

# Analyse des métaux lourds des lixiviats des déchets ménagers et industriels avant et après filtration-percolation à travers le sable, les cendres volantes et le sol argileux

Younes Aznag, Zouhair El Jouad, Hafsa Ezahraoui, Khaled Mnaouer

Laboratoire de physique de la matière condensée

Université Chouaib Doukkali

Faculté des Sciences, département de physique

El Jadida, Maroc.

## Abstract

**ANALYSIS OF HEAVY METALS IN LEACHATE FROM HOUSEHOLD WASTE AND INDUSTRIAL BEFORE AND AFTER FILTRATION-PERCOLATION THROUGH SAND, FLY ASH AND CLAY SOIL**

Percolation filtration through natural adsorbents is an effective method for reducing heavy metals in leachate. Natural adsorbents such as sand, fly ash, clay soil, can adsorb heavy metals present in this liquid effluent. Heavy metals can be adsorbed on the surface of natural adsorbents due to weak intermolecular forces, in addition they can react with functional groups present on the surface of natural adsorbents to form stable complexes, and can be exchanged for ions present on the surface of natural adsorbents. This purification method remains

La filtration percolation à travers des adsorbants naturels est une méthode efficace pour réduire les métaux lourds dans les lixiviats. Les adsorbants naturels tels que le sable, les cendres volantes, le sol argileux peuvent adsorber les métaux lourds présents dans cet effluent liquide. Les métaux lourds peuvent être adsorbés sur la surface des adsorbants naturels en raison de forces intermoléculaires faibles, en plus ils peuvent réagir avec les groupes fonctionnels présents sur la surface des adsorbants naturels pour former des complexes stables, et peuvent être échangés contre des ions présents sur la surface des adsorbants naturels.

Cette méthode de purification reste le procédé de choix, non seulement dans les zones rurales, mais aussi dans de nombreux pays industrialisés. Elle s'est révélée simple, sûre, peu coûteuse et efficace dans des conditions très diverses. Elle présente, par rapport aux autres méthodes, l'avantage considérable de tirer un meilleur parti des compétences locales et des matériaux disponibles dans les pays en voie de développement et d'éliminer la contamination bactérienne. Nous avons développé au laboratoire un système d'infiltration percolation en utilisant un lit filtrant constitué de sable marin, de cendres volantes et du sol agricole argileux. Les paramètres analysés dans cette étude sont le cadmium, le chrome, le cuivre, le fer, le plomb, le zinc et le mercure. Les résultats obtenus par ce système de traitement sont très positifs car les abattements obtenus sont évalués à plus de 80%. Le filtrat obtenu, est parfaitement dans les normes pour être utilisé pour des besoins industriels, et agricole comme l'irrigation.

La production croissante des ordures ménagères et des déchets industriels entraîne des problèmes de pollution critiques. La nature de plus en plus complexe et

hétérogène de ces déchets implique des difficultés pour leur traitement et leur gestion. Une grande partie est mise en décharge, sans précautions, ce qui constitue une réelle et permanente

the process of choice, not only in rural areas, but also in many industrialized countries. It has proven to be simple, safe, inexpensive and effective under a wide range of conditions. It has the considerable advantage over other methods of making better use of local expertise and materials available in developing countries and of eliminating bacterial contamination. We have developed in the laboratory a percolation infiltration system using a filter bed consisting of marine sand, fly ash and clayey agricultural soil. The parameters analyzed in this study are cadmium, chromium, copper, iron, lead, zinc and mercury. The results obtained by this treatment system are very positive because the reductions obtained are estimated at more than 80%. The filtrate obtained is perfectly within the standards to be used for industrial and agricultural needs such as irrigation.

menace pour l'environnement. Les lixiviats produits en grande quantité dans des endroits où sont entreposés des déchets très humides et sans précaution vis-à-vis de la pluviométrie sont très chargés en polluants organiques issus en particulier des réactions de fermentation. Ces lixiviats peuvent contenir beaucoup de matières organiques (biodégradables, mais aussi réfractaires à la biodégradation) constituées dans la majeure partie par des substances humiques, mais aussi par de l'azote ammoniacal, des métaux lourds, des organochlorés et des sels inorganiques. Une partie de ces lixiviats s'infiltré dans le sol qui présente des fissures, ce qui peut engendrer une pollution des eaux souterraines. Une étude d'impact et une quantification de la pollution du lixiviat s'avèrent donc nécessaires afin de pouvoir orienter correctement la collecte, le triage, la valorisation et le traitement des déchets solides.

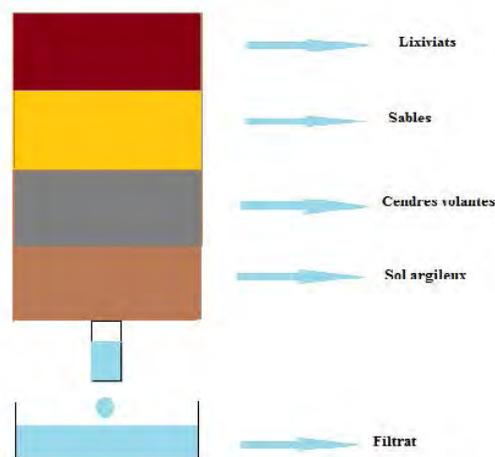
Dans ce contexte et afin de purifier ces lixiviats, nous avons développés au laboratoire un système d'infiltration percolation en utilisant une matrice filtrante composée de sable marin, de cendres volantes et de sol agricole argileux. Nous avons choisi ce genre de filtre naturel pour sa simplicité d'acquisition, et surtout pour son efficacité et son rendement et terme de purification. Notre recherche a été axée principalement sur la réduction des métaux lourds détectés dans ces rejets liquides. Pour donner plus de valeurs à nos résultats nous les avons confrontés à ceux de l'eau potable. Toutes les analyses ont été effectuées

par ICP. Les métaux lourds que nous avons poursuivis sont le cadmium, le chrome, le cuivre, le fer, le plomb, le zinc et le mercure. [1-20].

