

Caractérisation et prétraitement du lixiviat de la décharge de la ville d'Azemmour

EL BADA N.^a, ASSOBBHEI O.^b, KEBBABI A.^c, MHAMDI R.^c et MOUNTADAR M.^a

a : Laboratoire Eaux et Environnement

b : Laboratoire BIOMARE

Faculté des Sciences d'El Jadida, Université Chouaib Doukkali, BP 20, El Jadida, Maroc

c : Laboratoire Eaux et Environnement – CERPHOS, Maroc

Pour toute correspondance : mounta_dar@yahoo.fr

Résumé

Les lixiviats de décharge sont des eaux usées complexes et fortement polluées résultant de la percolation de l'eau de pluie à travers les déchets solides, mais également de processus biologiques, physiques et chimiques ayant lieu au sein même de la décharge. Ces lixiviats contiennent de grandes quantités de matières organiques et inorganiques et ils doivent impérativement être traités avant d'être rejetés dans l'environnement. En raison des exigences croissantes des normes de rejet et de la stabilisation des lixiviats au cours du temps, des nouvelles techniques ont fait leur apparition dans ce domaine telles que les procédés membranaires, les procédés biologiques et les procédés physico-chimique. Toutefois, l'efficacité de ces procédés à l'échelle industrielle est limitée, principalement à cause de la forte charge polluante du lixiviat concerné. Un prétraitement approprié est nécessaire pour surmonter ces limitations. Pour cette raison notre travail présente une étude comparative de trois produits de précipitation (Ca(OH)_2 , CaCO_3 et NaOH) permettant de réduire la charge polluante et surtout la pollution métallique des lixiviats. Les résultats obtenus montrent un abattement très net de la pollution métallique. Cependant, on note une réduction notable mais insuffisante de la pollution organique. Ainsi, le traitement biologique peut s'appliquer en absence de toxicité du lixiviat. Il ressort de cette étude que la chaux est le produit le plus performant pour la réduction de la charge polluante.

Mots clés : déchet solide, lixiviat, traitement, précipitation, métaux lourds.

I. Introduction

Les problèmes d'évacuation, de traitement et en général de gestion des déchets municipaux dans les pays en développement demeurent cruciaux. Avec l'évolution démographique, l'urbanisation forcée et l'amélioration du niveau de vie de chaque pays, la quantité de déchets urbains pro-

duits ne cesse de croître (Charnay, 2005). Au Maroc, le problème des déchets solides est avant tout une contrainte à laquelle sont confrontées les collectivités locales et qui engendre des effets négatifs directs et indirects, liés à la quantité des déchets, à leur évacuation et à leur traitement. Devant l'insuffisance des moyens financiers et matériels mobilisés et l'absence de filière pour le traitement des déchets, seule la mise en décharge demeure l'unique moyen de gestion des déchets solides adopté par les pays en développement. Comparativement à d'autres modes de gestion des déchets, la situation actuelle présente des risques potentiels de dégradation de l'environnement. En effet, et quel que soit son mode d'exploitation, une décharge peut être à l'origine de plusieurs sources de nuisances : émissions d'odeurs, production de biogaz et surtout de lixiviat.

Les lixiviats de décharge sont des eaux usées complexes résultant de la percolation de l'eau de pluie à travers les déchets mais également de processus biologiques, physiques et chimiques ayant lieu au sein même de la décharge. Leur composition révèle notamment de hautes valeurs de conductivité, DCO, DBO_5 , anions, cations, ammoniac, métaux lourds... et dépend de nombreux facteurs : composition des déchets, âge de la décharge, conditions météorologique, etc. (Adam C. et Vassel J.-L., 1988). Ils doivent impérativement être traités avant d'être rejetés dans l'environnement (Renou S. et al., 2007). Des techniques nouvelles de traitement des lixiviats on fait leurs apparitions telle que les procédés membranaires, les procédés biologiques et les procédés physico-chimiques. Toutefois, l'efficacité de ces processus à l'échelle industrielle est limitée, principalement à cause de la forte charge polluante des lixiviats concernés. Un prétraitement approprié est nécessaire pour surmonter ces limitations. La précipitation chimique est la plus largement utilisée en raison de sa simplicité d'utilisation (Renou S. et al., 2007). Dans cette approche, les ions métalliques dissous sont convertis à la phase insoluble solide via une réaction avec un produit chimique. Ainsi, des précipités de faible solubilité produits sont obtenus, comme les hydroxydes de métaux lourds

(BLAIS J.-F. et al., 1999). Le précipité obtenu est ensuite séparé de l'eau par sédimentation et/ ou filtration ou flottation. L'efficacité des agents de précipitation dépend, par exemple, du pH des effluents et de la nature des composés organiques présents. Pour cette raison, notre travail présente une étude comparative de trois matériaux de précipitation ($\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 et NaOH) afin de réduire la charge polluante et surtout la pollution métallique des lixiviats, et pour adopter le produit le plus performant à la précipitation.

