

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la terre et de l'Univers
Département des Sciences de la Nature et de la Vie



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers

Filière : Géologie

Spécialité/Option : Hydrogéologie

Thème

Impact des lixiviats du centre d'enfouissement technique de Bougerguer (Guelma) sur la qualité des eaux d'irrigation dans la région.

Présenté par :

- FERKOUS Kawther

Devant le jury :

Nom et prénom	Qualité	Grade	Université
MAOUI Ammar	Président	Pr	Université de Guelma
BENNACER Laila	Examinatrice	Dr	Université de Guelma
GHRIB Lassaad	Encadrant	Pr	Université de Guelma

Juin 2024

Abstract

Landfill sites release gases and discharge liquid leachate, which, if left untreated, disrupts the biodiversity system.

In this work, we deal with the impact of leachate from the Bougerguer landfill sites-Guelma on the quality of irrigation water based on a physicochemical characterization of two points sampled respectively in the Chaaba and Seybouse wadi near the discharge of the leachate from the center.

The results obtained showed that the contents of the elements analysed gradually decrease in the first point and even more in the second when compared with the leachate before treatment.

The use of the methods of Sodium Absorption Rate (SAR), Percentage of Sodium (Na%), Residual Alkalinity (RSC), Permeability Index (PI%), and Magnesium Ratio (Mg%), confirm that the waters of Oued Chaaba, near the discharge and Oued Seybouse further away are of good quality for irrigation with salinity control.

Keywords: Leachate, landfill site Bougerguer, irrigation, SAR, Na%.

Résumé

Les centres d'enfouissement techniques libèrent des gaz et rejettent un lixiviat liquide qui, sans traitement, perturbe le système de la biodiversité.

Dans ce travail on traite l'impact du lixiviat issu du CET de Bougerguer- Guelma sur la qualité des eaux d'irrigation à partir d'une caractérisation physicochimique de deux points prélevés respectivement dans l'oued Chaaba et Oued Seybouse à proximité du rejet du lixiviat du centre.

Les résultats obtenus ont montré que les teneurs des éléments analysés baissent progressivement dans le premier point et encore plus dans le deuxième en les comparant avec le lixiviat avant traitement.

L'utilisation des méthodes du Taux d'absorption du sodium(SAR), du pourcentage du sodium (Na%), de l'alcalinité résiduelle (RSC), de l'indice de perméabilité (IP%), et le rapport du magnésium (Mg%), confirment que les eaux d'Oued Chaaba, à proximité du rejet et Oued Seybouse plus loin sont de qualité bonne pour l'irrigation avec contrôle de la salinité.

Mots clés : Lixiviats, CET Bougerguer, irrigation, SAR, Na%.

ملخص

تطلق مواقع دفن النفايات بعض الغازات مع تصريف المادة المرشحة السائلة التي إذا تركت دون معالجة، تعطل نظام التنوع البيولوجي.

في هذا العمل، قمنا بدراسة مدى تأثير المادة المرشحة من مركز بوقرقار-قالمة على جودة مياه الري، بناء على توصيف فيزيائي كيميائي لنقطتين تم أخذ عينات منهما على التوالي في وادي الشعبة وسيبوس بالقرب من تصريف المادة المرشحة من المركز.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن محتويات العناصر التي تم تحليلها تنخفض تدريجياً في النقطة الأولى ثم يزيد انخفاضها في النقطة الثانية بوادي سيبوس عند مقارنتها بالمادة المرشحة قبل المعالجة.

إن استخدام طرق معدل امتصاص الصوديوم (SAR) ونسبة الصوديوم (%Na) والقلوية المتبقية (RSC) ومؤشر النفاذية (%PI) ونسبة المغنيسيوم (%Mg) يؤكد أن مياه وادي شعبة القريبة من التصريف ووادي سيبوس الأبعد ذات نوعية جيدة للري مع التحكم في الملوحة.

الكلمات المفتاحية: المادة المرشحة، مركز الردم التقني بوقرقار، الري، معدل امتصاص الصوديوم (SAR)، نسبة الصوديوم (%Na).

Remerciements

Je remercie Dieu tout puissant qui m'a donné la volonté, la santé et la patience durant toutes ces années d'étude.

Je remercie les membres de jury ; **Pr MAOUI Ammar** en sa qualité de président et **BENNACER Laila** en sa qualité d'examinatrice qui ont accepté de juger et d'examiner mon travail.

Mes plus vifs remerciements vont à mon encadrant, **professeur GHRIEB Lassaad**, qui a bien voulu me diriger et m'orienter tout le long de la réalisation de mon travail, et aussi pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils.

Je remercie également **Dr BOUDJEBIEUR Essia** de la direction des ressources en eau, qui n'a pas épargné aucun effort pour m'aider à réaliser ce travail.

Mes remerciements s'adressent aussi à tout le personnel du centre d'enfouissement technique de Bougerguer- Guelma et particulièrement monsieur **BOUARRATA Mohamed Essalih** qui m'a ouvert toutes les portes pour bien réaliser ce modeste travail.

Un spécial remerciement à tous les enseignants du département qui nous ont encadrés durant tout notre parcours universitaire.

Mes remerciements les plus chaleureux et les plus profonds s'adressent à ma famille pour son soutien, ces encouragements et sa patience.

Je dédie ce travail qui n'aurait jamais vu le jour sans les soutiens indéfectibles et sans limite, de ma chère mère AZIZA et au défunt dans mon cœur mon père LARBI.

Je le dédie également à mon frère, second père et le tout dans ma vie, (DJAKOUB)

A mes chères sœurs MIMI et sa petite famille, AMINA et HANADI.

A mon cher frère MEHAMED pour leur appui et leur encouragement.

Je dédie aussi ce travail à tous mes cousins ISLAM et AYOUB, mes cousines HADJER, SALMA et KHAWLA,

A mes amies BOUTHAINA, AMIRA, HOUAIDA, et LINA, et mes collègues et tous ceux qui m'estiment.



Table des matières

Abstract	
Résumé	
ملخص	
Remerciements	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralité sur les centres d'enfouissement techniques	
1. Introduction.....	2
2. Centre d'enfouissement technique	2
2.1. Les déchets	3
2.2. L'objectif d'un CET	3
2.3. Les différents types de CET	4
2.3.1. CET de Classe I.....	4
2.3.2. CET de Classe II	4
2.3.3. CET de Classe III	4
2.4. Les caractéristiques des classes des CET	5
3. Réalisation d'un CET	6
4. Les points négatives d'un CET	9
4.1. Impacts sur la biodiversité	9
5. Normes de stockage.....	10
6. Phénomènes de lixiviation	11
6.1. Les lixiviats.....	11
6.1.1. Composition du lixiviats	11
6.1.2. Production des lixiviats	12
6.1.3. Types de lixiviats	13

6.2.	Techniques de traitement des lixiviats.....	14
6.2.1.	Méthodes biologiques	15
6.2.2.	Les méthodes physico-chimiques.....	16
6.3.	Normes de rejet des lixiviats	19
7.	Conclusion	20

Chapitre II : Description du site d'étude

1.	Introduction.....	21
2.	Description générale du site.....	21
3.	Climat de la zone d'étude	24
4.	Réseau hydrographique.....	24
5.	Caractéristiques techniques du CET de Bougerguer	25
5.1.	Présentation de l'installation et ses ouvrages.....	25
5.2.	Quantité des déchets prévisionnelle du CET Guelma	26
5.3.	Analyse qualitative des déchets	28
6.	Les lixiviats du CET Bougerguer	28
6.1.	La gestion et le réseau de collecte des lixiviats	29
6.1.1.	Les quantités de lixiviats produite pendant les années (2017-2020).....	29
7.	Station de traitement	30
7.1.	Quantité de lixiviat traité du CET Bougerguer en 2024.....	31
8.	Les problèmes du CET Héliopolis.....	32
9.	Conclusion	32

Chapitre III : Matériels et méthodes

1.	Introduction.....	34
2.	Paramètres analysés	34
2.1.	Mode de prélèvement	34
2.1.1.	Mesures In situ	35
a.	Température (T) :.....	35
b.	le Potentiel d'hydrogène « pH »	36

c.	La conductivité électrique.....	36
d.	L'oxygène dissous	37
	2.1.2. Mesures In vitro	37
a.	Matière en suspension.....	37
b.	La demande biochimique en oxygène.....	38
c.	La demande chimique en oxygène (DCO).....	40
d.	L'azote total Kjeldahl	40
e.	L'Ammonium	41
f.	les Nitrites	42
g.	Dosage de calcium et magnésium.....	42
h.	Dosage des bicarbonates	43
i.	Dosage du sodium et du potassium par spectrophotométrie de flamme.....	44
j.	Dosage du Fer	45

Chapitre IV : Résultats et discussion

1.	Introduction.....	45
2.	Interprétation des résultats	45
	2.1. Température (T).....	45
	2.2. Potentiel d'hydrogène (pH)	46
	2.3. Conductivité électrique (CE)	46
	2.4. Turbidité (NUT)	48
	2.5. Oxygène dissous	49
	2.6. Matière en suspension (MES).....	50
	2.7. Demande biologique d'oxygène (DBO ₅)	50
	2.8. Demande chimique en oxygène (DCO).....	51
	2.9. L'azote	52
	2.10. Ammonium NH ₄ ⁺	52
	2.11. Nitrite (NH ₃ ⁻)	52
	2.12. Le calcium (Ca ⁺).....	53
	2.13. Le Magnésium (Mg ²⁺)	54

2.13. Les bicarbonates (HCO_3^-).....	54
2.14. Sodium.....	55
2.15. Potassium.....	56
2.16. Fer.....	56
3. Aptitude des eaux étudiées à l'irrigation	57
3.1 Taux d'adsorption du sodium.....	57
3. Diagramme de Richards.....	58
3. Pourcentage du sodium (Na%)	60
3. Diagramme de Wilcox	60
3. Alcalinité résiduelle (RSC).....	61
3. Indice de perméabilité (IP%)	63
3. Rapport du magnésium(Mg%).....	64
3. Rapport de Kelly	65
3. Conclusion	67
Conclusion générale	68
Références bibliographiques	71

Liste des figures

Figure.1. Images de casiers d'un CET	2
Figure.2. Les déchets dans les CET	3
Figure.3. Schéma des classes des CET	5
Figure.4. Aménagement d'un casier d'enfouissement.	7
Figure.5. Réseau de drainage	8
Figure.6. Collecte du biogaz (drains horizontaux).....	8
Figure.7. Collecte de lixiviats	8
Figure.8. Bassin de lixiviats	8
Figure.9. Coupe transversale d'un casier	9
Figure.10. Principe de l'osmose et de l'osmose inverse	19
Figure.11. Vu aérienne du CET	22
Figure.12. Carte de situation géographique du CET de Bougerguer	23
Figure.13. Diagramme pluviométrique de la région dans Guelma	24
Figure.14. Réseaux hydrographique du CET de Bougerguer-Guelma	25
Figure.15. Quantité annuelles par tonne des déchets dans le CET Bougerguer	28
Figure.16. Analyse qualitative des déchets	28
Figure .17. Les bassins de lixiviat du CET Bougerguer, Guelma.....	29
Figure .18. Station de traitement des lixiviats du CET Bougerguer Guelma.....	31
Figure.19. lixiviats pendant le traitement.....	32
Figure.20. Lixiviats après le traitement.....	32
Figure. 21. Carte des points des prélèvements des échantillons	35
Figure.22. Centrifugeuse	38
Figure.23. DBO-mètre	39
Figure.24. thermoréacteur de la DCO	40
Figure.25. Photomètre à flamme.	45
Figure .26. Variation spatiale de la température dans les points de prélèvement.	46
Figure .27. Variation spatiale du pH dans les points de prélèvement.	47
Figure .28. Variation spatiale de la conductivité électrique dans les points de prélèvement. ..	48
Figure .29. Variation spatiale de la turbidité dans les points de prélèvement.....	48
Figure .30. Variation spatial d'O ₂ dissous dans les points de prélèvement.	49
Figure .31. Variation spatiale de la matière en suspension dans les points de prélèvement. ...	50
Figure.32. Variation spatiale de la DBO ₅ dans les points de prélèvement.....	51
Figure .33. Variation spatial de la DCO dans les points de prélèvement.....	51

Liste des figures

Figure.34.Teneur de l'azote, de l'ammonium et de nitrite dans le lixiviat brute	53
Figure .35. Variation spatiale du calcium dans les oueds Chaaba et Seybouse	53
Figure. 36. Variation spatiale du magnésium dans les oueds Chaaba et Seybouse	54
Figure .37. Variation spatiale de bicarbonate dans les points de prélèvement.....	55
Figure .38. Variation spatiale du sodium dans les points de prélèvement.	55
Figure .39. Variation spatiale du potassium dans les points de prélèvement.....	56
Figure .40. Variation spatiale du fer dans les points de prélèvement.....	57
Figure .41.a. classification des eaux d'irrigation (Riverside).	59
Figure .41.b. classification des eaux d'irrigation (Log Wilcox).	59
Figure .42.classification des eaux d'irrigation selon Wilcox.	61
Figure .43. classification des eaux d'irrigation selon l'alcalinité résiduelle.	62
Figure .44. classification des eaux d'irrigation selon l'indice de Perméabilité.....	64
Figure .45. classification des eaux d'irrigation selon le rapport de magnésium.	65
Figure .46. classification des eaux d'irrigation selon le rapport de Killy.	66

Tab.1. Caractéristiques de chaque classe et leur perméabilité	5
Tab.2 Caractéristiques et classification des lixiviats.....	14
Tab.3. Avantage et inconvénients du système anaérobie par rapport au système aérobie	16
Tab.4. Valeurs limites des rejets directs.....	20
Tab.5. Les caractéristique des casiers des déchets du CET de Bougerguer.....	22
Tab.6. Donnés générales du CET	26
Tab.7. Evolution de la population des communes desservies par le CET Bougerguer (2019_2024)	27
Tab.8. Quantité de lixiviats produites mensuellement en m ³	30
Tab. 9. Caractéristique technique de la station d'épuration du CET.....	30
Tab.10. Quantité de lixiviats traitée pendant les trois mois (janvier, février, mars 2024).....	31
Tab.11. Niveaux du risque dû au carbonate du sodiumm résiduel.....	62
Tab.12. Classification de la qualité des eaux étudiées en fonction de l'irrigation.....	67

Liste des abréviations

AGV : Acides gras volatils.

C° : Degré Celsius

CET : Centre d'enfouissement technique

Da : (dalton) unité de poids moléculaire qui correspond à un atome d'hydrogène

DBO₅ : Demande biologique en oxygène au bout de 5 jours

DCO : Demande chimique en oxygène

K : kelvin

Ks : Coefficient de perméabilité du sol

MES : Matières en suspension.

NF : Nano filtration.

NTU : Unité de turbidité NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

OI : Osmose inverse.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PEHD : Polyéthylène de haute densité

Introduction générale

Les activités socio-économiques, l'accroissement de la population et le changement dans le mode de consommation génèrent une quantité importante des déchets solides urbains [10]. Pour cela il faut créer des centres d'enfouissement techniques qui sont des installations où sont enfouies les déchets. Depuis l'obligation de n'enterrer que des déchets ultimes ces centres sont désormais dénommés Centre de Stockage des Déchets Ultimes [48].

Sur une décharge, les lixiviats sont générés par les apports d'eau mis en contact avec les déchets en se chargeant bactériologiquement et chimiquement en substances minérales et organiques dissoutes ou en suspension [10]. Il s'agit principalement d'un effluent aqueux à un impact très lourd sur l'environnement : eaux (eaux de surface et souterraines), sols (migration des polluants organiques et minéraux), air (émission des gaz à effet de serre) et donc pollueur de l'écosystème naturel et humain [9]. Il présente une composition très aléatoire et varie en fonction de la nature des déchets, l'âge de la décharge, la technique d'exploitation et les conditions climatiques [5].

L'objectif de ce travail est d'étudier l'impact des lixiviats issus du CET de Bougerguer sur les eaux d'irrigation.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres ;

Après une introduction générale,

- Le premier chapitre portera sur la bibliographie : il rapporte des données et des notions théoriques sur les CET ; leur classement, comment réaliser un casier et aussi des généralités sur les lixiviats ; leur composition et les différentes méthodes de traitement,
- Le deuxième chapitre est consacré au cadre général de la zone d'étude ; l'emplacement du centre, le climat le réseau hydrographique, les quantités des déchets entrées, les quantités des lixiviats collectés et la relation entre le rejet de lixiviats avec oued Seybouse,
- Dans le troisième chapitre on a décrit les méthodes, le matériel et les protocoles d'analyse utilisés dans ce travail,
- Le quatrième chapitre comporte le traitement et la discussion des résultats des trois stations étudiées,

Une conclusion générale.

Chapitre I
Généralité sur
les centres
d'enfouissement
techniques

1. Introduction

Au cours des dernières années la mise en décharge est l'une des techniques de gestion des déchets les plus développées. Des ensembles d'installations performants d'élimination des déchets avec une attention particulière à l'environnement appelés centre d'enfouissement technique. La percolation de l'eau de pluie à travers les déchets entraîne la production d'un liquide appelé lixiviats. Cet effluent va donc être contaminé par les divers produits, métabolites, et polluants (matière organique, sels minéraux...) [84].

Dans ce chapitre on aborde des notions sur les centres d'enfouissement technique et leur produit (lixiviats).

2. Centre d'enfouissement technique

Les Centres d'enfouissement techniques, se présentent sous la forme d'un ensemble d'excavations, appelées casiers, imperméabilisées [95]. C'est une installation (classée) qui réceptionne les déchets ménagers afin de les enfouir dans ces casiers [68].

Les déchets sont déposés pour une longue durée et sont répandus par couches successives et alternées d'épaisseur modérée de déchets et de sols et ceci sur un revêtement géotextile [23].

Le CET constitue un réacteur complexe avec des flux de solides, de liquides et de gaz. Les déchets, les lixiviats et les biogaz constituent les trois compartiments du système. Ils sont indissociables et interagissent tout au long de la dégradation des déchets (fig.1) [94].



Figure.1. Images de casiers d'un CET

2.1. Les déchets

Les déchets sont des matières normalement solides ou semi-solides résultant des activités humaines et animales qui sont indésirables ou dangereuses [30].

Autrement dit, tout élément qui est abandonné est un déchet. Ce n'est pas pour autant que cet élément est inutilisable, en l'état ou après modification. Seuls les déchets qualifiés d'ultimes sont réellement inutilisables et doivent être stockés pour éviter des pollutions de l'environnement (fig.2) [24].



Figure.2. Les déchets dans les CET

2.2. L'objectif d'un CET

Le CET est destiné pour accueillir les déchets ménagers et assimilés en vue de leurs enfouissement pour :

- Eradiquer les lieux de dépôt sauvage ;
- Atténuer l'impact des déchets sur l'environnement ;
- Récupérer et évaluer les matériaux recyclables tout en réduisant les pertes de la matière première ;
- Réduire le volume et la quantité de déchets;

- Fournir de nouvelles opportunités industrielles et des postes d'emplois [97].
- Maintenir la qualité des paysages.
- Limiter les nuisances [73].

2.3. Les différents types de CET

Selon la nature des déchets admis et en fonction de leur perméabilité les centres de stockage de déchets sont répartis en trois classes [23].

2.3.1. CET de Classe I

Réservé aux déchets dits industriels, spéciaux ou toxiques : les résidus de l'incinération, les résidus de la sidérurgie : poussières et boues d'usinage, les résidus de forages, les déchets minéraux de traitement chimique : sels métalliques, sels minéraux, les résidus de peinture : déchets de peinture solide, de résine de vernis, les résidus de recyclage d'accumulateurs et de batteries [12].

2.3.2. CET de Classe II

Sont acceptés sur ces centres les déchets ménagers et assimilés. Ce sont des installations soumises à la réglementation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement. Les déchets admissibles dans ces décharges sont : ordures ménagères, déchets ménagers encombrants, déblais et gravats ,déchets commerciaux, artisanaux et industriels banals assimilables aux ordures ménagères, déchets d'origine agricole ne présentant pas de danger pour la santé humaine et l'environnement, pneumatiques, cendres et produits d'épuration refroidis résultant de l'incinération des ordures ménagères , boues en provenance de l'assainissement urbain [4].

2.3.3. CET de Classe III

Pour les déchets inertes sont principalement des déchets minéraux produits par l'activité de construction (BTP, industrie de fabrication de produits de construction) : béton, tuiles et briques, agrégats d'enrobés, vitrage, ... etc. (fig.3) [68].

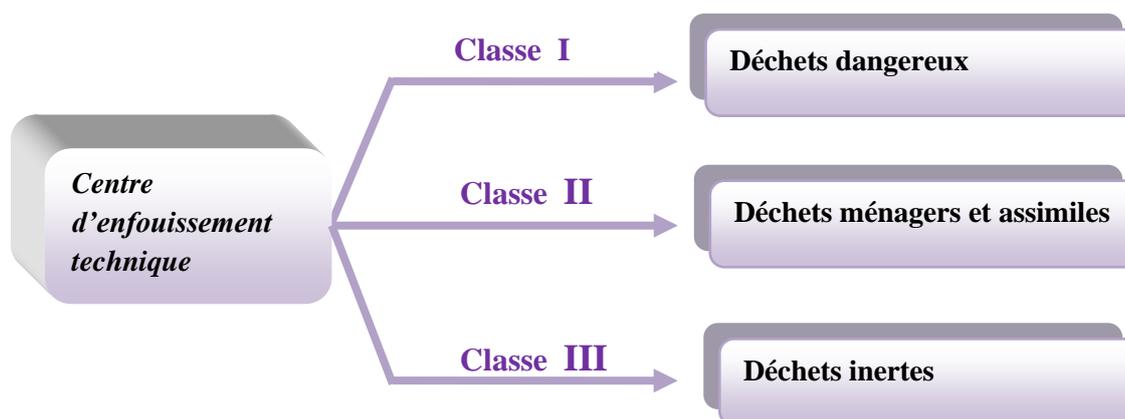


Figure.3. Schéma des classes des CET

2.4. Les caractéristiques des classes des CET et leur perméabilité

Chaque type de CET se distingue par un ensemble de caractéristiques avec une perméabilité donnée (tab.1).

Tab.1. Caractéristiques de chaque classe et leur perméabilité [9]

Catégorie	Déchets Admissibles	Perméabilité Ks	Caractérisation du site
Classe I	Déchets spéciaux	$K_s < 10^{-9}$ m/s sur 5m Site imperméable	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fond imperméable, 2. Conception de l'alvéole garantissant les écoulements vers un point bas, 3. Implantation d'un ouvrage, de contournement évitant l'entrée des eaux superficielles, 4. Couverture en pente, favorisant le Ruissellement.
Classe II	Ordures ménagères Et déchets assimilés	$10^{-9} < K < 10^{-6}$ m/s sur 1 m Site semi-perméable	<ol style="list-style-type: none"> 1. Capacité du site à s'assurer une épuration des lixiviats, 2. Infiltrations modérées, écoulements vers un point bas, 3. Protection des eaux souterraines contre les risques de pollution.
Classe III	Déchets inertes	$K > 10^{-6}$ m/s sur 1m Site perméable	Migration trop rapide des lixiviats constituant un risque élevé de la pollution des nappes phréatiques.

