



Physicochemical Characterization of Leachate Discharge Fkih Ben Salah from Morocco

Merzouki H.^a, Hanine H.^a, Lekhlif B.^b, Latrache L.^c, Mandi L.^c, Sinan M.

^aLaboratoire de Bio-process et Bio-interface, Faculté des Sciences et Techniques, Université Sultan Moulay Slimane Beni Mellal, Maroc

^bEquipe de recherche Hydrogéologie, Traitement et Epuration des Eaux et Changements Climatiques, Laboratoire de Génie de l'Environnement, Ecole Hassania des Travaux Publics, Casablanca, Maroc

^cCentre National d'Etudes et de Recherche sur l'Eau et l'Energie (CNEREE), l'université Cadi Ayyad-Marrakech

Received 14 Oct 2014, , Revised 27 Feb 2015, Accepted 27 Feb 2015

*Corresponding author: E-mail: hanine1960@gmail.com

Abstract

The waste generated by domestic and industrial activities, set dumpsite pose a risk of contamination of the groundwater in the region Fkih Ben Salah flowing in aquifers composed of sand phosphates and phosphatic limestone. This consists mainly of organic matter (77.7%), and other waste such as tissues (6.1%), plastic and cardboard (5.1%), miscellaneous packaging (3.3 %), metals (1.8%) and the lenses (0.9%). Therefore, it is necessary to study the environmental problems of the discharge through an assessment of the risk generated by the discharge of pollutants on the surrounding environment and particularly on water resources. It is with this objective that fits the job. It consists of a physicochemical characterization of leachate. The results of leachate analysis showed that the average value of pH is 4.7 (young leachate). The total hardness is 68.33 mg / l. Leachate is very rich in organic matter (BOD₅ equal to 6697mgO₂ / l), COD is 18026mgO₂ / l. The BOD₅/COD ratio (0.34) is greater than 0.3 and marking a favorable biodegradability of leachate studied. Viewpoint mineral composition, leachate is rich in total nitrogen NTK (2361mg / l), total phosphorus (144mg / l), orthophosphate (100.95 mg / l), sulphate (1326.87 mg / l) and chloride ion (2051.11 mg / l). However, heavy metals in the composition of leachate is very important. Indeed, the concentrations of iron (59.03 mg / l) and zinc (8.59 mg / l) are abnormally high. As for copper and lead, their concentrations are on average 2 mg / l. Analysis of these results, it is necessary a hybrid treatment physicochemical means (precipitation, coagulation, electrocautery, etc ...) followed by a biological process (biofilter) to reduce the pollution load generated by the leachate.

Keywords: leachate, COD, BOD₅, heavy metals, Electrocoagulation, Biofilter, groundwater.

Introduction

La production des déchets ne cesse d'augmenter au Maroc, en quantité et en qualité, en engendrant ainsi d'énormes risques sur l'environnement et sur la santé humaine. En effet, dès leur mise en en décharge, les déchets sont soumis à des processus de dégradation liés à des réactions chimiques, physico-chimiques et biologiques complexes, ce qui présente, des risques potentiels de dégradation de l'environnement par l'émanation d'odeurs nauséabondes (H₂S, NH₃,...), l'émission des gaz toxiques et à effet de serre (CO₂, CH₄,...), et la production de lixiviat.

Les eaux météoriques, en percolant à travers les déchets, s'enrichissent en divers polluants avant de devenir des eaux usées appelées lixiviat ou jus de décharge [1,2]. Le lixiviat appelé aussi lessiva ou percolât, désigne l'eau qui a percolé à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement, et surtout chimiquement de substances minérales et organiques [3]. La qualité physico-chimique de ces effluents est très diverse et variable dans le temps et dans l'espace [4].

La composition chimique des lixiviats est spécifique à chaque décharge. Elle est fonction de certains paramètres tels que la nature, l'âge de la décharge, le type de déchets, la méthode de mise en dépôt, la nature du site, les conditions climatiques, etc [5,6,7]. L'objectif de cette étude porte sur la caractérisation physique et physico-chimique de la décharge publique de la ville de Fkih Bensaleh dont les déchets résultent de l'activité humaine qui pouvant générer de multiples atteintes affectant la santé humaine par le dégagement d'odeurs nauséabonds

et de gaz toxiques d'une part et polluer la nappe phréatique par infiltration et ou stagnation de lixiviats d'autre part. Ces interactions entre la décharge et le milieu récepteur accentuent les risques de contamination en générant des lixiviats qui, en s'infiltrant, entraînent un enrichissement des eaux en métaux tels que le mercure, le chrome, le plomb, le cadmium etc.... en altérant la qualité des eaux superficielles et souterraines.

2. Materials and Methods

2.1. Site d'étude

La décharge de Fkih Ben Salah (située à une dizaine de km au nord de la ville de Fkih Ben Salah) (Photo.1), comme la majorité des décharges marocaines, est un dépotoir sauvage. Elle contient des déchets issus des activités domestiques et industrielles. Ses déchets ne font l'objet d'aucun traitement, ce qui traduit par une multitude de nuisances de divers ordres à savoir :

1. La contamination des sols et des eaux souterraines par les écoulements du lixiviat ;
2. Le libre accès aux animaux qui courent le risque d'ingérer des matières solides et toxiques ;
3. L'éparpillement des déchets à partir de la décharge, ce qui constitue une autre forme de nuisance sur les environs de la décharge (proximité de la RN11);
4. Le brûlage des déchets par la disponibilité du biogaz influence sur la qualité de l'air, et par conséquent sur la population avoisinante, surtout quand les déchets contiennent certains produits toxiques.



