

ÉTUDE DES POLLUANTS CONTENUS DANS LES LIXIVIATS ISSUS DE LA DÉCHARGE PUBLIQUE DE LA VILLE DE MEKNES (MAROC)

A.A. Tahiri

F. Laziri

Laboratoire d'Analyses Chimie Biologie Appliquées à l'Environnement,
Faculté des Sciences, Zitoune, Meknès, Maroc

Y. Yachaoui

Laboratoire des Interactions Cellules Environnement (ICE)
Faculté des Sciences, Zitoune, Meknès, Maroc

S. El Jaafari

Laboratoire de biotechnologies et amélioration des plantes,
Faculté des Sciences, Meknès, Maroc

A.H. Tahiri

Université Moulay Ismail, Faculté des lettres et sciences humaines,
Département des études anglaises, Meknès, Maroc

Abstract

The rationale behind this study is to evaluate the impact of leachate resulting from the public landfill of Meknès city (MOROCCO), on the environment and more specifically on the waters of the aquifer. For this, a spatio-temporal monitoring of Nitrites, Nitrates, total germs, Sulfito reducing bacteria, Salmonella was performed at eight stations during the four seasons of the year 2013, in order to make a comparison between the pollution load of the leachate and, the possibility that juice discharge contaminates groundwater. However, other different sampling points, are believed to be at the beginning of their infection. As to test this, we analyzed seven samples (water wells and springs) around the landfill by physico-chemical and bacteriological analyzes. We confirm in this study that the marl is a temporary powerful obstacle, in contrast with permanent increasing pollution, generated by the decomposition of waste in landfill of Meknes city.

Keywords: Dump, leachate, bacteriological contamination, groundwater

Résumé

L'objectif fixé pour cette étude, est d'évaluer l'impact de la décharge publique de la ville de Meknès (MAROC), à travers son lixiviat sur les eaux de la nappe phréatique. Pour cela, un suivi spatio-temporel des paramètres (Nitrites, Nitrates, Germes totaux, Clostridiiums sulfito-réducteurs, Salmonelles), a été effectué au niveau de huit stations durant les quatre saisons de l'année 2013, afin d'établir une comparaison entre la charge polluante du lixiviat et la possibilité de contamination des eaux souterraines par le jus de la décharge. Les résultats d'analyses ont montré qu'on est devant un lixiviat fortement chargé en espèces bactériologiques étudiées et en Nitrates. Cependant, les différents autres points d'échantillonnage, sont soupçonnés d'être au début de leur contamination. Dans le but de vérifier cela, des analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été réalisées au niveau de huit points (puits et sources) aux environs de la décharge. Nous confirmons par la présente étude que les marnes constituent un obstacle puissant, mais non permanent devant la pollution croissante générée par la dégradation des déchets de la décharge publique de la ville de Meknès.

Mots clés : Décharge publique, lixiviats, bactériologiques, contamination, nappe phréatique

Introduction

Bedoulay et Soubeyran, définissent la ville durable comme une ville dont les habitants disposent des moyens d'agir pour son bon fonctionnement dans des conditions politiques, institutionnelles, sociales et culturelles favorables et satisfaisantes (Mezouari, 2011). La gestion des décharges et centres d'enfouissement technique au Maroc, constitue l'un des enjeux majeurs de notre société. Les décharges ou centres de stockage des déchets constituent le maillon le plus faible de la chaîne de gestion des déchets. Les déchets ainsi déversés ne sont que très rarement totalement inertes et de nombreuses réactions physico-chimiques et biologiques interviennent à la fois entre le déchet et le milieu dans lequel il se trouve (roches, sol, nappes, eaux de percolation), mais également au sein même des déchets d'origines diverses (Jupsin et al., 2002).

Les lixiviats produits en grande quantité dans les décharges, 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 (Rassam et al, 2012). Cependant, l'impact de la décharge publique de la ville de Meknès sur la nappe phréatique et la nappe captive n'est pas encore connu.

L'Oued Boufekrane est exposé directement aux préjudices provoqués par la décharge (Tahiri Alaoui et al., 2013). Le contexte géologique constitué

essentiellement de marne d'âge miocène, bloque provisoirement la migration des polluants vers les eaux souterraines, mais la production continue des lixiviats constitue une menace persistante pour les eaux de proximité aussi bien superficielles que profondes.

Matériel et méthodes

Description du site

Située au Nord-West de la ville de Meknès (Maroc), dans le bassin versant de Rdom, la zone d'étude occupe une superficie d'environ 14.20 km². Elle comprend la décharge publique de la ville de Meknès, la zone Sud-Est, la zone Est, la zone Nord-Est, la zone Nord et la zone West, cette dernière est le siège de déversement du lixiviat provenant de la décharge. La plus proche est la zone West de 300 m environ par rapport aux autres zones (Figure 1). La décharge de la ville de Meknès où sont entreposés les déchets de la ville, est une décharge non contrôlée de superficie de 23 ha (Tahiri Alaoui et al., 2013). Les quantités des déchets évacués depuis 2001, à peu près 500 tonnes de déchets ménagers et pharmaceutiques sont quotidiennement déversées vers cette décharge.

Contexte géologique et hydrogéologique

Le bassin de Saïss est subdivisé en deux sous-bassins par la flexure de Ain Taoujdate, cette dernière sépare le plateau de Meknès à l'ouest et le Saïss de Fès (appelé aussi plaine de Saïss) à l'Est (Harmouzi, 2010). La zone d'étude est située à l'extrémité Nord du plateau de Meknès (Figure 2), la situation géographique de la zone d'étude sur cartes et les investigations sur terrain ont montré que cette zone comprenant la décharge est localisée sur un sol marneux d'âge miocène, en effet le nom du plateau vient du fait que le remplissage au dessus des marnes du Tortonien (Miocène), s'est fait par des sédiments détritiques et lacustres, déterminant ainsi une surface structurale sensiblement plate (Essahlaoui, 2000).

