

Etude des paramètres physico-chimiques caractérisant les lixiviats de la décharge publique de la ville de Sefrou (Maroc)

Elhoussine Derwich¹, Zineb Benziane², Lahcen Benaabidate³

1. Centre universitaire régional d'interface, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc. E-mail: elhoussinederwich@yahoo.fr
2. Faculté des sciences, Département de biologie, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc. E-mail: zineb_benziane@yahoo.fr
3. Faculté des sciences et techniques, Département de géologie, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc. E-mail: benaabidate@yahoo.fr

Résumé

Dans le but, d'évaluer les paramètres physico-chimiques du lixiviat de la décharge publique de la ville de Sefrou et son impact sur l'environnement (eaux souterraines, de surface, air atmosphérique...), des prélèvements bisannuels (saison estivale et hivernale) ont été effectués et ont été analysés. Les résultats obtenus ont montré une forte dégradation de la qualité physico-chimique des lixiviats : faibles teneurs en oxygène, valeurs élevées de la conductivité électrique et des concentrations en Chlore, Sulfates, Nitrates, Nitrites, Mg^{2+} , Ca^{2+} , DBO_5 , DCO, Zn, Cu, Fe et Ni. La forte charge en matière organique et la présence des éléments métalliques montrent que les ordures ménagères contiennent des déchets industriels.

Les concentrations dépassent les normes de rejets (OMS 2000), ce qui constitue un danger potentiel pour l'environnement et la santé des populations de la ville de Sefrou. La variation des paramètres physico-chimiques est régie par des facteurs hydrogéologiques et climatiques. Le traitement des lixiviats avant leur rejet dans l'environnement semble donc nécessaire.

Mots clés : lixiviat, décharge publique, pollution, physico-chimie, métaux lourds, Sefrou.

I. Introduction

Description du site

Durant les dernières décennies, les décharges publiques ont causé beaucoup de problèmes (Belevi et al., 1992). La production des déchets solides, municipaux et industriels continue d'augmenter dans le monde entier (PNUE, 1993). Dans les pays en développement, le déversement incontrôlé de déchets urbains dans des décharges à ciel ouvert est l'une des causes principales de contamination des eaux souterraines et de surface.

Dans ce travail, le site étudié est la décharge d'ordures ménagères située à 1 km à l'est de la ville de Sefrou (Fig. 1). Cette décharge reçoit les déchets des ménages des différentes communes de cette ville, soit un total de 260 000 habitants dont 114 000 urbains et 146 000 ruraux (RGPH, 2004). Elle occupe une surface de 4 000 m², et reçoit 120 000 tonnes de déchets/an, composées de 6,45 % de papier-carton, 3,55 % de plastiques, 1 % de verre, 80 % de matières organiques, 1 % de métaux et autres (vêtements, chaussures, etc.) (Fig. 2).

Elle est située entre le plateau de Saïs et le piémont septentrional du Moyen-Atlas, à une altitude de 400 m. Elle fonctionne depuis 1996 et présente un mode d'exploitation à ciel ouvert. Cette situation entraîne la production d'un lixiviat qui peut migrer vers les nappes phréatiques avoisinantes. Le climat de la région est de type semi-aride, se caractérisant par un été chaud avec des températures ambiantes très élevées avec un maximum de 38 °C observé en août et des températures très basses en hiver, avec un minimum de 9 °C enregistré généralement en novembre. Le suivi des précipitations à l'aide d'un pluviomètre installé au voisinage de la décharge montre une pluviométrie pendant le mois de novembre de l'ordre de 460 mm.

D'un point de vue géologique, la décharge de Sefrou se situe dans un contexte schisteux. Les sondages ont montré la présence d'une zone d'altération très poussée, caractérisée par une domination de la fraction argileuse, et une variation de couleur en profondeur généralement au-delà de 15 m. Les schistes sont limités à l'ouest par des grès. Les études effectuées sur ce site montrent que l'écoulement de la nappe se fait dans la direction NE-SW et la piézométrie de la nappe présente des fluctuations très importantes indiquant que cette nappe est très dépendante des précipitations en surface.