Photo 1: View of Fkih Ben Salah Discharge

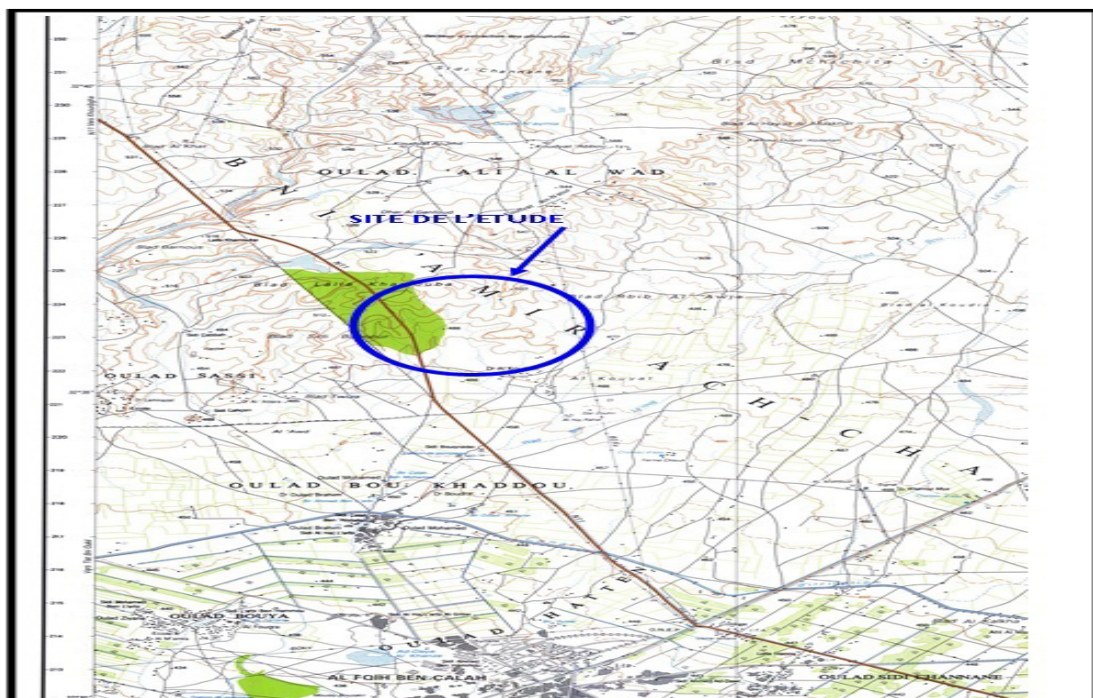


Figure 1: Situation map of the landfill solid waste Fkih Ben Salah (Tadla basin)

La décharge est située sur le plateau des phosphates constitué d'affleurements de l'Eocène (composés d'alternances de phosphates sableux et de calcaires phosphatés à silex fissurés, atteignant une épaisseur d'environ 100 m dans le secteur Fkih-Ben-Salah - El Brouj). Ces formations perméables renferment une nappe phréatique circulant du nord vers le sud dans la zone d'étude (Figure.1 et 2).

La qualité de l'eau de cet aquifère est variable ; la salinité varie généralement entre 0.5 et 1.5 g/l. L'importance de la perméabilité de ces formations aquifères et la faible profondeur de l'eau de la nappe par rapport à la surface du sol font que leur vulnérabilité à la pollution de surface est importante.

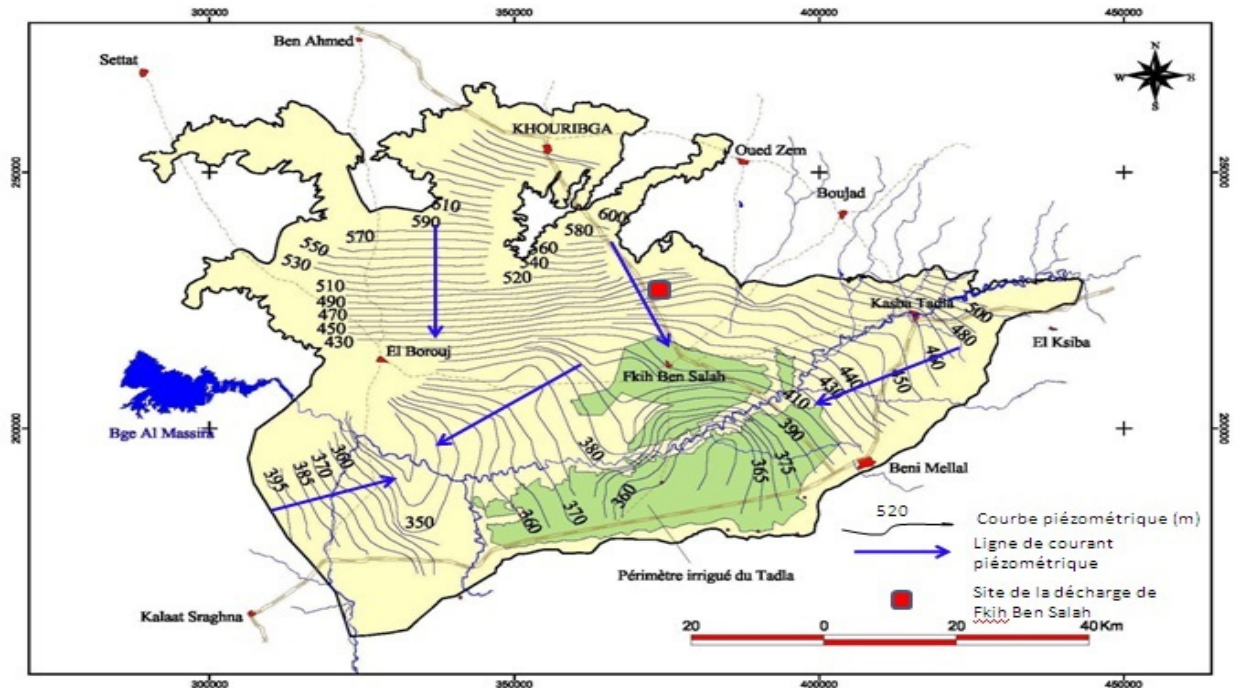


Figure 2: Map of the aquifer piezometric Eocene Basin Tadla

Ceci constitue une source de pollution pour le sol et les eaux souterraines par un lixiviat de forte charge polluante.

