

BADJIMOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار-عناية

Année 2018

Faculté des Sciences de la Terre
Département de Géologie

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD en Géologie

Option : Eau et Environnement

**IMPACT DE LA DECHARGE D'EL HARROUCH WILAYA
DE SIKKDA (NORD - EST ALGERIEN) SUR
L'ENVIRONNEMENT ET LES RESSOURCES EN EAU.**

Par

BOUBRYEM AMIRA

Directeur de thèse: DERRADJI EL FADEL Pr. Université Badji Mokhtar, Annaba

Devant le jury

Président : BELOULOU LAROUSSI Pr. Université Badji Mokhtar, Annaba

Examineurs :

MAOUI AMAR

Pr . Université 08 Mai 1945, Guelma

BOUGHERIRA NABIL

MCA. Université Badji Mokhtar, Annaba

SAYAD LAMINE

MCA. Université Badji Mokhtar, Annaba

REMERCIEMENTS

Avant tout nous devons remercier le bon DIEU tout puissant qui m'a facilité le travail en mettant dans mon chemin des gens qui m'ont énormément aidé et soutenu

Je remercie vivement et profondément mon directeur de thèse Monsieur le Professeur DERRADJI El Fadel, je suis très reconnaissante de m'avoir formé, orienté et conseillé durant plusieurs années, merci pour sa gentillesse et son soutien

Au terme de ce travail, je tiens à remercier également Mr, BELLOULOU Laroussi, Professeur à l'université d'Annaba, de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Je tiens à remercier, Mr MAOUI Ammar, Professeur à l'université GUELMA, ainsi que Mr BOUGHRIRA Nabil et Mr SAYA Lamine. Qu'ils trouvent mes vifs remerciements de juger ce travail.

Très chaleureusement, je remercie tout le personnel du laboratoire de la direction de l'environnement de Skikda pour son soutien et ses efforts.

Mes remerciements vont aussi à l'ensemble des enseignants, mes collègues et les étudiants de département de géologie de l'université d'Annaba.

DÉDICACE

Je dédie ce modeste travail à ceux qui me sont les plus chers au monde, mon Père et ma Mère en témoignant de ma grande reconnaissance pour m'avoir orienté vers la bonne voie.

A tous ceux que j'aime en particulier: Mon mari et mes petits-enfants Siradj, Lokmen et Lyne.

A mon frère Amir et mes sœurs Anauar et Merieme

RESUME

Les décharges constituent une source potentielle de pollution des sols, des eaux souterraines et de surface par la percolation ou la lixiviation des matériaux qui sont déposés, et même par la pollution de l'environnement par les biogaz dégagés.

L'objectif de ce travail est de mettre en évidence l'impact du lixiviat généré par le déversement incontrôlé de la décharge d'El Mechmes à El Harrouch (Skikda) sur la qualité des ressources en eau et l'environnement. Un diagnostic simplifié de tous les dépotoirs pour évaluer l'impact potentiel sur l'environnement des décharges, les résultats se traduisent par un ensemble de fiches descriptives dans lesquelles sont indiqués les risques potentiels pour l'environnement, Une étude des sites de la décharge afin de dégager les points les plus sensibles.

Des prélèvements de sol ainsi que des eaux superficielles ont été effectués sur les cours d'eau les plus proches aux décharges et ils ont fait l'objet d'une caractérisation physico-chimiques et d'une évaluation des éléments traces métalliques.

Dans le cadre de ce travail, ont été utilisés plusieurs méthodes et outils, Des analyses physico-chimiques (pH, Eh, conductivité, salinité, température, Turbidité, O₂ dissous, Cl⁻, DBO₅, DCO de la matière organique et des métaux lourds (Fe, Pb, Zn, Cu, Cr) ont été effectués à partir d'avril 2013 à décembre 2015 sur un réseau de 15 points d'eau et de lixiviats et deux points de sol.

L'étude physico-chimique des eaux révèle une faible dégradation de la qualité de ces derniers qui se manifeste par une concentration en ions et une forte présence des Nutriments. Les éléments traces métalliques présentent des teneurs négligeables.

Les résultats obtenus montrent une charge polluante importante portée par les rejets de lixiviats (DBO₅ = 880mg/l, DCO = 1185,6 mg, pH = 9). Ils montrent également une dégradation qualitative significative des ressources hydriques et pédologiques.

Mots-clés: Décharge; Lixiviats; DBO₅; COD; Ressources en eau ; El Harrouch.

ABSTRACT

Landfills are a potential source of soil, groundwater and surface water pollution by percolation or leaching of deposited material, and even by the pollution of the environment by biogas released . The objective of this work is to highlight the impact of leachate generated by the uncontrolled discharge of the El Mechmes landfill in El Harrouch (Skikda) on the quality of water resources and the environment. A simplified diagnosis of all dumps to assess the potential impact on the environment of landfills, the results are translated into a set of fact sheets in which are indicated the potential risks for the environment, A study of landfill sites in order to identify the most sensitive points. Soil samples and surface water were taken from the nearest watercourse and were subjected to physicochemical characterization and metal trace element evaluation. As part of this work, several methods and tools have been used, Physicochemical analyzes (pH, Eh, conductivity, salinity, temperature, turbidity, dissolved O₂, Cl⁻, DBO₅, COD, organic matter and heavy metals (Fe, pb , Zn, Cu, Cr) were carried out from April 2013 to December 2015 on a network of 15 water and leachates points and two soil points. The physicochemical study of the waters reveals a weak degradation of the quality of the latter which is manifested by an ion concentration and a strong presence of Nutrients. The metallic trace elements have negligible contents.

The results obtained show a significant pollutant load carried by the discharges of leachates (BOD₅ = 880 mg /l, COD = 1185.6 mg, pH = 9). They also show a significant qualitative degradation of the water and soils resources.

Keywords: Discharge; Leachate; BOD₅; COD; Water resources; E Harrouch.

ملخص :

تشكل المفرغات العمومية مصدرا محتملا لتلوث التربة والمياه الجوفية والمياه السطحية عن طريق الترشيح أو ترشيح المواد المودعة. الهدف من هذا العمل هو تسليط الضوء على تأثير المادة المرشحة الناتجة عن تصريف مياه المفرغة العمومية المشمس في الحروش ولاية سكيكدة على جودة الموارد المائية والبيئة . قمنا بتشخيص مبسط لجميع مقالب النفايات لتقييم الأثر المحتمل على البيئة في مدافن المفرغات العمومية، يتم ترجمة النتائج إلى مجموعة من صحائف الوقائع التي تشير إلى المخاطر المحتملة على البيئة ، وهي دراسة لمواقع دفن النفايات من أجل تحديد النقاط الأكثر حساسية.

أخذت عينات التربة والمياه السطحية من أقرب مجرى مائي وتم إخضاعها لتحليل فيزيوكيميائي وتقييم العناصر المعدنية كجزء من هذا العمل حيث تم استخدام العديد من الأساليب والأدوات والتحليلات الفيزيائية للمواد العضوية والمعادن الثقيلة (الحديد ، الرصاص ، الزنك ، النحاس ، الكروم) من أبريل 2013 إلى ديسمبر 2015 على شبكة من 15 نقطة مياه عسارة . واثنتين من التربة . لوحظ أن منسوب المياه الجوفية (أقل من 30 م) يتم رصده في اتجاه مجرى التصريف . هذه هي المناطق، التي يجب النظر فيها باعتبارها الأكثر حساسية للتلوث بواسطة مياه الرشح. تكشف الدراسة الفيزيائية الكيميائية للمياه تدهورًا ضعيفًا لجودة هذا الأخير الذي يتجلى بتركيز أيون وحضور قوي للمغذيات. العناصر المعدنية لها محتوى ضئيل حيث تظهر النتائج التي تم الحصول عليها وجود حمولة ملوثة في المكونات الخاضعة للتحليل ($BOD_5 = 880 \text{ mg/l}$ ، $COD = 1185.6 \text{ mg/l}$ ، $pH = 9$) ، كما أنها تظهر تدهور نوعي كبير لموارد المياه.

الكلمات المفتاحية: المفرغة العمومية, العسارة, COD , DBO_5 , الموارد المائية ، الحروش.

SOMMAIRE

	Page
Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I - CADRE GENERAL	3
1. Situation géographique	3
2. Géomorphologie	3
3. Réseau hydrographique	4
4. Contexte démographique	6
5. Aperçu Socio- économique	6
5.1. Contexte industriel	7
5.2. Contexte végétal et agricole	7
Conclusion	8
CHAPITRE II - CADRE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE	9
1. Introduction	9
2. Position géologique de la zone d'étude	9
2.1. Contexte régional	9
2.2. Stratigraphie	9
2.2.1. Domaine interne-Le socle kabyle (Paléozoïque)	11
2.2.2. Domaine Des Flyschs (fig. 5)	12
2.2.2.1. Flysch Mauritanien	12
2.2.2.2. Flysch Massylien	14

SOMMAIRE (suite)

	Page
2.2.3. Les formations post-nappes	14
2.2.4. Les petits affleurements orientaux	14
2.3. La Géologie du secteur d'étude	14
2.3.1. Le Trias	14
2.3.2. Le Permo-Trias	15
2.3.3. Crétacé	15
2.3.4. Yprésien	15
2.3.5. Lutétien	17
2.3.6. Priabonien	17
2.3.7. Oligocène	17
2.3.8. Pontien	17
2.3.9. Pliocène	17
3. Tectonique de la région d'étude	17
4. La paléogéographie de la région et phases tectoniques	18
4.1. Les mouvements précoces	18
4.2. La phase Atlasique	19
4.3. La phase Alpine	19
5. Aperçu hydrogéologique	21
Conclusion	23
CHAPITRE III - CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE	24
1. Introduction	24
2. Climatologie de la zone d'étude	24
2.1. Variation des facteurs climatiques	25
2.1.1. Les températures	25
2.1.2. Les précipitations	26
2.1.3. Diagrammes ombrothermiques	28
2.1.4. L'humidité relative	29

SOMMAIRE (suite)

	Page
2.1.5. Les vents	29
2.2. Détermination du type du climat	31
3. Calcul de bilan hydrique évaporométrique de Thornthwaite	31
3.1. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)	33
3.2. Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU)	33
3.3. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)	33
3.4. Interprétation du résultat du bilan hydrique	34
4. Estimation du ruissellement	35
5. L'infiltration efficace	35
Conclusion	36
CHAPITRE IV - FONCTIONNEMENT DE LA DECHARGE	37
1. Notion des déchets	37
1.1. Définition du terme "déchet"	37
1.2. Classification des déchets	38
2. Composition physico-chimique des déchets urbains	40
2.1. Composition physique	41
2.2. Composition chimique	41
2.3. Composition en pathogènes	44
3. Traitement des déchets	45
3.1. Traitement biologique (le compostage)	46
3.2. Traitement thermique (l'incinération)	48
3.3. Enfouissement technique des déchets	50
3.4. Autres techniques de gestion	50
4. Opportunités et Contraintes	51
5. Généralités sur le stockage des déchets	51
5.1. Description des décharges	51
5.2. Lixiviats et biogaz	53
5.2.1. Lixiviats de décharges	53

SOMMAIRE (suite)

	Page
5.2.2. Biogaz de décharge	58
5.3. Les Nuisances	60
5.4. Impact sur la qualité de la vie	61
6. Contexte juridique en Algérie	61
7. Types de décharges	62
Conclusion	66
CHAPITRE V - IMPACT DE LA DECHARGE D'EL HARROUCH	67
Introduction	67
1. Situation géographique de la décharge	67
2. Matériel et méthodes	68
2.1. Méthodes d'investigation	69
2.2. Echantillonnage sur le terrain	70
2.3. Analyses au laboratoire	70
3. Résultats et discussion	72
4. Les caractéristiques physiques	73
4.1. La température	73
4.2. Le pH	74
4.3. La conductivité électrique (CE)	75
5. Analyse des sels nutritifs	75
6. Analyse des éléments organiques	76
6.1. Demande Chimique en Oxygène (DCO)	76
6.2. Demande Biochimique en Oxygène (DBO5)	76
7. Les éléments métalliques	77
7.1. Résultats des analyses du lixiviat	78
7.2. Résultats des analyses du sol	78
Conclusion	78
CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS	80
ANNEXES	87

LISTE DES FIGURES

	Page
Fig. 1. Situation géographique de la région d'El Harrouch	4
Fig. 2. Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Saf-Saf	5
Fig. 3. Schéma structurales des Maghrebides (D'après Durand Delga et Fondoté, 1980)	10
Fig. 4. Ensembles morpho structuraux et bassins hydrologiques de l'Est Algérien (d'après Cote)	11
Fig. 5. Colonnes Stratigraphiques Synthétiques des séries du flysch Mauritanien et Flysch Massylien (d'après Raoult, 1974)	13
Fig. 6. Carte géologique du bassin versant des Zardezas et des terrains avoisinants (d'après Vila, 1982)	16
Fig. 7. Carte de perméabilité du bassin versant de Zardézas	22
Fig. 8. Variation moyenne mensuelle de la température de station de Skikda (Période 1990-2012).	25
Fig. 9. Variation moyenne mensuelle de la température de station de Zardézas (Période 1970-2006).	25
Fig. 10. Répartition mensuelle des précipitations au niveau de la station de Skikda.	26
Fig. 11. Répartition mensuelle des précipitations au niveau de la station d'El Harro	26
Fig. 12. Répartition mensuelle des précipitations au niveau de la station de Ramdane Djamel.	27
Fig. 13. Répartition mensuelle des précipitations au niveau de station de Zérdazas	27
Fig. 14. Courbe pluvio-thermique de la station de Skikda.	28
Fig. 15. Courbe pluvio-thermique de la station des Zardézas.	29

LISTE DES FIGURES (Suite)

	Page
Fig. 16. Répartition mensuelle de l'humidité de l'air à la station de Skikda.	30
Fig. 17. Répartition mensuelle de la force du vent à la station de Skikda.	30
Fig. 18. Indice d'aridité annuel de la station de Skikda et des Zardézas.	32
Fig. 19. Cycle de l'eau (in Boucenna, 2010)	32
Fig. 20. Bilan Hydrique de Thornthwaite à la station de Skikda (Port).	34
Fig. 21. Schéma simplifié du processus de compostage (Aboulam, 2005)	47
Fig. 22. Mécanismes Biologiques aérobies, anaérobies et physico-chimiques dans un massif de déchets (Billard, 2001c)	56
Fig. 23. Situation géographique de la région d'El-Harrouch (Ayad, 2016)	68
Fig. 24. Situation de la décharge d'El Mechmess et points de prélèvement d'échantillons	71
Fig. 25. Évolution de la température de l'eau et des lixiviats	74
Fig. 26. Évolution du pH de l'eau et des lixiviats	74
Fig. 27. Évolution de la conductivité électrique de l'eau et des lixiviats	75

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1. Evolution de la population de la ville d'El Harrouch (Bouraoui, 2007).	6
Tableau 2. Evolution des unités industrielles (Bouraoui, 2007).	7
Tableau 3. Evolution de la surface agricole (Bouraoui, 2007).	7
Tableau 4. Différents étages et faciès correspondants	15
Tableau 5. Répartition de la perméabilité dans la zone d'étude	23
Tableau 6. Coordonnées Lambert des stations étudiées et périodes d'observation	24
Tableau 7. Indice d'aridité annuelle pour les stations de Skikda et Zardézas.	31
Tableau 8. Différents paramètres du bilan hydrique à la station de Skikda	33
Tableau 9. Résultats du calcul de ruissellement dans la région de Skikda	35
Tableau 10. Résultats du calcul de l'infiltration efficace par la Formule de bilan Hydrique.	35
Tableau 11. Composition des déchets urbains (%) dans les PED (Bouglouf, 2014)	42
Tableau 12. Composition des déchets urbains dans les pays développés (%).	42
Tableau 13. Exemples de la composition chimique élémentaire des DUS en France, en Chine et en Suisse.	43
Tableau 14. Indicateurs des microorganismes pathogène dans les boues, les DH et les DUS (Hoornweg et al., 2000)	44
Tableau 15. Microorganismes présents dans les ordures ménagères fraîches. (Nédellec et Mosqueron, 2000)	45
Tableau 16. Rapport C/N recommandé pour le compostage des déchets.	47
Tableau 17. Teneurs types des mâchefers en éléments principaux (en %) (Cours EMSE).	48
Tableau 18. Teneurs des mâchefers en métaux lourds (Cours EMSE).	49
Tableau 19. Composition des cendres volantes (Cours EMSE).	49
Tableau 20. Avantages et inconvénients des différents modes de traitements des déchets.	52

LISTE DES TABLEAUX (SUITE)

	Page
Tableau 21. Composition et caractéristiques des biogaz de décharge (Dessachy, 1994).	59
Tableau 22. Nuisances et impact	60
Tableau 23. Rôles et responsabilités des acteurs de la gestion des DUS en PED (<i>Charnay, 2005</i>).	64
Tableau 24. Classement de lixiviats selon l'âge de la décharge (Millot, 1986; Ramade, 1998).	65
Tableau 25. Composition moyenne d'un lixiviat en phase acidogène et méthanogène (Berthe, 2006).	66
Tableau 26. Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau	72
Tableau 27. Résultats d'analyses chimiques des lixiviats (moyenne du mois d'Avril 2015).	72
Tableau 28. Normes physico – chimiques des eaux souterraines (NA,, 1992 ; OMS, 1994).	73
Tableau 29. Classification des métaux dans l'environnement suivant leur toxicité (Boucenna, 2010).	77
Tableau 30. Effet d'un excès ou d'une pénurie de quelques minéraux sur la santé humaine (Essouli, 2005).	77
Tableau 31. Éléments métalliques, matières organiques et sels nutritifs du lixiviat et des sols.	78

INTRODUCTION GENERALE

Depuis plus de cinquante ans, la pollution est l'un des plus graves problèmes auxquels est confronté notre monde moderne. On entend par pollution, la présence dans l'environnement de grandes quantités de produits dangereux, généralement créés par l'homme, dont les effets nuisibles peuvent se faire durant de longues périodes sur toute la planète. Cette pollution peut affecter l'eau, l'air, la terre et donc l'être vivant. Les pollutions apparaissent actuellement d'origine, de nature, de forme et d'actions multiples et se révèlent comme un problème majeur de notre temps.

La lutte contre la pollution de l'environnement exige le recensement des sources éventuelles de pollution « d'origine industrielle, agricole ou urbaine », la connaissance de la nature et du caractère du polluant (toxique ou nocif), ainsi que sa teneur par rapport aux normes.

A l'intérieur des décharges sauvages, les déchets déversés ne sont que 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 (roche, sol, nappes, eaux de percolation), mais également au sein même des déchets d'origines diverses.

L'évolution des déchets en décharge et leurs interactions avec le milieu extérieur conduisent à la dispersion de flux polluants, essentiellement à travers l'émergence du lixiviat qui résulte de la mise en solution par voies physico-chimiques et biologiques des éléments polluants dans les eaux de percolation. Cette eau se charge de substances organiques et minérales et donnent naissance aux lixiviats.

L'infiltration de ces polluants vers les nappes ou leur écoulement vers les ruisseaux peuvent conduire à une dégradation insidieuse des eaux souterraines et superficielles.

En effet, la pollution des eaux de surface par les lixiviats pourra avoir lieu par débordement et écoulement des liquides dans le réseau hydrographique, soit brutalement, soit progressivement, alors que la pollution des eaux souterraines est le résultat d'infiltration et de la diffusion des lixiviats en sous sol perméable ou fissuré.

Les lixiviats, apparaissent comme des vecteurs importants de la pollution dont l'étude se justifie dans l'évaluation du risque que présentent les décharges pour les eaux.

Les lixiviats sont donc la source polluante majeure de l'environnement par les décharges. Ainsi le dépôt des déchets sur des surfaces naturelles, provoquent la contamination des sols et peut avoir plusieurs impacts sur la santé humaine, en touchant les nappes phréatiques d'une part et en contaminant les cultures d'autre part.

Dans ce cadre et afin d'évaluer les risques encourus par le milieu naturel, au niveau des zones de décharges, nous avons entrepris ce travail pour atteindre les objectifs suivants :

- déterminer les risques auxquels sont exposés les écosystèmes, ainsi que les riverains des décharges d'ordures de la zone,
- évaluer l'impact de la décharge sur la qualité des eaux superficielles et des sols des bassins versants,
- délimiter le périmètre d'influence des lixiviats issus de la décharge.

Ce manuscrit est divisé en cinq chapitres. Le premier chapitre, est une synthèse des connaissances de la région d'El Harrouch, qui fournira une approche du point de vue géographique et décrira le cadre générale de la région d'étude. Le deuxième chapitre, est une étude qui s'intéresse à la géologie et la Stratigraphie qui caractérise la région d'étude et fait le point sur l'hydrogéologie. Le troisième chapitre, traite les données hydro climatiques pour évaluer les termes du bilan hydrologiques. Le quatrième chapitre est réalisé dans le but d'établir le fonctionnement de la décharge. Le cinquième chapitre traite l'impact sur l'environnement et les ressources en eau. Enfin, nous tirons une conclusion générale et nous proposons quelques perspectives.

Le traitement nécessite une approche de l'évaluation physico-chimique des principaux paramètres de qualité des eaux (conductivité, pH, métaux, ions...). A cet effet, Cette étude va utiliser les méthodes d'analyses physico-chimiques pour caractériser la charge polluante des lixiviats issus de la décharge d'El Harrouch et son impact sur l'environnement et les ressources en eau.

CHAPITRE I

CADRE GENERAL

1. Situation géographique

El Harrouch est une petite ville jouissant d'une situation extraordinaire, car elle se retrouve sur un axe de développement majeur reliant la ville de Skikda et les métropoles de Constantine et Annaba. Cet axe correspond aux routes nationale 3 et 44 (Bouraoui, 2007).

La commune d'El-Harrouch est située géographiquement au Nord-est du pays et au Sud de la wilaya de Skikda. Elle s'étend sur surface globale de 101, 80 km².

La zone d'étude est située dans le Nord –Est Algérien et fait partie de la wilaya de Skikda. Elle se localise au Sud de la wilaya (Fig. 1).

Elle est limitée :

- au Nord par la commune d'Emjez Edchich,
- au Nord-est par la commune de Salah Bouchaour,
- au Sud-est par la commune de Zardezas,
- au Sud-ouest par la commune d'Ain Bouziane
- au Nord-ouest par la commune de Sidi Mézghich .

2. Géomorphologie

La topographie de la commune est assez irrégulière. La partie Sud de la commune est constituée par une topographie assez élevée. Les principaux pics qui culminent dans cette partie de la commune sont Kef Toumienne (883m). Djebel Tounsi (800m). Djebel Bouaded ainsi que Kef M'souna. On note aussi la présence de nombreuses Koudiats tels que Koudiat Zouamel et Koudiat Kala ainsi que Koudiat Roumania. La partie Nord, constituée de l'agglomération chef lieu et de ses environs, est située dans une zone dépressionnaire se terminant vers l'Est par une petite plaine drainée par l'Oued Saf Saf auquel conflue Oued N'ssa au Sud. Cette zone se trouve limitée par une série de nombreuses koudiats.

La partie Nord-Ouest (partie intermédiaire entre les deux premières) se caractérise par une topographie plus ou moins élevée avec une altitude moyenne de 250 m, avec quelques massifs qui dominent la région et en particulier Djebel Boussatour.

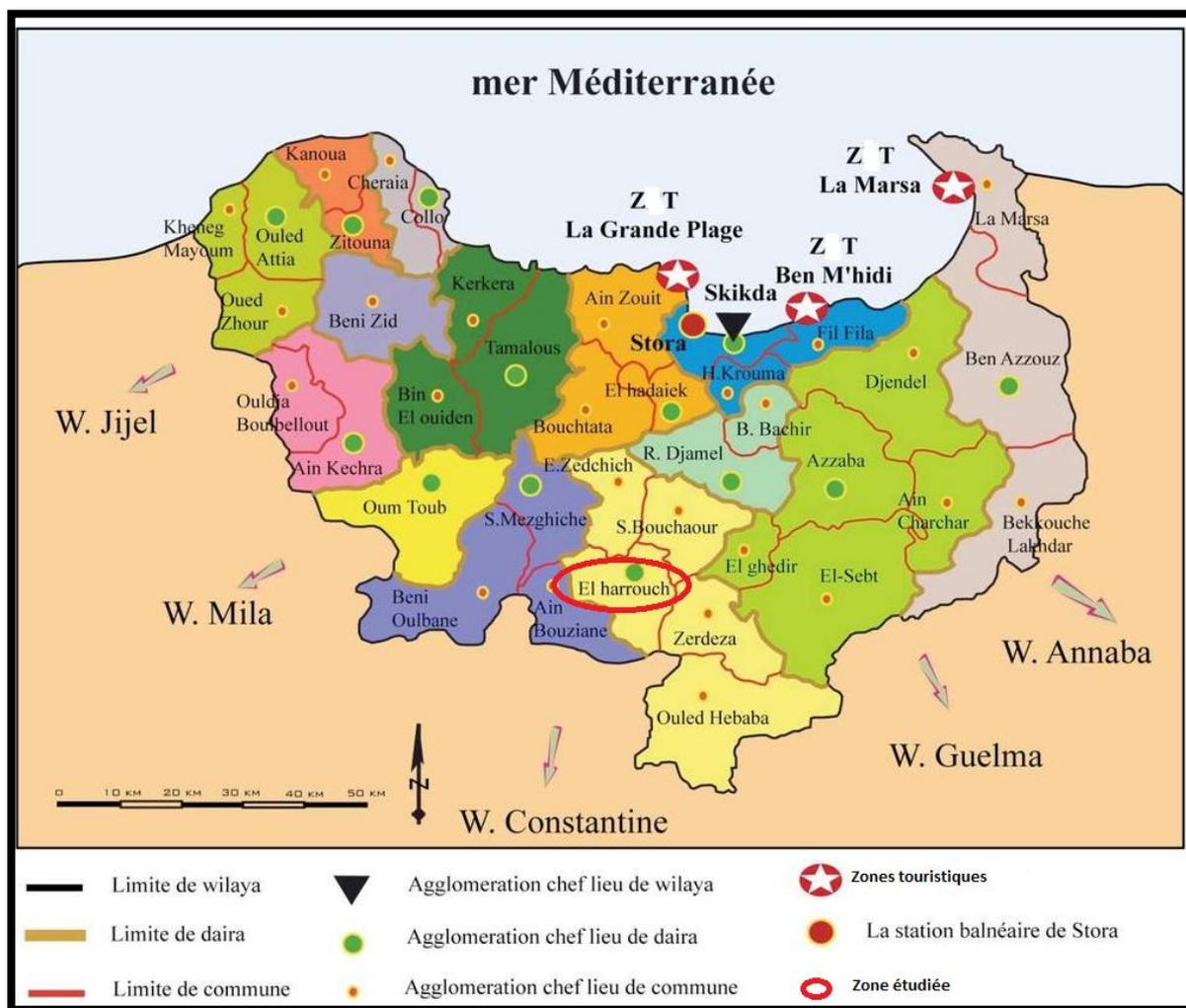


Fig. 1. Situation géographique de la région d'El Harrouch.

3. Réseau hydrographique

Les terrains de la commune d'El Harrouch sont drainés par trois oueds et trois chaabatts et dont les bassins versants s'étendent même à l'extérieur de la commune. Le plus important cours d'eau, après Oued Saf Saf qui passe à la limite Est-Nord-est de la commune, est Oued N'ssa. Son bassin versant est de 85,7 Km² de superficie et occupe la plus grande partie de la commune.

A l'amont du bassin, l'oued Saf-Saf résulte de la confluence des cours des oueds Khemakhem et Bouhadjeb qui drainent, respectivement, les parties Est et Ouest du bassin. Il constitue l'unité principale dans l'alimentation du barrage des Zardézas. De forme allongée, il couvre une surface de 322 km² et est caractérisé par des pentes relativement plus importantes (pente moyenne de l'ordre de 40 m/km). Il est contrôlé à l'amont du barrage par la station de jaugeage de Khémakhem (Fig. 2).