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

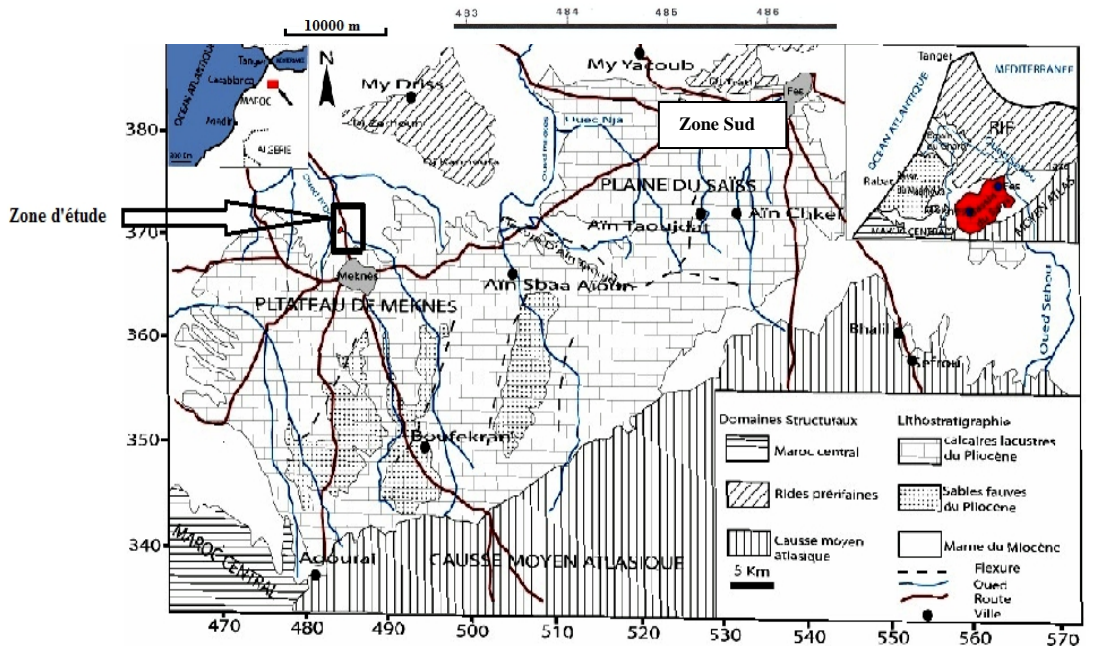
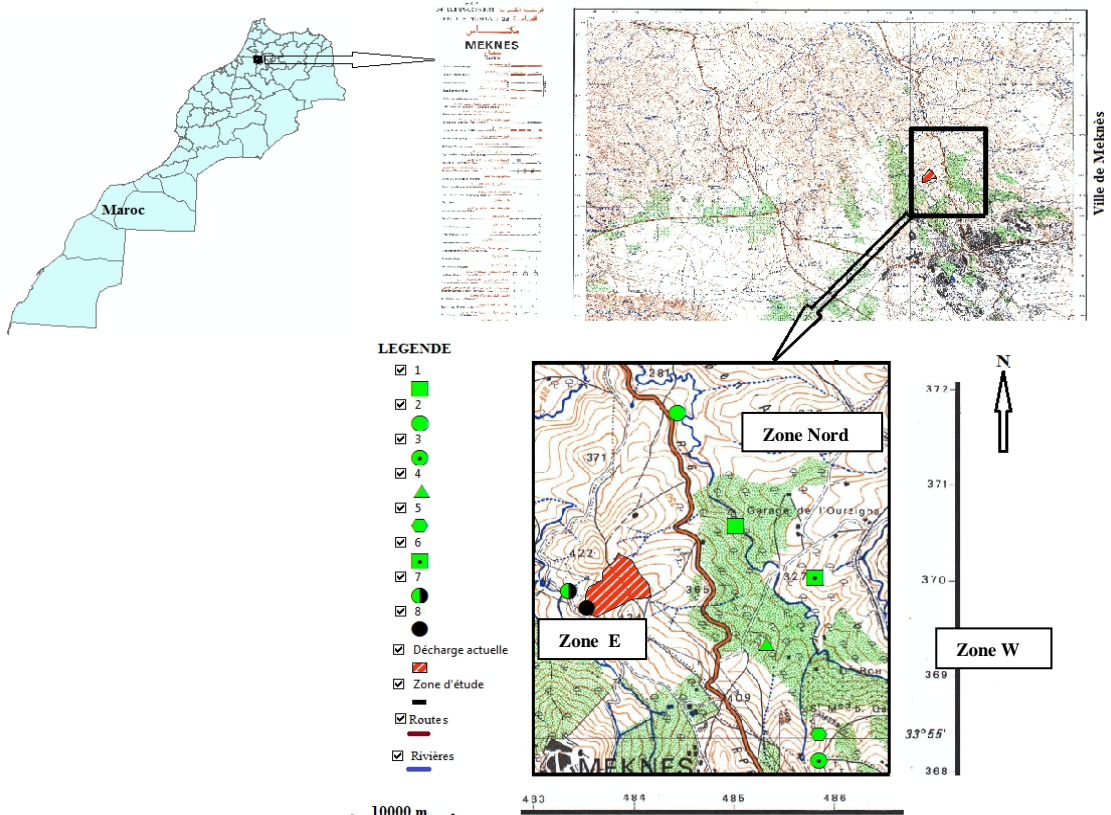


Figure 2 : Carte de situation géographique de la zone d'étude [5]

Le plateau de Meknès proprement dit est constitué de 3 niveaux : des calcaires lacustres durs, des sables fauves et des marnes grises. Ces dernières ont une couleur grise et bleue, sont tendres et imperméables et toujours au dessous (El Idrissi, 1992).

Le réseau hydrographique au niveau du plateau de Meknès, présente une direction qui coïncide avec la direction de la surface structurale SSE-NNW. La zone d'étude (décharge de Meknès) se situe dans le bassin versant du Rdom comprenant les oueds : Boufekrane, Ouisslane et Chajara. Le plus important de ces oueds est l'oued Boufekrane, aussi bien en raison de son débit (310 L/s en étiage) que de son déploiement au cœur de la ville (Abdouh et al., 2004). Au début de cette étude, on a constaté que le lixiviat est drainé vers la station d'épuration des eaux usées par les autorités compétentes, alors qu'après environ une année et suite à des pluies fortes, une grande partie du lixiviat a pris le chemin de nouveau vers l'oued Boufekrane. Cet oued pourrait constituer un drain pouvant véhiculer les eaux polluées issues de la décharge notamment vers la vallée de Rdom en aval du site de la décharge (Chalabi et al., 2001). Du point de vue hydrogéologique, on distingue dans le bassin de Meknès-Fès deux nappes importantes. Il s'agit d'une part de la nappe phréatique d'âge plio-quadernaire et de la nappe profonde du Lias (Tabyaoui, 2005). Notre site d'étude est situé sur une zone imperméable de la nappe phréatique principale (Figure 3).