2. Matériel et méthodes

Dans l'étude expérimentale, les échantillons ont été conservés dans un réfrigérateur à une température inférieure à 4 °C et ont été transmis au laboratoire dans les 24 heures qui suivent. Les paramètres qui ont été analysés sont le pH, la conductivité électrique X, la turbidité, la demande chimique en oxygène DCO, et les métaux lourds. Toutes les analyses expérimentales ont été effectuées conformément à la norme AFNOR. Dans cette étude, le pH a été mesuré par pH-mètre WTW, pH 522 avec électrode combinée, la conductivité par un multi-paramètre HACH, modèle 44600, et les métaux lourds par ICP (modèle Shimadzu AA660), conformément aux méthodes standard pour l'analyse de l'eau et des eaux usées (APHA, 1992).

Tous les essais de précipitation/coagulation ont été réalisés à température ambiante et les expériences ont été menées dans un appareil à jar test pour déterminer la dose optimale des produits utilisés. Pour chaque essai, on prélève 300 ml du lixiviat auquel on ajoute des masses variant de 0 à 3 g, soit des doses allant de 0 à 10 g/l pour les trois produits utilisés, sous une agitation rapide de 250 rpm/min pendant 60 min, suivie par une décantation durant 30 min. Après la décantation, des prélèvements du surnageant ont été réalisés pour effectuer des analyses.

3. Résultats

3.1. Caractérisation des lixiviats

Les lixiviats ont été prélevés du site de la décharge d'Azemmour. Le tableau 1 donne les valeurs des paramètres physico-chimiques analysés. Les résultats montrent une grande variabilité dans la composition du lixiviat. Cette variabilité dépend essentiellement de l'évolution biologique et physico-chimique de ces effluents au cours du temps. Pour cette raison, les valeurs limites du tableau 1 représentent les variations des différents paramètres.

La valeur de DCO (138.76 mg d' O_2 /L) révèle une charge organique relativement élevée. Ces lixiviats sont caractérisés par une conductivité très élevée (11.61 mS/cm) et un pH relativement basique. Ainsi, ces effluents sont chargés en sels dissous et les concentrations de certains métaux lourds sont relativement supérieures aux normes de rejet marocain.

Tableau 1 : Composition moyenne du lixiviat et normes marocaines

Paramètre	Composition du lixiviat étudié		Norme marocaine
	Valeur moyenne	Valeur limite	Valeurs limites des rejets directs
Paramètres globaux			
pH	7.78	7.5 - 8	6.5 - 8.5
conductivité (mS/cm)	11.61	11.5 - 50	2.7
DCO (mg de O_2 /l)	138.76	120 - 700	500
Turbidité (NTU)	103	90 - 400	****
Principaux ions			
Paramètre	Valeur moyenne en mg/l	Valeur limite en mg/l	Valeurs limites des rejets directs en mg/l
Al	< 0.850	< 0.850	10 mg/l
As	< 0.3	< 0.3	0.1 mg/l
Ba	0.049	0.04 - 0.2	1 mg/l
Cd	< 0.020	< 0.020	0.2 mg/l
Co	0.047	0.02 - 0.05	0.5 mg/l
Cr	0.350	0.3 - 0.5	0.2 mg/l
Cu	< 0.1	< 0.1	0.5 mg/l
Fe	4.964	4.6 - 20	3 mg/l
Hg	< 0.1	< 0.1	0.05 mg/l
Mn	0.09	0.09 - 0.4	1 mg/l
Ni	0.156	0.15 - 0.63	0.5 mg/l
Pb	< 0.4	< 0.4	0.5 mg/l
SO_3	114.33	60 - 150	****
Se	< 0.5	< 0.5	0.1 mg/l
Zn	0.328	0.2 - 0.9	5 mg/l
Mg	90	90 - 400	****

Cela révèle que les lixiviats sont dans l'étape réactionnelle de dégradation anaérobie correspondant au début de la phase méthanique. Le pH mesuré permet de tenir compte de cette phase d'évolution biochimique (Kjeldsen P. et al., 2002). Ces caractéristiques ne permettent de faire ni un traitement biologique ni un traitement membranaire efficace. Par conséquent, un traitement préliminaire est nécessaire pour réduire les taux des métaux lourds et la turbidité pour éviter les problèmes de toxicité et/ou de colmatage des membranes.

