

Impact environnemental d'une décharge publique non contrôlée sur la population et les eaux souterraines : cas d'El Jadida, Maroc

Amina CHOFQI ¹, Abdelkader YOUNSI ¹, Kbir LHADI El ¹, Jacky MANIA ² et Alain VERON ³

1 Faculté des Sciences, El Jadida (Maroc)

2 Eudil –Département Géotechnique & Génie Civil (France)

3 Europôle Méditerranéen de l'Arbois., Aix en Provence (France)

RESUMÉ

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'étude d'impact de la décharge municipale de la ville d'El Jadida sur l'environnement, en particulier sur la nappe phréatique qui circule à faible profondeur (10 à 20 m avec un minimum de 0.9 m) et sous un sol perméable.

L'analyse des lixiviats générés par cette décharge a montré qu'il s'agit d'un percolat à forte charge polluante minérale, organique et métallique (chlorures : 5680 mg/l, sulfates : 1823 mg/l, DCO : 1005 mg/l, chrome : 156 µg/l et cadmium : 34 µg/l).

L'étude physico-chimique des eaux de puits de la région révèle une importante dégradation de la qualité de la nappe sous-jacente. En effet, des conductivités électriques (en moyenne de 8 mS/cm) très corrélées à des teneurs élevées en chlorure (2000 mg/l) et en sulfates (1200 mg/l) sont fréquentes au niveau des puits surtout ceux situés à proximité et au niveau de la décharge. Ceci indique une forte contamination des eaux de ces puits par les lixiviats. Quant à la charge organique et métallique pratiquement négligeable dans les eaux souterraines naturelles, des teneurs anormalement élevées (210 mg/l en DCO, 21 mg/l en DBO₅, 20 µg/l en cadmium, 70 µg/l en chrome, 80 µg/l en nickel) ont été observées principalement dans les puits situés au sein, à proximité et à l'aval de la décharge, dans le sens d'écoulement de la nappe. Ceci plaide en faveur de la contamination de la nappe phréatique par les lixiviats très chargés du site étudié.

INTRODUCTION

Si la mise en décharge demeure le moyen le plus économique et donc le plus utilisé pour l'élimination des déchets comparativement à d'autres modes, elle présente, cependant, des risques potentiels de dégradation de l'environnement par l'émanation d'odeurs nauséabondes, la production des biogazs et surtout des lixiviats qui véhiculent une importante charge polluante. Ces lixiviats, en s'infiltrant dans le sous-sol, entraînent une forte dégradation des eaux souterraines (Fedorak et al., 1987; Ozanne, 1990; Rivett et al., 1990; Grundfelt et Hoglund, 1995; Khattabi, 2002).

La décharge de la ville d'El Jadida, comme la majorité des décharges marocaines, est un dépotier sauvage, à ciel ouvert situé à 2 Km du centre ville au milieu de zones résidentielles. D'une superficie de 40 hectares, elle est constituée de 3 carrières anciennement exploitées pour l'extraction du graphite. Opérationnelle depuis 1983, elle reçoit 140 tonnes / jours de déchets urbains (JICA, 1997) sous une forme mixte (domestiques, industriels et hospitaliers), et sans traitement préalable. Cette décharge non contrôlée et mal exploitée, est à l'origine d'un lixiviat non drainé et à forte charge polluante, qui après accumulation s'infiltré à travers le sous-sol et contamine la nappe phréatique circulant à faible profondeur et qui remonte au fond des carrières.

Dans ce cadre et afin d'évaluer et de mettre en évidence l'impact de ces percolats sur les ressources en eau souterraine de la ville, la présente étude tient pour objectif d'une part une caractérisation physico-chimique du lixiviat, d'autres parts l'étude de la qualité des eaux de puits implantés dans la région en se basant sur le suivi de certains éléments chimiques considérés comme des indicateurs de pollution générés par une décharge à savoir la conductivité électrique, les chlorures et la matière organique.

CARACTÉRISATION DU LIXIVIAT DE LA DÉCHARGE PUBLIQUE DE LA VILLE D'EL JADIDA

Par lixiviat appelé aussi lessiva ou percolat, on désigne l'eau qui a percolé à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et surtout chimiquement de substances tant minérales et organiques (Ozanne, 1990). Ces eaux peuvent contaminer les nappes phréatiques, les eaux superficielles et les sols si elles ne sont pas récupérées et traitées avant leur rejet (Mejabri et al., 1995; Howard et al., 1996; Naifar, 1996; Amhoud, 1997; Jensen et al., 1999; Baun et al., 2000; Khattabi et al., 2002 ; Chofqi et al., 2004 ; Chofqi., 2004).

La composition des lixiviats est fonction de plusieurs paramètres à savoir la nature et l'âge de la décharge, le type des déchets, la méthode d'enfouissement, la nature du site, les conditions climatiques, etc. (Navarro et al., 1988; Leclerc et Bonneau, 1989; Blanchard et al., 1989; Matejka et al., 1994; Khattabi, 2002).

A. Échantillonnage et analyse

La décharge de la ville d'El Jadida est dépourvue d'un système de drainage des lixiviats, qui après accumulation au fond des déchets, soit ils s'infiltrent à travers le sous-sol, soit ils s'écoulent à travers les déchets pour aboutir au fond des carrières. À partir de ces fosses, le lixiviat a été prélevé et analysé bimentuellement pendant la période allant de 1999 jusqu'au novembre 2001. La caractérisation s'est rapportée sur la charge organique, minérale et métallique.