Fig. 1. Localisation de la décharge et des points de prélèvement de lixiviat



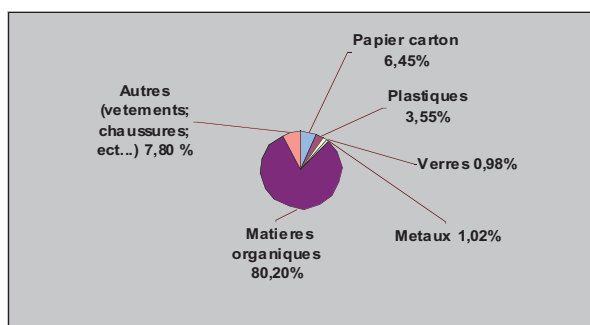


Fig. 2. Composition et proportions des déchets de la décharge étudiée

II. Matériels et méthodes

II-1. Echantillonnage et méthodes d'analyses des lixiviats

Les paramètres physico-chimiques sont déterminés à partir de prélèvements bisannuels effectués au niveau des différents points situés à différentes distances du centre de la décharge. Les points de prélèvement ont été choisis de façon à ce que l'échantillonnage soit représentatif du milieu. La conservation des échantillons de lixiviat a été faite selon le guide général pour la conservation et la manipulation des échantillons (ISO, 1994) et le guide de bonne pratique de l'Office national de l'eau potable (ONEP, 1999). Les sites de prélèvements ont été choisis selon leur éloignement de la source de pollution (décharge). Le site S1 est le plus proche de la décharge (15 m) et le site S5 est le plus éloigné (1 000 m).

Le pH, la température, la conductivité électrique et l'oxygène dissout sont déterminés à l'aide d'un analyseur de type Consort, modèle 835. Toutes les analyses et les mesures nécessaires pour quantifier les polluants organiques, azotés et sulfates sont normalisées.

La détermination des nitrates et des nitrites a été effectuée par la méthode photométrique selon la norme DIN (1993c). La DCO est déterminée par oxydation des matières oxydables en milieu acide par l'excès de dichromate de potassium à la température de 148 °C, en présence de sulfate d'argent comme catalyseur et de sulfate de mercure (DIN 1992b). La DBO₅ est déterminée par la méthode respiratoire à l'aide d'un DBO-mètre marque WTW, modèle 1020T, selon la technique décrite par la norme DIN (1992a). Les chlorures sont déterminés par la méthode de comptage des pastilles pré-dosées. Le dosage des métaux lourds (Fe, Zn, Ni et Cu) et de certains éléments majeurs (Na⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺) a été effectué par spectrométrie d'émission atomique avec plasma à couplage inductif (ICP-AES, modèle Joban Yvan) au Centre universitaire régional d'interface, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc.

III. Résultats et discussions

III-1. Les paramètres physico-chimiques

Les caractéristiques physico-chimiques des lixiviats de la décharge de Sefrou sont regroupées dans les tableaux 1, 2 et 3.

Tab. 1. Paramètres majeurs des lixiviats de la décharge de Sefrou

Paramètres	T (°C)	pH	O ₂ dissout (mg/l)	CE (ms/cm)	Alcalinité (mg/l (CaCO ₃))	Cl ⁻ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)
Max	19,5	8,2	1.20	3 721,20	410,30	839,10	115,10	200,10	1 600,04
Min	7,5	5,1	0.90	2 121,01	182,15	150,20	35,18	70,80	104,01
Moy	13,5	6,6	1,05	3 421,10	296,12	494,50	75,10	135,45	852,21

CE : Conductivité électrique, Cl⁻: Chlorure, Mg²⁺ : Magnésium, Ca²⁺ : Calcium, Na⁺ : Sodium, Max : Maximale, Min : Minimale et Moy : Moyenne