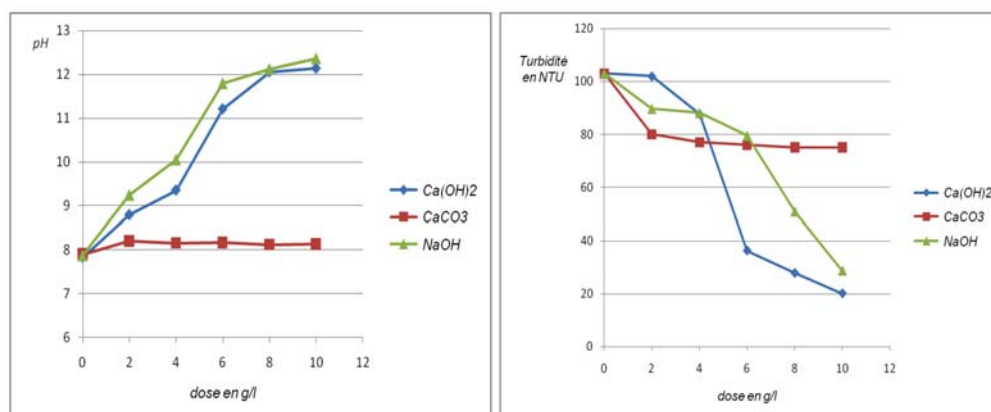
3.2. Étude de prétraitement des lixiviats

La précipitation est de loin la méthode la plus commune pour enlever des métaux des eaux usées en tant qu'hydroxyde, carbonate ou sulfure (Peters et KU, 1984). Dans ce travail, on a étudié la précipitation des métaux lourds en utilisant la chaux, la calcite et la soude. L'effet de ces trois matériaux sur la charge organique et la turbidité des lixiviats est également étudié.

3.2.1. Evolution des paramètres globaux

Plusieurs doses de chaux, de calcite et de soude comprises entre 0 et 10 g L⁻¹ ont été ajoutées au lixiviat pour déterminer la dose optimale des trois matériaux. Les résultats de ces expériences sont présentés dans les figures 1, 2, 3, 5 et 6. Expérimentalement, l'addition de ces trois matériaux semble avoir des effets différents sur le lixiviat. Le pH du surnageant augmente continuellement avec l'ajout de masses plus grandes des trois matériaux, et atteint les valeurs de 12.12, 12.06 et 8.16 respectivement pour les doses optimales de la soude, de la chaux et de la calcite (Figure 1). L'augmentation du pH du surnageant s'explique par l'ajout d'ions OH⁻ en solution.

Figure 1 : Evolution du pH et de la turbidité du lixiviat avec une dose croissante des trois matériaux



Au cours de la précipitation, le lixiviat subit également une décoloration qui évolue avec l'augmentation de la dose de chaux et de soude. La couleur du lixiviat subit des changements progressifs, après décantation de la phase précipitée, d'un noir initial à un brun clair suite à l'ajout de la soude et au jaune clair après addition de la chaux. Par contre, aucun changement n'est observé après addition de la calcite. La comparaison des données de la turbidité pour les trois produits (Figure 1) montre que la chaux réduit d'avantage la turbidité des eaux de lixiviation.

La figure 2 montre que la précipitation par la chaux à un effet remarquable sur la fraction organique des lixiviats par rapport à la soude et à la calcite pour des doses supérieures à 6 g/l. Cet effet a également été observé par plusieurs auteurs travaillant sur le traitement des eaux de lixiviation,

des eaux souterraines et des solutions organiques de synthèse par la chaux (Liao M.Y., Randtke S.J., (1985). La DCO de lixiviat diminue avec la dose croissante des trois matériaux. Pour les doses optimales des trois matériaux, l'élimination des matières organiques matière atteint 31 %, 24 % et 16 % de la DCO respectivement pour la chaux, la soude et la calcite. Cette réduction reste faible et un traitement secondaire est nécessaire. Par contre, l'introduction de la chaux et la soude a un effet important sur la conductivité.