La température (T), la conductivité électrique (CE), le total des sels dissous (TDS) et le pH ont été mesurés in situ à l'aide d'un conductimètre (HACH, model 44 600) et un pH mètre (pH522 avec électrode combinée). Les concentrations des chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}), calcium (Ca^{++}), magnésium (Mg^{++}), les bicarbonates (HCO_3^-), et la demande chimique en oxygène (DCO) ont été déterminé par volumétrie (AFNOR, 1987). le sodium (Na^+) et le potassium (K^+) ont été mesuré à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme La demande biologique en oxygène (DBO5) à été mesuré par un DBO mètre (WTW. D 82362 Weilheim). L'azote total (NT) a été estimé selon la méthode de Kjeldhal (Kjeltec system 1002 Distilling unit). Les métaux lourds (chrome et cadmium) ont été mesurés à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (Unicam 929 AA Spectrometer). Les nitrates (NO_3^-), l'ammonium (NH_4^+) et les orthophosphates (PO_4^{3-}), ont été déterminés par méthode calorimétrique à l'aide d'un spectrophotomètre (Spectronic 20 D). Les eaux de puits ont été aussi prélevées et analysées bimentuellement.

B. Résultats

Tableau 1 : Composition physico-chimique du lixiviat de la décharge d'El Jadida (1999- 2000)

Paramètre	Nov-99	Jan-00	Mars-00	Mai-00	Juill-00	Sep-00	Nov-00	Moyenne
T (°C)	23	21,2	25,8	28,5	29,1	29,3	24	25,84
pH	8,51	8,41	8,53	8,9	9,2	9,3	8,5	8,76
CE (mS/cm ⁻¹)	16,51	16,8	18,2	34	37	38,2	18	26,45
TDS (g/l)	8,70	8,4	9,1	17	18,5	19,1	9	12,82
Cl ⁻ (mg/l)	40001	3898,9	5001,2	6451,3	8002,5	9004,7	3394	5680
Na ⁺ (mg/l)	1998	1930	2489	3190	3990	4489	1680	2823,71
K ⁺ (mg/l)	840	780	1000	1200	2340	2440	1000	600
Ca ⁺⁺ (mg/l)	100,2	100	184,2	220,44	263,57	321,2	115,4	186,43
Mg ⁺⁺ (mg/l)	98,4	95,4	265,4	280,4	378,72	415,3	100	233,37
SO ₄ ⁻ (mg/l)	1950	2000	1882	1780	1700	1654	1845	1823
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	511,2	478,78	1450	2800	4392	5004	2400	2433,71
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,2	0,08	1,1	2,21	4,5	5	0,9	1,99
NH ₄ ⁺ (mg/l)	52	35	84	100	184	210	64	104,14
NTK (mg/l)	98,4	70	64,34	145	210	290	94	138,32
DBO ₅ (mg/l)	88	94	62	61	42	28	90	66,43
DCO (mg/l)	1350	1445	670	610	1000	1001	860	990,85

Tableau 2 : Composition physico-chimique moyenne du lixiviat (1999-2001)

Paramètre	Composition chimique moyenne du lixiviat (1999-2000)	Composition chimique moyenne du lixiviat (2000-2001)
T (°C)	25,84	26,35
pH	8,76	8,84
CE (mS/cm ⁻¹)	26,45	27,18
TDS (g/l)	12,82	13,6
Cl ⁻ (mg/l)	5680	5967
Na ⁺ (mg/l)	2823,71	2941,66
K ⁺ (mg/l)	600	700
Ca ⁺⁺ (mg/l)	186,43	202,83
Mg ⁺⁺ (mg/l)	233,37	255,83
SO ₄ ⁻ (mg/l)	1823	1800
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	2433,71	2743
NO ₃ ⁻ (mg/l)	1,99	2,37
NH ₄ ⁺ (mg/l)	104,14	114
NT (mg/l)	138,32	146,16
DBO ₅ (mg/l)	66,43	55,33
DCO (mg/l)	990,85	920
DBO ₅ /DCO	0,067	0,06

1. Conductivité électrique

Au cours du suivi bimensuel (1999-2000), les valeurs de la conductivité électrique enregistrées dans le percolat varient entre 16,8 et 38,2 mS/cm (Tableau 1). La valeur moyenne annuelle de la conductivité électrique est de 26,45 mS/cm (1999-2000). Les fortes valeurs sont observées en été : CE = 37 mS/cm en juillet et 38,2 mS/cm en septembre (Tableau 1). Par contre, c'est pendant la saison hivernale qu'on a obtenu les faibles conductivités (16,8 mS/cm en janvier 2000 et 16,87 mS/cm en janvier 2001). L'étude de la variation inter-annuelle de la conductivité électrique montre une augmentation de CE en fonction de l'âge de la décharge (vieillessement) : d'une CE de 26,45 mS/cm en 1999 -2000 à une CE de 27,18 mS/cm en 2000 - 2001 (Tableau 2).

2. pH

Le lixiviat produit par la décharge d'El Jadida est très basique. Les valeurs du pH oscillent entre 8,41 et 9,3. La moyenne annuelle est de 8,76 (1999 - 2000) (Tableau 1). Les valeurs maximales de pH sont enregistrées pendant l'été : pH = 9,2 en juillet et 9,3 en septembre (1999- 2000) (Tableau 1). Ces fortes valeurs coïncident avec les fortes températures enregistrées pour cette même période de l'année.

La variation inter-annuelle du pH (Tableau 2) témoigne d'une légère augmentation en fonction du vieillissement de la décharge : de 8,76 (1999 - 2000) à 8,84 (2000-2001).

3. Les éléments inorganiques

Au cours de ce suivi, les teneurs en chlorures relevées dans le percolat montrent qu'il s'agit d'un lixiviat très chargé en chlorures. En effet, elles varient entre 3394 et 9004 mg/l (Tableau 1), avec une moyenne annuelle de 5680 mg/l (1999 -2000).