Afin d'évaluer et de mettre en évidence l'impact des lixiviats de la décharge de Fkih Ben Salah sur les ressources en eaux souterraines, on se propose d'étudier dans le présent travail la caractérisation physico-chimique des lixiviats. Cette caractérisation est basée sur un suivi mensuel de certains paramètres considérés comme des indicateurs de pollution, à savoir le pH, la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅), l'Azote Total Kjeldahl (NTK), le Phosphore Total (PT), les Orthophosphates, les Sulfates, la Dureté totale (DT), les Chlorures (Cl⁻), et les métaux lourds (Plomb (Pb), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), et le Fer (Fe)).

Le site de la décharge est situé au nord de la ville de Fkih Ben Salah, au bord de la route nationale, RN11 (Figure 3), allant vers la ville de Khouribga à une distance de 13 km du centre de la ville et a une superficie de 50ha.

2.2. Caractérisation physico-chimique des lixiviat de la décharge de Fkih Ben Salah

Les échantillons des lixiviats ont été prélevés de façon mensuelle, à partir des camions de collecte des déchets, en utilisant des bouteilles en plastique normalisées pour échantillonnage. Les échantillons sont conservés à 4°C et transportés immédiatement au laboratoire pour analyse.

La mesure du potentiel d'hydrogène (pH) est effectuée à l'aide d'une sonde multiparamètre, type Consort C933. La demande biologique en oxygène (DBO₅) est déterminée selon la méthode respiratoire à l'aide de DBO-mètre, à 20°C et à l'obscurité (AFNOR T90-103). La demande chimique en oxygène (DCO) a été déterminée selon la méthode standard (AFNOR T-101).



Figure 3: Discharge location Fkih Ben Salah

Le phosphore total (PT) est obtenu après minéralisation en milieu acide, en présence de persulfate de sodium à 200°C, pendant deux heures, puis dosé par spectrophotométrie à 700nm (AFNOR T90-023). Le dosage est effectué comme les orthophosphates (PO_4^{3-}) selon le même protocole que le phosphore total.

Les sulfates sont déterminés selon [8], par méthode néphélométrique où les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum et stabilisé à l'aide d'une solution de Tween 20 les suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre à $\lambda = 650$. La Dureté total (DT) est déterminée par complexométrie, avec une solution d'E.D.T.A à pH = 10 en présence du noir d'ériochrome comme indicateur coloré [8]. Les chlorures sont dosés par la méthode de MOHR, selon la norme AFNOR T 90-014.

Le dosage des métaux lourds est effectué à l'aide de Spectrophotomètre d'absorption atomique à flamme, Four en graphite, de marque SHIMADZU, Modèle AA, et type 6300/GFA-EX7i.

3. Results and discussion

3.1. The physicochemical parameters of the leachate

L'examen des déchets de la décharge de Fkih Bensaleh (Table 1), montre qu'ils sont caractérisés par un taux important en matière organique, en comparaison avec les déchets des pays développés comme la France et les Etats Unis [9]. Ses caractéristiques sont similaires à celles des décharges d'autres villes marocaines, telles qu'AL Hoceima (70% de la matière Organique) [10] Rabat (72%), Salé (75%), et Agadir (77%) [11] d'une part et d'autre part, la matière organique est la fraction la plus dominante, (77,7%), suivie par celle des tissus (6,1%), du plastique et du carton (5,1%), des emballages divers (3,3%), des métaux (1,8%), et les verres (0,9%).

Table 1: Composition of household waste in the city of Fkih Ben Salah

Types de déchets	Quantité en %
Plastiques	5,3
Emballages divers	3,3
Cartons	5,1
Verres	0,9
Tissus	6,1
Matière Organique	77,7
Métaux (Fer, Aluminium)	1,8

Les paramètres physico-chimiques des lixiviats de Fkih Ben Salah ont été suivis mensuellement durant le 2^{ème} semestre de l'année 2013. Les valeurs moyennes mensuelles enregistrées sont présentées (Table 2).

Table 2: Physico-chemical characterization of leachate discharge Fkih Ben Salah

Paramètre	Valeur minimale	Valeur maximale	Moyenne	Ecart-type
pH	3,7	4,9	4,23	-
DBO ₅ (mgO ₂ /l)	5563	8077	6667	±546
DCO (mgO ₂ /l)	16860	19630	18063	±808
DBO ₅ /DCO	0,319	0,413	0,369	±0,027
DT (mg/l)	37,67	100	68	±3,7
P T (mg/l)	88,51	184,13	144,047	±13,318
Ortho-P (mg/l)	85,62	111,37	100,95	±2,96
NTK (mg/l)	2000	2730	2360	±99
Sulfates (mg/l)	988	1599	1326,87	±31,27
Chlorures (mg/l))	710	3905	2201	±502
Cadmium (mg/l)	0,013	0,041	0,026	±0,003
Plomb (mg/l)	1,292	2,74	1,97	±0,113
Cuivre (mg/l)	1,58	2,52	2	±0,087
Zinc (mg/l)	6,15	9,9	8,29	±1,387
Fer (mg/l)	55,032	63,58	59,038	±1,1