Tab. 2. Paramètres globaux des lixiviats de la décharge de Sefrou

Paramètres	MES (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	DCO (mg/l)	DBO ₅ /DCO	Nitrates (mg/l)	Nitrites (mg/l)	Azote Ammoniacal (mg/l)	Sulfates (mg/l)
Max	350,12	98,80	1 550,52	0,8	1020,30	650,01	1 120,21	187,10
Min	18,50	11,22	313,5	0,2	300	190,20	2 180,50	45,80
Moy	184,31	50,51	931,93	0,5	660,15	370,01	1 650,35	116,45

MES : Matières en suspension, DBO₅ : Demande biochimique en oxygène et DCO : demande chimique en oxygène

Tab. 3. Concentrations en métaux lourds (mg/l) des lixiviats de la décharge de Sefrou

Paramètres	Ni	Cu	Zn	Fe
Max	8,64	8,37	3,26	7,15
Min	0,17	2,17	1,16	2,11
Moy	4,40	5,27	2,21	4,63

Ni : Nickel, Cu : Cuivre, Zn : Zinc et Fe : Fer

La température des lixiviats varie entre 7,5 °C et 19,5 °C. La valeur moyenne, de l'ordre de 13,5 °C, est inférieure à 30 °C, considérée comme valeur limite de rejets (CNS, 1994). Les valeurs maximales sont obtenues au cours de la saison estivale, parallèlement à une faible pluviosité et à une forte température atmosphérique.

Les valeurs de pH relevées dans le lixiviat varient de 5,1 à 8,2. En été, les valeurs de pH sont voisines de 8. En hiver, les lixiviats produits sont légèrement acides (pH = 5 en novembre). Les valeurs maximales de pH ont été enregistrées en été et coïncident avec les fortes températures enregistrées dans le lixiviat.

Les lixiviats de la décharge sont caractérisés par une concentration moyenne de CaCO₃ égale à 296 mg/l. Les valeurs minimale et maximale sont respectivement de 182 mg/l et 410 mg/l. Ces variations de la teneur en CaCO₃ dans les lixiviats peuvent être dues à l'oxydation des matières organiques fermentescibles, avec pour conséquence une production élevée de CO₂. La présence du CO₂ permet de dissoudre le carbonate de calcium sous forme de bicarbonate.

Pour l'oxygène dissout, les valeurs minimale et maximale des concentrations sont égales à 0,90 et 1,20 mg/l avec une moyenne égale à 1 mg/l. Cette valeur moyenne est inférieure à celle trouvée dans les travaux de Khattabi et al. (2002), mais reste similaire à celle trouvée par Naji (1989). La comparaison des valeurs en oxygène dissout dans les eaux des lixiviats analysés avec la grille de qualité des eaux de surface (CNS, 1994) permet de classer les eaux de lixiviats comme étant de qualité mauvaise à très mauvaise. Ce paramètre est très important : en effet, la présence d'oxygène dissout conditionne les réactions de dégradation aérobie de la matière organique et plus généralement l'équilibre biologique des milieux hydriques. L'évolution saisonnière de ce paramètre est caractérisée par de faibles valeurs en été et de fortes valeurs en hiver. La conductivité électrique est également un paramètre caractéristique de la qualité des eaux. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées en été (3 720 ms/cm en juillet 2008), ce qui s'explique la forte minéralisation des lixiviats pendant cette période. C'est en hiver, par contre, qu'ont été mesurées les valeurs les plus faibles de conductivité (2 120 ms/cm en novembre 2006).

Les concentrations en chlorures varient de 150 mg/l à 839 mg/l (concentration maximale enregistrée en juillet 2008). Ces concentrations sont très largement supérieures à la valeur maximale recommandée par l'OMS (5 mg/l). Les fortes valeurs de chlorures coïncident avec les fortes valeurs de conductivité enregistrées dans le lixiviat.

L'évolution saisonnière de ce paramètre est très marquée, avec des concentrations élevées en été et plus faibles en hiver. Les chlorures pourraient provenir des déchets de la décharge (Bremond et al., 1979 ; Kholtei et al., 2003) et aussi de l'écoulement des eaux d'irrigation (Bond et al., 1973 ; et Lhadi et al., 1996).