L'étude de la variation de la concentration des chlorures a montré que cet élément présente une variation saisonnière très nette (Tableau 1), avec des concentrations maximales pendant la saison estivale (8002 mg/l en juillet et 9004 mg/l en septembre (1999 - 2000)). Ces fortes concentrations coïncident avec les fortes valeurs de la conductivité électrique. Ceci indique que celle-ci est en grande partie déterminée par les ions chlorures. En hiver, nous assistons à une diminution de ces concentrations chlorurées.

Le tableau 1 montre que la moyenne annuelle en sulfates est de 1823 mg/l (1999-2000), avec des concentrations qui oscillent entre 750 et 1450 mg/l. Contrairement aux chlorures, les valeurs maximales en sulfate sont enregistrées pendant la période hivernale : 1900 et 2000 mg/l respectivement en novembre et janvier (Figure 1).

Le lixiviat généré par la décharge est très riche en sodium, avec une teneur moyenne de 2823 mg/l en 1999-2000 et 2941 mg/l en 2000- 2001 (Tableau 1). Les concentrations maximales sont enregistrées pendant l'été. Le calcium et le magnésium présentent la même variation saisonnière que les chlorures et le sodium (teneurs maximales en été et des concentrations faibles en hiver (Tableau 2)). Cependant, ces valeurs restent toutefois faibles par rapport à celles de ces deux éléments. Les concentrations en bicarbonates du percolat de la décharge sont relativement importantes. Elles oscillent entre 478 et 5004 mg/l (1999-2000) (Tableau 1). En été, on enregistre une augmentation de la concentration de cet élément : 4392 et 5004 mg/l respectivement en juillet et septembre (1999-2000). En hiver, on assiste à une diminution de ces teneurs (Tableau 1).

4. La matière organique

Les concentrations en matière organique biodégradable (DBO₅) dans le lixiviat sont relativement faibles. En effet, elles varient entre 28 et 94 mg/l (Tableau 1), avec une valeur moyenne annuelle de 66,43 mg/l (1999-2000). Les valeurs de la DBO₅ diminuent pendant la période estivale : 42 mg/l en juillet et 28 mg/l en septembre (1999-2000). En hiver, on assiste à une augmentation de ce paramètre (Tableau 1) : 90 mg/l en novembre et 94 mg/l en janvier (1999-2000).

Contrairement à la DBO₅, les teneurs en matière organique oxydable (DCO) sont importantes, avec une moyenne annuelle égale à 1005 mg/l (1999-2000). Ces concentrations varient entre 610 et 1445 mg/l (1999 – 2000). Les valeurs maximales sont enregistrées en novembre et janvier (1999 – 2000), de 1350 et 1445 mg/l respectivement (Tableau 1). A l’opposé de la DBO₅, on assiste à une augmentation de ce paramètre pendant la période estivale (Tableau 1).

Le rapport DBO₅ / DCO est égal à 0,06 (2000 – 2001). L’étude de la variation inter-annuelle de la DBO₅, de la DCO et du rapport DBO₅/DCO, témoigne d’une nette diminution de ces paramètres au cours du temps (Tableau 3). En effet, la DBO₅ passe de 311 mg/l en 1996 à 55,33 mg/l (2000 – 2001), la DCO, quant à elle, passe de 1900 mg/l (1996) à 920 mg / l (2000 – 2001). Le rapport DBO₅/DCO diminue de 0,16 en 1996 (Tazi, 2002) à 0,06 (2000 – 2001).

Tableau 3 : Évolution inter- annuelle du pH, DCO, DBO et du rapport DBO/DCO

Paramètre	1996*	1997*	2000-2001
pH	8,3	8,5	8,84
DCO	1900	1100	920
DBO ₅	311	-	55,33
DBO ₅ /DCO	0,16	-	0,06

• Tazi, 2002

5. Les éléments métalliques

L’examen des résultats présentés dans le tableau 4, montre clairement l’importance de la charge métallique du lixiviat issu de la décharge d’El Jadida. Le fer est le métal le plus abondant (24000 µg/l). Le manganèse et le zinc présentent aussi des teneurs importantes qui sont respectivement de 1256,72 et 747,20 µg/l. Les métaux toxiques présentent des teneurs relativement importantes : cobalt = 208,6 µg/l ; chrome = 156,33 µg/l ; nickel = 133,8 µg/l).

La composition métallique du lixiviat issu de la décharge d’El Jadida est typique d’une décharge à caractère ménager dominant (Tableau 4). En effet, les concentrations des éléments métalliques du percolat étudié sont globalement identiques à celles des lixiviats générés par d’autres décharges d’ordures ménagères (Tableau 4), sauf pour certains éléments tel que le fer (décharge d’El Jadida: 24 000 µg/l, décharge d’Alger : 12 300 µg/l et décharge d’Etueffont : 2630 µg/l).