Le montage expérimental utilisé est schématisé dans la figure 1, il s'agit d'une colonne verticale, de 10 cm diamètre, et de 100 cm de hauteur. Le lit filtrant est constitué dans l'ordre précis de sable marin, de cendres volantes et de sol agricole argileux. L'alimentation du système se fait exclusivement par des lixiviats des déchets ménagers et industriels.

### SUPPORTS UTILISÉS

Les adsorbants utilisés dans notre matrice filtrante sont le sable marin, les cendres volantes et le sol argileux. Ces derniers sont très riches en silices et en calcites jouant un rôle important dans la rétention des métaux lourds des lixiviats. Ces matériaux peuvent contribuer à la rétention de ces derniers par filtration mécanique et par adsorption physique sachant que le sable peut adsorber les métaux lourds en raison de forces intermoléculaires faibles et par échange d'ions. Les cendres volantes peuvent adsorber les métaux lourds par adsorption chimique et peuvent aussi précipiter les métaux lourds en raison de réactions chimiques et finalement par échange d'ions avec les métaux lourds présents dans les lixiviats. Finalement, le sol argileux peut adsorber les métaux lourds en raison de forces intermoléculaires faibles et de réactions chimiques.



**Figure 1:** Montage expérimental utilisé pour la filtration des lixiviats des déchets ménagers et industriels.

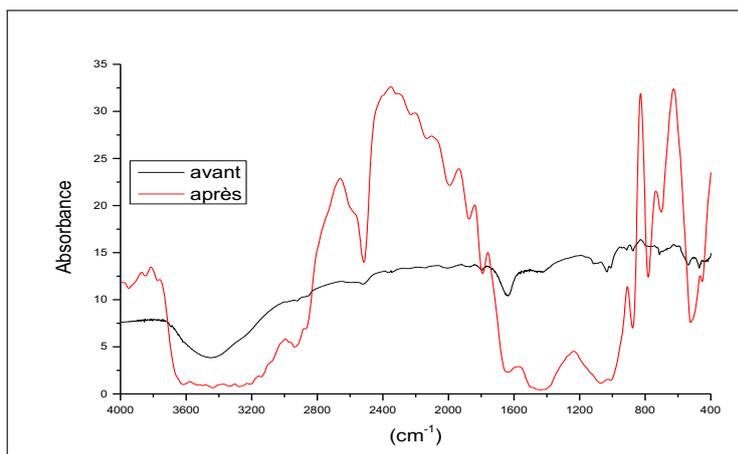


Figure 2: Spectre IR du sable marin avant et après filtration.

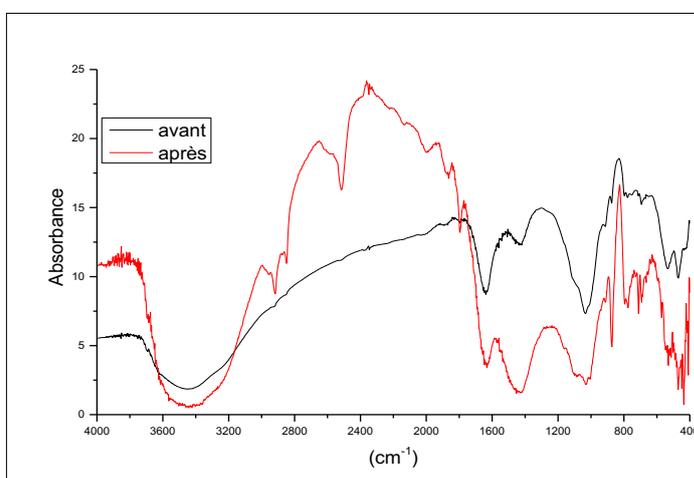


Figure 3: Spectre IR du sol agricole avant et après filtration.

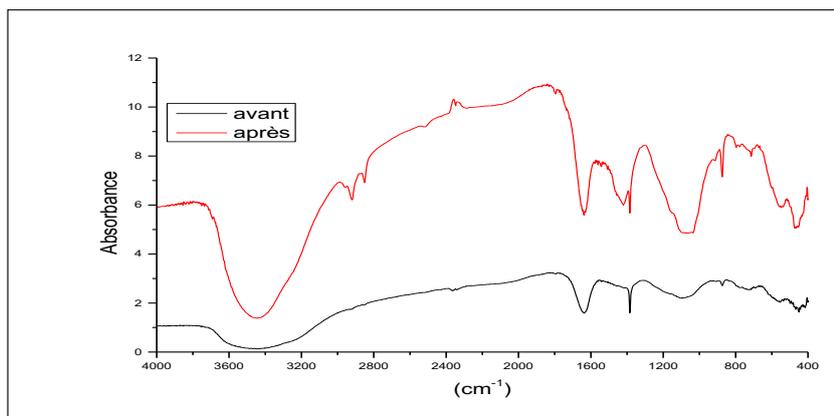


Figure 4: Spectre IR des cendres avant et après filtration.

Dans le but de donner une identification plus ou moins complète des fonctions de surface des supports utilisés pour le traitement des eaux usées industrielles,

ces matériaux solides ont été analysés par spectroscopie infrarouge avant et après utilisation dans la filtration de nos effluents liquides.

**Le sable marin.** Le spectre infrarouge de l'échantillon du sable avant et après traitement (voir Figure 2), les deux dilués dans le KBr, montre la présence des bandes suivantes : Une bande vers 3400  $\text{cm}^{-1}$  attribuée au groupement OH de l'eau, une bande faible vers 3100-2800  $\text{cm}^{-1}$  attribuée à des liaisons N-H dans les nitrates, fonction amine. On note la présence des bandes vers 2500-2300  $\text{cm}^{-1}$  attribuées aux vibrations des liaisons C-H des aromatiques ; La bande 2200-1900  $\text{cm}^{-1}$ , attribuée aux vibrations des liaisons C=O des esters des phtalates [51,52]. Une bande dans la zone 1800-1200  $\text{cm}^{-1}$  est attribuée à la vibration des liaisons N-H et C=N dans les nitrates et amines. La bande qui apparaît dans la zone 1200-1000  $\text{cm}^{-1}$  caractérise les carbonates, et enfin des bandes dans la zone 700-500  $\text{cm}^{-1}$ , attribuée à l'élongation de C-O dans les acides, alcools et phénols [21-26].