Les valeurs du pH de lixiviat, enregistrées durant la période d'étude (Figure 4), sont acides (4,23 en moyenne) avec un minimum de 3,7 (Juillet 2013), et un maximum de 4,9 (Décembre 2013)

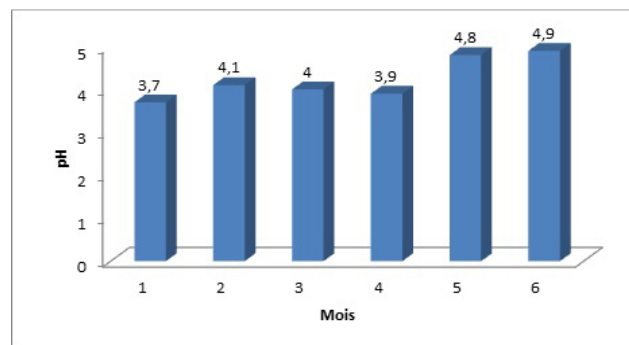


Figure 4: Monthly change in pH of leachate

Le pH dans le lixiviat est considéré parmi les paramètres les plus importants, qui affectent la concentration de lixiviat dans les décharges des déchets ménagers et assimilés [12]. Le pH acide du lixiviat correspond probablement à la phase d'acidogénèse (libération des acides gras volatils pendant la première étape de la biométhanisation. Par ailleurs, sa couleur est jaunâtre. Or, d'après [1,13], un lixiviat jaune se situerait encore en phase d'acidogénèse. Selon le travail réalisé par Tahiri et al. [14] le pH obtenu lors d'analyses de lixiviat d'un centre d'enfouissement technique est basique, il est égal à 8,8.

D'après la Figure 5.a, la DBO₅ varie entre un maximum de 8077mgO₂/l (Novembre) et un minimum de 5563mgO₂/l (Juillet), alors que la moyenne est de 6667mgO₂/l. Ces valeurs sont élevées par rapport à celles trouvées par d'autres auteurs [15], ils ont trouvé une DBO₅ de 4220mgO₂/l. Mais elles restent largement inférieures à celles trouvées par [16] : 36670 et 58100 mgO₂/l pour des lixiviats frais.

D'après la Figure 5.a, la DBO₅ varie entre un maximum de 8077mgO₂/l (Novembre) et un minimum de 5563mgO₂/l (Juillet), alors que la moyenne est de 6667mgO₂/l. Ces valeurs se situent dans l'intervalle de la phase acidogène (entre 500 et 68000 mgO₂/l) [17], ce qui correspond aux lixiviats à caractère ménager (20-57000mgO₂/l) [18].

Une augmentation très importante de la DCO a été relevée (Figure 5.b) allant de 16864mgO₂/l (Septembre 2013) à 19632mgO₂/l en Novembre 2014, alors que la moyenne est de 18027mgO₂/l. Zalaghi et al. [15] ont trouvé une valeur de 5687,18 mgO₂/l. Ceci dénote de la forte charge polluante du lixiviat de la décharge de Fkih Ben Salah. Cette charge reste, néanmoins inférieure à celle trouvée par [16], elles sont comprises entre 35320 et 58100 mgO₂/l. Le rapport DBO₅/DCO a été calculé pour estimer la biodégradabilité de la matière organique. Ce rapport varie entre un maximum (Figure 5.c) de 0,413 (Novembre 2013) et un minimum de 0,319, alors que

la moyenne est de 0,369. Selon [1], et [13], ces valeurs correspondent à des lixiviats instable et de biodégradabilité moyenne ($DBO_5/DCO > 0,3$), aussi [19,20] ont confirmé que, la matière organique est biodégradable quand le lixiviat est jeune, et cette biodégradabilité est diminuée avec le temps.

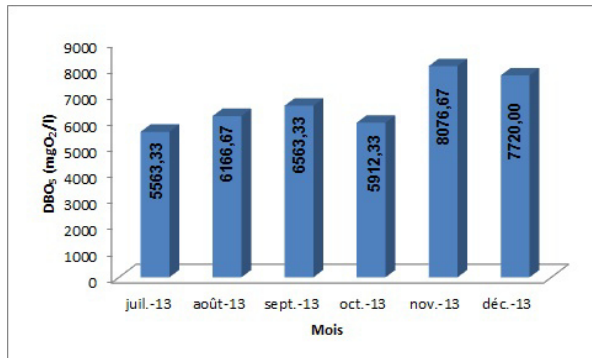


Figure 5a: the monthly variation of BOD5

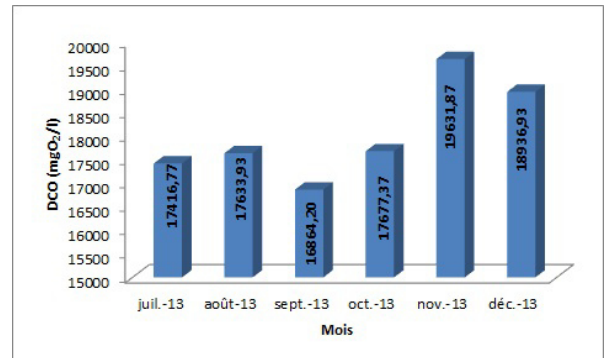


Figure 5b: the monthly change in COD

En comparaison avec d'autres décharges, comme la décharge de Tiaret, ce rapport varie entre 0,11 et 0,25, et indique que la décharge est ancienne mais pas encore stabilisée du fait de la phase acide de dégradation [21]. De même [15] ont trouvé une valeur de ce rapport égal à environ 0,7. Par contre, pour la décharge d'Agadir [16], ce rapport varie entre 1,34 et 2,22 dénote le caractère biologique biodégradable.