3. Réalisation d'un CET

Avant la réalisation d'un centre d'enfouissement technique (CET), une étude devrait être faite sur la zone de la réalisation au niveau géologique, hydrogéologique, climatique et démographique. En règle générale, le centre d'enfouissement technique (CET) est réalisé pour une population de 100 000 habitants et plus, d'une durée de vie se situant entre sept et quinze ans. Il est donc impératif de disposer de la surface de terrain nécessaire et de bien planifier l'exploitation du site [19].

L'aménagement de la zone d'enfouissement subdivisée en plusieurs alvéoles et se fait selon les étapes suivantes [97].

- ❖ Décapage de la terre végétale, terrassement, déblai en grande masse par engin mécanique ou tous autres moyens de terrassement et un remblai périphérique des talus du casier en tuf (sable de carrière) pour construire la digue du casier (Fig. 4a, Fig. 4b).
- ❖ Fouilles en tranchées à une largeur de 0.50 m et d'une profondeur moyenne de 0.60 m pour canalisation, réalisation d'un regard en béton armé.
- ❖ Etanchéité souterraine : réalisation de l'étanchéité minérale première couche d'argile ou en terre riche en argile épaisseur 0.25 m (fig.4c).

Après la réalisation des casiers, viennent les opérations suivantes :

-Poser le géotextile et la géomembrane pour réalisation de l'étanchéité en plastique du type polyéthylène de haute densité (PEHD) (fig. 4d, fig. 4e).

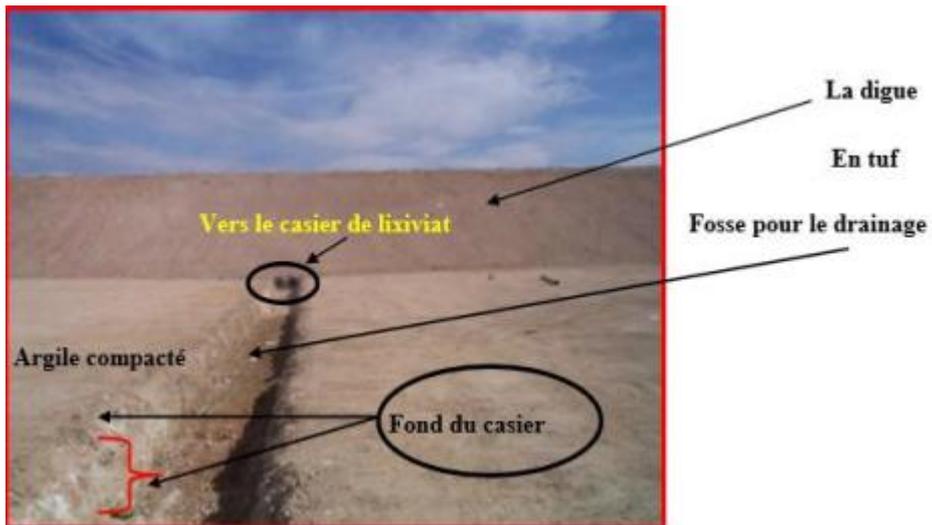
-Couvrir tout le casier par le géotextile et la géomembrane du bas vers le haut pour éviter de polluer le sol et la nappe phréatique, la soudure se fera par une machine spéciale pour éviter l'infiltration des eaux (fig. 4f, fig. 4g) [19].



4a) Décapage de la terre végétale



4b) Décapage de la terre



4c) Aménagement du fond d'un casier



4d) Pose de géotextile



4e) Pose de géomembrane



4f) La soudure du géotextile



4g) Alvéole couvert

Figure.4. Aménagement d'un casier d'enfouissement [19].

- ❖ Placer le réseau de drainage en polyéthylène de haute densité le (PEHD) et protéger par une couche des graviers de 40 à 60 cm (Fig5.).
- ❖ Mise en place d'un système de captage des biogaz et de détection des fuites. (Fig.6)



Figure.5. Réseau de drainage



Figure.6. Collecte du biogaz (drains horizontaux)

- ❖ Aménagement du réseau de collecte des lixiviats, du bassin de stockage des lixiviats (fig.7 et 8).



Figure.7. Collecte de lixiviats



Figure.8. Bassin de lixiviats

- ❖ L'exécution d'un caniveau de drainage autour de centre d'enfouissement technique et de la zone d'enfouissement pour le recueil et l'écoulement des eaux de ruissellement [19].

La figure suivante nous montre une vue en coupe d'un casier, et ce, après avoir finalisé toutes les différentes étapes précédemment citées.

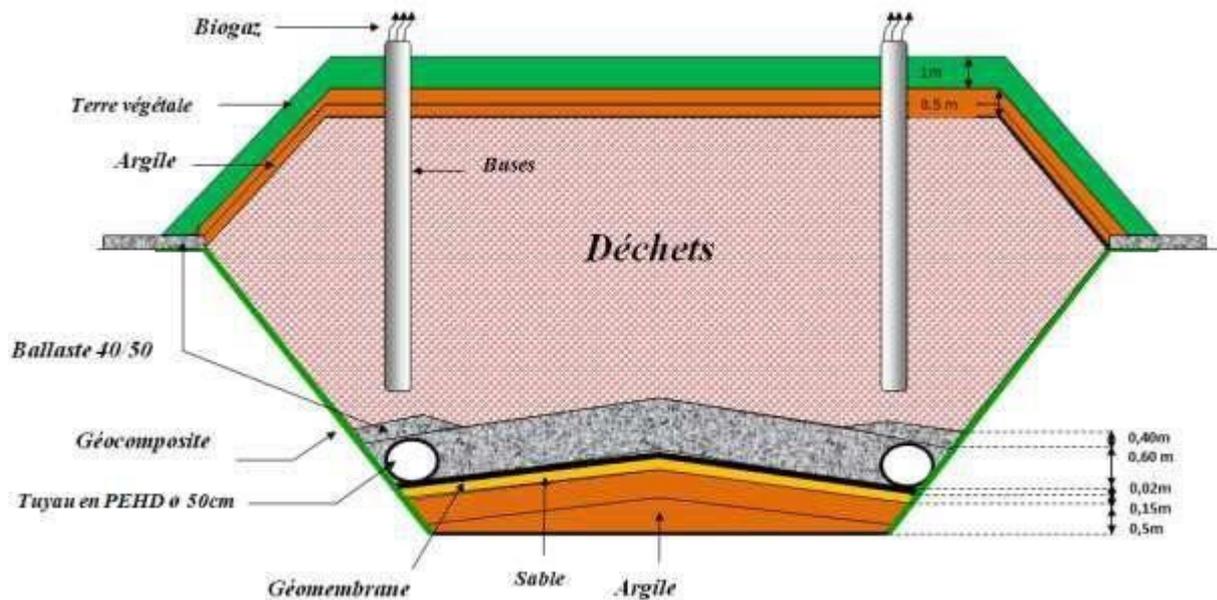


Figure.9. Coupe transversale d'un casier

À la fin de l'exploitation d'un centre d'enfouissement technique (CET) il est préférable d'ajouter une couverture final sur le casier pour but de :

- Assurer l'isolement du site, en ce qui concerne les eaux de pluie,
- Intégrer le site dans son environnement,
- Garantir un devenir à long terme compatible avec la présence de déchets,
- Faciliter le suivi des éventuels rejets dans l'environnement,
- Couverture finale mise au plus tard 8 mois après atteinte de la côte finale [46].

4. Les points négatives d'un CET

4.1. Impacts sur la biodiversité

Les décharges ont un impact sur la biodiversité de plusieurs manières. Voici quelques exemples :

- La création de décharges nécessite le défrichage de zones sauvages, ce qui entraîne une perte et une dégradation de l'habitat.
- Au fur et à mesure que les décharges se remplissent, certaines espèces locales peuvent être remplacées par d'autres animaux qui se nourrissent d'ordures, comme les rats et les corbeaux.

- Le lixiviat est le liquide produit dans les décharges. Celui-ci peut devenir toxique et ainsi contaminer les ruisseaux, étangs et lacs à proximité, endommageant ainsi l'habitat de nombreux organismes différents.
- La fertilité des sols est également impactée. La combinaison de substances toxiques et de matières organiques en décomposition peut nuire à la qualité du sol, en perturbant sa fertilité et son activité et en affectant la vie végétale.
- La grande quantité de déchets mélangés aux gaz produits par les décharges peut facilement provoquer des incendies. En plus de polluer l'air, si les incendies ne sont pas éteints immédiatement, ils peuvent devenir incontrôlables et détruire les habitats voisins [53].
- Le coût de la gestion des décharges peut être extrêmement élevé. En effet, des mesures doivent être mises en œuvre afin de gérer les gaz émis ainsi que la contamination des eaux souterraines et ainsi se conformer aux politiques environnementales.
- De plus, étant donné que la majorité des déchets mis en décharge mettent des millions d'années à se décomposer, des stratégies et des installations efficaces à long terme sont nécessaires. Cela nécessite généralement un investissement considérable.

5. Normes de stockage

L'installation du site répond à des normes très précises et doit rester vigilante en matière de protection de l'environnement :

- lieu fermé par une clôture,
- Entrée composée d'un pont à bascule,
- Accès via un portique de la radioactivité,
- Site sous vidéo surveillance,
- Protection des nappes phréatiques pour éviter toute propagation,
- Stockage des déchets dans des casiers creusés et étanches, avec fermeture étanche également,
- Traitement des déchets contre :
 - Les lixiviats : percolation de l'eau de pluie à travers les déchets,
 - La captation du biogaz (dangereux) : éliminé ou valorisé [45].

6. Phénomènes de lixiviation

La lixiviation est une technique d'extraction de produits solubles. Elle consiste à faire passer lentement un liquide à travers un solide en poudre. Le liquide ainsi obtenu est appelé lixiviats [68].

6.1. Les lixiviats

L'enfouissement technique reste un mode important d'élimination des déchets. Un centre d'enfouissement technique doit permettre non seulement une gestion efficace des déchets mais aussi le traitement après drainage et récupération des deux effluents que sont les biogaz et les lixiviats [29].

La précipitation des eaux météoriques et leur percolation dans les déchets entraîne la production d'une eau très polluée, toxiques et d'une couleur sombre nommée le jus de la poubelle ou lixiviats. Au moment de cette percolation, l'eau se charge de polluants organiques, minéraux et métalliques, par extraction des composés solubles [82]. Leur composition varie d'une décharge à une autre selon différentes critères.

La production massive des lixiviats dans les décharges engendre des risques multiples de pollution des sols, des rivières et des nappes phréatiques, il est donc indispensable de collecter et de traiter ces lixiviats avant leur rejet dans la nature.

6.1.1. Composition du lixiviats

La composition ou plus précisément, le caractère physico-chimique et microbiologiques des lixiviats est spécifique à chaque décharge. En effet, elle dépend principalement de plusieurs facteurs voire la nature de la décharge (sauvages, contrôlées, ... etc.), l'âge de la décharge, le type de déchets et leur degré de décomposition, la méthode de mise en décharge, la nature du site d'enfouissement et les conditions climatiques [17].

La composition des lixiviats est très diverse dans le temps et dans l'espace. Quatre types de polluants sont omniprésents [83]:

- La matière organique en suspension, issue de la biomasse, exprimée généralement en DCO ou la Demande Chimique en Oxygène (les AGV, les substances humiques et fulviques...),
- Les micropolluants organiques (hydrocarbures, composés aromatiques...),

- Les composés minéraux majeurs sous forme ionique (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ , ...) ainsi que d'autres composés, tels que les borates, les sulfites [103],
- Les cations de métaux lourds à l'état de traces, sous forme majoritairement complexée par des ligands minéraux (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) ou organiques (macromolécules de type humique et fulviques).

6.1.2. Production des lixiviats

Les lixiviats apparaissent dès que l'humidité des déchets est supérieure à leur capacité de rétention. A partir de ce moment, les eaux de percolation, provenant essentiellement des précipitations, ne peuvent plus être retenues par le déchet et s'écoulent dans l'espace des pores [11].

La production des lixiviats et sa qualité peuvent varier de façon significative en fonction de plusieurs paramètres [105], [103], [4]:

- Le climat : (précipitations et leurs distributions dans le temps et dans l'espace, évaporation, ensoleillement, température et humidité moyennes, direction et forces des vents prédominants),
- Composition des déchets,
- Type de recouvrement : intermédiaire et final (couverture végétale, couche de surface, épaisseur, couche de protection, en pente, drainée, etc.),
- Densité des déchets,
- Nature des déchets : humidité, teneur en eau lors de la mise en place ou au compactage et leur capacité de rétention,
- Ruissellement (fonction de la pente du recouvrement et du type de surface),
- Infiltration et à l'humidité du sol,
- Perte d'eau sous forme de vapeur associée au biogaz,
- Variation de l'accumulation d'eau,
- Profondeur du site et les couches de fond,
- Caractéristiques planimétriques du site et des aires avoisinantes,
- Conditions d'opérations du lieu d'enfouissement sanitaire (recirculation du lixiviats sur la masse de déchets solides, niveau de compaction des déchets),

Il faut noter que même en l'absence d'infiltrations, un petit volume de lixiviats sera toujours généré, dû à des réactions biochimiques de dégradation de la masse de déchets [16].

- La quantité de lixiviats produits est en fonction de nombreux paramètres tel que :

- La part de la pluie susceptible de s'infiltrer dans les déchets.
- La surface exploitée.
- La présence de couverture de protection.
- L'efficacité du système de drainage et d'évacuation des lixiviats [47].

6.1.3. Types de lixiviats

Suivant le stade d'évolution biologique des déchets, trois types de lixiviats ont été Distingués :

a. Les lixiviats jeunes (< 5ans)

Ces derniers sont caractérisés par :

- Une charge organique élevée (DCO > 20 g/l). Une biodégradabilité moyenne ($DBO_5 / DCO > 0,3$). Un pH de l'ordre de 6,5.
- Une concentration en acide carboxylique importante qui présente plus de 80% de la charge organique. Une teneur en métaux élevée (jusqu'à 2 g/l) [5].

Ils correspondent aux premières périodes non méthanogènes de l'évolution d'une décharge [101], et un traitement préalable est fortement recommandé pour ce genre de liquide avant son rejet [80].

b. Les lixiviats intermédiaires (5 - 10 ans)

Au fur et à mesure que la décharge vieillit et que les déchets se stabilisent, la charge organique diminue et les acides gras volatils se raréfient (20 à 30% de la charge du lixiviats) au profit de composés de hauts poids moléculaires. L'émergence de ces composés tend à diminuer la biodégradabilité du lixiviats. De ce fait, le pH est voisin de la neutralité et la charge en métaux devient négligeable. Ces lixiviats correspondent globalement à la phase méthanogène stable [99].

c. Les lixiviats stabilisés (> 10 ans)

Appelé aussi, lixiviats vieux, c'est la phase finale qui correspond à la phase de maturation de la décharge. Ces lixiviats se caractérisent par une faible charge organique, composée essentiellement de substances humiques (acides fulviques et humiques) de hauts poids moléculaire (la DCO dépasse 3000 mg L^{-1}) [65], qui sont réfractaires à la biodégradation où le rapport indicateur ($DBO_5/DCO < 0,1$). Ces lixiviats stabilisés sont marqués par un pH légèrement basique (7,5 à 8,5) [27].

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques des différents types de lixiviats :

Tab.2 Caractéristiques et classification des lixiviats [14, 8]

	Lixiviats jeunes	Lixiviats intermédiaires	Lixiviats stabilisés
Age de la décharge	< 5 ans	5 à 10 ans	> 10 ans
PH	< 6,5	6,5 à 7,5	> 7,5
DCO (mg L-1)	> 10000	4000-10000	< 4000
DBO₅/DCO	> 0,5	0,1 à 0,5	< 0,1
AGV (% du COT)	> 70	5 à 30	< 5
Composés organiques	80% AGV	5-30%AGV+AH+AF	AH+AF
NH₄⁺ (mg .L-1)	< 400	400	> 400
N Kjeldhal (mg .L-1)	100-200	nd	nd
ETM (mg .L-1)	< 2000	nd	< 50
biodégradabilité	importante	moyenne	faible

D'après les différents paramètres donnés par ce tableau :

- un lixiviat jeune âgé de moins de 5 ans se situerait encore en phase d'acidogénèse.
- un lixiviat intermédiaire dont l'âge serait compris entre 5 et 10 ans correspondrait à la mise en place des phases d'acétogénèse et de méthanogénèse.
- un lixiviat d'âge supérieur à 10 ans, dit « stabilisé » appartiendrait aux phases de méthanogénèse et de maturation [67].

6.2. Techniques de traitement des lixiviats

Dans la majeure partie des cas, l'épuration du lixiviat s'effectue en dehors de l'usine de traitement des déchets, c'est-à-dire en canalisant le lixiviat vers les regroupements de stations d'épuration. Toutefois, ces dernières années, l'intérêt pour les stations de traitement in situ s'est grandement développé au vu des avantages évidents qu'elles permettent d'obtenir : l'élimination des coûts et des risques liés au transport du lixiviat; possibilité de traiter l'eau dans une station construite ad hoc en fonction des caractéristiques qualitatives particulières de

l'eau elle-même, permettant ainsi de fermer en décharge le cycle de stabilisation et de minéralisation du déchet; possibilité d'exploiter le biogaz produit en décharge comme source énergétique pour l'alimentation de la station de traitement [40].

6.2.1. Méthodes biologiques

L'élimination des polluants organiques des eaux est effectuée par le biais de micro-organismes qui constitue le moyen biologique que la nature a utilisé pour l'épuration des milieux naturels.

Grâce à sa fiabilité, sa simplicité et son rapport coût-efficacité élevé, le traitement biologique est fréquemment utilisé pour le traitement de la majeure partie du lixiviat contenant des concentrations élevées de DBO. Dans les conditions aérobies, la biodégradation des composés organiques donne du dioxyde de carbone et des boues, et du biogaz (un mélange composé principalement de CO_2 et CH_4) dans les conditions anaérobies. Les traitements biologiques se sont révélés très efficaces pour éliminer les matières organiques et azotées des jeunes lixiviats lorsque le DBO/DCO a une valeur élevée ($>0,3$).

Avec le temps, la présence importante de composés réfractaires (principalement des acides humiques et fulviques) tend à limiter l'efficacité du processus [99].

a. Traitement aérobie

Les micro-organismes omniprésents dans le milieu naturel sont utilisés pour dégrader les polluants présents dans les lixiviats dans ce type de traitement biologique aérobies. Les micro-organismes peuvent être libres comme le lagunage ou les boues activées [13] ou ils peuvent être fixés comme : les filtres plantés, les filtres à sable et le lit bactérien [63].

L'écot d'oxygène dans ce type de traitement dit aérobie peut aussi être artificiel comme dans le cas de turbine de diffusion de microbulles et dans les stations d'épuration de type "boues activées, aussi il peut être naturel comme le vent ou le système de cascade dans les lagunes.

A la limite ces processus peuvent avoir plusieurs inconvénients:

- La limite du temps, il demande une grande période d'aération [72] ;
- Il est gourmand énergétiquement en plus qu'il provoque l'excès de la production de boues [39];
- La haute teneur en azote ammoniacal provoque une inhibition microbienne [70] ;

- Dans certain cas, les lixiviats peuvent déborder des lagunes surtout en période pluvieuse [76].

b. Traitement anaérobie

Les traitements anaérobies se révèlent particulièrement adaptés à des lixiviats jeunes, caractérisés par de fortes teneurs en matières organiques riches en composés facilement biodégradables ($DBO > 500 \text{ mg.L}^{-1}$) tels que des AGV, des alcools, des aldéhydes [93].

La littérature récente indique que les systèmes anaérobies permettent d'éliminer en moyenne 70 à 80 % de la DCO et environ 90 % de la DBO5 des lixiviats. De même, ils offrent des coûts de fonctionnement réduits, permettent d'achever la dénitrification plus rapidement [93].

Le traitement anaérobie offre de nombreux avantages (comparativement au traitement aérobie) :

- faible production de boues qui sont stabilisées, production d'un gaz combustible comme sous-produit, le méthane [35].

Le tableau 3 résume les avantages et les inconvénients des systèmes anaérobies par rapport au système aérobie [93]

Tab.3. Avantage et inconvénients du système anaérobie par rapport au système aérobie [99]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'équipement d'aération (économie d'énergie) • Moins de boue à disposer • Traitement de fortes charges en DCO (1 à 30 g.L^{-1}) • Production de méthane pour fourniture d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de séjour important • Mauvaises odeurs (H_2S, mercaptans) • Température élevées requises (35°C) • Sédimentation de la biomasse anaérobie plus difficile que celle des boues activées • Le procédé réduit fortement les pathogènes • Opération plus sensible aux chocs (charge, pH) • Pour une bonne épuration, nécessite un traitement aérobie ultérieur • Inhérent au biogaz (incendie, explosion)

6.2.2. Les méthodes physico-chimiques

a. Précipitation chimique

Grâce à son efficacité, sa simplicité et les équipements peu coûteux utilisés, la précipitation chimique a été utilisée pour l'élimination des composés organiques bio-

récalcitrants, de l'azote ammoniacal et des métaux lourds à partir des lixiviats. Au cours de la précipitation chimique, les ions dissous dans la solution se transforment en composés insolubles par des réactions chimiques. De la même manière, les métaux présents dans la solution précipitent sous forme d'hydroxydes.

La struvite (phosphate d'ammonium magnésien (MAP)) ou la chaux sont généralement employées comme précipitant en fonction de la nature de la cible (NH_3N ou métaux lourds).

Les inconvénients de la précipitation chimique sont : la forte dose de précipitant nécessaire, la sensibilité du processus au pH, la production de boues et la nécessité de poursuivre l'élimination des boues [99].

b. Coagulation-floculation

Son action est double. En effet, elle permet à la fois l'élimination des matières en suspension colloïdales et aussi d'une partie de la matière organique par adsorption sur le floc. Ce traitement se décompose en 3 étapes successives :

- La coagulation proprement dite qui consiste à déstabiliser les particules par actions de réactifs chimiques (sels de fer ou d'aluminium) sous une agitation vive.
- La floculation, sous agitation lente qui entraîne une agglomération des colloïdes «électriquement neutralisés » en floccs.
- Une décantation afin de séparer les floccs et le surnageant clair.

L'efficacité de la coagulation-floculation dépend de la nature du lixiviats à traiter ; elle sera assez faible de l'ordre de 10 à 20 % sur des lixiviats « jeunes » fortement biodégradables et de l'ordre de 70 % sur des percolât stabilisés. La coagulation-floculation entraîne parallèlement une décoloration du lixiviats et aussi une production de boues.