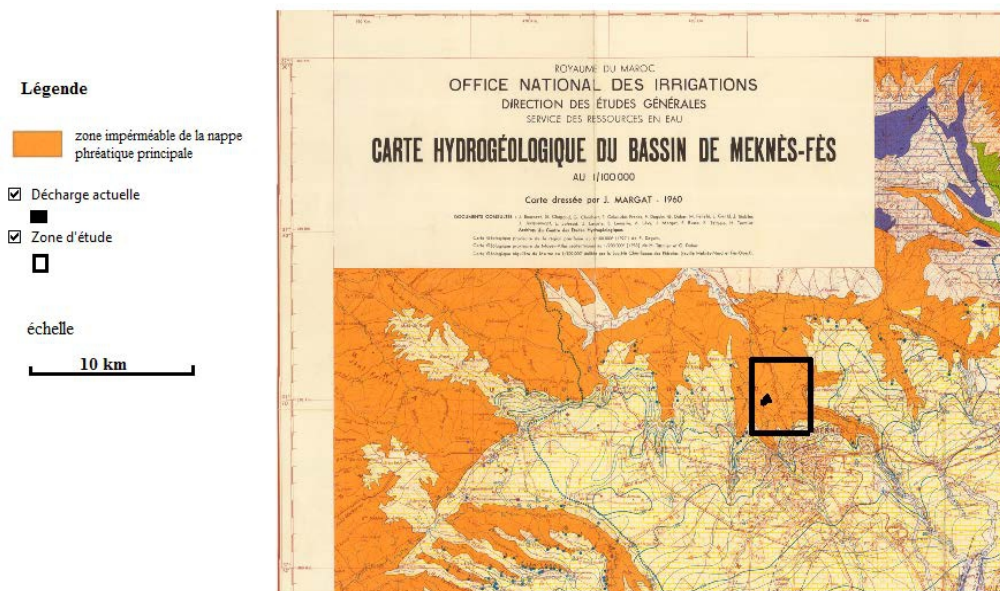


Figure 3 : Partie de la carte hydrogéologique du bassin de Meknès-Fès montrant la zone d'étude (Margat, 1960).

Pour notre étude, on s'est intéressé à l'étude de la nappe phréatique d'âge plio-quaternaire, car faute de forages dans cette zone pour la nappe profonde, selon les cartes de forages réalisés par l'office national de l'eau potable, la plus part des forages effectués sont du côté sud pour alimenter la ville de Meknès en eau potable, alors que notre site d'étude est situé au nord. Pour la nappe phréatique d'âge plio-quaternaire elle contourne le site d'étude du côté Sud, Est et Nord-Est. Les cartes piézométrique dressées depuis les premières études hydrogéologiques jusqu'à l'actuel, montrent un écoulement général du sud vers le nord et plus précisément du SE vers le NW, le sens d'écoulement général n'a subi qu'une faible variation et il est resté le même (Tabyaoui, 2005).

Stratégie d'échantillonnage

Pour évaluer le risque de contamination de la nappe phréatique par le lixivats de la décharge publique de la ville de Meknès, nous avons respecté le plus possible le sens d'écoulement des eaux de la nappe phréatique. Les échantillons d'eau et du lixivats ont été récoltés trimestriellement dans des puits (n° 4 et n° 5) des riverains, des sources (n° 1 et n° 2) et directement dans des ruisseaux formés par l'écoulement des eaux usées (n° 7) et du lixivats (n° 8) et oued (amont n° 3 et aval n° 6), vers la mi-journée de chaque mi-trimestre de l'année 2013, au total nous avons effectué 32 échantillons répartis sur les quatre saisons de l'année 2013, (Figure 4).

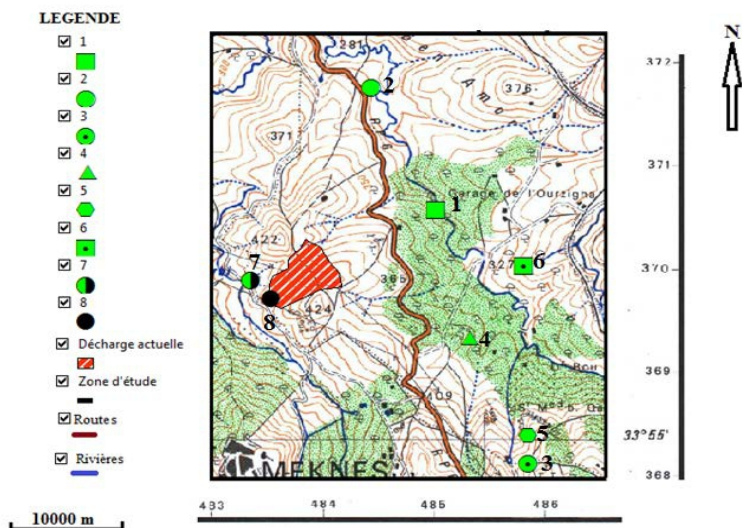


Figure 4 : Localisation des points d'échantillonnage.

Paramètres physico-chimiques et microbiologiques.

Les Nitrates mesurés par la méthode de réduction au cadmium, méthode 8039, réalisée avec des pochettes de réactif pour nitrate NitraVer 5 et des Cuves carrées, 1pouce, 10 mL. Cette méthode est fondée sur le dosage des ions NO_2^- obtenus par réduction quantitative des ions NO_3^- , après passage de l'échantillon sur une colonne de cadmium traité au cuivre (Rodier et al., 2009). En raison de la présence de nitrites dans l'échantillon, la méthode mesure la somme des concentrations en ions NO_2^- déjà présents et des ions NO_2^- provenant de la réduction des ions NO_3^- de l'échantillon, Les nitrates réduits en nitrites sont dosés par spectrophotométrie à 543 nm (Rodier et al., 2009), (spectrophotomètre de marque : DR 2800. H. LANGE).

Les Nitrites mesurés par la méthode de Diazotation (méthode 8507), les analyses effectuées avec des pochettes de réactif pour nitrite NitraVer et des cuves carrées, 1pouce, 10 mL. En effet La concentration en nitrites est mesurée selon une méthode colorimétrique basée sur la réaction de Griess optimisée en 1952 par Bendschneider et Ronbinson. La diazotation de la sulfanilamide en milieu acide et sa réaction avec la N-(1-naphtyl)-éthylènediamine donne un complexe coloré pourpre, qui sera dosé par spectrophotomètre (Rodier et al., 2009).

Les analyses bactériologiques :

- Clostridiiums sulfito-réducteurs, le dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices par application de la technique AFNOR NF T90-415 .

- Germes totaux, application de la technique NF en ISO 6222.

- Salmonelles, application de la technique NF T90-435.

L'étude géologique a été complétée par l'utilisation du système d'information géographique (SIG), par lequel on a pu organiser et présenter des données alphanumériques sur cartes, avec le logiciel ArcGIS, version 9.3.1770.