L'azote total NTK est très abondant dans les lixiviats, il présente une valeur moyenne de 2361mg/l (Figure 6) avec une valeur maximale de 2730mg/l (Décembre 2013). En comparaison avec d'autres décharges marocaines, telle que la décharge de Larache (975mg/l en période humide et 800mg/l en période sèche) [22], les lixiviats de la décharge de Fkih Ben Salah contiennent une forte concentration en azote total. Les mêmes résultats ont été confirmés par des études réalisées dans d'autres régions marocaines [23,24,25] et en Europe [26,27]. Les principales sources de la contamination par la pollution azoté sont due aux déchets issu des activités agricoles (fertilisants azotés, l'élevage, certains déchets industrielles comme l'abattoir).

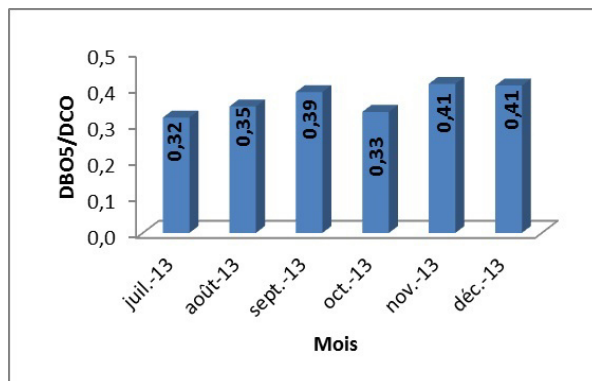


Figure 5c: the monthly variation of BOD5 / COD

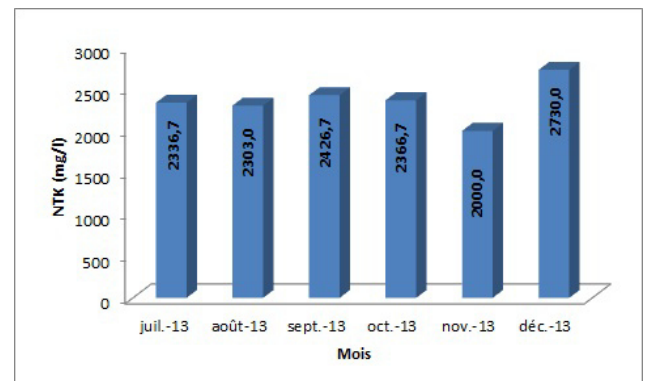


Figure 6: Monthly variation of Total Nitrogen NTK

Les analyses ont montré que la moyenne du phosphore total dans les lixiviats durant la période d'étude (Figure 7.a) est de 144,047mg/l, avec un minimum enregistré de 88,507mg/l (Juillet 2013), et un maximum de 184,133 (Décembre 2013). La présence du phosphore dans les déchets provient de certaines catégories de déchets comme les os, les combustibles non classés et les déchets putrescibles [28].

Les ortho-phosphates présentent des teneurs élevées dans les lixiviats (Figure 7.b), les valeurs enregistrées durant cette période sont en moyenne de 100mg/l.

La dureté totale qui est la somme des concentrations calciques et magnésiennes, a une moyenne de 63,33mg/l (Figure 8). La valeur minimale est enregistrée pendant la période humide est de 37,667mg/l en décembre, par contre la valeur maximale atteinte pendant la période sèche est de (100mg/l) en juillet.

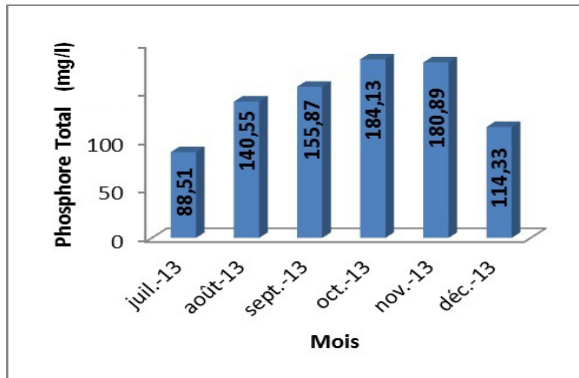


Figure 7a: The monthly variation of total phosphorus

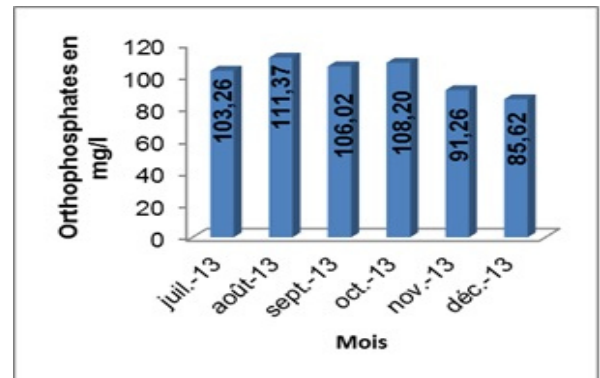


Figure 7b: The monthly variation of orthophosphate

Les lixiviats de la décharge de Fkih Ben Salah présentent des teneurs très importantes en ions Cl^- (2051,11mg/l) (Figure 9). Comme c'est le cas de la plus part des décharges d'ordures ménagères [29]. Les fortes teneurs en chlorures ont été enregistrées pendant la période sèche, ceci peut s'expliquer par l'absence des précipitations qui peuvent engendrer des phénomènes de dilution des lixiviats, et qui deviennent de plus en plus riches en chlorures.