**Le sol agricole.** Le spectre IR du sol agricole (voir Figure 3) présente dans la région une bande vers 3400  $\text{cm}^{-1}$  attribuée à des vibrations OH des groupements hydroxyles liés ou libres. La bande vers 2520  $\text{cm}^{-1}$  attribuée au groupement C-H des aromatiques, et des bandes vers 2100-1900  $\text{cm}^{-1}$ , attribuées aux C=O des esters des phtalates. On observe aussi des bandes caractéristiques carbonates dans la zone 1200-1000  $\text{cm}^{-1}$ . Enfin des bandes à 1110 et 600  $\text{cm}^{-1}$  attribuées aux vibrations C=O des composés organiques [27-30].

**Les cendres volantes.** La figure 4 représente le spectre infrarouge des cendres volantes avant traitement dilué dans le KBr. On note la présence des bandes suivantes : Une bande vers 3400  $\text{cm}^{-1}$  attribuée à des vibrations hydroxyle OH de l'eau. Les bandes qui apparaissent dans la zone 2800-2200  $\text{cm}^{-1}$  sont attribuées à des vibrations C-H des aromatiques. On note la présence d'une bande vers 2000-1000  $\text{cm}^{-1}$  attribuée aux vibrations des liaisons d'eau adsorbée [56]. La présence de la bande vers 1400  $\text{cm}^{-1}$  est liée à la vibration de déformation de NH. Les bandes vers 1000  $\text{cm}^{-1}$ , peuvent être attribuées à des espèces carbonates ; enfin des bandes 900-500  $\text{cm}^{-1}$  qui expriment la vibration des liaisons Si-O-Si ou Si-O-Al. [31-38].

**RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

Les lixiviats étudiés, proviennent des dépôts des déchets ménagers et

industriels. Ces derniers ont été analysés soigneusement par ICP (*Inductance Couplage Plasma*). Le tableau 1 présente

en ppm la concentration de quelques éléments toxiques à savoir le cadmium, le chrome, le cuivre, le fer, le plomb, le zinc et le mercure.

Dans le tableau 2, nous avons exposé les valeurs en ppm de ces mêmes métaux lourds dans le filtrat obtenu après filtration par nos adsorbants. Pour valider les résultats obtenus, nous avons jugé très utile, et intéressant de faire une comparaison avec l'eau potable, que nous avons aussi analysée par ICP (tableau 2) Les résultats du tableau 2, sont présentés par des histogrammes présentés par les figures 5, 6, 7, 8, 9 et 10.

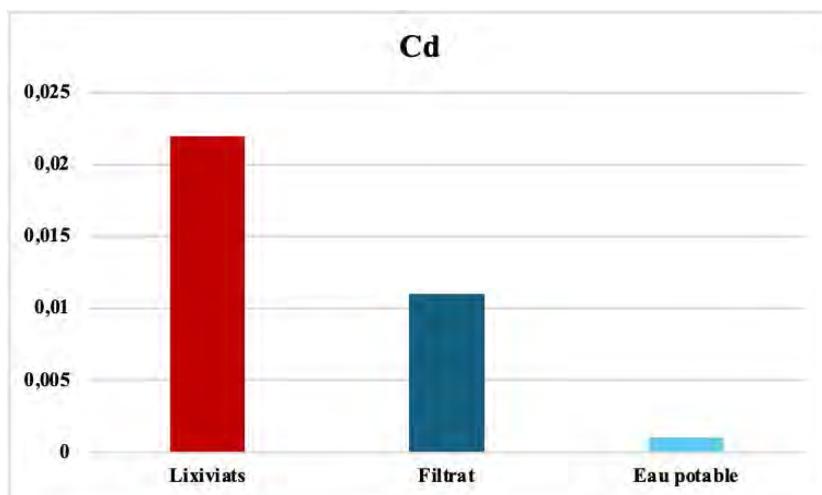


Figure 5: Évolution du cadmium avant et après filtration.

Tableau 1: Analyse par ICP des lixiviats étudiés avant filtration.

Métaux lourds	Valeurs en ppm
Cd	0,022
Cr	0,21
Cu	0,27
Fe	5,42
Pb	0,16
Zn	3,32
Hg	0,09

Tableau 2: Analyse par ICP des lixiviats étudiés après filtration.

Métaux lourds	Lixiviats	Filtrat	Eau potable
Cd	0,022	0,011	0,001
Cr	0,21	0,09	0,007
Cu	0,27	0,13	0,02
Fe	5,42	1,03	0,01
Pb	0,16	0,05	0,009
Zn	3,32	1,08	0,06
Hg	0,09	0,001	0,001

**Le cadmium avant et après filtration.** Le cadmium est un métal lourd qui peut causer des problèmes de santé graves, notamment des troubles du système rénal et des dommages aux os. Le taux de cadmium dans les lixiviats provient de la production de fertilisants non naturels à base de phosphate et aux rejets industriels liés à la métallurgie. Son traitement à travers le filtre utilisé a diminué la concentration du cadmium de 0,022 ppm à 0,011 ppm (voir Figure 5).

Cet abattement est expliqué par l'immobilisation au niveau du substrat via des mécanismes tels que l'adsorption au niveau des sites d'échanges, la fixation à la matière organique, incorporation dans la structure du sol et par précipitation sous forme de composés insolubles [39-42].