Eléments majeurs

Les concentrations obtenues dans les lixiviats de la décharge varient entre 35,2 mg/l et 115 mg/l pour le magnésium, entre 104 mg/l et 1 600 mg/l pour le sodium, et entre 70,8 mg/l et 200 mg/l pour le calcium. Les concentrations en Mg²⁺, Na⁺ et Ca²⁺ sont très dépendantes de la teneur en substances organiques dissoutes et de la saison (Christensen et al., 2001). Les évolutions saisonnières montrent bien de fortes valeurs en été, vraisemblablement dues à la faible teneur en matière organique.

Matières en suspension

Les matières en suspension (MES) représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Leurs effets sur la qualité de l'eau sont très néfastes (modification de la turbidité, réduction de la pénétration de la lumière donc de la photosynthèse). L'analyse des résultats montre que les lixiviats de la décharge la ville de Sefrou sont caractérisés par une concentration moyenne en MES assez élevée de 184 mg/l, avec des concentrations minimale et maximale de 18,5 mg/l et 350 mg/l. Ces concentrations dépassent largement la concentration limite de rejet (50 mg/l) selon les normes du Comité normes et standards du Maroc (CNS, 1994).

Matières organiques

Les concentrations en matières organiques oxydables (DBO₅) importées par la décharge varient de 11 à 99 mg/l. Cette évolution est fonction des saisons, passant de 99 mg/l en novembre 2007 à 11 mg/l en juillet 2008. En été, la diminution des valeurs de la DBO₅ coïncide avec les maxima des températures enregistrées sur le site. Les apports en DBO₅ causés par la décharge varient de 5 à 25 kg/j/m².

Les concentrations de la DCO oscillent entre 313 et 1 550 mg/l (Tab. 2). L'évolution saisonnière de ce paramètre semble être opposée à celle de la DBO₅. La DCO produite par la décharge varie de 6 à 331 kg/j/m². Le rapport DBO₅/DCO varie de 0,2 à 0,8. En été, on enregistre des valeurs faibles (0,2 en juillet 2008). En hiver, les valeurs sont relativement élevées (0,8 en novembre 2007), en relation avec l'élévation hivernale de la DBO₅ (Tab. 2).

La valeur moyenne du rapport DBO_5/DCO est de l'ordre de 0,50, qui est une valeur moyenne élevée, ce qui indique que la matière biodégradable, dans les lixiviats, est facilement dégradée. Ce résultat pourrait indiquer que les déchets domestiques issus de la ville de Sefrou sont riches en matières organiques et que les lixiviats sont générés par une décharge récente au sein de laquelle l'activité biologique correspond à la phase acide de dégradation anaérobie de la matière organique.

Composés azotés

Les teneurs en nitrates varient entre 300 et 1 020 mg/l (Tab. 2). Les concentrations en nitrites varient de 190 à 650 mg/l, celles de l'azote ammoniacal varient de 1 120 à 2 180 mg/l. L'étude comparative de ces formes azotées indique une évolution saisonnière similaire, caractérisée par des valeurs estivales élevées et des valeurs hivernales faibles. En été (juillet 2008), on assiste à une augmentation brutale des concentrations, vraisemblablement due à un apport excessif d'azote. Les teneurs en sulfates enregistrées sont plus faibles en hiver, certainement en raison de leur réduction en sulfures par les bactéries (Tab. 2).

Métaux lourds

Les éléments métalliques les plus abondants dans le lixiviat de la décharge de Sefrou sont le fer, le cuivre, le zinc et le nickel. Pour le Zn, sa teneur oscille entre 1,16 et 3,26 mg/l (Tab. 3). Les concentrations maximales de cet élément correspondent aux maxima de pluviosité observée au cours de notre suivi. Le Cu évolue entre 2,17 et 8,37 mg/l. Des études menées sur des décharges publiques dans plusieurs pays ont montré des concentrations de l'ordre de 700 mg/kg en cuivre et 2 600 mg/kg en zinc (Berggren et Oden, 1979 ; Blakeslee, 1997). Enfin le Ni et le Fe ont une évolution similaire à celle observée pour le cuivre avec des minima en périodes pluvieuses. Les teneurs en nickel et en fer dans le lixiviat varient respectivement entre 0,17 à 8,64 mg/l et 2,11 à 7,15 mg/l. Ces concentrations relativement élevées en éléments métalliques enregistrées au niveau des lixiviats de la décharge publique de la ville de Sefrou, proviennent essentiellement des déchets domestiques et industriels.