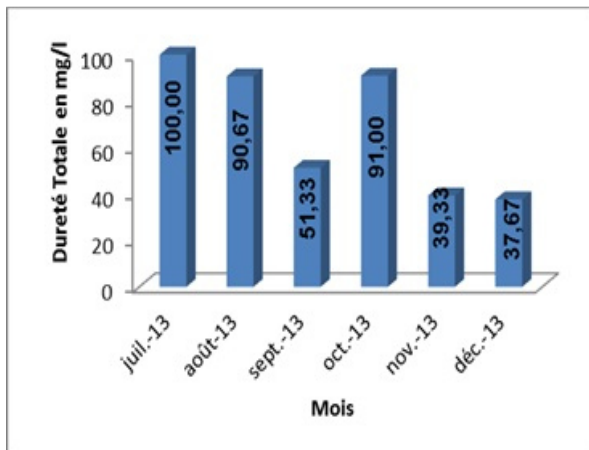


Figure 8: The monthly variation of total hardness

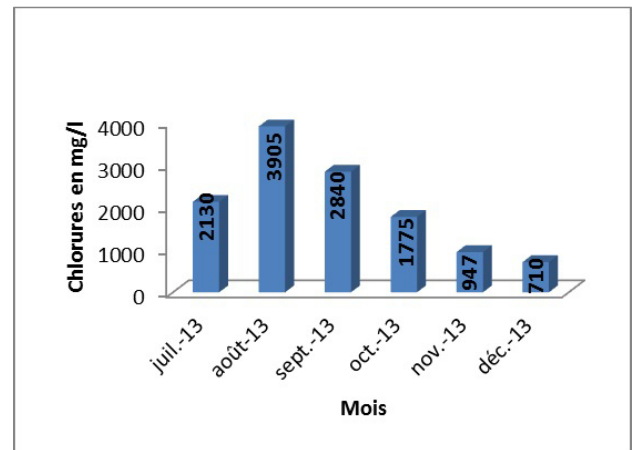


Figure9: The monthly variation of Chloride

Ces résultats sont confirmés par d'autres études comme celles de [30], qui ont montré que les déchets renferment des concentrations importantes des chlorures. Par ailleurs, [31] a montré que ces déchets produits des percolats très chargés en chlorures. Les analyses montrent que les lixiviats de la décharge de Fkih Ben Salah, sont très riches en ions sulfates (Figure 10), avec une moyenne de 1326,86mg/l. Cette valeur est comprise entre un minimum de 988mg/l (Octobre), et un maximum de 1599mg/l (Novembre). Ces valeurs ont été confirmées par [32], qui ont montré que la forte présence des sulfates dans les lixiviats est due à des déchets riches en soufre tel que le bois et le plâtre.

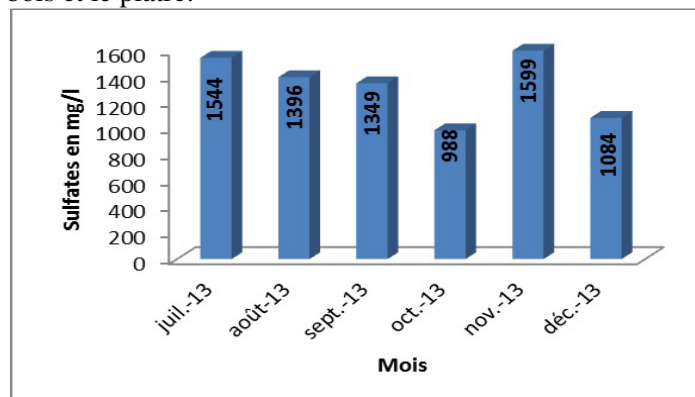
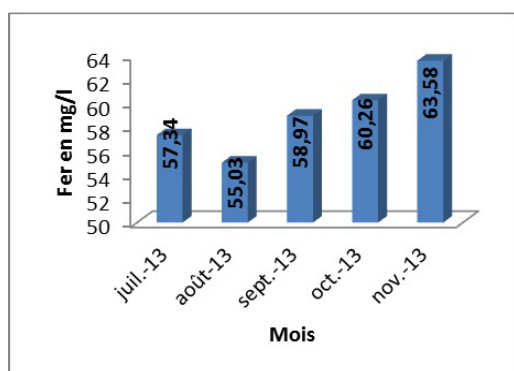


Figure10: The monthly variation of sulfates

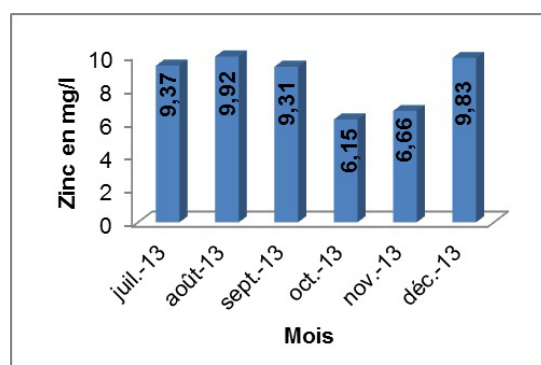
En comparaison avec d'autres décharges marocaines comme celle de Larache (366mg/l en été et 240mg/l en hivers) [19], les lixiviats de Fkih Ben Salah présentent des concentrations riches en ions sulfates.