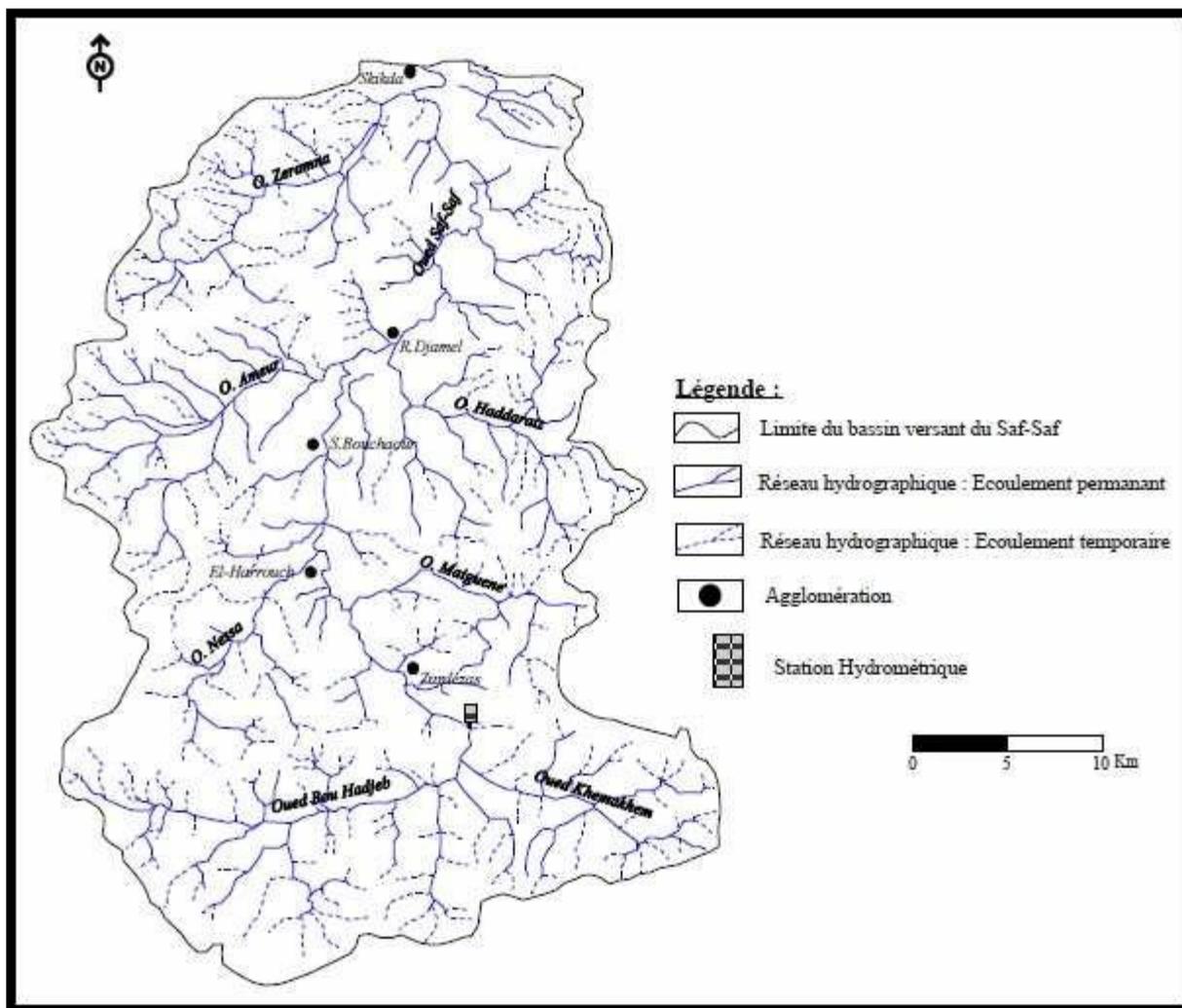


Fig. 2. Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'oued Saf-Saf (Maou, 2011).

L'oued Nessa (à El-Harrouch) draine un bassin, à dominance marneuse, très compartimenté de 106 km². Ce bassin, de forme triangulaire et plus ou moins étroit, se trouve à une altitude de 80 m. Il est délimité par une ligne de relief culminant à 300 m au Nord et plus de 800m au Sud au Col d'El Kentour et Kef Toumiettes (Maou, 2011).

L'oued Barous est situé à l'Ouest de la commune avec seulement la moitié du flanc à sa rive droite dans la commune. La surface de ce bassin versant est 21.15km².

Enfin, l'oued Ben Hadid, situé à la limite Nord-ouest de la commune, draine un bassin versant qui englobe l'ensemble de ces cours d'eau de 16,85km².

En plus des oueds, le réseau hydrographique est constitué d'un ensemble de chaabets à savoir :

- Chaabet El Mroudj, située au Nord de la commune, traverse le chef lieu d'El Harrouch. La surface de son bassin versant est de 11,25 km².
- Chaabet M'souna est située à l'Est de la commune. A sa partie avale, un affluent sans dénomination vient s'ajouter pour se jeter dans l'oued Saf Saf.
- Chaabet Melha est située au Nord de Chaabett El Mroudj. La surface de son bassin versant est de 3,40km². Ce cours d'eau est tributaire de l'oued Saf Saf.

Les cours d'eau suscités sont à régime exoréique. Leur exploitation pour l'agriculture est au fil d'eau pour les terrains à leur proximité. Pendant les pluies exceptionnelles, ils présentent des risques d'inondations pour les constructions situées sur leur lit majeur (URBACO, 2011).

4. Contexte démographique

La commune d'El-Harrouch s'étend sur une superficie de 100 km². Elle compte une population de 19194 habitants en 1987 et 28090 habitants en 1998 soit un taux d'accroissement annuel constant de 3,45% qui est inférieur à la moyenne nationale (3,57%) pendant cette période.

D'après les résultats de la phase préliminaire du recensement 2008, le nombre de la population agglomérée à El-Harrouch est estimé à 32493 habitants, soit un taux de croissance de 1,63% (tableau 1). Cependant, l'agglomération regroupe 67,75% de la population de la commune en 2007.

Tableau 1. Evolution de la population de la ville d'El Harrouch (Bouraoui, 2007).

	Année					
	1954	1966	1977	1987	1998	2007
Habitants	2575	9532	12920	19194	28090	32493
Taux d'accroissement	5,50 %	2 ,84 %		3,99 %	3,45 %	1,63 %

Le taux d'accroissement annuel estimé entre 1998 et 2008 indique un comportement de la population en contradiction avec la taille de la ville, car c'est une petite ville et la règle générale révèle qu'une petite ville présente le taux d'accroissement le plus élevé (Bouraoui, 2007).

5. Aperçu socio-économique

Trois zones d'activités sont recensées dans la commune d'El Harrouch et constituent une ressource économique non négligeable.

Les infrastructures industrielles existant sur le territoire de la commune, sont représentées par :

- les unités industrielles de fabrication alimentaire et boissons gazeuses : ERIAD, EDIPAL, limonaderies, etc.
- les unités de production d'huile d'olive.
- l'unité de fabrication d'aliments du bétail.
- les unités de menuiserie, maintenance et calibration des équipements électroniques.

5.1. Contexte industriel

Pour favoriser l'émergence du bourg d'El Harrouch, l'état agit selon deux initiatives volontaires; l'une est la promotion administrative survenue en 1974, et l'autre concerne l'implantation de petites unités industrielles situées dans la partie Est de la ville. Le nombre de petites unités industrielles est donné au tableau 2.

Tableau 2. Evolution des unités industrielles (Bouraoui, 2007).

	1980-1997	1997-2007
Publique	21	10
Privé	8	14

Les unités industrielles ont eu tendance à se concentrer dans cette zone. L'étude de la croissance industrielle s'est fondée sur des indicateurs tels que le nombre des usines répertoriées, de travailleurs qui y sont employés, la part dans la valeur totale de la production industrielle.

5.2. Contexte végétal agricole

Dans la commune d'El Harrouch, la surface agricole a connu une diminution progressive entre 1957 (12900 ha) et 2005 (7519 ha), soit 41.7% de la surface est perdue (tableau 3).

Tableau 3. Evolution de la surface agricole (Bouraoui, 2007).

Année	1957	1963	2005
Surface agricole totale	12900	9900	7519

On peut expliquer cette décadence par la progression rapide du fait urbain notamment entre 1970 et 1990, empiétant les meilleurs terres agricoles périphériques de l'agglomération d'El

Harrouch. Cette croissance spatiale ou bien l'extension de la ville s'effectue dans toutes les directions Nord, Sud, Est et Ouest. De même, lors du découpage administratif de 1984, une partie importante de la surface totale a été transférée dans la commune de Salah Bouchaour.

L'urbanisation anarchique et la carence de la gestion urbaine sont à l'origine de la dégradation des ressources naturelles.

A cet égard, les meilleures terres agricoles ont été sacrifiées au profit du développement urbain dont une nette régression de la surface agricole utile (SAU) : 1.04 hectare/habitant en 1963 et 0.23 hectare/habitant.

L'agglomération tend à s'étaler en grignotant les terres agricoles. Mais le rythme de cette croissance reste toujours très lent.

Conclusion

La zone d'étude fait partie de la zone d'El Harrouch et comporte une population de 48994 habitants en 2008. La géomorphologie de la région concernée montre l'existence d'une topographie élevée et un réseau hydrographique dense et ramifié où Oued N'saa et Oued Saf Saf sont les principaux cours d'eau. La région d'étude a une vocation agricole et une activité industrielle importantes.

CHAPITRE II

CADRE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

1. Introduction

La composition chimique des eaux superficielles, est liée aux produits solubles de l'altération des roches. Pour une meilleure connaissance des différentes caractéristiques chimiques de cette eau, il est indispensable de donner un aperçu plus ou moins détaillé sur l'aspect géologique du terrain.

2. Position géologique de la zone d'étude

La région d'El Harrouch fait partie de la chaîne des Maghrébides. Plus exactement, elle appartient au Tell oriental algérien, limité au Sud par des formations purement sédimentaires qui appartiennent au môle Néritique Constantinois et constitués généralement par des formations carbonatées d'âge Crétacé. Les formations cristallophylliennes, datant du Paléozoïque, se limitent à l'Ouest par le massif de Collo et au Nord Est par Dj Fifila et Dj Alia. (Kemoukh, 2011).

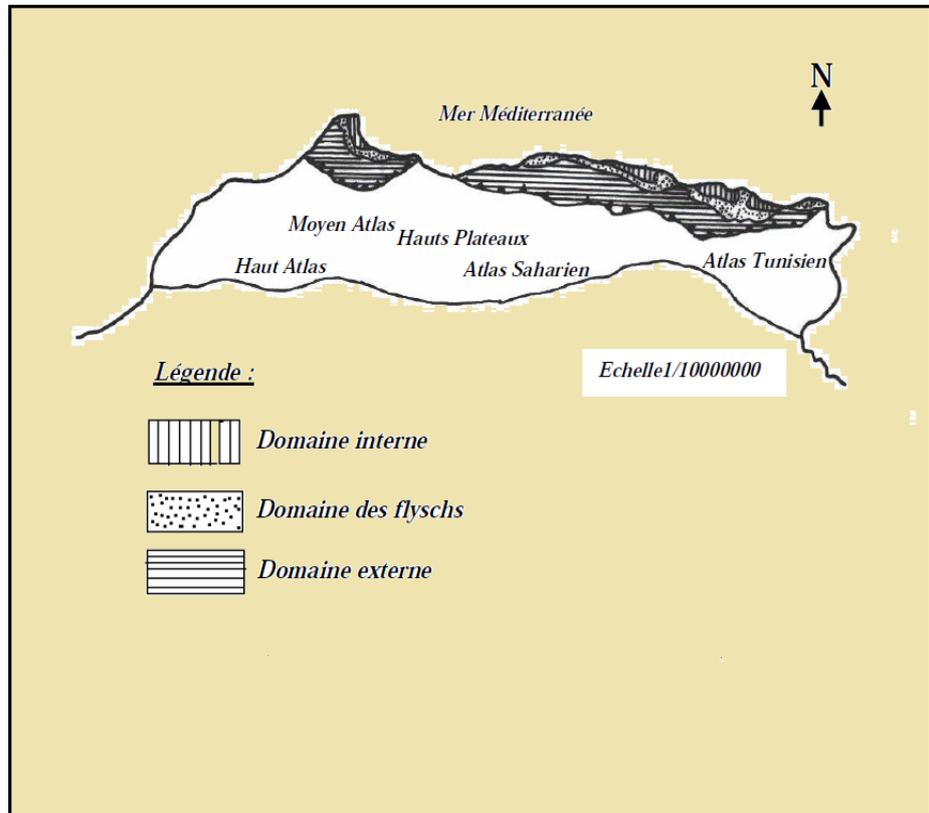
2.1. Contexte régional

Le terrain étudié fait partie de la petite Kabylie, qui fait partie de l'ensemble géologique de l'Atlas Tellien. Cette zone, caractérisée par sa complexité lithologique et structurale, fait partie de la zone septentrionale de l'orogène littorale Nord Africain. La région a fait l'objet de plusieurs travaux notamment ceux de Raoult (1974), Durand Delga (1996), Bouillin (1977) et Vila (1981).

2.2. Stratigraphie

Le Tell Algérien n'est qu'une partie de l'Atlas Tellien, il s'agit d'une morphologie typiquement méditerranéenne. Les travaux des géologues dans l'Est, ont permis de mettre en évidence du point de vue structurale, du Nord au Sud les domaines suivants (Fig.):

- Domaine des massifs primaires Kabyles
- Domaine Tellien
- Domaine de l'Atlas saharien ;
- Domaine de la plate forme saharienne.



**Fig. 3. Schéma structurales des Maghrebides
(D'après Durand Delga et Fondoté, 1980)**

Le secteur d'étude fait partie du domaine de l'Atlas Tellien où on distingue trois formations principales:

- les terrains anciens, formés essentiellement par des roches métamorphiques,
- les formations Tertiaires, essentiellement sédimentaires,
- les formations quaternaires, essentiellement alluvionnaires.

La zone d'étude est définie de point de vue structural du Nord au Sud par plusieurs unités, qui sont (fig. 4).

- le domaine interne qui correspond au socle Kabyle, et à la dorsale calcaire,
- le domaine médian qui correspond au Domaine des Flyschs,
- le domaine externe qui correspond aux séries Telliennes (Kemoukh, 2011).

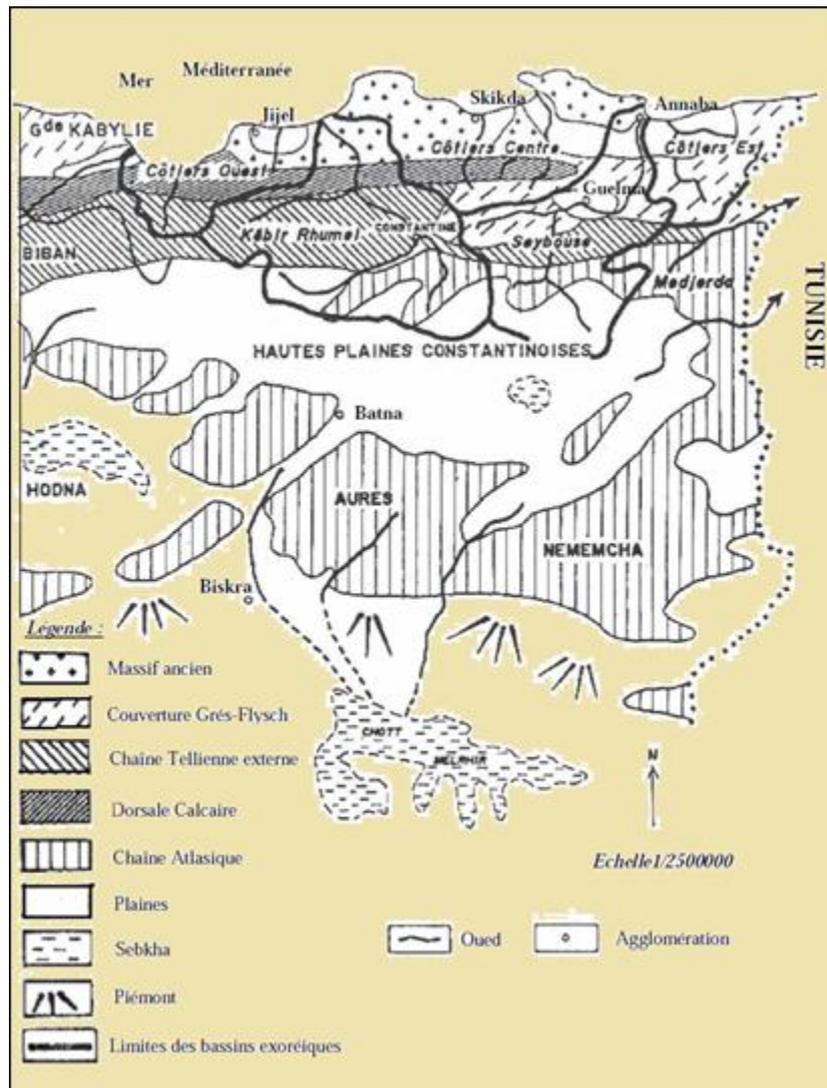


Fig. 4. Ensembles morfo structuraux et bassins hydrologiques de l'Est Algérien (d'après Cote)

2.2.1. Domaine interne-Le socle kabyle (Paléozoïque)

Il s'agit de toutes les formations paléozoïques qui servent ou qui ont servi de substratum à la chaîne calcaire. Le socle Kabyle est constitué de trois ensembles superposés; deux ensembles métamorphiques et un ensemble principalement sédimentaire d'âge Paléozoïque.

a- L'ensemble métamorphique inférieur est formé de Gneiss à Biotite et à Muscovite avec intercalation de marbre et d'amphibolites ;

b- le deuxième ensemble, vient au dessus et c'est un ensemble métamorphique, constitué de phyllades ou de schistes satinés de (200 à 300 m d'épaisseur), gris, gris bleuté, parfois bleu vif

rosé ou verdâtre, avec de nombreux cristaux de quartz à la base, ainsi que des porphyroïdes ocellés blancs ou verdâtre, à litage grossier et filon de quartz ;

c- Le troisième ensemble visible à l'intérieur, dans la chaîne numidique, sert de base aux séries Mésozoïques et Cénozoïques Calcaires. A la base de cet ensemble se trouvent des formations épaisses de 50 à 100m attribuées à l'Ordovicien Silurien. Ces formations constituées de Grauwakes de Spilites, d'Amphibolites et des Schistes. Au dessus on a des calcaires de faciès variable datés du Dévonien.

En fin cet ensemble se termine par des schistes et des Pélites gris verdâtres, avec des débris de quartz et conglomérats à la base. Ce matériel est attribué au Carbonifère.

Les travaux de Durand Delga, ont montré également que le métamorphisme du socle est antérieur au Silurien et que le socle est charrié par une flèche de 30 km environ sur des terrains Mésozoïque et Cénozoïque. Ces dernières affleurent en position diapirique à travers le socle à l'Ouest du terrain près de Ain Kechra, de Stora jusqu'au col de Staiha, au Nord-est du terrain à Dj. Safia (ultra Tellien), en fenêtre sous le socle Kabyle d'après Raoult et Villa.

La même constitution a été affirmée par d'autres auteurs concernant Dj. Fifila toujours au Nord-est du terrain. Le socle Kabyle affleure aussi au Sud d'El Harrouch et au Nord-est de Ain Bouziane où il sert de base à la série de grés et de conglomérats.

L'unité Kabyle allochtone est bien développé à l'Est et à l'Ouest de Skikda.

2.2.2. Domaine Des Flyschs (fig. 5)

Deux séries nettement caractéristiques ont été définies. Paléo-géographiquement et du Nord vers le Sud, ce sont les flyschs Mauritanien et les flyschs Massyliens, caractérisés par des formations abyssales mises en place par des courants de turbidité, mais à côté, on a pu reconnaître des séries dites (mixtes) apparentées au Mauritanien, et d'autres dites (atypiques) à micro brèches et à fortes affinités telliennes. Ce sont là des faciès de transition qui montrent le passage progressif entre ces différents faciès.

2.2.2.1. Flysch Mauritanien

D'âge Néocomien Lutétien, ces séries sont composées d'alternance de bancs argileux, de calcaires et de Grés, ce qui multiplie les couples : roches dures et roches tendres. Cette

formation est en continuité avec la chaîne calcaire externe. Jusqu'à présent, il est difficile d'établir une nette coupure entre ce dernier et la zone externe.

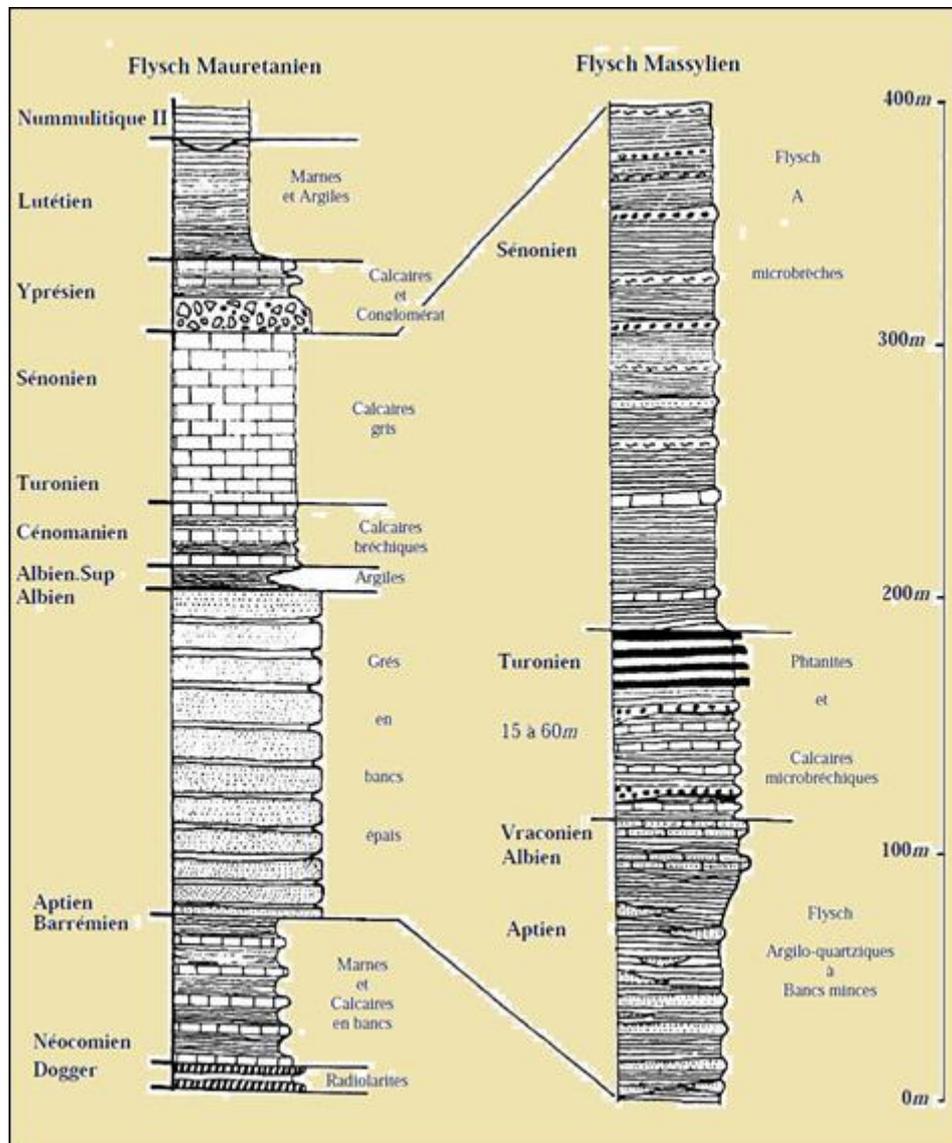


Fig. 5. Colonnes Stratigraphiques Synthétiques des séries du flysch Mauritanien et Flysch Massylien (d'après Raoult, 1974)

Rencontré sur le versant Nord du Dj. Sidi Driss riche de grés, l'Albo-Aptien diminue, et laisse la place au bassin de Sidi Mezghich creusé essentiellement dans les roches tendre ce ci se traduit directement sur le paysage.

Le flysch Mauritanien , le plus répandu, est dominé par des calcaires microbréchiques renfermant parfois des bancs de grés et des couches d'argiles, il affleure au Nord de Ain Bouziane et au Nord de Kef Hahouner.

2.2.2.2. Flysch Massylien

Il est présenté de bas en haut par des Flyschs argilo-quartziques de l'Albo-Aptien, de brèches plitanites et des Flyschs à micro brèches du Sénonien. Il affleure sur de faibles étendues au Sud-ouest de Kef Toumiette, au Sud du Barrage de Zerdazas, sur le versant Nord de Dj. Sidi Driss et au Col d'El Kentour. Il est présenté par des bancs durs (gré et calcaire) très minces qui n'empêchent pas l'érosion de ces matériaux dans lesquels se développent toutes les formes de glissement et de ravinement. Le Flysch Massylien présente une zone de transition entre le domaine des Flyschs et le domaine externe des séries Telliennes.

2.2.3. Les formations post-nappes

Les dépôts du Miocène moyen et terminal, tant dans leurs faciès marin que dans leurs faciès continental, sont franchement discordants sur toutes les unités antérieures et représentent ainsi les formations (post nappes), qui affleurent surtout dans les régions littorales.

2.2.4. Les petits affleurements orientaux

Vila (1980) signale seulement deux affleurements au Sud de Azzaba qui présentent des marnes fin-Burdigalien, et les argiles gris bleu de Dréan datées aussi de la fin du Burdigalien.

2.3. La Géologie du secteur d'étude

D'après les cartes géologiques établies par plusieurs auteurs (Raoult, 1974 ; Bouillin, 1977 et Vila, 1980), une carte lithologique au 1/500.000 a été dressée pour montrer les différentes formations géologiques affleurant dans la région. Ces formations s'étalent du Permo-Trias au Quaternaire, Tableau 4.

2.3.1. Le Trias

D'après la carte géologique, les terrains triasiques affleurent sous formes de diapirs, dans des régions accidentées, selon les failles et les fractures, sont constitués essentiellement par des roches Gypso-argileuses, occupant principalement, le centre du bassin et la partie Ouest.

Tableau 4. Différents étages et faciès correspondants.

Etage	Faciès et lithologie caractéristique
Pliocène e ^{c4}	Conglomérats Sableuses Sable
Pontien (Miocène) e ^{c3}	Argileux
Oligocène (Lattorfien) e ^{b3}	Grés et Conglomérats Numidien
Priabonien (Eocène-Sup) e ^{a3}	Marnes noires
Lutétien e ^{a2}	Grés Argileux Marno-
Yprésien (Eocène- inf) e ⁶⁻⁵	Calcaires Marnes des
Albo-Aptien (Crétacé-inféri)	Flyschs Argiles des
Albo-Aptien (Crétacé-inf)	Flyschs
Permo-Trias	Calcaires et Dolomites
Trias	Argile Gypsifère

2.3.2. Le Permo-Trias

Dans la région d'étude, l'affleurement du Permo-Trias, qui est considéré comme le terrain le plus ancien, est appelé aussi (Nummulitique I). Il est caractérisé par des formations très dures telles que, les calcaires et les dolomites. Elles affleurent dans la partie Nord-est au Dj. Tahassaj. Ce sont des formations fracturées et les failles, ce qui favorise leur karstification.

2.3.3. Crétacé

Les formations crétacées ou Albo-Aptien, appelées également les formations des Flysch, sont des argiles, des marnes et des brèches phtanites. Elles affleurent sur de faibles étendues au Sud, à l'Est du bassin et au Sud du barrage ainsi qu'au versant Nord de Dj. Sidi Driss. Ces flyschs appartiennent au flysch Massylien.

2.3.4. Yprésien (e⁶⁻⁵)

Cet étage appartient à la série Tellienne ou Ultra-tellienne. Il est caractérisé par un faciès carbonaté attribué au néritique Constantinois. Ce sont des formations marno-calcaires, affleurant surtout au Sud de Dj. Kharfome et à l'Est. Parfois l'Yprésien est constitué par des formations essentiellement marneuses.