Résultats et discussions

Les valeurs moyennes de divers paramètres bactériologiques du lixiviat de la décharge de la ville de Meknès (tableau1), montrent une forte charge bactériologique et une concentration très élevée en nitrate .

Tableau 1 : valeurs moyennes des paramètres Nitrites, Nitrates et bactériologiques du lixiviat de la décharge de la ville de Meknès.

Paramètres	Lixiviat
Germes totaux (/mL)	919000
Clostridiiums sulfito-réducteurs (/20mL)	215000
Salmonelles	Présentes en hivers
Nitrites (mg/L)	0,961
Nitrates (mg/L)	751,125

Nitrates

Les nitrates (ou azote nitrique) représentent la forme azotée souvent la plus présente dans les eaux naturelles. Les nitrates constituent la composante principale de l'azote inorganique (N-inorganique) ou minéral, lui-même inclus majoritairement dans l'azote global (NGL) ou azote total (NT) avec une autre composante, l'azote organique (N-organique) (Rodier et al., 2009). Les nitrates sont très solubles dans l'eau ; ils migrent donc aisément dans la nappe phréatique lorsque les niveaux excèdent les besoins de la végétation (Karine et al., 2003). La toxicité des nitrates résulte de leur réduction en nitrites et de la formation de méthémoglobine d'une part et de leur contribution possible à la synthèse endogène de composés N-nitrosés d'autre part (Karine et al., 2003). Ajoutant à cela que la présence des nitrates augmente le risque d'apparition des maladies cancéreuses (Weyer P, et al., 2001). Au Maroc la norme de la qualité des eaux superficielles utilisées pour la production de l'eau potable est de 50 mg/L de Nitrates (Arrêté, 2002). Les valeurs moyennes de la teneur en nitrates pour les points (P1, P2, P4 et P5) oscillent entre 0.6 et 7.67mg/L, ceci ne dépasse pas la norme marocaine. Pour l'OMS, La valeur guide pour les nitrates est de 11,3 mg-N/L (équivalent à 50 mg/L de NO_3^-) (Karine et al., 2003). Pour les points de l'oued, on a constaté qu'il y a un abattement important du taux des nitrates puisque les valeurs moyennes ont passé de 50.17mg/L au point P3 (Amont) à 10.52mg/L au point P6 (Aval), cela est dû probablement au bloom phytoplanctonique développé à l'aval de l'oued et qui assimile ce nitrate pour sa production primaire. La valeurs moyenne en nitrates présentée sur l'histogramme (Figure 5) pour le lixiviat, montre une valeur extrême de 751,12 mg/L au point P8, ces concentrations importantes de nitrates sont dues essentiellement à une forte dénitrification bactérienne par une minéralisation de l'azote ammoniacal en nitrates ce qui confirme les études effectuées par H. Khattabi, surtout que les conditions de température sont très favorables pour le déroulement de ce phénomène et ce qui est encore prouvé par (Khattabi H, 2002).

Dans d'autres recherches, la concentration en nitrates du lixiviat est beaucoup moins importante que celle enregistrée dans notre recherche, notamment les recherches effectuées par M. El-Fadela et al, et qui montrent que la concentration en nitrates dans le lixiviat est comprise entre 0 et 9.8 mg/L (El Fadela et al., 2002), alors que celles effectuées par El Kharmouz et al, sur les lixiviats bruts de l'ancienne décharge publique de la ville d'Oujda (Maroc) montrent des valeurs comprises entre 74,79 et 117,42 mg/L (Mérigout, 2006).

Dans les lixiviats de la décharge publique de la ville de Mohammedia, les nitrates peuvent atteindre une concentration maximale de 71 mg/L (Sabine, 2002). Selon (Souabi et al., 2011), le lixiviat d'un centre

de stockage des déchets peut atteindre une valeur maximale de 845 mg/L, ce qui montre que notre lixiviat est parmi les lixiviats les plus chargés en nitrates. Des fortes concentrations de nitrates dans les cours d'eau entraînent des phénomènes d'eutrophisation, se traduisant par un important développement de microorganismes et d'algues, perturbant les équilibres écologiques naturels (El Kharmouz et al., 2013).

Cela nous pousse à inciter les autorités compétentes sur la non autorisation de l'écoulement des lixiviats de la décharge publique de la ville de Meknès vers l'oued Boufekrane, afin d'éviter toute eutrophisation de cet oued. Pour le point P7 sa diminution relative en nitrates peut être due principalement à sa richesse en microorganismes consommateurs de ces nitrates qui sont importés par les eaux usées acheminées vers la STEP.

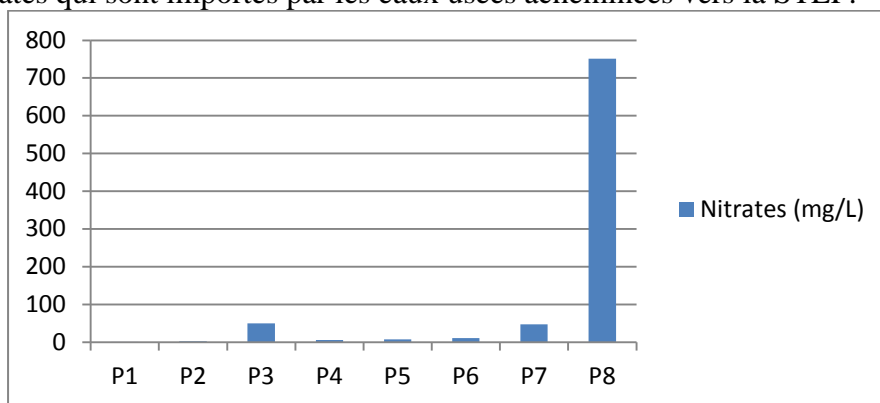


Figure 5 : Variations spatiales des valeurs moyennes des nitrates.

Nitrites

Les études expérimentales conduites avec des animaux ont, pour la plupart, été réalisées avec les nitrites. Les résultats obtenus de ces études ont démontré un effet toxique sur la reproduction et le développement à la suite d'une exposition à de très fortes doses de nitrites qui ont également induit une méthémoglobinémie chez la mère (Karine et al., 2003). L'OMS a déterminé une valeur guide provisoire de 0,9 mg-N/L (équivalent à 3 mg/L de NO_2^-) (Karine et al., 2003).

Pour notre recherche (figure 6), aucun point d'échantillonnage ne dépasse cette norme et les faibles concentrations enregistrées sont probablement dues à la réduction des nitrates en nitrites, ce qui peut entraîner des odeurs désagréables comme il a été signalé par Jean RODIER (Rodier et al., 2009).