L'analyse de la composition en métaux lourds (Fe, Zn, Cu, Pb, et Cd) des lixiviats (Figure 11) a mis en évidence l'importante charge métallique du percôlat. La grande variation des teneurs en métaux lourds peut être associée à la forte hétérogénéité des déchets. D'après les résultats (Figure 11.a), le Fer est présent en grande quantité avec des gammes de concentrations de 55,032mg/l (Août 2013) comme valeur minimale et 63,58mg/l (Novembre 2013) comme valeur maximale. Il est suivi par le Zinc, sa concentration moyenne est 8,54mg/l (Figure 11.b), ensuite par le Cuivre (Figure 11.c) et le Plomb (Figure 11.d) à des concentrations moyennes de 2mg/l, enfin, le Cadmium (Figure 11.e) qui présente une faible concentration (0,026mg/l). La forte concentration en Fer est confirmée par [33, 34,35]. Ce métal est essentiellement présent dans les matériaux métalliques de la décharge.

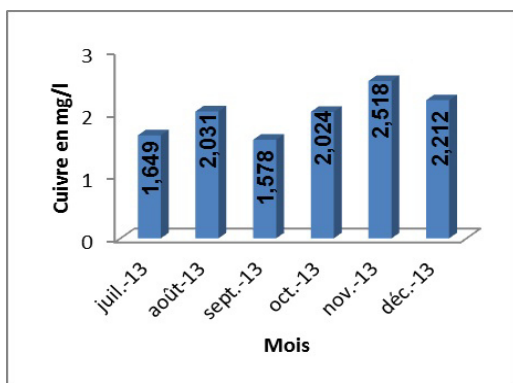
Le Zinc est un élément plus lixiviable dans un déchet frais [36]. Il provient de déchets spéciaux comme les piles, les pigments de peinture, les stabilisants ou les caoutchoucs. Quant au Cuivre, il est moins dépendant des différentes étapes de dégradation, et il peut provenir des encres d'imprimeries ou encore des peintures [37].



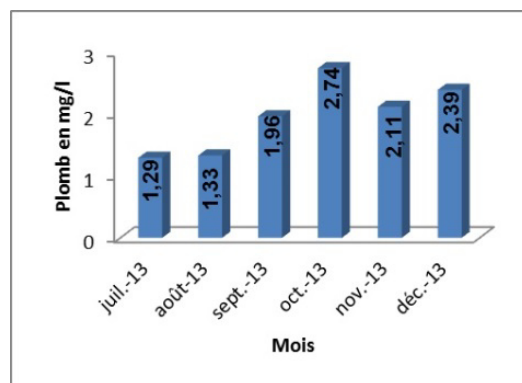
(a)



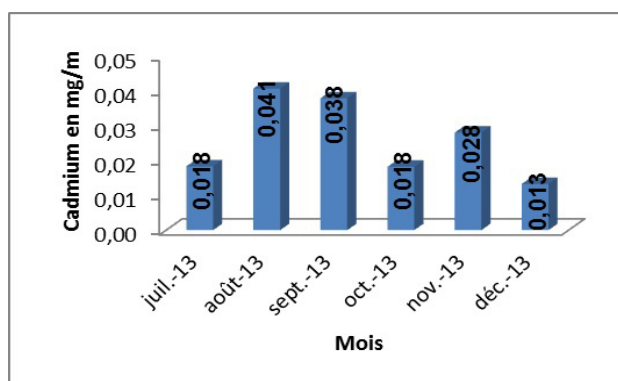
(b)



(c)



(d)



(e)

Figure 11: Monthly variation of heavy metals: (a) Iron. (b) Zinc; (c) Copper (d) Lead; (e) Cadmium

La présence de fortes teneurs en métaux lourds dans les lixiviats est due essentiellement à leur pH. Leur acidité due à leur caractère jeune (phase d'acidogénèse) rend aisée la mobilité de ces métaux dans l'environnement [38]. En effet la phase d'acidogénèse se caractérise par une plus forte teneur en métaux lourds dans les lixiviats de faible pH [39]. D'autres études ont montré que dans les lixiviats, les métaux lourds, se stabilisent avec le temps [40].

Conclusion

Les résultats de la caractérisation physico-chimique des lixiviats brutes de la décharge de Fkih Ben Salah, ont permis de mettre en évidence un impact indirect par le biais des lixiviats en générant une double pollution ; une pollution organique due à une forte charge de DCO (18027mgO₂/l), et de la DBO₅ (6667mg/l), et une pollution minérale et métallique traduite par des valeurs importantes des chlorures (2201mg/l), sulfates (1326,87mg/l), Azote Total NTK (2361mg/l), Phosphore total (144,047mg/l), le Fer (59,038mg/l), le Cuivre et le Zinc (2mg/l), et le Plomb (1,97mg/l). En outre, les teneurs obtenues particulièrement en oxygène dissous, DBO₅, DCO, Cr, Cu, Zn, Ni, Pb, restent supérieures aux normes admises, indiquant l'importance des pollutions organiques et métalliques décrites précédemment.

Ce travail doit être complété par une investigation sur l'étude d'impact des lixiviats sur les eaux de surfaces et analyser des métaux nocifs (Cadmium, Mercure) visant la détermination de l'origine de la pollution. Les résultats obtenus au niveau de la décharge ont été comparés à ceux obtenus au niveau d'autres décharges et ont montré que la composition métallique des lixiviats de la décharge de Fkih Ben salah est typique d'une décharge à caractère ménager dominant. Par ailleurs, le calcul du rapport DBO₅/DCO renseigne sur l'étape de fermentation des décharges. Appliqué aux lixiviats observés de la décharge, le rapport DBO₅/DCO donne des valeurs oscillant entre 0,32 et 0,41 indiquant une décharge ancienne mais pas encore stabilisée, correspondant à la phase acide de dégradation anaérobie

Par rapport à L'âge de la décharge et de son degré de sa pollution aussi importante, un procédé de traitement hybride par électrocoagulation suivi par un processus biologique (biofiltre) s'avère nécessaire *et ou une* Stabilisation du site de la décharge, mettre en œuvre d'un réseau de drainage des lixiviats et d'un système de drainage des eaux de pluie à l'extérieur du site pour minimiser la production de ces percolât et enfin pour minimiser les risques d'explosion ou incendie, la mise en place d'un système de piégeage du biogaz est primordiale.