Tableau 4 : Teneurs moyennes en métaux lourds du lixiviat de la décharge d’El Jadida (1999-2001) et comparatif des teneurs dans différents lixiviats

Concentration (µg/l)	Décharge d’El Jadida (Maroc)	* Décharge de Rabat (Maroc)	**Décharge d’Etueffont (France)	*** Fourchette de variation d’une décharge ménagère
Zinc	747,2	---	740	30 – 1.10 ⁶
Fer	24000	23000	2630	3000 – 55. 10 ⁶
Cuivre	157,8	118	270	5 – 1. 10 ⁴
Manganèse	1256,72	4922	---	30 – 1,4. 10 ⁶
Nickel	133,8	133,6	210	15 – 1,3. 10 ⁴
Chrome	156,33	517	270	20 – 1500
Cobalt	208,6	---	60	5 - 1500
Cadmium	34	8,38	10	---

*Amhoud, ** Khattabi, ***Christensen

B. Discussions générales

Les teneurs en matière organique du lixiviat produit par la décharge, exprimées en DBO₅ et en DCO, sont relativement faibles. La variation saisonnière de la DBO₅ montre que c'est pendant la période estivale qu'elle présente les valeurs les plus faibles. Khattabi (2002) a montré qu'il y a une corrélation nette entre l'augmentation de la température et la diminution de la DBO₅. En effet, pendant cette période, on note un réchauffement des eaux de lixiviation permettant ainsi une intensification de l'activité des bactéries. Celles-ci vont permettre la dégradation de la matière organique biodégradable, présente dans le percolat. En hiver, les températures du jus de la décharge commencent à diminuer, constituant ainsi un facteur limitant des bactéries qui deviennent de plus en plus incapables de transformer cette matière organique biodégradable, ce qui conduit à une augmentation des valeurs de la DBO₅ pendant cette période. À l'opposé de la DBO₅, on note une augmentation de la DCO probablement due aux produits des composés de biodégradation incomplète par les bactéries (Khattabi, 2002).

Le calcul du rapport DBO₅/DCO nous a permis 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 règnent au sein de la décharge (Kerbachi et Belkacemi, 1994). Ainsi, pour les décharges jeunes où l'activité biologique correspond à la phase acide de dégradation anaérobie, ce rapport atteint la valeur de 0,83. À l'opposé, 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 (Ozanne, 1990 ; Robinson, 1991 ; Amokrane, 1994 et Desachy, 1994). La DBO₅ peut même devenir nulle au cours des années. Cette phase est aussi caractérisée par des teneurs importantes en ammonium.

Dans notre cas, il semble que la décharge d'El Jadida est une décharge vieille qui traverse actuellement le stade de la méthanogénèse (DBO₅/DCO égal à 0,06). Le pH basique (8,84 en moyenne), mesuré sur ces lixiviats, reflète bien cette phase d'évolution biologique. Ceci permet d'expliquer les faibles valeurs trouvées de la DBO₅, qui continuent à diminuer au cours du temps. Nous pouvons conclure que le lixiviat de la décharge d'El Jadida est un lixiviat vieux et stabilisé, caractérisé par une biodégradabilité moindre et une charge organique complexe.

La diminution de la DBO₅ à la suite de la biodégradation, a entraîné une production relativement importante en azote total et en ammonium. Les teneurs en nitrates dans le lixiviat restent cependant très faibles voire même nulles, suite aux phénomènes de réduction qui règnent dans le site de la décharge.

Le lixiviat présente des valeurs de conductivité et des teneurs en chlorures très importantes. Il s'agit d'un caractère commun à toutes les décharges d'ordures ménagères (Ozanne, 1990 ; Kerbachi et Belkacemi, 1994 ; Amhoud, 1997, Christensen et al., 2001 et Khattabi, 2002). Les fortes teneurs en chlorures sont enregistrées pendant la période estivale et coïncident avec les maxima des températures. Ceci peut s'expliquer d'une part par le fait que pendant cette période de l'année (l'été), il y a une absence quasi-totale des précipitations qui peuvent engendrer des phénomènes de dilution du percolat, d'où les lixiviats deviennent de plus en plus riches en chlorures. D'autre part, l'augmentation de la température semble stimuler 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 (Mattias et Nilson, 1997 ; Khattabi, 2002 ; Tazi, 2002). L'évolution des concentrations en chlorures semble influencer celle de la conductivité électrique qui est déterminée principalement par ces ions. En effet, elles présentent les mêmes variations saisonnières, annuelles et inter-annuelles. Cette relation étroite entre les teneurs en chlorures et la conductivité a été démontrée par Khattabi (2002) sur le site d'Etueffont.

Les plus faibles teneurs en sulfates sont enregistrées en été, où les phénomènes de biodégradation bactérienne sont très intenses (réchauffement du lixiviat) et où les conditions du milieu sont très réductrices. Les sulfates sont ensuite réduits en sulfures (H_2S) qui sont parmi les gaz responsables des mauvaises odeurs dégagées par la décharge (Khattabi, 2002 ; Tazi, 2002).

Comme la plupart des éléments inorganiques, l'évolution des concentrations en calcium, magnésium et en sodium dans le lixiviat est en relation avec la teneur en substance organique dissoute (Christensen et al., 2001). En effet, les concentrations maximales de ces trois éléments sont enregistrées pendant la période estivale. Ceci peut être dû au fait que pendant cette période, la matière organique qui est responsable de la complexation de ces éléments, est très faible.

L'analyse de la composition en métaux lourds du lixiviat a mis en évidence l'importante charge métallique de ce percolat malgré qu'il s'agisse d'une composition typique d'une décharge à caractère ménager dominant. Les concentrations en manganèses et surtout en fer sont anormalement élevées dans le percolat, ce qui n'est pas le cas pour un lixiviat généré par une décharge en phase de méthanisation (cas étudié). Ceci est vraisemblablement dû au fait que la décharge continue toujours à recevoir des déchets renfermant du fer, surtout les déchets industriels qui y sont rejetés à l'état brut et mélangés aux déchets ménagers.

