

Caractérisation physico-chimique des lixiviats d'une décharge : cas du lieu d'enfouissement sanitaire de Ouèssè-Ouidah (sud Bénin)

[Physico-chemical characterization of the leachates of a discharge: case of sanitary burying place of Ouèssè-Ouidah (South of Benin)]

Rock Modéran TOKLO¹, Roger Gérard JOSSE¹, Nikita TOPANO², Alexis F. C. TOGBE³, Pierre DOSSOU-YOVO⁴, and Bruno Coulomb⁵

¹Laboratoire d'analyse physico-chimique des milieux aquatiques (LAPMIA/FAST/CHIMIE/UAC), BP 526 Cotonou, Benin

²Laboratoire d'Expertise et de Recherche en Chimie de l'Eau et l'Environnement (LERCEE / FAST/ Chimie/ UAC), BP 526 Cotonou, Benin

³Laboratoire de Chimie Physique (LCP/FAST/CHIMIE/UAC), BP 526 Cotonou, Benin

⁴Laboratoire de Recherche en Traitement et Conservation des Produits Halieutiques (FAST/ Chimie /UAC), BP 526 Cotonou, Benin

⁵Aix-Marseille Université-CNRS, LCE FRE 3416, Marseille, France

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: By searching of physico chemical characterization of the pollutants in the leachates of the Sanitary Burying Place of Ouèssè-Ouidah, it has been determined parameters such as the temperature, the electric conductivity, the pH, the dissolved oxygen, the redox potential, the anions (Chloride, Nitrate, Nitrite, Sulfate), the cations (Sodium, Potassium, Calcium, Magnesium, Ammonium), metals (Iron, Nickel, Lead, Aluminum, Zinc), the DBO5 and the DCO. The obtained results show that the leachates of the L.E.S. are turbid (> 1100NTU), charged in suspended materials (> 470mg / L) and then very polluted (oxygen dissolved approximately 1mg / L). Leachates are also characterized by a strong iron content (1829,15 ±2,82 - 2099,49±12,82 µg / L) and a strong concentration in chloride (192,49 in 227,89mg / L). The content of samples studied in oxidizable materials (DCO of the order of 1161,0 - 1278,0 mgO₂ / L; DBO5 of the order of 95,8 in 107,0 mgO₂ / L) and in nitrogenous materials (220 in 400 mg / L), which remained very high. The samples of the analyzed leachates also have a high rate of minerals (conductivity: max = 218 ms / cm).

KEYWORDS: burying place, sanitary, discharges, leachates, physico-chemical parameters.

RÉSUMÉ: Pour une caractérisation physico chimique des polluants dans les lixiviats du Lieu d'Enfouissement Sanitaire de Ouèssè-Ouidah, il a été déterminé les paramètres tels que la température, la conductivité électrique, le pH, l'oxygène dissous, le potentiel redox, les anions (Chlorure, Nitrate, Nitrite, Sulfate), les cations (Sodium, Potassium, Calcium, Magnésium, Ammonium), les métaux (Fer, Nickel, Plomb, Aluminium, Zinc), la DBO5 et la DCO. Les résultats obtenus montrent que les lixiviats du L.E.S. sont très turbides (>1100NTU), très chargés en matières en suspension (>470mg/L) et très pollués (oxygène dissous environ 1mg/L). Les lixiviats sont caractérisés aussi par une forte teneur en Fer (1829,15±2,82 à 2099,49±12,82 µg/L) et une forte concentration en chlorure (192,49 à 227,89mg/L). La teneur des échantillons étudiés en matières oxydables (DCO de l'ordre de 1161,0 à 1278,0 mgO₂/L ; DBO5 de l'ordre de 95,8 à 107,0 mgO₂/L) et en matières

azotées (220 à 400 mg/L) demeure très élevée. Les échantillons des lixiviats analysés ont également un taux élevé de matières minérales (conductivité : max = 218 ms/cm).

MOTS-CLEFS: lieu d'enfouissement sanitaire, décharges, lixiviat, paramètres physico-chimiques.