Acknowledgements -Nous tenons à remercier vivement le Centre National d'Etudes et de Recherche sur l'Eau et l'Energie (CNEREE), l'université Cadi Ayyad-Marrakech, qui nous a permis de réaliser les analyses au sein de son laboratoire.

References

1. Ademee, *Ademe Editions, Paris*. (1999) 106.
2. Al-yaqout A. F., Hamouda M. F. 29 (2003) 593-600.
3. Amhoud S., *Thèse de Doctorat, Université de Rabat*. (1997) 204.
4. Baun A., Jensen S. D., Bjeg L., Christensen T. H., Nyholm N., *Environmental and Technology*. 34 (2000) 647-652.
5. Berthe C., *Thèse de Doctorat. Univ. Limoges*. (2006) 97.
6. Bilgili. M. S., Demir A., Lnce M., Ozkay B., *Science Direct, Elsevier*. 145 (2007)186-194
7. Blanchard J. M., Navarro A., Revin P. H., Pillard G., *TSM*. 3 (1989)133-140
8. Er-raïoui H., Bouzid S., Khannous M. A., Zaouag M. A., *Province de Larache, Maroc*. (2011).
9. Christensen T. H., Kjeldsen P., Albrechtsen H. J., Bjerg P. L., Holm P. E., *Critical reviews in Environmental Science Technology*. 24 (2): (1994) 119-202.
10. Delfava J., *Thèse de doctorat, Université de Montpellier II*. (1992).
11. Bourg A .C. M., Loch J. P. G. Eds. *Springe*. (1995) 88-102.
12. Exner M. E., Spallding R. F., Lindeau C. W *Grounwater*. 23 (1985) 26-34.
13. Flyammar P, *The Science of the Total Environment*. 198 (1997)123-133.
14. Tahiri A., Destain J., Thonart Ph., Druart Ph., *J. Mater. Environ. Sci*. 5 (2014) 2495.
15. Zalaghi A., Lamchouri F., Toufik H., Merzouki M., *J. Mater. Environ. Sci*. 5 (2014) 1643.
16. Jirou Y., Harrouni C., Arroud A, Daoud S., Fox H., and Fatmi M., *J. Mater. Environ. Sci*. 5 (2014) 1816.

17. François V., *Thèse de doctorat, Université de Limoges.* (2004).
18. Kekri A., Pineau J. L., Wahbi M., Benbouzine A., Marrakchi C., *Tsm L'eau.* 3 (2006) 149-158.
19. Joly P. L., *Théorie et pratique du traitement aérobie des lixiviats des centres d'enfouissement.* (1988)
20. Kang K. H., Shin H. S., Park H., *Wat. Res.*, 36(16): (2002) 4023-4032.
21. Kjeldsen P., Barlaz M. A., Rooke A. P., Baun A., Ledin A., Christensen H. review. *Critical reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4) : (2002) 297-336.
22. Khattabi H., Lotfi A., Mania J., *Déchets-Sciences et Techniques*, 24 : (2002) 1-4.
23. Laftouhi N. E., Vanclooster M., Jalal M., Witam O., Aboufirassi M., Bachir M., Persons E. C., *R Geosci.* 335: (2003) 307-317.
24. Leclerc G., Bonneau A., *Eau Québec.* 15(1): (1982) 37-45.
25. Legret M., *Conference Heavy Metals in the Environment, Toronto.* 2 : (1993) 463-466.
26. Lhadi E. K., Mountadar M., Tounsi A., *Hydrogéologie.* 3: (1996) 21-23.
27. Martensson A. M., Aulin C., Wahlberg O., Agren S., *Waste Management and Research*, 17: (1999) 296-304.
28. Mehdi. M. M., Belabbed B. E., Djabri. L., Hani. A., Laour R., *Courrier du Savoir.* 8: (2007) 93-99.
29. Millot N., *Thèse, INSA Lyon.* (1986).
30. Navarro A., Bernard D., Millot N., *TSM L'EAU*, 3: (1988) 541-545.
31. Navarro A., Veron J., Pillay G., Roussy J., Roulph C., *Rapport d'étude. Ministère de l'environnement, Service de la recherche, des études et du traitement de l'information sur l'environnement.* (1986).
32. Ozane F., *Techniques sciences et méthodes-l'Eau*, (1990) 298-312.
33. Qasim S. R. Chiang W., *Technomic Publishing.* (1994).
34. Ramade F., *Ediscience*, (1998) 354-356.
35. Rassam. A., Bourkhiss B., Caouch A., Bourkhiss M., *ScienceLib Editions Merenne*, (2012) N° 120602 IN 2111 – 4706.
36. Reinhart D. R., Grosh C.J., *Center for Solid and Hazardous Waste Management, Report*, (1998) 97-3.
37. Reitzel A., *Masters of applied science, thesis, university of waterloo.* (1990) 144.
38. Robinson H. D., Lucas J.L., *Water Sciences Technology*, 17 : (1985) 477-492
39. Rouyer P., *Thèse de Doctorat, Université de Montpellier II.* (1990).
40. Trebouet D., *Thèse de doctorat, Université de Nantes* (1998).

(2015) ; <http://www.jmaterenvironsci.com>