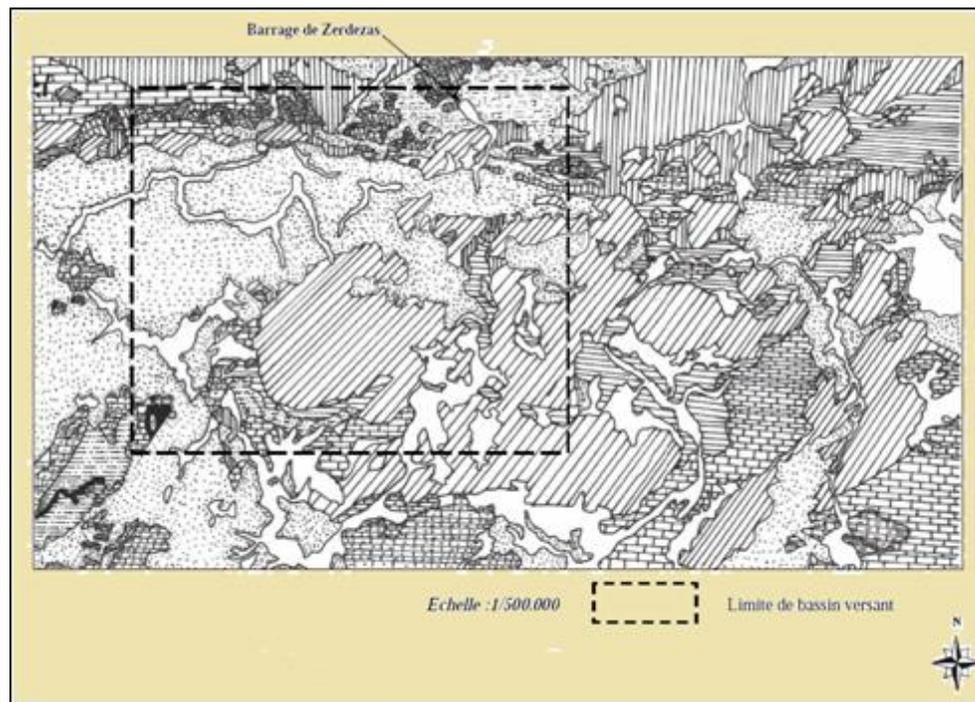


Fig. 6. Carte géologique du bassin versant des Zerdezas et des terrains avoisinants (d'après Vila, 1982)



2.3.5. Lutétien (e^{a2})

Ces faciès hétérogènes sont constitués par des grés avec intercalations argileuses minces. Ce sont des formations caractérisées par une perméabilité importante, concentrés surtout au niveau du barrage.

2.3.6. Priabonien

Ce sont des formations marneuses de couleur noire, localisées à l'Est et à l'Ouest. Ce sont des couches imperméables occupant surtout les lits des oueds.

2.3.7. Oligocène (e^{b3})

Cet étage est caractérisé essentiellement par la série Numidienne qui occupe les sommets des trois domaines (interne-médiane-externe). Il affleure au niveau du barrage et au Sud du bassin. Il constitue toutes les collines et il est formé par des Grés et des conglomérats de couleur jaunâtre à grains fins, avec des lits argilo-sableux.

2.3.8. Pontien (e^{c3})

Ces formations rencontrées au Sud et à l'Ouest du barrage, représentent les terrains supérieurs de la série Nummulitique de la région. Il s'agit de formations sablo-argileuses de couleur jaune ou gris.

2.3.9. Pliocène (e^{c4})

Formé par des grés poudings et des grés conglomérats, il constitue un réservoir d'une perméabilité moyenne avec 10 à 50 m d'épaisseur. On le retrouve également au niveau des lits et des terrasses.

3. Tectonique de la région d'étude

La région présente une complexité de l'édifice structural caractérisé par la superposition de nombreuses nappes dont la plus spectaculaire est constituée par le socle Kabyle. Cet édifice est découpé par un système de fractures post-nappe.

On distingue trois compartiments superposés comportant chacun des Flyschs et des formations telliennes :

- un compartiment Nord inférieur, constitué par l'empilement sous le socle Kabyle, de plusieurs nappes à matériel plus ou moins métamorphisé présentant une certaine schistosité.

- un compartiment Nord supérieur, constitué par le socle Kabyle avec la couverture Oligo-Miocène supportant des lambeaux de nappes de flyschs et du matériel Tellien associé à des Olistostromes. Cela conduit à dire que le matériel allochtone s'est mis en place du Sud vers le Nord et que l'action de la gravité a joué un rôle déterminant.

- un compartiment Sud, affleurant des deux compartiments précédents et séparé par un accident tardif chevauchant vers le Sud. Il comporte, d'une part, une bande de flyschs Massyliens; pratiquement continue d'Est en Ouest et qui sépare le socle des terrains Telliens et d'autre part, les chaînons d'El Karma, formés de séries Mauritanienes, superposés au telliens par l'intermédiaire d'une nappe de Flyschs Massyliens. Un lambeau de grés Numidien coiffe cet édifice.

Selon Vila (1980), la tectonique Priabonienne marque la fin du grand cycle sédimentaire qui a commencé avec le Trias supérieur. Elle a eu pour résultat :

a- la genèse de chevauchement Kabyle au fond duquel se manifeste un métamorphisme épi zonal.

b- la genèse des nappes des flyschs et des nappes telliennes dans la partie radicale des unités telliennes et sous le chevauchement Kabyle. Ces formations s'accompagnent d'un métamorphisme dynamique qui sera transporté et dispersé par les phases ultérieures.

La tectonique Burdigalienne se manifeste par la genèse :

a- des Olistostromes Kabyles de la nappe Numidienne préfigurant la méditerranée.

b- d'un bombement à l'aplomb du bord Kabyle méridional où s'étaient ultérieurement empilées les unités des flyschs sur les nappes telliennes ou Priaboniennes.

Au Tortonien, la région de la petite Kabylie est peu ou pas déformée et marquée par un bloc Kabyle septentrional du Burdigalien Langhien. Disant enfin qu'un aspect majeur de la tectonique du sillon des flyschs paraît être une compression Nord Sud qui s'est traduite par des plis à axes horizontaux et des Schistosités Est-Ouest que l'on observe dans le soubassement Triasique et Jurassique des flyschs de la petite Kabylie.

4. La paléogéographie de la région et phases tectoniques

4.1. Les mouvements précoces

Dans la chaîne Calcaire, les indices de mouvements précoces sont nombreux et apparaissent dès le Jurassique, où l'on observe des brèches Liasiques. Dans le sillon des flyschs, qui

auraient enregistré les effets d'une phase tectonique ayant affecté une région plus ou moins lointaine sont eux même touchés par la tectonique. Les flyschs Massyliens ne connaissent aucune sédimentation après le Sénonien. Il y aurait donc là l'indice d'un premier rétrécissement du sillon des Flyschs. Dans les séries Ultra telliennes, les Conglomérats sont les indices de mouvement d'âge Crétacé supérieur. Le domaine néritique Constantinois semble être resté assez stable pendant le Jurassique et le Crétacé, il a vraisemblablement émergé à la fin du Sénonien. La présence du terrain d'étude au Nord Est de l'Algérie, laisse évoquer les deux phases tectoniques majeures (Atlasique et Alpine) affectant la région d'étude.

4.2. La phase Atlasique

La phase Atlasique (fini Lutétienne), marquée par des mouvements compressifs d'orientation NW-SE, est caractérisée par une tectonique tangentielle post Paléogène. Dans la chaîne des Calcaires, une phase tectonique tangentielle postérieure au dépôt du Nummulitique, a pu être mise en évidence par Raoult dès 1974 dans la région du Dj. El Ghedir et du Dj. Bou Abed, où l'on voit deux séries de la chaîne Calcaire tectoniquement superposées avec une flèche de 1.5 Km au minimum.

Ainsi au Lutétien terminal-Priabonien inférieur, une phase tectonique majeure a provoqué dans la chaîne calcaire un chevauchement important. C'est à cette époque que les unités de la chaîne calcaire interne et médiane ont été charriées sur la chaîne calcaire externe.

En 1980, Vila montre que la phase Priabonienne est responsable d'un raccourcissement de l'ordre 200 à 250 Km dans le Constantinois, et donc d'un rapprochement du même ordre entre la plaque Africaine et le bloc d'Alboran. Il s'agit donc là d'une phase tectonique majeure.

4.3. La phase Alpine

La phase Alpine (Miocène), est caractérisée par des mouvements compressifs d'orientation Nord-Sud, caractérisés par de nombreux plis et failles. Ces deux phases majeures ont laissées leurs traces qui se traduisent par des déformations à la périphérie de secteur d'étude.

A la fin de l'oligocène, on a abouti à la superposition suivante : Socle Kabyle sur flysch mauritanien, puis même sur flysch massylien et série tellienne.

En position méridionale, la sédimentation numidienne se développe sur le flysch massylien, qui est lui-même probablement charrié sur les unités telliennes. En position septentrionale, le

domaine où s'est sédimenté le numedien, est animé de mouvements actifs et constitue un bourrelet. Ce dernier avait une morphologie dissymétrique puisque aucun élément n'a glissé vers le sud Nummulitique alors que des Olistostromes se sont mis en place vers le Nord. En effet, c'est à l'Oligocène supérieure et surtout à l'Aquitainien que des lambeaux de flyschs se sont détachés et ont glissé vers la mer où se sédimentait l'Oligo-Miocène kabyle, avec la surrection progressive de ce bourrelet.

On observe le plissement successif des lambeaux de flysch mauritanien posés tectoniquement sur le flysch massylien, puis des lambeaux de flysch massylien, et enfin les unités telliennes.

Cette surrection du bourrelet est probablement due au fait que la base de la région où se sont empilées les séries de flyschs était cristallisée par une avancée vers le Sud du socle kabyle.

Cet épisode s'est prolongé avec un décalage dans le temps et dans l'espace. L'avancée du socle continue vers le Sud, la région où se sédimentait le numidien joue à son tour en bourrelet, ce qui provoque le charriage vers le Sud de la nappe néritique du constantinois et la dislocation de la série Numidienne qui glisse vers le Nord, en position supra Kabyle et vers le Sud, dans le constantinois, au dessus des séries telliennes et de la nappe néritique. Ce dernier épisode est placé au Burdigalien supérieur-Helvétien et atteint son paroxysme au Tortonien. En effet, comme le montre Vila (1990), cette phase tectonique crée de nouvelles nappes dans l'avant pays, déforme fortement le bord Nord du système plissé atlasique, mais n'affecte pratiquement pas les régions telliennes actuelles. La tectonique tortonienne est donc responsable d'un raccourcissement de 200 Km dans le Constantinois. Ceci explique la répartition actuelle des reliefs de l'Est algérien avec une position très septentrionale de l'Atlas Saharien.

Durant le Miocène supérieur et le Pliocène inférieur, parallèlement à la mise en place des roches intrusives (granodiorites) ou effusives de types divers, les effets de relaxation permettront l'ouverture de grands fossés subsidient les uns obliques par rapport à la zonalité Ouest Est. Cet accident se suit à travers l'Algérie, la Tunisie, la Libye et jusqu'en Egypte.

Au Pliocène supérieur et au Quaternaire, des mouvements plus ou moins violents vont déformer les séries Tertiaires donnant des systèmes structuraux de types Jurassiens suivant des directions calquées sur celles de l'orogénèse atlasique. Dans le même temps, de grands mouvements associés à des décrochements horizontaux donneront à la région sa physionomie actuelle. L'accident Kef Hahouner – Dj. Debagh parcourt une centaine de Kilomètre. Cet axe majeur a joué en distension pendant tout le Miocène. En effet, on trouve tout au long de cet

accident des roches volcaniques ou des sources thermales (bassin de Guelma : Hammam Meskhoutine). De plus, au contact de cet accident, les dépôts Mio-Pliocènes sont redressés. Cet axe a donc joué très tardivement en faille normale avec un rejet total qui a été évalué à 3000 m (Raoult, 1974).

A l'Est, cet accident est affecté par une cassure profonde de direction Est Ouest qui a donné naissance à Dj. FilFila. Au Sud, vers Kef Sebergoud, Msouna et Kef Toumiette au Nord, ces formations carbonatées de la chaîne calcaire internes présentent des entablements dans les quels se façonnent des formes Karstiques (présence des fissures d'orientations NE-SW causées par la phase Atlasique).

A l'Ouest de Skikda et précisément au Sud Ouest de Stora, on rencontre les calcaires cristallins emballés dans les micaschistes et les gneiss, résultant d'une dislocation très importante en relation avec le charriage de la chaîne Numidique, qui a donné les grands plis de la petite Kabylie d'orientation NNE-SSW.

La dépression Numidique de Ramdane Djamel occupe une importante partie de la région et forme une aire synclinale de 20 Km entre le massif paléozoïque de Skikda au Nord et le chaînon Liasico-Eocène des Zerdazas au Sud.

Raoult a évoqué des mouvements tectoniques précoces (Crétacé paléocène) qui ont affecté Dj. Ghedir ; ce dernier présente une importante masse calcaire de 100 à 400 m qui développe d'énormes formes karstiques avec de nombreuses petites failles dont lesquelles on rencontre d'importantes quantité d'argiles de décalcification.

La circulation des eaux superficielles (précipitation et autres) prend les axes de plis comme direction (dépression de Ramdane Djamel d'orientation WSW – ENE dont l'oued Saf Saf la prend comme sens d'écoulement pour son trajet.

5. Aperçu hydrogéologique

Généralement, l'étude hydrogéologique est faite dans le but de comprendre le système d'alimentation des aquifères, de définir le sens d'écoulement de la nappe, la variation du gradient hydraulique et les autres caractéristique hydrodynamique (transmissivité, perméabilité, coefficient d'emmagasinement) ainsi que l'évolution du niveau piézométrique dans le temps et dans l'espace pour se fixer une sur les sources d'alimentation aussi bien que les différents point de sortie.

Pour mieux visualiser la perméabilité du bassin versant de d'El Harrouch, on s'est basé sur la lithologie et la répartition des différentes formations géologiques qui occupent le terrain. Ainsi, trois groupes de perméabilité ont été dégagés :

- **Formations à forte perméabilité**

On a regroupé toutes les formations carbonatées (calcaires et dolomie ayant une perméabilité en grand à cause des failles et les cassures affectant ces formations, favorisant le développement des formes Karstiques. Ces formations représentent 1 % de la superficie globale.

- **Formations à perméabilité moyenne à forte**

Ces formations occupent les parties où se concentrent les formations alluviales et détritiques en plus, des grés et des conglomérats. Cette catégorie représente 26 % de la superficie globale.

- **Formations à perméabilité faible et moyenne :**

Ces formations regroupent les formations argileuses, marneuses et les schistes. Ces formations couvrent presque la majorité de la surface du bassin versant avec un pourcentage de 73 %. Toutes ces informations sont résumées sur la figure 7 et dans le tableau 5.

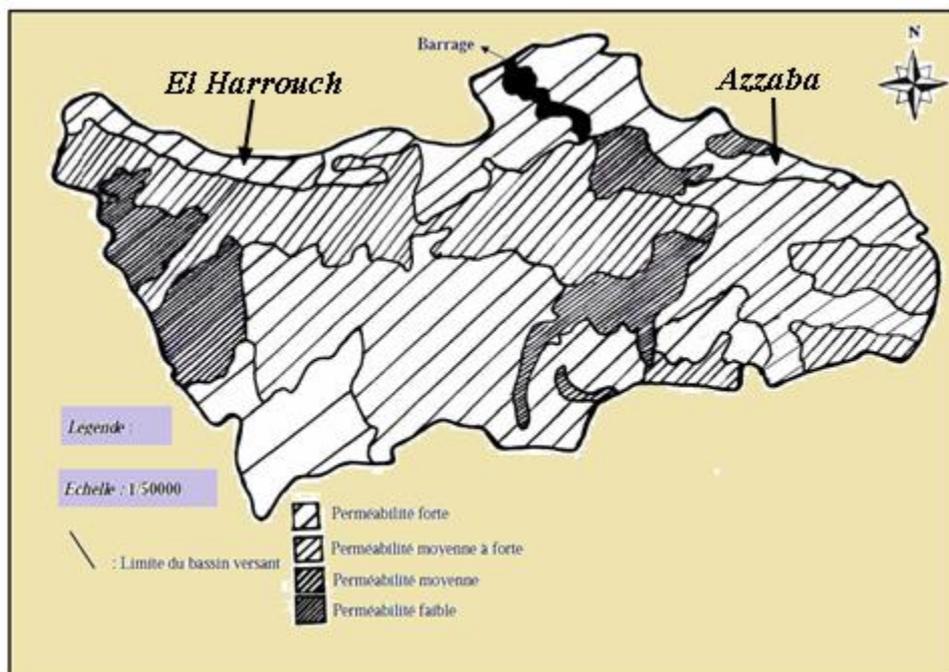


Fig. 7. Carte de perméabilité du bassin versant de Zerdezas.

Tableau 5. Répartition de la perméabilité dans la zone d'étude

Superficie	Perméabilité		
	forte	Moyenne à forte	Faible à moyenne
(%)	1	26	73
Km ²	4	88	248

Conclusion

Dans son ensemble, la géologie de la région d'El Harrouch est très compliquée suite à la tectonique qui a affecté la quasi totalité de la région. L'hétérogénéité est la caractéristique des formations sédimentaires qui s'étalent du Tris au Quaternaire constituées généralement par le socle et des sédiments marins. Ce sont des marnes, des calcaires et des argiles avec des dépôts alluvionnaires formées par des sables et des Grés, d'où la dominance des terrains imperméables.

CHAPITRE III

CADRE HYDROCLIMATOLOGIQUE

1. Introduction

L'étude climatologique est nécessaire pour toute étude hydrogéologique car elle facilite la compréhension des mécanismes d'alimentation et de circulation des eaux superficielles et souterraines. L'évaluation du bilan hydrique exige la connaissance des paramètres suivants : la température, les précipitations, l'humidité relative de l'air et le vent. La connaissance de ces caractéristiques climatiques conditionne le développement des végétaux et assure la bonne production (Nechem, 2009).

2 Climatologie de la zone d'étude

Les données climatiques nécessaires à l'élaboration de la présente étude sont recueillies au niveau de la station météorologique de Skikda, de l'Office National de la Météorologie (Alger) et de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

Par ailleurs, les stations choisies dont les données (précipitations et températures) sont les plus complètes et les plus proches du secteur d'étude sont celles de Skikda, El Harrouch, Ramdane Djamel et Zardézas.

Les coordonnées de ces stations météorologiques et les périodes d'observations sont consignées au tableau 6.

Tableau 6. Coordonnées Lambert des stations étudiées et périodes d'observation (BCEOM-BG-SOGREAH, 2005)

Station	Code	X (km)	Y (km)	Altitude. (m)	Période d'observation
Skikda	03.08.01	874.500	406.400	5	1990-2012
El Harrouch	03.09.06	869.700	379.700	137	1970-2009
Ramdane Djamel	03.09.09	874.950	389.850	45	1970-2009
Zardézas	03.09.03	875.290	374.590	189	1970-2008

2.1. Variation des facteurs climatiques

2.1.1. Les températures

La température est un facteur limitant, donc la connaissance des températures est nécessaire pour déterminer leurs incidences sur le choix de culture. Dans la région de Skikda, la température est influencée principalement par la mer. Pour les deux stations de Skikda et Zardézas, le mois de Janvier est le mois le plus froid (11 à 15°C) et le mois d’Août étant le plus chaud ; 37°C à Skikda et 29°C à Zardézas (figures 8 et 9).

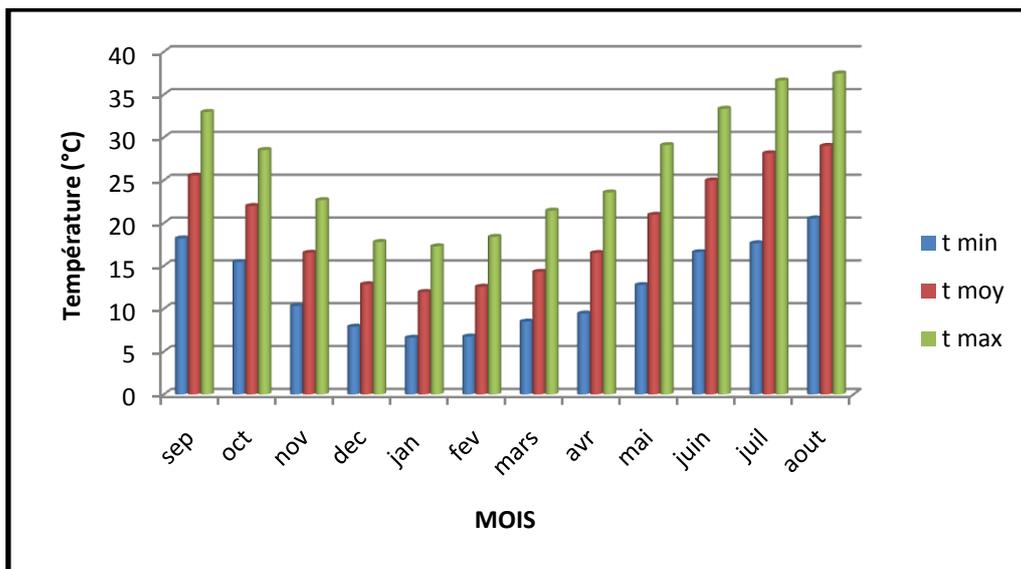


Fig. 8. Variation moyenne mensuelle de la température de station de Skikda (Période 1990-2012).

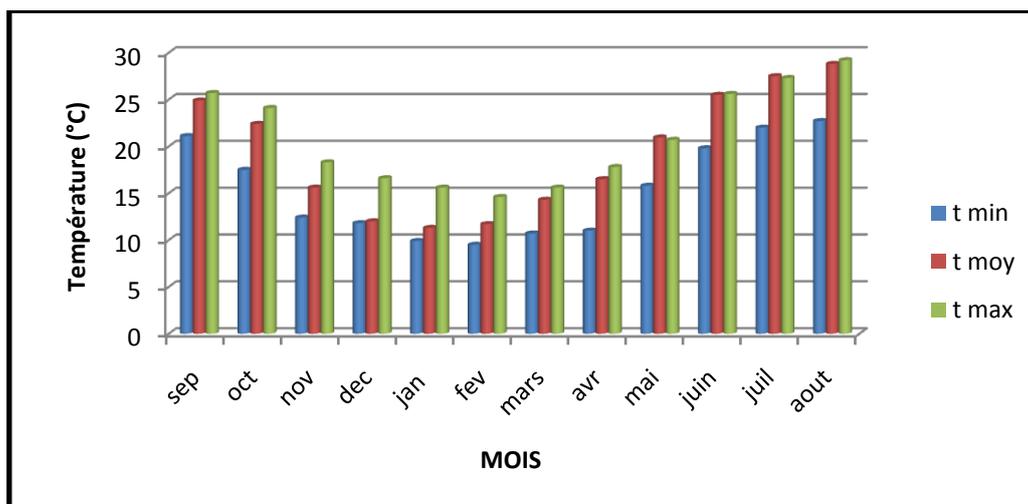


Fig. 9. Variation moyenne mensuelle de la température de station de Zerdazas (Période 1970-2006).

Les températures sont positives tout au long de l'année. La température moyenne annuelle des deux stations de Skikda et de Zardézas est de l'ordre de 19,61°C et de 19,3°C ; respectivement.

2.1.2. Les précipitations

La pluie est un facteur essentiel qui caractérise le climat d'une région. Elle joue un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines. Les précipitations moyennes mensuelles au niveau des quatre stations sont représentées sur les diagrammes suivants.

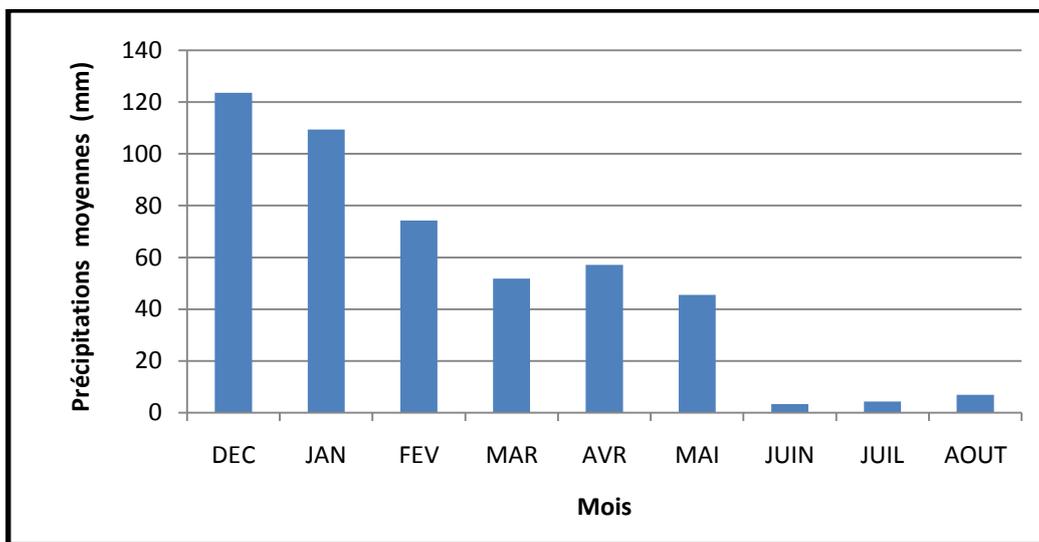


Fig. 10. Répartition mensuelle des précipitations au niveau de la station de Skikda.

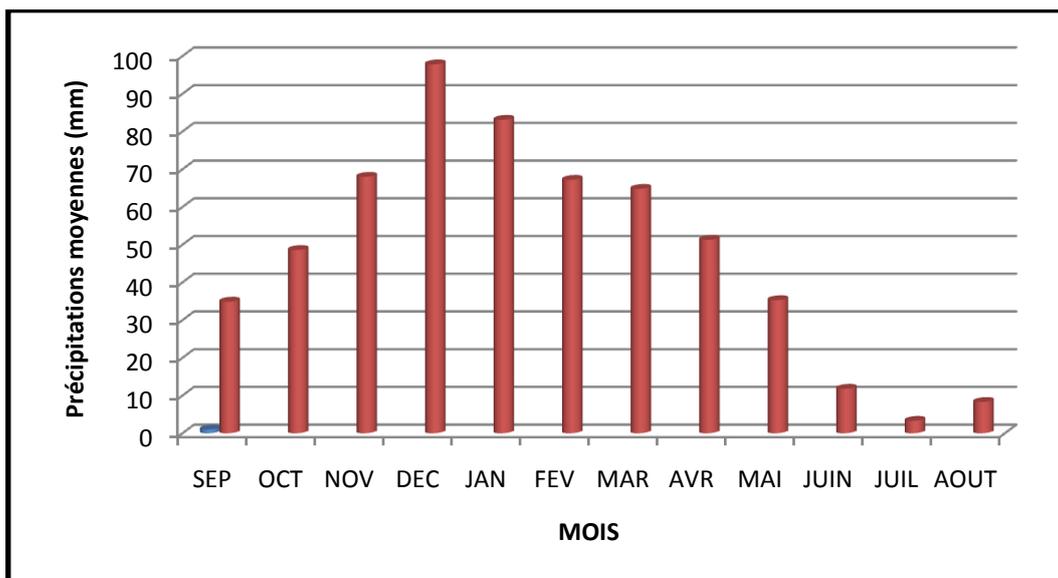


Fig. 11. Répartition mensuelle des précipitations au niveau de la station d'El Harrouch.

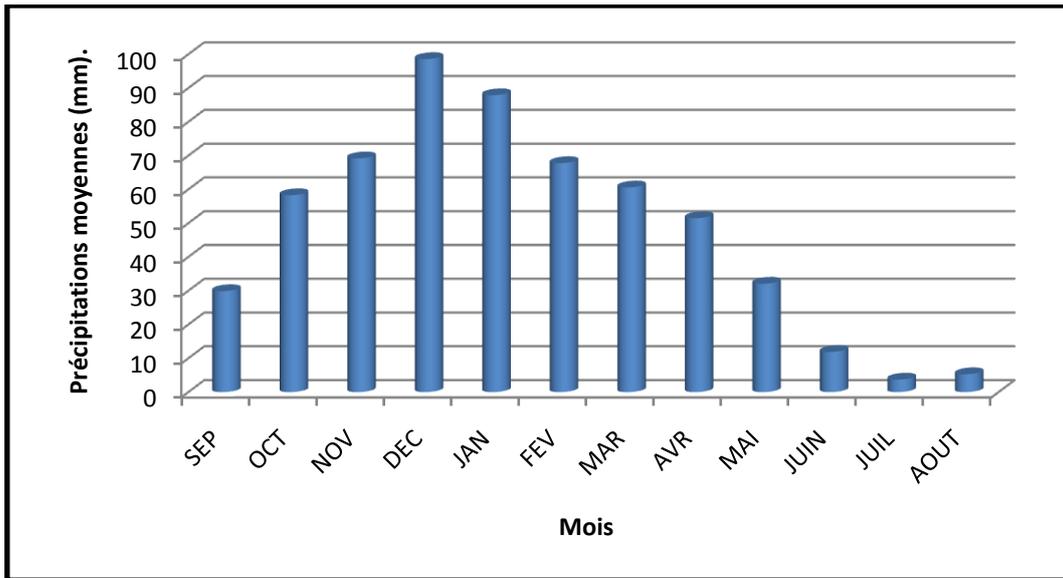


Fig. 12. Répartition mensuelle des précipitations au niveau de la station de Ramdane Djamel.

