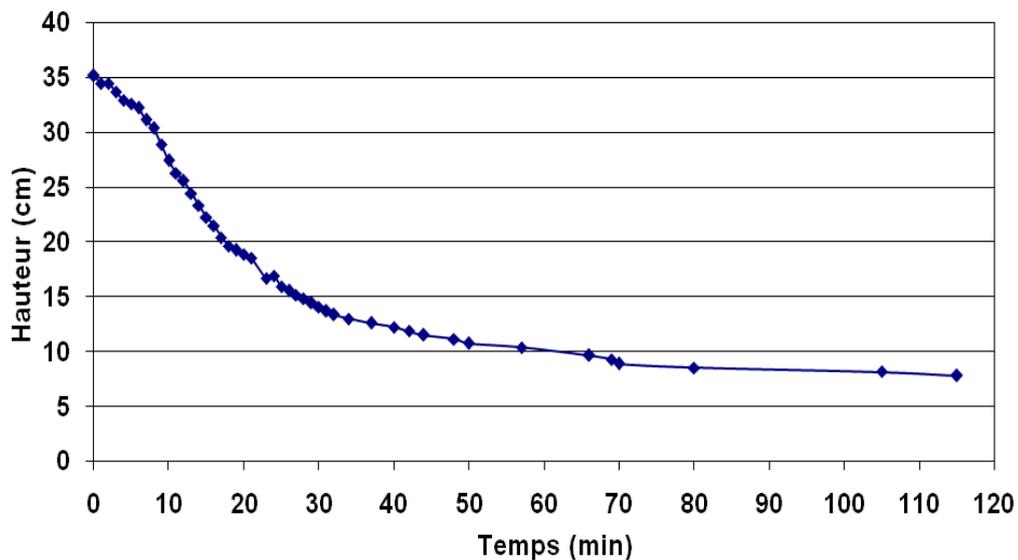


Figure 5 : Hauteur expérimentale en fonction du temps

Par la méthode des moindres carrés, la partie linéaire admet comme fonction $h_i = -at + b$ et la partie en voute admet la fonction $h_i = \lambda e^{-at} + h_\infty$, h_∞ représente la hauteur quand t tends vers l'infini, donc c'est la hauteur à la fin de la décantation. La précision de nos calculs est justifiée par le calcul du coefficient de corrélation pour la partie linéaire comme pour la partie en voute.

La figure 6 représente une comparaison entre les hauteurs théoriques et celles expérimentales.

L'équation de la partie linéaire est $h_i = -2,004 * t + 32,03$ avec un coefficient de corrélation $R = -0,99$ et l'équation de la partie en voute est $h_i = 15,426 e^{-0,0016t} + h_\infty$ avec un coefficient de corrélation $R = -0,97$.