Ce traitement permet un abaissement maximal de la DCO de 40 à 50 %, mais augmente la concentration dans l'eau traitée en chlorures, fer, ou aluminium, selon le sel utilisé pour la coagulation. Il est par ailleurs producteur de boues (20 % de volume traité environ), et génère une coloration sensible (chlorure ferrique) [67].

c. L'adsorption

L'adsorption est l'une des procédés physicochimiques les plus rentables car elle donne un bon taux d'abattement de la DCO par rapport aux méthodes et ce quelle que soit la concentration initiale de la solution en matière organique. L'adsorption des polluants sur charbon actif, en colonne [71] ou sous forme de poudre [2].

Le procédé d'adsorption sur charbon actif a été utilisé en assemblage avec des procédés biologiques pour le traitement des lixiviats [25]. Une étude intéressante a montré que le charbon actif présente la plus forte capacité d'adsorption, en étudiant l'efficacité de différentes résines pour l'élimination de la matière organique bio-récalcitrante [92].

Parmi les inconvénients relatif à cette méthode de traitement dite « adsorption » sont : La forte consommation de charbon actif, ainsi que la nécessité de régénérer continuellement les colonnes

d. Traitement membranaire

Au cours des 20 dernières années, des traitements plus efficaces basés sur la technologie des membranes sont apparus comme une alternative de traitement viable pour se conformer aux réglementations de la qualité de l'eau dans la plupart des pays.

Aujourd'hui, l'utilisation de technologies membranaires, plus particulièrement l'osmose inverse, soit comme étape principale dans une chaîne de traitement de lixiviat de CET soit en tant qu'unique étape de traitement, s'est révélée être un moyen efficace de purification [41].

Les procédés membranaires utilisés dans le traitement des eaux en général, et des lixiviats de décharges en particulier, sont :

- ✓ L'osmose inverse.
- ✓ La nanofiltration.
- ✓ L'ultrafiltration et la microfiltration.

d.1. Osmose inverse

L'osmose inverse est un système de purification de l'eau contenant des matières en solution par un système de filtrage très fin qui ne laisse passer que les molécules d'eau.

L'osmose inverse utilise une membrane semi-perméable afin de séparer les solides dissous, la matière organique, les virus et bactéries de l'eau. Le procédé est dit "inverse" car il nécessite une pression suffisante (de l'ordre de 30 à 80 bars), selon la concentration en sels de l'effluent, pour forcer l'eau pure à passer à travers la membrane [67].

d.1.1. Principe de l'osmose inverse

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Le système contient deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes. Le solvant

(lixiviats dans notre cas) s'écoule à travers la membrane du compartiment de la solution moins concentrée vers le compartiment contenant la solution la plus concentrée, c'est le phénomène d'osmose. Si on met graduellement une pression sur le compartiment de la solution la plus concentrée, le flux d'eau qui traverse la membrane va diminuer, puis s'annuler quand la pression appliquée atteindra à ce qui est appelé la pression osmotique. Si on applique une pression supérieure à la pression osmotique, l'eau va traverser la membrane dans le sens inverse, c'est le phénomène d'osmose inverse (fig.10) [56].

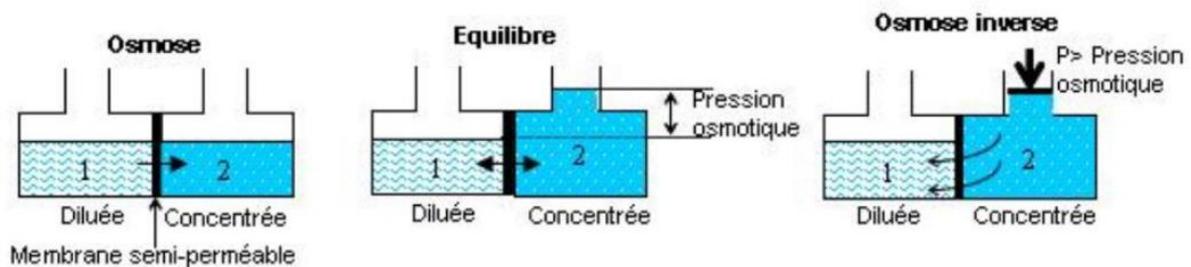


Figure.10. Principe de l'osmose et de l'osmose inverse [98]

La nano-filtration

En raison de ses propriétés uniques entre l'ultrafiltration et l'osmose inverse, la nano-filtration a montré ses preuves dans l'élimination des composés organiques récalcitrants et des métaux lourds provenant des lixiviats. Ce procédé a la capacité d'éliminer les particules d'un poids moléculaire supérieur à 300 Da (dalton: unité de poids moléculaire qui correspond à un atome d'hydrogène) ainsi que les substances inorganiques par le biais des interactions électrostatiques entre les ions et les membranes [94].

d.3. Ultrafiltration et Microfiltration

L'ultrafiltration par membranes a pour effet d'éliminer les matières en suspensions et d'abattre la charge biologique sans toutefois éliminer les micropolluants. Cette technique généralement est utilisée dans les bioréacteurs à membrane, car elle permet de clarifier l'eau en retenant la biomasse [67].

6.3. Normes de rejet des lixiviats

Les lixiviats et les eaux recueillies par tout système de captage dans un lieu d'enfouissement technique, ne peuvent être rejetés dans l'environnement que s'ils respectent les valeurs limitent (Tab.4) [82].

Tab.4. Valeurs limites des rejets directs

Paramètres	Limite de rejet
Température	30°C
MES mg/l	50
DCO mgO ₂ /l	500 ²
DBO ₅ mgO ₂ /l	100 ²
Cadmium mg/l	0,2
Manganèse mg/l	1
Plomb total mg/l	2
Nickel total mg/l	0,5
Fer mg/l	3
Aluminium mg/l	10
Azote kjeldahl mg N/l	30 ²
pH	6,5-8,5 ¹

7. Conclusion

Les deniers années et avec l'augmentation des populations Le stockage des déchets solides sont en évolution réglementaire remarquable.

Les CET sont classées en trois classes en fonction de la perméabilité du sol et la nature des déchets entrés ; ces déchets sont stockés dans des casiers bien construit et avec l'interaction des eaux météoriques qui percolé il donne les lixiviats, qui contient des compositions chimique et de la MES déférente. Avent la rejeté de lixiviat il faut traiter pour éviter la pollution des eaux potables ; chaque centres utilisent une méthode déférentes (il ya plusieurs méthodes). Le CET de Bougerguer utilise la méthode d'osmose inverse.

Chapitre II

Description du site d'étude

1. Introduction

Avec l'augmentation des déchets, il est devenu nécessaire de créer des centres d'enfouissement des déchets qui sont des lieux dans lesquels sont stockés des déchets qui ne peuvent ni être recyclés ni être valorisés énergétiquement, de façon à contrôler leurs effets sur l'environnement [50]. Le souci majeur engendré par les CET est celui de lixiviat, liquide qui provient de la percolation de l'eau à travers les déchets stockés en décharge en se chargeant de substances tant minérales qu'organiques, elle peut se mélanger aux eaux de surface comme aux eaux souterraines et donc constituer un élément polluant tant par leur aspect quantitatif que qualitatif [21].

Dans ce chapitre on décrit la zone d'étude avec une présentation de son emplacement.

2. Description générale du site

Le Centre d'Enfouissement Technique (CET) de la wilaya de Guelma se trouve dans la commune de Héliopolis au lieu-dit « Bougerguer », à 4.3 km d' Héliopolis et de 10 km du chef-lieu de la wilaya. Il est exploité depuis 15/01/2012, avec une autorisation de réalisation n°374 du 23/04/2005. L'accès au site se fait par une route communale asphaltée, en bon état. Les abords de ce chemin son jonchés de part et d'autre de quelque déchets. Le centre lui-même est bien clôturé en dur avec une zone d'accueil parfaitement ordonnée verte et propre [56].

Il est limité par les communes suivantes :

Guellat Bou Sbaa au Nord,

Beni Mezline à l'Est,

Guelma à l'Ouest,

Khezarra au Sud.

Le Centre d'Enfouissement Technique (CET) recevant les déchets ménagers (classe II), est un centre intercommunal regroupant les communes suivantes : Guelma, Héliopolis, Belkhir, Boumahra Ahmed, Bendjerah, Beni Mezline, Bouati Mahmoud, El Fedjoudj, Djebalah khemissi, Guelâat Bousbaa, Khezara et Nechmaia et Oued Zenati. Sa superficie est de 12 Hectares avec un terrain semi-perméable, il compte deux casiers de déchets et deux bassins de lixiviats.

Le Centre est mis en exploitation 7 jours par semaine ; 12 heures par jour. La quantité de déchets journaliers est en moyenne de 179 ,146 t/j.

Le site comporte deux (02) casiers (Fig11), Ces casiers sont étanchéifiés avec d'argile, de géomembrane et de géotextile.

Le tableau suivant donne les caractéristiques de chaque casier :

Tab.5. Les caractéristique des casiers des déchets du CET de Bougerguer.

	Casier N°1	Casier N°2
Capacité de stockage	90 000 m ³	116 749 m ³
Profondeur	7m	9m
Durée de vie	8 ans	5 ans



Figure.11. Vu aérienne du CET [36]

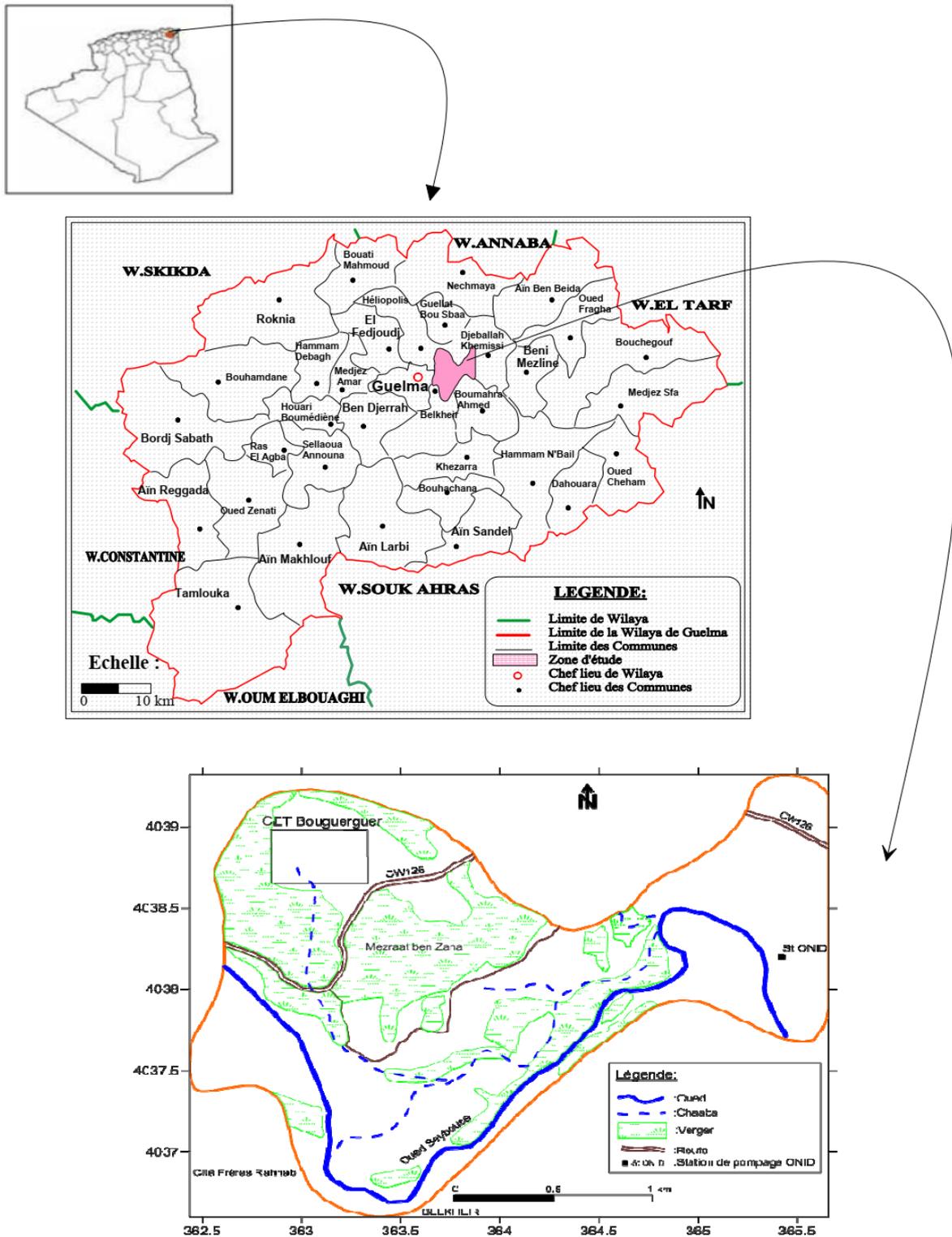


Figure.12. Carte de situation géographique du CET de Bouguerguer [21].

3. Climat de la zone d'étude

Les facteurs climatiques ont un impact permanent sur la vie sociale et économique d'une région. Notre zone d'étude est dominée par un climat subhumide [42].

Le diagramme Ombrothermique établi pour la station de Belkheir montre l'existence de deux saisons bien distinctes :

- Une saison sèche et chaude qui s'étale du mois de Juin avec une valeur de température moyenne de (23,1°C), jusqu'au mois d'Octobre avec une valeur de (17,9°C).
- Une saison humide plus longue qui s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai avec des valeurs de température qui varient entre (17,9°C) et (18,4 °C) [42].

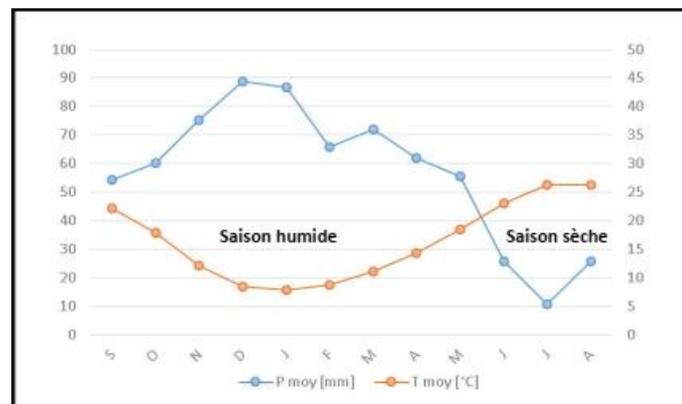


Figure.13. Diagramme pluviothermique de la région dans Guelma [60].

4. Réseau hydrographique

Le site est implanté dans une petite colline, à bord de la plaine de Guelma, cette dernière est sillonnée par l'oued Seybouse d'Ouest en Est, depuis Medjez Ammar jusqu'à Nador [56]. Les alluvions argilo-limoneuse du pliocène récent constituant la surface du sol du centre d'enfouissement de BOUGUERGUER sont perméables, elles ont une porosité d'interstices et constituent dans le périmètre étudié une nappe aquifère dont l'écoulement semble être d'Est en Ouest en direction de la chaabat [44]. Celle-ci renferme un chenal qui draine les eaux de la nappe vers l'aval, en direction de la plaine de Guelma et aboutit à Oued Seybouse [56].

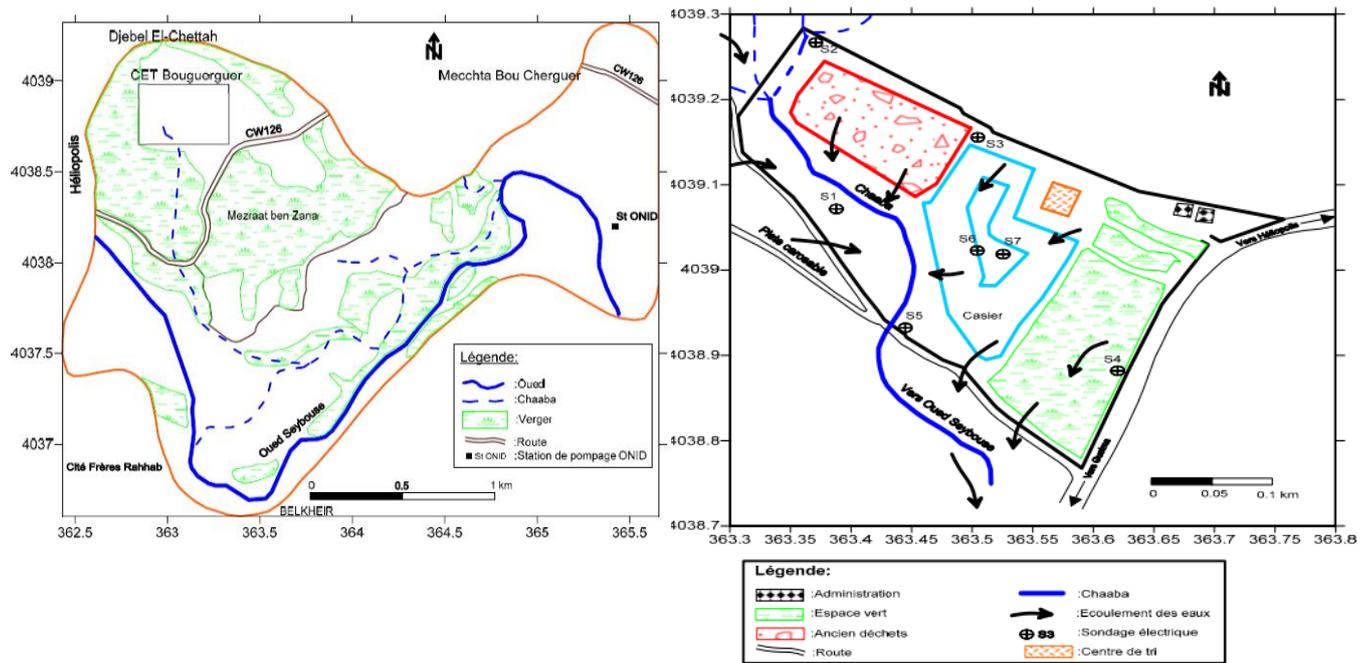


Figure.14. Réseaux hydrographique du CET de Bouguerguer-Guelma [56, 21].

5. Caractéristiques techniques du CET de Bouguerguer

Après l'étude du sol et des propriétés géologiques du site retenu pour l'implantation de la décharge, sur le fond du casier, une couche d'argile ou de marne y est déposée. Intervient ensuite la pose de la géomembrane de 2.0 mm ; un matériau étanche, permet d'éviter toute infiltration dans le substratum, sur le fond et les talus ou parois du casier, la pose de cette géomembrane exige une maîtrise des techniques de soudures. Cette dernière est alors recouverte par une couche de géotextile de 1,2 g/cm² (matériau souple absorbant les chocs) pour la protéger des contraintes de cisaillement.

Un caniveau de drainage perforé et entouré du grillage pour recueillir les lixiviats est aménagé dans l'axe du casier dans le sens de sa largeur.

Enfin une dernière couche de 50 cm de gravier de dimensions différentes, (10% de calcaire) est déposée.

5.1. Présentation de l'installation et ses ouvrages

Le tableau suivant résume l'emplacement et les caractéristiques du CET de Bouguerguer-Guelma.

Tab.6. Donnés générales du CET [88].

Mise en service du CET	14 janvier 2012	
Localisation	Commune Héliopolis	
Cordonnés géographique	Y : 7.470125N X : 36.4876280	
Surface affectée	12 hectares	
Nature des déchets	Déchets ménagers et assimilés	
Etat	Opérationnel	
Casiers	Casier N° 1	Sursaturé (septembre 2019)
	Casier N° 2	Volume = 116 749 m ³ (y compris dôme)
Tonnage journalier moyen	180 t/j	
Tonnage annuel moyen	65700 t/an	
Communes desservies	13 communes : Guelma, Héliopolis, Belkhir, Boumahra Ahmed, Bendjerah, Beni Mezline, Bouati Mahmoud, El Fedjoudj, Djebalah khemissi, Guelâat Bousbaa, Khezara, Nechmaia et oued Zenati.	
Communes programmées	5 communes : Hammam Debagh, Medjez Amar, Houari Boumediene, Selaoua Anouna, Ras El Agba.	
Nombre de camions/ jour	6 en rotation	

En début du mois de juin, un départ de feu a eu lieu au niveau du casier N°1 ce qui a été traduit par la création d'un accès par l'exploitant ,avec l'accompagnement de l'AND , afin de pouvoir recouvrir en terre la totalité du casier contre l'incendie.

En effet, cet accès a permis de gagner une exploitation supplémentaire de plus de trois mois.

Eu septembre 2019, le casier N°01 est devenu surélevé ne pouvant plus recevoir les déchets de la wilaya de Guelma, d'ou la nécessite de lancer le casier N°2 en urgence [87].

Le casier N°02 est lancé le 11 décembre 2019.

5.2. Quantité des déchets prévisionnelle du CET Guelma

La quantité des déchets prévisionnelle dépend de l'évolution de la population des communes.

Le ratio moyen de production des déchets par habitant de l'ordre 0.77 Kg /Hab/Jour pour les 5communes prévues et 0.545 pour les communes déjà programmées.

Une projection de l'évolution démographique de toute les communes desservies durant une plage de 5 ans est présentée ci-après :

Tab.7. Evolution de la population des communes desservies par le CET Bougerguer (2019_2024) [86].

Communes Desservies	Population						Taux de croissance (AND)
	2019(sourc e EPWG)	2020	2021	2022	2023	2024	
Communes desservies actuellement							
Guelma	139 445	140 728	142 023	143 329	144 648	145 979	0.92
Héliopolis	30 020	30 491	30 970	31 456	31 950	32 452	1.57
Belkhir	20 365	20 709	21 059	21 415	21 777	22 145	1.69
Boumahra Ahemed	20 579	20 906	21239	21 576	21 919	22 268	1.59
EL Fedjoudj	10 526	10 742	10 962	11 187	11 416	11 650	2.05
Beni Mezline	5 635	5 683	5 732	5 782	5 831	5 882	0.86
Guelaat Bou sbaa	6502	6 599	6 697	6 797	6 898	7 001	1.49
Djebala Khemissi	5 177	5 256	5 336	5 417	5 499	5 583	1.52
Bendjerah	7 561	7 911	8 277	8 661	9 062	9 481	4.63
Khezaras	11 980	12 278	12 584	12 897	13 219	13 548	2.49
Bouati Mahmoud	11 144	11 248	11 352	11 458	11 564	11 672	0.93
Nechmaya	11 948	11 603	11 708	11 815	11 922	12 031	0.91
Oued Zenati	37 930	38 662	39 408	40 169	40 944	41 734	1.93
Communes programmées							
Hamame Debaghe	18 914	19 306	19 705	20 113	20 529	20 954	2.07
Medjez Ammar	8 888	9 053	9 222	9 393	9 568	9 746	1.86
Houari Boumadiane	7 960	8050	8 141	8 233	8 326	8 420	1.13
Sellaoua Annoona	3 743	3 773	3 803	3 834	3 864	3 895	0.80
Ras el agba	3 114	3 159	3 204	3 250	3 296	3 343	1.43
Total (habitant)	360 981	366 157	371 422	376 781	382 233	387 783	/

La quantité des déchets varie selon les années. L'histogramme ci- dessous (Fig15) présente l'augmentation annuelle des déchets (2019, 2024).