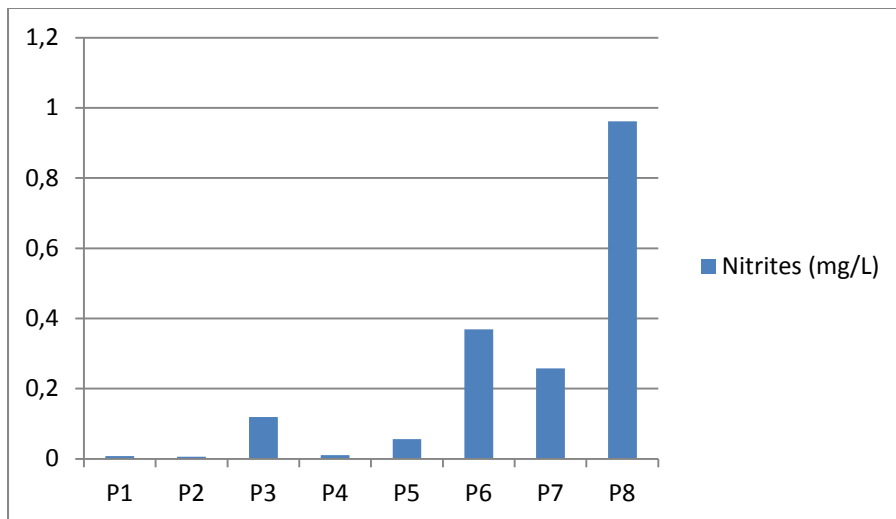


Figure 6 : Variations spatiales des valeurs moyennes des Nitrites

Germes totaux

Les germes totaux, appelés également bactéries aérobies revivifiables sont des germes cultivés dans un milieu oxygéné à 37 °C ou à 20°C, le choix de la température de 37°C c'est pour mettre en évidence les bactéries pathogènes se développant à la température du corps humain, c'est un indicateur de la pollution bactérienne. L'eau traversant la couche de déchets va se charger en substances polluantes telles que la matière organique soluble résultant de l'activité biologique de la décharge, des constituants inorganiques comme les métaux lourds (provenant notamment des piles) et des germes qui peuvent être dangereux pour la santé et l'environnement (Thonart et al., 2005). Une attention particulière doit être portée sur la présence de molécules organiques dont précisément les aromatiques (benzène, toluène, xylène, etc.) et les germes pathogènes (Thonart et al., 2005).

La mise en décharge de matières biodégradables, est à l'origine d'une évolution biologique sous l'action des bactéries aérobies puis des bactéries anaérobies. De plus, le suivi de ces bactéries permettra de déceler une contamination probable par le lixiviat de la décharge ou par les eaux usées environnantes, donc cet outil est un traceur naturel d'une contamination. Les points (P1, P2, P4 et P5) ne présentent guère de contamination par ces germes, cependant les points (P3, P6, P7 et P8) montrent que ces milieux sont très chargés par ces germes, ce qui est évident vu la provenance des eaux de ces points (figure 7).

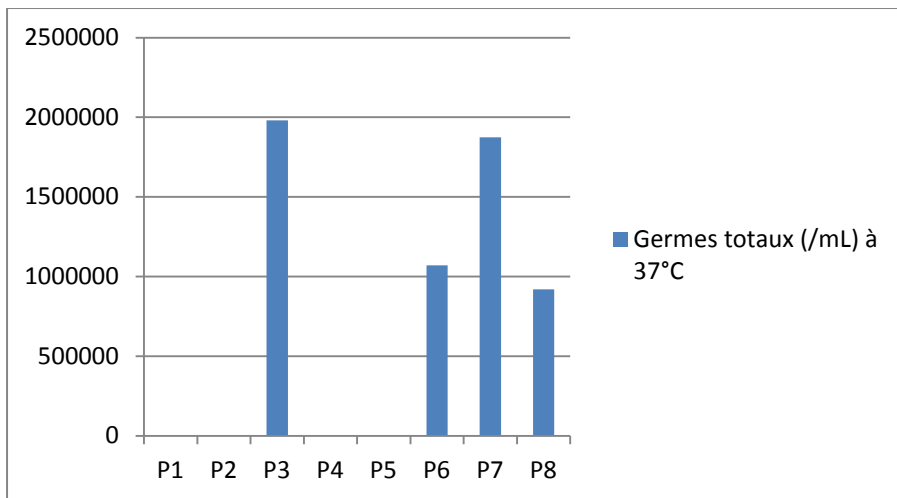


Figure 7 : Variations spatiales des valeurs moyennes de la concentration des Germes totaux.

Après une étude statistique approfondie de l'évolution de ces germes en fonction des différents paramètres étudiés, nous avons constaté que l'évolution des germes totaux est fortement influencée par l'évolution du pH, présentant ainsi un coefficient de corrélation de 0,838, c'est-à-dire qu'une augmentation du pH favorise fortement le développement de ces germes (figure 8) et puisque les valeurs moyennes du pH que nous avons obtenu sont comprises entre 6 et 8, alors on conclut que les bactéries neutrophiles seront les plus dominantes dans ces milieux, comme par exemple *Escherichia coli*, dont la croissance n'est pas affectée par la concentration en oxygène moléculaire (Hart et al., 1997).

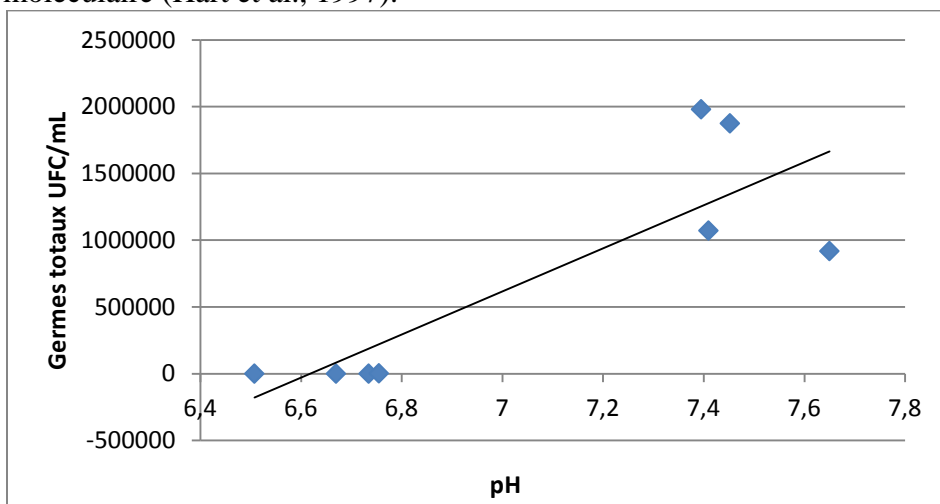


Figure 8 : Evolution des germes totaux en fonction du pH.