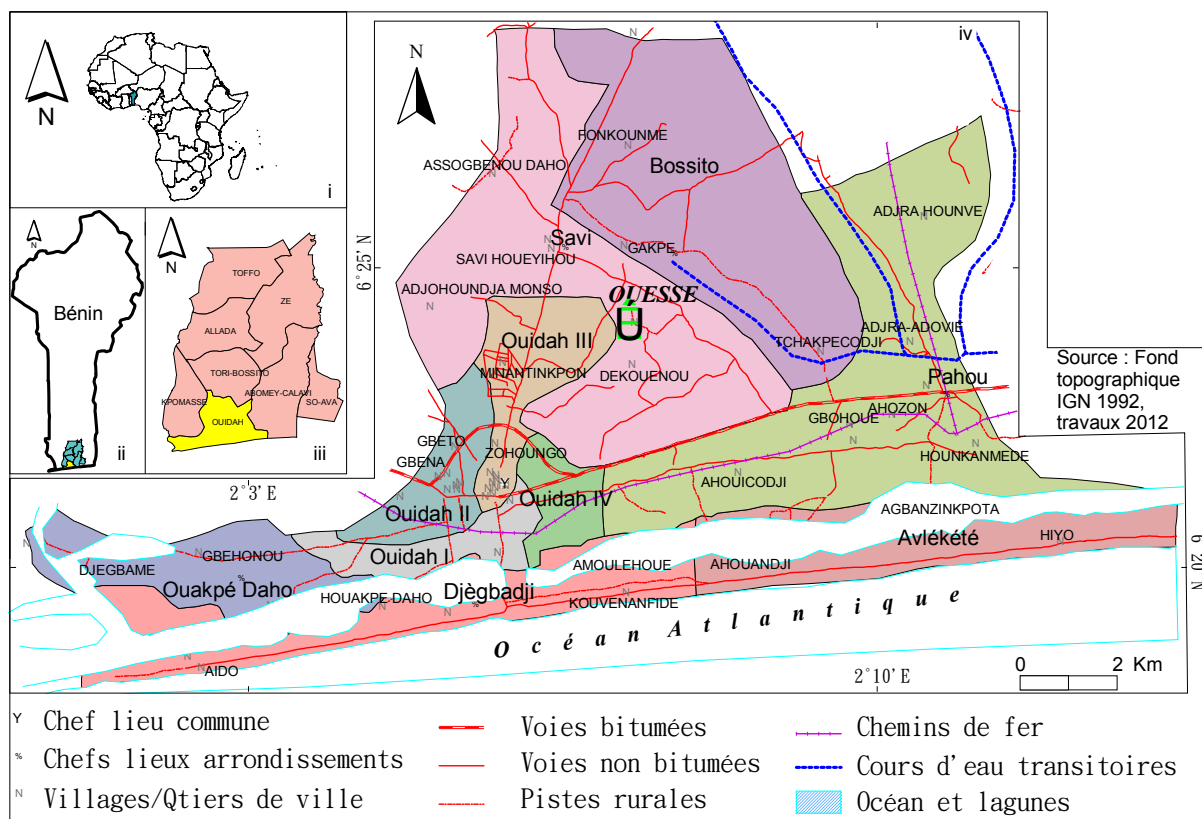
1 INTRODUCTION

La mise en décharge des ordures ménagères entraîne souvent la production de lixiviats dont les conséquences sont néfastes pour l'environnement [1]. En effet, dès la phase de dépôt, les déchets sont soumis à des processus de dégradation liés à des réactions biologiques et physico-chimiques complexes. L'eau s'y infiltre et il se produit des lixiviats et du biogaz chargés de substances organiques et minérales qui engendrent une pollution essentiellement de type organique et métallique. La biodégradation naturelle des déchets confinés libère de nombreuses substances toxiques dans le milieu naturel, notamment dans l'atmosphère, les eaux souterraines et les cours d'eau. Par lixiviat appelé aussi lessivia ou percolat, on désigne l'eau qui a percolé à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et surtout chimiquement de substances minérales et organiques [2]. En Afrique, la pollution des plans d'eau est d'actualité et le traitement des eaux usées n'est pas toujours une préoccupation [3].

L'objectif de ce travail est de faire une caractérisation physico-chimique des lixiviats de la décharge de Ouèssè-Ouidah (sud Bénin) en vue d'apprécier qualitativement et quantitativement les paramètres pouvant impacter les eaux qui serviront à l'utilisation humaine.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE



Carte 1: Localisation du village de Ouèssè sur la carte géographique de la ville de Ouidah

Le lieu d'enfouissement sanitaire (L.E.S.) est situé le long de la route reliant la localité de Savi à la route nationale longeant le littoral et se trouve à environ 700 m au nord-ouest de l'intersection de la route de Savi et de la piste menant au village de Ouèssè (commune de Ouidah). Le site est situé à environ 5 km au nord de la route bitumée qui relie celle-ci à Savi [4].