La figure 3 montre que les ions Mg²⁺ précipitent massivement suite à l'addition de la chaux ou de la soude. Pour la chaux, qui est le matériau le plus performant, la conductivité diminue progressivement jusqu'à ce que les concentrations des ions Ca²⁺ et Mg²⁺ deviennent des facteurs

limitant la précipitation (Renou, S, et al. 2007). Ainsi la dose de la chaux ajoutée est optimale et elle correspond à la réduction maximale de la conductivité. Au-dessus de cette dose, la conductivité commence à augmenter puisque l'excès de chaux introduit dans la solution une augmentation des ions Ca^{2+} et OH^- . Cependant, l'ajout de soude introduit dans la solution les ions Na^+ et OH^- qui entraînent l'augmentation de la conductivité et la précipitation des ions Mg^{2+} à partir de la dose optimale. En revanche, l'addition de calcite n'a aucun effet sur la conductivité.

Figure 2 : Evolution de la conductivité et de la DCO du lixiviat avec une dose croissante des trois matériaux

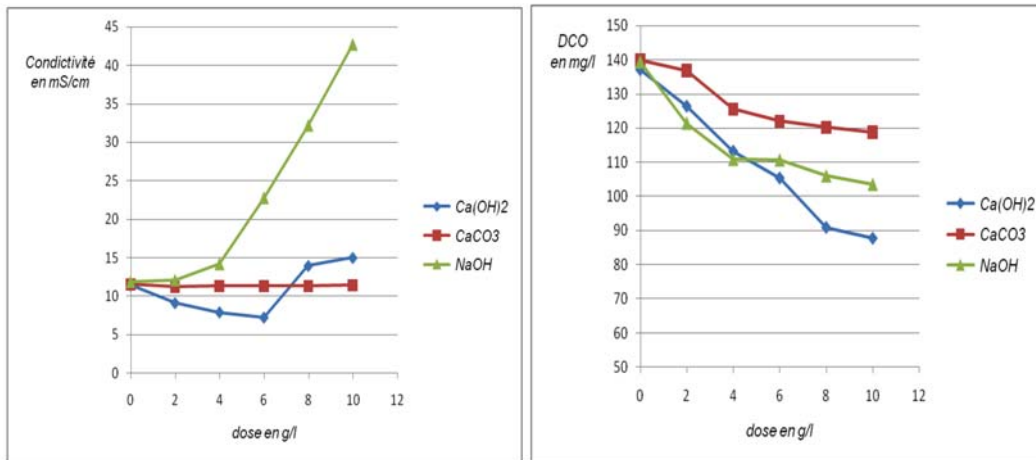
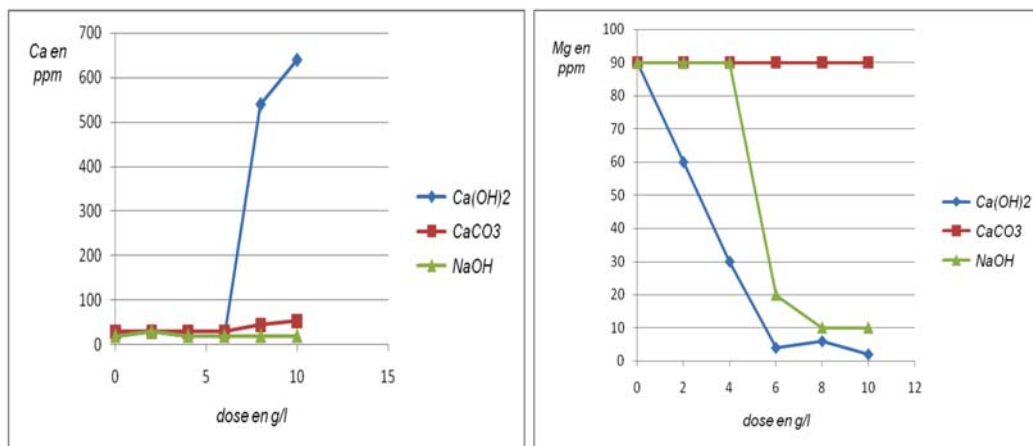


Figure 3 : Evolution de la concentration des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} dans le lixiviat avec une dose croissante des trois matériaux

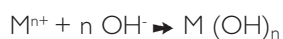


3.2.2 Evolution des principaux ions métalliques

Les traitements physico-chimiques constituent généralement un complément indispensable aux traitements biologiques et membranaires. Ils permettent d'éliminer les composés non biodégradables pour réduire la toxicité.