Clostridiums sulfito-réducteurs

Parmi les paramètres retenus pour déterminer la qualité microbiologique d'une eau d'alimentation, les clostridiums sulfito-réducteurs sont pris en compte aussi bien dans la réglementation française que dans la directive du conseil des communautés économiques européennes de 1980 (Rodier et al., 2009). Nous constatons d'après les résultats obtenus, que les eaux de la nappe phréatique ne sont pas contaminées par les germes de clostridiums sulfitoréducteurs (figure 9), ce qui indique que le sol marneux de la région présente un grand pouvoir épurateur vis-à-vis de ces germes. Les points (P3, P6, P7, P8) sont riches en germes de clostridiums avec des valeurs très variables. Les clostridiums sulfito-réducteurs étant pratiquement toujours présents dans les rivières et le sol, leur absence dans une nappe sous-jacente, et surtout l'absence de leurs spores, de moindre taille et plus difficiles à retenir, constituent un bon signe de l'efficacité de la filtration naturelle (Rodier et al., 2009).

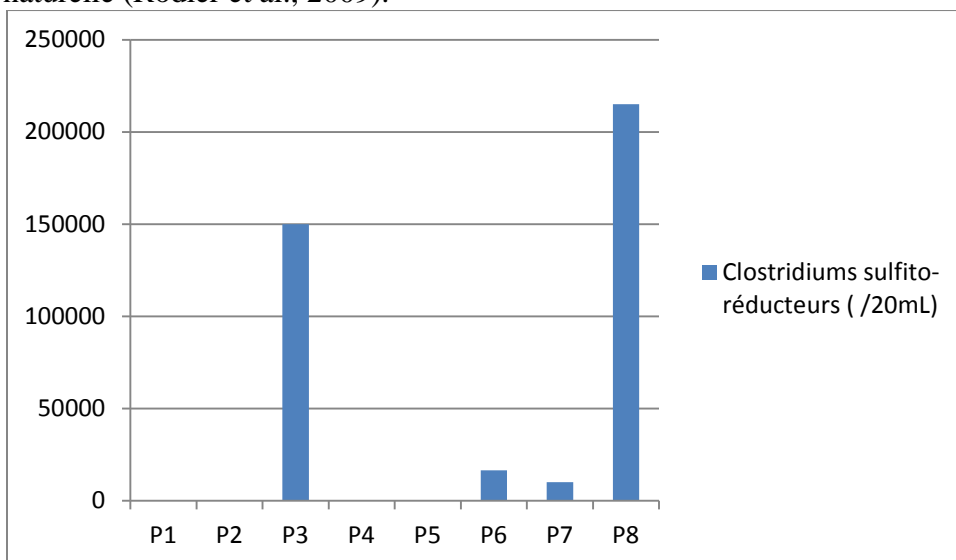


Figure 9 : Variation spatiale des valeurs moyennes de la concentration des bactéries

Clostridiums sulfito-réductrices

Une étude statistique de la droite de régression décrivant au mieux la tendance du nuage observé, est menée également sur ce paramètre pertinent ; les clostridiums sulfitoréducteurs et trois autres paramètres que nous jugeons importants à savoir ; la conductivité, la matière en suspension et l'oxygène dissous. En effet, nous avons remarqué que le développement des clostridium-sulfitoréducteurs est fortement lié aux augmentations de la conductivité (figure 10) et de la matière en suspension (figure 11) avec respectivement des coefficients de corrélation de 0.76 et de 0,79 et plus

fortement liée aux diminutions de l’oxygène dissous (figure 12) avec un coefficient de -0,82.

Ces résultats sont en parfait accord avec les données concernant ce germe puisque c’est un germe qui se développe en anaérobie.

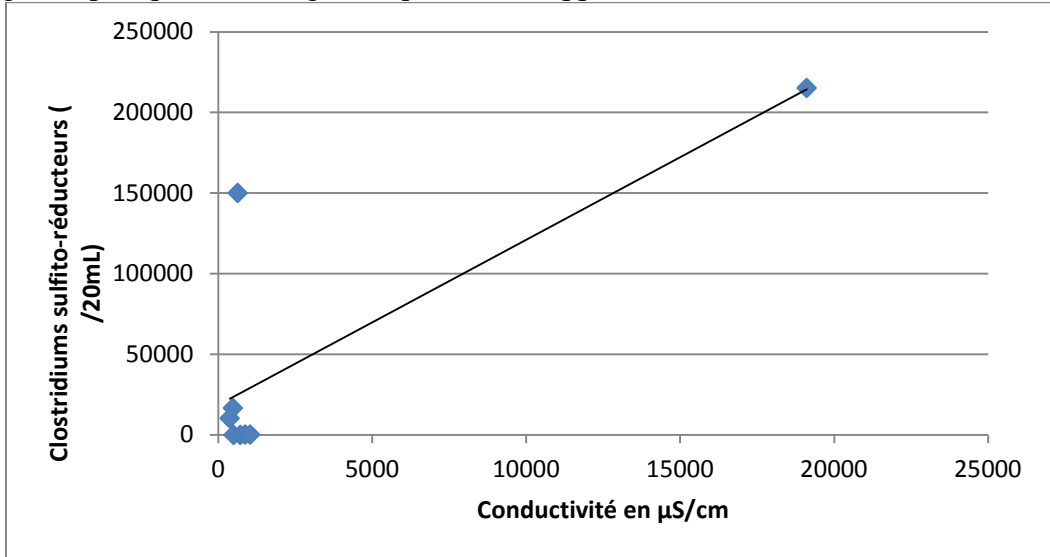


Figure 10 : Evolution du nombre de colonies de clostridium sulfito-réducteurs (/20mL) en fonction de la conductivité.