2.2 POINTS D'ÉCHANTILLONNAGE

Les prélèvements de lixiviat ont été réalisés à deux endroits du site de la décharge. Signalons qu'au niveau de chaque point d'échantillonnage, cinq prélèvements ont été effectués. Les échantillons prélevés ont été définis à partir de leurs disponibilités sur le terrain.

Les points de prélèvement des lixiviats 1 et 2 sont notés E 1 et E 2 respectivement.

2.3 MÉTHODES D'ANALYSES

La température (T), le pH, les solides totaux dissous (TDS), l'oxygène dissous (O_2), le potentiel redox (Eh) et la conductivité/salinité ont été mesurés *in situ* à l'aide d'une sonde multi paramètre de marque WTW 340i (pH/Oximètre). La couleur et la turbidité ont été également mesurées *in situ* par le colorimètre HACH DR/890.

Dans les échantillons de lixiviat, le phosphore total et le phosphore soluble ont été dosés par colorimétrie (méthode molybdate/acide ascorbique) avec un spectrophotomètre AL 800 de marque Aqualytic.

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) dans les échantillons de lixiviat est déterminée à l'aide du spectrophotomètre AL 800 de marque Aqualytic (méthode par oxydation au dichromate de potassium en milieu H_2SO_4 concentré).

La demande biologique en oxygène (DBO5) est la quantité d'oxygène (mg/L) consommée pendant 5 jours par des micro-organismes au cours de la dégradation de la matière organique à une température de $20\pm 0,2^\circ C$ et à l'obscurité. Le principe consiste à mettre les échantillons d'eau de lixiviat dans des flacons contenant des bactéries et ensuite les placer dans un DBO-mètre pendant 5 jours. Les micro-organismes, en dégradant la matière organique présente dans l'eau, consomment l'oxygène et produisent du CO_2 entraînant ainsi une dépression enregistrée par un manomètre.

Dans les échantillons de lixiviat les ions F^- , Cl^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- ont été dosés par un chromatographe ionique de marque Métrohm et de modèle 761 SD compact IC. L'éluant est un mélange de carbonate et d'hydrogénocarbonate de sodium. La colonne de séparation pour anions est de type METROSEP A SUPP4 (L = 250 mm, DI = 4,6 mm et diamètre des particules 5 μm).

Les métaux (Al, Pb, Cu, Ni, Fe, Cd, Zn, Cr, As) ont été dosés par ICP-AES avec un spectromètre de marque JOBIN YVON HORIBA et de modèle JY 2000.

Le taux d'ammonium dans les échantillons de lixiviat a été déterminé à l'aide d'un spectrophotomètre AL800 de marque Aqualytic (méthode au bleu d'indophénol).

Le carbone organique total, le carbone inorganique et le carbone total ont été dosés par un COT- mètre de marque Analytic Jena modèle NC 2100S par combustion à $800^\circ C$ et dosage du CO_2 libéré par Infra-Rouge.

Les cations (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) ont été dosés dans les échantillons de lixiviat par spectrométrie d'absorption ou d'émission atomique à flamme avec un spectromètre de marque Thermo Scientific et de modèle ICE 3000 Series A Spectrometer.

L'analyse statistique des données obtenues a été effectuée avec le logiciel Microsoft Office Excel 2007. La variation des paramètres étant faible pendant la période d'étude nous avons utilisé les moyennes obtenues pour la suite de l'étude.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Tableau 1: Résultats des analyses physico-chimiques in situ des lixiviats dans différentes zone de la décharge

| | pH | T (°C) | Salinité | Conductivité (mS/cm) | TDS (mg/L) | O ₂ dissous (mg/L) | Potentiel Redox (mV) | Matière en suspension (mg/L) | Turbidité (NTU) | Couleur (Pt Co) |
|-----|---------------|----------------|----------------|----------------------|-------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------------|------------------|-----------------|
| E 1 | 7,71 ±0,25 | 30,30 ±0,80 | 8,40 ±0,10 | 14,05 ±0,12 | 7024,0 ±3,4 | 1,07 ±0,03 | -49 | 470,0 ±3,0 | 1360,00 ±7,11 | 6760 ±10 |
| E 2 | 5,50 ±0,11 | 28,50 ±0,15 | 13,40 ±0,21 | 218,00 ±2,07 | 11914,00 ±7,11 | 0,43 ±0,01 | -57 | 528,0 ±3,7 | 1100,00 ±6,80 | 8736 ±12 |