**Le zinc avant et après filtration.** Le zinc présent dans les lixiviats peut provenir que ce soit : des déchets ménagers, tels que les batteries, les appareils électriques et les produits de soins personnels, des déchets industriels, tels que les déchets de l'industrie chimique, de l'industrie minière et de l'industrie sidérurgique, où des déchets de construction, comme les déchets de plâtre et de ciment. Le zinc peut être toxique pour les organismes vivants, notamment les poissons et les plantes et peut s'accumuler dans les organismes vivants et causer des problèmes de santé graves et peut contaminer les eaux souterraines et superficielles, ce qui peut affecter la qualité de l'eau et la santé des organismes aquatiques. Le zinc relativement mobile est facilement adsorbé

par les constituants du sol argileux (voir Figure 6). [43-48].

#### Le plomb avant et après filtration.

Le plomb est un métal lourd qui peut causer des problèmes de santé graves, notamment des troubles du développement chez les enfants et des dommages aux organes chez les adultes, comme les troubles du système nerveux et des dommages aux organes. Ce dernier peut être présent dans les eaux usées en raison de diverses sources de pollution tels que les déchets de l'industrie chimique et de l'industrie minière, des déchets ménagers, tels que les batteries et les produits de soins personnels, des systèmes de plomberie notamment les tuyaux et les robinets, des peintures et les revêtements. Le plomb peut s'accumuler dans les organismes vivants, notamment les poissons et les oiseaux, et causer des problèmes de santé graves.

La purification, par notre matrice a permis une réduction de 98% (voir Figure 7). L'abattement du plomb s'explique par les différents minéraux argileux existants dans le sol argileux, particulièrement la palygorskite [49-53].

**Le fer avant et après filtration.** Le fer est l'un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. Il est présent dans l'eau sous trois formes, le fer ferreux  $Fe^{2+}$ , le fer ferrique  $Fe^{3+}$  et le fer complexé à des matières organiques (acides humiques, fulviques, tanniques...). Son origine au niveau industriel peut s'expliquer par l'exploitation minière, la sidérurgie, la corrosion des métaux, Le fer donne aussi un goût métallique à l'eau rendant désagréable sa consommation. La filtration des eaux usées, par nos adsorbants a permis une réduction de cet élément de 99% (voir Figure 8). Cette élimination est due, à des micro-organismes présents dans le sol, le sable et les cendres volantes [54-60].

**Le cuivre avant et après filtration.** Le cuivre, provient principalement des rejets industriels comme le traitement de surface, l'industrie chimique et électronique. Le dosage du cuivre dans l'eau percolée révèle une teneur de l'ordre de 0,02 ppm pour le filtrat récupéré, ce qui correspond au rendement épuratoire de 97%

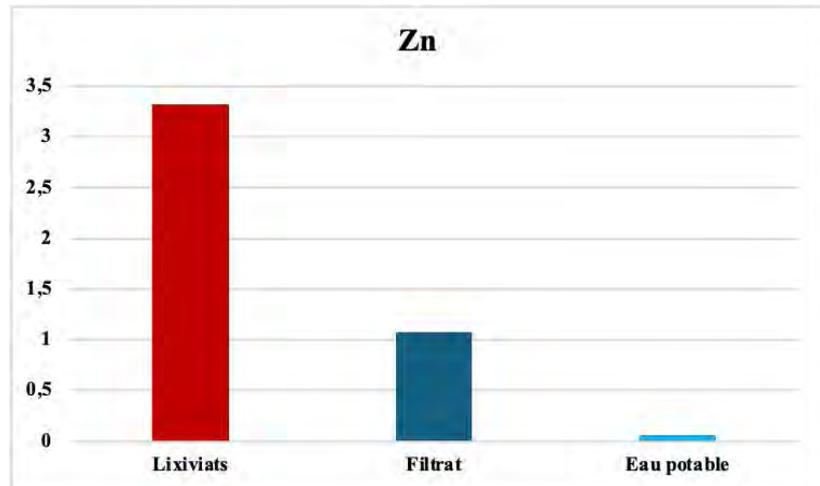


Figure 6 : Évolution du zinc avant et après filtration.

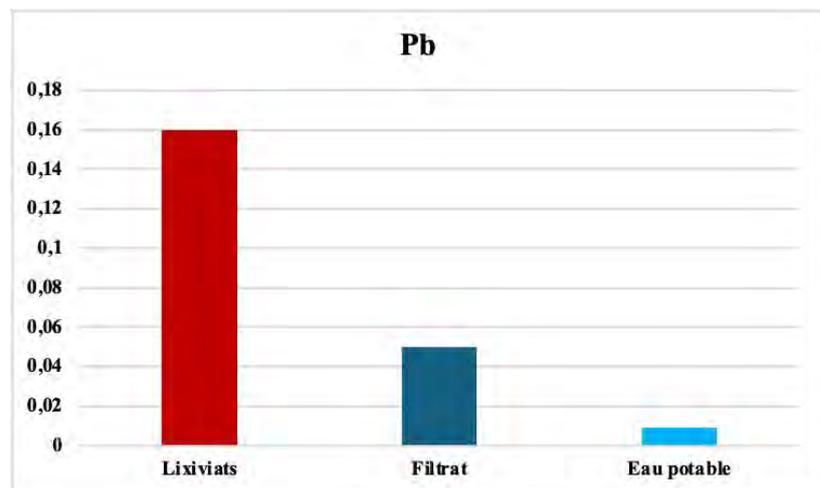


Figure 7 : Évolution du plomb avant et après filtration.