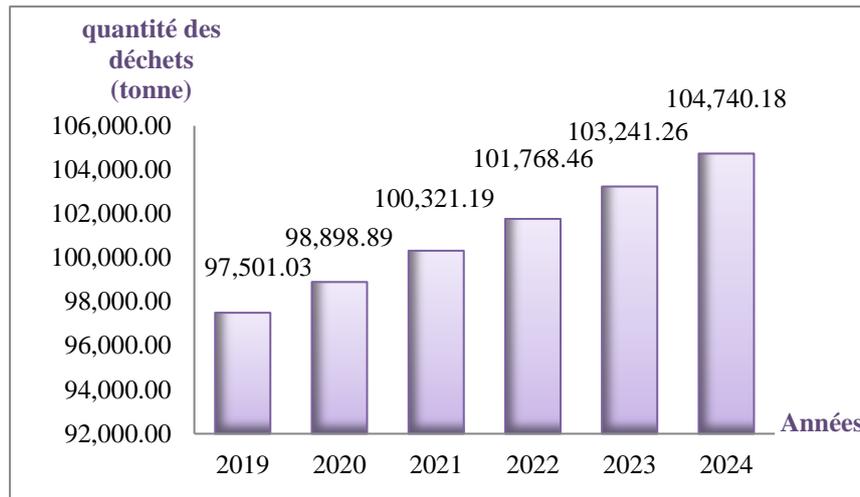


Figure.15. Quantité annuelles par tonne des déchets dans le CET Bougerguer [86]

5.3. Analyse qualitative des déchets

L'opération avait pour objectif de savoir la composition exacte des déchets de la wilaya de Guelma en vu de déterminer le gisement récupérable, ce qui permet par la suite la mise en place d'un système de tri et de récupération efficace.

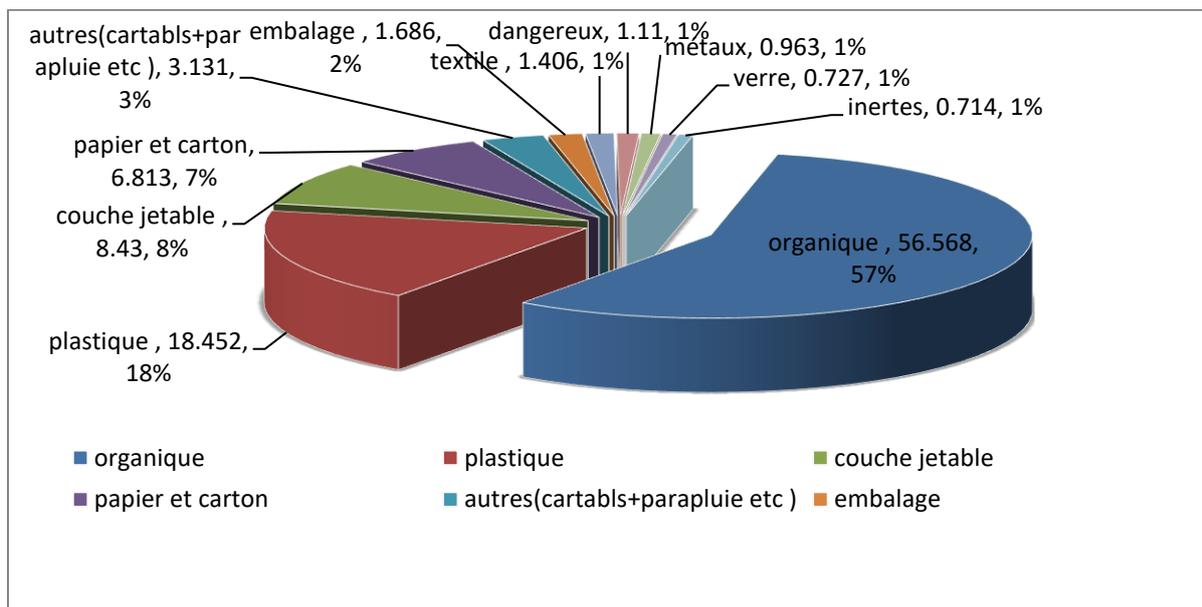


Figure.16. Analyse qualitative des déchets [1]

6. Les lixiviats du CET Bougerguer

Le lixiviat (lessive au sens trivial ou percolât en physique) est le liquide résiduel qui provient de la percolation de l'eau à travers un matériau, dont une fraction peut être soluble. Ce matériau traversé peut être, par exemple, une poudre, un corps poreux insoluble ou très

faiblement soluble, un amas quelconque de corps solides, avec des fractions liquides et gazeuses, etc.

6.1. La gestion et le réseau de collecte des lixiviats

La production des lixiviats au sein d'une décharge est permanente, ce qui implique une surveillance vigilante, d'où la gestion des lixiviats consiste à garantir la collecte, le stockage et le traitement de ces lixiviats. Dans le cas du centre d'enfouissement technique de Bouguerguer Guelma, les lixiviats sont actuellement stockés dans deux bassins (Figure.17.) avec un traitement par la méthode d'osmose inverse. Notant que l'évacuation des lixiviats vers les bassins de stockage peut s'effectuer de deux manières :

- ✓ Par le pompage avec les pompes immergées en utilisant de l'énergie ; avant l'incendie du mois de juin.
- ✓ Par la gravité simplement (réseaux de collecteurs) si les clauses techniques permettent [56].



Figure .17. Les bassins de lixiviat du CET Bouguerguer, Guelma [56].

6.1.1. Les quantités de lixiviats produite pendant les années (2017-2020)

La décharge de Bouguerguer produit environ 2500 m³ de lixiviats mensuellement qui sont pompés vers les deux bassins de stockage.

Les quantités de lixiviats produites au sein du centre d'enfouissement technique durant les années (2017-2020) sont présentées dans le (Tableau.8), les quantités sont exprimées en m³. Il est à signaler aussi, qu'un volume important de lixiviats débordent hors canalisation de captage des lixiviats [56].

Tab.8. Quantité de lixiviats produites mensuellement en m³ [56].

	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
2017	4562,7	2316,2	1634,1	2394,6	1169,3	1981,3	2096,6	1890,6	2615	3430,6	3717,28	4728,6	32536,88
2018	4231,2	3952,5	3289,4	2836,5	1828,6	1745,6	1536,5	1208,5	1914	2925,7	3029,03	3306	31803,53
2019	5032,2	5160,3	4644,2	3637,8	2143,7	3023,2	4038,8	3012,8	4147	1254,4	1263,36	1187,2	44344,96
2020	1028,2	1075,2	1612,8	1007,2	1243,2	1366,4	971,2	847	1008	2822,4	4032,1	3520,4	20534,1

7. Station de traitement

Dans le CET de Guelma on utilise la méthode de traitement par osmose inverse (Fig1), (Le principe dans le chapitre I) qui commence pendant l'année de 2021.

Tab. 9. Caractéristique technique de la station d'épuration du CET [6].

Désignation	Descriptif	Observation
Type de traitement	Osmose inverse	
Capacité journalière (m3)	80	Capacité effectif de permeat
Volume de bassin d'hominsation	600	
Volume de bassin du concentrât (m3)	300	



Figure .18. Station de traitement des lixiviats du CET Bouguerguer Guelma

7.1. Quantité de lixiviat traité du CET Bouguerguer en 2024

- Pendant le mois de janvier ils travaillent 32h09min et traite 156,19 m³ de lixiviats brute (Fig17) ; résultat du processus de filtrage donne 124 m³ d'eau traité (Fig18), (permeat) et 69,19 m³ de concentrât.
- Pendant le mois de Février ils travaillent 27h49 min et traite 117m³ de lixiviats brute ; résultat du processus de filtrage donne 85 m³d'eau traité (permeat) et 58m³ de concentrât.
- Pendant le mois de Mars ils travaillent 23h46min et traite 115m³ de lixiviats brute ; résultat du processus de filtrage donne 81 m³ d'eau traité (permeat) et 53m³ de concentrât [18].

Tab.10. Quantité de lixiviats traitée pendant les trois mois (janvier, février, mars 2024) [18].

Année	Moins	Temps	Lixiviats	Recirculation	Permeat	Concentrât
2024	Janvier	32h09min	156,19 m ³	37 m ³	124 m ³	69 ,19 m ³
	Février	27h49min	117 m ³	26 m ³	85 m ³	58 m ³
	Mars	23h46min	115 m ³	19 m ³	81 m ³	53 m ³

$$\text{Lixiviats+ Recirculation} = \text{Permeat+ Concentrât}$$

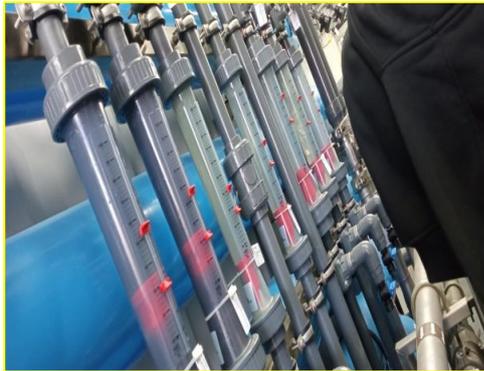


Figure.19. lixiviats pendant le traitement



Figure.20. Lixiviats après le traitement

8. Les problèmes du CET Héliopolis

- Du point de vue géologique et d'après le rapport établi par le bureau d'étude AQUASOL-CONSULT la surface du CET est constituée par des alluvions plus ou moins perméables et constituent une nappe aquifère dont l'écoulement se fait d'Est en Ouest [59].
- Les deux casiers sont saturés donc il y a un risque ou problème d'effondrement.
- Le dimanche juin 2019, un feu de grande ampleur s'est déclaré au centre d'enfouissement technique (CET) des déchets urbains solides de Bougerguer (Guelma). Ce qui a fait brûler le système de circulation du lixiviat [52].
- Risque d'infiltration de lixiviat à cause de la perméabilité de terrains
- lixiviats sont rejetés de manière incontrôlée 100% dans le milieu naturel (lit d'oued partiellement sec).
- Le risque de brûler les champs voisins et de détruire les cultures agricoles (EX : l'incendie de début juin 2019 aurait détruit pas moins de 111.5 hectares de blé dur, 16 hectares d'orge, 115 oliviers, 5 hectares entre buissons et broussailles).
- Le centre est implanté dans un terrain agricole [51].

9. Conclusion

Le CET des déchets urbains solides de Bougerguer (Guelma) se trouve dans une région à climat sub-humide qui se divise en deux saisons ; une saison sèche et chaude qui s'étale du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre et une saison humide plus longue qui s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai. Dans le centre il y a deux casiers de déchets avec une

quantité de déchets journalière en moyenne de 179,146 t/j. Le CET rejette ses lixiviats épurés dans la station de traitement par osmose inverse à quelques mètres du centre dans l'oued chaaba qui débouche à son tour dans l'oued Seybouse.

Chapitre III

Matériels et méthodes

1. Introduction

La présente étude a pour objectif la caractérisation physico-chimique des lixiviats issues du centre d'enfouissement technique de Bougerguer, et son impact sur les eaux d'irrigation dans la région d'étude.

A cet effet Nous allons présenter les différentes modalités d'échantillonnage et les méthodes de traitements et d'analyses des échantillons.

Dans cette étude, des échantillons ont été prélevés des lixiviats bruts issues directement des casiers de déchets dans le centre d'enfouissement et à la sortie dans l'oued après rejet.

L'analyse des lixiviats a concerné les éléments suivants : Température, potentiel Hydrogène, Conductivité électrique, Oxygène dissous, Turbidité, Nitrite, Ammonium, Azote, Sodium, Potassium, DCO, DBO₅, MES et Fer.

Pour les eaux de rejet dans l'oued on a analysé : Température, potentiel Hydrogène, Conductivité électrique, Oxygène dissous, Turbidité, Sodium, Potassium, calcium, magnésium, DCO, DBO₅, MES, et Fer.

Les paramètres physiques ont été mesurés in situ, le reste des éléments a été fait pendant le mois d'Avril de l'année 2024

2. Paramètres analysés

Les échantillons doivent être analysés le plus tôt possible après le prélèvement pour avoir des résultats représentatifs. Ces analyses regroupent la mesure des paramètres in situ ainsi que des paramètres mesurés au laboratoire.

2.1. Mode de prélèvement

Compte tenu de la diversité des eaux résiduaires ainsi que des systèmes de transfert et de dilution, il n'existe pas de technique de prélèvement satisfaisante, en toutes circonstances [90]. L'échantillon de lixiviats a été collecté directement du bassin de lixiviats, juste à la sortie des tuyaux de drainage et les deux autres échantillons ont été prélevés dans deux point ; l'une dans oued Chaabat à la sortie du CET et l'autre dans l'oued Seybouse (Fig.21.).

Le prélèvement s'est fait dans des bouteilles en polyéthylène de 500 ml à son extrémité préalablement lavées à l'acide nitrique puis à l'eau distillé. Pour les échantillons prélevés dans l'Oued, avant le remplissage des bouteilles, celles-ci, ont été lavées avec l'échantillon à prélever. Le remplissage des bouteilles a été fait à ras bord, puis le bouchon vissé pour éviter

tout échange gazeux avec l'atmosphère. Ensuite, conservés en glacière pendant le transport. Ils ont été ensuite maintenus à 4° dans l'obscurité jusqu'au moment de l'analyse.

Enfin, les échantillons de lixiviats ont été analysés dans les 24 heures qui suivent.

P1 : au niveau du bassin de lixiviats ;

P2 : au niveau d'Oued chaaba ;

P3 : au niveau d'Oued Seybouse.

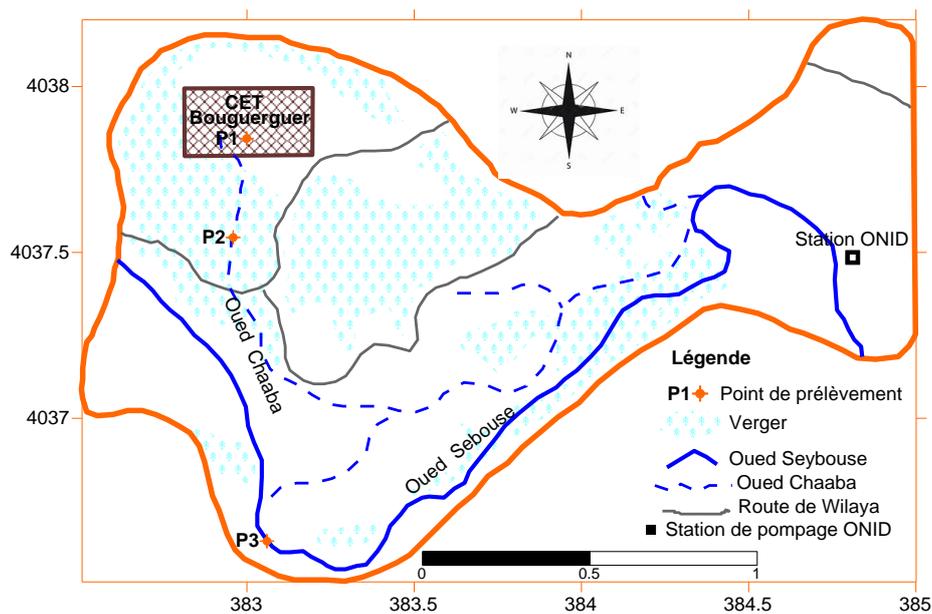


Figure. 21. Carte des points de prélèvement des échantillons

2.1.1. Mesures In situ

Les paramètres physiques qui changent au cours du temps, ont été mesurés directement sur le terrain à l'aide d'une sonde multi paramètres. Ça concerne la conductivité, le pH, la température, l'oxygène dissous et la salinité [56].

a. Température (T) :

La température est une grandeur physique liée à la notion immédiate du chaud et du froid. Il est important de connaître la température de l'échantillon avec précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, donc dans la détermination du pH et sur la conductivité. L'unité S.I de température est le kelvin (K) mais le degré Celsius (C°) est couramment utilisé.

Appareillage : Thermomètre de mercure est compris entre (-10 à 110), On peut la mesurer au même temps avec le pH par le pH mètre [5]

b. Potentiel d'hydrogène « pH »

Le pH par définition est une mesure de la concentration des ions H_3O^+ contenu dans une solution. Il est relié à l'activité des ions H^+ par la relation suivante :

$$pH = - \log pH$$

- **Principe**

Le pH s'effectue par mesure de la différence de potentiel entre électrode de mesure (électrode de verre) et une électrode de référence à potentiel connu (électrode au calomel à concentration saturée en KCl) [5].

- **Appareillage** : pH mètre à électrode, Multi 3420 WTW.

- **Mode opératoire**

- Rincer l'électrode d'abord avec de l'eau distillée, immerger l'électrode dans l'échantillon et faire la lecture après la stabilisation de pH au pH mètre.

c. La conductivité électrique

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. [23]. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée [100]. La conductivité électrique d'une eau augmente avec la température, car la mobilité des ions augmentent avec elle [90].

- **Principe**

La conductivité est la mesure de la capacité de l'échantillon à conduire le courant électrique. Elle est déterminée par l'utilisation d'un appareil de conductimètre

- **Appareillage** : Cond 3110 WTW, Conductimètre à électrodes.

- **Mode opératoire**

➤ Rincer plusieurs fois l'électrode de l'appareil d'abord avec de l'eau distillée.

➤ On introduit l'électrode de l'appareil dans un bêcher qui contient de l'échantillon à analyser. La lecture se fait après stabilité de la valeur affichée [5]. Le résultat obtenu est exprimé en $\mu S/cm$ ou en mS/cm .

d. L'oxygène dissous

C'est une grandeur importante de l'écologie des milieux étudiés. Elle est essentielle pour la respiration des organismes vivants hétérotrophes. La concentration d'oxygène gazeux qui se trouve à l'état dissous dans l'eau est exprimée en mg/l. Le dioxygène dissous provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. L'oxygène dissous disponible est limité par la solubilité de l'oxygène (maximum 9 mg/l à 20°C) [33].

Il dépend de nombreux facteurs comme la température de l'eau, le taux des éléments dissous dans le milieu, ainsi que la pression partielle en oxygène dans l'atmosphère [79].

De plus, la présence des quantités importantes de matières organiques dans les eaux souvent d'origine anthropique, peut provoquer un déficit d'oxygène dissous dans le milieu aquatique. Cela est lié à la consommation de l'oxygène du milieu par les microorganismes qui dégradent des matières organiques [55].

- **Appareillage**

Oxymétrie de marque HANNA instruments 2400 ou Oxygène dissous O₂ OH 357.1

- **Mode opératoire :**

- Rincer plusieurs fois l'oxymétrie avec de l'eau distillée.
- On introduit l'électrode de l'appareil dans un bêcher qui contient de l'échantillon à analyser. La lecture se fait après stabilité de la valeur affichée.

2.1.2. Mesures In vitro

Les paramètres suivants sont analysés au laboratoire ; Nitrite, Ammonium, Azote, Sodium, Potassium, DCO, DBO₅, MES et Fe.

a. Matière en suspension

Après filtration de lixiviat de chaque station, on a récupéré le filtre avec sa charge particulaire destinée aux analyses de laboratoire. Les matières en suspension sont exprimées en mg/l et représentent la masse sèche totale retenue par la membrane filtrante [62].

- **Appareillage :** Centrifugeuse (Figure.22.), pipette en plastique

- **Principe de centrifugation**

La centrifugation est la technique de séparation des composants dans laquelle la force/accélération centrifuge entraîne le déplacement des molécules les plus denses vers la périphérie tandis que les particules les moins denses se déplacent vers le centre [49].

- **Mode opératoire**
- On met l'échantillon dans un pipete
- On met le pipete dans le centrifuge avec un déterminons de temps et da vitesse après l'arrêt de l'appareille en prendre l'échantillon



Figure.22. Centrifugeuse

b. La demande biochimique en oxygène

La demande biochimique en oxygène DBO₅ est l'un des indicateurs de la pollution organique qui exprime le niveau de biodégradabilité de l'effluent, elle indique la quantité d'oxygène (mg/l ou g/l) que les bactéries utilisent pour décomposer partiellement ou pour oxyder totalement en CO₂ des substances organiques dans l'eau, en un temps donné, à l'aide de leurs systèmes enzymatiques.

D'une manière simplifier on peut la décrire par :



Les microorganismes transforment la matière par leur métabolisme, pour gagner de l'énergie (catabolisme), et fabriquer des substances nécessaires à la composition des cellules (anabolisme) [84].

• Principe d'analyse

La DBO est mesuré au bout de 5 jours à 20°C (T° favorable à l'activité des microorganismes consommateurs d'oxygène) et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite).

Deux échantillons sont nécessaires ; le 1^{er} sert à la mesure de la concentration initiale en O₂, et le second à la mesure de la concentration résiduaire en O₂ au bout de 5 jours. La DBO₅ est la différence entre les O₂ concentrations.

Les mesures seront effectuées sur un même volume et le second échantillon sera conservé 5 jours à l'obscurité et à 20°C.

En effet une eau abandonnée à elle même dans un flacon fermé consommera rapidement le dioxygène dissous [57].

-L'eau pure ne consomme effectivement pas d'oxygène.

- **Réactifs utilisés** : inhibiteur de nitrification, l'échantillon à analysé, hydroxyde de Sodium (solide).
- **Matériels utilisés** : éprouvette, DBO-mètre 901 (Made in EUROPE) barreaux magnétique, les bouteilles (figure.23.)
- **Mode opératoire** :
 - Remplie les bouteilles avec ml de l'échantillon à analysé.
 - Ajouter les gouttes d'inhibiteur à chaque bouteille.
 - Placer un godet en caoutchouc contenant deux pastilles de soude (NaOH) servant à absorber le CO₂ produit lors de la consommation de l'oxygène (les pastilles ne doivent jamais être en contact avec l'échantillon).
 - Fermer les bouteilles et les placent dans l'appareil.
 - Placer l'appareil dans l'incubateur de DBO à 20 C°.
 - Suivit de l'affichage de la Concentration de l'oxygène à chaque jour [5].



Figure.23. DBO-mètre [7].

c. La demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) exprime la quantité d'oxygène consommée par les matières organiques existant dans l'eau et oxydables, dans des conditions opératoires définies. La détermination de la DCO se fait essentiellement par oxydation avec le dichromate de potassium, dans une solution portée à ébullition, à reflux pendant 2 heures en présence d'ions (Ag^+) comme catalyseurs d'oxydation [90].



Figure.24. thermoréacteur de la DCO [9].

d. Dosage de l'azote total Kjeldahl

L'azote total Kjeldahl (TKN) est la somme de l'azote organique, de l'ammoniac (NH_3) et de l'ammonium (NH_4^+) dans l'analyse chimique du sol, de l'eau et des eaux usées.