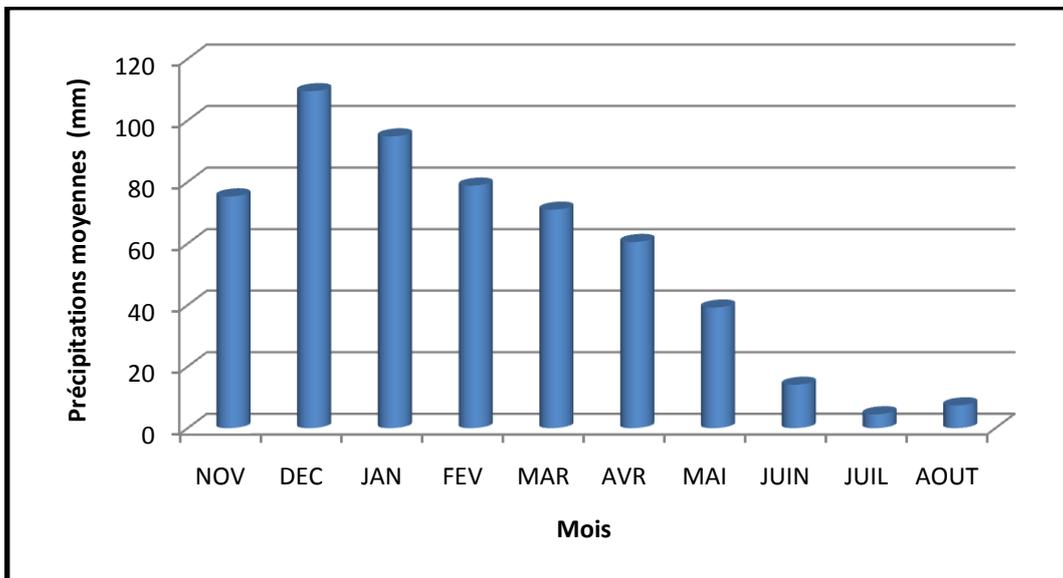


Fig. 13. Répartition mensuelle des précipitations au niveau de station de Zerdazas.

L'examen de la répartition mensuelle des précipitations au niveau de la station de Skikda, montre que la valeur maximale des précipitations est enregistrée au mois de décembre (124 mm), la moyenne interannuelle des précipitations est de l'ordre de 670mm.

Les trois derniers diagrammes (figures11, 12 et13) donnent un aperçu sur les variations mensuelles des précipitations dans les stations d'El Harrouch, de Ramdane Djamel et des Zardézas. Une période pluvieuse constituée par les mois les plus arrosés, se situe entre Octobre et Février où le mois de Décembre est le mois le plus pluvieux au niveau des trois stations ; on a enregistré un maximum de l'ordre de 97,8 mm à la station d'El Harrouch, 98,6

mm à Ramdane Djamel et 109,5 mm au niveau des Zardézas. Tandis que le mois de Juillet est le mois le moins pluvieux marqué par un minimum ne dépassant pas les 5 mm (3,3 mm à la station d'El-Harrouch, 3,7 mm à la station de Ramdane Djamel et 4,5 mm à la station de Zérdazas).

2. 1.3. Diagrammes ombrothermiques

Pour une station donnée, la combinaison des deux paramètres climatiques (température et précipitation) permet de tracer la courbe pluviothermique qui met en évidence l'existence ou pas de plusieurs saisons.

a- Courbe pluvio-thermique de la station de Skikda

L'étude de la courbe pluvio-thermique sur une période de 22 ans (1990-2012) montre que la région étudiée est caractérisée par deux périodes (Fig. 14) ; l'une humide et pluvieuse s'étalant du mois de Novembre jusqu'à la moitié du mois de Mai, caractérisée par une précipitation relativement élevée qui atteint 123,6 mm pendant le mois de Décembre, l'autre sèche s'étalant de la moitié du mois de Mai jusqu'à la fin du mois de Septembre avec une température moyenne maximale de 29°C au mois d'Août.

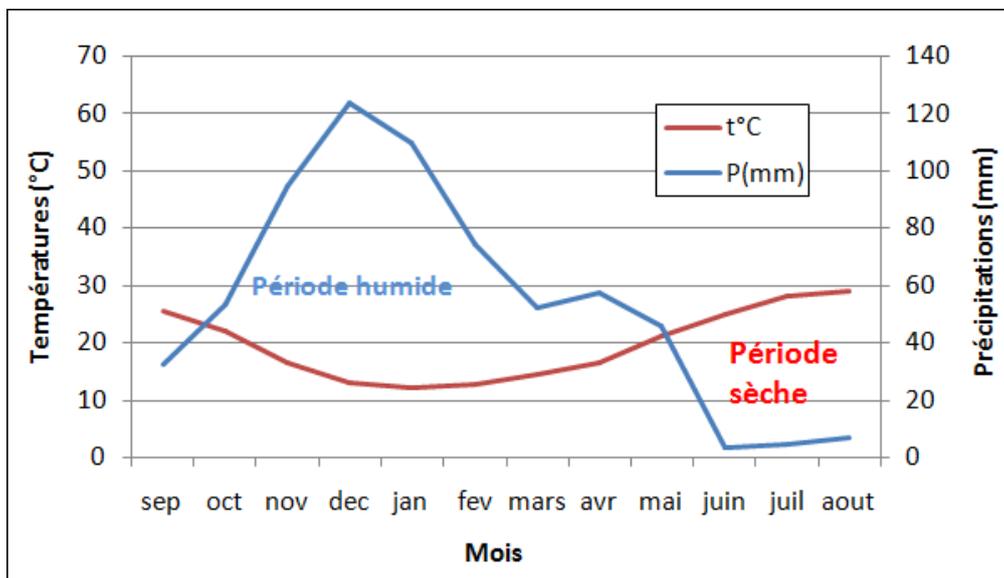


Fig. 14. Courbe pluvio-thermique de la station de Skikda.

b- Courbe pluvio-thermique de la station des Zardézas

Pour la station de Zardézas, l'examen de la courbe pluvio-thermique, met en évidence deux périodes (Fig. 15). Une saison humide qui s'établit entre le début du mois de Novembre et la fin du mois de Juin et qui se caractérise par une précipitation importante atteignant son maximum aux mois de Décembre avec 109,5 mm. L'autre sèche commence à la fin du mois de Mai et se termine au début du mois d'Octobre.

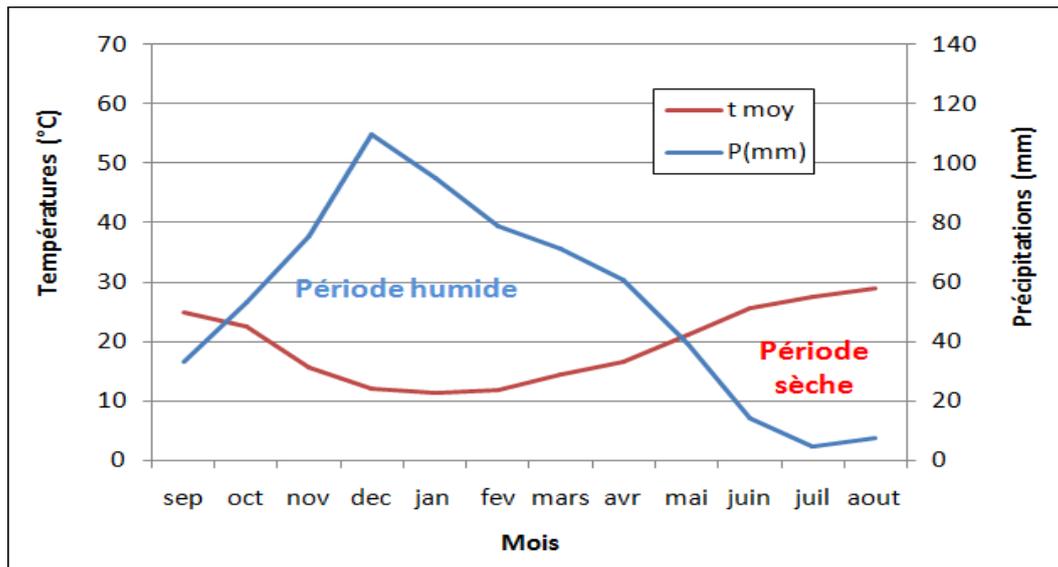


Fig. 15. Courbe pluvio-thermique de la station des Zardézas.

2.1.4. L'humidité relative

L'humidité relative de l'air est la proportion de vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère par rapport à la quantité maximale qui peut être fixée à une température considérée. Dans la zone d'étude, seule la station climatique de Skikda dispose d'observations sur l'humidité relative. Nous remarquons sur la figure 16 que l'humidité relative de la station de Skikda, pour tous les mois est supérieure à 72%. Une valeur maximale de l'ordre de 76 % est observée au mois de Mai, alors que la valeur minimale est observée au mois de Juillet (72,8 %).

2.1.5. Les vents

Le vent est un facteur important du climat. La connaissance de sa direction, son intensité et sa fréquence sont nécessaires pour la mise en valeur agricole d'une région notamment l'orientation des brises vents. Le vent assure le remplacement de l'air plus ou moins saturé au contact de la surface évaporante par des nouvelles couches ayant une température et une

humidité généralement plus faibles. Il favorise donc l'évaporation, d'autant plus que sa vitesse et sa turbulence sont grandes.

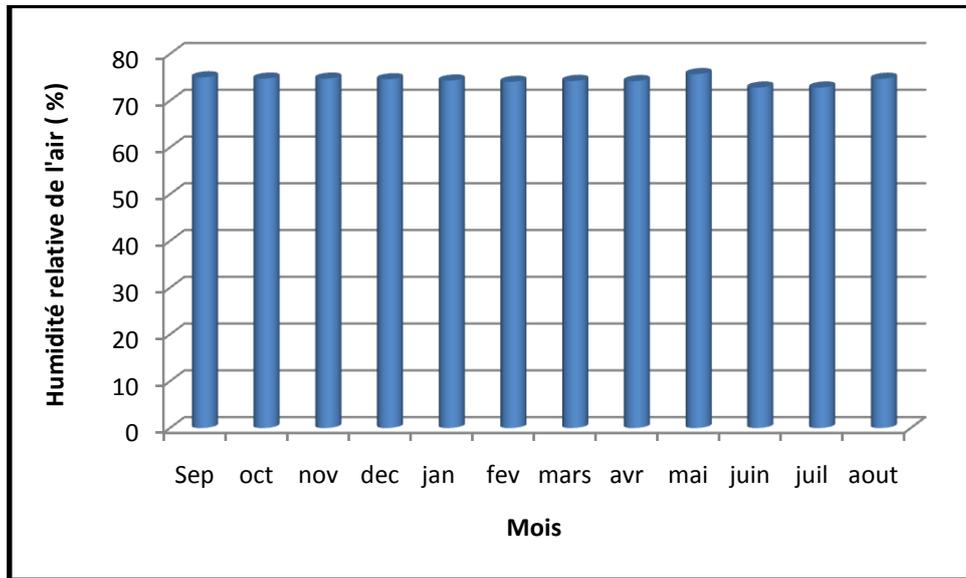


Fig. 16. Répartition mensuelle de l'humidité de l'air à la station de Skikda.

Dans la zone d'étude, seule la station climatique de Skikda dispose d'observations sur le vent. Les vitesses du vent enregistrées sont faibles et homogènes durant toute l'année, avec une vitesse plus rapide de 4,0 m/s durant le mois de Décembre et une vitesse minimale de 2,1 m/s au mois de Juillet (Fig.17). La moyenne annuelle est de 2,93 m/s. Les vents les plus dominants sont ceux du Nord-Ouest et du Sud-Est.

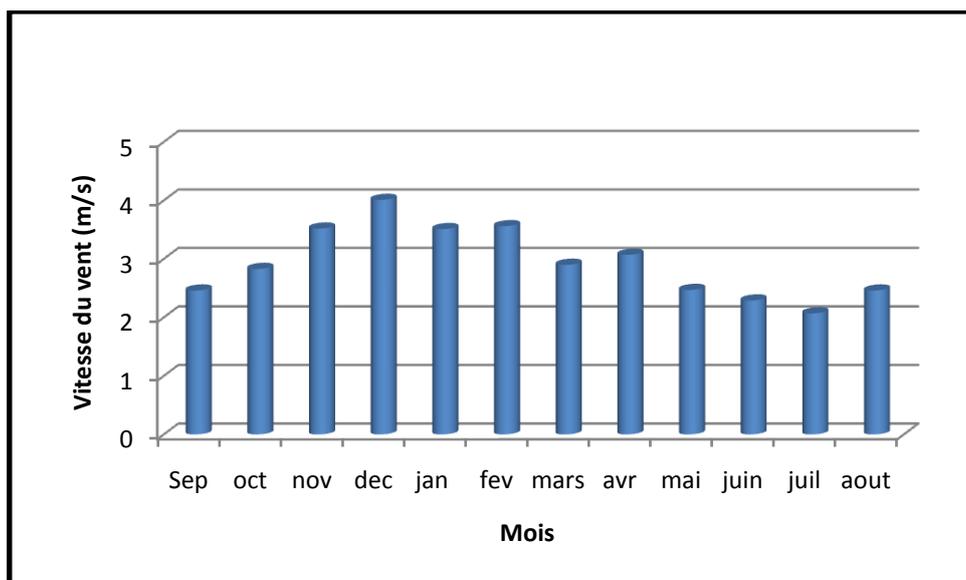


Fig. 17. Répartition mensuelle de la force du vent à la station de Skikda.

2.2. Détermination du type du climat

Pour déterminer le type du climat, on a utilisé la formule empirique de De Martone appelée *Indice d'Aridité Annuel* « A ». Cet indice, fonction des précipitations et des températures, est donné par :

$$A = \frac{P}{T + 10}$$

où P : précipitation moyenne annuelle en mm.

T : température moyenne annuelle en °C.

Selon ce critère, De Martone a défini quatre types de climat :

$A < 5$: climat hyper aride.

$5 < A < 10$: climat très sec.

$10 < A < 20$: climat sec.

$20 < A < 30$: climat tempéré.

$A > 30$: climat humide.

Pour les stations de Skikda et des Zardézas, les résultats du calcul de cet indicateur de climat sont représentés ci-dessous (tableau 7 et Fig. 18).

Tableau 7. Indice d'aridité annuelle pour les stations de Skikda et Zardézas.

Station	Pluie annuelle (mm)	Température annuelle	Indice d'aridité
Skikda	670,4	19,6	22,6
Zardézas	641,5	19,3	21,9

Au vu des résultats obtenus, les indices d'aridité annuel pour les deux stations prises en considération se situent dans l'intervalle 20 – 30, ce qui permet de conclure que dans la zone d'étude le climat est de tempéré.

3. Calcul de bilan hydrique évaporométrique de Thornthwaite

L'établissement du bilan hydrique est nécessaire pour comprendre le fonctionnement de tout système aquifère et pour l'évaluation de l'alimentation moyenne des nappes du fait que l'infiltration des eaux de pluie conditionne leur recharge.

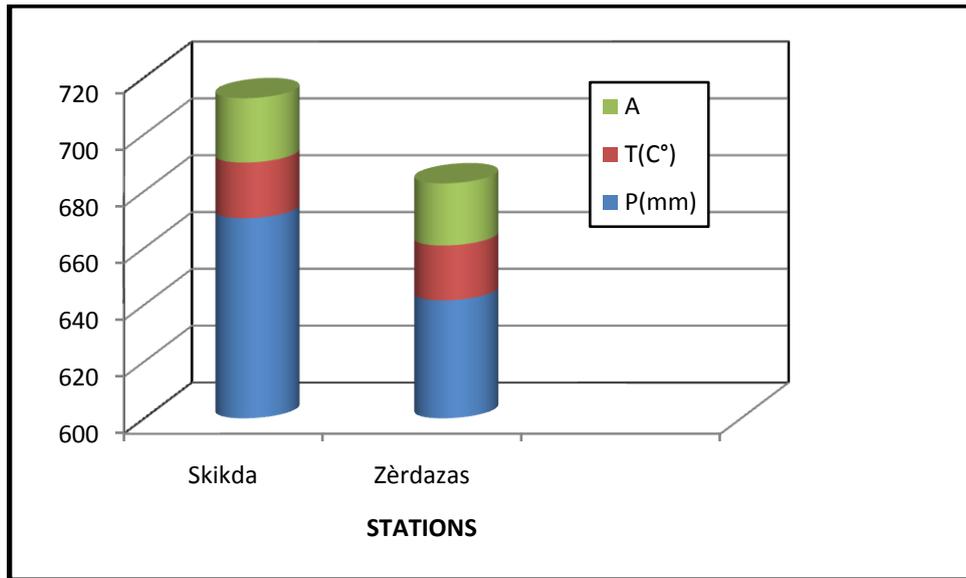


Fig. 18. Indice d'aridité annuel de la station de Skikda et des Zardézas.

Pour cela, il est indispensable de connaître tous les éléments qui constituent le cycle de l'eau, à savoir les précipitations, l'évapotranspiration, l'écoulement (ou ruissellement) et l'infiltration (Fig. 19).

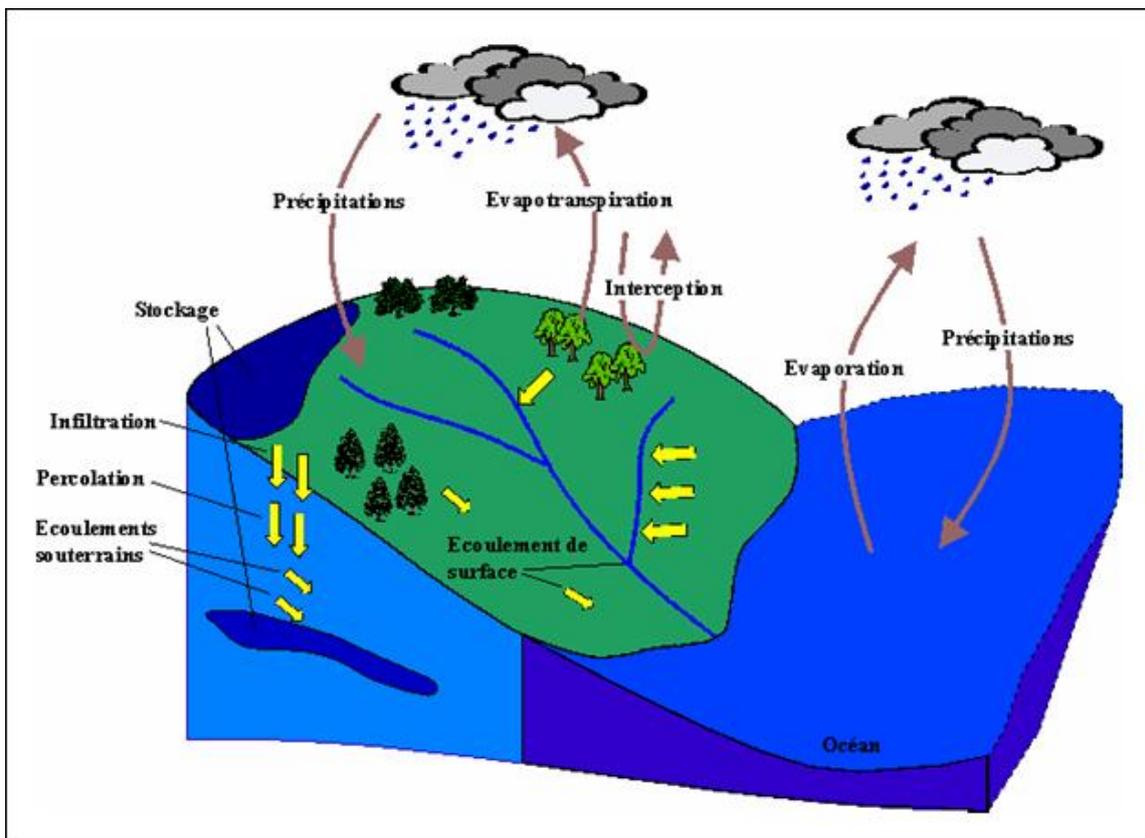


Fig. 19. Cycle de l'eau (in Boucenna, 2010).

3.1. Estimation de l'évapotranspiration potentielle (ETP)

En 1948, C.W. Thornthwaite a proposé une formule basée essentiellement sur la température moyenne mensuelle de l'air (t en °C) pour évaluer l'évapotranspiration potentielle (ETP en mm). Cette dernière prend la forme :

$$ETP = 16 \times \left[\frac{10 \times t}{I} \right]^\alpha \times K$$

Dans laquelle I est l'indice thermique annuel défini par la somme des indices mensuelle (i) donné par :

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514} \quad \text{et} \quad I = \sum_1^{12} i.$$

La constante α est calculée par la relation de Serra :

$$\alpha = 1,6 \times \frac{I}{100} + 0,5$$

Enfin, K est un coefficient de correction pour la latitude.

3.2. Estimation de la réserve facilement utilisable (RFU)

Selon Castany, lorsque les quantités d'eau provenant des pluies dépassent celles perdues par l'évapotranspiration, le surplus est stock et constitue ce qu'on appelle la réserve facilement utilisable (RFU). Dans cette étude, on retient la valeur moyenne estimée pour le bassin méditerranéen, soit 100 mm.

3.3. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)

L'évapotranspiration réelle est la quantité d'eau évaporée effectivement par le sol, les végétaux et les surfaces d'eau libre. Pour se fixer une idée, l'évapotranspiration réelle est estimée par la méthode du bilan de Thornthwaite au moyen de l'application THORN pour la station de Skikda (Annexes). Les résultats obtenus à l'échelle annuelle sont consignés au tableau ci-dessous. De même, les variations mensuelles des éléments du bilan sont reportées sur la figure 20 ci-dessous.

Tableau 8. Différents paramètres du bilan hydrique à la station de Skikda

P (mm)	T (°C)	ETP (mm)	ETR (mm)	DA (mm)	EXC (mm)
751.6	18.5	914.2	476.9	437.3	274.7

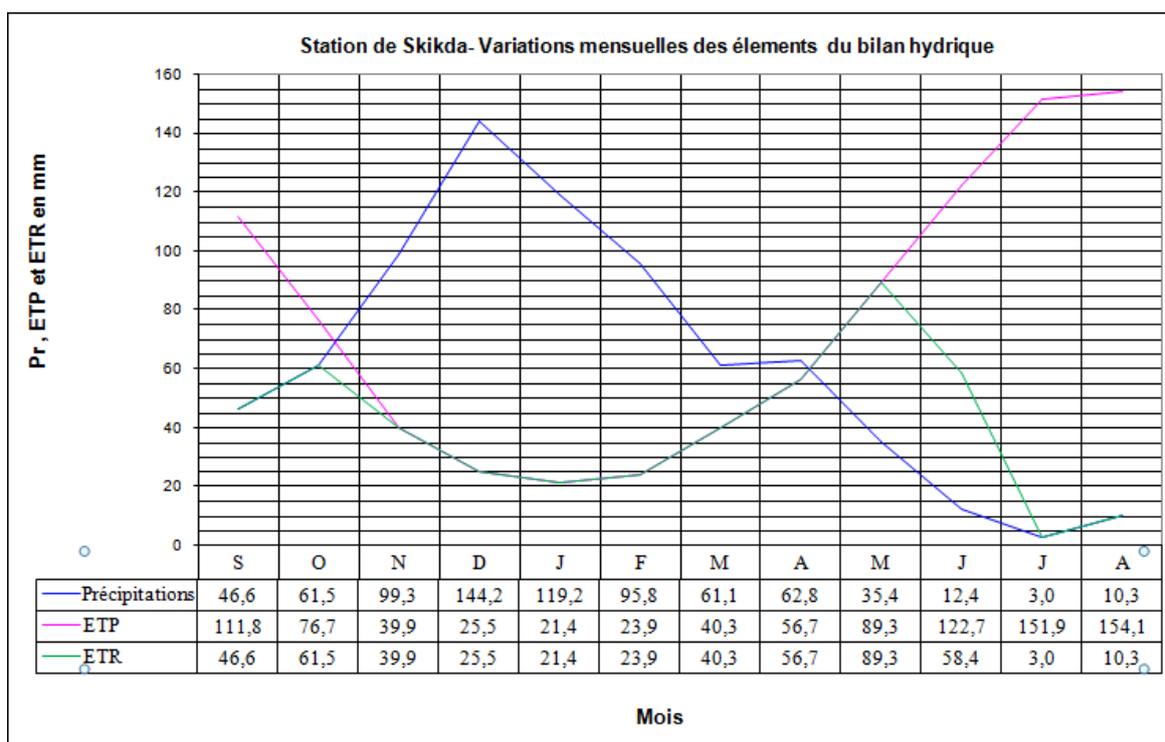


Fig. 20. Bilan Hydrique de Thornthwaite à la station de Skikda (Port).

3.4. Interprétation du résultat du bilan hydrique

D'après le tableau 8 et la figure 20, on remarque que le bilan d'eau établi par la formule de Thornthwaite a montré que l'ETP annuelle est d'ordre de 914.2 mm. Elle atteint son maximum aux mois de Juillet et Août (152 et 154 mm, respectivement) et son minimum durant la période hivernale, notamment aux mois de Janvier (21.4 mm).

La reconstitution de la réserve du sol, s'effectue entre les mois de Novembre et Mai. La réserve du sol atteint son maximum à partir des mois de Décembre. Elle commence à s'épuiser à partir du mois de Mai pour se vider complètement au mois de Juillet.

L'écoulement commence à apparaître entre Décembre et Janvier et se poursuit jusqu'au mois d'Avril avec un maximum au mois de Janvier (97.8 mm).

L'excédent, variable selon la rétention potentielle du sol, totalise annuellement 275 mm. Il présente 36.5% des précipitations.

L'évapotranspiration réelle annuelle représente 476.9 mm soit 63.5% des précipitations. Le déficit agricole de l'ordre de 437,3 mm/an. Ce déficit s'étale du mois de Juin au mois d'Octobre. Le maximum, de l'ordre de 149 mm, est observé au mois de Juillet.

4. Estimation du ruissellement

Le ruissellement, un paramètre fondamental du bilan hydrologique et aussi un facteur principal des débits des pointes des crues, est difficile à évaluer. Il se décompose en deux : l'eau qui ruisselle naturellement à la surface du sol et l'eau des sources. Cette dernière est une réapparition des eaux d'infiltration. Dans cet exposé, le ruissellement annuel (R) est estimé par la formule empirique de Tixeront- Berkallof:

$$R = \frac{P^3}{3 \times ETP^2}$$

dans laquelle tous les termes sont exprimés en m.

Au tableau 9, on retrouve les résultats du calcul du ruissellement.

Tableau 9. Résultats du calcul de ruissellement dans la région de Skikda

Paramètre	P (mm)	ETP (mm)	R (mm)	R (%)
résultats	751.6	914,2	169,3	22.5

Le ruissellement, de l'ordre de 169 mm/an, représente donc 22.5 % des précipitations annuelles.

5. L'infiltration efficace

Du point de vue hydrogéologique, l'infiltration est le paramètre de première importance car elle représente le taux de renouvellement des réserves souterraines d'une nappe. Autrement dit, c'est la quantité d'eau qui parvient à la surface de la nappe. En effet au cours de son trajet entre la surface du sol et la surface de la nappe, l'eau d'infiltration subit des pertes par évapotranspiration.

Pour déterminer l'infiltration (I_e), on a utilisé l'équation du bilan hydrologique :

$$P = ETR + I_e + R$$

où tous les éléments sont exprimés en mm. Le calcul aboutit aux résultats du tableau 10.

Tableau 10. Résultats du calcul de l'infiltration efficace par la Formule de bilan Hydrique.

Paramètre	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	Ie (mm)	Ie %
résultats	751.6	476,9	169.3	105.4	14.0

L'infiltration efficace est de l'ordre de 105,4 mm/an ce qui représente 14 % des précipitations annuelles. On constate que l'infiltration efficace est inférieure au ruissellement en raison des faibles perméabilités des terrains.

Conclusion

L'ensemble des données climatiques montre que le climat de la région d'étude est de type méditerranéen (hiver froid et été chaud). La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 751.6 mm. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 18.5 °C.