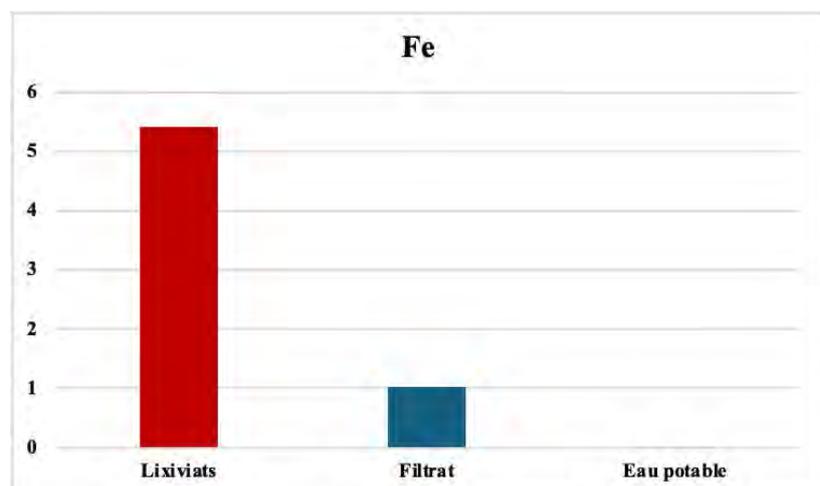


Figure 8 : Évolution de fer avant et après filtration.

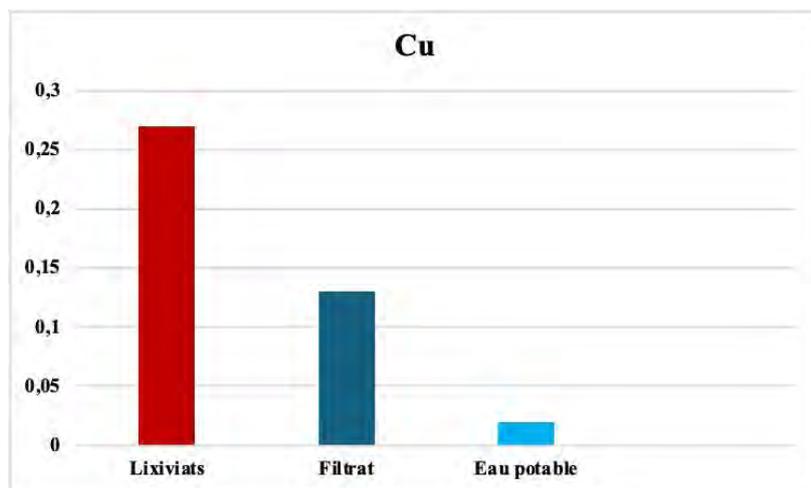


Figure 9: Évolution du cuivre avant et après filtration.

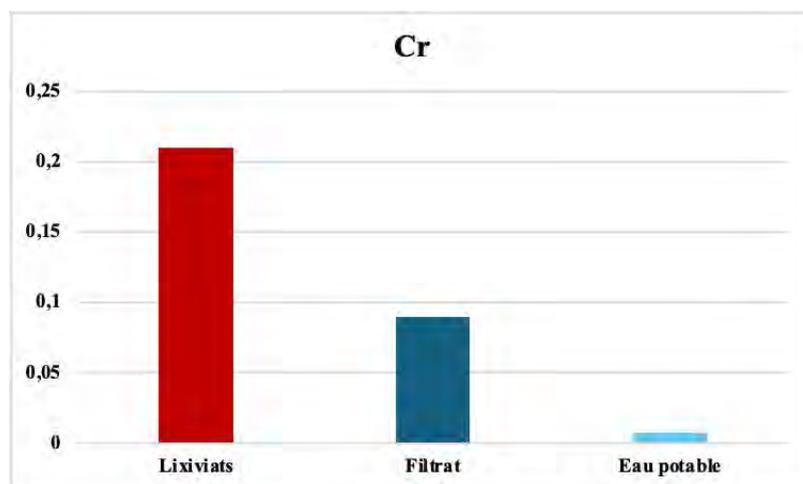


Figure 10: Évolution du chrome avant et après filtration.

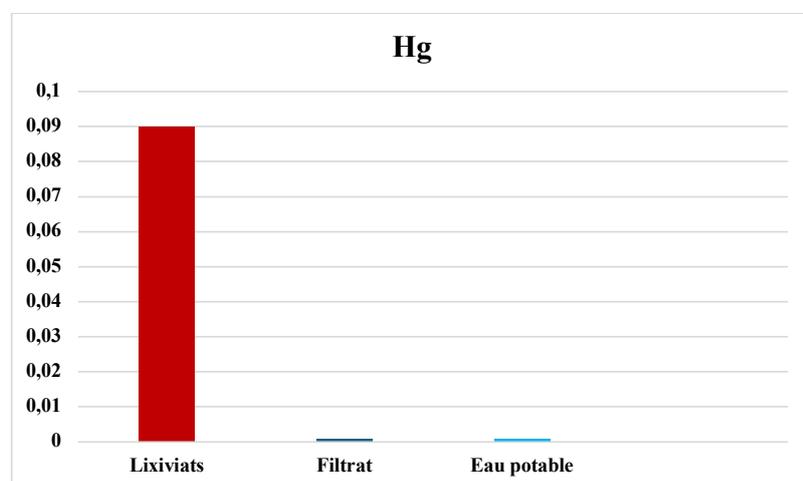


Figure 11: Évolution du mercure avant et après filtration.

(voir Figure 9). Il s'agit donc d'un rendement épuratoire très important pour cet élément. La rétention du cuivre est due à son fixation par la matière organique [61-64].

**Le chrome avant et après filtration.**

Le chrome est un métal lourd toxique qui peut causer des problèmes de santé graves, notamment des troubles du système respiratoire et des dommages aux organes. Le chrome présent dans les lixiviats en raison de diverses sources de pollution à savoir les déchets industriels, tels que les déchets de l'industrie chimique et de l'industrie minière, des déchets ménagers, tels que les batteries et les produits de soins personnels, des systèmes de plomberie notamment les tuyaux et les robinets et de l'industrie du cuir qui peut libérer du chrome dans les eaux usées en raison de l'utilisation de produits chimiques contenant du chrome. La teneur du chrome détecté dans les lixiviats, a été réduite de 90%, par notre filtre, comme le montre clairement la figure 10. Cet abattement s'explique par des phénomènes de précipitation et d'adsorption qui jouent certainement un rôle d'atténuateur de la toxicité de cet élément [65-67].