Aujourd'hui, l'azote total Kjeldahl est un paramètre requis pour la détection réglementaire dans de nombreuses installations de traitement des eaux [54].

- **Méthode semi-automatique :** Turbotherm + Vapodest(gherardt)
- **Matériels :** matras, kjeltec ,échantillon testé.
- **principe**

ETAPE 01 : Minéralisation

Prélèvement des échantillons (6ml), ajout 20ml d'un acide sulfurique concentré puis on ajoute des tablettes Kjeicat (catalyseur) on place les matras sur le turbotherme puis on installe le système d'aspiration des fumées (choisir le programme adéquat), le turbosog se lance automatiquement, l'appareil chauffe en puissance et suit 3étapes. Des vapeurs sont observées lors de la minéralisation, durée moyenne : 2 heures à 2h :30. Les échantillons sont refroidis

ETAPE 02 : distillation (la distillation dure quelques minutes dans le vapodest pour chaque matras), lancer le programme adéquat

L'ammoniac piégé par l'acide borique fait changer la couleur du milieu

Procéder à un nettoyage entre chaque matras

Distiller l'étalon, les blancs et les échantillons

ETAPE 03 : Dosage colorimétrique

Doser l'ammoniac par l'acide chlorhydrique à 0,1M

L'équivalence est repérée par la couleur grise (virage vert- violet)

Calculer le pourcentage d'azote (ou la concentration)

La teneur moyenne des échantillons en azote kjeldhal comprend ammonium, ammoniacal et organique) [66].

e. Dosage de l'ammonium

La forme d'azote la plus toxique est l'ammonium (NH_4^+). Il joue un rôle essentiel dans le cycle de l'azote. Il est formé par la décomposition des matières organiques, telles que les déchets d'animaux et les plantes mortes. L'ammonium est ensuite utilisé par les bactéries nitrifiantes dans le processus de nitrification, au cours duquel il est converti en nitrites puis en nitrates. Ces nitrates peuvent être absorbés par les plantes comme source d'azote pour leur croissance. Cependant, des niveaux élevés d'ammonium dans les écosystèmes aquatiques peuvent être toxiques pour la vie aquatique, car ils perturbent l'équilibre naturel de l'eau et peuvent entraîner une diminution de l'oxygène dissous [60].

- **Méthode** : spectrométrie manuelle

- **Principe** : Mesurage spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et Hypochlorite en présence de nitrosopentacyanoferrate de sodium (nitroprussiate de sodium).

- **Réactifs** : - Réactif coloré - Solution de Dichloroisocyanurate de sodium

- **Matériels** :

- Matériel courant de laboratoire : verrerie (fioles et pipettes), balance analytique
- Spectrophotomètre.

- **Préparation de l'échantillon** :

- prendre 40 ml d'échantillon dans une fiole de 50 ml
- ajouter 4 ml (réactif I). - ajouter 4 ml de la solution de réactif

- compléter la fiole jusqu'à la jauge.
- Attendre 1 h 30 min.
- L'apparition de la couleur vert indique la présence de l'ammonium
- effectuer la lecture.
- **Expression des résultats** : Le résultat est donné directement en mg/l [6].

f. Dosage des nitrites

Les nitrites (NO_2^-) sont des composés chimiques contenant de l'azote et de l'oxygène. Les nitrites proviennent, soit d'une réduction des nitrates, soit d'une oxydation incomplète des ions ammonium [26].

•Principe:

Les

ions nitrites réagissent en milieu acide ($\text{pH}=1,9$) avec le sulfamide en formant le sel de diazonium (diazotation) qui forme avec le N-(1-naphtyl)-éthylènediaminedichlorohydraté un colorant azoïque rouge.

- **Méthode** : Spectrométrie

• Réactifs :

- Solution du réactif mixte

• Mode opératoire :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser
- Ajouter 1 ml du réactif mixte.
- Attendre 10 mn.

* L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^-

• Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l [6].

g. Dosage du calcium et du magnésium

▪ Calcium Ca^{2+}

Considéré comme un élément essentiel (99% dans le squelette), le calcium doit être fourni au corps humain à raison de 0.7 à 2 g/j. Des concentrations élevées dans l'eau ne présentent pas de danger pour la santé. Le seuil de détection gustative se situe entre 100 à 300 mg/l. Dépendant de la température, du pH et de l'alcalinité de l'eau, la concentration en calcium constitue un facteur favorable selon le cas, soit l'entartrage (forte teneur), soit la corrosion (faible teneur). Une teneur suffisante peut provoquer un léger dépôt de carbonate sur les conduites métalliques qui les protègent contre la corrosion [38].

▪ Magnésium Mg^{2+}

Le magnésium est l'un des éléments les plus répandus dans la nature, il constitue environ 2,1% de l'écorce terrestre. Il constitue un élément significatif de la dureté de l'eau. A partir d'une concentration de 100 mg/l et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau. S'ils ne provoquent pas de phénomènes toxiques (sauf chez les personnes résultats des insuffisances rénales), les sels de magnésium, essentiellement le sulfates, peuvent avoir un effet laxatif à partir de 400 mg/l [38].

- **Méthode :** titrimétrique à l'EDTA

- **Principe**

Le principe est le même que pour la mesure de la dureté calcique, mais l'utilisation de deux indicateurs permet de doser successivement, et sur un même échantillon, le calcium et le magnésium.

Le calcium total est dosé avec une solution aqueuse d'EDTA à pH compris entre 12 et 13. Ce dosage se fait en présence de MIRUXIDE réagit d'abord avec les ions calcium libres, puis avec les ions calcium combiné avec l'indicateur coloré, qui va alors de la couleur rose bonbon à la couleur bleu roi.

- **Réactifs utilisés :** solution d'E.D.T.A ($C_{10}H_{14}Na_2O_8 \cdot 2H_2O$) à 0,1 N, solution D'hydroxyde de potassium (KOH) à 45%, indicateur coloré MIRUXIDE

- **Matériels utilisés :** Burette graduée, Erlenmeyer, Pipette graduée.

- **Mode opératoire :**

- Prendre 50 ml de l'échantillon (l'eau) à analyser.
- Ajouter 5 ml de la solution d'hydroxyde de potassium.
- Ajouter une pincée de MIRUXIDE
- Titrer avec l'EDTA jusqu'au point d'équivalence. Noter VE [5].

h. Dosage des bicarbonates

Les carbonates totaux dissous dans les eaux sont liés par des équilibres acide-base à l'acide carbonique :



Aux pH des eaux naturelles (entre 7 et 8) les carbonates sont sous formes HCO_3^- (ion bicarbonate ou hydrogénocarbonate) principalement avec des traces d'acide carbonique (ou de dioxyde carbone) et d'ion carbonate (notamment quand le pH est supérieur à 8,3 – 8,4).

- **Méthode** : titrimétrique.
- **Principe**

Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré.

- **Mode opératoire**

Le dosage des HCO_3^- se fait par acidimétrie à l'aide d'une solution d'acide sulfurique H_2SO_4 à 0.02N en présence de l'indicateur coloré le vert de Bromocrésol et phénolphthaléine dans la solution des carbonates [90].

i. Dosage du sodium et du potassium par spectrophotométrie de flamme

▪ **Sodium (Na)**

Le sodium est l'un des constituants majeurs de l'écorce terrestre (2.83 %). Il existe dans la totalité des eaux car sa solubilité est très élevée. L'élément en question trouve principalement son origine dans la dissolution de formations salifères, ainsi que dans les eaux usées provenant des activités industrielles et domestiques, ainsi que dans l'utilisation d'engrais. Il est habituellement associé à l'ion chlorure, se dissout facilement dans l'eau, et subit des modifications en raison du processus d'échange de bases avec les éléments alcalino-terreux [60].

▪ **Potassium (K^+)**

La présence du potassium est moins répandue dans la nature [58]. Cet élément alcalin règle la teneur en eau à l'intérieur des cellules [74]. Il est étroitement rattaché au sodium. Le potassium provient de la dissolution des engrais chimiques (NPK), des argiles potassiques, des rejets industriels...etc.

- **Appareillage** : Photomètre à flamme.
- **Principe**

La photométrie de flamme consiste à vaporiser dans une flamme de gaz de butane, une dilution aqueuse du plasma à analyser. Le changement de coloration de la flamme est analysé grâce à une cellule photoélectrique.

L'intensité de la coloration est en rapport avec la concentration en ions Na et en ions K [20].



Figure.25. Photomètre à flamme.

j. Fer

C'est le métal assez répandu. IL est classé en 4^{ème} rang des éléments de la croûte terrestre, les besoins pour l'organisme humains se situent entre 2 et 3 mg/j. Le fer est déterminé par la méthode de spectrophotométrie UV visible **96**.

• **Principe** : Addition d'une solution de phénanthroline 1,10 à une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe rouge-orange à une longueur d'onde de 510 nm. Pour le dosage du fer total et du fer total dissous, du chlorhydrate d'hydroxylamine est ajouté pour réduire le Fe_3^+ en Fe_2^+ .

• **Réactifs** :

- Solution de chlorhydrate d'hydroxylamine à 100 g/l
- Solution de phénanthroline
- Solution tampon acétate.

• **Matériels** :

- Spectrophotomètre UV-visible.
- Matériel courant de laboratoire : Verrerie (fioles et pipettes), balance analytique.

• **Mode opératoire**:

- prendre 50 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 100 ml
- Ajouter à la solution transvasée, 1ml de la solution de chlorhydrate d'hydroxylamine et mélanger soigneusement
- ajouter 2 ml de tampon acétate pour obtenir un pH compris entre 3,5 et 5,5 de préférence 4,5
- Ajouter enfin 2ml de la solution de phénanthroline-1,10 compléter à 50 ml puis conserver les fioles à l'obscurité pendant 15 mn.
- Enfin passer au spectro pour mesurage à la longueur d'onde de 510 nm.

• **Expression des résultats** : le résultat est donné en mg/l [6].

Chapitre IV

Résultats et discussion

1. Introduction

Le présent travail porte sur l'impact des lixiviats issues du centre d'enfouissement technique de Bougerguer sur la qualité des eaux d'irrigation dans l'oued Seybouse.

Dans cette partie nous avons traité les résultats obtenus par analyses dans le centre d'enfouissement technique de Guelma durant l'année 2024 et on a procédé à une comparaison des éléments entre les lixiviats bruts et les deux points prélevés respectivement dans la chaaba et dans l'oued Seybouse.

Nous signalons que les lixiviats issues du centre subissent un traitement par osmose inverse avant qu'elle soit rejetée dans l'oued Seybouse.

L'aptitude des eaux étudiées à l'irrigation est traitée par plusieurs méthodes.

2. Interprétation des résultats

2.1.La Température (T)

La température de l'eau est un paramètre important car elle permet de déterminer l'utilisation des eaux pour le confort des usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de la température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau [21]. D'après l'histogramme de Température ci-dessous on note :

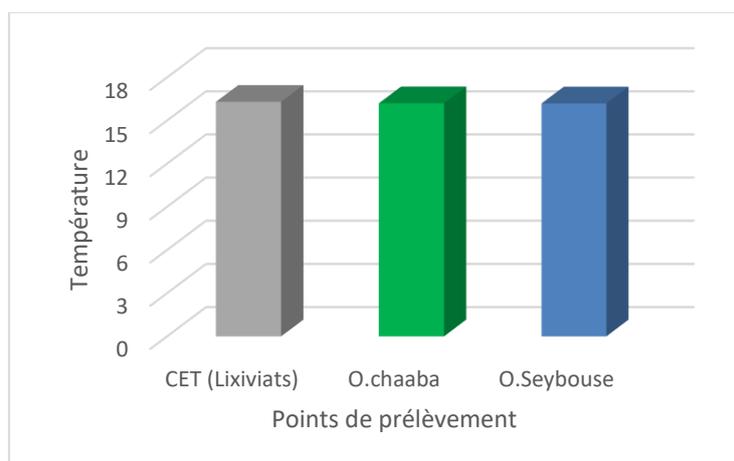


Figure .26. Variation spatiale de la température dans les points de prélèvement.

La valeur de la température enregistrée est presque identique dans les trois points d'échantillonnage, oscillant entre 16.19 et 16.3 C°, montrant ainsi l'influence du climat de la période de prélèvement sur les eaux de surface. On remarque que ces valeurs sont dans les normes Algériennes (<30C°).

2.2. Le Potentiel d'hydrogène (pH)

Le pH est la mesure de la concentration en ions hydrogène de la solution (H⁺). Le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 8,5. À ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale [64]. Le graphe ci-dessous, présente les teneurs en pH du mois d'avril ;

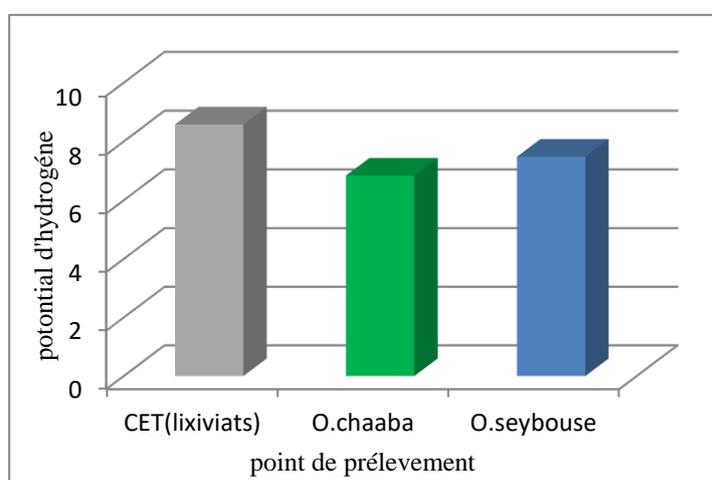


Figure .27. Variation spatiale du pH dans les points de prélèvement.

Les valeurs enregistrées du pH, fluctuent entre 8,58 et 6,48 ; la valeur la plus élevée est enregistrée au niveau du bassin des lixiviats. Cette dernière est probablement due à des processus de décomposition biologique des déchets et des réactions chimiques. Ces valeurs sont dans les normes Algériennes des rejets (6,5-8,5).

2.3. La Conductivité électrique (CE)

La mesure de la conductivité permet d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. Elle renseigne sur le degré de minéralisation d'une eau, c'est-à-dire qu'elle traduit la présence d'ions dans l'eau brute. Les résultats des échantillons analysés de la conductivité électrique du mois d'avril sont présentés dans la figure ci-dessous :

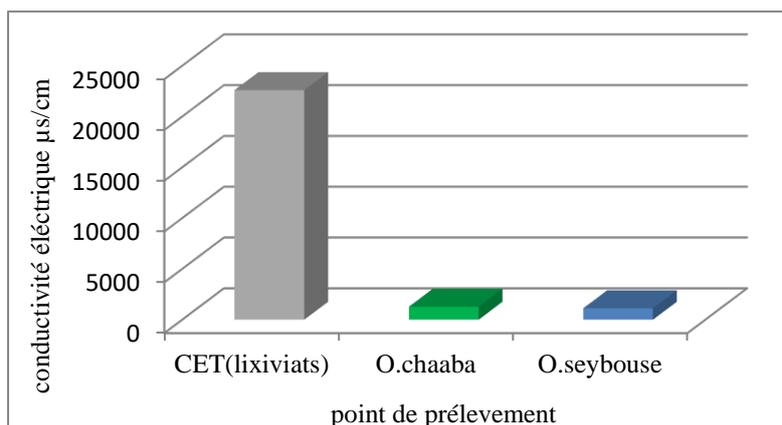


Figure .28. Variation spatiale de la conductivité électrique dans les points de prélèvement.

On observe que la teneur la plus élevée de la conductivité ($22600\mu\text{s}/\text{cm}$), s'enregistre dans le premier point des lixiviats avant traitement. Les deux autres points de prélèvement P2, P3 montrent une baisse remarquable de la teneur en conductivité. Ces changements sont probablement dus à l'effet d'épuration des lixiviats avant rejet ainsi que l'éloignement du centre. Les teneurs enregistrées dans les deux points P2 et P3 sont dans les normes Algériennes des eaux de surface ($2800\mu\text{s}/\text{cm}$).

2.4.La Turbidité (NUT)

Elle représente le paramètre qui indique la présence de la matière organique ou minérale. Elle varie suivant la présence des matières en suspension et se traduit par le degré de transparence de l'eau [22]. Les résultats des échantillons analysés de la turbidité du mois d'avril sont présentés dans la figure ci-dessous :

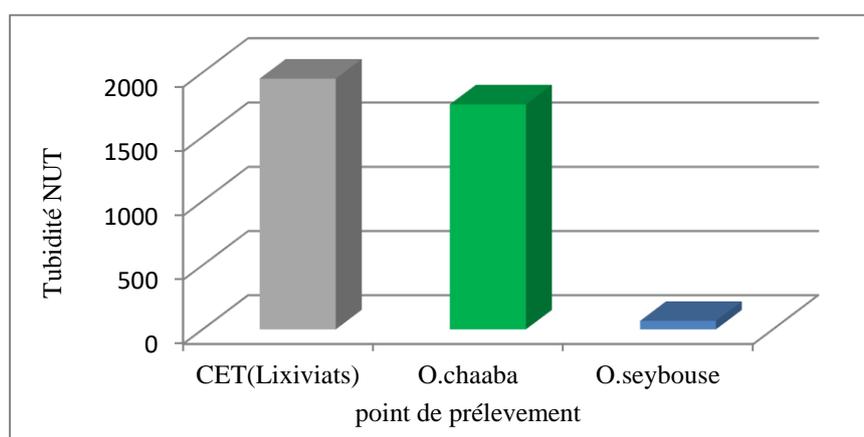


Figure .29. Variation spatiale de la turbidité dans les points de prélèvement.

Le premier point de lixiviats présente une valeur de 1952 NUT. Cette teneur garde presque la même grandeur au deuxième point dans l’oued Chaaba (1752 NUT), pour atteindre une valeur de 211 NUT au point 3 d’Oued Seybouse.

La teneur élevée de turbidité dans les lixiviats est due probablement au lessivage des matières organique et des sédiments ainsi qu’au ruissellement des eaux pluviales chargées en particules. La valeur du deuxième point peut s’expliquer par l’agitation et le mélange des eaux avec les eaux dans l’Oued. Quant au troisième point d’Oued Seybouse la teneur en turbidité a baissé à cause de l’éloignement du rejet et aussi de la diminution de la vitesse d’écoulement qui provoque une sédimentation des particules.

2.5.L’Oxygène dissous

C'est la teneur en O_2 pour laquelle l'eau est saturée à 100%. D’autre part, la présence de l'oxygène dans l'eau résulte d'une diffusion à partir de l'air au niveau de la surface et surtout de l'activité photosynthétique des végétaux aquatiques, notamment des algues du phytoplancton [77].

La figure ci-dessous montre la variation de l’oxygène dissous dans les trois points de prélèvement durant le mois d’avril :

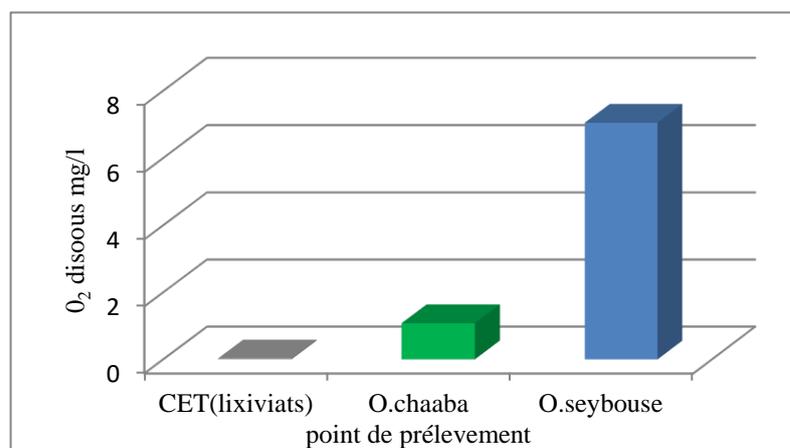


Figure .30. Variation spatiale d’ O_2 dissous dans les points de prélèvement.

La teneur en oxygène dissous dans les lixiviats est presque nulle à cause de la présence des microorganismes dégradant la matière organique (processus anaérobie), dans l’eau. Après traitement de ces eaux, ces teneurs augmentent progressivement pour atteindre 7.05mg/l dans l’oued Seybouse et s’insère dans les normes Algériennes.

2.6. La Matière en suspension (MES)

Elles constituent un paramètre important qui marque le degré de pollution ; elles sont constituées par l'ensemble de particules organiques et minérales non dissoutes contenues dans l'eau. Leurs présences augmentent la turbidité et réduisent la luminosité ; elles donnent à l'eau donc une apparence trouble et souvent un mauvais goût et odeur [77]. On remarque selon l'histogramme ci-dessous :

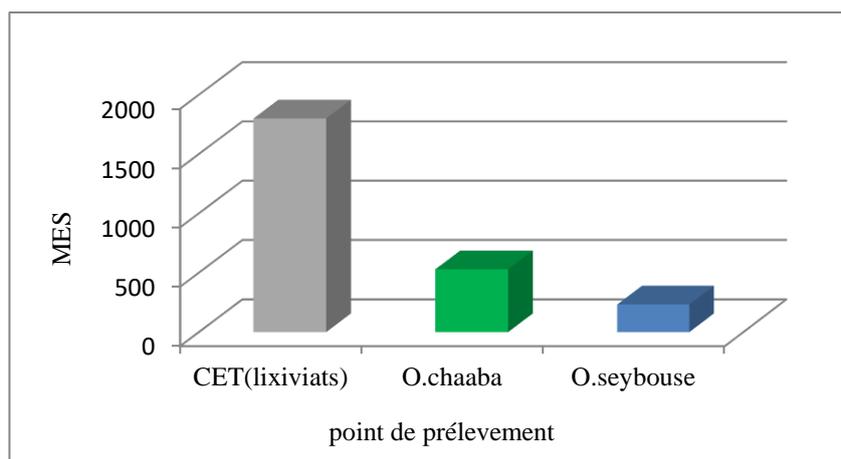


Figure .31. Variation spatiale de la matière en suspension dans les points de prélèvement.

La teneur la plus haute est enregistrée au bassin de lixiviat avec une valeur de 1800 mg/l puis au niveau d'Oued chaaba (529 mg/l), et une valeur moindre est enregistrée à Oued Seybouse (233mg/l). Cette diminution de teneur en MES est à cause de l'éloignement du point de rejet après traitement. Ces valeurs dépassent largement la limite de rejets 35 mg/l selon les normes Algériennes.