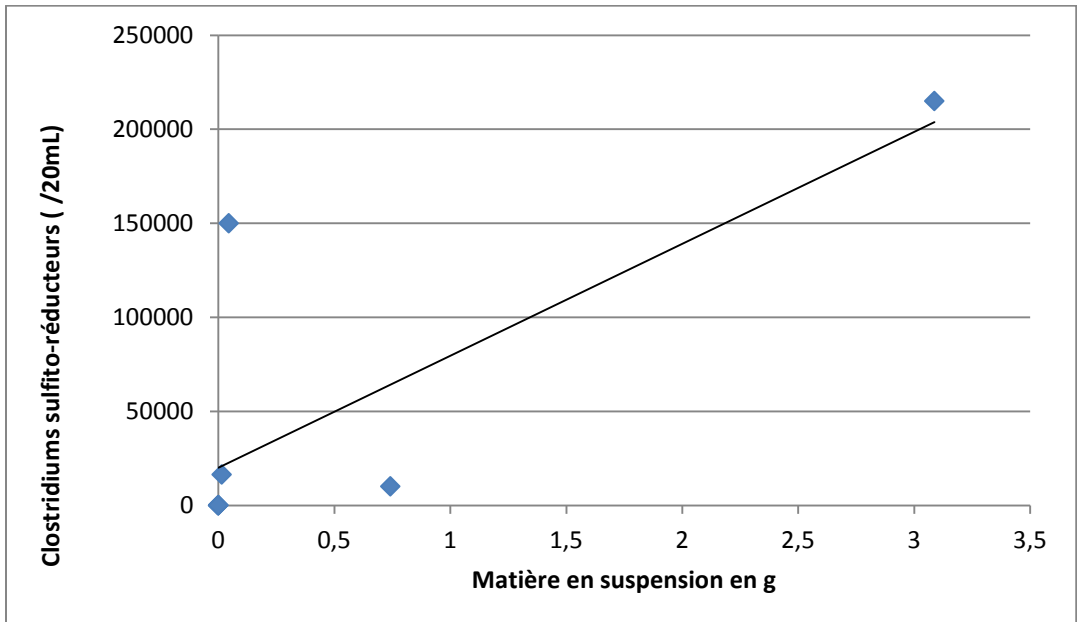


Figure 11 : Evolution du nombre de colonies de clostridium sulfito-réducteurs en fonction de la MES.

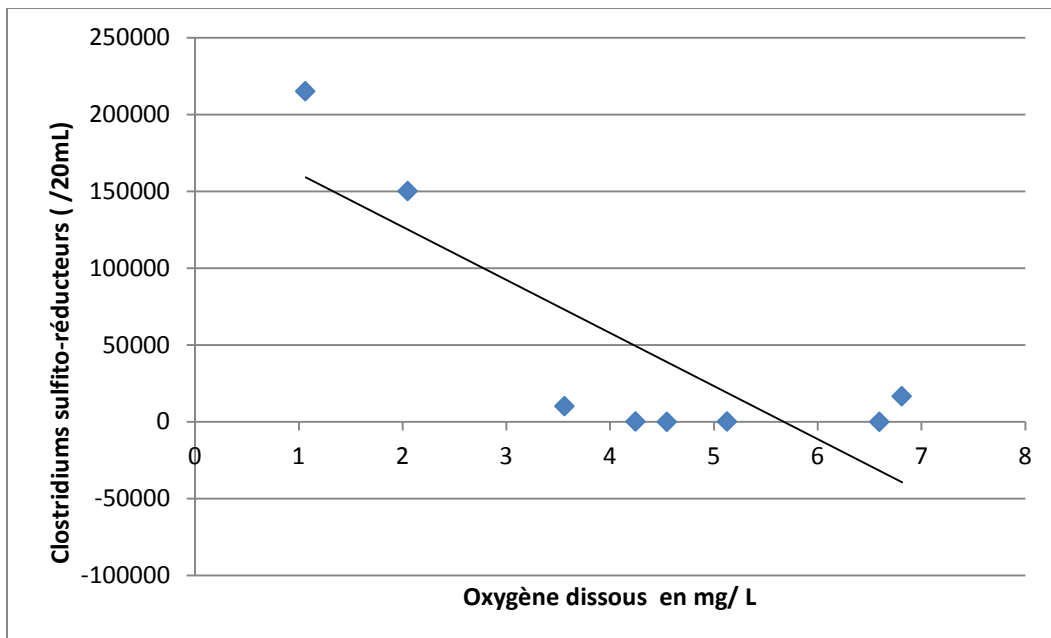


Figure 12 : Evolution du nombre de colonies de clostridiiums sulfito-réducteurs en fonction de l'oxygène dissous.

Salmonelles

Les salmonelles sont des bactéries aérobies à GRAM négatif appartenant à la famille des entérobactéries (Thonart et al., 2005). Elles sont en général considérées comme pathogènes bien que leur virulence et leur pathogénèse varient énormément : fièvres typhoïdes, salmonelloses systémiques, gastro-entérites, toxi-infections alimentaires. Les hôtes naturels des salmonelles sont la population humaine, les animaux domestiques, les volailles et le bétail ainsi que les animaux sauvages, y compris les oiseaux communs (Rodier et al., 2009). Les points (P1, P2, P4, P5) ne sont pas contaminés par les salmonelles (figure13), tandis que ces germes sont présents dans les différents points de sources de pollution (P3, P6, P7 et P8), ces germes contribuent aux odeurs nauséabondes puisqu'ils produisent de l'Hydrogène Sulfuré (H_2S) dans le milieu selon les recherches effectuées par Tony Hart et al (Hart et al., 1997). Ce sont également des indicateurs de la contamination fécale ; Des milieux plus sélectifs tels que le milieu xylose-lysine-désoxycholate (XLD) peuvent être utilisés pour isoler les shigelles et les salmonelles d'échantillons de selles (Hart et al., 1997).

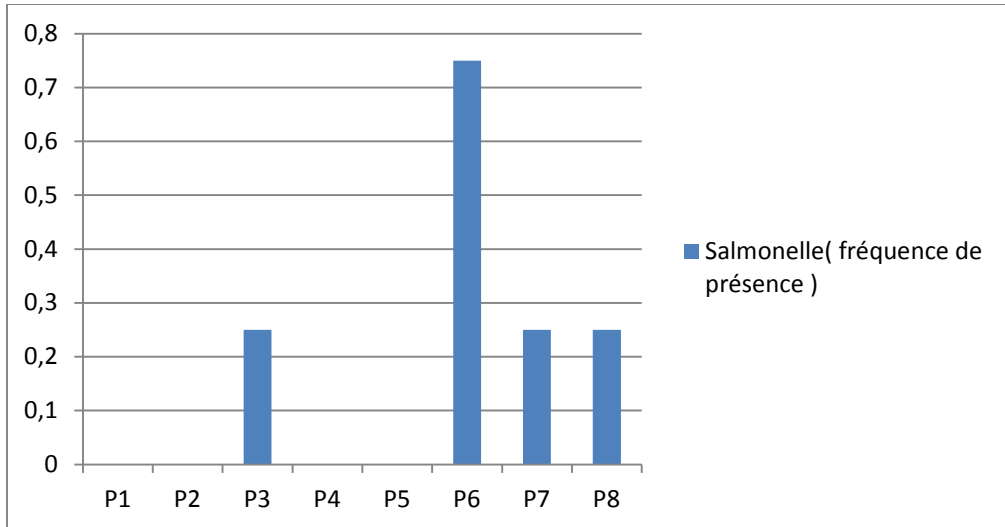


Figure 14 : Variations spatiale des valeurs moyennes de la fréquence de présence des bactéries Salmonelles.