Afin de caractériser les lixiviats du lieu d'enfouissement sanitaire de Ouèssè-Ouidah, nous avons déterminé in situ à l'aide d'une sonde multi paramètres de marque WTW 340i (pH/Oximètre) dans les échantillons prélevés les paramètres tels que la température (T), le pH, l'oxygène dissous (O₂), le potentiel redox (Eh), la salinité, la conductivité, la couleur, le TDS et la turbidité. Les matières en suspension (MES) ont été déterminées au Laboratoire le même jour des prélèvements à l'aide du colorimètre HACH DR/890. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 1.

L'examen de ce tableau montre la complexité des lixiviats étudiés. D'un point de vue quantitatif, les teneurs des différents paramètres varient d'un point de prélèvement à un autre. La composition des lixiviats, à différents points de la décharge, présente parfois des écarts importants. Ceci pourrait être dû soit à la composition des déchets, soit à la durée de l'enfouissement. De plus, l'enfouissement des déchets étant désordonné c'est-à-dire ne suivant pas un schéma précis, il en résulte une perturbation constante des phénomènes physico-chimiques et biologiques qui régissent la lixiviation.

Les lixiviats ont un pH qui varie de 5,5 à 7,71 et présentent une salinité importante avec une conductivité élevée (14,05 à 218 mS/cm).

La forte turbidité (1100 à 1360 NTU) et la teneur élevée des MES (470 à 528 mg/L) des lixiviats sont liées à la faible concentration en oxygène dissous. Ces lixiviats sont donc pollués ce qui confirme les résultats de Beaux [5] qui stipule qu'une eau est dite polluée si elle a une teneur en oxygène dissous inférieure à 3 mg/l. Les concentrations des MES dépassent largement celles fixées par la norme Béninoise (100 mg/L) pour les eaux usées. On peut dire que les lixiviats prélevés ont un caractère encrassant.

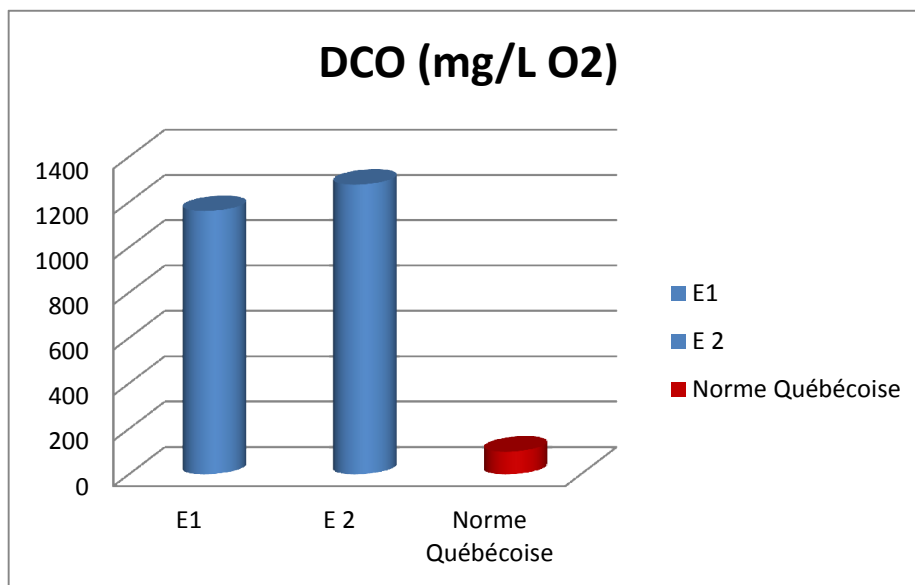


Figure 1: Teneur en DCO des lixiviats prélevés

L'histogramme de la figure 1 présente les moyennes de demande chimique en oxygène des différents échantillons. L'analyse de cette figure montre que la DCO des échantillons de lixiviat dépasse largement la norme québécoise fixée (100

mg/L) pour les eaux usées. Notons que l'exploitation de la décharge avec des épaisseurs de dépôts supérieures à 4 m peut engendrer une augmentation de la DCO dans les lixiviats [6], [7].