L'étude du bilan hydrique a permis de ressortir les résultats suivants :

- l'évapotranspiration réelle de l'ordre 476.9 mm/an ; ce qui représente 63.5 % des précipitations moyennes annuelles.
- l'infiltration est de l'ordre de 105.4mm /an ; elle représente 14 % des précipitations moyennes annuelles.
- le ruissellement est d'ordre de 169,3 mm/an ; soit 22.5% des précipitations moyennes annuelles.
- le déficit des précipitations pour satisfaire l'évapotranspiration potentielle (ETP) est de l'ordre de 437,3mm/an répartie du mois de Juin au mois d'Octobre, ce qui donne une idée sur l'irrigation nécessaire aux cultures pendant cette période.
- l'excédent annuel est d'ordre de 274.7 mm. Il représente 36.5 % des précipitations.

CHAPITRE IV

FONCTIONNEMENT DE LA DECHARGE

Imaginez un monde sans déchets.

La question des déchets est quotidienne et touche chaque individu tant sur le plan professionnel que familial. En tant que consommateur, jeteur, usager du ramassage des ordures ménagères, et trieur de déchets recyclables, citoyen ou contribuable, chacun peut et doit être acteur d'une meilleure gestion des déchets. Des gestes simples permettent d'agir concrètement pour améliorer le cadre de vie et préserver le bien-être de chacun. Chaque citoyen peut jeter moins et jeter mieux (Bouglouf, 2014).

1. Notion des déchets

La question des déchets a commencé à se poser de manière aigüe avec le développement urbain. Le volume de déchets s'amplifie de façon préoccupante. Leur caractère hétérogène rend difficile la généralisation d'une filière de traitement. Connaître leur composition et leurs caractéristiques permettra le choix d'une filière de traitement la mieux adaptée et la plus pérenne possible.

1.1. Définition du terme "déchet"

La notion de déchets peut être définie de différentes manières selon le domaine et l'intérêt d'étude et parfois l'origine et l'état du déchet. Parmi les nombreuses définitions existantes, on peut mentionner celles qui paraissent les plus intéressantes.

- Le déchet est un résidu abandonné par son propriétaire, car inutilisable, sale ou encombrant.

- Est considéré comme déchet, tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon.

- Les déchets sont des matières normalement solides ou semi-solides résultant des activités humaines et animales qui sont indésirables ou dangereuses.

En Algérie, la *Loi N°01-19 du 12/12/2001* relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets arrête (officiellement) les définitions des différents types de déchets comme suit :

- *Déchets* : tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer (PNUD-MATE, 2008).

Au sens de la présente loi, on entend par *Déchets ménagers et assimilés* tous déchets issus de ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers.

Cette étude est uniquement consacrée aux déchets urbains, qui représente l'ensemble des déchets des collectivités, des artisans, commerçants et petits établissements, collectés avec les ordures ménagères et les déchets produits par les municipalités elle mêmes.

1.2. Classification des déchets

Les déchets sont classés de plusieurs manières.

a- Selon leur nature

La classification des déchets d'après leur nature aboutit à trois catégories essentielles : déchets solides, déchets liquides et déchets gazeux.

b- Selon le mode de traitement et d'élimination

Professionnels et chercheurs s'accordent à regrouper les déchets solides en quatre grandes familles ::

– *Les déchets inertes* sont généralement constitués d'éléments minéraux stables ou inertes au sens de leur incompatibilité avec l'environnement et qui proviennent de certaines activités d'extraction minières ou de déblais de démolition (terre, gravats, sables, stériles, ...etc.).

– *Les déchets banals* regroupent essentiellement des déchets constitués de papiers, plastique, cartons, bois produit par des activités industrielles ou commerciales et déchets ménagers.

– *Les déchets spéciaux* peuvent contenir des éléments polluants et sont spécifiquement issus de l'activité industrielle (boues de peintures ou d'hydroxyde métallique, cendres d'incinération, ..., etc.). Certains déchets sont aussi dits spéciaux lorsque leur production

importante sur un même site entraîne des effets préjudiciables pour le milieu naturel (mâchefers des centrales thermiques, phospho-gypse, ainsi que certains déchets provenant des laboratoires universitaires et hospitaliers, ..., etc.).

- ***Les déchets dangereux***, issus de la famille des déchets spéciaux, contiennent des quantités de substances toxiques potentiellement plus importantes et présentent de ce fait beaucoup plus de risques pour le milieu naturel (poussières d'aciéries, rejets organiques complexes, bains de traitement de surface contenant soit du chrome, cyanure ou une forte acidité, les matériaux souillés par les P.C.B, les déchets de C.F.C. et mercuriels).

c- Selon leur comportement et les effets sur l'environnement

A ce titre on distingue :

- ***Les déchets inertes*** peuvent être différenciés suivant leur caractère plus ou moins encombrant, en débris plus ou moins volumineux jusqu'aux carcasses d'automobiles, chars, avions, bus, ..., etc.

- ***Les déchets fermentescibles*** sont principalement constitués par la matière organique, animale ou végétale à différents stades de fermentation aérobies ou anaérobies.

- ***Les déchets toxiques*** tels que les poisons chimiques ou radioactifs qui sont générés soit par des industries, soit par des laboratoires ou tout simplement par des particuliers qui se débarrassent avec leurs ordures de certains résidus qui devraient être récupérés séparément (ex : flacons de médicaments, seringues, piles et autres gadgets électroniques, ..., etc.)

d- Selon l'origine

Pour les besoins de ce travail, on a opté pour une classification comprenant seulement deux grandes classes de déchets solides en se basant sur la source de déchets (déchets industriels et déchets urbains).

- *Les déchets industriels*

Hormis les résidus assimilables aux ordures ménagères, tant par leur nature que par leur volume modeste, on distingue dans cette classe :

- ***Les déchets inertes*** provenant de chantiers de construction, transformation des combustibles et de l'énergie (gravats, cendre ...etc.), métallurgie (scorie, laitiers, mâchefers ..., etc.).

- ***Les déchets des industries agricoles et alimentaires***

- *Les déchets pouvant contenir des substances toxiques par des industries variables* (ex: ateliers artisanaux, galvanoplastie, chromage, miroiterie,... etc.).

- *Les déchets radioactifs* : Le transport et la destruction des déchets industriels posent des problèmes particuliers dont la solution –consentie ou imposée- devra être à la charge des industries polluantes avec si besoin une aide appropriée des gouvernements.

- *Les déchets urbains*: A partir de la notion « d'ordure ménagère », vocable par lequel on a longtemps désigné les résidus des ménages correspondant, de par leur origine et leur nature, à une certaine limitation en quantité et en dimensions, on a été conduit du fait de l'évolution du niveau de vie répercuté par les caractéristiques quantitatives et qualitatives des déchets, à passer à la notion plus générale de résidus ou déchets urbains.

e- Selon le mode d'enlèvement des déchets

On distingue quatre catégories :

- Les déchets constitués par des éléments de faible dimension (ordures ménagères, ordures démarchés, déchets artisanaux et commerciaux assimilables aux ordures ménagères.
- Les déchets hospitaliers qui, sans exception, font l'objet de collecte séparée.
- Les déchets encombrant appelés aussi « monstre » constitués par des objets volumineux qui ont été réformés et mis au rebus (vielle baignoire, vieux sommier,..., etc.)
- Les souillures qui proviennent du nettoyage et du balayage des voies publiques (feuilles, branchage, déchets des plages, ..., etc.).

La loi algérienne relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, propose la classification suivante des déchets (Article, 5):

- Les déchets spéciaux y compris les déchets spéciaux dangereux,
- Les déchets ménagers et assimilés,
- Les déchets inertes.

Cette étude est uniquement consacrée aux déchets urbains, qui représentent l'ensemble des déchets des collectivités, des artisans, commerçants et petits établissements, collectés avec les ordures ménagères et les déchets produits par les municipalités elle mêmes.

2. Composition physico-chimique des déchets urbains

L'étude de la composition des déchets est un pas essentiel pour une bonne gestion. Plusieurs raisons en sont citées par Reinhart *et al.* (1996) et Wicker (2000) dont notamment le besoin d'estimer la quantité des matériaux produits, l'identification de la source de génération, de faciliter le design des équipements des procédés de traitement, de définir les propriétés

physiques, chimiques et thermiques des déchets et de veiller sur la conformité avec les lois et règlements locaux.

La connaissance de la composition des déchets est indispensable pour leur gestion. Elle permet de choisir et de dimensionner correctement les outils de collecte, de traitement et d'élimination, et aussi la récupération de matériaux recyclable : papier, cartons, verres, plastique etc.

2.1. Composition physique

Les déchets urbains sont constitués principalement des déchets ménagers, c'est pourquoi on les appelle souvent ordures ménagères, mais ils comprennent aussi des déchets de commerce, de bâtiments publics et les déchets de voirie. Les ordures ménagères étant essentiellement hétérogènes, leur composition physique est définie en regroupant les constituants en catégories présentant une certaine homogénéité.

Leur composition est très variable suivant la région, le climat, les habitudes des populations, le caractère de l'agglomération (zone urbaine, ou rurale, zone industrielle ou commerciale, etc.), le niveau de vie des habitants, le type de collecte etc.

La connaissance de la composition des ordures ménagères a une importance primordiale notamment pour le développement de la valorisation. La fraction fermentescible est prépondérante dans les pays en développement (PED), souvent supérieure à 50 %. Cette composition évolue suivant les niveaux de vie de la population et les changements dans les habitudes de consommation. La composition physique des déchets varie beaucoup. La grande dispersion observée concerne les différentes fractions de déchets et varie d'un pays par rapport à l'autre (Tableau 11).

Par contre, dans les pays développés (PD) on observe une faible proportion de fraction fermentescible. Le tableau 12 ci dessous présente la composition des déchets ménagers (DM) dans les PD.

2.2. Composition chimique

Plusieurs études se sont intéressées à la caractérisation chimique des DM. Certaines d'entre elles avaient pour principal objectif l'évaluation du potentiel polluant de ces déchets (ADEME, 1999) ou la mise en évidence de l'existence des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement (Report, 2002).

Tableau 11. Composition des déchets urbains (%) dans les PED (Bouglouf, 2014)

Pays	Source	Putrescibles	Papier/ Carton	Plastiques	Verres	Métaux	INC	Déchets Spéciaux et autres
Côte D'ivoire	Sané, 1999	69.7	5.8	9.5	0.5	0.9	13.6	-
Mexique	Gonzalez del Carpio 1998	55	15	4	5	6	-	-
Guinée (Labé)	Matejka, 2001	69	4.1	22.8	0.3	1.4	-	-
Indonésie (Jakarta)	UNEP, 2001	73.9	10.2	7.86	1.7	2	1.5	-
Kénya (Nairobi)	Manassero <i>et al.</i> , 1997	74	12	5	4	-	-	2
Liban	Consult 2002	64	15	10	5	2	-	-
Maroc	Hafid <i>et al.</i> , 2002 65-7	65-70	18-20	2-3	0.5-1	5.6	-	-
Tunisie	Younès, 1996	66	15	5.9	1.2	3.4	1.2	7.3
Algérie	PNUD- MATE, 2008	70	8	10	3	4	-	5
Egypte	Ezz, 2003	60	13	1.5	2.5	3	-	-

Tableau 12. Composition des déchets urbains dans les pays développés (%).

Pays	Source	Putrescibles	Papier/ Carton	Plastiques	Verres	Métaux	INC	Déchets Spéciaux et autres
Etats Unis	Hafid, 2002	23.8	38.1	9.4	5.9	7.7	-	-
Allemagne	Hafid, 2002	15	27.5	3	9	6.5	-	-
France	Ademe , 1999	28.6	25.4	15.1	13.1	4.1	-	-
Japon	Hafid, 2002	30	40-42	8-10	7-13	4-7.5	-	-

Le tableau 13 donne des exemples de la composition chimique élémentaire des DUS en France (d'après l'ADEME, 1999), en Chine et en Suisse.

Tableau 13. Exemples de la composition chimique élémentaire des DUS en France, en Chine et en Suisse.

Paramètres	Unités (*)	Teneurs moyennes		
		France (a)	Chine (b)	Suisse (b)
Humidité	% MH	35	-	-
Matière organique totale	% MS	59,2	-	-
Carbone	% MS	33,4	29 ± 5	37 ± 4
Chlore	g/kg MS	14	-	6,9 ± 1,0
Soufre	g/kg MS	2,8	-	1,3 ± 0,2
Azote organique	g/kg MS	7,3	-	-
Fluor	g/kg MS	0,058	-	-
Bore	g/kg MS	0,014	-	-
Cadmium	g/kg MS	0,004	0,3 ± 0,01	0,011 ± 0,002
Cobalt	g/kg MS	0,113	25 ± 3	-
Chrome	g/kg MS	0,183	0,18 ± 0,02	-
Cuivre	g/kg MS	1,048	-	0,7 ± 0,2
Manganèse	g/kg MS	0,412	-	-
Mercure	g/kg MS	0,003	0,005 ± 0,001	0,003 ± 0,001
Nickel	g/kg MS	0,048	-	-
Plomb	g/kg MS	0,795	-	0,7 ± 0,1
Zinc	g/kg MS	1,0	1,3 ± 0,2	1,4 ± 0,2

Ce potentiel polluant dans les DUS est d'origine organique, minérale et métallique (François, 2004) en fonction de la composition des déchets. Ainsi, la matière organique provient essentiellement des fermentescibles, du papier, du carton, des textiles, du plastique et de la fraction des combustibles non classés (cuir, bois, etc.), alors que la matière organique azotée est apportée par les fractions des fermentescibles, des textiles et des combustibles non classés (Tchobanoglous et al., 1993 ; François, 2004).

Les éléments minéraux et métalliques sont générés par les fractions telles que le verre, les combustibles non classés, les plastiques, les métaux et les spéciaux. Ils peuvent également provenir des colorants utilisés dans les textiles ou les emballages. Bien que cette composition chimique des déchets ne soit pas exhaustive, elle montre néanmoins déjà le risque sur la santé et l'environnement que les déchets peuvent représenter et la nécessité de traiter ces refus.

2.3. Composition en pathogènes

L'un des risques majeurs sur la santé humaine liés aux déchets est sans doute leur contamination microbiologique par divers agents pathogènes tels que les bactéries, les protozoaires, les virus et autres. Le suivi de certains paramètres microbiologiques dans le compost, comme l'*Aspergillus fumigatus* par exemple, permet de déterminer rapidement son état sanitaire ; et il est démontré que la présence d'une grande quantité de moisissures implique automatiquement la présence d'autres agents pathogènes (Focus biosécurité, 1999).

D'autre part, il est important de mettre en relief cette caractéristique pour qu'elle puisse être prise en compte dans d'éventuelles mises en place de programme de valorisation et de recyclage des rejets atténuant ainsi leur impact sur la santé. Elle peut servir aussi à la sensibilisation des personnes en contact direct avec les déchets et qui sont le plus souvent non protégées aussi bien dans les pays industrialisés que dans les PED. Hassen et al. (2001) ont identifié plusieurs microorganismes présents en nombre important dans les déchets au cours du compostage (spores bactériens, coliformes fécaux, *Escherichia coli*, streptocoques fécaux, staphylocoques, Salmonelles et Shiguelles).

D'après Hoornweg et al. (2000), ces différents agents pathogènes trouvés dans les déchets sont d'origine humaine ou animale et peuvent provenir des boues de vidange, des couches culottes ou des déchets des animaux domestiques.

Le tableau suivant montre que les DUS peuvent contenir autant d'agents pathogènes ou même plus que les boues de STEP ou les DH.

Tableau 14. Indicateurs des microorganismes pathogène dans les boues, les DH et les DUS (Hoornweg et al., 2000)

<i>Microorganismes</i>	<i>Boues</i>	<i>Déchets biomédicaux</i>	<i>DUS</i>
	<i>Nombre de microorganismes par gramme</i>		
<i>Coliformes totaux</i>	2,8.108	9,0.108	7,7.108
<i>Coliformes fécaux</i>	2,4.108	9,0.108	4,7.108
<i>Streptocoques fécaux</i>	3,3107	8,6.108	2,5.109

Nédellec et Mosqueron (2002) distinguent les bactéries des micromycètes. Les résultats de quelques inventaires sont reproduits dans le tableau suivant.

**Tableau 15. Microorganismes présents dans les ordures ménagères fraîches.
(Nédellec et Mosqueron, 2000)**

<p>Bactéries identifiées</p>	<p><i>Alcaligenes faecalis</i> <i>Arisona hinshawii</i> <i>Arthrobacter</i> spp. <i>Bordetella pertussis</i> <i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i> <i>Escherichia coli (souches non cytotoxiques)</i></p>
<p>Champignons</p>	<p><i>Blastomyces dermatitidis</i> <i>Chaetomium</i> spp. <i>Cunninghamella elegans</i> <i>Mycelia sterilia</i></p>
<p>Virus</p>	<p><i>Enterovirus Poliovirus</i> <i>Coxsachivirus</i> <i>Echovirus</i> <i>Coronavirus</i></p>

3. Traitement des déchets

Le but de toute gestion saine des déchets est la préservation de la santé des populations et de l'environnement dans lequel elles vivent. Il est nécessaire de minimiser la quantité de refus et de faire en sorte que les rejets soient inoffensifs pour le milieu naturel. La caractérisation des déchets permet justement d'évaluer, au préalable, leur potentiel de risque pour ce milieu et de choisir le mode de traitement optimal pour ces refus.

Il existe aujourd'hui plusieurs modes de gestion des déchets utilisés en fonction des enjeux sanitaires, environnementaux et économiques. Toutefois, le coût d'investissement dans certaines approches technologiques respectueuses de l'environnement reste un vrai problème dans les PED. Mais malgré cette contrainte, ces pays doivent désormais répondre aux exigences des populations locales mais aussi à d'autres exigences toujours plus strictes et contraignantes auxquelles ils ont souscrit. Il s'agit notamment des protocoles et conventions internationaux (Protocole de Kyoto, Conventions de Bale, de Stockholm, de Montréal, etc.) visant à préserver la santé et l'environnement. C'est pour le respect de ces objectifs qu'on

assiste ces dernières années à de multiples tentatives et expériences de gestion des déchets, de par le monde, pour trouver des solutions optimales et adaptées au contexte donné.

Les techniques de traitement étant diverses, la littérature identifie les cinq filières suivantes comme étant les plus utilisées dans le monde en fonction de la nature du déchet (Cours EMSE ; Crowe et al. 2002). La mise en décharge, le compostage, l'incinération, la valorisation de la matière, autres (pyrolyse, méthanisation, ...).

3.1. Traitement biologique (le compostage)

Il est difficile de donner une définition précise et rapide du compost car selon le cas, les objectifs et les caractéristiques qui lui sont attribués varient. On peut toutefois retenir que le compost est un produit de stabilisation et de traitement aérobie des déchets organiques putrescibles.

Le compostage concerne tous les déchets organiques mais surtout les déchets solides et semi solides. C'est un processus de transformation de matière organique fraîche en une substance organique humifiée, plus stable, appelée *compost* (Peignet et al., 2001).

Mustin (1987) définit le compostage comme *un procédé biologique contrôlé de conversion et de valorisation des substrats organiques (sous produits de la biomasse, déchets organiques d'origine biologique ...) en un produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau, riche en composés humiques: le compost , ou encore un cas particulier de sol actif très riche en matière organique en évolution et pauvre en éléments minéraux.*

Cette technique de valorisation de la matière organique (OM) a été adoptée pour le traitement des déchets dans plusieurs pays tels que la Suède, la Suisse, le Danemark, l'Italie, l'Autriche, les Etat Unis d'Amérique (Alm et al., 2004).

Cette filière de traitement des OM, qui s'est beaucoup développée ces dernières années, est considérée aujourd'hui un mode de gestion complémentaire important dans la valorisation de la matière organique et énergétique essentiellement pour la fraction organique de ces déchets.

En conclusion on peut dire que le compost est le résultat d'un processus de transformation des déchets putrescibles en produit stable et basé sur le principe schématisé par la figure 21.

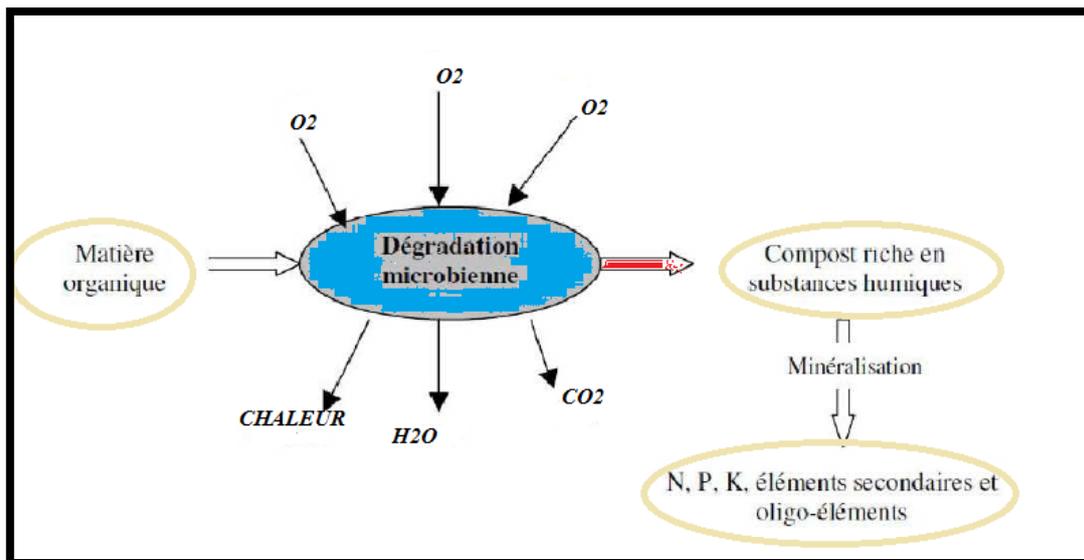


Fig. 21. Schéma simplifié du processus de compostage (Aboulam, 2005)

La qualité finale du compost doit répondre à certaines exigences de qualité normalisées dans les pays industrialisés distinguant ainsi plusieurs catégories en fonction de sa maturité, sa stabilité, sa teneur en métaux lourds, en inertes, etc. (Charnay, 2005). La qualité initiale des déchets est déterminante dans leur aptitude au compostage et dans la qualité finale du compost et dans sa valeur agronomique.

Le paramètre le plus utilisé pour évaluer l'aptitude des déchets à être compostés est le rapport C/N. Sa valeur optimale à respecter varie d'un auteur à l'autre. Au terme du compostage, un rapport C/N < 12 indique la maturité du compost (Charnay, 2005 ; Cours EMSE). Le tableau suivant donne certaines valeurs de ce rapport recommandées par certains auteurs pour juger de l'aptitude des déchets au compostage.

Tableau 16. Rapport C/N recommandé pour le compostage des déchets.

Rapport C/N	Humidité (%)	Références
20 – 35	50 – 65	Mohee (2005)
20 – 30	-	Mbulingwe et Kassenga (2004)
20 – 25	-	Hoorweg et al. (2000)
15 – 35	-	Cours EMSE
15 – 20	-	Iyengar Srinath et Bhave Prashant (2005)
< 30	40 – 50	MBT (2003)

La méthanisation correspond à un traitement anaérobie des déchets fermentescibles, produisant un gaz combustible utilisable comme amendement organique après maturation par compostage. Ce sont essentiellement les déchets riches en eau et facilement dégradables qui sont utilisés. (Bourgeois *et al.*, 2000).

3.2. Traitement thermique (l'incinération)

L'incinération est un mode de traitement et d'élimination des OM très répandu qui permet la réduction d'environ 90 % du volume et 75 % de la masse des déchets et la destruction complète des bactéries (Youcai *et al.*, 2004 ; Anonyme 1; Li *et al.*, 2004 ; Allsopp *et al.*, 2001). Elle conduit à la formation de scories, appelés mâchefers d'incinération des OM (MIOO) qui ont l'avantage de pouvoir être valorisées, sous certaines conditions, en travaux publics (remblai et autres).

Elle consiste à brûler les ordures dans un four spécialement adapté à une température d'environ 850 °C en libérant de la chaleur et de la vapeur, des effluents gazeux (fumées), des mâchefers ; 30 % ; et des cendres volantes ; 3 à 4 % (FOE, 2002 et Kaibouchi, 2004).

Les tableaux (17, 18 et 19) donnent les teneurs types des mâchefers en composés majeurs et en métaux lourds, comparées à d'autres sources, et la composition d'une cendre volante (Cours EMSE).

**Tableau 17. Teneurs types des mâchefers en éléments principaux (en %)
(Cours EMSE).**

Eléments	Mâchefers	Croûte terrestre	Ciment Portland
SiO ₂	40 – 60	28	22
Ca	5 – 11	4,1	45
Fe	5 – 10	5,6	2
Al	4 – 10	8,2	3
Na	1 – 4	2,4	0,3
Mg	1 – 2	2,3	0,2
K	0,5 – 1,5	2,1	0,5
Cl	0,1 – 0,4	0,01	0,03
S	0,1 – 0,5	0,03	1,2

Tableau 18. Teneurs des mâchefers en métaux lourds (Cours EMSE).

<i>Eléments</i>	<i>Unités</i>	<i>Mâchefers</i>	<i>Sol</i>	<i>Matériaux inertes</i>
Cu	g/kg	1 – 3	0,05	0,5
Pb	g/kg	1 – 4	0,05	0,5
Zn	g/kg	2 – 5	0,20	1,0
Ni	g/kg	0,1 – 0,3	0,05	0,5
Cr	g/kg	0,2 – 0,8	0,075	-
Cd	g/kg	4 – 28	0,08	10
Hg	g/kg	0,06 – 0,7	0,08	2

Tableau 19. Composition des cendres volantes (Cours EMSE).

<i>Eléments</i>	<i>Unités</i>	<i>Quantités</i>
Azote	g/kg	< 0,05
Fluor	g/kg	3,81
Phosphore	g/kg	0,03
Soufre	g/kg	11,1
Aluminium	g/kg	82,1
Argent	g/kg	0,11
Baryum	g/kg	0,35
Calcium	g/kg	177
Cuivre	g/kg	5,6
Cyanures	mg/kg	< 1
Etain	g/kg	1,1
Fer	g/kg	15,4
Magnésium	g/kg	16,9
Manganèse	g/kg	0,71
Mercure	mg/kg	19,8
Molybdène	g/kg	< 0,05
Nickel	g/kg	0,22
Potassium	g/kg	3,05
Silicium	g/kg	13,8
Sodium	g/kg	31,2
Titane	g/kg	11,9
Vanadium	g/kg	< 0,15

Plusieurs études ont associé de nombreux problèmes de santé au fait de vivre à proximité d'un incinérateur ou de travailler dans une de ces installations. Parmi ces problèmes, on a pu répertorier des cancers (aussi bien chez les enfants que chez les adultes), des impacts nocifs sur le système respiratoire, des maladies du cœur, des perturbations du système immunitaire, des allergies amplifiées et des anomalies congénitales (Allsopp et al., 2001).

3.3. Enfouissement technique des déchets

L'enfouissement technique consiste à disposer les déchets solides en couches ne dépassant pas deux mètres d'épaisseur; à compacter ces couches et à recouvrir quotidiennement de terre, les surfaces exposées.

Les déchets sont étendus en mince couches dans des cellules étanches où ils sont nivelés, compactés et recouverts périodiquement avec de la terre ou un autre produit inerte pour limiter les infiltrations d'eau dans le déchet et les nuisances dues aux envols de déchets et aux émanations de gaz.

Il existe trois méthodes d'enfouissement :

- *l'enfouissement en surface*: il a lieu dans les ravins, les carrières abandonnées, les vallées etc. les déchets y sont répandus et compactés jusqu'à réduction de leur volume de 50 % et sont ensuite recouvert de terre

- *l'enfouissement sur talus* : dans ce cas les déchets sont versés sur le flanc d'une élévation (colline) où ils sont étendus, compactés et recouverts de terre. Le matériel de recouvrement est obtenu en excavant le sol directement au pied de la surface du travail

- *l'enfouissement en tranchées* : où les déchets sont déversés dans une tranchée et la terre d'excavation est utilisée pour les recouvrir.

L'enfouissement technique ou la décharge contrôlée permet d'éviter les risques pour l'hygiène publique, de réduire les nuisances au minimum et de revaloriser certains terrains. Le choix du site de décharge dépend des propriétés géologiques du terrain, des possibilités d'aménagement et des voies d'accès.

3.4. Autres techniques de gestion

Enfin, il existe d'autres techniques encore relativement très peu utilisées à cause notamment de la complexité et de la difficulté de la maîtrise de leur procédé. La pyrolyse et la gazéification consistent, respectivement à carboniser (ou chauffer sans les brûler) les déchets, en l'absence d'air, à une température de 400 – 800 °C, pour la première, et en présence d'une quantité limitée d'oxygène à une température de 800 -1400°C pour la seconde. Les gaz issus de la gazéification peuvent être utilisés comme source d'énergie.