2.7. La Demande biologique d'oxygène (DBO₅)

La DBO exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau, par le développement de micro-organismes, dans des conditions données [61]. L'histogramme ci-dessous montre les variations du DBO₅ pendant le mois d'avril :

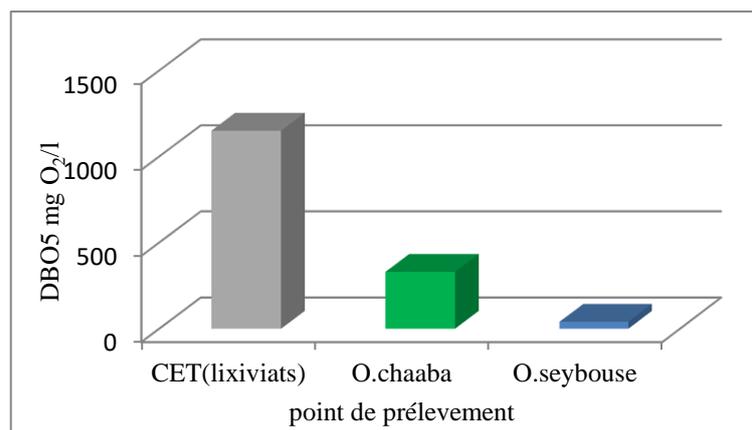


Figure.32. Variation spatiale de la DBO₅ dans les points de prélèvement.

On observe que les résultats varient entre 1150mg/l et 40 mg/l. La plus haute valeur est enregistrée au bassin de lixiviats (P1) puis au niveau de chaaba (P2=330 mg O₂/l) et enfin au niveau de oued Seybouse (P3) avec une valeur de 40 mg O₂/l. Cette baisse de teneur est probablement due à l'effet d'épuration des lixiviats avant rejet. Les valeurs de P1 et P2 sont supérieures aux normes des eaux traitées (35 mgO₂/l).

2.8.La Demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique biodégradable ou non d'une eau à l'aide d'un oxydant fort, le dichromate de potassium sous des conditions données [61]. Les concentrations DCO sont présentées dans l'histogramme ci-dessous où on remarque :

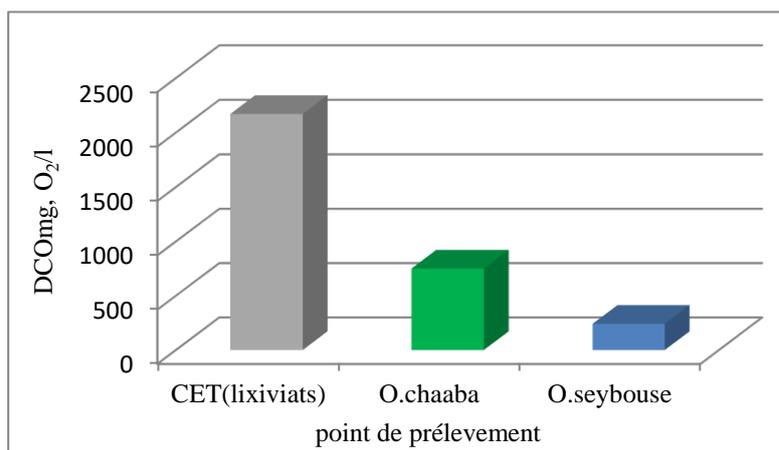


Figure .33. Variation spatiale de la DCO dans les points de prélèvement.

La valeur de DCO est élevée dans le premier point de lixiviats (2170mgO₂/l). Elle baisse progressivement après traitement dans les deux autres points P2 dans oued Chaaba (750mgO₂/l)

et P3 dans l'oued Seybouse (241 mgO₂/l). Ces valeurs de P1 et P2 sont supérieures aux normes Algériennes des eaux traitées (120 mgO₂/l).

2.9.L'azote

L'azote se trouve dans l'eau usée sous forme organique ou ammoniacale dissoute. Il est souvent oxydé pour éviter une consommation d'oxygène (O₂) dans la nature et un risque de toxicité par l'ammoniaque gazeux dissous (NH₃), en équilibre avec l'ion ammoniac (NH₄⁺) [5].

Les concentrations d'azote en mg/l sont présentées dans l'histogramme ci-dessous où on remarque que la valeur de l'azote dans le lixiviat est très élevée (276,13 mg/l) par rapport aux normes des eaux de surface (30 mg/l), ce qui confirme un cycle continu d'azote. Ce teneur peut être principalement dû à la décomposition de la matière organique présente dans les déchets enfouis (fig.34).

2.10.

L'Ammonium NH₄⁺

La forme d'azote la plus toxique est l'ammonium (NH₄⁺). Il joue un rôle essentiel dans le cycle de l'azote. Il est formé par la décomposition des matières organiques, telles que les déchets d'animaux et les plantes mortes [60]. La figure suivante présente l'analyse d'ammonium dans le lixiviat brute. La valeur de l'ammonium dans le lixiviat est très élevée par rapport aux normes des eaux de surface (4 mg/l), ce qui confirme un cycle continu d'azote (fig.34).

2.11.

Les Nitrites (NH₃)

Les nitrites sont une forme d'azote peu oxygénée et instable. Elles se situent entre les nitrates et l'ammonium dans le processus de conversion, et sont considérées comme toxiques ayant pour origine l'agriculture ou les rejets urbains et industriels. [61]. La figure suivante présente l'analyse de nitrite dans le lixiviat brute. On remarque que la valeur de nitrite est très élevée par rapport aux normes des eaux usées (0,1 mg/l). Elle est associée au cycle de l'azote dans le lixiviat issue de rejet urbain ou industriel (fig.34).

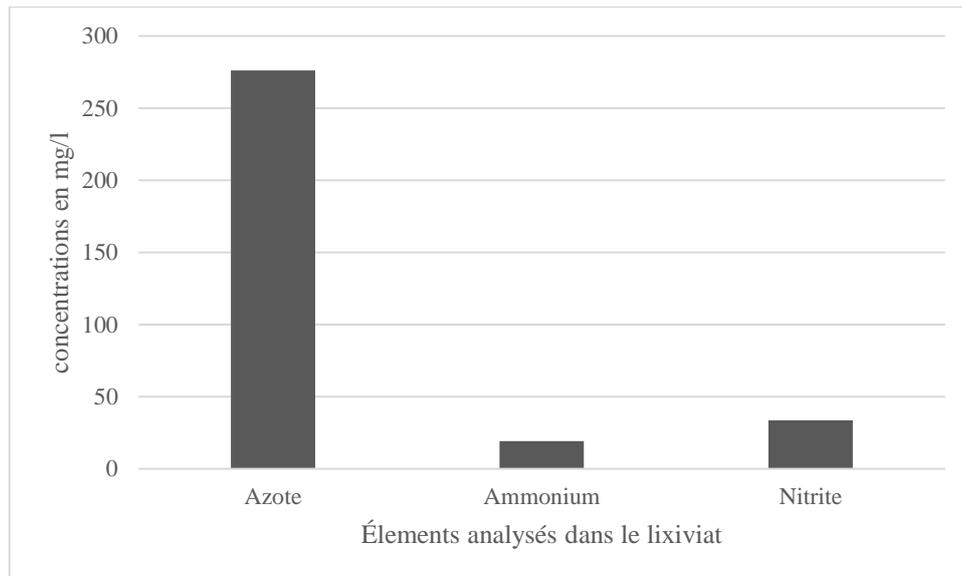


Figure .34. Variation spatiale de l'azote, l'ammonium et les nitrites dans le lixiviat brut

2.12. Le calcium (Ca^+)

Le calcium est un élément essentiel qui joue un rôle principal d'où la dureté de l'eau potable [64]. Les résultats des échantillons analysés du deuxième et troisième point obtenus concernant le calcium du mois d'avril d'analyses sont présentés dans l'histogramme ci-dessous :

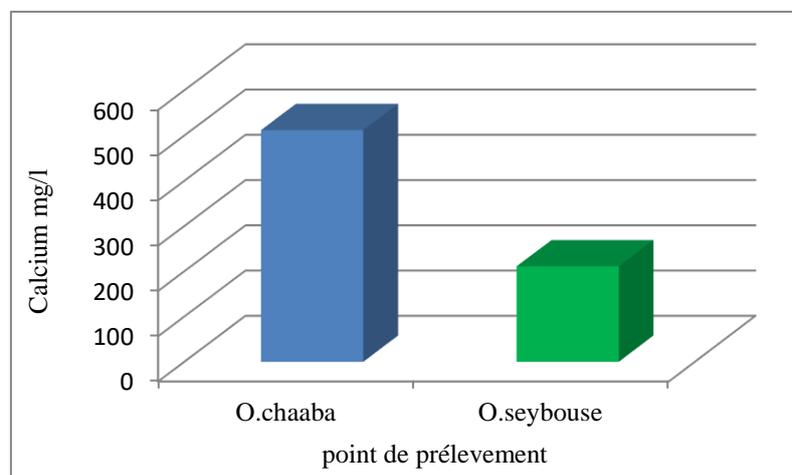


Figure .35. Variation spatiale du calcium dans les oueds Chaaba et Seybouse

On observe que la teneur la plus élevée du calcium (512mg/l), s'enregistre dans le deuxième point à Oued chaaba. Cette valeur diminue pour atteindre 211 mg/l à Oued Seybouse. Cette diminution remarquable de teneur est due à l'effet de l'éloignement du bassin de lixiviats et peut être par l'effet de l'adsorption sur les particules du sol. Ces valeurs dépassent la limite de rejets 200 mg/l selon les normes Algériennes.

2.13. Le Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est l'un des éléments les plus répandus dans la nature ; il constitue environ 2,1% de l'écorce terrestre. La plupart de ses sels sont très solubles dans l'eau [89]. Les résultats des échantillons analysés du deuxième et du troisième point obtenus concernant le calcium du mois d'avril d'analyses sont présentés dans l'histogramme ci-dessous :

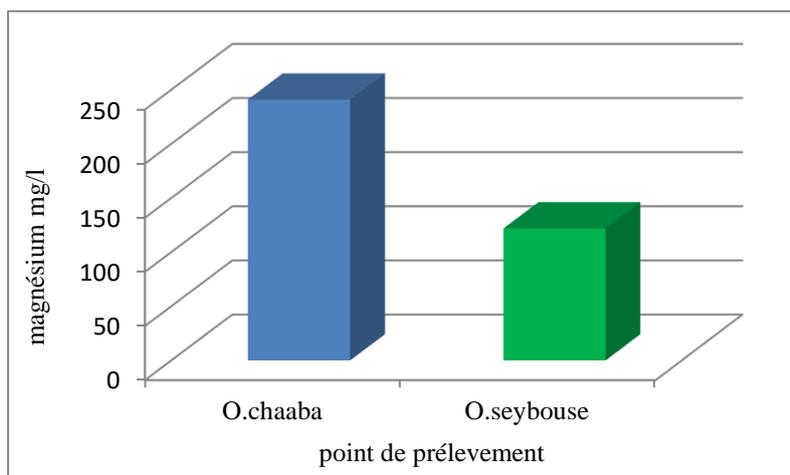


Figure. 36. Variation spatiale du magnésium dans les oueds Chaaba et Seybouse

En comparant les deux points d'analyse on remarque une baisse de teneur en magnésium en se déplaçant du point 1 à Oued Chaaba (241mg/l), au point 2 à Oued Seybouse (122 mg/l). Cette variation de teneur est probablement due à l'éloignement du centre. La valeur à Oued chaaba dépassent la limite de rejets 150 mg/l selon les normes Algériennes, mais au contraire dans le Oued Seybouse est dans les normes.

2.14. Les bicarbonates

Les bicarbonates résultent de la dissolution de carbonate de calcium ou suite à l'hydrolyse de CO_2 .

Les ions carbonate et bicarbonate combinés au calcium ou au magnésium précipiteront sous forme de carbonate de calcium ($CaCO_3$) ou carbonate de magnésium ($MgCO$) dans des conditions de sécheresse. Une forte teneur en carbonate et en bicarbonate augmente la valeur du SAR.

Les résultats des échantillons analysés du deuxième et troisième point obtenus concernant les bicarbonates du mois d'avril sont présentés dans l'histogramme ci-dessous :

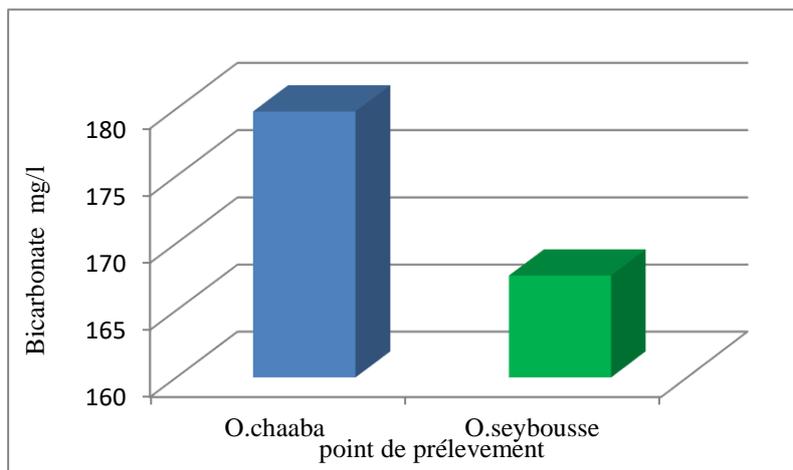


Figure .37. Variation spatiale de bicarbonate dans les oueds Chaaba et Seybouse.

On remarque que la concentration la plus élevée de bicarbonate est enregistré à O. Chaaba avec une valeur de 179,8 mg/l, cette valeur diminue pour atteindre 167,6 mg/l à Oued Seybouse. Cette diminution de teneur est due à l'effet de l'éloignement du bassin de lixiviats, origine de cette concentration. Ces valeurs sont dépassent les normes Algérienne (150 mg/l).

2.15. Le Sodium

Le sodium est l'un des éléments les plus indésirables dans l'eau d'irrigation. Cet élément origine de l'altération de la roche et du sol, des intrusions d'eau de mer, des eaux traitées et des systèmes d'irrigation [89]. Les résultats des échantillons analysés obtenus concernant le sodium du mois d'avril d'analyses sont présentés dans l'histogramme ci-dessous :

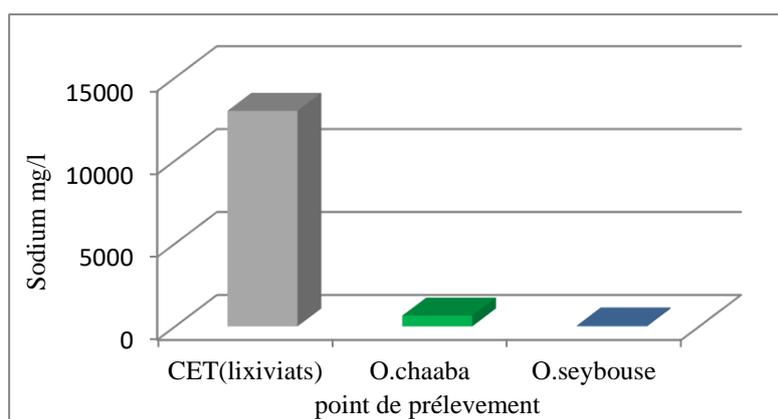


Figure .38. Variation spatiale du sodium dans les points de prélèvement.

La teneur la plus élevée du sodium est enregistrée dans le premier point de lixiviat brute (13000 mg/l). Par contre dans le deuxième et troisième point la teneur quasi inexistante par rapport au premier point ; 651mg/l et 57,3mg/l par ordre. Ces changements sont probablement dus à l'effet d'épuration des lixiviats avant rejet par procédé d'osmose inverse. La valeur enregistrée dans l'oued chaaba est dans les normes de rejets Algériennes (250mg/l).

2.16. Le Potassium

Le potassium est un élément normal des eaux, où sa concentration est largement inférieure à celle du sodium, bien que leurs abondances relatives terrestres soient comparables (sodium 2.83 % - potassium 2.59 %). La figure suivante présente un histogramme des échantillons de potassium durant le mois d'avril.

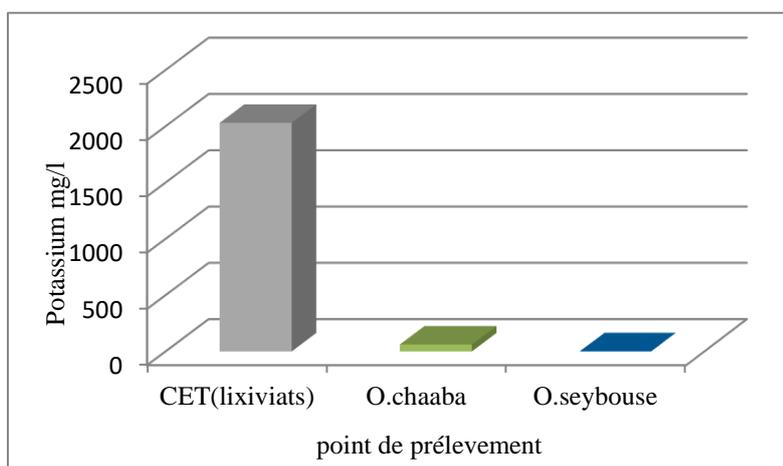


Figure .39. Variation spatiale du potassium dans les points de prélèvement.

On remarque que la concentration la plus élevée de potassium est enregistré au bassin de lixiviats brute avec une valeur 2030mg/l, et on enregistre une baisse remarquable de la teneur de potassium dans le deuxième et troisième point avec une valeur ne dépassant pas 2.3 mg/l. Cette diminution est à due à l'effet de l'épuration de ces eaux et au mélange avec les eaux de l'oued Seybouse.

2.17. Le Fer

Dans les eaux de surface, le fer se trouve généralement sous forme ferrique et précipitée, souvent associé aux MES. Les résultats des échantillons analysés obtenus concernant le Fer du mois d'Avril sont présentés dans l'histogramme ci-dessous :

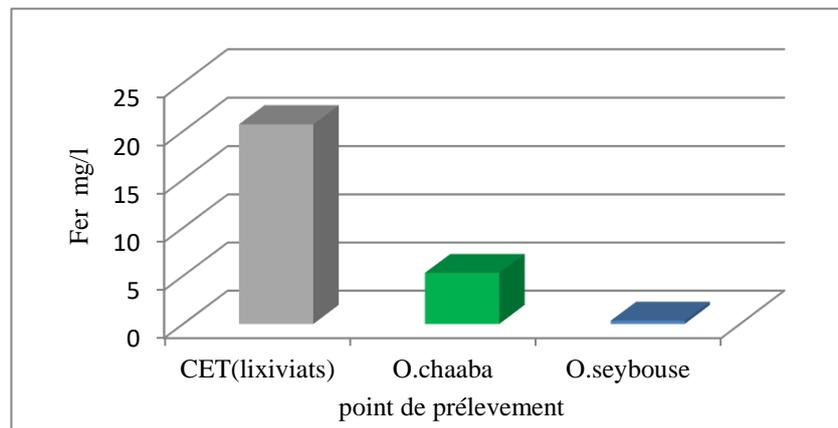


Figure .40. Variation spatiale du fer dans les points de prélèvement.

La valeur la plus élevée est enregistrée au niveau du bassin de lixiviats brute (20,7 mg/l). A Oued chaaba cette valeur diminue jusqu'à 5,3 mg/l, pour atteindre 0,43mg/l à Oued Seybouse. Une baisse remarquable de teneur en fer due essentiellement au piégeage de cet élément par les sédiments.

(3mg/l). Ces variations sont dues à la transformation de lixiviat à la station de traitement ainsi qu'à l'éloignement du centre.

3. Aptitude des eaux étudiées à l'irrigation

La réutilisation des eaux usées épurées dans l'agriculture n'est pas une opération négligeable.

En effet l'eau peut transporter une pollution qui peut engendrer tant de problèmes, notamment des menaces pour la santé publique, la conservation des sols, la protection de l'environnement et des écosystèmes, qu'il ne faut pas les sous-estimer ni exagérer.

Dans ce but, il est impératif d'étudier leur comportement par rapport à leur emploi agricole, à travers plusieurs méthodes.

3.1.Taux d'absorption du sodium(SAR)

Le risque d'alcalinité est généralement exprimé par le taux d'adsorption du sodium (SAR).

Ce paramètre quantifie la proportion des ions sodium, calcium et magnésium dans un échantillon d'eau.

Quand un sol est riche en Na^+ et que son anion dominant est CO_3^{2-} , le sol est dit sol alcalin.

Si un sol est riche en Na^+ et SO_4^{2-} , ou en Cl^- , on parle de sol salé.

Cependant, dans les deux cas, les végétaux supporteront moins un tel sol. Pour déterminer ce risque, Riverside a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par la minéralisation totale.

Il se calcule par la formule suivante :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

Dans cette formule du S.A.R, les concentrations en Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimées en méq/L.

S.A.R < 10 : eaux utilisées avec peu de danger d'alcalinisation des sols.

10 < S.A.R < 18 : eaux utilisées avec un danger appréciable d'alcalinisation.

18 < S.A.R < 26 : eaux pouvant provoquer un danger d'alcalinisation.

S.A.R > 26 : eaux présentant un danger d'alcalinisation très fort [38].

Application numérique :

SAR Oued Chaaba

$$\text{SAR} = \frac{30.95}{\sqrt{\frac{25.6+20.08}{2}}} = 6.48 \text{ méq/l}$$

SAR Oued Seybouse

$$\text{SAR} = \frac{2.6}{\sqrt{\frac{10.55+10.16}{2}}} = 0.80 \text{ méq/l}$$

3.1.1. Diagramme de Richards

Ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif est de représenter nos échantillons sur le diagramme de Riverside pour caractériser les eaux de surface de nos sites sur leur aptitude à l'irrigation.

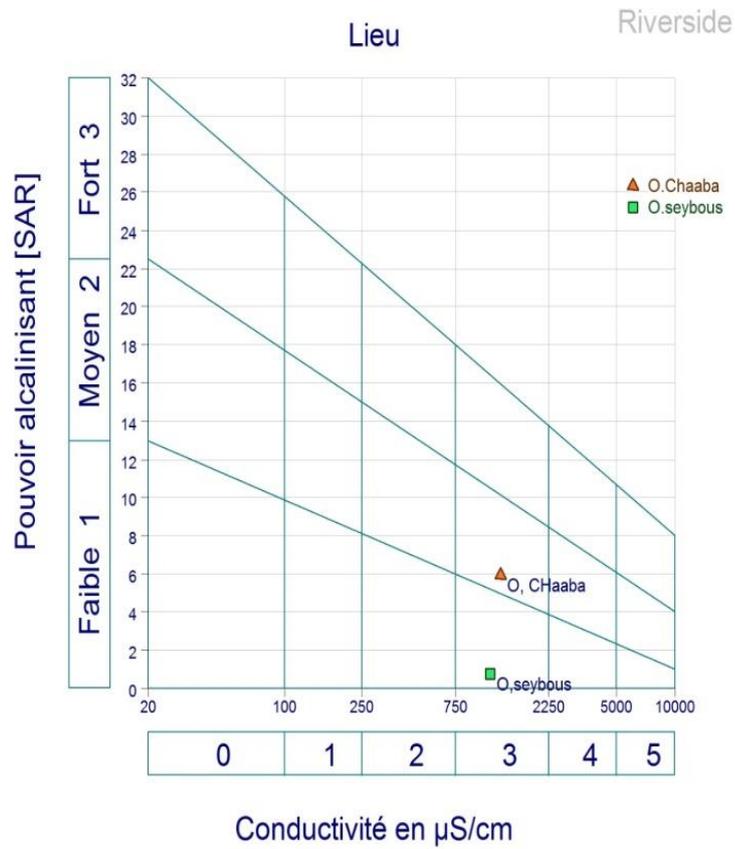


Figure .41.a. classification des eaux d'irrigation (Riverside).