La précipitation est le traitement le plus utilisé vu le coût et l'efficacité d'élimination des métaux sous forme d'hydroxyde métallique (Fe, Zn, Ba, Cr, Ni, Mn...). Elle dépend principalement du pH de la solution, qui doit être proche de la valeur optimale, laquelle évolue entre 7 et 10.5

(Salem Z. et al., 2007). La précipitation des métaux lourds du lixiviat est représentée par la réaction suivante :



Cette réaction se traduit par la production de boues, une réduction de la charge organique soluble et une atténuation de la couleur et de la turbidité.

Les essais de précipitation montrent une nette diminution de la concentration des métaux lourds des lixiviats. Les concentrations d'Al, As, Cd, Cu, Pb et Hg et Se sont au-dessous du seuil de détection par l'ICP. En conséquence, aucune tendance significative ne peut être déchiffrée à partir de leurs valeurs. La comparaison des résultats des trois matériaux montre que l'élimination des métaux par la chaux est la plus grande en général (figures 7, 8, 9 et 10 et tableau 2).

Figure 4 : Evolution de la concentration des ions Fe et Zn dans le lixiviat avec une dose croissante des trois matériaux

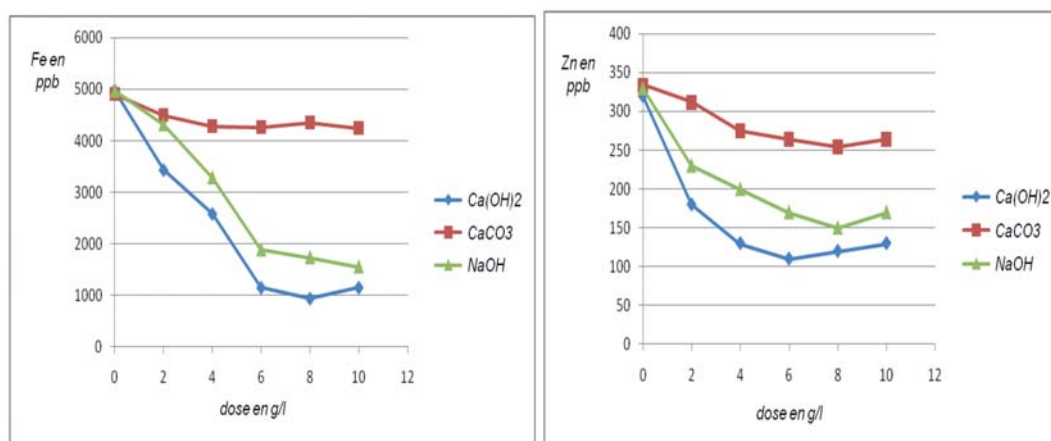


Figure 5 : Evolution de la concentration des ions Mn et SO3 dans le lixiviat avec une dose croissante des trois matériaux

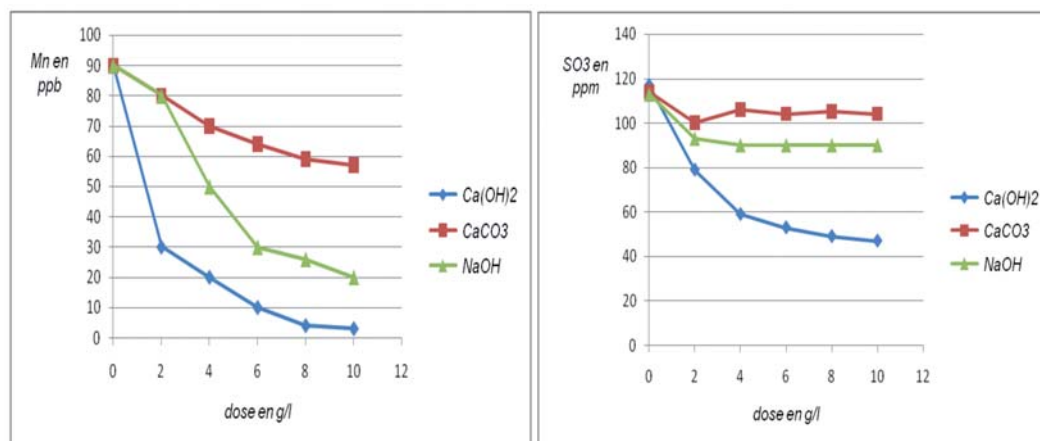


Figure 6: Evolution de la concentration des ions Ba et Co dans le lixiviat avec une dose croissante des trois matériaux