4. Opportunités et Contraintes

Les différentes évoquées dans cet exposé présentent des avantages et des inconvénients les unes par rapport aux autres. Le choix du type de traitement est dicté par le choix politique de chaque pays. Le tableau 20 récapitule quelques-uns des principaux avantages et inconvénients dans le choix du mode de traitement des déchets dans le contexte des PED.

5. Généralités sur le stockage des déchets

Le dépôt des ordures ménagères dans le milieu naturel, en dehors des espaces de vie est le mode d'*élimination* des déchets le moins coûteux et le plus répandu (Thonart, 1998 ; Yen-Cho Chen, 2003). Les décharges contiennent d'énormes masses de déchets en constante évolution qui sont susceptibles de déséquilibrer le milieu naturel (Matejka et Rinke, 1999). Elles peuvent être considérées comme de gigantesques bioréacteurs dans lesquels des réactions biologiques et chimiques ont lieu simultanément (Pohland, 1996).

5.1. Description des décharges

La mise en place des décharges dans les PED doit être effectuée suivant certaines règles et dispositions qui permettent d'éviter les impacts sur l'environnement, ce qui revient à maîtriser les phénomènes de fermentation en contrôlant la nature et le flux de déchets enfouis et les flux liquides et gazeux.

Une décharge contrôlée peut être définie précisément par le fait que des précautions sont prises dans son organisation et sa mise en œuvre pour écarter toutes nuisances.

Aujourd'hui le terme décharge contrôlée couvre différentes méthodes relatives à l'évacuation et au traitement des ordures ménagères. On distingue :

- la décharge contrôlée traditionnelle ;
- la décharge compactée ou non ;
- la décharge d'ordures préalablement broyées.

Tableau 20. Avantages et inconvénients des différents modes de traitements des déchets.

Technologies	Avantages	Inconvénients	Remarques relatives aux PED
Décharges non Contrôlées	- coûts d'exploitation très faible	- nuisances (odeurs, animaux, bactéries, envols, paysage, etc.) - risques pour la santé (lieu de jeu pour enfants, lieu d'habitat et d'activité pour récupérateurs, etc.) - risques pour l'environnement (contamination des nappes et cours d'eau par ruissellement ou inondation, émission des GES, incendies, etc.) - occupation des sols	Dans les PED, les populations sont de plus en plus opposées à ce type d'élimination
CET	- coûts d'investissement supportés par les collectivités ; - possibilité de contrôler les effluents polluants (lixiviats et biogaz) et les nuisances ; - possibilité de revaloriser le site en fin d'exploitation ; - acceptation par les populations	- risque potentiel de pollution suite à une infiltration d'eau ; - longue durée de suivi du site pendant et après exploitation (30 à 200 ans) ; - rareté des sites géologiques proches pouvant servir de réceptacle des déchets ; - coût du contrôle et du suivi	Pour les PED, les standards minimaux dans la conception de CET sont à l'étude.
Incinération	- réduction jusqu'à 90 % du volume des déchets et 75 % de leur masse ; - destruction totale des microorganismes pathogènes ; - peu d'incidence sur la qualité des eaux ; - possibilité de valorisation de l'énergie ; - possibilité de valoriser les mâchefers en travaux publics.	- coût d'investissement important : coût des installations d'épuration des fumées de 30 % du coût de l'incinérateur ; - épuration des fumées : une fraction des fumées et des cendres est rejetée dans le milieu récepteur ; - génération de nouveaux déchets à traiter (30 % en masse, mâchefers, cendres, etc.).	- Le PCI des OM dans certains PED est faible à cause de la teneur en MO 50-80 % ; - à long terme réticence des populations
Compostage	- recyclage de la MO : 30 à 50 % de la masse des OM. On peut atteindre + de 90 % de la masse des déchets ; - production du compost (amendement) ; - apport de MO pour rétention d'eau	- débouchés du produit final ; - risque pour la santé (personnes en contact). - grandes quantités d'eau nécessaires ; - coût de transport important : distance entre sources et site du compostage souvent importante	- à court terme cette technologie n'est pas viable dans certains pays où la MO est encore valorisée au niveau des ménages - dans les pays connaissant des problèmes d'eau, comme ceux du Sahel, c'est un handicap

5.2. Lixiviat et biogaz

5.2.1. Lixiviats de décharges

a- Définition

Le terme lixiviat désigne les eaux météoriques qui en percolant à travers une décharge, s'enrichissent en divers polluants minéraux et organiques avant de devenir des eaux usées appelées *lixiviats*, *percolâts*, *lessivats*, ou encore *jus de décharge*. La lixiviation est la migration des substances solubles et le lessivage correspond à la migration des particules en suspension.

b- Composition

La composition des lixiviats de décharge est très aléatoire est varie on fonction de la nature des déchets, l'âge de la décharge, la technique d'exploitation et les conditions climatique.

c- Classification des lixiviats

Millot (1986) a classé le lixiviat en trois grandes familles :

- *Les lixiviats jeunes*

- charge organique élevée (DCO > 20 g/l)
- biodégradabilité moyenne (DBO₅/ DCO > 0,3)
- pH de l'ordre de 6,5
- concentration importante en acide carboxylique (80 % de la charge organique)
- teneur élevée en métaux lourds (jusqu'à 2 g/l)
- rapport COT/ DCO proche de 0,3
- concentration importante en acide gras volatil (AGV) et faible teneur en composés de haut poids moléculaire.

- *Les lixiviats intermédiaires*

- charge organique moyenne (3 < DCO < 15 g/l)
- biodégradabilité assez faible (DBO₅/ DCO ≈ 0,2)
- acides carboxyliques représentent 20 à 30 %
- pH proche de la neutralité (pH ≈ 7)

- diminution de la teneur en métaux.

- Les lixiviats stabilisés

- charge organique assez faible (DCO < 2 g/l)
- biodégradabilité très faible (DBO₅/ DCO < 0,1)
- pH largement supérieur à 7,5
- absence d'acide carboxylique
- concentration faible en métaux lourds (< 50 mg/l)
- présence de composés difficilement oxydables (COT/DCO = 0,4)
- concentration très importante en composés à haut poids moléculaire (PMA > 5000).

d- Paramètres de suivi du lixiviat (la Composition)

Par lixiviat ou plus particulièrement *jus de décharge*, on désigne l'eau qui a percolé à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et surtout chimiquement de substances tant minérales qu'organiques. Leur composition est difficile à déterminer car les décharges constituent un réacteur complexe évoluant spontanément. En effet, la composition des lixiviats dépend de plusieurs facteurs: la composition et la nature des déchets enfouis, le mode d'exploitation de la décharge l'épaisseur de la couche de déchets, le bilan hydrique, l'âge de la décharge, la nature de la couverture, etc. Le nombre de facteurs intervenant dans la composition du lixiviat explique sa grande variabilité non seulement d'une décharge à une autre mais aussi au sein d'un même site.

Malgré la diversité des déchets ménagers mis en décharge, la composition du lixiviat suit quelques grandes constantes liées au fait qu'une grande partie des déchets est constituée de matières putrescibles et biodégradables. Ces matières organiques évoluent au cours du temps en une série de sous produits divers suite à différentes réactions métaboliques.

D'après ADEME (1996), les principaux paramètres du suivi d'un lixiviat sont la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biologique en oxygène (DBO₅), le carbone organique total (COT), la teneur en matière azotée (Azote organique, NH⁴⁺, NO³⁻, NO²⁻, le pH, la conductivité électrique) ; illustrant la charge en ions minéraux, la concentration en métaux lourds (Fer, Zinc, Cuivre, Cadmium, Plomb, Mercure, Nickel, Argent), les teneurs en micropolluants organiques (hydrocarbures, phénols, pesticides et solvants organiques), les acides gras volatils (AGV) puis les microorganismes pathogènes et non pathogènes.

Le suivi du lixiviat, comprend un suivi de la composition, afin de déterminer le stade d'évolution de la décharge et identifier les facteurs physico chimiques. Gachet (2005), résume les paramètres ainsi que l'intérêt des mesures qui nécessitent un suivi régulier.

Le lixiviat provient de l'eau qui percole à travers les déchets en se chargeant bactériologiquement et chimiquement en substances minérales et organiques dissoutes ou en suspension (Matejka, 1995; Brula *et al.*, 1995; Thonart *et al.*, 2002). Cette définition est très proche de celle adoptée par la législation européenne qui définit le lixiviat comme *tout liquide percolant à travers un dépôt d'ordures et contenu dans la décharge ou émis par celle-ci* (Art 2(i), Directive Européenne sur les décharges, adoptée le 27 avril 1999).

D'une manière générale, la formation de lixiviats à partir des déchets met en jeu une grande diversité de phénomènes, résultant essentiellement du mode d'exploitation du centre de stockage (hauteur de déchets, nature et qualité des déchets, surface exploitée, compactage, âge des déchets, le type de recouvrement etc.) et de l'infiltration des eaux. Ces différents phénomènes peuvent se répartir en deux catégories :

- *Les mécanismes physico chimiques* : l'évolution du pH, du pouvoir tampon, de la salinité et du potentiel d'oxydo-réduction des percolats est le résultat des mécanismes chimiques de solubilisation, complexation, oxydo-réduction, adsorption, neutralisation et transfert de matière (Rodriguez *et al.*, 2000; Lagier *et al.*, 2001; François, 2004; Labanowski, 2004),

- *Les processus biologiques aérobie et anaérobie* : grâce à l'action biochimique des enzymes sécrétées par les micro-organismes du milieu, la fraction organique des déchets est dégradée (Thonart, 2002).

e- Genèse des lixiviats

Quatre phases sont distinguées (Borgés, 1988; Barrés *et al.*, 1990; Moletta, 1993 ; Lanini, 1998):

- *Hydrolyse* : les molécules complexes sont réduites en composés plus petits, solubles. Ainsi, les carbohydrates sont transformés en sucres simples, les lipides en acides gras à courte chaîne et les protéines en acides aminés et peptides. Cette étape peut se dérouler en aérobie partielle.

- **Acidogènèse** : les produits de l'hydrolyse sont dégradés en acides organiques légers (Acides Gras Volatiles), de l'ammoniaque (NH_3), de l'hydrogène et du dioxyde de carbone gazeux.

- **Acétogènèse** : Ces réactions transforment les AGV en acide acétique, hydrogène gazeux et dioxyde de carbone. Cette phase est réalisée par des microorganismes anaérobies.

- **Méthanogènèse** : L'acétate est converti en CO_2 et CH_4 . Les microorganismes méthanogènes sont strictement anaérobies. Ils nécessitent un environnement assez spécifique, qui rend cette dernière étape des processus de dégradation très dépendante des précédentes. **Christensen et al. (2001)** rajoute une dernière phase dite de "*maturation-stabilisation*", qui correspond à la fin de la méthanogènèse, où, entre autres, l'oxygène réapparaît dans le milieu.

De la même manière, d'autres auteurs ont découpé l'évolution des décharges en fonction de la production des gaz (Fig. 22).

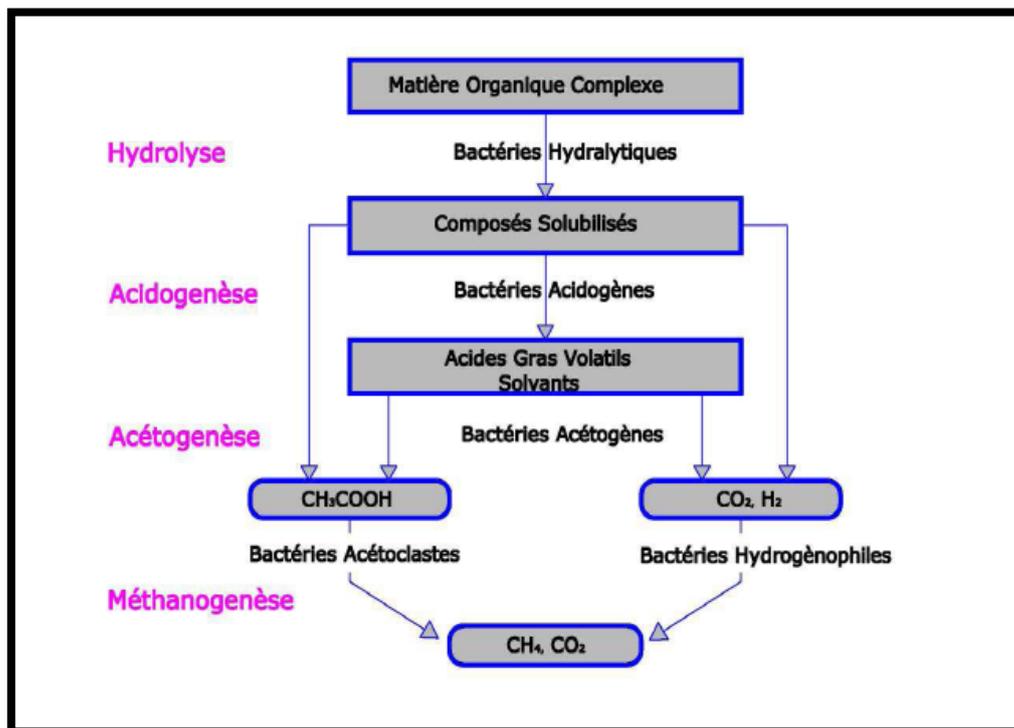


Fig. 22. Mécanismes Biologiques aérobie, anaérobies et physicochimiques dans un massif de déchets (Billard, 2001c)

Pour minimiser les risques pour l'environnement et la santé causés par le lixiviat, il consiste à minimiser la quantité de lixiviat produite. Etant donné que le lixiviat se forme lorsque l'eau vient en contact avec les déchets contenus dans la décharge, il est important alors de limiter la

quantité d'eau (pluie ou de neige) qui y entre. Il faut aussi tenir les eaux souterraines à l' écart de la décharge en s'assurant que la base des déchets se trouve bien au-dessus du niveau maximum annuel de la nappe phréatique et on tapissera le fond de la décharge d'une couche d'argile de faible perméabilité ou par une membrane synthétique.

Dans certaines grandes décharges, le lixiviat est produit en quantités suffisantes, ce qui nécessite un système de collecte du lixiviat (des tuyaux, en PEHD ou en céramique). Il s'agit d'une série de tuyaux situés en ligne droite au fond du casier et installés entre les déchets et la couche d'argile ou la membrane synthétique. Le lixiviat qui est capté et acheminé vers un bassin ou un puits de stockage a travers des collecteurs et traité dans une station de traitement avant de le rejeter dans l'environnement.

f- Impact des lixiviats de décharge

- Sur les eaux souterraines

Lorsqu'ils ne sont pas collectés et traités, les lixiviats peuvent s'écouler et s'infiltrer dans le sol et contaminer la nappe sous-jacente. La migration des lixiviats à travers le sol dépend de la perméabilité du sol et de la zone non saturée de l'aquifère, plus la perméabilité est forte plus le volume et la vitesse d'infiltration sont importants. (**Mehdi, 2008**)

- Sur les eaux superficielles

Le rejet des lixiviats bruts dans les cours d'eau a pour conséquence la modification de leur composition physico-chimique (Khattabi et al ; 2002). Il peut même avoir des effets toxiques sur la faune et la flore à cause de leur charge organique élevée et à la toxicité de certains de leurs polluants. Les principaux problèmes de qualité de l'eau consécutifs à l'introduction des polluants des eaux de lixiviation sont: l'eutrophisation dont les principaux symptômes résident dans la prolifération d'algues et de macrophytes (Kauarkleite, 1990), l'anoxie des eaux, le goût, l'odeur et la coloration indésirables etc.

Son effet néfaste sur la faune et la flore aquatiques se manifeste par la diminution de la productivité biologique du milieu, l'asphyxie des poissons, etc.

Il faut noter que dans le cas où le flux de rejet des lixiviats est faible, par rapport aux capacités d'absorption du milieu, on peut assister à une autoépuration qui peut s'effectuer au fil de l'eau (Ozanne, 1990).

- *Risques environnementaux et sanitaires*

Le plus grand risque lié à la production de lixiviats est la contamination de la nappe phréatique. Cela aurait pour conséquence de polluer les puits d'eau de consommation et donc de priver la population d'un élément vital à sa survie. (Anonyme 2; ND).

En cas de consommation d'eau polluée par les lixiviats, les risques encourus sont des intoxications qui peuvent avoir des conséquences fatales si un suivi médical n'est pas assuré. On signale également que la pollution des réserves d'eau potable par des microorganismes pathogènes est susceptible de provoquer des épidémies.

5.2.2. Biogaz de décharge

a. Origine et composition

Le phénomène de digestion anaérobie s'établit dans les installations de stockage après une première phase de dégradation aérobie. Celui-ci aboutit à la production de biogaz, essentiellement constitué de méthane et dioxyde de carbone.

Suivant les sites, la nature et la quantité de biogaz seront variables. Son captage est rendu nécessaire par la nuisance qu'il présente pour les riverains. (Aina et *al.*, 2006).

La composition du biogaz dépend de nombreux paramètres parmi lesquels on peut citer la nature et la qualité des déchets stockés, le mode d'exploitation du site, l'âge des déchets etc. Dans les premiers mois qui suivent le dépôt, la dégradation de la matière organique conduit à la formation d'hydrogène, d'acides gras volatils et de dioxyde de carbone, tout en consommant de l'oxygène et de l'azote (ADEME ; 2000).

Lorsque le processus anaérobie s'installe durablement, les teneurs en méthane et en dioxyde de carbone se stabilisent respectivement autour de 60 et 40 % (phase méthanogène). A ces deux composés principaux s'ajoutent d'autres familles de composants en particuliers les composés soufrés, des composés chlorés et des hydrocarbures. Les systèmes de drainage permettent de capter jusqu'à environ 75 % du biogaz formé. Les 25 % restants sont émis dans l'atmosphère au travers des fuites dans les systèmes de captage ou par infiltration dans le système de cellulose contenue dans les papiers, cartons, bois, etc (Thonart et *al.*, 2002). Mais la dégradation est incomplète et limitée à environ 75 % (GENDEBIEN ; 1992). La nature des biogaz diffère d'un site à un autre. Il dépend de plusieurs facteurs dont on peut citer l'âge de la décharge et la nature des déchets (Dessachy, 1994). Le méthane et le dioxyde sont les gaz

les plus abondants. Ils représentent respectivement (30-65) % et (34-46)% en volume total des biogaz (Tableau 21).

Tableau 21. Composition et caractéristiques des biogaz de décharge (Dessachy, 1994).

Composé	Concentration	Caractéristiques
CH ₄	30-65 % en volume	Combustible, effet de serre
CO ₂	34-46 % en volume	Corrosif
H ₂ S	0-40 ppm	Odorant, corrosif
Composés soufrés totaux	< 100 ppm	Odorant, effet de serre
Composés halogénés totaux	< 300 ppm	----
Hydrocarbures	< 0,2 %	Odorant
Azote ammoniacal	< 20 ppm	Odorant
Eau	Saturation : 4 % volume à 30 ° C 1,3 % volume à 15 ° C	Corrosif

b. Risques environnementaux et sanitaires

Les biogaz des décharges sont à l'origine d'importantes nuisances qui sont parfois très graves pour la santé et pour l'environnement. Ainsi, le méthane en quantité considérable (30 à 65 % du volume total), présente des dangers d'explosion (une concentration du méthane comprise entre 5 et 15 % en volume) dans un lieu fermé, entraîne des explosions (A.N.R.E.D, 1981).

Le dioxyde de carbone représente aussi un grand danger d'asphyxie au niveau des sites surtout pour les gens qui travaillent à l'intérieur des dépotoirs, les récupérateurs qui fouillent dans les déchets sans aucun moyen de protection.

La présence des composés organo-volatiles toxiques au niveau de ces biogaz, tel que le benzène et le chlorure de vinyle, peuvent entraîner des maladies cancérigènes des poumons et de la peau et parfois même la mort.

Certains composés gazeux résultant de la biodégradation de la matière organique au niveau des décharges tels que les mercaptans (dérivés d'alcool sulfuré) et les hydroxydes de soufre (H₂S) sont à l'origine des odeurs nauséabondes qui se dégagent de tous les sites.

Les incendies qui se produisent au niveau des décharges soit de façon spontanée ou provoquée, entraînent la propagation de certains gaz très toxiques telles que les dioxines et les furannes (Mehdi, 2008).

5.3. Les Nuisances

D'autres nuisances peuvent apparaître, à court et à long terme. Bien qu'une décharge soit un projet à durée limitée, ses effets ne le sont pas. Il est indispensable de considérer les deux étapes de l'impact : pendant l'exploitation et après fermeture et parfois réhabilitation.

Il a été constaté que certains effets peuvent s'inverser. A titre d'exemple, une pollution des eaux souterraines peut se produire bien après la fermeture de la décharge si des mesures compensatoires ne sont pas prises pendant l'exploitation (Mehdi, 2008).

Par contre, l'effet sur l'aménagement local peut être ressenti comme défavorable en cours d'exploitation et devenir un agrément après réhabilitation et/ou fermeture. Le tableau 22 ci dessous résume les principales nuisances pour l'environnement.

Tableau 22. Nuisances et impact

Nature des nuisances	Origines	Impacts
envols	papiers et plastiques, feuilles, textiles	pollution du milieu naturel, atteintes au paysage
odeurs	déchets, fermentation, biogaz	désagréments pour le personnel et les riverains
poussières	circulation des véhicules et engins	désagréments pour le personnel et les riverains
animaux errants	attrait nutritif des déchets	transport de maladies, gêne pour l'aviation, atteinte à la chaîne alimentaire
incendies et explosion	imprudences, déchets incandescents, accumulation de biogaz	danger pour le personnel, nuisances olfactives
bruit	circulation d'engins	désagréments pour le personnel et les riverains
défrichage, déboisement	implantation d'une installation de stockage	appauvrissement paysager, gêne visuel
risques sanitaires	toxicité des déchets, organismes pathogènes	maladies

(MEHDI ; 2008)

5.4. Impact sur la qualité de la vie

Outre ces aspects techniques, il existe d'autres nuisances provenant des décharges ayant un impact environnemental souvent moindre que le biogaz et les lixiviats, mais dont les conséquences sur la vie socio-économique sont plus facilement discernables. L'impact visuel des décharges d'ordures ménagères, couplé avec le problème des odeurs, sont des préoccupations qui doivent être prises en compte lors du choix des sites de décharge. De même, il faut s'assurer que l'acheminement des déchets sur le site ne va pas créer des problèmes de sécurité pour la population voisine.

6. Contexte juridique en Algérie

L'Algérie est l'un des pays qui doivent répondre aux exigences des populations locales mais aussi à d'autres exigences toujours plus strictes et contraignantes auxquelles elle s'est souscrite. Il s'agit notamment des protocoles et conventions internationaux (protocole de Kyoto, convention de Bale, de Stockholm, et de Montréal) visant à préserver la santé et l'environnement.

C'est pour le respect de ces objectifs que l'Algérie s'intéresse à trouver des solutions pour une bonne gestion de ses déchets et qui s'adapte au contexte donné. Comme dans la plupart des pays, on y constate une législation laxiste et un manque cruel de moyens pour faire respecter les quelques textes de loi qui existent. Ce qui conduit inexorablement à la multiplication des décharges sauvages. Dans certains cas, la rigidité des lois ne permet pas de régulariser les situations existantes même s'il semble que les autorités du pays commencent à réagir, un grand retard a été pris et les municipalités sont confrontées à de très gros problèmes en matière de gestion des déchets, l'Algérie a mis en place un dispositif de textes qui régit la gestion des déchets urbains solides et notamment de la loi 01-19. (Journal officiel, 2001).

Cette loi vise à organiser la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets sur la base des principes suivants:

- la prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source,
- l'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets,
- la valorisation des déchets par leur réemploi, leur recyclage et toute autre action visant à obtenir, à partir de ces déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie

- le traitement écologique rationnel des déchets,
- l'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentés par les déchets et leur impact sur la santé et l'environnement, ainsi que les mesures prises pour prévenir, réduire ou compenser ces risques (Anonyme 4).

Il existe d'autres cadres législatifs notamment:

- La loi N°03-10 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable,
- Le décret exécutif n°02-175 portant sur la création de l'Agence Nationale des déchets,
- Le décret exécutif n°04-410 fixant les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations,
- Le décret exécutif n°07-205 fixant les modalités et procédures d'élaboration, de publication et de révision du schéma communal de gestion des déchets ménagers et assimilés,
- Le décret exécutif n°02-372 relatif aux déchets d'emballage,
- Le décret exécutif n°04-199 fixant les modalités de création, d'organisation, de fonctionnement et de financement du système public de traitement et de valorisation des déchets d'emballages «*ECO-JEM*».

7. Types de décharges

La croissance démographique rapide et le développement économique sont les principales sources de l'augmentation du volume de déchets dans les PED. Nous pouvons distinguer deux grands types de décharges : décharges sauvages et décharges contrôlées.

a- Décharges non contrôlées

Elles sont très répandues dans les pays du tiers monde. Elles consistent à mettre les déchets sans aucun traitement préalable dans des dépotoirs n'ayant subi aucune étude appropriée du site. Ce sont généralement les anciennes carrières qui sont exploitées comme décharges sauvages.

b- Décharges contrôlées

Généralement, elles peuvent être classées en cinq grandes familles de mise en décharge (Ozanne, 1990).

- Décharge contrôlée traditionnelle

Elle consiste à étaler les déchets en couches successives d'une épaisseur modérée (0,5 à 2 m) puis les recouvrir en fin de jour par une couche constituée de matériau inerte de 10 à 30 cm d'épaisseur (argile par exemple). Les déchets évoluent en aérobiose, l'air pénètre à travers les déchets.

- Décharge contrôlée compactée

C'est une technique qui permet de prolonger la durée de vie d'une décharge. Elle consiste à compacter les déchets avant leur mise en décharge. Leur densité augmente et l'air contenu dans les déchets est chassé. Le compactage aboutit à la formation d'un ensemble peu perméable, les risques d'incendie sont très faibles. Toutefois, les déchets évoluent en anaérobiose produisant ainsi des biogaz chargés de composés malodorants. La production des lixiviats chargés en matière polluante, est très importante.

- Décharge aérobie

C'est un mode de gestion différent des deux précédents. Il consiste à trier lors de la collecte, les matériaux fermentescibles des matériaux inertes. Les déchets fermentescibles sont ensuite broyés et mélangés à l'aide de matériel très spécial et mis dans le site pour fermentation. Les déchets inertes subissent un autre traitement à part. Cette technique requiert une surface d'exploitation beaucoup plus importante, elle permet de limiter la formation des lixiviats grâce à la fermentation thermophile.

- Décharge d'ordures broyées

Les déchets sont broyés avant leur mise en décharge. Ils sont réduits à des fragments dont le plus grand a une taille de l'ordre de 10 cm. La masse obtenue est très homogène et laisse l'air circuler, ce qui facilite une fermentation aérobie accélérée. Cependant, la production de lixiviats fortement pollués est très importante à la suite de la circulation de l'eau à travers les déchets, elle est plus ou moins égale à celle des décharges compactées.

- Décharge en balles

Cette technique est très utilisée en Allemagne et en Grande-Bretagne. Elle consiste à comprimer les déchets à une densité d'environ 0,9, puis les mettre en balles ligaturées d'un volume de 1 à 5 m³. Les balles sont ensuite rangées dans le site de décharge par couches successives. Les lixiviats sont produits en grande quantité mais ils sont peu chargés en

matière polluante du fait que l'eau qui s'infiltré, circule préférentiellement entre les balles sans les pénétrer.

Enfin, le rôle et la responsabilité des acteurs de la gestion des déchets sont récapitulés au tableau ci-dessous.

Tableau 23. Rôles et responsabilités des acteurs de la gestion des DUS en PED
(Charnay, 2005).