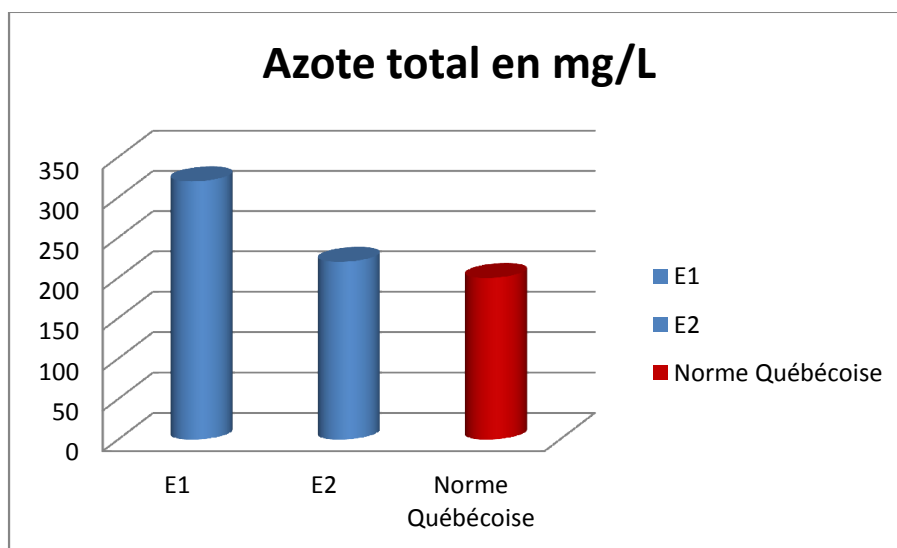


Figure 2: Teneur en azote total des lixiviats prélevés

L'histogramme de la figure 2 nous indique les moyennes des teneurs en azote total des lixiviats. Notons qu'à chaque point d'échantillonnage, cinq prélèvements ont été réalisés. La concentration de l'azote total est plus élevée dans le lixiviat 1 que dans le lixiviat 2 et sont toutes supérieures à la norme québécoise fixée (200 mg/L).

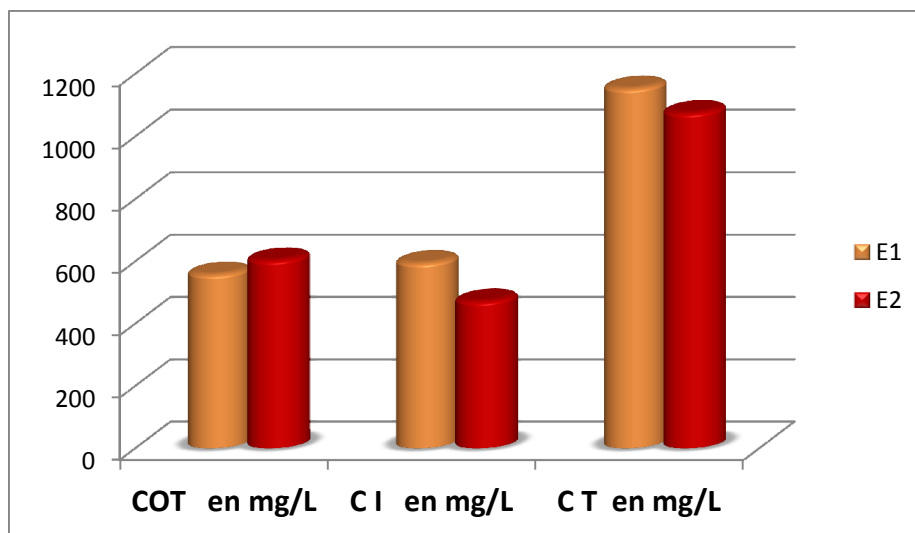


Figure 3: Teneur en carbone organique total, carbone inorganique et carbone total.

L'examen de l'histogramme de la figure 3 montre que le carbone organique total (COT) a pratiquement la même teneur (550 mg/L) au niveau des 2 points d'échantillonnage. Par contre les teneurs en carbone inorganique et en carbone total dans le lixiviat 1 sont plus élevées que dans le lixiviat 2. La présence du carbone organique dans les lixiviats étudiés pourrait être due aux transformations chimiques des produits pharmaceutiques et agroalimentaires déversés sur le site de décharge.