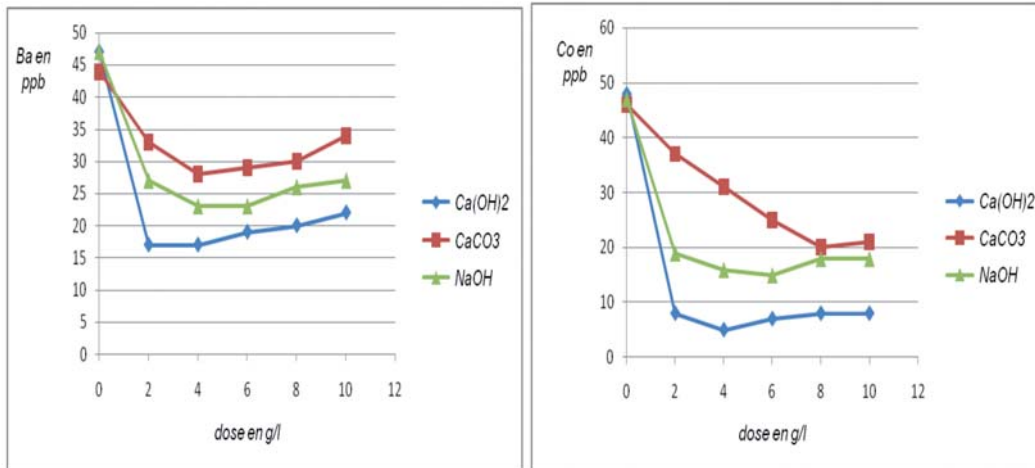


Figure 7: Evolution de la concentration des ions Ni et Cr dans le lixiviat avec une dose croissante des trois matériaux

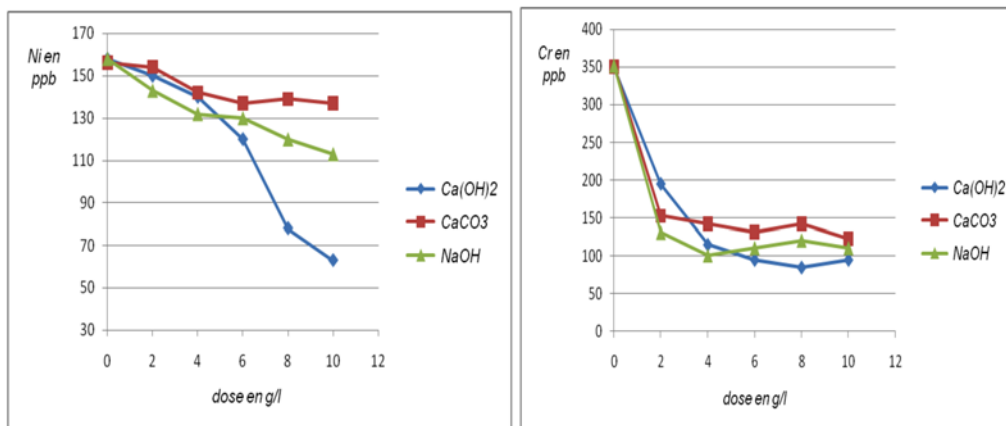


Tableau 2 : Tableau comparatif des performances des trois matériaux pour une dose de 6g/l

Paramètre	Ca(OH) ₂	NaOH	CaCO ₃
Dose optimale		6 g/l	
pH	11 – 12	11 – 12	7 – 8
DCO	23 %	13 %	21 %
Turbidité	65 %	26 %	23 %
Mg	96 %	78 %	0 %
Ba	60 %	51 %	34 %
Cr	73 %	68 %	62 %
Co	85 %	68 %	48 %
Fe	77 %	62 %	13 %
Ni	24 %	18 %	12 %
Mn	89 %	67 %	29 %
Zn	66 %	48 %	21 %
SO ₃	55 %	20 %	9 %
Quantité de boues	élevée	moyenne	faible