Acteurs	Responsabilités	Rôles
Secteur public	<ul style="list-style-type: none"> - Service de tutelle - Distributeur des tâches entre ONG et entreprises - Coordination des activités d'assainissement de la ville - Veille à l'application des lois et textes - Amendement et répression si Nécessaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Délivrance des autorisations d'interventions - Evacuation des déchets des dépotoirs de transit vers la décharge finale - Elaboration et mise en application de textes réglementaires sur la gestion des déchets - Sensibilisation, éducation, dissuasion, répression si nécessaire des populations
Secteur privé	<ul style="list-style-type: none"> - Respect des engagements vis-à-vis des partenaires, - Offre d'un service de qualité aux Abonnés 	<ul style="list-style-type: none"> - Création d'emploi - Sensibilisation, éducation des populations - Evacuation des déchets des dépotoirs de transit vers la décharge finale - Suivi et évaluation des activités de Ramassage
Secteur informel	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution du gisement et déchets entrants en décharge 	<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilisation, éducation des populations - Vente des recyclables et réutilisables - Tri des déchets urbains
Population	<ul style="list-style-type: none"> - Respect des conditions de mise en poubelle - Paiement des redevances et taxes - Respect des normes d'hygiène Publique 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en poubelle des déchets devant leur concession - Sensibilisation et information - Participation aux activités de salubrités et d'hygiène du quartier
ONG et associations	<ul style="list-style-type: none"> - Aide à l'assainissement des quartiers 	<ul style="list-style-type: none"> - Organisation des rencontres - Sensibilisation et information dans les rues et les concessions - Appui pour l'évacuation et le suivi - Appui technique et financier - Relation avec d'autres partenaires

Selon Millot et Ramade rapporté par Berthe en 2006, la composition des lixiviats, n'est pas constante au cours du temps, elle évolue en fonction de l'état de dégradation des déchets (Tableau 24).

Plusieurs auteurs ont étudié la composition d'un lixiviat pendant les deux premières phases de biodégradation de la matière organique sur des déchets enfouis et d'autres pendant toutes les

phases, les gammes de valeurs correspondantes sont données dans le tableau. Les concentrations en AGV sont très élevées en début de dégradation. Ce sont de bons indicateurs de la phase acidogènes (pH < 7). En phase méthanogènes les lixiviats issus de la biodégradation des déchets ont une charge organique plus faible que les lixiviats issus de déchets en phase acidogène avec un (pH > 7).

Tableau 24. Classement de lixiviats selon l'âge de la décharge (Millot, 1986; Ramade, 1998).

	Lixiviats jeunes	Lixiviats intermédiaires	Lixiviats stabilisés
Age de la décharge	<5ans	5 à 10 ans	à 10 ans
Ph	<7	=7	>7
DCO (gO ₂ .L ⁻¹)	>20	3 à 15	>2
Biodegradabilité DBO5/DCO	Moyenne 0.3	Assez faible 0.1 à 0.3	Très faible <0.1
Concentrations en acides organiques	Forte >80% du COD	Moyenne 20% à 30% du COD	Nulle
Charge organique	Prédominance des acides gras volatils AGV	Réduction des acides gras volatils AGV	Prédominance des macromolécules
Profile en GLC (Chromatographie Liquide sur Gel)	Rareté des composés a haut poids moléculaire (PM)	Mélange de composés organiques de PM> 500 Da et de faible PM	Prédominance des composés organiques de PM élevé (>5000Da)

Nous remarquons à travers la lecture du tableau pour une même phase, des différences de concentrations des différents paramètres qui caractérisent les lixiviats. Les facteurs liés au site (condition d'enfouissement, climat) et aux déchets (Composition, quantité) ont de forts impacts sur la production et la qualité des lixiviats (El-Fadel *et al.*, 2002). Les caractéristiques de chaque site et les vitesses de dégradation des déchets sont variables d'une décharge à une autre et sont la cause de la variabilité des gammes de valeurs données par chaque auteur et par conséquent il est difficile d'attribuer une durée à chaque étape de dégradation (Berthe, 2006).

Nous observons également des différences de la charge organique et une teneur en métaux plus faible en phase méthanogènes. D'après Christensen et al, 1994, rapporté par Berthe en 2006, les valeurs extrêmes qui peuvent être retrouvées dans un lixiviat sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 25. Composition moyenne d'un lixiviat en phase acidogène et méthanogène (Berthe, 2006).

Paramètres	Acidogènèse (Ehrig, 1989 Robinson et Gronow, 1993)	Méthanogènèse (Ehrig, 1989 Robinson et Gronow, 1993)	Acidogènèse (Kjeldsen et al., 2002)	Méthanogènèse (Kjeldsen et al 2002)
pH	4,5 -7,8	6,8 – 9	4,5 -7,8	6,4 -9
DBO5	4000 – 68000	20 – 1770	500 - 68000	0,5 - 1770
DCO	6000 – 152000	500 – 8000	400 - 152000	1 - 8000
COT	1010 – 29000	184 – 2270	350 - 29000	14 – 2270
AGV	963 – 22414	5 – 146	/	/
SO42-	5 – 1750	5 – 420	4 - 2800	1 – 1190
Ca,	10 – 6240	20 – 600	/	/
Mg	25 – 1150	40 – 478	/	/
Fe	20 – 2300	1,6 – 280	0,1 - 2300	0,2 – 330
Mn	0,3 – 164	0,03 – 45	/	/
Zn	0,1 – 140	0,03 -6,7	0,02 - 200	0,005 - 9
Cu	0,13	0,13	0,003 -1,1	0,007 -0,6
Cd	0,02	0,015	0,002 -0,10	0,0001 -0,9
Cr	0,13	0,090	0,01 – 1,5	0,0001 -0,7
Ni	0,4	0,17	/	0,036 – 0,6
Pb	0,28	0,2	/	0, 0001 – 1,9

(Unités: mg/L sauf le pH).

Conclusion

Les décharges sauvages constituent actuellement un impact négatif sur l'environnement (air, sol et eau souterraine). Plusieurs aspects de dégradation environnementale ont été observés et seront étudiés dans la suite de ce travail, notamment, l'impact des décharges (lixiviats) sur l'évolution qualitative des eaux souterraines.

CHAPITRE V

IMPACT DE LA DECHARGE D'EL HARROUCH

Introduction

Depuis plus de cinquante ans, la pollution est l'un des plus graves problèmes auxquels est confronté notre monde moderne. On entend par pollution, la présence dans l'environnement de grandes quantités de produits dangereux, généralement créés par l'homme, dont les effets nuisibles peuvent se faire durant de longues périodes sur toute la planète. Cette pollution peut affecter l'eau, l'air, la terre et donc l'être vivant. Les pollutions apparaissent actuellement d'origine, de nature, de forme et d'actions multiples et se révèlent comme un problème majeur de notre temps (Berchane, 2011).

La lutte contre la pollution de l'environnement exige le recensement des sources éventuelles de pollution, d'origine industrielle, agricole ou urbaine, la connaissance de la nature et du caractère du polluant (toxique ou nocif), ainsi que sa teneur par rapport aux normes.

1. Situation géographique de la décharge

El-Harrouch, une petite ville, jouit d'une situation extraordinaire, car elle se retrouve sur un axe de développement majeur reliant la ville de Skikda et les métropoles de Constantine et Annaba, la route nationale N°3 (Bouraoui, 2007).

La commune d'El Harrouch est située géographiquement au Nord-est du pays et au Sud de la wilaya de Skikda (Fig.23). Sa surface globale est de l'ordre de 102 km². Elle est limitée au Nord par la commune d'Emjez Edchich, au Nord-est par la commune de Salah Bouchaour, au Sud-est par la commune des Zardézas, au Sud-ouest par la commune d'Ain Bouziane et au Nord-ouest par la commune de Sidi Mézghiche.

La décharge publique d'El Mechmes est l'une des nombreuses décharges non contrôlées de l'Algérie. Comme toutes les décharges algériennes, elle constitue un dépotoir sauvage à ciel ouvert situé à 7 Km à l'Est de la ville d'El Harrouch. Elle s'étale sur une superficie de 20 ha. Depuis 1999, l'accès au site est assuré par une route secondaire bitumée mais de mauvaise qualité.



Fig. 23. Situation géographique de la région d'El-Harrouch (Ayad, 2016)

La topographie de la zone est caractérisée par un relief montagneux autour du site choisi. Les habitations sont pratiquement absentes, le site est éloigné des zones urbaines et agricoles. La décharge reçoit 1200 tonnes par mois et sa capacité d'accueil est de 3000 tonnes.

2. Matériel et méthodes

Les sites de décharge constituent une source potentielle de contamination, qui peut provoquer la dégradation de la qualité de l'atmosphère, la détérioration des sols, l'atteinte à la santé humaine et la contamination des eaux de surface et des eaux souterraines.

La source principale de la dégradation de la qualité des eaux de la nappe est liée à l'infiltration et la percolation des eaux de lixiviats.

Les lixiviats, apparaissent comme des vecteurs importants de la pollution dont l'étude se justifie dans l'évaluation du risque que présentent les décharges pour les eaux. Ils sont donc la source polluante majeure des décharges sur l'environnement, et suivant leur toxicité et leur dilution, les modifications du milieu environnant ne seront pas les mêmes. Ce milieu peut être divisé en deux parties, les eaux (superficielles et souterraines) et le sol.

La contamination peut avoir lieu par rejet direct sur le sol, ou par infiltration et/ou percolation des effluents, traités ou non, dans le réseau hydrographique de surface et le détériorer. Les effets de ces deux types de contamination peuvent interagir :

- d'une part, pour le réseau hydrographique superficiel, suite à la détérioration des écosystèmes aquatiques, en particulier liée au problème d'eutrophisation qui menace la vie piscicole par asphyxie, et également d'alimentation en eau potable.
- d'autre part, ces sites reçoivent les déchets sur des surfaces naturelles, provoquant la contamination des sols et peut avoir plusieurs impacts sur la santé humaine, en touchant les nappes phréatiques d'une part et en contaminant les cultures d'autre part.

Dans le cadre de cette problématique environnementale, l'objectif de cette étude est de:

- déterminer les risques auxquels sont exposés les écosystèmes, ainsi que les riverains proches des décharges d'ordure de la zone,
- évaluer l'impact de la décharge sur la qualité des eaux (superficielles) et des sols des bassins versants,
- délimiter le périmètre d'influence des lixiviats issus de la décharge.

2.1. Méthodes d'investigation

Cette étude porte sur l'identification et l'évaluation des risques des sites de stockage des déchets (décharges), susceptibles d'avoir un impact direct sur les eaux des bassins, ainsi que sur les sols. La démarche adoptée comporte les étapes suivantes :

- Première étape

Cette étape consiste à établir un diagnostic de tous les dépotoirs sauvages présents dans notre zone, avec l'élaboration d'une caractérisation environnementale pour chaque dépotoir. Cette mission avait pour objectif d'identifier, ainsi d'inventorier tous les dépotoirs sauvages, l'établissement des fiches d'inventaires permettant l'acquisition de données "facilement accessibles" concernant la situation administrative, géographique, topographique et géologique des décharges ainsi la nature et la quantité des matériaux susceptibles d'y avoir été déposés. Ces fiches devraient répondre à un nombre de critères, caractérisant les sites étudiés.

- Seconde étape

Il s'agit d'évaluer le risque que présentent les décharges sur le milieu récepteur. Elle consiste à l'analyse des cartes géologiques et topographiques pour déterminer la nature géologique des terrains, la situation de la décharge par rapport aux écoulements afin de dégager les points présentant un risque particulier pour "les eaux des bassins".

- Troisième étape

Cette phase comporte la détermination de l'impact de ces décharges sur les eaux de surface en priorité et à un degré moindre sur les sols, ainsi que l'évaluation des risques présents dans ces sites. La mise au point d'un tel outil d'évaluation nécessite l'analyse des flux liquides issus des décharges, c'est-à-dire les lixiviats. Le traitement nécessite une approche de l'évaluation physico-chimique des principaux paramètres de qualité des eaux (conductivité, pH, métaux, ions...). Elle consiste à la réalisation d'études sur le terrain et au laboratoire.

2.2. Echantillonnage sur le terrain

Suivant le cours d'eau le plus proche de la décharge, quatre sites ont été choisis : le premier, au niveau de la décharge, le second à 100 m de la décharge, le troisième à 500 m de la décharge et le dernier au niveau de la jonction avec le milieu caractéristique de la zone humide (oued). Pour chaque point, on a effectué deux prélèvements (Fig. 24) :

- quatre prélèvements de sol en surface (10 cm de profondeur) effectués à l'aide d'une tarière et qui a fait l'objet d'une description morphologique (texture, structure, couleur...etc.),
- trois prélèvements d'eau superficielle réalisés à l'aide d'un récipient de 0,5 litres,
- trois prélèvements pour les lixiviats.

2.3. Analyses au laboratoire

Pour le sol, les analyses porteront sur les formations superficielles et permettront d'évaluer les caractéristiques des sols et mesurer leur aptitude à favoriser ou non les divers processus d'approvisionnement des eaux courantes de décharge. La caractérisation des propriétés des sols se fera à travers la détermination des paramètres suivants: pH_{eau} , pH_{KCl} , conductivité électrique (CE), mesure de la densité (D), la porosité (por), l'humidité (H), la teneur en matière organique (MO) et analyse granulométrique des échantillons de sol.

Ces études permettront de comprendre les mécanismes d'adsorption et de désorption des polluants lors de leur migration.

Ainsi les analyses portent également sur les éléments traces métalliques (ETM) afin d'évaluer le risque de la contamination des sols exposés.

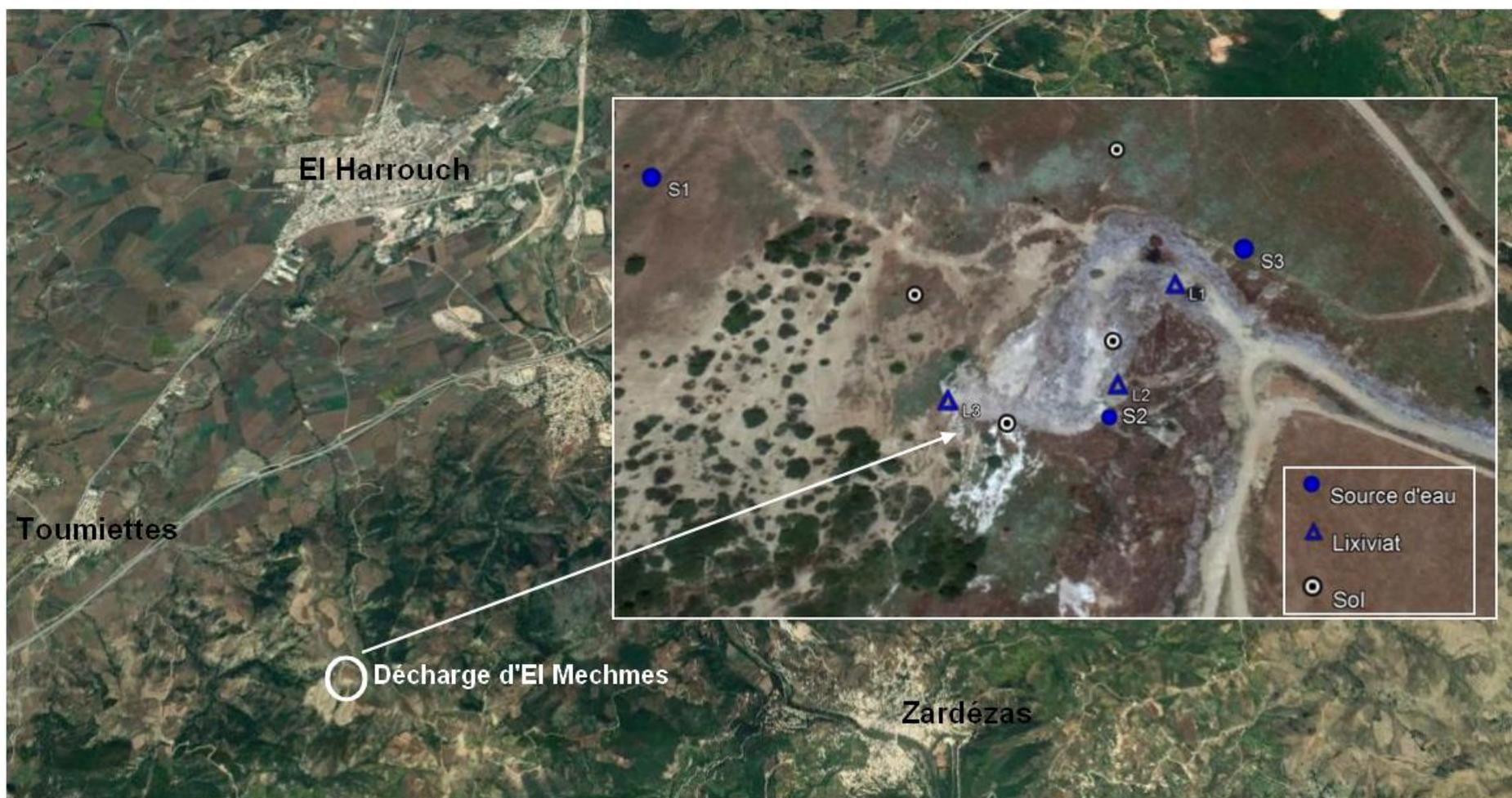


Fig. 24. Situation de la décharge d'El Mechmes et points de prélèvement d'échantillons

Pour l'eau, les prélèvements effectués ont porté sur l'analyse des paramètres physiques : pH, matières en suspension (MES), conductivité électrique (CE), nutriments (nitrate - (NO_3^- , ammonium ou NH_4^+ et phosphore ou PO_4^{3-}) ainsi que l'analyse des éléments traces métalliques tels que le cadmium (Cd), le cuivre (Cu), le Plomb (Pb), Mercure (Hg) et le Zinc (Zn). Les méthodes d'analyses sont brièvement décrites en Annexe.

3. Résultats et discussion

Pour apprécier l'impact de la décharge sur les ressources en eau (tableaux 26 et 27), on a utilisé trois sources d'eau comme témoins. Les résultats obtenus pour le mois d'avril 2015 sont comparés aux valeurs guides (ou normes) données au tableau 28.

Tableau 26. Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau.

Paramètres	Source 1	Source 2	Source 3	Normes
pH	6,27	6,72	6,82	4,5-9
T (°C)	18 ,5	18 ,9	18,5	-
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	591	658	744	2500-35000
O_2 dissous (%) ¹	102%	105%	111%	-
Nitrates (mg/l)	5,5	10,5	5, 23	50
Nitrite (mg/l)	0,015	0,013	0,012	0,5
DBO_5 (mg/l)	3	2	2	20-57000
DCO (mg/l)	3	2,5	1	140-152000
TDS (mg /l)	572	642	728	-
MES (mg /l)	1	3	1	-
Salinité (g/l)	0,1	0 ,1	0,2	0,02-1,5

Tableau 27. Résultats d'analyses chimiques des lixiviats (moyenne du mois d'Avril 2015).

Paramètres	Lixiviat 1	Lixiviat 2	Lixiviat 3	Normes de rejets algériennes
Pb (mg/l)	0,45	0,45	0,45	1
Hg (mg/l)	0,0088	0 ,0092	0,082	0 ,5
Cu (mg/l)	1,2	1,3	1,2	5
Cd (mg/l)	0,1	0, 18	0,15	0 ,2
DBO_5 (mg/l)	200	543 ,5	880	40
DCO (mg/l)	780,0	1185,6	1700	120

¹ Les valeurs de l'oxygène dissous (> 100%) indiquent que la sonde de mesure n'est pas bien étalonnée et par conséquent, les résultats de l'analyse sont rejetés et ne peuvent faire l'objet d'une interprétation.

Tableau 28. Normes physico – chimiques des eaux souterraines (NA., 1992 ; OMS, 1994).

Paramètre	Unité	Normes O.M.S	Normes Algériennes.	Normes Françaises.
Température.	°C	/	25	25
pH	/	7,85	6,5-9	6,5-9
Conductivité Electrique 20°C (CE)	µs /cm	/	2800	/
Turbidité	NTU	5	5	2
Oxygène Dissous	O ₂	5	5	5
Chlorures	mg/l	/	500	200
Dureté Totale	mg/l de CaCO ₃ .	500	200	/
Calcium	mg/l	/	200	/
Magnésium	mg/l	/	150	50
Nitrates	mg/l	50-100	50	50
Nitrites	mg/l	/	0,1	0,1

Les lixiviats étudiés, présentent une couleur brunâtre et une odeur fécaloïde indiquant l'influence des déchets sur la qualité des eaux. L'interprétation des analyses montre les différents paramètres de pollution organique des eaux superficielles et donne des résultats sur la contamination ou non des eaux.

En effet, ces résultats montrent une importante charge polluante véhiculée par les lixiviats (Cuivre =1,2 mg /l ; DCO= 1700 mg/l).

Le traitement des résultats montre une dégradation des zones polluées où on a pu observer les valeurs suivantes dans le sol (Cuivre =36 mg/kg, Plomb = 42,3 mg/kg). Ces valeurs dépassent les normes de potabilité de l'eau.

4. Les caractéristiques physiques

4.1. La température

La température de l'eau varie entre 15,2°C et 29,8 °C alors que celle des lixiviats varie entre 17,8°C et 31,5°C. Le maximum est observé durant le mois d'Août et le minimum durant le mois de février (Fig. 25). La température de l'eau et des lixiviats augmente, en général de Février à Octobre.

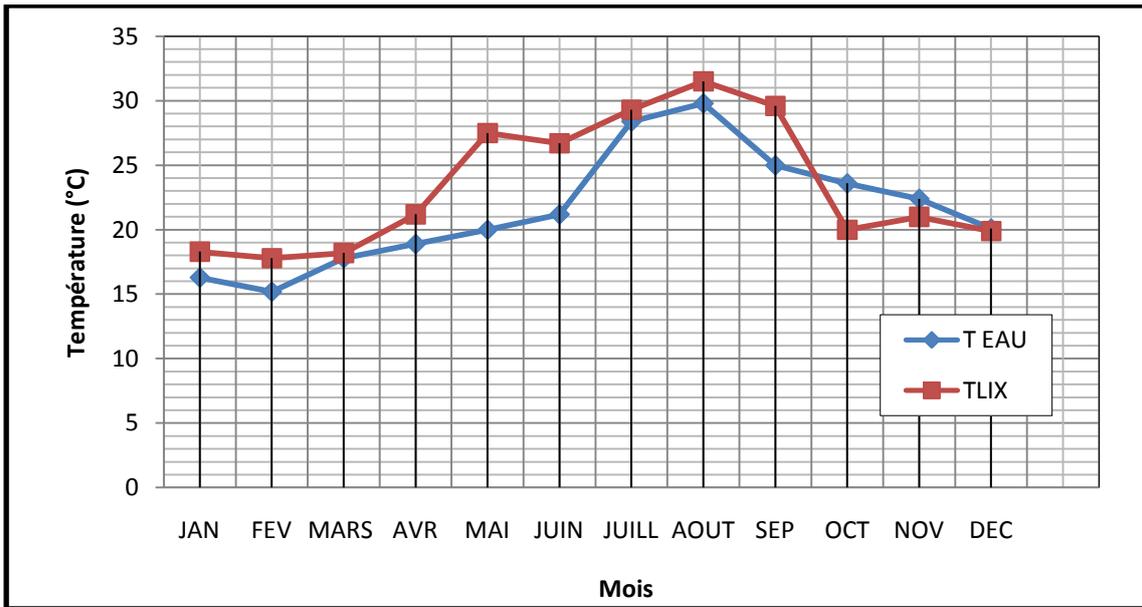


Fig. 25. Évolution de la température de l'eau et des lixiviats

4.2. Le pH

Les valeurs du pH varient entre 6,2 et 8,3 pour les eaux de la nappe et 8,1 à 9,2 pour les lixiviats. Le pH le plus acide est mesuré pendant le mois d'Octobre (Fig. 26). Pour le pH des lixiviats, il est trop basique; le maximum est observé durant le mois de Septembre et le minimum en Février.

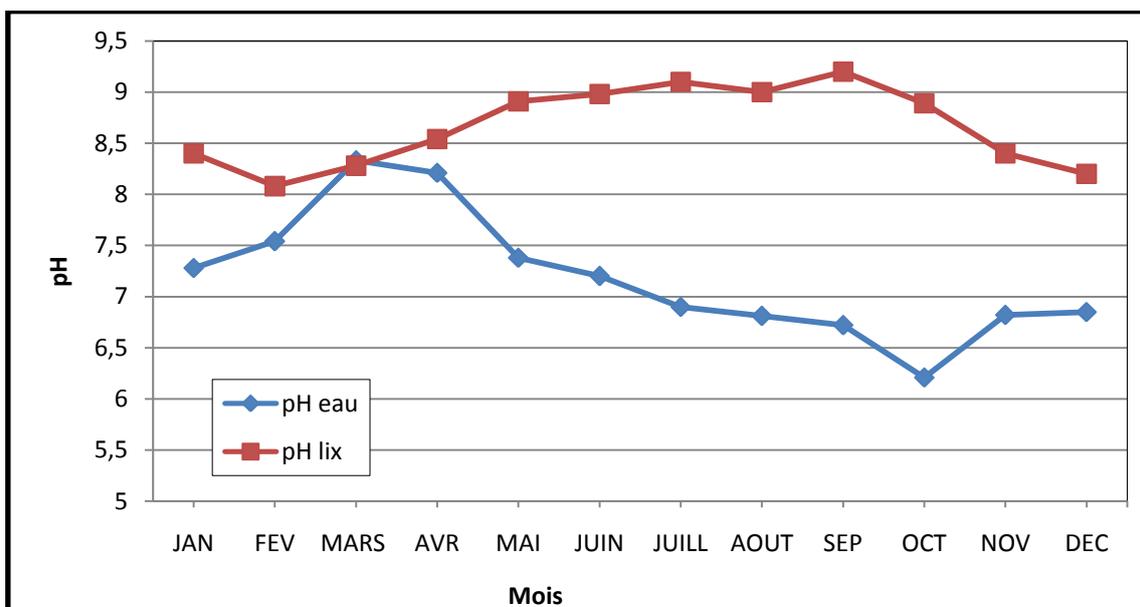


Fig. 26. Évolution du pH de l'eau et des lixiviats

4.3. La conductivité électrique (CE)

Les valeurs de la conductivité électrique s'échelonnent entre 572 et 728 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans l'eau et varient de 2260 à 9670 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans les lixiviats (Fig. 27). Les fortes valeurs des lixiviats ont été enregistrées en saison sèche par contre on a constaté qu'à cause du phénomène de dilution, des faibles conductivités ont été obtenues dans la saison humide.

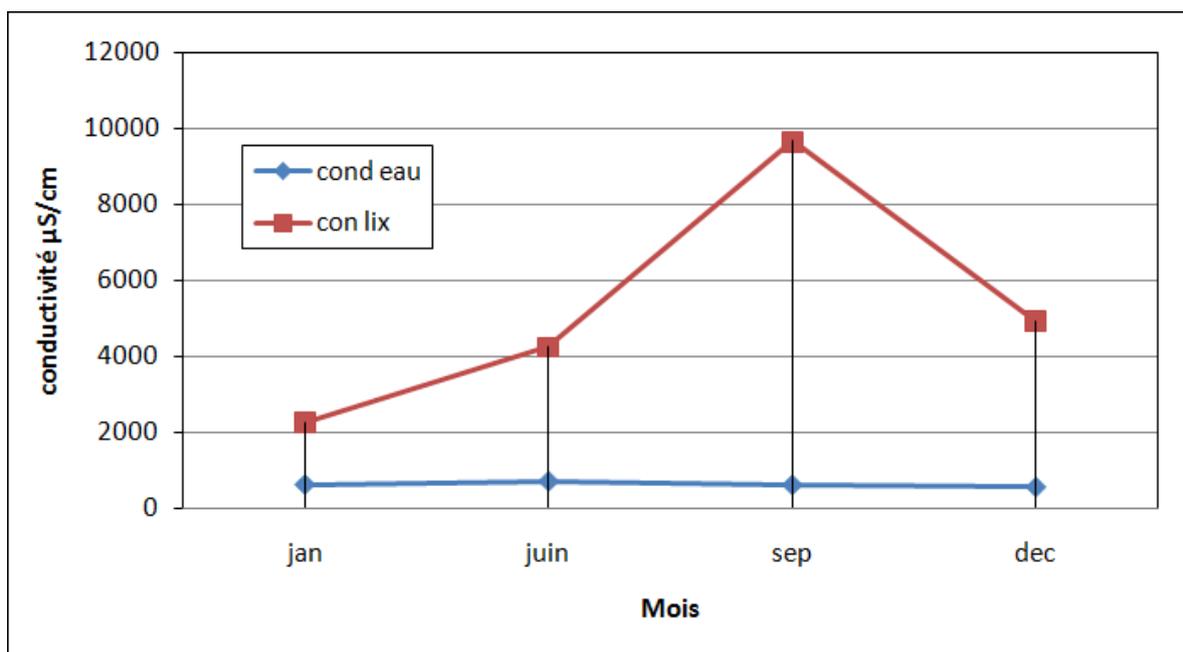


Fig. 27. Évolution de la conductivité électrique de l'eau et des lixiviats

5 .Analyse des sels nutritifs

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau . Les valeurs enregistrées oscillent entre 5,23 mg/l et 10,5 mg /l dans l'eau et des valeurs dépassent les normes dans le lixiviat ou la concentration maximale admise par l'OMS est 50 mg/l.