Conclusion

Le point essentiel de ce travail est de déceler la présence ou l'absence de contamination de la nappe phréatique via des paramètres physicochimiques et biologiques.

En effet selon les résultats obtenus, on constate que le taux de pollution généré par la décharge publique de la ville de MEKNES est semblable à beaucoup de décharges au MAROC et même à celui de certains pays en développement, alors que le taux de pollution en nitrates est très élevé ce qui fait de la particularité de cette décharge et de sa menace envers l'environnement.

La présence de cette décharge sur un sol marneux, diminue fortement son impact sur les eaux souterraines de la nappe phréatique du complexe Fès Meknès, qui ont déjà une mauvaise qualité selon les études effectuées par (Science-Policy, 2007).

On peut conclure que la décharge publique de la ville de MEKNES est une bombe à retardement, et que la contamination de la nappe phréatique est simplement retardée par la présence des marnes, pour cela nous incitons les autorités compétentes à être vigilantes et entreprendre les travaux de réhabilitation de la décharge et de minimiser et contrôler la production du lixiviat.

References:

Mezouari F. S., Conception et exploitation des centres de stockage des déchets en Algérie et limitation des impacts environnementaux. Thèse de l'école polytechnique d'architecture et d'urbanisme en co-tutelle avec

l'universite de limoges, école polytechnique d'architecture et d'urbanisme, école doctorale sciences techniques et santé, (2011) 33-178.

Jupsin H., Praet E., et Vasel J., Caractérisation des lixiviats de CET et modélisation de leur évolution. Proceedings of International Symposium on Environmental Pollution Control and Waste Management. Tunis, 2 (2002) 884-896.

Rassam A., Bourkhiss B. A., et Bourkhiss M., Caractérisation des lixiviats et évaluation de la pollution de la décharge de la ville d'Al Hoceima, Maroc, ScienceLib Editions Mersenne, 4 (2012) 120602.

Tahiri A. A., Laziri F., Chahlaoui A., Megard B., L'impact environnemental produit par les déchets de la décharge de la ville de Meknès, ScienceLib Editions Mersenne, 5 (2013) 130701.

Harmouzi O., Reconnaissance détaillée de la partie nord-est du Bassin de Saïss (MAROC). Thèse de Doctorat, Université Moulay Ismail et l'Université Bordeaux 1, école doctorale des sciences de l'environnement, (2010) 8.

Essahlaoui A., Contribution à la reconnaissance des formations aquifères dans le bassin de Meknès- Fès (Maroc). Thèse de Doctorat, Ecole Mohammedia des ingénieurs, Rabat, Maroc, (2000) 9.

El Idrissi R. M., Différenciations des sols du plateau de Meknès. Thèse de Doctorat, Université Paris VI, (1992) 25.

Abdouh M., El Atrouz A., Mechkouri A. Profil environnemental de Meknès. Royaume du Maroc Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Eau et de l'Environnement. Agendas 21 locaux pour la promotion de l'environnement et du développement durable en milieu urbain, (2004) 43.

Chalabi M., Benmbarek M., Margaa K. Rapport sur l'élimination des déchets solides de la ville de Meknès, aspects environnementaux. Royaume du Maroc, ministère de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement. Département de l'environnement secrétariat général, (2001) 5.

Tabyaoui F., Contribution à l'étude hydrogéochimique des eaux de la nappe phréatique du plateau de Meknès (MAROC), Thèse de Doctorat, Université Moulay Ismail, (2005) 53-62.

Margat J., Carte hydrogéologique du bassin de Meknès-Fès. Office national des irrigations, direction des études générales, (1960).

Rodier J., Nicole M., et coll. L'analyse de l'eau, 9e édition. DUNOD (éditeur), Paris, France, (2009)326-1113.

Karine C., Denise P., Patrick L., Fiche Nitrates/Nitrites. Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec. (2003) 136-147.

Weyer P., Cerhan J., Kross B., Hallberg G., Kantamneni J., Breuer G., Jones., Zheng W. et Lynch C. Municipal Drinking Water Nitrate Level and Cancer Risk in Older Women : The Iowa Women's Health Study, US

National Library of Medicine National Institutes of Health, 12 (2001) 327-38.

Arrêté conjoint du ministre de l'équipement et du ministre chargé de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme, de l'habitat et de l'environnement n° 1277-01 du 10 chaâbane 1423 portant fixation des normes de qualité des eaux superficielles utilisées pour la production de l'eau potable., (2002).

Khattabi H., Aleya L., Aleya J., Lagunage naturel de lixiviat de décharge. *Journal of Water Science*, 15 (2002) 411-419.

El Fadela M., Bouzeida E., Chahineb W., et Alaylic B. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Elsevier Science Ltd.* 22 (2002) 269–282.

El Kharmouz M., et al. L'étude de l'impact des lixiviats de l'ancienne décharge publique de la ville d'Oujda (Maroc oriental) sur la qualité physicochimique des eaux souterraines et superficielles. *Larhyss Journal*, 16 (2013) 105-119.

Souabi S., Touzare K., Digua K., Chtioui H., Khalil. F., et Tahiri M. Triage et valorisation des déchets solides à la décharge publique de la ville de Mohammedia. *Les technologies de laboratoire*, 6 (2011)121-130.

Sabine G., Risques sanitaires liés aux fuites de lixiviats des centres de stockage de déchets ménagers et assimilés. *Mémoire de fin d'études, Formation des ingénieurs des génies sanitaires*, (2002) 19.

Mérigout P., Étude du métabolisme de la plante en réponse à l'apport de différents fertilisants et adjuvants culturaux. Influence des phytohormones sur le métabolisme azoté. *Thèse de doctorat, Institut national agronomique Paris-grignon*, (2006) 4-5.

Thonart P., Ibrahim D. S., *Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites d'enfouissement technique dans les pays du sud*, Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF), (2005) 29-74.

Hart T., Shears P., *Atlas de poche de microbiologie*, (1997) 317.

Science-Policy interfacing in support of the water framework directive implementation, SPI-Water. Description of the selected non-eu river basin sebou (Morocco). 6 (2007)116.