IV. Conclusion

L'analyse des paramètres physico-chimiques enregistrés dans le lixiviat de la décharge de Sefrou montre une forte dépendance par rapport au climat. En période de faibles précipitations et avec le réchauffement estival des eaux, le lixiviat produit par la décharge est faiblement chargé en matières organiques biodégradables, laissant suggérer un rôle majeur de l'intensification de l'activité hétérotrophe bactérienne. En hiver, le lixiviat est plus chargé en matière organique en raison de l'effet conjugué d'une augmentation des précipitations et d'une baisse des températures inhibant le développement des décomposeurs. La charge organique biodégradable diminue régulièrement de l'hiver à l'été.

La concentration en matières organiques exprimée en DBO_5 et DCO est comparable à celle trouvée par Ehrig (1983) pour les décharges en phase de métagénèse. Toutefois, plusieurs auteurs (Chian et DeWalle, 1977 ; Harmsen, 1987) ont montré que les matières organiques contenues dans le lixiviat des décharges publiques sont dominées par les acides gras volatils. En période estivale, lorsque la température du lixiviat est la plus élevée, l'augmentation de la charge organique est associée au maximum du développement de l'abondance bactérienne et à une diminution des concentrations en oxygène due à sa consommation par les décomposeurs. Cette évolution simultanée semble indiquer que le réchauffement des lixiviats est à l'origine d'une intensification de l'activité hétérotrophe bactérienne. Nos résultats restent compatibles avec ceux trouvés par Kato (1985) et Marvalin et al. (1989). Ainsi, dans la mesure où la décharge de Sefrou est une décharge à ciel ouvert, donc sensible aux variations climatiques, il apparaît clairement qu'en période estivale, l'activité hétérotrophe bactérienne module la composition physico-chimique des lixiviats.

Les concentrations en éléments majeurs dans les lixiviats sont très dépendantes de la saison et des concentrations en matières organiques dissoutes (Christensen et al., 2001). Si les concentrations en Mg^{2+} , Ca^{2+} et Na^+ enregistrées dans le lixiviat de la décharge sont faibles, leurs évolutions saisonnières montrent bien les plus fortes valeurs en été, vraisemblablement liées à la faible teneur en matière organique qui peut complexer ces cations. Les teneurs en sulfates sont plus faibles en hiver, en raison de leur réduction en sulfures par les bactéries. Les concentrations en Zn enregistrées dans le lixiviat sont similaires à celles trouvées par Park et al. (1999), alors que celles en Fe sont élevées et peuvent atteindre jusqu'à 7,15 mg/l. Selon Buffle (1977), ces concentrations élevées en Fe sont probablement dues à la forte présence des matières organiques.

Certaines concentrations relevées dépassent les normes de rejet (OMS, 2000), ce qui constitue un danger potentiel pour l'environnement et la santé des populations de la ville de Sefrou. Le traitement des lixiviats avant leur rejet dans l'environnement semble donc nécessaire.

V. Références bibliographiques

- Belevi HP. 1992. Long term leachate emission from landfill solid waste. In *Landfill of waste: Leachate*.
- Christensen H., Cossu R., Stegmann R. (eds), Elsevier Applied Science, London, 441 483.
- Bond R, Straud CP. 1973. *Handbook of environmental control*, Revue Chemical Rubber Co Cleveland, OH, Vol. 3.
- Buffle JP. 1977. Les substances humiques et leurs interactions avec les ions minéraux. *TSM*, 1, 72.
- Comité normes et standards (CNS), 1994. Ministère de l'Environnement, Rabat, Maroc.