Tableau 2: Teneur en cations des lixiviats

| Echantillons | Na ⁺ (mg/L) | K ⁺ (mg/L) | Mg ²⁺ (mg/L) | Ca ²⁺ (mg/L) | NH ₄ ⁺ (mg/L) |
|--------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| E1 | 1892,50±6,58 | 3702,70±4,52 | 156,50±1,79 | 66,57±0,87 | 740,00±2,69 |
| E2 | 1624,34±4,70 | 2931,17±4,06 | 110,29±2,04 | 63,35±1,12 | 970,00±2,45 |

Le tableau 2 présente les valeurs moyennes des teneurs en cations dans les échantillons. L'analyse de ce tableau montre une forte concentration en potassium (de 2931,17 à 3702,70 mg/L) et une faible concentration en calcium (de 63,35 à 66,57). En ce qui concerne les ions sodium, magnésium et Ammonium, les concentrations varient respectivement entre 1624,34 et 1892,50 mg/L ; 110,29 et 156,50 mg/L ; 740,0 et 970,0 mg/L. Ces valeurs élevées des cations dans les lixiviats signalent une forte présence des matières minérales. La quantité de potassium relativement importante dans les lixiviats pourrait être expliquée par l'enfouissement des produits calcinés et des produits alimentaires qui subissent des évolutions biologiques et physico-chimiques.

Tableau 3: Teneur en anions des lixiviats

| Echantillons | Fluorures en mg/L | Chlorures en mg/L | Nitrites en mg/L | Nitrates en mg/L | Phosphates en mg/L | Sulfates en mg/L |
|--------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|--------------------|------------------|
| E1 | <LD | 227,89±1,98 | <LD | <LD | <LD | 6,37±0,87 |
| E2 | 0,03±0,00 | 192,49±1,96 | <LD | <LD | <LD | <LD |

L'évaluation des résultats du tableau 3 nous amène à dire que seuls les ions chlorures sont présents en quantité suffisante dans les lixiviats (192,49 à 227,89). Quant aux ions sulfates, ils sont présents dans les échantillons prélevés au point E1. Leur teneur est inférieure à la limite de détection dans les échantillons prélevés au point E2. Les ions tels que les fluorures, nitrites, nitrates et phosphates ont une teneur inférieure à la limite de détection.

Les lixiviats du L.E.S. de Ouèssè-Ouidah, présentent des valeurs de conductivité et des teneurs en chlorure très importantes. Il s'agit d'un caractère commun à des lixiviats d'autres décharges d'ordures ménagères [2], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14]. L'augmentation de la température stimule les réactions d'oxydation, d'hydrolyse et de reminéralisation des déchets par les bactéries (stimulation de l'activité enzymatique bactérienne), d'où le lixiviat devient riche en éléments minéraux tels que les chlorures [11], [15], [16]. L'évolution des concentrations en chlorures semble influencer la conductivité électrique qui est déterminée principalement par ces ions. Cette relation entre les teneurs en chlorures et la conductivité a été largement étudiée [1].

Tableau 4: Teneur en µg/L en métaux lourds des lixiviats

| Echantillons | Al | As | Cd | Cr | Cu | Fe | Ni | Pb | Zn |
|--------------|-----------------|----|----|----------------|----------------|-------------------|-----------------|----------------|----|
| E1 | 108,70 ±2,54 | - | - | 82,44 ±0,60 | 19,48 ±0,41 | 2099,49 ±12,82 | 111,51 ±2,60 | 12,67 ±0,82 | - |
| E2 | 119,69 ±4,60 | - | - | 84,38 ±2,11 | 19,45 ±0,23 | 1829,15 ±2,82 | 94,58 ±1,91 | 10,99 ±0,95 | - |

En ce qui concerne les métaux, les concentrations en arsenic, cadmium et en zinc des lixiviats sont inférieures à la limite de détection de l'appareil. La concentration totale en métaux lourds (Cu, Pb, Ni, Al, Fe, Cr) est assez forte et varie entre 2158,24 et 2434 µg/l.

Toutefois, certains métaux lourds comme le fer, l'aluminium et le nickel ont une concentration élevée. La présence de l'Al et du Ni (119,69 µg/l et 111,51 µg/l respectivement), dans les lixiviats pourraient être liées à la mise en décharge des objets, tels que les accumulateurs électriques, les boîtes en métal, le PVC etc. Par ailleurs, le métal le plus abondant dans les lixiviats est le fer ; sa concentration moyenne est de 2099,49 µg/l pour les lixiviats prélevés au point E1 présentant un pH basique. Cette teneur élevée du fer dans les lixiviats (1829,15 ±2,82 à 2099,49±12,82 µg/l) de la décharge de Ouèssè-Ouidah est en accord avec celle de la littérature [17], [18]. Cette présence significative du fer pourrait être due essentiellement au pourcentage élevé de la matière fermentescible et du papier carton évacués sur la décharge de Ouèssè-Ouidah, ce qui est en

accord avec la littérature [19]. En effet, le fer représente à peu près 27mg/kg dans la matière fermentescible des déchets et 134 mg/kg dans du papier carton.