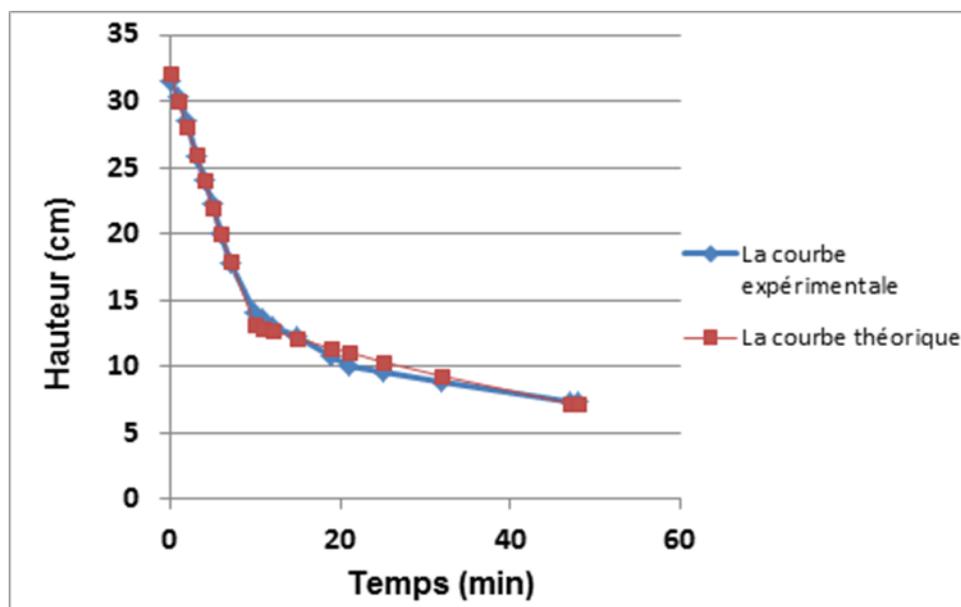


Figure 6 : Hauteur en fonction du temps « expérimentales et théoriques »

La bonne approximation est nettement visible après juxtaposition des deux courbes théorique et expérimentale représentant les hauteurs en fonction du temps. Ainsi, on a pu vérifier expérimentalement l'hypothèse fondamentale de KYNCH. L'exploitation de la courbe de décantation permet le calcul d'une part les vitesses de décantation et d'autre part, les concentrations. On peut déduire ainsi la surface de décanteur-épaisseur de boues.

Conclusion

La quantité de lixiviat à traiter par osmose inverse (débit Q_0) se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes, d'une part une partie (débit Q_p) passe à travers la membrane : perméat qui peut être collecté pour l'irrigation ou stocké pour d'autres utilisations et d'autre part une partie (débit Q_c) qui ne passe pas à travers la membrane : concentrat ou retentât et qui contient l'ensemble des particules retenues par la membrane qui sera collecté et doit subir un traitement avant son élimination. La fraction de débit traversant la membrane est le taux de conversion varie entre 60 et 65%.

En parallèle à la qualité du perméat, le concentrat obtenu présente en plus de la charge en polluants, une teneur en eau rendant difficile son conditionnement et son élimination. Il s'avère nécessaire de procéder à la réduction de cette eau.

Le traitement du concentrat par la combinaison de la coagulation –floculation suivie de la décantation-épaississement a permis d'obtenir un liquide surnageant clarifié, en utilisant le chlorure ferrique $FeCl_3$ comme coagulant chimique, le rendement de décantation peut atteindre 96%.

L'augmentant de la concentration du coagulant entraîne une diminution de volume de surnageant et une augmentation de volume de boue.

Le suivi de l'évolution de l'interface liquide/boue au cours du temps et l'exploitation de la courbe de décantation (hauteur en fonction du temps) permet de déterminer la vitesse de chute d'une particule et la concentration. Ainsi la loi de KYNCH a été vérifiée expérimental et le dimensionnement de décanteur-épaississeur peut être effectué.

Références

1. Aina M.P. Expertise des centres d'enfouissement technique de déchets urbains dans les PED. Thèse de Doctorat. Université de Limoges (2006).
2. Lu Y.-y., Hu Y.-d., Xu D.-m. et Wu L.-y. Optimum design of reverse osmosis seawater desalination system considering membrane cleaning and replacing, *Journal of Membrane Science*, volume 282, page 7 (2006).
3. Hamidi Abdul Aziz, Salina Alias, Mohd. Nordin Adlan, Faridah, A.H. Asaari, Mohd. Shahrir Zahar. Colour removal from landfill leachate by coagulation and flocculation processes, *Bioresource Technology*, volume 98, page 218 (2007).
4. Renou S. Couplage de procédés pour le traitement des lixiviats, Thèse de l'Université Paul Cézanne, Aix-Marseille (2007).
5. Renou S. Intégration des procédés membranaires dans le traitement des lixiviats, revue « L'eau, L'industrie, Les Nuisances », N° 313, juin (2008).
6. Singlande E. Procédés intégrés couplant l'électrodialyse et le traitement biologique : influence de la composition ionique et application au traitement des effluents salins, doctorat de l'université Paul Sabatier (2006).

(2013) ; <http://www.jmaterenvirosci.com/>