Malgré que la composition métallique du lixiviat est typique d'une décharge à caractère ménager dominant et que cette charge en métaux lourds reste cependant faible par rapport à celle des lixiviats des décharges d'ordures essentiellement industrielles, la charge métallique présente toutefois un risque énorme pour les eaux souterraines du fait qu'il y a un contact direct du lixiviat avec la nappe sous-jacente au niveau des carrières de la décharge. D'autre part, la faible profondeur des eaux souterraines circulant dans la zone de la décharge, la perméabilité de la zone non saturée et l'état dégradé et saturé des sols sablo-argileux du site de la décharge, favorisent les phénomènes d'infiltration et de percolation des lixiviats et de leur charge métallique. Dans notre cas, les phénomènes d'épuration et de complexation par la zone non saturée et le sol de la décharge n'ont pas un rôle significatif.

ÉVALUATION DE L'IMPACT DU LIXIVIAT SUR LES EAUX SOUTERRAINES

Le site de la décharge d'El Jadida est un site perméable (perméabilité de fissure). Il est formé essentiellement par des calcaires et des marno-calcaires d'âge cenomanien. En absence d'un système de drainage, les lixiviats générés s'infiltrent à travers le sous-sol pour atteindre la nappe phréatique sous-jacente circulant à de très faible profondeur (10 à 20 m) avec un minimum de 0,9 m et qui affleure au fond des carrières au sein de la décharge. Le sens de l'écoulement de la nappe se fait de la décharge vers l'océan ce qui entraîne la propagation du flux de pollution vers les puits se trouvant en aval.

A. Résultats et discussions

1. la conductivité électrique

D'après la figure 1 l'ensemble des puits suivis pendant cette étude, présentent des conductivités électriques importantes (moyenne annuelle d'environ 4,50 mS/cm), supérieures aux normes françaises de potabilité (1,5 ms/cm). L'analyse de la carte de distribution spatiale de la conductivité (Figures 1) a permis de montrer un resserrement, très marqué, des courbes d'isoconductivités au centre, aux alentours et dans la partie aval proche du site de la décharge traduisant des valeurs importantes de la conductivité et donc une salinité très élevée au niveau des puits situés dans ces secteurs sensibles. En effet, au niveau de ces points d'eau, la conductivité moyenne varie entre 8,88 et 8,95 mS/cm et peut même dépasser 9,5 mS/cm par endroit et par saison. Cette forte salinité ne peut être due qu'à une contamination par les eaux de lixiviat générées au niveau de la décharge (Khattabi, 2002 ; Tazi, 2002 ; Chofqi et al., 2004).

En effet et comme pour l'ensemble des percolats de décharge incontrôlée, nous avons pu démontrer précédemment que les eaux de lixiviat de la décharge d'El Jadida, sont caractérisées par des fortes valeurs de la conductivité électrique, pouvant atteindre des moyennes annuelles de l'ordre de 26,45 mS/cm.

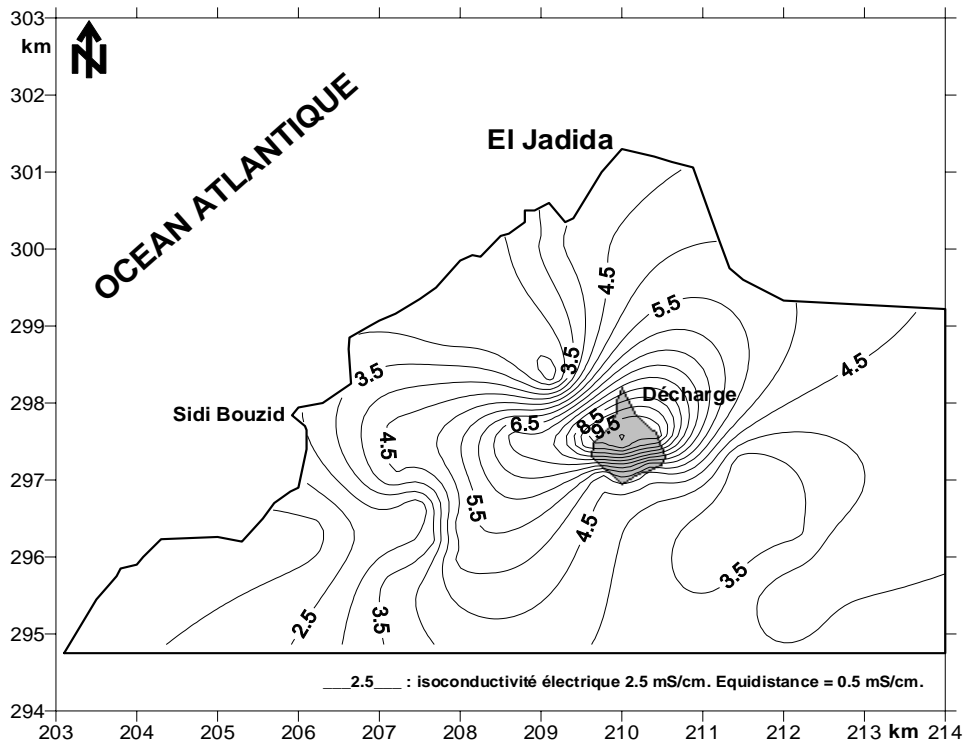


Figure 1 : Distribution spatiale de la conductivité électrique (Septembre 2001)

Cette pollution des eaux souterraines au voisinage du site de la décharge, se fait selon deux mécanismes :

- une contamination directe qui a lieu au niveau des trois carrières de la décharge et qui est due au contact des lixiviats avec la nappe qui remonte au fond des carrières ;
- une contamination indirecte due à l'infiltration et à la percolation des lixiviats à travers le sol et la zone non saturée en général perméables. Elle est favorisée par la faible profondeur de la nappe sous-jacente (10 à 20 m). Cette pollution va ensuite s'étaler dans la même direction que celle de l'écoulement de la nappe, pour atteindre les puits situés en aval de la décharge. Ce qui explique les fortes valeurs de conductivité enregistrées au niveau de ces puits.