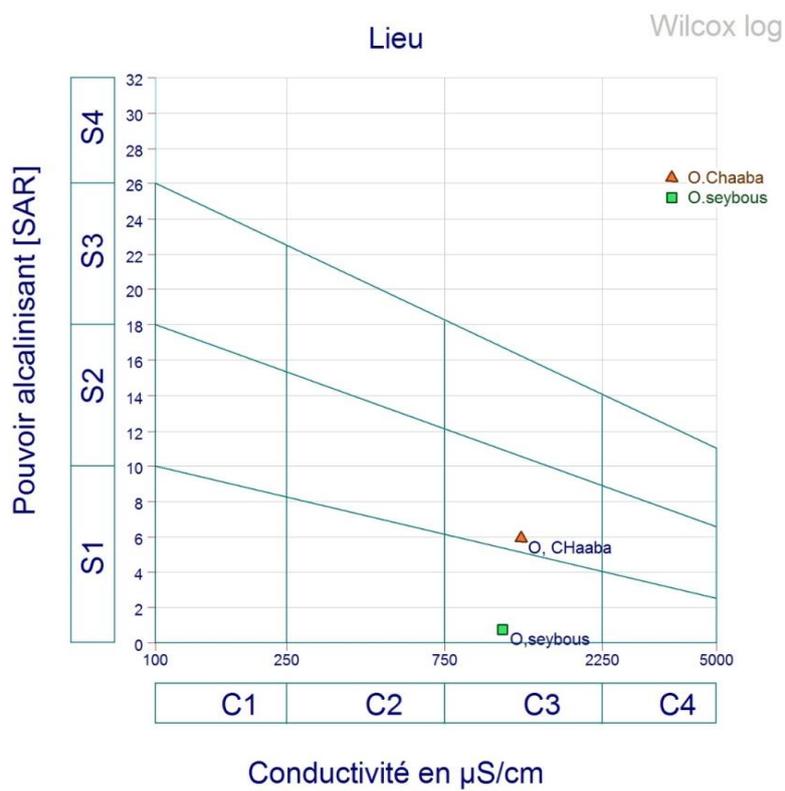


Figure .41.b. classification des eaux d'irrigation (Log Wilcox).

D'après les figures ci-dessus on remarque que les eaux de l'Oued Chaaba (P2), sont d'une qualité admissible, se situant dans la classe **C3S2** correspondant à une conductivité élevée avec un rapport d'adsorption du sodium (SAR) moyen. Cependant les eaux d'Oued Seybouse (P3), se situent dans la classe C3S1 (conductivité élevée avec un SAR faible). Ces eaux conviennent en général à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, l'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée.

3.2. Pourcentage du sodium (%Na)

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses, joue un rôle négatif dans le sol, parce qu'il réagit avec le sol en diminuant sa perméabilité et donc en freinant la circulation des eaux. Sa présence dans le sol augmente le volume des particules argileuses, entraînant ainsi une obstruction des pores entre les particules.

Il est basé sur la concentration totale des sels dissous et le pourcentage de sodium par rapport aux autres sels dans l'eau. Le pourcentage de sodium est calculé par la formule suivante :

$$\text{Na}^+ \% = \frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+} \times 100 \text{ méq/l}$$

Dans cette formule, les concentrations de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , et K^+ sont exprimées en méq/L

Application numérique :

Na% Oued Chaaba

$$\text{Na}^+ \% = \frac{30.95}{25.6 + 30.95 + 20.08} \times 100 = 40.22 \text{ méq/l}$$

Na% Oued Seybouse

$$\text{Na}^+ \% = \frac{2.6}{10.55 + 10.16 + 2.6} \times 100 = 11.15 \text{ méq/l}$$

3.2.1. Diagramme de Wilcox

La classification de Wilcox est fondée sur la combinaison de la teneur en sodium dans l'eau et la conductivité électrique, généralement connu en %, cette classification définit cinq classes : excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise [15].

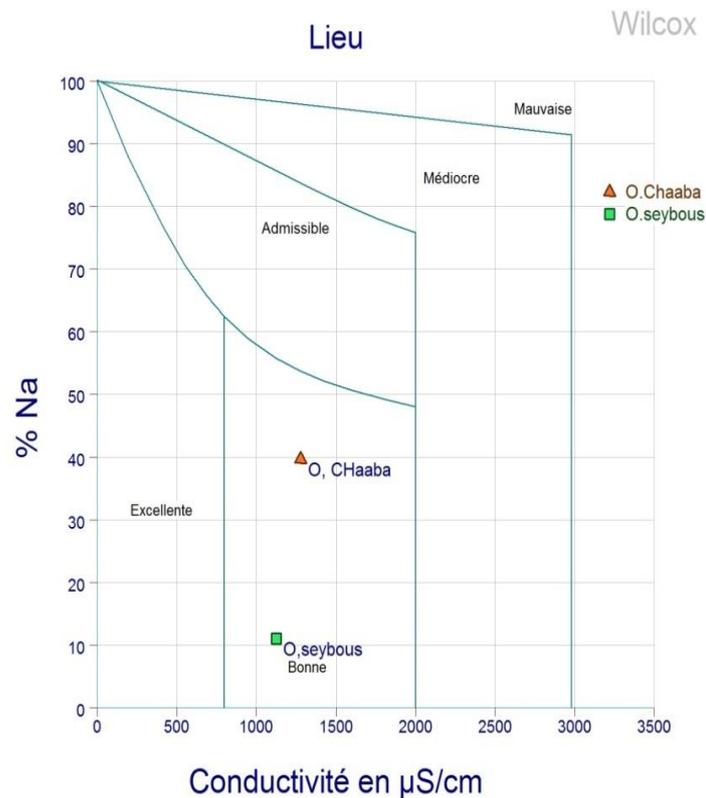


Figure .42.classification des eaux d'irrigation selon Wilcox.

D'après le résultat du diagramme de Wilcox (sodium en fonction de conductivité) ; les deux échantillons étudiés se positionnent dans la classe bonne avec des eaux pouvant être utilisé pour l'irrigation sans control particulier. On signale que le pourcentage du sodium est un peu élevé au point d'Oued chaaba (40%), par contre à Oued Seybouse il est de (10%).

3.3. L'alcalinité Résiduelle (RSC)

C'est un paramètre utilisé pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation, en particulier pour déterminer son impact potentiel sur les sols et les cultures. L'alcalinité résiduelle n'est qu'autre que le concept proposé par Eaton, (1950), et Richards, (1954), nommée « Résiduel Sodium Carbonates (RSC) », elle est définie comme étant la part de l'alcalinité qui n'est pas neutralisée par les cations divalents. Elle est souvent considérée à la précipitation de la calcite et de la sépiolite.

La formule simplifiée du RSC, sans inclure les carbonates :

$$\text{RSC} = (\text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \text{ méq/l}$$

Tab.11. Niveaux du risque dû au carbonate du sodium résiduel

RSC méq/l	<1.25	1.25-2.5	>2.5
Niveau du risque	Eau sûre pour l'irrigation, faible risque de sodicité.	Eau avec un risque modéré de sodicité, nécessitant des mesures de gestion.	Eau avec un risque élevé de sodicité, nécessitant des mesures correctives importantes.

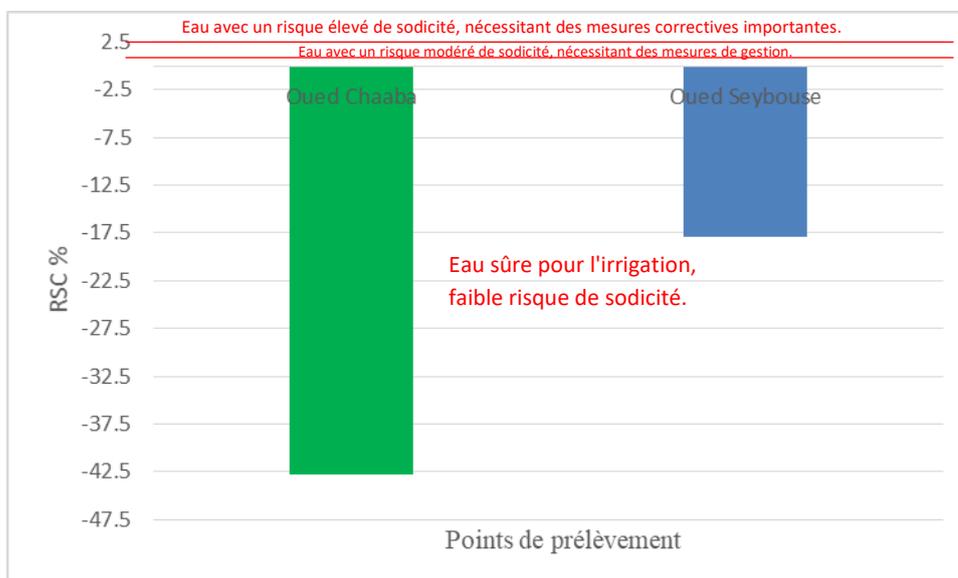
Application numérique :

RSC Oued Chaaba

$$\text{RSC} = (2.94) - (25.6 + 20.08) = -42.74 \text{ méq/l}$$

RSC Oued Seybouse

$$\text{RSC} = (2.74) - (10.55 + 10.16) = -17.97 \text{ méq/l}$$

**Figure .43.** classification des eaux d'irrigation selon l'alcalinité résiduelle

Selon les valeurs de RSC pour des fins d'irrigation, les deux points étudiés présentent des valeurs inférieures à 1,25 méq/l avec un faible risque de sodicité et donc une utilisation sans danger pour l'irrigation.

3.4. Indice de Perméabilité (IP)

L'utilisation à long terme de l'eau d'irrigation affecte la perméabilité du sol, qui est influencée par le contenu du sodium, de calcium, de magnésium et de bicarbonate dans le sol.

La classification des eaux d'irrigation de **Doneen** (1964), en se basant sur l'indice de perméabilité est défini par la relation suivante :

$$IP\% = \frac{(Na^{2+} + \sqrt{HCO_3^-}) * 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{2+})}$$

Avec Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} et HCO_3^- en méq/l

- Si $PI > 75\%$: l'eau est excellente pour l'irrigation ;
- Si $25\% < PI < 75\%$: l'eau est de bonne qualité pour l'irrigation ;
- Si $PI < 25\%$: l'eau est de mauvaise qualité

Application numérique :

IP % Oued Chaaba

$$IP\% = \frac{(30.95 + 1.71) * 100}{(25.6 + 20.08 + 30.95)} = 42.62\%$$

IP% Oued Seybouse

$$IP\% = \frac{(2.6 + 1.65) * 100}{(10.55 + 10.16 + 2.6)} = 18.23\%$$

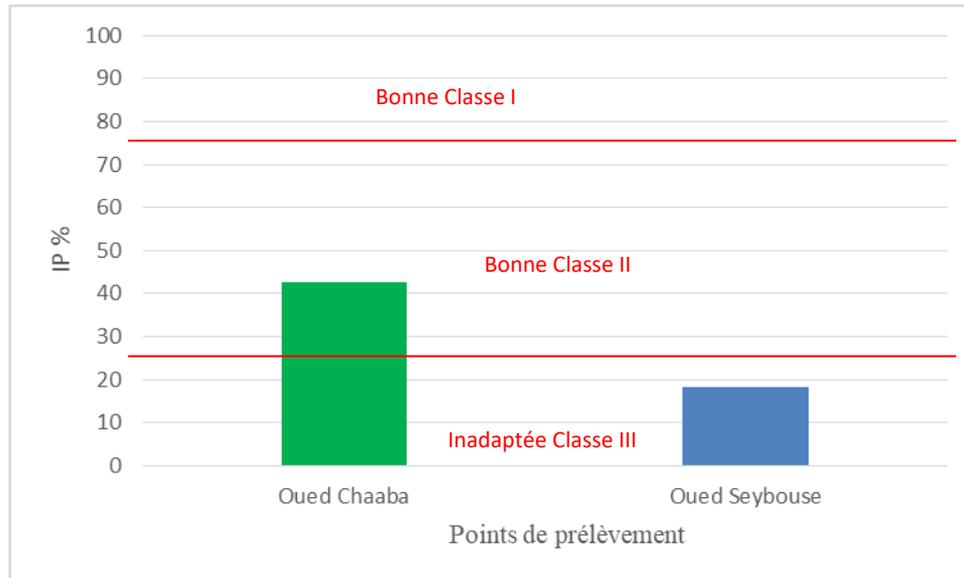


Figure .44.classification des eaux d'irrigation selon l'indice de Perméabilité

D'après les valeurs de l'IP% calculée, l'eau de Oued Chaaba est marginalement appropriées pour l'irrigation avec une valeur de 42.62% et cela est probablement du au traitement qu'a subi cette eau avant rejet de la station. Cependant les eaux du deuxième point (Oued Seybouse), se positionne dans la classe des eaux inappropriée pour l'irrigation avec une valeur de IP% de 18.23% à cause peut être du mélange avec d'autres affluents.

3.5. Rapport du magnésium (Mg ratio)

Les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} maintiennent un état d'équilibre dans la plupart des eaux (Hem, 1985). À l'équilibre, le Mg^{2+} dans l'eau affecte le sol en le rendant alcalin et entraîne une diminution du rendement des cultures. La mesure de l'effet du magnésium dans l'eau irriguée est exprimée par le rapport de magnésium, développé par Paliwal en 1972 pour calculer le risque lié au magnésium.

Le RM est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$Mg\% = \frac{(Mg^{2+}) \times 100}{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}$$

Application numérique :

Mg% Oued Chaaba

$$\mathbf{Mg\%} = \frac{(20.08) \times 100}{(25.6 \times 20.08)} = 3.90$$

Mg% Oued Seybouse

$$\mathbf{Mg\%} = \frac{(10.16) \times 100}{(10.55 \times 10.16)} = 9.47$$

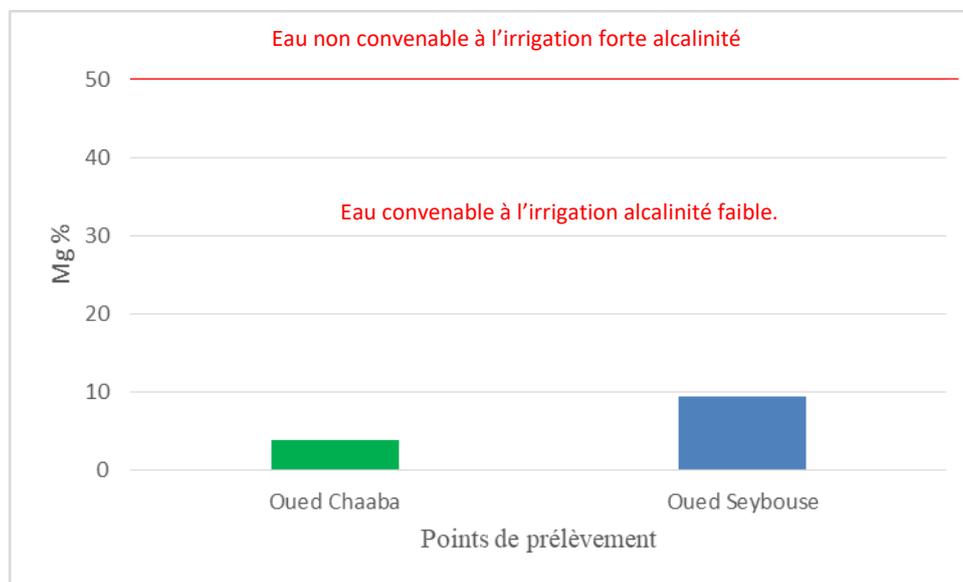


Figure .45.classification des eaux d'irrigation selon le rapport de magnésium

Les valeurs de RM sont respectivement de 3.90 dans le point d'Oued Chaaba et de 9.47 dans le deuxième point à Oued Seybouse. Ces valeurs sont inférieures à 50 et par conséquent elles sont dans les normes présentant une eau convenable à l'irrigation indiquant une alcalinité très faible.

3.6. Rapport de Kelly (KR)

Le sodium mesuré par rapport au Ca^{2+} et au Mg^{2+} est utilisé pour calculer le rapport de Kelley. La formule utilisée dans l'estimation du rapport de Kelley est exprimée comme suit :

$$KR = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$$

Un rapport de Kelley (KR) de plus de 1 indique un niveau excessif de sodium dans les eaux. Par conséquent, les eaux dont le ratio de Kelley est inférieur à 1 conviennent à l'irrigation, tandis que celles dont le ratio est supérieur à 1, ne conviennent pas à l'irrigation.

Application numérique :

KR Oued Chaaba

$$KR = \frac{651}{512 + 241} = 0.86$$

KR Oued Seybouse

$$KR = \frac{57.5}{211 + 122} = 0.17$$

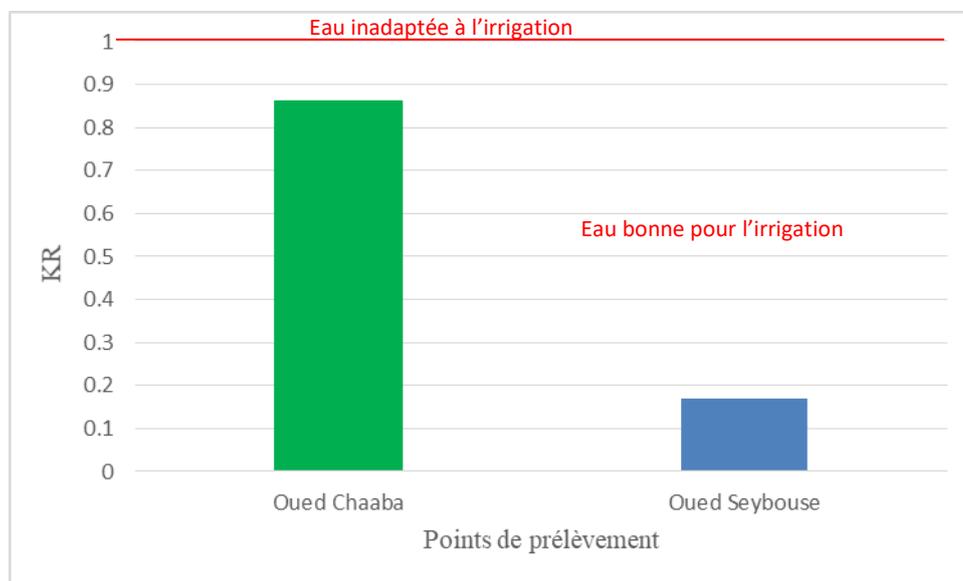


Figure .46.classification des eaux d'irrigation selon le rapport de Killy

Les valeurs du ratio de Kelley (KR) pour les eaux des deux points sont inférieures à 1 et indiquent une eau appropriées à l'irrigation.

Tab.12. Classification de la qualité des eaux étudiées en fonction de leur aptitude à l'irrigation

Echantillon	SAR	%Na	RSC	IP%	Mg%	KR
Oued Chaaba	6.48	40.22	-42.74	42.62	3.90	0.86
Oued Seybouse	0.80	11.15	-17.97	18.23	9.47	0.17

4. Conclusion

Dans ce travail, nous avons évalué la qualité des eaux dans les trois points prélevées : bassin de lixiviats, chaaba et oued Seybouse près du CET- Bougerguer Guelma.

Une caractérisation physicochimique a été établie dans le but d'évaluer l'impact des lixiviats sur les eaux d'irrigation dans l'oued Seybouse, ce qui a confirmé la baisse pratiquement de tous les éléments avec l'éloignement du bassin de lixiviats après épuration de ces eaux.

Le traitement des résultats obtenu par plusieurs méthodes à savoir : SAR, Na%, RSC Mg et KR ratio, a confirmé l'aptitude des eaux étudiées à l'irrigation sans danger, sauf pour l'indice de perméabilité (IP%) ; les eaux du deuxième point à oued Seybouse se qualifient pour des eaux inappropriée à l'irrigation.

Conclusion générale

Avec l'expansion démographique, qui entraîne à son tour une augmentation de la quantité de déchets la méthode la moins chère et la plus efficace est la création des centres d'enfouissement technique.

Malgré sa création pour réduire les déchets et de maintien de la propreté de l'environnement, cela a des effets négatifs sur l'environnement lui-même à cause de l'infiltration de lixiviats.

Les lixiviats forment principalement à cause de la percolation des eaux météoriques dans les déchets (phénomène de lixiviation), pendant cette percolation l'eau se charge par des différentes matières polluantes.

Ce travail est fait dans le centre d'enfouissement technique de Bougerguer dans la commune d'Héliopolis qui se localise dans une région à climat sub-humide qui se divise en deux saisons ; une saison sèche et chaude qui s'étale du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre et une saison humide plus longue qui s'étale du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai, et dans un terrain semi-perméable.

Le CET de Bougerguer reçoit une quantité de 180 tonne/j de déchet, qui sont stockés dans des casiers bien construits. L'augmentation des déchets génère automatiquement une augmentation des lixiviats formés.

Le but essentiel de cette étude est de déterminer l'impact de lixiviat sur les eaux d'irrigation. Pour cela les résultats des analyses de paramètres physico-chimiques, de trois points de prélèvement sont traités.

Le premier point se localise dans le bassin de lixiviat, le deuxième point dans l'oued chaaba où le centre rejette ce lixiviat après traitement. C'est le point le plus proche à la station.

Le dernier point se situe dans l'oued Seybouse où l'oued chaaba rejette ses eaux.

Les lixiviats générés par le Centre d'Enfouissement Technique véhiculent une forte pollution, pour cela la station de traitement de Bougerguer utilise la méthode de traitement par osmose inverse.

L'étude physico-chimique de ces eaux a montré une nette différence dans les teneurs de tous les paramètres étudiés dans les trois points.

Les fortes teneurs sont enregistrées au niveau du bassin de lixiviat puis ces valeurs diminuent progressivement dans l'oued Chaaba et l'oued Seybouse, bien qu'ils dépassent parfois les normes Algériennes des eaux de rejet.

Cette remarquable baisse de teneurs de tous les éléments analysés peut être due en premier lieu à l'effet de traitement de lixiviat, par osmose inverse avant rejet dans l'oued Chaaba, et en second lieu à la diminution de la vitesse d'écoulement dans l'oued Seybouse et au piégeage des éléments dans les sédiments.