Une nette diminution de la concentration des métaux lourds (Fe, Zn, Mn, Ba, Co, Cr, Ni) dans les lixiviats est observée lors de la précipitation avec la chaux. Il est à noter que l'élimination pour la plupart des éléments métalliques est efficace au-delà de la dose optimale de 6 g/l. A partir de cette dose, le pH est fortement basique et atteint l'optimum de la valeur de pH situé entre 10 et 12. La précipitation du manganèse, du zinc, du fer et des ions SO_3 augmente rapidement avec l'augmentation du pH. Elle atteint 89 %, 66 %, 77 % et 55 % respectivement pour les quatre ions précités pour la chaux, 67 %, 48 %, 62 % et 20 % respectivement pour la soude, et uniquement 29 %, 21 %, 13 % et 9 % respectivement pour la calcite. L'élimination du baryum, du chrome et du cobalt atteint 60 %, 73 % et 85 % respectivement pour la chaux, 51 %, 68 % et 68 % respectivement pour la soude et 34 %, 62 % et 48 % respectivement pour la calcite. L'élimination du nickel reste faible par rapport aux autres métaux et ceci pour les trois matériaux. Elle n'est que de 24 % pour la dose optimale de la chaux, 18 % pour la soude et 12 % pour la calcite. Ce pourcentage d'élimination atteint des valeurs significatives au-delà de cette dose : il est de 60 % pour une dose de 10 g/l de chaux.

Conclusion

Les principaux objectifs de cette étude étaient d'évaluer la pollution des lixiviats, afin de fournir des données qui pourraient être utilisées comme référence pour le traitement des lixiviats en général et la réduction de la pollution métallique en particulier. Cette étude montre que la charge organique, la turbidité et les teneurs en sels dissous sont relativement élevées. La précipitation/coagulation avec la chaux permet de réduire davantage la charge polluante en général et métallique en particulier avec un coût minimal par rapport aux autres matériaux. De même, le traitement secondaire est en faveur du traitement biologique vu la composition des lixiviats prétraités. La dose optimale de chaux est d'environ 6 g/L. L'abattement de tous les métaux analysés est significatif : d'environ 89 % pour le magnésium, 85 % pour le cobalt, 77 % pour le fer, 73 % pour le chrome, 66 % pour le zinc, 60 % pour le baryum, 55 % pour les ions SO_3 , et 24 % pour le nickel. Ce prétraitement élimine également 23 % de la charge organique et 65 % de la turbidité. Ce prétraitement avec la chaux permet de réduire la toxicité par les métaux et par conséquent le traitement biologique sera plus efficace après un ajustement de pH.

Bibliographie

- AFNOR NFT (1990), Eaux méthodes d'essais.
- ADAM C. et VASEL J.-L., (1998), Caractérisation de la toxicité des lixiviats d'ordures ménagères. Revue la Tribune de l'eau, ISSN 0776-1155.
- APHA, (1992). Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 19th ed. American Public Health Association, Washington DC.
- Baun D.L., Christensen T.H., (2004), Speciation of Heavy Metals in Landfill Leachate: a Review. Waste Management and Research., 22, 3– 23.
- BLAIS J.F, DUFESNE S, et MERCEIR G., (1999), Etat du développement technologique en matière d'enlèvement des métaux des effluents industriel.
- CHARNAY F., (2005), Compostage des déchets urbains dans les pays en développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de doctorat, pp 5.
- Kjeldsen P, Barlaz M. A., Rooker A. P., Baun A., Ledin A. and Christensen. (2002) Present and Long-Term Composition of MSW Landfill leachate: A Review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 32, 297-336.
- Liao M.Y., Randtke S.J., (1985), Removing Fulvic Acid by Lime Softening, J. Am. Water Works Assoc, 77, 78–88.
- Peters R.W., KU Y., (1984), Removal of Heavy Metals from Industrial Plating Waste Waters by Sulfide Precipitation. 57th Industrial Waste Symposium, Water Pollution Control Federation Annual Conference pp. 553-568.
- Randtke S.J., Thiel C.E., Liao M.Y., Yamaya C.N., (1982) , Removing Soluble Organic Contaminants by Lime Softening, J. Am. Water Works Assoc, 74, 192–202.
- Renoua. S, Poulain. S, Givaudan. J.G, Moulin. P, (2008), Treatment Process Adapted to Stabilized Leachates: Lime Precipitation-Pre-filtration-Reverse Osmosis. Journal of Membrane Science, 313, 9-22.
- Salem Z., Hamouri K., Djemaa R., Allia K., (2008), Evaluation of Landfill Leachate Pollution and Treatment. Desalination, 220, 108–114.