Nous pouvons conclure que la minéralisation totale des eaux souterraines circulant à proximité immédiate et à l'aval du site de la décharge étudiée, est déterminée par celle des lixiviats entrant en contact direct et indirect avec la nappe.

2. Les chlorures

Les résultats obtenus montrent que les teneurs en chlorures sont très importantes (moyenne annuelle = 1050 mg/l) et dépassent largement les normes de potabilité (250 mg/l) et les limites supérieures admissibles (600 mg/l) fixées par l'OMS (OMS, 1984).

La carte des chlorures établie (Figures 2) montre toujours une distribution spatiale similaire à celle de la conductivité électrique. Elle est toujours caractérisée par des zones de concentrations élevées dans les secteurs situés aux alentours et à l'aval de la décharge. Cette forte charge en ions chlorures (en moyenne de 2000 mg/l) est liée à une contamination directe et indirecte par les lixiviats qui sont fortement chargés en chlorure (5680 mg/l). En effet, les déchets renferment des teneurs importantes en chlorures (Reitzel, 1990).

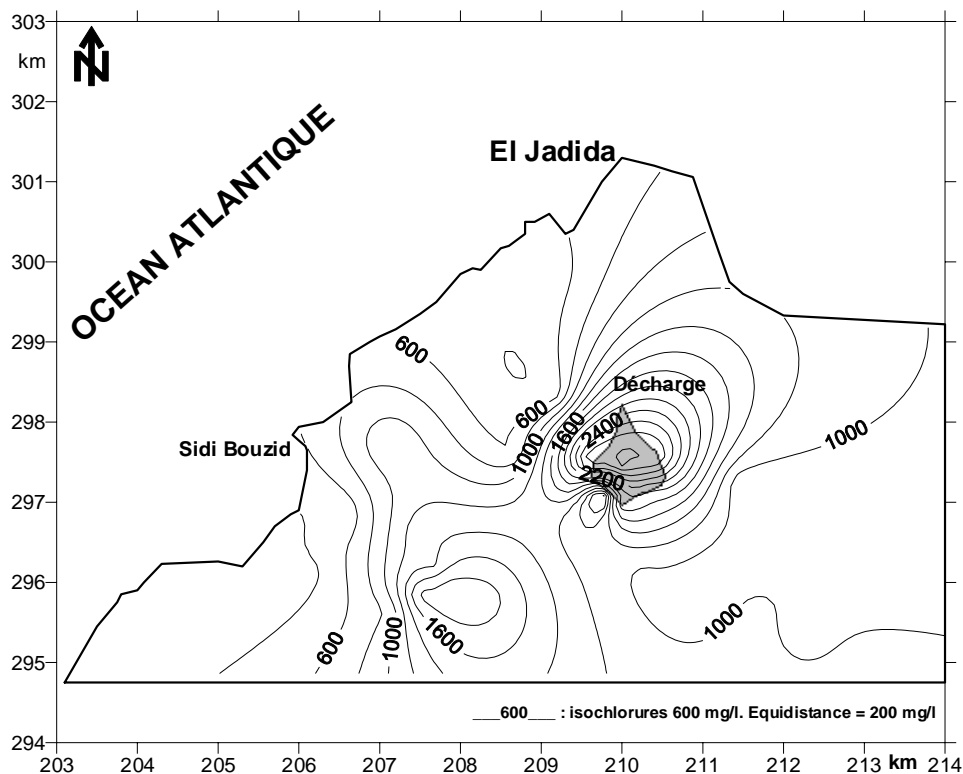


Figure 2 : Distribution spatiale des chlorures (Septembre 2001)

La dégradation de ces déchets au niveau des décharges produit des percolats très chargés en cet élément chimique (Ozanne, 1990). L'ion chlorure est un élément très mobile, qui migre facilement vers les nappes sous-jacentes. Il n'est pas affecté par les phénomènes d'adsorption ou d'échanges d'ions, il n'intervient pas dans les équilibres acido-basiques ou d'oxydoréduction et il n'est pas retenu par les complexes argilo-humiques des sols. C'est pourquoi, il est fréquemment utilisé comme un bon traceur conservatif qui permet de mettre en évidence l'impact des lixiviats sur la qualité physico-chimique des nappes phréatiques (Appelo et Potsma, 1993 ; Khattabi et al., 2001 ; Khattabi, 2002). La contamination des eaux de la nappe par les lixiviats prend l'aspect d'un panache de pollution qui s'étale tout au tour du site de la décharge et atteint les puits situés dans les secteurs aval en concordance avec le sens d'écoulement de la nappe. Ce qui explique les fortes teneurs en chlorures enregistrées au niveau de ces puits.

3. La matière organique

Les eaux souterraines naturelles contiennent généralement peu ou pas de matière organique (in Guessir, 1995). Cependant, les puits P17, P18 et P19 situés à proximité directe de la décharge (Figure 3), présentent des teneurs en DCO très élevées, avec des moyennes annuelles de 208 à 211 mg/l et peuvent même dépasser 300 mg/l. Ces teneurs sont proches de celle des eaux usées marocaines (Tazi, 2002). Ce qui montre l'acuité des problèmes de contamination organique de ces puits par les lixiviats de la décharge. Les valeurs de la DBO₅ sont aussi importantes (les moyennes annuelles varient entre 20,6 et 22,91 mg/l) et pouvant même dépasser 40 mg/l.