**Le mercure avant et après filtration.**

Le mercure est un métal lourd toxique qui peut causer des problèmes de santé graves, notamment des troubles du système nerveux et des dommages aux organes. Ce dernier peut s'accumuler dans les organismes vivants, notamment les poissons et les oiseaux, et causer des problèmes de santé graves. Le mercure peut contaminer les eaux souterraines et superficielles, ce qui peut affecter la qualité de l'eau et la santé des organismes aquatiques. Le mercure dans les lixiviats peut provenir des appareils électriques et électroniques, tels que les ampoules fluorescentes, les écrans d'ordinateur et les téléphones mobiles, des batteries, notamment les batteries au mercure, des thermomètres et baromètres à mercure, des déchets industriels, tels que les déchets de l'industrie chimique et de l'industrie minière. Après filtration des lixiviats par notre matrice purifiante, nous avons constaté un abattement de 99% (voir Figure 11), ce qui montre la validité de la technique de filtration percolation par des adsorbants naturels [68-72].

## CONCLUSION

La technique de filtration percolation des lixiviats des déchets ménagers et industriels par des adsorbants naturels poreux riches en silices et en calcites tels le sable marin, les cendres volantes et le sol argileux a permis efficacement de réduire la matière organique et les métaux lourds de plusieurs manières: **Filtration mécanique.** Le sable, les cendres volantes et le sol argileux peuvent retenir les particules et les colloïdes qui contiennent de la matière organique.

**Adsorption physique et chimique.** Le sable, les cendres volantes et le sol argileux peuvent adsorber la matière organique en raison de forces intermoléculaires faibles et de réactions chimiques.

**Dégradation biologique.** Les micro-organismes présents dans le sable, les cendres volantes et le sol argileux peuvent dégrader la matière organique en composés plus simples.

**Adsorption physique et chimique.** Le sable, les cendres volantes et le sol argileux peuvent adsorber les métaux lourds en raison de forces intermoléculaires faibles et de réactions chimiques.

**Échange d'ions.** Le sable, les cendres volantes et le sol argileux peuvent échanger des ions avec les métaux lourds, ce qui peut réduire leur concentration.

**Précipitation.** Les métaux lourds peuvent précipiter en raison de réactions chimiques avec les composés présents dans le sable, les cendres volantes et le sol argileux.

La filtration peut réduire la turbidité de l'eau, ce qui peut réduire la concentration de la matière organique et des métaux lourds et la charge organique de l'eau, ce qui peut réduire la concentration de la matière organique et des métaux lourds ce qui peut réduire les risques pour la santé et l'environnement. Les résultats obtenus nous ont permis de déduire, dans des conditions

précises, que les supports étudiés présentent un pouvoir efficace pour réduire la charge polluante organique et minérale présente dans les eaux usées étudiées, avec un taux de réduction de la pollution moyen dépassant les 80% pour tous les paramètres physicochimiques analysés.

En comparant les spectres infrarouges des supports solides ayant servi à la filtration des eaux usées, on peut conclure qu'il y a une faible modification des spectres infrarouge avant et après traitement, ce qui confirme qu'il y a une adsorption de composés organiques.

En utilisant ce procédé de traitement, nous avons obtenu des eaux usées filtrées qui répondent aux limites normalisées pour les rejets liquides dans les milieux récepteurs (lacs, rivières, océans...etc.). Ces eaux filtrées peuvent être recyclées et utilisées en agriculture et pour l'irrigation des espaces verts. ●



## Références bibliographiques

**L. TAOUFIQ, A. LAAMYEM, M. MONKADE, A. ZRADBA, E. ELHACHMI.** L'utilisation des déchets solides avec du sable pour le traitement des eaux usées de la zone industrielle de la ville de Tanger, Revue EIN, 2016, pages 83-88.

**I. CHAOUKI.** Étude de la performance de la STEP du centre emplisseur de la société Salam Gaz-Skhirat, Africa Science, Revue Internationale des Sciences et Technologie, 2013, pages 91-102.

**A. ZALAGHI.** Valorisation des matériaux naturels poreux dans le traitement des Lixiviats de la décharge publique non contrôlée de la ville de Taza. J. Mater. Environ, 2014, pages 1643-1652.

**A. ABID, A. ZOUHRI, A. IDER ET S. KHOLTEI.** Valorisation d'un nouveau bio flocculant (extrait de cactus) dans le traitement physico-chimique des rejets liquides chargés en cuivre, en zinc et en matière en suspension. Revue des Energies Renouvelables, 2009, 321-330.

**G. SRINIVAS.** Synthesis of graphene-like nanosheets and their hydrogen adsorption capacity. Carbon, 2010, 630-635.

**M.T. YAGUB, T. K. SEN, S. AFROZE, H.M. ANG.** Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. Advances in Colloid and Interface Science, 2014, 172-184.

**M. RABE.** Understanding protein adsorption phenomena at solid surfaces. Advances in Colloid and Interface Science, 2011, 87-106.

**H. JAVADIAN, F. GHORBANI, H.A. TAYEBI, S.M. HOSSEINI.** Study of the adsorption of Cd (II) from aqueous solution using zeolite-based geopolymer, synthesized from coal fly ash; kinetic, isotherm and thermodynamic studies. Arabian Journal of Chemistry, 2015, 837-849.

**K. OLIE.** Chlorodibenzo-p-dioxins and chlorodibenzofurans are trace components of fly ash and flue gas of some municipal incinerators in The Netherlands. Chemosphere 1977, 455-459.

**WENCONG Y, YANPENG C, QIANGQIANG R, CHUNHUI L, LIJUAN R.** A hybrid life-cycle and fuzzy-set-pair analyses approach for comprehensively evaluating impacts of industrial wastewater under uncertainty. Cleaner Production. 2014, pp. 57-68.

**DENIAU C, DOR F, EILSTEIN D, EMPEREUR-BOISSONNET P, DAB W.** Étude de la santé déclarée par les personnes riveraines de sources locales de pollution environnementale. Épidémiologie et de Santé Publique. 2013, Vol 61, pp. 388-398.