Les nitrites proviennent, soit d'une réduction des nitrates, soit d'une oxydation incomplète des ions ammonium. Les teneurs en NO_2^- des lixiviats sont faibles et sont comprises entre 0,015 et 0,1 mg/l dans l'eau. Ces faibles teneurs sont dues aux valeurs probablement faibles de l'oxygène dissous, par contre dans les lixiviats, les valeurs dépassent les normes ou la concentration admise par l'OMS est 0,1 mg/l.

6. Analyse des éléments organiques

6.1. Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La DCO représente la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables chimiquement contenues dans l'eau. Elle est représentative de la majeure partie des composés organiques et des sels minéraux oxydables. Les valeurs obtenues varient entre 1185,6 mg/l dans la période humide et 1700 mg/l dans la période sèche. Ces teneurs indiquent qu'il y a une forte charge organique.

6.2. Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅)

Khatabi (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 la période chaude, on note un réchauffement des eaux du lixiviat permettant ainsi une intensification de l'activité des bactéries. Celles-ci vont permettre la dégradation de la matière organique biodégradable présente dans le lixiviat. 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.

A l'opposé de la DBO₅, on note une augmentation de la DCO probablement due aux produits des composés de biodégradation incomplète par les bactéries.

La DBO₅ est un indicateur de la pollution organique des eaux. Elle exprime le niveau de biodégradabilité de l'effluent (Makhoukh, 2011). Dans la décharge d'El Mechmes, les concentrations en matières organiques biodégradables (DBO₅) dans le lixiviat varient entre (543,5 mg/l) durant la période humide et (880 mg/l) pendant la période sèche. Les valeurs du rapport sont comprises entre 0,45 et 0,51 montrant que le jus de poubelle de cette décharge non contrôlée est riche en matière organique biodégradable. Le rapport DBO₅/DCO est supérieur à 0,5 pour les lixiviats jeunes et inférieur à 0,1 pour les lixiviats stabilisés.

La valeur de 0,48 et le pH basique (8,7) indiquent que ce lixiviat est jeune à cause de fortes valeurs de DBO₅ et DCO.

7. Les éléments métalliques

La toxicité des métaux lourds est fonction de leur concentration : Ils peuvent être indispensables pour la vie à de très faibles doses (micronutriments pour la transformation enzymatique) et devenir des inhibiteurs ou des toxiques pour le système biologique au-delà de certain seuil de concentration. Les activités humaines constituent actuellement la source principale de certains métaux qui à l'état de traces sont déjà toxiques pour l'homme. C'est le cas du Mercure, du Nickel, du Plomb, du Chrome, du Cobalt, du Cadmium et de l'Arsenic.

Les métaux peuvent être classés en trois catégories: toxiques couramment rencontrés, toxiques rares et non toxiques (tableaux 29 et 30).

Tableau 29. Classification des métaux dans l'environnement suivant leur toxicité (Boucenna, 2010).

Toxique courant	Toxique rare	Non toxique
Be, As, Ag, Co, Sb, Hg, Ni, Bi, Au, Cu, Se, Pd, Zn, Te, Pt, Cd, Sn, Pb.	Ti, Ga, Hf, La, Zr, Os, W, Rh, Nb, Ir, Ta, Ru, Re, Ba.	Ca, Na, Sr, K, Al, Rb, Fe, Mg, Si.

Tableau 30. Effet d'un excès ou d'une pénurie de quelques minéraux sur la santé humaine (Essouli, 2005).

Elément chimique	Pénurie	Excès
Chrome (Cr)	Artériosclérose	Nécrose tubulaire des reins
Cuivre (Cu)	Anémie, croissance réduite	Cirrhose hépatique D, désordre, perte d'élasticité des artérioles du métabolisme du cuivre
Fluor (F)	Ostéoporose Fluorose dentale	Ostéoscicrosis
Fer (Fe)	Anémie	Irritation gastro-intestinale
Magnésium (Mg)	Balance d'électrolytes perturbés	Muscles
Phosphore (P)	Faiblesse, mal aux os	Blessures des reins, du foie
Potassium (K)	Hypokaliémie, Muscles	Diarrhée, néphrotoxicité
Zinc (Zn)	Appétit et croissance réduits	Irritabilité

7.1. Résultats des analyses du lixiviat

L'examen des résultats montre que les métaux toxiques sont relativement faibles dans le lixiviat. Le cuivre est le métal le plus abondant dans le lixiviat de l'ordre de 1,2 mg/l dans la période humide, au mois de décembre. Les autres éléments sont répartis comme suit :

Plomb : 0,45 mg/l au mois de décembre, Cadmium : 0,15mg/l, Mercure : 0,0088 mg/l.

La charge métallique dans le lixiviat de la décharge, montre que les métaux lourds présentent une variation saisonnière considérable (tableau. 31).

Tableau 31. Éléments métalliques, matières organiques et sels nutritifs du lixiviat et des sols.

Paramètres	Unités	Lixiviats Période sèche	Lixiviats période humide	Normes	Sols	Normes
Cadmium	mg/l	0,15 mg/l	/	0,2	33,2 mg/kg	3mg/kg
Cuivre	mg/l	1,2 mg/l	/	1,2	36,5 mg/kg	100mg/kg
Mercure	mg/l	0,0088 mg/l	/	0,01	1,5 mg/kg	1mg/kg
Plomb	mg/l	0,45 mg/l	/	0,5	42,3 mg /kg	100mg/kg

7.2. Résultats des analyses du sol

Dans le sol, les métaux les plus abondants sont : le Plomb avec une teneur de 42,3 mg/kg, le Cadmium : 33,2 mg /l, le Cuivre : 36,5 mg/l ; le Mercure : 1,5 mg/kg.

Conclusion

L'étude des caractéristiques physico-chimiques et des métaux lourds a révélé :

- un pH basique, des fortes valeurs de DCO et DBO5 par rapport aux normes de l'OMS.
- des valeurs de conductivité très importantes.
- un rapport $DBO_5/DCO = 0,48$.

Ces résultats montrent qu'il s'agit d'un percolât jeune et instable, véhiculant une importante charge polluante en matières organiques.

L'absence d'un système de récupération des lixiviats, et en présence d'un sol perméable et d'une nappe circulant à de faibles profondeurs donne des percolas, qui après leur génération 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 (Chofqi et al ,2009).

Selon les normes préconisées par l'OMS, les eaux souterraines de la région sont impropres à la consommation humaine. Elles sont confrontées à un sérieux problème de pollution par les métaux lourds, notamment par le Plomb, le Chrome et le Fer. Ces derniers, lorsqu'ils sont présents à des concentrations faibles, sont à considérer également à cause des phénomènes de toxicité chronique et des effets d'interaction. Ils représentent ainsi des risques certains pour la santé des populations et pour la qualité des ressources naturelles (Djorfi et al., 2010).

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATIONS

L'évaluation de l'impact des décharges sauvages d'El Mechmès sur l'environnement d'une manière générale et sur les sites humides en particuliers, a permis de réaliser un inventaire de ces décharges, d'une part, et la caractérisation du sol et de l'eau provenant de ces décharges, d'autre part. A l'issu de cet inventaire, il ressort qu'elles sont toutes situées soit dans le bassin versant d'un site humide, soit très proche de la zone humide proprement dite. La caractérisation du sol prélevé à différente distance de la décharge et de la zone humide révèle que la texture de ces sols et souvent propice à l'infiltration et la percolation des lixivats provenant des décharges.

Le transport et l'évacuation des produits hydrosolubles contenus dans les décharges sont assurés par les eaux de pluie qui se concentrent pour former des ruisseaux et des oueds qui alimentent les zones humides. La caractérisation des ces eaux à travers un transept «*décharge-zone humide*» a montré le rôle que joue ces derniers dans la dispersion et la dilution des composées générés par l'évolution des déchets de toute nature. Parmi ces déchets, nous avons évalué les éléments traces métalliques.

Les résultats montrent que la concentration des ces éléments reste encore dans les normes néanmoins on a noté une différence de concentration entre la source et la zone d'accumulation.

Lors de ce travail, on a également constaté le lien entre l'effet de la décharge et la distance qui sépare cette dernière de la zone humide : plus la décharge est loin plus l'effet est faible. Cela peut être expliqué par le rôle que joue le sol dans la rétention de certains éléments sur le complexe adsorbant «*sol comme agent d'épuration* » ou par l'effet de certaines plantes qui poussent sur le bord des cours d'eau et qui jouent un rôle dans l'accumulation de certains métaux lourds.

L'étude des caractéristiques physico-chimiques et des métaux lourds a révélé :

- un ph basique, des fortes valeurs de DCO et DBO₅ par rapport aux normes de l'OMS,
- des valeurs de conductivité très importantes.
- un rapport DBO₅/DCO de l'ordre de 0, 48.

Ces résultats montrent qu'il s'agit d'un *percolât jeune et instable* véhiculant une importante charge polluante en matières organiques.

L'absence d'un système de récupération des lixiviats, et en présence d'un sol perméable et d'une nappe circulant à une faible profondeur, ces percolâts, après leur génération, 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.

Selon les normes préconisées par l'OMS, les eaux souterraines de la région sont impropres à la consommation humaine. Elles sont confrontées à un sérieux problème de pollution par les métaux lourds, notamment par le plomb, le chrome et le fer. Ces Derniers lorsqu'ils sont présents à des concentrations faibles sont à considérer également à cause des phénomènes de toxicité chronique et des effets d'interaction. Ils représentent ainsi des risques certains pour la santé des populations et pour la qualité des ressources naturelles.

L'âge de la décharge conduit aux recommandations suivantes pour éviter tout risque d'impact des décharges sauvages :

- stabilisation du site de la décharge,
- fermeture de la décharge d'El Harrouch et faire un CET,
- construction de levée de terre et/ou d'une route périphérique pour délimiter le site et protéger les flancs de la décharge,
- mise en place 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 percolâts,
- installation d'un système de récupération des biogaz pour éviter le risque d'incendie ou d'explosion.
- projeter la réutilisation du site à d'autres fins.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aboulem S. (2005). Recherche d'une méthode d'analyse du fonctionnement des usines de tri-compostage des déchets ménagers. Fiabilité des bilans matière ; Thèse de Doctorat; Institut National Polytechnique de Toulouse; Ecole Nationale supérieure Agronomique de Toulouse.

ADEME (1999). Composition des ordures ménagères en France (données et référence), 60 pages.

ADEME (2000). Déchets municipaux 2 ème édition. ADEME édition, Paris, 11 pages.

Aina P. (2006). Expertise des centres d'enfouissement des déchets urbains dans les PED: contribution à l'élaboration d'un guide méthodologique et sa validation expérimentale. Thèse de doctorat, Université de Limoges.

Alm E., Chapman M., KudoT., Li S., Lile A., Martin T., Pearl C., Segal T., Sullivan A., Woodruff P., Wowk K., Cohen S. (2004). Solid Waste Alternative Technologies Program: A Solution for New York City's Garbage Problem; Columbia University, School of International and Public Affairs.

AllsoppM., Costner P., Johnston P. (2001). Incineration and Human Health; State of Knowledge of the Impacts of Waste Incinerators on Human Health; Greenpeace Research Laboratories, 84 pages.

Anonyme 1. FERIANA ENVIRONNEMENT. Exemple de remise en état: carrière de calcaire, (SOTACIB de Feriana).

Anonyme 2. INSPECTION DE L'ENVIRONNEMENT WILAYA DE SKIKDA : CEGEP. (2002). Schéma directeur de gestion des ordures ménagères de la ville de Skikda et dix autres communes environnantes, 126 pages.

Anonyme 3. INSPECTION DE L'ENVIRONNEMENT WILAYA DE SKIKDA : CEGEP. (2002). Etude d'impact sur l'environnement du centre d'enfouissement technique de Skikda Zef- Zef, 57 pages.

Arinola O.G., Ainola A.M. (1995). "Solid waste in urban and rural areas of Ibadan, Nigeria: composition, treatment and public health concerns." Compost Science & Utilization (3): pp 80 -83.

- Ayad W.** (2016). Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits dans la région d'El-Harrouch (N.E -Algérie). Thèse de doctorat, Université de Annaba, Algérie, 156 p
- Berthe C.** (2006). Etude de la matière organique contenue dans des lixiviats issus de différentes filières de traitement de déchets ménagers et assimilés. Thèse de doctorat, Université de Limoges.
- Boucenna N.** (2010). Impact de la décharge publique sur la qualité des eaux souterraine : cas de Zef Zef, Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, 92 p.
- Bouglouf M.** (2014). Contribution à la gestion et la valorisation des déchets solides et ménagers à Skikda (Nord-est algérien), Université de Skikda, 134 p.
- Bouillin J.P.** (1997). Carte géologique de la Kabylie dans la région de Collo et d'EL Milia. Service de la carte géologique de l'Algérie.
- Bouraoui I.** (2007). Croissance de petites villes algériennes : Cas d'El-Harrouch, Mémoire de magister, Faculté des sciences de la terre, de géographie et de l'aménagement du territoire, Département d'architecture et d'urbanisme, Université Mentouri, Constantine, 174 p.
- Chofqi A., Younsi A., Lhadi K., Mania J., Veron A.** (2009). Impact environnemental d'une décharge publique non contrôlée sur la population et les eaux souterraines : cas d'El Jadida, Maroc, Rapport de stage, Université El Jadida, 12 p.
- Christensen T.H., Kjeldsen P., Bjerg P. L., Albrechtsen H.J., Holm P. E.** (1994). Attenuation in landfill leachate pollutants and aquifers. Critical reviews in Environmental Science Technology: pp. 119 – 202.
- Cours EMSE.** Filières de traitement des OM. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne. 76 pages. www.wawawa.emse.fr/~debray/cours/fili%E8resom.pdf;
- Côte M.** (1996). L'Algérie, espaces et sociétés. Masson-Armand Colin, Paris, 253 pages.
- Crowe M., Nolan K., Collins C., Carty G., Donlon B.** (2002). Biodegradable Municipal Waste Management in Europe. Part 1. Strategies and Instruments. European Environment Agency, Copenhagen, 19 pages.
- Djorfi, A. Fofou, Majour H., Beloulou L., Hani A., Djabri L.** (2009). Impact de la décharge publique de Annaba sur la qualité des eaux de la plaine d'Oued Zied. Revue COST N°8 , pp 151-157. www.enset-oran.dz/spip.php?article305

El-Fadel M., Bou-Zeid E., Chahine W., Alayli B. (2002). Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Management*, pp: 269-282.

Essouli O. F. (2005). Impact de la décharge publique de Mbeubeuss sur la ressource en eau de la nappe des sables quaternaire de Thiaroye, Thèse de Doctorat 3ème Cycle, Université de Dakar.

Focus Biosécurité (1999). Article « Compostage et santé », focus Biosécurité CH Nr.12 : Programme prioritaire Biotechnologie du fonds national suisse de la recherche scientifique, 4 pages.

FOE (2002). Incineration or Something Sensible? A Briefing from Friends of the Earth Scotland, 15 pages.

François V. (2004). Détermination d'indicateurs d'accélération et de stabilisation de déchets ménagers enfouis. Etude de l'impact de la recirculation de lixiviats sur colonnes de déchets, thèse de doctorat N° 8-2004, Université de Limoges.

Hassen A., Belguith K., Jedidi N., Cherif A., Cherif M., Boudabous A. (2001). Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresource Technology* 80, 217-225.

Hoornweg D., Thomas L., Otten L. (2000). Composting and Its Applicability in Developing Countries, Urban Waste management, Published for the Urban Development Division, The World Bank, Washington DC, 52 pages.

JORA. (2006). Journal Officiel de la République Algérienne. Décret ministériel n°06-141 du 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

Khattabi M. (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'Etuefont (Belfort, France), Thèse de Doctorat 3èm Cycle, Université de Franche-Comté.

Kaibouchi S. (2004). Mâchefers d'incinération d'ordures ménagères : Contribution à l'étude des mécanismes de stabilisation par carbonatation et influence de la collecte sélective. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.

Lagier T. (2000). Etude des macromolécules de lixiviat : caractérisation et comportement vis-à-vis des métaux, Thèse de doctorat, Université de Poitiers.

Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Van Clooster M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (maroc oriental), Larhyss Journal, N° 09, pp : 149-169.

Maou A. (2011). Estimation des crues de référence pour les plans de prévention du risque inondation.cas du bassin versant du Saf Saf, NE algérien, mémoire de magister, Université Badji Mokhtar Annaba, 133 p,

Matejka G., Barbier J., De Las Heras F., Klein A., Paquetteau F., Kebe A. (2001). Composting of urban refuse in Labé (Guinea): process optimization and agricultural value; Cagliari (Sardinia) Eighth International Waste Management and Landfill Symposium (CISA: Environ. Sanitary Engineering Centre), 1 - 5 October.

MBT (2003). Mechanical Biological Treatment, Cool Waste Management, a State-of-Art Alternative to Incineration for Residual Municipal Waste , February 2003 Published by the Greenpeace Environmental Trust Canonbury Villas, London N1 2PN, United Kingdom, 58 pages.

Mbulugwe S.E., Kassenga G. R. (2004). Feasibility and strategies for anaerobic digestion of solid waste for energy production in Dar Es Salaam city, Tanzania, Resources, Conservation and Recycling: pp. 183 – 203.

Millot N. (1986). Les lixiviats de décharges contrôlées. Caractérisation analytique et étude des filières de traitement. Thèse de doctorat, INSA Lyon, 180 pages.

Mohee R. (2002). Assessing the recovery potential of solid waste in Mauritius; Resources, conservation and Recycling: pp. 33 – 43.

Mustin M. (1987). Le compost, gestion de la matière organique. Editions François DUBUSC, Paris ; 957 pages.

Nechem D. (2009). Qualité des eaux des sources thermales : Cas des source de Djebel Safia (Hadjar Soud), Nord Est Algérien, Mémoire de Magister, Hydrogéologie environnementale et modélisation, Faculté des sciences de la Terre , Département de Géologie, Université Badji Mokhtar-Annaba, 64p.

Normes algériennes (1992). NA. 6360, 1^{ère} édition, Ed EX. INAPI. IANOR, pp 5-7.

- OMS** (1994). Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 1, recommandations, Organisation mondiale de la Santé, 2e édition, 202 p.
- OMS** (2000). Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 2, critères d'hygiène et documentation à l'appui, 2^{ème} édition, 1050 p.
- OMS** (2004). Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3^{ème} édition, Vol 1. Directives, Ed. Organisation mondiale de la sante, Genève, 110 p.
- OMS** (2005). Célébration de la décennie internationale d'action : L'eau source de vie 2005-2015, Journal mondial de l'eau 2005, Guide de sensibilisation, Genève, Suisse, 34 p.
- OMS** (2006). Paludisme: lutte anti-vectorielle et protection individuelle, Série de Rapports techniques, N°936, 71 p.
- OMS** (2012). Prévention et lutte contre l'hépatite virale, Organisation mondiale de la Santé, Genève, p. 4.
- OMS** (2013). Mesurer les niveaux de chlore dans les systèmes d'approvisionnement en eau, fiches techniques eau, hygiène, et assainissement en situation d'urgence, Genève, p. 11.
- Réseaux Partenarial des Données sur l'Eau (RPDE)**. (2007). Le cycle de l'eau, Observatoire Régional de l'Environnement Poitou-Charentes, 33 p.
- Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L.** (2005). L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. Ed. Dunod, Paris, 1384 p.
- Rodier J., Legube B., Merlet N.** (2009). L'analyse de l'eau, 9^{ème} édition, Ed. Dunod, 1579 p.
- Tchobanoglous G. et al.**; Integrated solid waste management – Engineering principles and management issues, MC Graw-Hill, New York et al. 1993, p. 7
- URBACO** (2011). PDAU de la commune d'El Harrouch, W. Skikda, Algérie, pp: 13- 36.
- Vila J. M.** (1980). La chaine alpine d'Algérie oriental et des confins algéro-tunisiens. Thèse Doct ; Univ Pierre et Marie Curie, Paris VI, 655 p.
- Youcai Z., Stucki S., Ludwig C.H., Wochele J.** (2004). Impact of moisture on volatility of heavy metals in municipal solid waste incinerated in a laboratory scale simulated incinerator; Waste Management (2004) , Article In Press; 7 pages.

ANNEXES

A- Méthodes d'analyse au laboratoire - EAU

1. Les anions

- **Les chlorures** : les ions Cl sont dosés par une solution titrée de nitrate d'argent (AgNO_3 , 0,02N) en présence de chromate de potassium.

- **Les sulfates** : Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum en présence de BaCl_2 .

- **Carbonate** : les carbonates sont dosés par une solution titrée d'acide sulfurique (H_2SO_4 0,2N) en présence de phénolphthaléine.

- **Bicarbonate** : les bicarbonates sont dosés par une solution titrée d'acide sulfurique (H_2SO_4 0,2N) en présence de méthyle orange.

2. Les cations

- **Le calcium** : le dosage se fait par complexométrie à l'aide de l'EDTA à pH = 12 et en présence du réactif de Patton.

- **La dureté totale** : TH ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) mg/l . La dureté totale est la teneur globale en sels de Ca et Mg. La mesure a été effectuée par complexométrie en ajoutant à 50 ml de l'échantillon du noir d'iriochrome T (indicateur coloré) et titrés la solution avec le sel disodique de l'acide Ethylène Diamino Tétra Acétique (EDTA) en milieu tamponné à pH = 10.

- **Le magnésium** : les teneurs en Mg^{++} sont calculées par différence des valeurs de la dureté totale et de celle du calcium.

3. Les nutriments

- **L'azote nitrique (NO_3^-):** les nitrates, en présence de salicylate de sodium, d'acide sulfurique et d'ammoniac, sont complexés et forment un précipité jaune. Le dosage calorimétrique se fait à une longueur d'onde de 420 nm.

- **L'azote ammoniacal (NH_4^+):** l'ion NH_4^+ est déterminé selon la méthode de Nessler utilisant le réactif de Nessler et le tartrate double de sodium et de potassium. Le dosage colorimétrique se fait à une longueur d'onde de 420 nm (AFNOR NTF 906- 015).

- **Le Phosphore minérale dissous ($H_2PO_4^-$):** les ions phosphate réagissent avec le molybdate d'ammonium en présence d'antimoine, pour former un complexe que l'on réduit par l'acide ascorbique : cette forme réduite de coloration bleu a un maximum d'absorption à 885 nm. Ce composé bleu contient le phosphore le molybdène et l'antimoine dans les proportions atomiques.

B- Méthodes d'analyses au laboratoire - SOL

- Caractéristiques physico-chimiques

Sur la fraction fine nous avons effectué les analyses suivantes :

- **Le pH :** Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un pH-mètre à électrode de verre sur une suspension de terre fine avec un rapport sol/eau.

- **Le pH_{eau} :** Le pH eau du sol est mesuré dans une suspension sol/eau (1/5), après un repos d'au moins une heure. La lecture se fait sur le pH mètre lorsque l'aiguille est stabilisée.

- **Le pH_{KCl} :** se fait de la même manière que le pH eau mais après une nuit de contact entre le sol et la solution de KCl une fois normale (KCl 1N).

- **La conductivité électrique (CE)** : s'effectue de la même manière que le pH_{eau} (1/5), elle a été mesurée à l'aide d'un conductimètre (EC 215) selon un rapport sol/eau : 1 /5. Elle est exprimée en (mS/cm à 25°C).

- **L'humidité hygroscopique (H)** : se fait par séchage à l'étuve pendant 24h à 105°C.

- **La Matière Organique** : se fait par incinération au four à moufle pendant 4h à 480°C.

- **Densité apparente (D_a)** : c'est le rapport entre le poids d'un volume donné de sol sec et le poids d'un égal volume d'eau, elle est déterminée par la méthode de paraffine.

- **Densité réelle (D_r)** : c'est la densité des particules solides du sol ou bien c'est le poids spécifique du sol en place, elle est déterminée par la méthode du pycnomètre.

- **La porosité (P %)** : est égale au rapport exprimé en pourcent, du volume des vides au volume total. Elle est calculée au laboratoire par la méthode de la détermination des densités selon la formule suivante:

$$P (\%) = (1 - D_a / D_r) \times 100$$

- **La granulométrie** : L'analyse granulométrique du sol consiste à classer les éléments du sol ou particules constitutives du sol par catégories de diamètre et déterminer le pourcentage de chaque fraction. Les éléments de la terre fine sont classés selon l'échelle internationale d'ATTERBERG (1926).

Sables grossiers 200 à 2000 microns.

Sables fins 50 à 200 microns.

Limons grossiers 20 à 50 microns.

Limons fins 2 à 20 microns.

Argiles 0 à 2 microns.

Principe : Sur un échantillon de terre fine, on assure la dispersion totale des particules élémentaires en détruisant la matière organique qui joue le rôle de ciment avec l'eau oxygénée (H_2O_2), la dispersion est complétée en agitant l'échantillon dans une solution alcaline d' $NaOH$, puis la solution est abandonnée au repos pour permettre la sédimentation des particules qui tombent à des vitesses constantes d'autant plus grandes qu'elles sont plus grosses (Loi de Stokes).

**Bilan Hydrique selon C .W.Thornthwaite à la station de Skikda-Port
(1984/1985-2005/2006)**

MOIS	p(mm)	T°C	K	I	ETP(mm)	RFU(mm)	ETR(mm)	EXC(mm)	DA(mm)
sept	46.59	23.83	1.05	10.64	112.48	0.00	46.59	0	65.89
oct	61.54	21.10	0.91	8.85	77.29	0.00	61.54	0	15.75
nov	99.26	16.60	0.75	6.15	40.38	58.92	40.38	0	0
déc	144.18	13.63	0.70	3.53	25.86	100.00	25.86	77.20	0
jan	119.22	12.18	0.73	3.86	21.77	100.00	21.77	97.45	0
fev	95.75	12.47	0.78	3.98	24.35	100.00	24.35	71.4	0
mars	61.12	14.23	1.02	4.88	40.92	100.00	40.92	20.20	0
avr	62.83	15.96	1.15	5.79	57.39	100.00	57.39	5.44	0
mai	35.36	18.82	1.32	7.43	90.20	45.16	90.20	0	0
juin	12.40	22.11	1.33	9.49	123.6	0	57.56	0	66.04
juil	3.02	24.71	1.33	11.23	152.74	0	3.02	0	149.72
aout	10.30	25.82	1.24	11.99	154.83	0	10.30	0	144.53
totale	751.57	18.46	.	87.82	921.81	.	479.88	271.69	441.93

**Variations des températures moyennes mensuelles et annuelles aux
stations de Skikda et Zerdézas**

Mois	Skikda (1990/2012)			Zerdézas (1970/2006)		
	Tmin	Tmoy	Tmax	Tmin	Tmoy	Tmax
Sept	18.12	25.54	32.96	21,1	24.9	25,7
Oct	15.45	21.99	28.53	17,5	22.4	24,1
Nov	10.33	16.53	22.68	12,4	15.6	18,3
Déc	7.9	12.85	17.79	11,8	12.0	16,6
Jan	6.61	11.95	17.28	9,9	11.3	15,6
Fév	6.75	12.57	18.39	9,5	11.7	14,6
Mar	8.49	14.3	21.45	10,7	14.6	15,6
Avr	9.44	16.5	23.57	11	16.7	17,8
Mai	12.76	20.96	29.1	15,8	20.9	20,7
Juin	16.60	24.98	33.34	19,8	25.5	25,6
Juil	19.64	28.14	36.64	22	27.5	27,3
Août	20.53	29.01	37.47	22,7	28.8	29,2
Total	12,72	19,61	26,60	15,4	19,3	20,9

Répartition mensuelle de l'humidité de l'air dans la station de Skikda.

Mois	Sep	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout
Hr (%)	75	74,73	74,73	74,58	74,31	74,04	74,23	74,19	75,69	72,81	72,81	74,69

Répartition mensuelle de la force du vent dans la station de Skikda.

Mois	Sep	oct	nov	dec	jan	fev	mars	avr	mai	juin	juil	aout
U (m/s)	2,46	2,83	3,52	4,01	3,51	3,56	2,9	3,07	2,47	2,29	2,07	2,46

Quelques photos de la décharge











Carte des forages exploités dans la ville de Skikda.