Le plomb et le zinc sont les fractions métalliques les plus lessivables dans une décharge, tandis que le chrome, le cuivre, l'arsenic et le nickel sont plus difficilement extractibles des déchets (par ordre décroissant de difficulté) [20]. Ces différences s'expliquent par la solubilité des sulfures, hydroxydes et autres coprecipités, par la composition minéralogique du milieu et les différents modes de complexation. D'autre part, il a été montré que généralement la concentration en métaux lourds dans les lixiviats de décharge est faible, et une partie importante de ces métaux se trouve dans la fraction colloïdale suite à des phénomènes de précipitation [21].

Tableau 5: Corrélation entre la température et les paramètres de pollution organique

| Echantillons | DCO en mg/LO ₂ | DBO5 en mg/L O ₂ | DBO5/DCO | T °C |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|
| E1 | 1161,0 ±14,55 | 95,8±0,16 | 0,08±0.01 | 30,3±0,80 |
| E2 | 1278,0±16,95 | 107,0±0,35 | 0,08±0.02 | 28,5±0,15 |

L'examen du tableau 5 montre que les teneurs en DBO5 obtenues sont dues à l'élévation de la température dans la période où les échantillons ont été prélevés. Il a été établi une corrélation entre l'augmentation de la température et la diminution de la DBO5 [1]. En effet, on note un réchauffement des eaux des lixiviats permettant ainsi une intensification de l'activité des bactéries. Celles-ci seront à la base de la dégradation de la matière organique présente dans le percolât.

L'étude du rapport DBO5/DCO permet de caractériser l'âge et l'état de la décomposition des déchets. Il faut rappeler que DBO5/DCO est un rapport qui évolue dans le temps. Il indique le degré de biodégradabilité et donne des informations sur la nature des transformations biochimiques qui se produisent dans la décharge [8]. Ainsi, pour les décharges jeunes ce rapport où l'activité biologique correspond à la phase acide de dégradation anaérobie, atteint la valeur de 0,83. Par contre, pour les anciennes et vieilles décharges, ce rapport décroît jusqu'à 0,05. Pour ces décharges, l'étape de fermentation ultime est atteinte. Ce stade de fermentation anaérobie est caractérisé par la diminution de la DCO et surtout de la DBO5, avec un pH basique [2], [22], [23]. La DBO5 peut même devenir nulle au cours des années. Cette phase est aussi caractérisée par des teneurs importantes en ammonium. Dans le cas de la présente étude (DBO5/DCO = 0,08 pour les deux points E1 et E2), on pourrait dire que le L.E.S. de Ouèssè-Ouidah est une décharge qui tend vers une vieille décharge.

4 CONCLUSION

Afin d'apprécier le degré de pollution des lixiviats du L.E.S. il a été effectué leur caractérisation physicochimique (conductivité électrique et turbidité élevées, forte Salinité et concentration élevée en matière organique et minérale, oxygène dissous faible, DBO5 et DCO dépassant la norme...). L'analyse de la composition en métaux lourds a mis en évidence l'importante charge métallique de ces effluents, dont le fer est le métal le plus prépondérant (2099,49 ±12,82µg/l). Cette étude a permis de mettre en évidence une pollution générée par les lixiviats du L.E.S. de Ouèssè-Ouidah (Sud Bénin). Tous nos résultats nous poussent à émettre l'idée qu'à laquelle une réflexion pour le traitement efficace des lixiviats du lieu d'enfouissement sanitaire de Ouèssè devrait être entreprise afin d'éviter une pollution de la nappe phréatique et des sédiments. Cette hypothèse nous amène à rechercher des méthodes simples et faciles pour le traitement efficace des lixiviats du monde en général et du Benin en particulier.