**KAIMOUSSI A., CHAFIK A., MOUZDAHIR A., BAKKAS S.** Impact de la pollution industrielle sur la zone côtière du Jorf Lasfar: la moule comme indicateur de la contamination métallique. Earth and Planetary Science. 2001, Vol 333, pp. 337-341.

**HENNO J.** Mieux recycler les eaux usées pour lutter contre la pénurie. Les Echos, Vol30, pp.23.

**LAAMYEM A, HAFAD H, NAJEM**

**M.** Caractérisations physiques et chimiques des eaux usées industrielles après filtration à travers la matrice sol-sable en fonction de la taille granulométrique. Revue EIN 343, pp.85-88.

**TAOUFIQ L, LAAMYEM A, MONKADE M, ZRADBA A, ELHACHMI E.** L'utilisation des déchets solides avec du sable pour le traitement des eaux usées de la zone industrielle de la ville de Tanger. Revue EIN 389, pp.83-88.

**LAAMYEM A, BEN ABDELLAH A, ESSADIQI E, FAQIR M, BOUYA M.** Filtration et réutilisation des rejets liquides des machines à laver par infiltration percolation à travers la matrice sable cendre. Revue EIN 374, pp.100 - 105.

**EL FADEL H, MERZOUKI M, BENLEMLIH M, LAAMYEM A, NAJEM M.** Contribution au traitement par infiltration-percolation des lixiviats de la décharge publique contrôlée de la ville de Fès au Maroc. Revue EIN 341, pp.85-93.

**NAJEM M, LAAMYEM A, LANÇAR I T.** Rétention des métaux lourds des eaux usées industrielles par filtration percolation à travers une couche sol-sable. Revue EIN 327, pp 92-96.

**BAIOUMY H.** Source and origin of sedimentary kaolin deposits in Egypt, Meeting of the Clay Minerals Society, Montana, June 2009, pp. 5-11.

**ABDEL-KHALEK N.** The Egyptian kaolin: an outlook in the view of the new climate of investment. Applied Clay Science, vol. 15, 1999, pp. 325-336.