Le traitement des résultats obtenu par les méthodes de Na%, RSC, Mg%, et KR, classe les eaux des deux points étudiés dans la classe bonne pouvant être utilisé pour l'irrigation sans control particulier. Cependant le diagramme de Richards utilisant le SAR, les classe parmi les eaux convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel sur des sols bien drainés, où l'évolution de la salinité doit être contrôlée.

La méthode utilisant l'IP% qui combine plusieurs éléments chimique ensemble, qualifie les eaux dans le point de Oued Chaaba comme des eaux marginalement appropriées pour l'irrigation par contre dans le point de Oued Seybouse, elles ne sont pas appropriée à l'irrigation.

Recommandations

Cette étude représente une simple contribution aux études d'impact des centres d'enfouissements techniques, sources de pollution qui menace aussi bien la qualité des eaux de surface que superficielles.

La saturation des casiers des centres d'enfouissement par les déchets provoque des surcharges sur ces derniers et par conséquent des quantités de lixiviats en plus qui va déborder et atteignent les eaux superficielles, ou s'infiltrer vers la nappe phréatique.

Au terme de nos résultats, et pour bien préserver l'environnement et les ressources naturelles pour les générations futures dans le cadre du développement durable, nous recommandons vivement :

- Renforcer le système de drainage et de collecte du lixiviat afin de le bien capter dans les bassins de stockage ou des lagunes, dans le but d'éviter leur relargage vers le milieu naturel ;
- Promouvoir et mettre en place un système de tri sélectif à la source permet d'alléger la pression volumique des déchets et assurer ainsi de promouvoir le principe de la durabilité ;

Conclusion générale

- Adopter des techniques de traitement appropriées en fonction des caractéristiques de ces lixiviats. Chercher d'autres alternatives d'élimination, tel que le compostage, sachant que 55 % des déchets ménagers sont des déchets organiques qui peuvent être valorisé, cette éventuelle fortune peut être orientée vers l'agriculture qui nécessite des tas de fertilisants organiques ;
- La sensibilisation par tous les moyens possibles, comme les campagnes de sensibilisation au niveau : des écoles, les mosquées, les lieux publiques par des actions scientifiques, associative dans les villes ou à travers les médias

- [1] **AGENCE NATIONAL de déchets (2019)**, département de suivi des installations de traitement des déchets.
- [2] **AGHAMO Hammadi, N., bin Abdul Aziz, H., Isa, M. H., & Zinatizadeh, A. A. (2007)**. Powdered activated carbon augmented activated sludge process for treatment of semi-aerobic landfill leachate using response surface methodology. *Bioresource technology*, 98(18), 3570-3578.
- [3] **AINA M.P. (2006)**. Expertises des centres d'enfouissement techniques de déchets urbains dans les PED : contribution a l'élaboration d'un guide méthodologique et à sa validation expérimentale sur sites. [Ouvrage]. - [s.l.] : [Thèse de doctorat], Université de Limoges, - p. 236 p.
- [4] **AINA, M.P. (2006)**. Expertises des centres d'enfouissement techniques de déchets urbains dans les PED. contributions à l'élaboration d'un guide méthodologique et à sa validation expérimentale sur sites. [Thèse de Doctorat]. Université de Limoges 189p.
- [5] **AISSAOUA Nassima, LAHMAR Nedjma. (2019)**. Impact des déchets du centre d'enfouissement techniques de M'sila sur les eaux de surfaces [mémoire de master] UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA
- [6] **ALAIMIA Meryem, Braham yasmine. (2021)**. Analyse de la qualité des eaux de la station de Hammam Debagh. [Mémoire de master]. **Université 8 Mai 1945 Guelma**.
- [7] **ALLIOUI Idriss, BENCHABANE Ibrahim & BOUMENDJEL Moncef. (2021)**. Les systèmes karstiques de la région de Hammam Debagh (Wilaya de Guelma). Caractérisation et étude hydrochimique. [mémoire de master]. Université 8 Mai 1945 Guelma.
- [8] **Alvarez-Vazquez, H., Jefferson, B., & Judd, S. J. (2004)**. Membrane bioreactors vs conventional biological treatment of landfill leachate: a brief review. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*, 79(10), 1043-1049.
- [9] **AMAROUCHE Asma , Sadi Naima. (2015)**.Caractérisation et traitement des lixiviats issu de centre d'enfouissement technique de la ville de Bouira , [mémoire de master]. Université Akli Mohamed Oulhadjouira

- [10] **AMOKRANE, A. (1994).** Epuration des lixiviats de décharge : prétraitement par coagulation-floculation ; traitement par osmose inverse, post traitement par incinération. [Thèse de Doctorat]. Chimie Univ, INSA. Lyon.France. 286.
- [11] **ARAN C. (2001).** - Modélisation des écoulements de fluides et des transferts de chaleur au sein des déchets ménagers. Application à la réinjection de lixiviat dans les centres de stockage. [Thèse de l'Institut Nationale Polytechnique de Toulouse]. 9 mars 2001.
- [12] **ATAMNIA Yamina. (2021).** Contribution au suivi de la gestion et la valorisation des déchets dans le centre d'enfouissement technique : cas du CET Zef Zef (Wilaya de Skikda). [Mémoire de master]. Université 8 Mai 1945 Guelma.
- [13] **Bae, B.-U., Jung, E.-S., Kim, Y.-R., & Shin, H.-S. (1999).** Treatment of landfill leachate using activated sludge process and electron-beam radiation. *Water research*, 33(11), 2669-2673.
- [14] **BAIG, S., Coulomb, I., Courant, P., & Liechti, P. (1999).** Treatment of landfill leachates: Lapeyrouse and Satrod case studies.
- [15] **BEN AICHA Ibtissem. (2019).** Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation de la région de Tolga [MÉMOIRE DE MASTER] Université Mohamed Khider de Biskra.
- [16] **BENATALLAH Mohamed Elghazali (2013).** Impact de la pollution d'un centre d'enfouissement technique (CET) sur la nappe Cas du CET de Soumaâ (W .Blida) [Thèse de doctorat]Université ZIANE Achour Djelfa
- [17] **BENNAMA, T., Younsi, A., Derriche, Z., & Debab, e. A. (2010).** Caractérisation et traitement physico-chimique des lixiviats de la décharge publique d'El-Kerma (Algérie) par adsorption en discontinu sur de la sciure de bois naturelle et activée chimiquement. *Water Quality Research Journal*, 45(1), 81-90.
- [18] **Biriki Salah. (2024).**Etablissement public de gestion des CET de Guelma; section de traitement de lixiviat ; coordination d'exploitation
- [19] **BOUARFA S., (2018),** Le centre d'enfouissement technique réalisation et fonctionnement, éd. Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (C.R.S.T.R.A), Algérie.18p

- [20] **BOUKHNEF yasmine, Madaoui nour elhouda. (2019).** Application de la spectroscopie d'absorption atomique à la recherche des éléments métalliques dans les eaux du surface de la région de Guelma.[Mémoire de master].
- [21] **BOULAHIA Abdehak et LAMROUS Walid. (2018).** Impacts du centre d'enfouissement sur le milieu naturel et les ressources en eau. Cas site de Bougerguer Guelma [Mémoire de master]. Université Badji Mokhtar – Annaba
- [22] **BOULANSEUR Lyacine (2021)** Etudes à travers le temps de la qualité des eaux du barrage de Tychi-haf 2012-2019.
- [23] **BOURAS Abde Rafik, BOUDEHIR Nassim. (2016).** Traitements physico-chimiques et biologiques des lixiviats de décharge
- [24] **Boutarfa, S. (2018).** Le centre d'enfouissement technique Réalisation et fonctionnement Le Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides Biskra
- [25] **Bu, L., Wang, K., Zhao, Q.-L., Wei, L.-L., Zhang, J., & Yang, J.-C. (2010).** Characterization of dissolved organic matter during landfill leachate treatment by sequencing batch reactor, aeration corrosive cell-Fenton, and granular activated carbon in series. *Journal of Hazardous Materials*, 179(1-3), 1096-1105.
- [26] **C. BERTHE. (2006)** .Etude de la Matière Organique contenue dans des lixiviats issus de différentes filières de traitement des déchets ménagers et assimilés, [Thèse de doctorat], UNIVERSITE DE LIMOGES.
- [27] **Chang, J.-E. (1988).** Treatment of landfill leachate with an upflow anaerobic reactor combining a sludge bed and a filter *Water Pollution Research and Control Brighton* (pp. 133-143): Elsevier.
- [28] **Colin, F. (1984).** Étude des mécanismes de la genèse des lixiviats. Inventaire et examen critique des tests de laboratoire, Nancy IRH-Rapport RH, 84-136.
- [29] **D. Trebouet, et al. Revue des sciences de l'eau Journal of Water Science le 7 mars 2024 06:28** Traitement de lixiviats stabilisés de décharge par des membranes de nanofiltration Treatment of stabilized landfill leachates by nanofiltration membranes

- [30] **Debba Naouel, Guermi Ahlem, Chetti Fatima Zohra. (2021).** Impact de l'enfouissement des déchets solides urbains sur l'environnement Centre d'enfouissement technique de Nezla (Touggourt). [Mémoire de master] Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued.
- [31] **Diaz RJ.** Overview of hypoxia around the world. *Journal of environmental quality*. 2001;30:275-281.
- [32] **Dictionnaire de l'environnement (2024).** Available online : https://www.dictionnaire-environnement.com/percolat_ID1243.html (accessed on 07/03/2024).
- [33] **Dufour P, Slepoukha M.(1975).** l'Oxygène dissous en lagune Ebrié: influences de l'hydro climat et des pollutions. [Documents Scientifiques], Centre de Recherches Océanographiques, Abidjan.;6:75-118.
- [34] Dunod, Paris, 412 p.
- [35] **F.Zaviska** , Modélisation du traitement de micropolluants Organiques par oxydation électrochimique,Thèse présentée pour l'obtention du grade de philosophiae doctor (Ph.D.),Université de Québec, 2011.
- [36] Google maps, 2024.
- [37] Griffen, 1976.
- [38] **HARKAT Yamina, BENNACEUR Kaouter.** (2019). Représentation des analyses hydrochimiques des Eaux de la ville. [Touggourt.Mémoire de master]. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
- [39] **Hoilijoki, T. H., Kettunen, R. H., & Rintala, J. A.** (2000). Nitrification of anaerobically pretreated municipal landfill leachate at low temperature. *Water research*, 34(5), 1435-1446.
- [40]http://www.iredra.eu/fr/la-phyto-epuration/les-applications/lixiviat.html#:~:text=La%20production%20de%20lixiviat%20provient,sites%20d'enfouissement%20des%20d%C3%A9chets.11_03_2024 h :17:20
- [41]<https://ecoworks-dz.com/activites/services-a-lenfouissement/traitement-des-lixiviats/> 16/04/2024 h 22 :49

- [42] <https://fr.slideshare.net/ArchiGuelma/climatologie-de-la-wilaya-de-guelma> 14/05/2024 h 20:33
- [43] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Lixiviat>.
- [44] https://interieur.gov.dz/Monographie/article_detail.php?lien=827&wilaya=2
14 /4/2024 h 11:21
- [45] <https://recyclage.pagesjaunes.fr/comprendre/centre-enfouissement> 21/04/2024 h 11:20
- [46] <https://wikimemoires.net/2021/01/les-elements-composant-le-centre-d-enfouissement/> 21/04 /2024 h 18:00
- [47] <https://wikimemoires.net/2021/01/les-elements-composant-le-centre-d-enfouissement/> 21/04 /2024 h 18:00
- [48] https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/centre_d_enfouissement_technique_cet.php4 25/05/2024 h 14:44
- [49] <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/14259/centrifugation>
- [50] <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/environnement-centre-stockage-dechets-16932/> 15/04/2024 h 12: 12
- [51] <https://www.lesoirdalgerie.dz/faits-divers/incendie-au-centre-d-enfouissement-des-dechets-pas-moins-de-130-hectares-partis-en-fumee-25202> 16/04/2024 h 15:27
- [52] https://www.persee.fr/doc/estat_0336-1454_1986_num_185_1_2432 15/05/2024 h 09: 43
- [53] <https://www.slrecyclingltd.co.uk/what-are-the-negative-effects-of-landfill/#:~:text=Leachate%20is%20the%20liquid%20produced,Soil%20fertility%20is%20impacted%20too.> 23/ 04 /2024 h 20:42
- [54] <https://www.velp.com/fr-ww/la-methode-kjeldahl-1.aspx> 07/05/2024 h 20:28
- [55] **Hull V., Parrella L., Falcucci M. (2008).**Modelling dissolve dioxygen dynamics in coastal lagoons. *Ecological Modelling*.;211 p 468-480 p.

- [56] **Kaizouri Mohamed. (2023).** Modélisation de l'impact des rejets des déchets au niveau de l'est algérien et estimation des conséquences environnementales. [Thèse de doctorat]. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
- [57] **Karaali,R.,Khataf, M. etReggam, R. (2008).**Etudes comparatives de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées avant et après épuration : cas de la station d'épuration de la ville de Guelma (Nord-est Algérie) ,[Mémoire de master]d'ingénieur. Université 08Mai 1945 .Guelma.
- [58] **Kemmer, F. N. (1984).** Manuel de l'eau: Technique & Documentation Lavoisier
- [59] **KERBOUB, Djawhar (2022).**Impact des rejets urbains et industriels sur la qualité des eaux de surfaces et des eaux souterraines. Cas du bassin versant Oued El-Hai région de Batna .Nord-est Algérien [thèse de doctorat],université Larbi Tebessi, Tébessa
- [60] **KHADRI Rahma. (2024).**Géométrie et caractérisation hydrochimique d'un système aquifère en zone semi-aride. Application à l'aquifère de Hammam Bradaa, région de Guelma, Algérie nord orientale. [Thèse de doctorat] Université Batna 2 – Mostefa Ben Boulaïd
- [61] **Khadri S, (2009).** Qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie aval : Impacts des néofacteurs de pollution. [Mémoire de Magister en Hydrogéologie]. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
- [62] **KHALID AROUYA. (2011).** pollution des eaux. Impact des eaux usées sur la qualité des eaux de surface.
- [63] **Kornaros, M., & Lyberatos, G. (2006).** Biological treatment of wastewaters from a dye manufacturing company using a trickling filter. *Journal of Hazardous Materials*, 136(1), 95-102.
- [64] **KRIMA Kaouther. (2019).** Évaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation cas (la cuvette de Ouargla)
- [65] **Kulikowska, D., & Klimiuk, E. (2008).** The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Bioresource technology*, 99(13), 5981-5985.

- [66] **Labo' MG.(2022).**Dosagedel'azote total kjeldhal NTK- turbotherm/ vapodest gerhardt[Video]
- [67] **LACEB Nadia, MEZIANI Hassina. (2013).**Caractérisation des lixiviats de la décharge d'Ouled Fayet et leurs traitements par adsorption sur Hydroxyapatite.[Mémoire de master]. Université Mouloud Mammeri- Tizi-Ouzou.
- [68] **LAKHAL Ramzi, MENACER Aziz (2018).** Caractérisation de lixiviats et traitement des lixiviats. [Mémoire de master].UNIVERSITE SALAH BOUBNIDER, CONSTANTINE 03.
- [69] **LAMROUS Abdehak , BOULAHIA Walid. (2018).** Impact du site d'enfouissement sur le milieu naturel et les ressources en. cas : site de Bougerguer [Mémoire de master] . Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
- [70] **Lema, J., Mendez, R., & Blazquez, R. (1988).** Characteristics of landfill leachates and alternatives for their treatment: a review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 40(3), 223-250.
- [71] **Lim, Y. N., Shaaban, M. G., & Yin, C. Y. (2009).** Treatment of landfill leachate using palm shellactivated carbon column: Axial dispersion modeling and treatment profile. *Chemical Engineering Journal*, 146(1), 86-89.
- [72] **Loukidou, M., & Zouboulis, A. (2001).** Comparison of two biological treatment processes using attached-growth biomass for sanitary landfill leachate treatment. *Environmental Pollution*, 111(2), 273-281.
- [73] **M. SOKONA MOHAMED YUBA et M. CISSE MOUHAMDOUN : 2013,** Étude du centre d'enfouissement technique de corso, caractérisation des déchets et du lixiviat. Génie de l'environnement. Université M'Hamed bougara de boumerdes.
- [74] **MERCIER. (2000).** Le grand livre de l'eau. Edition: La reconnaissance du livre. Collecte art de vivre. P. 91.
- [75] **Mme Z.Fisli,** cours : Chap 5: Estimation de la qualité des eaux
- [76] **Mohamed, K., Amina, M.-S., Mouaz, M. B. E., Zihad, B., & Wafa, R. (2021).** The impact of the coronavirus pandemic on the household waste flow during the containment period. *Environmental Analysis Health and Toxicology*, 36(2), e2021011.

- [77] **MOUCHARA N. (2009)**. Impact des lachées de barrage hammam debegh sur la qualité des eaux de la vallée de la Seybouse dans sa partie amont (Nord Est Algérien) Mémoire de magister, université Badji Mokhtar, Annaba. Page (6).
- [78] **Navarro A. Bernard D., Millot N. (1988)**. Les problèmes de pollution par les lixiviats de décharge technique [Revue]. - [s.l.] : Sciences et Méthodes-L'Eau3,. - 541-545.
- [79] **Nehme N. (2014)**. Evaluation de la qualité de l'eau du bassin inférieur de la rivière de Litani, Liban: approche environnementale. [Thèse de Doctorat]. Université de Lorraine - Franec.
- [80] **Öman, C., & Hynning, P.-Å. (1993)**. Identification of organic compounds in municipal landfill leachates. *Environmental Pollution*, 80(3), 265-271.
- [81] **Présentation GIZ lixiviats. (2024)**. accessed on 09/02/2024
- [82] **projet d'établissement** d'un lieu d'enfouissement technique aux îles-de-la-Madeleine îles-de-la-Madeleine 6212.03-051 / 13 septembre 2004 <https://voute.bape.gouv.qc.ca/dl/?id=00000485244> Traitement des eaux de lixiviation de lieux d'enfouissement sanitaire et technique Avantages et inconvénients à traiter le lixiviat dans l'usine d'épuration des eaux municipales 17/04/2024 h 10 :10
- [83] **Pronost, R., & Matejka, G. (2000)**. Les lixiviats de décharges d'ordures ménagères: Production, caractérisation, traitement. *Environnement & technique*(196), 25-29.
- [84] **RABAH Amel. (2020)**. Etude de Traitement des Lixiviats de CET par Electrocoagulation et la Faisabilité de Leurs Biodégradation [These de Doctorat]. Université de Constantine 3.
- [85] **RAMDANI Abir , AFFIFI Soufian.(2022)**.Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux utilisée en irrigation et leur impact sur le sol Cas de la ferme BOURIACHI (bouchegouf Nord Est Algerien) [MÉMOIRE DE MASTER] **Université 8 Mai 1945 Guelma**
- [86] **Rapport du CET Héliopolis** wilaya de Guelma Accompagnement technique en matière d'exploitation (mission N°02 plan d'exploitation du casier N°02CET H éliopolis_convontion N°13 / 2019_Novomber 2019).

- [87] **Rapport du CET Hélioapolis** wilaya de Guelma Accompagnement technique en matière d'exploitation (mission N°05 Mission d'appui pour la mise à niveau de l'exploitation du CET _ visite N°01 rapport de la visite d'accompagnement technique N°01_convontion N°13/2019_December 2019).
- [88] **Rapport du CET Hélioapolis** wilaya de Guelma Accompagnement technique en matière d'exploitation (mission N°04 Mesure d'émanation de biogaz et proposition de puis de dégazage convontion N°01 _convontion N° 13 /2019_ ;Fév .2020
- [89] **Rodier J., 1996.** L'analyse de l'eau eaux naturelles - eaux usées, troisième édition,
- [90] **Rodier, Legube, B., Merlet, N., Brunet, R., Mialocq, J., Leroy, P., . . . Vincent, M. (2009).** L'analyse de l'eau-9e éd. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod, 564- 571
- [91] **Rodier. (1996).** L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eau de mer. Denod, Paris, 1, 1383.
- [92] **Rodriguez, J., Castrillon, L., Maranon, E., Sastre, H., & Fernandez, E. (2004).** Removal of nonbiodegradable organic matter from landfill leachates by adsorption. Water research, 38(14-15), 3297-3303.
- [93] **S. Renou, S. oulain,** Les filières classiques de traitement des lixiviats,Article, Université Aix Marseille, 2008.
- [94] **Samah Nahla. .Bourouaiah Asma. (2021).** Impact de lixiviat des ordures ménagères sur les eaux de surface. [Mémoire de master] université Mohamed Seddik-Ben Yahia-Jijel.
- [95] **SEKARNA M.R. (2013).** Centres d'enfouissement techniques (C.E.T), Libre, <https://www.facebook.com/algerie.libre.357>
- [96] **Singh, V. P. (2005).** *Toxic metals and environmental issues*: Sarup & Sons.
- [97] **Smaili, S ; Samah, S. 2014.** Etat de fonctionnement et évaluation des impacts du Centre d'Enfouissement Technique de Oued Falli sur l'environnement. [Mémoire d'ingénieur]. Université Tizi Ouzou.

- [98] **Tansakul, C. (2009)**. Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse. Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.
- [99] **TEFFAHI Amira, DJETTENE Rania. (2017)**. Etude des lixiviats générés dans les Centres d'Enfouissement Technique des déchets [diplôme d'ingénieur d'état]. Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique Ecole Nationale Polytechnique.
- [100] **TOUMI Fayçal. (2018)**. Impact de la décharge urbaine de Berka Zarka Annaba sur l'environnement et sur le lac Fetzara. [thèse de doctorat]. Université Badji Mokhtar Annaba, Algérie.
- [101] **Trabelsi, S. (2011)**. Etudes de traitement des lixiviats des déchets urbains par les procédés d'oxydation avancée photochimiques et électrochimiques: application aux lixiviats de la décharge tunisienne "Jebel Chakir". Université Paris-Est.
- [102] **Traitements physico-chimiques et biologiques des lixiviats de décharge**
- [103] **WANG L.K. HUNG Y.T., LO H.H. and YAPIJAKIS C. (2004)**, Handbook of industrial and hazardous wastes treatment. Second edition, revised and expanded,. [Ouvrage]. - [s.l.] : Marcel Dekker, Inc NY, NY., USA,... - p. 1322 p.
- [104] **Xu, Y.-D., Yue, D.-B., Zhu, Y., & Nie, Y.-F. (2006)**. Fractionation of dissolved organic matter in mature landfill leachate and its recycling by ultrafiltration and evaporation combined processes. Chemosphere, 64(6), 903-911.
- [105] **YANN H [1999]**. Démonstration de faisabilité de la nitrification et de la dénitrification d'un lixiviat de lieu d'enfouissement sanitaire avec de la tourbe granulaire. // Mémoire de maîtrise en sciences appliquées. - [s.l.] : Université de Montréal, - Vol. 260 p.