REFERENCES

- [1] Khattabi H., Lotfi A., Mania J. Evaluation de l'impact des lixiviats d'une décharge d'ordures ménagères sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux d'un ruisseau de Franche Comté. Déchets-Sciences et techniques 24, 1 – 4 (2002).
- [2] Ozanne f., Les lixiviats de décharge, le point des connaissances en 1990. L'eau : Techniques, sciences et méthodes juin 289-312 (1990).
- [3] Lamizana-Diallo M. B., Kenfach S. et Millogo-Rasolodimby J.,. Evaluation de la qualité physico-chimique de l'eau d'un cours d'eau temporaire du Burkina-Faso : le cas de Massili dan le Kadiogo. Sud Sci. Techno (16) :23-38 (2008).
- [4] Plan de l'état des lieux du L.E.S. Direction des services techniques, Mairie de Cotonou, (Juin 2004)
- [5] Beaux, J. F. L'environnement, Repères pratiques. Nathan. 160 (1998).

- [6] Ehrig H-J. Water and elements balances of landfills. Lecture notes in Earth Sciences. P. Baccini, Ed., Springer-verlag, Berlin (1988).
- [7] Rachid HAKKOU La décharge publique de Marrakech : caractérisation des lixiviats, étude de leur impact sur les ressources en eau et essais de leur traitement. Thèse de Doctorat, Université Cadi Ayyad, N° d'ordre : 23 / C271 (2001).
- [8] Kerbachi R. et Belkacemi M., Caractérisation et évolution des lixiviats de la décharge de Oued-Smar à Alger, techniques, Sciences et Méthodes – L'eau, 11, 615-618 (1994).
- [9] Lagier, Etude des macro molécules de lixiviat : Caractérisation et comportement vis-à-vis des métaux. Thèse de Doctorat. N°72 Université de Limoges (2006).
- [10] Christensen T. H., Kjeldsen P., Albrechtsen H-J., Heron G., Neilsen P. H., Bjerg P. L. & Hom. P. E. Attenuation of landfill leachate pollutants in aquifers. *Critical Reviews in Environmental Science & Technology*, 24 (2) 119-202 (1994).
- [11] Chofqi A., Mise en évidence des mécanismes de contamination des eaux souterraines par les lixiviats d'une décharge incontrôlée (El. Jadida-Maroc) : géologie, hydrologie, géoélectrique, Géochimie et Epidémiologie. Thèse Univ. El Jadida, Maroc 250p (2004).
- [12] El Khamlichi M. A., Lakrabni S., Kabbaj M., Jarby E., et Kouhen M., Etude d'impact de la décharge publique d'Akrach (Rabat, Maroc) sur la qualité des ressources en eau. *Revue Marocaine de Génie Civil*, N°68, avril - mai, 17-31 (1997).
- [13] El-Fadel M., Findikakis A. N. & Leckie J. O. Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling. *Journal of Environmental Management* 50 ,1-25 (1997).
- [14] Mertens P., Richelle B., Watelet M. & Wollast A. Audit technique de caractérisation d'une ancienne décharge , composition d'un lixiviat particulier. *TSM-l'eau* 6, 465-470 (1995).
- [15] Mattias B. A., Nilson P., Seasonal changes of leachate production and quality from test cells. *J. Envir. Eng. Div. Assce*, P 892-900 (1997).
- [16] Tazi H., , Déchets solides : Etude d'impact sur l'environnement (sol, eaux souterraines) et traitement par voies de compostage. Thèse Univ. El Jadida, Maroc, 224p (2001).
- [17] STEPHENS S.-R., ALLOWAY B.-J., CARTER J.-E. & PARKER A., Towards the characterization of heavy metals in dredged canal sediments and an appreciation of availability: two examples from the UK. *Environmental pollution*. vol. 113, pp. 395-401 (2001).
- [18] Clement, in article Tahiri Alaoui Anass (1994).
- [19] Sidi Ould ALOUEIMINE méthodologie de caractérisation des déchets ménagers a Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision (2006).
- [20] Assmuth T. Distribution and attenuation of hazardous substances in uncontrolled solid waste landfills. *Waste Management & Research*, N°. 10, 235-255 (1992).
- [21] Jensen D. L. & Christensen T. H. Colloidal and dissolved metals in leachates from four Danish Landfills. *Wat. Res.* 33 (9) 2139-2147 (1999).
- [22] Robinson H. D., Characterization and treatment of leachates from Hong Kong Landfill sites. *J. IWEM*, 5, 326-335 (1991).
- [23] Millot N. Les lixiviats de décharge contrôlée , Caractérisation analytique et étude des filières de traitement. Thèse INSA-Lyon-France , 180 pages (1986).