- ABD-ALLAH S, MAHDY R.** Characterization of some clay sediments in Egypt for safe environmental applications. *Basic and Applied Sciences*, 2007, Vol. 4, pp. 813-823.
- RASHED M.N. AND SOLTAN M.E.** Removal of heavy metals from urban wastewater using aeration, alum and kaolin. 2001. *Hydrology* \ No.45, UNESCO, Paris,
- BHATTACHARYYA KG, GUPTA SS.** Adsorption of a few heavy metals on natural and modified Kaolinite. *Colloid Interface Sci.* Aug 2008. Vol 5, pp.14-31.
- SUSMITA S G AND KRISHNA G.** Adsorption of heavy metals on kaolinite, montmorillonite. *Physical chemistry*. 2012, pp.12
- MULLINS G AND MITCHELL C.** Wheat forage response to tillage and sulfur applied as phosphogypsum, Orlando, publication FIPR. 1990, Vol 1, pp. 361-375.
- MOUTAOUAKIL A, PINEAU J.L, LAHLOU K.** « La recherche d'un procédé viable de valorisation d'un phosphogypse provenant de l'industrie phosphatière marocaine », *Déchets sciences et techniques*, 2003, Vol 29, pp. 31-35.
- KOULOHERIS A. P.** Chemical nature of phosphogypsum as produced by various wet phosphoric acid processes. *First International Symposium on phosphogypsum*, publication, Florida, 1980, pp.5-7.
- MARIA V, LUMINITA I, ANCA D.** Fly ash adsorbents for multi-cation wastewater treatment. *Applied Surface Science* 258. 2012. p. 6345-6352.
- LAAMYEM A, NAJEM M, MONKADE M, ZRADBA A, RADOUANI N.** Revalorisation des cendres volantes dans le traitement des eaux usées industrielles de la ville d'El Jadida. *Revue EIN* 332, pp.101-104.
- MUZZARELLI R.** Chitin nanostructures in living organisms. In *Chitin Formation and Diagenesis*. Gupta, S.N., Ed.; Springer, 2010: New York, USA.
- SANDFORD, P.A.** Chitin and Chitosan: Physical Properties and Applications. Elsevier Applied Science, 1989. p. 51-69.
- KNORR D.** Dye binding properties of chitin and chitosan. *J. Food. Sci.*, 1983, pp.36-41.
- KIM C. Y., CHOI H. M., CHO H. T., 1997.** Effect of deacetylation on sorption of dyes and chromium on chitin. *J. Appl. Polym. Sci.* 63, 725-736.
- NO K., LEE K. AND MEYERS P.** Correlation between physical chemical characters and binding capacity of chitosan products. *J. Food. Sci.* 2000, Vol 65, 1134-1137.
- BREMOND R. ET VUICHARD R.** Paramètres de la qualité des eaux, Ministère de la protection de la nature et de l'environnement, SPEPE, 1973, pp. 179.
- YUSOF N.L., LIM, L.Y.; KHOR, E.** Flexible chitin films: structural studies. *Carbohydr. Res.* 2004, Vol 339, pp.2701-2711.
- ACOSTA N, ARANAZ I, PENICHE C, HERAS A.** Tramadol Release from a delivery system based on alginate-chitosan microcapsules. *Macromol. Biosci.* 2003, 3, p.546-551.
- PENICHE C, PENICHE H, ACOSTA N. 2003.** Chitosan: An Attractive Biocompatible Polymer for Microencapsulation. *Macromol. Biosci.* 3, p.511-520.
- BHATNAGAR A, SILLANPAA, M.** Applications of chitin- and chitosan-derivatives for the detoxification of water and wastewater. *Colloid Interface Sci.* 2009, p.26-38.
- LAAMYEM A, BEN ABDELLAH A, ESSADIQI E, FAQIR M ET BOUYA M.** Rétention des métaux lourds des eaux de refroidissement industrielles par filtration percolation à travers des matrices filtrantes naturelles. *Revue EIN* 373, pp.91-96.
- CHAOUIE J, MONCEF M, LAAMYEM A, NAJEM M.** Approche analytique des éléments majeurs, micro-nutriments et métaux lourds dans les eaux de la lagune et des salines d'Oualidia (zone humide du Sahel côtier atlantique, Doukkala, Maroc) par spectrométrie de plasma ICP-MS (2<sup>ème</sup> partie). *Revue EIN* 365, pp.107-115.
- KAYA A, HAKAN O.** Adsorption of zinc from aqueous solutions to bentonite. *Journal of Hazardous Materials.* 2005, pp.183-189.
- EL GOUAMRI Y.** Étude de la qualité physicochimique des eaux usées rejetées dans le lac Fouarat. *Africain des Sciences de l'environnement*, 2006, pp.53-60.
- REVIL A., LEROY P, AND K. TITOV.2005.** Characterization of transport properties of argillaceous sediments. *Journal of Geophysical Research*, Vol 110, B06202.
- SANTE CANADA. 2003.** Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : la turbidité. Comité fédéral provincial territorial sur l'eau potable, Ottawa, pp.36.
- SCHNITZER M., S.H. KAHN. 1972.** Humic substances in the environment, Marcel Dekker, New York, N.Y. pp. 204.
- CHAPMAN, D.** Water quality assessment. A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. 1992. Londres, Angleterre.
- COBB, D.G AND FLANNAGAN J.** Effects of discharge and substrate stability on density and species composition of stream insects. *J. Sci. Halieutiques.*1996, pp.1788-1795.
- RODIER J.** L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eau de mer, 8<sup>ème</sup> éd. Denod, Paris, 1996, Vol 1, pp.1383.
- ZH H M, WANG B.** Multifunctional micronized modified kaolin and its application in wastewater treatment. *Hazardous Materials*, 2006, pp. 365-370.
- ESSA M, FARRAGALLAH M.** Clay minerals and their interaction with heavy metals and microbes of soils irrigated by various water resources. *Envir. Res.* 2006, pp.73-90.
- SHEN Y.H.** Phenol sorption by organoclays having different charge characteristics. *Physicochem.* 2004, Vol 232, pp. 143-149.
- GUPTA. K, MOHAN D.** Utilization of bagasse fly ash for the removal and recovery of phenol and p-nitrophenol from wastewater. *Biotechnol.*1998, Vol 71, pp.180-186.
- HEDGE R AND MCLELLAN M.** Archaeometry, 1976, Vol 18, pp.203.
- WEI-SHENG C, FANG-CHIH C, YUN-HWEI S, MIN-SHING T, CHUN-HAN K.** Removal of chloride from MSWI fly ash. *Hazardous Materials*, 2012, pp.116-120.
- MAHMOUD M. AND AHMED M. I.** Abatement of free chlorine from water using kaolinite. *Environ. Res.* 2004, Vol 7, pp. 237-238.
- ERICKSON E., AFFARTH K., HENZE M., A. LEDIN. 2002.** Characteristics of grey wastewater, *Urban Water*, 4, p. 85-104.
- UDERT K AND GUJER W.** Urea hydrolysis and precipitation dynamics in a urine-collecting system. *Water Res.* 2003, pp.2571-2582.
- BONTE S L, PONS M, POTIER O AND ROCKLIN P.** Relation between Conductivity and Ion Content in Urban Wastewater. *Journal of Water Science*, 2008, Vol. 21, pp. 429-438.
- PIVATO A.** Tests for the evaluation of ammonium attenuation in MSW landfill leachate by adsorption into bentonite. *Waste Management.* 2006, Vol 26, pp. 123-132.
- WEBER M, AND WESTFALL D.** Ammonium adsorption by a zeolite in a static and a dynamics system. *J. Environ. Qual.* 1983, Vol 12, p.549-552.
- BURAGOHAÏN D, SREDEEP S, AND SAIYOURI N.** A study on the Adsorption of ammonium in Bentonite and Kaolinite. *JCEBS*, 2013, pp. 2320-4087.
- HAMMER, M.J., HAMMER, JR., 2005.** Water and wastewater technology, 4th Edition. Prentice Hall of India, New Delhi.
- DU CHAUFOUR P.** Abrégé de pédologie : sol, végétation et environnement. 5<sup>ème</sup> édition, 1997, Masson.
- COMITÉ NORMES ET STANDARDS. 1994.** Ministère de l'environnement du Maroc. Rabat.
- FURUMAL H, KHAKI S.** Adsorption-desorption of phosphate by lake sediment under anaerobic conditions. *Wat. RES.* 1989, Vol 23, pp.677-683.
- WIELAND E, STUMM W.** Dissolution kinetics of kaolinite in acidic aqueous solutions at 25 °C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1992, Vol 56, pp.3339-3355.
- XIAOMIN L, YANRU T, XIUJU C, DANDAN L, FANG L, WENJING S.** Preparation and evaluation of orange peel cellulose adsorbents for effective removal of Cd, Zn, Co and Ni, *Colloids and Surfaces.* 2008, Vol 317, pp.512-521.
- SUANTAK K, S. SURESH, C.B. MAJUMDER AND S. CHAND** Characterization of banana and orange peels: biosorption mechanism, *Sci Technology & Management.* 2011, Vol 2.
- MAFRA S.** Humic acids from hydromorphic soils of the upper Negro River basin, Amazonas: Chemical and spectroscopic characterization. 2006.
- ALLAHVERDI A., KANI N.E., YAZDANIPOUR M.** Effects of blast-furnace slag on natural pozzolan-based geopolymer cement. *Ceramics.* 2011, Vol 55, pp.68-78.
- TCHAKOUTE K AND NJOPWOU D.** The effect of adding alumina-oxide to metakaolin and volcanic ash on geopolymer products. *Construction and Building Materials.* 2012, Vol 35, pp.960-969.