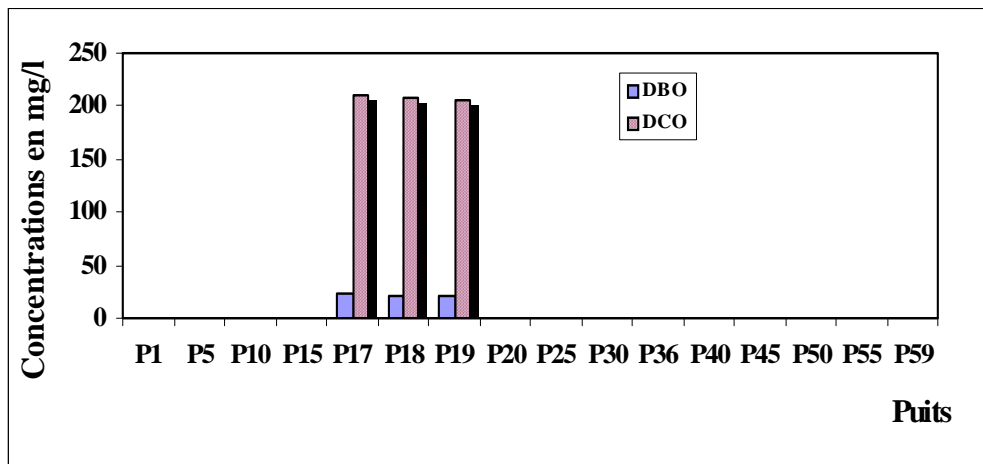


Figure 3 : Teneur en DBO et en DCO dans les puits étudiés

Cette forte charge organique montre qu'au niveau de cette zone, la nappe souterraine reçoit un flux important de matière organique qui provient de la dégradation de déchets au niveau de la décharge et qui percole à travers les eaux de lixiviation.

ÉTUDE ÉPIDÉMIOLOGIQUE

L'objectif principal de l'approche épidémiologique est de mettre en évidence les impacts des déchets solides et de leurs diverses nuisances sur la santé de la population avoisinante de la décharge incontrôlée d'El Jadida. Cette approche constituera une méthode d'étude supplémentaire dont la combinaison avec les méthodes déjà étudiées, va permettre de bien confirmer les effets directs et indirects des déchets solides et de leurs lixiviats. Ainsi, les résultats obtenus à l'issue de cette enquête ont montré que:

- la population avoisinante de la décharge de la ville d'El Jadida, est très touchée dans sa grande partie active par des maladies allergiques (respiratoires, cutanées, oculaires,...). Les enfants et les bébés sont les plus vulnérables aux nuisances importantes générées par les déchets solides et leurs lixiviats. À El Jadida où l'on note un nombre important de récupérateurs et de bergers (femmes, filles, garçons,...) qui travaillent quotidiennement dans la décharge, l'état de santé des populations est grave et alarmant.
- parmi les nuisances les plus importantes et les plus fréquentes qui ont des impacts aigus sur la santé des populations, sont surtout les odeurs et les fumées asphyxiantes. Celles-ci engendrent des maladies d'allergies multiples et chroniques (respiratoires, asthmes, conjonctivites, dermatoses,...) ;
- les enfants, parties de la population la plus sensible aux nuisances des déchets solides et de leurs lixiviats, sont maigres et de faible structure. Leur état de santé est dégradé et mérite d'être suivi par des examens cliniques et paracliniques très poussés ;

- un abaissement important des rendements agricoles des terres à cause des objets volants, principalement de nature plastique. En effet, des terres agricoles autrefois fertiles et cultivées, sont devenues actuellement occultes et abandonnées, à cause de ces objets volants et d'autres nuisances nocives qui viennent se déposer sur le sol et les plantes ;
- un taux de mortalité inhabituel dans le cheptel, à cause des objets volants plastiques ;
- une vie enkystée dans des habitations « système clos ! », de la population avoisinante du site de la décharge.

CONCLUSION

Au terme de cette étude on peut dire que :

- Après 20 ans d'exploitation, la décharge de la ville d'El Jadida traverse actuellement l'étape d'activité biologique correspondant à la phase méthanique de dégradation anaérobie : méthanogénèse (DBO₅/DCO : 0.056) ;
- Les lixiviats produits par la décharge de la ville entre dans la catégorie des lixiviats vieux stabilisés à forte charge polluante non ou faiblement biodégradable. Ces percolats sont d'une importante charge métallique avec des teneurs très élevées en métaux ;
- En absence d'un système de récupération des lixiviats, et en présence d'un sol perméable et d'une nappe circulant à de faible profondeur fait qu'après leur génération, ces percolats s'accumulent au fond des déchets et s'infiltrent à travers le sol pour atteindre la nappe sous-jacente entraînant ainsi sa contamination et la dégradation de sa qualité physico-chimique ;
- La remonté de la nappe au fond des carrières de la décharge favorise cette contamination suite à un contact direct avec les lixiviats ;
- L'analyse physico-chimique des eaux des puits de la région révèle une forte dégradation de ces eaux suite à leur contamination par les eaux de percolation générées par la décharge. Il s'agit d'une pollution à la fois physique (conductivité électrique élevée) et chimique (forte salinité et concentrations élevées en matière organique) ;
- L'étude de la répartition spatiale des différents contaminants a montré l'existence d'un panache de pollution au alentour de la décharge et qui a tendance à s'étaler dans le sens d'écoulement de la nappe.
- L'examen des résultats de la préenquête épidémiologique a montré que les populations avoisinantes de la décharge d'El Jadida, sont très touchées par les nombreuses et fréquentes nuisances des déchets solides.

BIBLIOGRAPHIE

AFNOR 1989, Eau, méthodes d'essai, Association Française de Normalisation. Édition 1989, Paris.

JICA 1997, Projet de site de décharge pour El Jadida. Rapport d'avancement (2), 3, 49 p.