- Chian ESK, Dewalle FB. 1976. Sanitary landfill leachates and their treatment. J. Environ. Engin. Div. ASSCE. 102 (EE2), 411 pp.
- Christensen TH, Kjeldsen P, Bjerg PL, Jensen DL, Christensen JB, Baun A, Albrechtsen H, Heron G. 2001. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. Appl. Geochemistry, 16, 659-718.
- DIN. 1992a. Détermination de la demande biologique en oxygène (DBO) selon DIN, Laboratoire national de l'environnement. Ministère de l'Environnement, Rabat, Maroc.
- DIN. 1992b. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) selon DIN 38409- H52. Laboratoire national de l'environnement. Ministère de l'Environnement, Rabat, Maroc.
- DIN. 1992b. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) selon DIN 38409- H52. Laboratoire national de l'environnement. Ministère de l'Environnement. Rabat. Maroc.
- DIN. 1993c. Dosage des nitrites par méthode photométrique (selon ISO 6777 resp. en 2677). Laboratoire national de l'environnement. Ministère de l'Environnement. Rabat. Maroc.
- Ehrig A. 1978. Beitrag zum quantitativen and qualitativen Wasserhaushalt von Mülldeponien. Veröffentlichungen des institut für Stadtbauwesen, Technischen Universität Braunschweig, Germany.
- Bobmanuel NOK, Gabriel UU. 2001. Sublethal Effects of Ammoniacal Fertilizer Effluents on three Commercial Fish Species from Niger Delta Area, Nigeria. Journal of Applied Sciences & Environmental Management, Vol. 5(1), June, 63-68.
- Feuillade M, Dufour Ph, Feuillade J. 1988. Organic carbon release by phytoplankton and bacterialreassimilation. Schweiz. Z. Hydrol. 50, 115-135.
- Harmsen J. 1983. Identification of organic compounds in leachate from a waste tip. Wat. Res., 17, 699- 705.
- Heron JG. 2001. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. Appl. Geochemistry, 16, 659-718.
- ISO 5667/3 1994. Qualité de l'eau - échantillonnage - Guide pour la conservation et la manipulation des échantillons.
- Jones JG, Simon BM, Mitchell R. 1983. Estimates of bacterial growth from changes in uptake rates and biomass. Appl. Environ. Microbiol., 44, 1296-1307.
- Kato K. 1985. Seasonal observations of heterotrophic activity and active bacterial number in lake constance. Arch. Hydrobiol./ suppl., 66, 3, 309-319.
- Khattabi H, Aleya L, Mania J. 2002. Lagunage naturel de lixiviat de décharge, Revue des sciences de l'eau, 15-1-2002, PP 411-419.
- Lhadi k, Mountadar M, et Tounsi A. 1996. Pollution par les nitrates des eaux souterraines de la zone littorale de la province d'el Jadida. (Maroc) ». Hydrogéologie, 3, 21-23.
- Marvalin O, Aleya L, Hartmann HJ, Lazarek S. 1989. Coupling of the seasonal patterns of bacterioplankton and phytoplankton in a eutrophic lake. Can. J. Microbiol., 35, 706-712.
- Mattias BA, Nilsson P. 1997. Seasonal changes of leachate production and quality from test cells. J. Envir. Eng. Div. ASSCE. 892-900.
- Meffert ME, Overbeck J. 1979. Regulation of bacterial growth by algal release products. Arch. Hydrobiology/ supply., 87, 118-121.
- Naji S. 1989. Institut sucrier d'étude de recherche et de formation les eaux du circuit hydrique de SUBM. Rapport interne.
- OMS. 2000. Directives de qualité pour l'eau de boisson, Deuxième édition, Volume 2, Genève.
- ONEP. 1999. Caractérisation quantitative et qualitative des eaux usées. Guide de bonne pratique. Direction Laboratoire de la Qualité des Eaux, ONEP. Rabat.
- Park S, Joe KS, Han SH, Eom TY, Kim HS. 1999. Characteristics and distribution of metallic elements in landfill leachates. Environmental Technology, 20, 443-448.
- Straub WA, Lynch DR. 1982. Models of landfill leaching: Organic Strength. J. Environ. Engin. Div. ASSCE. 108, 251-268.