Amhoud S.1997, Apports de la géologie et de l'hydrogéologie à l'étude de l'impact de la décharge d'Oued Akrech sur les ressources en eau, Thèse de 3^e cycle Fac. Sci. Rabat.

Amokrane A. (1994), Épuration des lixiviats de décharge : Pré-traitement par coagulation-floculation, traitement par osmose inverse, post-traitement par incinération. Thèse. Doc. Univ, INSA. Lyon. France, 286p.

Appelo C.A.J., Potsma D. (1993), Geochemistry, groundwater and pollution. A.A. Balkema, Rotterdam, 540p.

Baun A., Jensen, S.D., Bjerg L., Christensen T.H., Nyholm N. 2000, Toxicity of organic chemical pollution in groundwater down gradient of a landfill (Grindsted, Denmark). Environmental and technology, 34, 647-1652.

Blanchard J.M., Navarro A., Revin P.H., Cyclewsky J., Voyars S., Pillard G.1989, Les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères II. Utilisation en traitement des lixiviats de décharge. Techniques, Sciences et Méthodes - L'Eau, 3, 133-140.

Chofqi A. 2004, Mise en évidence des mécanismes de contamination des eaux souterraines par les lixiviats d'une décharge incontrôlée (El Jadida-Maroc) : Géologie, hydrogéologie, Géoelectrique, Géochimie et Épidémiologie. Thèse Univ. El Jadida, Maroc, 250p.

Christensen T H., Kjeidsen R., Bjerg P L., Jensen D L., Christensen J B., Bauna A., Albrechtsen H J., Heron G. 2001, Biogeochemistry of landfill leachate plumes. Appl Geochemistry, 16, 659-718.

Desachy C.1994, Les déchets en 1994. Techniques, Sciences et Méthodes - L'Eau, 11, 603-609.

Fedorak P. M., Hruday S.E.1987, Water Science and Technology, 19, 219 -228.

Grundfelt B., Hoglund L.O.1995, Some views on effect of different types of barriers in waste deposits Groundwater Quality. Rémédiation and Protection. In Proceeding of the Prague conference. International Association of Hydrological Sciences (IAHS), 347-354. Publication No 225.

Guessir H. (1995), Étude de l'impact de l'irrigation par les eaux usées brutes sur la qualité physico-chimique du sol et de la nappe phréatique dans la région de Sidi Bennour (Maroc). Thèse. 3^{ème} cycle, Univ. Chouaib Doukkali. El Jadida, 134p.

Howard Ken W.F., Eyles N., Liyingstone S. (1996), Municipal landfill practice and its impact on groundwater resources in and around urban Toronto, Canada. Hydrog. J, N°4, p. 64-79.

Kerbachi R., Belkacemi M.1994, Caractérisation et évolution des lixiviats de la décharge de Oued-Smar à Alger. Techniques, Sciences et Méthodes - L'Eau, 11, 615-618.

Khatabi H. 2002, Intérêts de l'étude des paramètres hydrogéologiques et hydrobiologiques pour la compréhension du fonctionnement de la station de traitement des lixiviats de la décharge d'ordures ménagères d'Etueffont (Belfort, France).Thèse, Université de Franche Comté, France

Khatabi H., Lotfi A., Mania J. (2001), Évolution temporelle de la composition du lixiviat d'une décharge à ciel ouvert : effet des précipitations. Déch. Sci. Téchn, N° 21, p. 7-10.

Khatabi H., Lotfi A., Mania J. 2002, Évaluation 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.

- Leclerc G., Bonneau A.1989**, La lixiviation: source, composition et atténuation. Eau du Québec, 15 (1), 37-45.
- Matejka G., Rinke M., Mejbri R., Bril H.1994**, Pollution engendrée par une décharge d'ordures ménagères: Bilan hydrique et caractérisation. Environmental Technology, 15, 313-322.
- Mattias B.A., Nilsson P. (1997)**, Seasonal changes of leachate production and quality from test cells. J. Envir. Eng. Div. Assce, p. 892-900.
- Mejbri R., Matejka G., Lafrance P., Mazet M. (1995)**, Fractionnement et caractérisation de la matière organique des lixiviats de décharge d'ordures ménagères. Sci. Eau, N°8, p. 217-236.
- Naifar E.M.1996**, La situation actuelle de l'élimination des ordures ménagères de l'agglomération de Rabat. Étude de l'impact des rejets liquides de la décharge d'Akrach sur l'Environnement, Thésée de 3^e cycle Fac. Sci. Rabat
- Navarro A., Bernard D., Millot N.1988**, Les problèmes de pollution par les lixiviats de décharge. Techniques, Sciences et Méthodes - L'Eau, 3, 541-545.
- OMS. 1993**, Guidelines for Drinking-Water Quality, Geneva, Switzerland.
- Ozanne F.1990**, Les lixiviats de décharge, le point des connaissances en 1990. L'Eau: Techniques, Sciences et Méthodes juin 289-312.
- Reitzel A. (1990)**, The temporal characterization of municipal solid waste leachate. Waterloo, Ontario, Univ. Waterloo, Masters of applied Science Thesis, 144p.
- Rivett M.O., Lerner D.N., Liyod J.W.1990**, Chlorinated solvents in U.K Aquifers. Journal of Waterand Management, 4, 242-250.
- Robinson H D.1991**, Characterisation and treatment of leachates from Hong Kong Landfill sites. J, IWEM, 5, 326-335.
- Tazi H. 2001**, Déchets solides : Étude d'impact sur l'Environnement (sol, eaux souterraines) et traitement par voie de compostage. Thèse Univ. El Jadida, Maroc, 224p.